Universidad de **Cantabria**

2025

Programa de Doctorado Interuniversitario en Arqueología Prehistórica
en Régimen de Cotutela

Autora:
Olga Spaey

Directores:
Diego Garate Maidagan
Aritz Irurtzun Sviaguincheva

Tesis Doctoral

LA HUELLA DE UNA SOCIEDAD: ORGANIZACIÓN ESPACIAL DE LAS MANOS NEGATIVAS EN LAS CUEVAS DECORADAS DEL PALEOLÍTICO SUPERIOR

Estudio comparativo de El Castillo, Fuente del Trucho y Fuente del Salín mediante técnicas geomáticas

Thèse doctorale

L'EMPREINTE D'UNE SOCIÉTÉ : ORGANISATION SPATIALE DES MAINS NÉGATIVES DANS LES GROTTES ORNÉES DU PALÉOLITHIQUE RÉCENT

Étude comparative des sites d'El Castillo, Fuente del Trucho et Fuente del Salín au moyen de techniques géomatiques

PhD Thesis

THE IMPRINT OF A SOCIETY: SPATIAL ORGANISATION OF HAND STENCILS IN THE UPPER PALEOLITHIC DECORATED CAVES

Comparative study of El Castillo, Fuente del Trucho and Fuente del Salín through geomatics techniques

UC | Escuela de **Doctorado**

Université Bordeaux-Montaigne
Universidad Autónoma de Barcelona

Le doute est une force.

Une vraie et belle force.

Veille simplement à ce qu'elle te pousse toujours en avant.

Pierre Bottero
Ellana, l'envol

Remerciements

Ce travail a été source de beaucoup de joie pour moi. J'ai eu la chance de pouvoir la partager avec de l'amour et du soutien de toutes parts. Je remercie du fond du cœur tous ceux qui m'ont accompagnée.

Marc Groenen, dont la passion pour l'art pariétal a fait naître des étoiles dans mes yeux. Merci de m'avoir dirigée en douceur sur le chemin de la recherche. Je te remercie de m'avoir partagé ton approche humaniste dont je pense que la recherche a grandement besoin.

Mes deux directeurs, dont la complémentarité et la disponibilité n'ont jamais failli.

Diego, tu m'as accueillie à bras grands ouverts, dans ton équipe, dans tes projets, avec une générosité profonde. Je me suis sentie soignée et poussée toujours vers l'avant. Ta passion, mobilisée par ton dynamisme et ta volonté, font et feront encore avancer la découverte, la connaissance et la préservation de l'art paléolithique. Je suis fière et chanceuse de pouvoir travailler avec toi, merci.

Aritz, merci pour ton écoute et ton humanité dans nos échanges. Ton oreille attentive et sans jugement m'a beaucoup soutenue durant ces années, ma sensibilité trouvant son écho dans la tienne. Je te suis reconnaissante pour ton engagement dans mon travail et pour tes conseils toujours précieux. Merci de m'avoir partagé tes valeurs sur l'ouverture de la recherche avec tant de ferveur, ton éthique est inspirante.

Merci à mon équipe, Pregraphity, auprès de laquelle j'ai trouvé un soutien sans faille. J'ai découvert auprès de vous une collaboration saine qui me donne de l'espoir pour les années de recherche à venir. Merci pour toutes ces heures dans le noir, à apprendre ensemble, à crier de frustration et à s'émerveiller. Merci pour les innombrables conseils et le soin mutuel qui règne entre nous. Sergio, ta présence a illuminé ces années, merci pour tout. Paula, merci pour ta force et ton écoute. Iñaki, merci pour ta grande aide et ton empathie. Antonio, merci pour ta prévenance et pour toutes ces heures stimulantes. Lola, merci pour ton affection et ta confiance en moi. Agustin, merci pour ta sensibilité. Eva, merci pour ton ouverture et ta bienveillance. Verónica, merci pour ta délicatesse. Marian, merci pour tes encouragements. Lucía et Patricia, merci pour ces moments passés ensemble. José-Luis, merci pour ta simplicité et ta bonté.

Iñigo, merci pour ta compétence et ton amitié. Ce fut un plaisir de travailler ensemble et d'en apprendre davantage sur toutes les subtilités des statistiques à tes côtés.

Je voudrais aussi remercier les rencontres et soutiens professionnels qui ont jalonné ce parcours. Eduardo Palacio, pour ta patience et ta collaboration à El Castillo, et le gouvernement de Cantabrie pour m'avoir donné l'autorisation de travailler sur le terrain. Merci à Peter Steigerwald et à l'Institut Frobenius pour votre collaboration chaleureuse pour tout le travail d'archives, ce fut un plaisir. Merci à Martin Arriolabengoa pour ta disponibilité et ta gentillesse. Merci à Manuel González Morales de m'avoir offert la possibilité précieuse de travailler à Fuente del Salín, et pour ta collaboration, ainsi qu'à Vicente Bayarri et Jesús Herrera (Gim Geomatics) pour le partage de votre travail dans la cavité et à la commune de Val de San Vicente pour son autorisation. Merci également à Manuel Bea, à Pilar Utrilla et à Jorge Angás de m'avoir permis d'accéder aux données de Fuente del Trucho.

Merci à mon comité de suivi de thèse pour ses conseils avisés.

Enfin, merci à ma famille et amis. Pour vos mots justes quand ma sensibilité me submergeait et pour avoir partagé mes bonheurs de tout cœur. Merci Félix, pour toutes ces années à mes côtés, avec tant d'amour. Merci à mes parents. Maman, Papa, merci de m'avoir guidée dans la vie avec une confiance infinie. Merci de m'avoir montré que le travail pouvait être une source de passion et de joie quotidienne. Sandrine et Christian, merci pour votre amour et vos encouragements. Merci à mes sœurs, Idalie, Jeanne et Eva, pour votre soutien et présence malgré la distance. Merci de suivre chacune votre voie et d'illuminer la mienne. Merci à Magali, Sarah, Alison, Xénia, Guillaume, Javier, Emily et tous ceux qui me régalent de leur amitié.

Financement

Cette thèse a été développée grâce à un contrat doctoral du CNRS à travers le programme 80|Prime de la MITI :

- PALEOSIGNES - *Du geste à la paroi : Une langue de signes sous les mains négatives paléolithiques*. PI : Aritz Irurtzun.

Il a également été réalisé grâce au soutien financier des projets suivants :

- ANR Mind2Wall - *From the Mind to the Wall: Tracing Sign Language in Palæolithic Hand Stencils* (ANR-21-CE27-0005). PI : Aritz Irurtzun.

- B-Art - *Before art: social investment in symbolic expressions during the Upper Palaeolithic* (PID2019-107262GB-I00) financé par le Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (Espagne). PI: Diego Garate.

- RealCaveART - *Scientific virtual reality for the study and dissemination of the scenarios of artistic creation in Palaeolithic caves* (PDC2022-133124-I00), financé par MCIN/AEI/10.13039/501100011033 et la European Union Next Generation EU/PRTR. PI : Diego Garate.

Table des matières

Remerciements 1

Financement 3

Table des matières 5

Résumé – Summary - Resumen 11

1.1. Résumé abrégé 11

1.1.1. Français 11

1.1.2. English 11

1.1.3. Español 12

1. Introduction 15

1.1. Prologue 15

1.2. Hypothèses de recherche 16

1.3. Objectifs généraux 17

1.4. Organisation du présent travail 18

1.5. Highlights 20

2. État de la question 23

2.1. Phénomène des mains négatives en Europe occidentale 23

2.1.1. Ampleur du phénomène et répartition géographique 23

2.1.2. Cadre chronologique 26

2.1.3. Technique 31

2.1.1. Format 38

2.1.2. Paléodémographie 40

2.1.3. Distribution spatiale 41

2.1.4. Propositions d'interprétation 44

2.2. L'espace dans les grottes ornées 47

2.2.1. Introduction 47

2.2.2. L'espace en archéologie et Préhistoire 48

2.2.3. Des espaces théoriques aux espaces sociaux 55
2.3. Études géomatiques 63
2.4. Approche préliminaire 65
2.4.1. Introduction 65
2.4.2. *Corpus* 66
2.4.3. Zones de la cavité 67
2.4.4. Espace de transit *vs.* espace reculé 68
3. Méthode 73
3.1. Structure générale 75
3.1.1. Échelle globale 75
3.1.2. Échelle macro 75
3.1.3. Échelle micro 81
3.2. Méthodes de récollection de l'information 85
3.2.1. Travail d'archive 85
3.2.1. Inspection visuelle et documentation photographique 87
3.2.2. Caractérisation géomorphologique de la cavité 89
3.2.3. Lasergrammétrie 90
3.2.4. Géolocalisation 90
3.2.5. Capture LiDAR 95
3.3. Méthodes de modification et traitement de l'information 96
3.3.1. Façonnage du modèle tridimensionnel 96
3.3.2. Préparation des supports pour l'analyse à travers les SIG 98
3.4. Méthodes d'analyse de l'information 101
3.4.1. Systèmes d'Information Géographique 101
3.4.2. Statistiques 108
3.5. Limites de la méthode 111
3.5.1. Choix du chercheur 111
3.5.2. Avantages et contraintes propres au sujet de recherche 116

3.5.3. Entraves techniques 118
3.6. Principes *FAIR* 124
3.6.1. Transparence du processus 124
3.6.2. Reproductibilité de la recherche 126
3.6.3. Libre accès 126
3.7. Conclusion 128
4. Matériaux 131
4.1. Motifs sélectionnés 131
4.2. Sites étudiés 134
4.2.1. Observations générales sur le choix du *corpus* 134
4.2.2. Grotte d'El Castillo 135
4.2.3. Grotte de Fuente del Trucho 142
4.2.4. Grotte de Fuente del Salín 150
5. Résultats 163
5.1. El Castillo 163
5.1.1. Restitution de l'état paléolithique de la cavité 163
5.1.2. Géolocalisation des mains négatives 191
5.1.3. Analyse spatiale 194
5.2. Fuente del Trucho 225
5.2.1. Restitution de l'état paléolithique de la cavité 225
5.2.2. Géolocalisation des mains négatives 231
5.2.3. Analyse spatiale 235
5.3. Fuente del Salín 273
5.3.1. Restitution de l'état paléolithique de la cavité 273
5.3.2. Géolocalisation des mains négatives 286
5.3.3. Analyse spatiale 288
6. Discussion 313
6.1. Qualité des données et pertinence de la méthode 313

6.2. Un motif public ... 316
6.3. Différentes dynamiques spatiales ... 322
6.3.1. Zone de visibilité centrale ... 322
6.3.2. Exemples singuliers – interaction avec le support, jeux entre motifs et visibilité amoindrie ... 329
6.3.3. Marqueurs topographiques ... 338
6.4. Mains, animaux et signes ... 343
6.5. Exécutants multiples, diachronie et fonction(s) des mains négatives ... 355
6.6. Réseaux culturels ... 357
6.7. Synthèse des résultats ... 371
7. Conclusion ... 375
Perspectives futures ... 379
8. Résumés étendus ... 383
8.1. English ... 383
8.1.1. Introduction ... 383
8.1.2. Hypothesis ... 384
8.1.3. Objectives ... 385
8.1.4. State of the art ... 385
8.1.5. Method ... 392
8.1.6. Materials ... 396
8.1.7. Results ... 399
8.1.8. Discussion ... 405
8.1.9. Overview of results ... 412
8.1.10. Conclusions ... 413
8.2. Español ... 419
8.2.1. Introducción ... 419
8.2.2. Hipótesis ... 420
8.2.3. Objetivos ... 421

8.2.4. Estado de la cuestión 421
8.2.5. Método 428
8.2.6. Materiales 432
8.2.7. Resultados 436
8.2.8. Discusión 442
8.2.9. Resumen de los resultados 449
8.2.10. Conclusion 450
9. Bibliographie 457
10. Liste des figures 515
11. Annexes 541
11.1. Coordonnées des mains négatives du *corpus* 541
11.1.1. El Castillo 541
11.1.3. Fuente del Trucho 547
11.1.4. Fuente del Salín 550
11.2. Modèles 3D et scripts 551

Résumé – Summary - Resumen

1.1. Résumé abrégé

1.1.1. Français

Cette thèse porte sur la distribution spatiale des mains négatives dans l'art pariétal paléolithique d'Europe occidentale (40.000 – 12.000 cal. BP). Contrairement aux figures animales ou aux signes, ces motifs ont rarement fait l'objet d'analyses spatiales systématiques. À travers l'étude de trois grottes de la péninsule ibérique (El Castillo, Fuente del Trucho et Fuente del Salín), ce travail mobilise des méthodes innovantes (modélisation 3D, SIG, analyses statistiques) pour évaluer les logiques d'implantation de ces représentations. Les résultats montrent que leur répartition répond à des critères récurrents de visibilité, d'accessibilité et de capacité d'accueil des espaces. D'autres dynamiques spatiales ponctuelles sont également mises au jour, celles-ci pouvant coexister au sein d'une même cavité. Ces choix reflètent des comportements sociaux et symboliques ancrés dans l'organisation de l'espace souterrain. En définitive, cette étude propose un renouvellement méthodologique et met en lumière l'intérêt de l'analyse spatiale dans les réflexions sur la construction symbolique des grottes ornées.

1.1.2. English

This thesis focuses on the spatial distribution of hand stencils in Palaeolithic parietal art in Western Europe (40,000 – 12,000 cal. BP). In contrast to animal figures or abstract signs, these motifs have rarely been subjected to systematic spatial analysis. Through the study of three caves on the Iberian Peninsula (El Castillo, Fuente del Trucho, and Fuente del Salín), this research employs innovative methods — including 3D modelling, GIS, and statistical analyses — to assess the spatial logic underlying the placement of these figures. The results reveal recurring criteria found in decorated areas such as visibility, accessibility, and accommodation capacity. Additionally, singular spatial dynamics are identified, sometimes coexisting within the same cave. These spatial choices reflect social and symbolic behaviours embedded in the organisation of underground spaces. In short, this study offers a methodological renewal and highlights the relevance of spatial analysis in understanding the symbolic construction of decorated caves.

1.1.3. Español

La presente tesis doctoral aborda la distribución espacial de las manos negativas en el arte parietal paleolítico de Europa occidental (40.000 – 12.000 cal. BP). A diferencia de las figuras animales o los signos, estos motivos rara vez han sido objeto de análisis espaciales sistemáticos. A través del estudio de tres cuevas de la península ibérica (El Castillo, Fuente del Trucho y Fuente del Salín), este trabajo recurre a métodos innovadores — como la modelización 3D, los SIG y los análisis estadísticos — para evaluar las lógicas de distribución de estas manifestaciones. Los resultados revelan criterios recurrentes relacionados con la visibilidad, la accesibilidad y la capacidad de los espacios decorados. Asimismo, se identifican diferentes dinámicas espaciales singulares y puntuales, que pueden coexistir dentro de una misma cavidad. Estas elecciones reflejan comportamientos colectivos de carácter social y simbólico, vinculados con la organización del espacio subterráneo. En definitiva, este estudio propone una renovación metodológica y resalta el valor del análisis espacial a la hora de comprender la construcción simbólica existente en las cuevas con arte paleolítico.



INTRODUCTION

1. Introduction

1.1. Prologue

L'art rupestre paléolithique (40.000 – 12.000 cal. BP en Europe occidentale) est l'un des héritages les plus marquants des sociétés de l'époque et l'une des principales sources pour leur étude aujourd'hui. L'observation de ces manifestations graphiques offre de nombreux angles d'approches (GRAPP, 1993). L'un de ceux-ci, emprunté dans ce travail, consiste à voir si les lieux choisis par les Paléolithiques peuvent nous éclairer sur ces pratiques. Outre leur valeur artistique, ces expressions symboliques peuvent en effet nous renseigner sur les objectifs et les comportements des artistes des grottes paléolithiques par l'analyse des lieux et parois choisis pour leur représentation. Plus largement, l'analyse de la distribution des motifs dans les cavités permet d'aborder les conditions historiques et sociales de ces groupes, leurs comportements et leurs motivations.

L'espace de la grotte, lieu unique, complexe et hostile pour l'être humain, est un terrain qui se prête particulièrement bien à ce type d'analyse. En effet, s'aventurer dans de tels endroits est par essence un *choix*. Il ne s'agit pas, comme le notent Moles et Rohmer (1998), d'un espace de passage, mais d'un lieu *où l'on se rend*, dans un but précis. Dans le cas de ces peuples, un de leurs objectifs était de toute évidence la création de motifs, qui ne furent pas organisés au hasard. Ainsi, certaines parois ont été abondamment ornées, tandis que d'autres furent laissées vierges de représentations, malgré leur apparente favorabilité en tant que support, comme l'ont noté de nombreux auteurs (e.g. Sauvet & Sauvet, 1979; Barrière, 1982; Bégouën et al., 2009; Lorblanchet, 2010; Jouteau, 2021, entre autres). L'analyse des critères de décoration, qui ont pu varier au cours des années et des groupes, est donc une source d'information précieuse, en ce qu'elle recèle des informations relevant du monde pratique et symbolique de ces peuples chasseurs-cueilleurs.

Il est intéressant de constater, cependant, que l'étude de cet aspect a été réservé à certaines catégories de motifs de l'art pariétal paléolithique, comme les animaux, par exemple, qui furent au centre d'importantes théories interprétatives basées sur leur distribution spatiale (Laming-Emperaire, 1962; Leroi-Gourhan, 1965; Raphaël, 1986). Les mains négatives, pour leur part, n'ont pas fait l'objet de travaux exhaustifs quant à leur dispersion dans les réseaux souterrains. Lorsque ces motifs ont été abordés, nous le verrons, les débats les concernant ont traité d'aspects spécifiques, comme leur forme (certaines présentant des parties de doigts manquantes), le genre ou l'âge de leurs exécutants ou encore leur technique d'exécution.

Par ailleurs, l'étude spatiale, dans l'histoire de la discipline, a été confrontée à des limites techniques notables dans l'appréhension et l'illustration de l'espace, comme la représentation bidimensionnelle et l'absence de méthodes quantitatives pour la récolte et l'analyse de données (Spaey et al., 2024).

De plus, le type d'informations dont les auteurs disposaient à propos du contexte spatial des figurations était très différent de celles auxquelles nous avons aujourd'hui accès (par rapport à des questions comme la connaissance de l'entièreté du *corpus*, inter et extra-sites, mais aussi de recensement et de communication scientifique des informations, avec les limites de la publication en deux dimensions).

Dans cette thèse, je propose de reprendre cette question de la configuration de l'art pariétal pour l'examiner à la lumière de nouvelles méthodes d'étude.

1.2. Hypothèses de recherche

Sur base de la proposition que l'étude de la dispersion des mains négatives dans les cavités, c'est-à-dire leur organisation dans l'espace souterrain, pourrait nous éclairer sur les dynamiques des groupes sociaux les ayant produites, je pose l'hypothèse principale suivante :

- La distribution des mains négatives est intentionnelle: leur placement résulte de choix de la part des sociétés, qui eux-mêmes dépendent d'une série de critères. Dès lors, il est possible de déterminer les règles de disposition générales pour le phénomène des mains négatives du Paléolithique récent dans leur ensemble.

A cette affirmation générale, j'ajoute une série d'hypothèses secondaires :

(i) Plusieurs systèmes parallèles d'organisation spatiale peuvent coexister, y compris au sein d'une même cavité.
(ii) L'une des caractéristiques de l'emplacement des mains négatives est leur visibilité et la capacité d'accueil des espaces en question, c'est-à-dire la possibilité d'héberger un public.
(iii) Un autre critère considéré lors du choix des lieux les hébergeant est la facilité d'accès aux motifs.
(iv) Certaines mains négatives sont à mettre en lien avec des dynamiques de circulation dans la cavité, ayant une fonction signalisatrice.
(v) Certaines figures de mains ont été disposées en fonction de reliefs particuliers de la paroi, en relation avec ceux-ci.

(vi) L'âge, la latéralité ou l'état de complétude des doigts sont des facteurs qui peuvent induire une répartition différentielle des mains négatives.

(vii) Les mains négatives répondent à des critères de répartition spatiale différents de ceux régissant la distribution des animaux ou des signes.

Dans ce travail, je propose de mettre à l'épreuve ces hypothèses, que je reprendrai dans la discussion (section 0).

1.3. Objectifs généraux

Les objectifs majeurs de cette thèse, connectés aux hypothèses formulées ci-dessus, sont liés à la connaissance des groupes sociaux paléolithiques. En effet, ces manifestations graphiques représentent aujourd'hui une pierre angulaire de la recherche en préhistoire en ce qu'elles constituent un reflet de la pensée de ces groupes. Les mains négatives en sont une forme d'expression. Dispersées sur les parois des cavités, je propose d'étudier leur organisation, dans le but de mieux comprendre les pratiques sociales sous-jacentes à ces choix d'emplacements.

Il est probable, par exemple, que la création d'un motif gravé en quelques traits fins dans un recoin, situé tout au fond d'une cavité, pour lequel des compétences en spéléologie sont nécessaires pour l'atteindre, soit motivé par des logiques symboliques différentes de celles d'une représentation polychrome de plusieurs mètres de long, dans une salle proche de l'entrée. De la même façon, un comportement au niveau du rapport à la paroi, comme l'intégration d'un motif dans une forme naturelle de la roche, ou une recherche de recoins spécifiques, peut être présent systématiquement ou être au contraire complètement absent des pratiques graphiques. De même, les lieux choisis peuvent accueillir facilement un public de plusieurs dizaines d'individus ou ne permettre la présence simultanée que d'une ou deux personnes. Tous ces éléments sont des indices qui, indirectement, nous rapprochent des symboles et des traditions sociales présentes derrières ces pratiques. Ce sont les marques de comportements, peut-être de cultures différentes, dont la trace est restée gravée sur ces parois.

Or, l'analyse d'espaces comme les cavités souterraines, qui sont toutes différentes, est complexe, comme nous le verrons dans la section 2.2. De plus, pour tenter de reconstituer les gestes de ces sociétés, il est nécessaire de nous rendre dans les espaces qu'elles ont occupés tels qu'ils étaient au Paléolithique récent. Par une méthode proposant un retour virtuel dans le passé, je tenterai donc d'appliquer une analyse spatiale systématique et quantitative aux motifs de mains, pour dévoiler les logiques qui sous-tendent toutes ces décisions.

En conclusion, il s'agit, à travers l'étude d'un motif spécifique, la *main négative*, de développer une méthode nouvelle pour l'analyse de son organisation spatiale dans les cavités, pour obtenir de plus amples informations sur les logiques symboliques des groupes de chasseurs-cueilleurs les ayant réalisées.

1.4. Organisation du présent travail

Ce travail se structure de la manière suivante :

Chapitre 1 - Introduction

Cette section introductive a pour objectif de présenter les hypothèses et objectifs généraux du travail.

Chapitre 2 - État de la question

Dans ce chapitre, je fais un état des connaissances sur les mains négatives, sur la question de l'analyse spatiale dans l'étude de l'art pariétal paléolithique et sur l'utilisation des techniques géomatiques en archéologie.

Concernant les mains, j'aborde l'ampleur du phénomène, chronologiquement et géographiquement, d'un point de vue général. Je vois ensuite des questions plus ponctuelles à propos de leur technique, des analyses paléodémographiques qui y sont liées, des travaux traitant de leur distribution spatiale et enfin les propositions d'interprétation de ce motif dans la littérature existante.

Par rapport à la question de l'analyse spatiale, je parle de l'espace tel qu'il a été traité et étudié dans l'histoire de l'étude de l'art pariétal, puis intègre de nouveaux aspects pouvant enrichir cette perspective, à partir de disciplines voisines, la philosophie et l'anthropologie.

Je fais ensuite un état des lieux sur l'application des méthodes numériques dans l'étude de l'art rupestre, en particulier pour ce qui concerne les outils tridimensionnels et les *Systèmes d'Information Géographique*.

Enfin, je propose une approche préliminaire de la situation des mains négatives dans les réseaux avec des méthodes traditionnelles d'analyse spatiale, pour les mettre à l'épreuve et proposer un état des lieux.

Chapitre 3 - Méthode

Je passe ensuite à une section détaillant la méthode, qui est un axe majeur de ce travail.

J'y présente la structure générale choisie, à différentes échelles d'analyse, puis détaille les méthodes de collecte de l'information utilisées, celles de traitement de l'information et les méthodes d'analyses spatiales spécifiques à ce travail.

Je complète ce chapitre par un passage sur les limites de la méthode (avec les choix et complexités inhérentes à celle-ci) ainsi que les principes *FAIR* de la science ouverte.

Chapitre 4 - Matériaux

Cette partie est introduite par une discussion sur les raisons du choix du *corpus*, au niveau du type de motifs et de la liste de cavités sélectionnés. Suite à cela, je présente chaque cavité individuellement, avec une brève historiographie et des éléments de datation et de géomorphologie.

Chapitre 5 - Résultats

Je détaille dans cette section les résultats obtenus pour chacune des cavités. D'abord en abordant le travail de restitution de l'état paléolithique de la cavité, puis celui de géolocalisation des mains négatives et je termine enfin par une présentation exhaustive de l'analyse spatiale effectuée.

Chapitre 6 - Discussion

Dans la discussion, j'aborde d'un point de vue général les questions de qualité des données, pour chaque grotte étudiée, et de pertinence de la méthode proposée. Je poursuis par une proposition d'interprétation du motif de la main négative comme un motif public et développe les différentes dynamiques spatiales rencontrées dans ce travail. La question de la distribution des mains négatives est également comparée à celle d'autres motifs présents dans les grottes, comme les animaux ou les signes. Je propose ensuite une série de réflexions sur la multiplicité des exécutants de mains négatives, sur leur possible diachronie et de potentielles fonctions de ces motifs. Enfin, je suggère une hypothèse relative à la présence de réseaux culturels transpyrénéens durant le Gravettien sur base des données de Fuente del Trucho et des parallèles avec d'autres sites ornés de mains négatives aux doigts manquants.

Chapitre 7 - Conclusion

Enfin, la conclusion me permet de synthétiser les apports de ces recherches et les enjeux soulevés. J'y adresse les hypothèses présentées au début du travail à la lumière des résultats obtenus et propose d'autres types de développement pour la méthode et son application à plus large échelle, d'un point de vue thématique, diachronique, synchronique et géographique.

1.5. Highlights

Voici, en quelques mots, les points clefs de ce travail de recherche :

- Une méthode intégrative a été proposée, approfondissant l'utilisation des nouvelles technologies et des outils tridimensionnels dans l'étude de l'art pariétal, en combinant : (i) la documentation d'archives avec (ii) les analyses géomorphologiques modernes et la reconstruction virtuelle en 3D, (iii) les *Systèmes d'Information Géographique* et (iv) l'analyse statistique.
- L'analyse des patrons de dispersion des mains négatives a permis de mettre en avant des tendances spatiales marquées, comme une forte accessibilité et visibilité générale dans les trois cavités étudiées, permettant la présence d'un large public.
- Au-delà de ces caractéristiques communes, des exemples singuliers ont été mis au jour, témoignant de la coexistence de plusieurs dynamiques spatiales au sein d'une même cavité.
- Une différence de gestion spatiale a été constatée entre les mains négatives et les autres types de motifs, comme les animaux et les signes.
- La présence de combinaisons de doigts singulières à Fuente del Trucho suggère la présence d'un réseau d'échanges avec la grotte de Gargas, de l'autre côté des Pyrénées.
- Cette approche met en lumière certaines des complexités du phénomène de la main négative comme motif éminemment social et fournit donc de nouveaux indices importants sur les pratiques symboliques qui y sont associées.



ÉTAT DE LA QUESTION

2. État de la question

Dans ce chapitre, je propose d'aborder l'état des connaissances sur les différentes thématiques de cette thèse. Nous verrons ainsi plus en détail le phénomène des mains négatives en Europe occidentale (section 2.1), du point de vue de son étendue géographique, son cadre chronologique, ses techniques, ses formats (les cas des mains aux doigts manquants), les études relatives aux individus les ayants exécutées, leur distribution spatiale et enfin les tentatives d'interprétation de ce motif dans la littérature.

J'approfondirai ensuite les observations et propositions que les chercheurs ont effectuées sur le thème de l'espace des grottes ornées (section 2.2), et terminerai par l'examen de l'état des lieux de l'application des techniques digitales en archéologie et dans l'étude de l'art pariétal en général (section 2.3).

2.1. Phénomène des mains négatives en Europe occidentale

Concentrons-nous tout d'abord sur la question des mains négatives et tous les sujets satellites s'y rapportant.

2.1.1. Ampleur du phénomène et répartition géographique

Les mains négatives sont un motif pariétal que l'on retrouve dans de nombreuses cultures, à des époques variées, disséminées sur les continents. En dehors de l'Europe, elles sont présentes en Afrique du Nord (Le Quellec, 2016), en Amérique du Sud (Onetto & Podestá, 2011; Sepúlveda et al., 2016; Guichón & Re, 2020), en Asie (Fage, 2010; Aubert et al., 2014) ou encore en Océanie (Moore, 1977; Quinnell & McBryde, 1977; Walsh, 1979; Ballard et al., 1992; Arifin & Delanghe, 2004; Tsang et al., 2022) à des époques allant de l'aube du Paléolithique récent (Aubert et al., 2018b) à notre époque (Tsang et al., 2023).

Pour ce qui du phénomène qui nous intéresse ici, c'est-à-dire des mains négatives du Paléolithique récent en Europe occidentale, j'ai recensé un total de 653 mains négatives, réparties en France (55,9%), en Espagne (43,19%), en Italie (0,77%) et à Gibraltar (0,15%) (Figure 1).

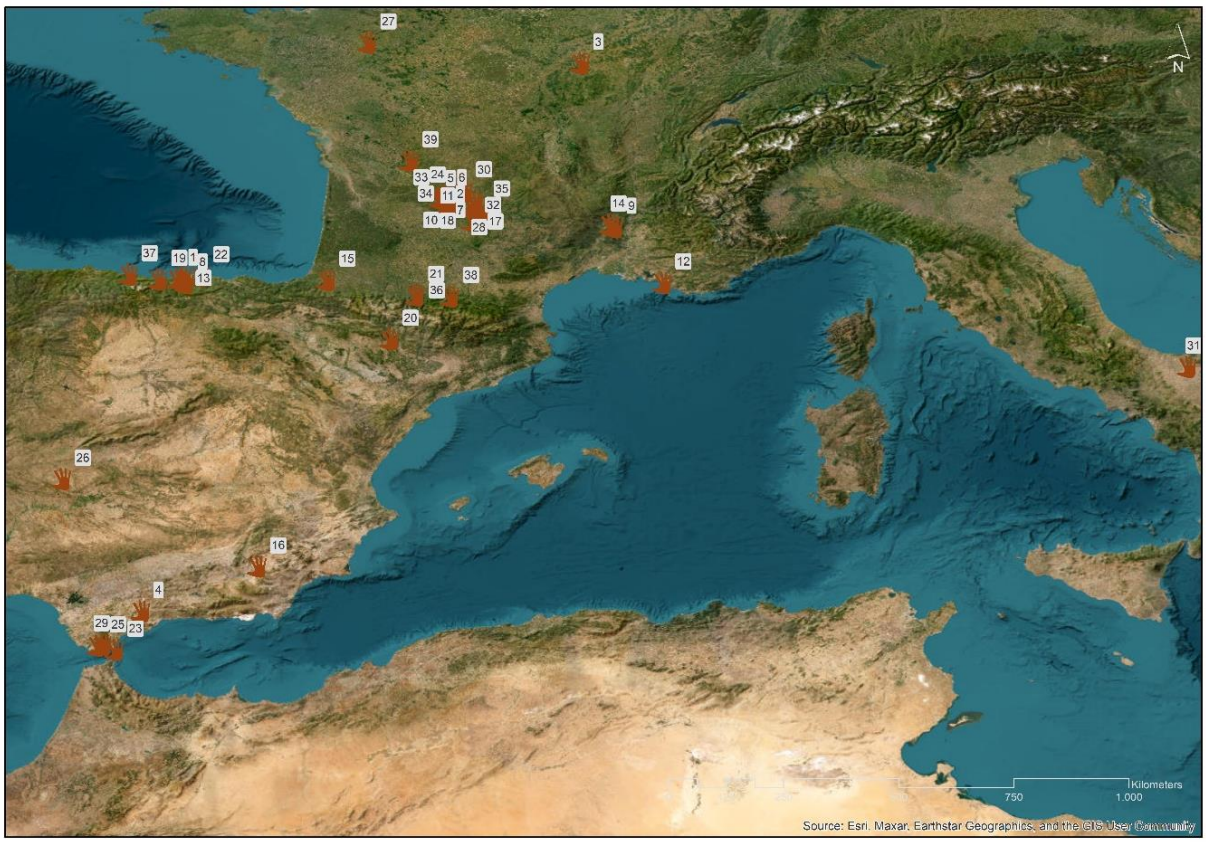


Figure 1. Répartition du *corpus* de mains négatives du Paléolithique récent en Europe occidentale (chaque icône représente la présence d'au moins une main négative dans la grotte ou l'abri en question). **1**. Altamira, **2**. Archambeau, **3**. Arcy-sur-Cure (Grande Grotte), **4**. Ardales, **5**. Bernifal, **6**. Beyssac, **7**. Bison, **8**. El Castillo, **9**. Chauvet, **10**. Combarelles, **11**. Combe-Nègre I, **12**. Cosquer, **13**. El Cudón, **14**. Gouffre d'Emilie, **15**. Erberua, **16**. Las Estrellas, **17**. Les Fieux, **18**. Font de Gaume, **19**. Fuente del Salín, **20**. Fuente del Trucho, **21**. Gargas, **22**. La Garma, **23**. Gorham, **24**. Labattut, **25**. Las Palomas IV, **26**. Maltravieso, **27**. Margot, **28**. Les Merveilles, **29**. La Montera del Torero, **30**. Moulin de Laguenay, **31**. Paglicci, **32**. Pech-Merle, **33**. Abri du Poisson, **34**. Roc de Vézac, **35**. Roucadour, **36**. Tibiran, **37**. Tito Bustillo, **38**. Les Trois-Frères et **39**. Vilhonneur.

A ce jour, la France compte ainsi 25 cavités ou abris, avec un total de 365 mains négatives, l'Espagne 12 avec 282 motifs, l'Italie un site avec 5 mains négatives et Gibraltar un site également hébergeant une seule main (Tableau 1).

Les découvertes, qui commencèrent avec la fameuse grotte d'Altamira en 1879 (bien que les mains ne soient remarquées qu'en 1902 et publiées en 1906 par Breuil et Cartailhac), se multiplièrent au cours du 20ème siècle, jusqu'à dernièrement, avec la grotte de Cosquer en 1992 (Clottes et al., 1992a), celle de Chauvet en 1994 (Chauvet et al., 1995), de La Garma en 1995 (Arias Cabal et al., 1996) ou encore certaines découvertes plus récentes dans le sud de l'Espagne, comme celle des mains négatives de Las Palomas IV en 2018 (Collado Giraldo et al., 2020).

Tableau 1. Recensement des grottes contenant des mains négatives du Paléolithique récent en Europe occidentale.

Grotte/Abri	***Pays***	***Province/ Département***	***Nombre de mains négatives***	***Source***
Altamira	Espagne	Cantabrie	**7**	(Collado Giraldo, 2018)
Archambeau	France	Dordogne	**1**	(Delluc & Delluc, 1973)
Arcy-sur-Cure (Grande Grotte)	France	Yonne	**8**	(Baffier et al., 2024)
Ardales	Espagne	Málaga	**2**	(Collado Giraldo, 2018)
Beyssac	France	Dordogne	**1**	(Capitan & Breuil, 1915)
Bernifal	France	Dordogne	**2**	(Collectif, 1984)
Bison	France	Dordogne	**3**	(Raux, 2018)
El Castillo	Espagne	Dordogne	**77**	(Collado Giraldo, 2018)
Chauvet	France	Ardèche	**5**	(Clottes et al., 2001)
Combarelles	France	Dordogne	**1**	(Man-Estier et al., 2015)
Combe-Nègre I	France	Lot	**1**	(Feruglio et al., 2007)
Cosquer	France	Bouches-du-Rhône	**65**	(Clottes et al., 2005)
Cudón	Espagne	Cantabrie	**2**	(Collado Giraldo, 2018)
Gouffre d'Emilie	France	Ardèche	**2**	(Gély et al., 2019)
Erberua	France	Pyrénées-Atlantiques	**5**	(Garate, 2017)
Estrellas	Espagne	Cádiz	**5**	(Collado Giraldo et al., 2019)
Fieux	France	Lot	**14**	(Lorblanchet, 2010)
Font de Gaume	France	Dordogne	**4**	(Plassard, 2005)
Fuente del Salín	Espagne	Cantabrie	**33**	(Collado Giraldo, 2018)
Fuente del Trucho	Espagne	Huesca	**59**	(Collado Giraldo, 2018)
Gargas	France	Hautes-Pyrénées	**192**	(Groenen, 1990)
Gorham	Gibraltar	Gibraltar	**1**	(Simón-Vallejo et al., 2018)
La Garma	Espagne	Cantabrie	**36**	(Collado Giraldo, 2018)
Labattut	France	Dordogne	**1**	(Delluc & Delluc, 1991)
Las Palomas IV	Espagne	Cádiz	**3**	(Collado Giraldo et al., 2020)
Maltravieso	Espagne	Cáceres	**59**	(Collado Giraldo & García Arranz, 2022)
Margot	France	Mayenne	**3**	(Pigeaud et al., 2006)
Merveilles	France	Lot	**6**	(Lorblanchet, 2010)
Montera del Torero	Espagne	Cádiz	**1**	(Torres Riesgo et al., 2024)
Moulin de Laguenay	France	Corrèze	**2**	(Pigeaud & Primault, 2006)
Paglicci	Italie	Foggia	**5**	(Zorzi, 1964)
Pech-Merle	France	Lot	**11**	(Lorblanchet, 2010)
Poisson	France	Dordogne	**1**	(Delluc & Delluc, 1991)
Roc de Vézac	France	Dordogne	**2**	(Collectif, 1984)
Roucadour	France	Lot	**13**	(Lorblanchet, 2010)
Tibiran	France	Hautes-Pyrénées	**11**	(Groenen, 1990)
Tito Bustillo	Espagne	Asturies	**1**	(De Balbin-Behrmann, 1989)
Trois-Frères	France	Ariège	**7**	(Bégouën et al., 2014)
Vilhonneur	France	Charente	**1**	(Henry-Gambier et al., 2007)

Total de Mains négatives	**653**		
Total en France		365	55, 90 %
Total en Espagne		282	43,19 %
Total en Italie		5	0,77 %
Total à Gibraltar		1	0,15 %
Total de Grottes ou Abris	**39**		
Total en France		25	64,10 %
Total en Espagne		12	30,77 %
Total en Italie		1	2,56 %
Total à Gibraltar		1	2,56 %

2.1.2. Cadre chronologique

Pour ce qui est de leur cadre chronologique, il fut observé très tôt que les mains négatives étaient sous-jacentes aux autres figures (Alcalde del Río et al., 1911; Sahly, 1966; Verbrugge, 1977; Nougier, 1984; Barrière & Suères, 1993), et les mains furent alors caractérisées comme étant parmi les motifs les plus anciens de l'Humanité, situées dans les premières couches de la « stratigraphie pariétale » de l'abbé Breuil (Breuil, 1952). Par la suite, tout en restant situées dans la période ancienne, elles virent leur cadre chronologique se préciser.

La communauté scientifique en général semble aujourd'hui s'accorder sur leur chronologie gravettienne (Lorblanchet, 1995, 2010; González Sainz, 1999; Ripoll López et al., 1999; Fortea Pérez, 2005; Foucher et al., 2007; Jaubert, 2008; Petrognani, 2009; Feruglio et al., 2011; García-Diez & Garrido, 2012; Pettitt et al., 2015a; Groenen, 2016), même si certaines discussions subsistent, notamment à propos de dates obtenues avec la méthode Uranium/Thorium (Hoffmann et al., 2018a, 2018b; Pearce & Bonneau, 2018; Aubert et al., 2018a; White et al., 2020; Standish et al., 2025) ainsi que de certaines dates faisant exception en sortant de ce cadre chronologique[1] (Moure Romanillo & González Morales, 1992; Simón-Vallejo et al., 2018).

Des datations directes (^{14}C) (Tableau 2) ont été réalisés à la grotte Cosquer (Clottes et al., 1992b, 1995), à la grotte de Fuente del Salín (González Morales & Moure Romanillo, 2008) et à Gorham's Cave (Simón-Vallejo et al., 2018).

[1] Les dates obtenues pour la grotte de Gorham ainsi que celles de Fuente del Salín sont en effet plus jeunes. Dans ce dernier cas, les auteurs évoquent la possibilité de contamination de l'échantillon (voir plus loin). Dans le premier, à Gorham, les auteurs précisent que l'échantillon de datation a dû être constitué de différents prélèvement d'un halo, ensuite unis. Par ailleurs, ils stipulent que l'échantillon n'a pas subi le prétraitement conventionnel auquel sont actuellement soumis les échantillons de carbone (ninhydrine et surtout ultrafiltration) et le rapport $^{13}C/^{12}C$ n'a pas pu être mesuré (Simón-Vallejo et al., 2018, p. 22).

Par association, contexte ou superposition, nous disposons également de datations indirectes pour l'Abri Labattut et l'Abri du Poisson (Delluc & Delluc, 1991), El Castillo (Valladas et al., 1992), la Fuente del Salín (Moure Romanillo & González Morales, 1992), Gargas (Clottes et al., 1992c), la Grande Grotte d'Arcy-sur-Cure (Girard et al., 1995), Pech-Merle (Lorblanchet et al., 1995), Vilhonneur – Les Garennes (Airvaux et al., 2006), Moulin de Laguenay (Pigeaud & Primault, 2007) et Chauvet (Feruglio et al., 2011).

Enfin, nous disposons de dates indirectes par la méthode Uranium/Thorium pour les grottes de La Garma (González Sainz, 2005), El Castillo (Pike et al., 2012; García-Diez et al., 2015), Fuente del Trucho (Hoffmann et al., 2017) et Maltravieso (Hoffmann et al., 2018a). Celles-ci renvoient à une série de datations dont certaines sont très récentes (de périodes historiques) et d'autres très anciennes (antérieures au Paléolithique récent). Il faut cependant noter que la méthode de datation par Uranium/Thorium peut être sujette à de nombreuses imprécisions, qui ont pour résultat un vieillissement significatif des résultats (Sauvet, 2015). Nous pouvons l'observer dans le cas d'une grotte ornée à Bornéo, Gua Saleh, avec entre autres motifs une main négative noire, pour laquelle la datation ^{14}C a donné 9.000 ± 1.000 BP. Les résultats de l'analyse par la méthode Uranium/Thorium, ont, de leur côté, présenté des résultats contrastés : pour la draperie stalagmitique en question, l'âge de 9.800 BP a été obtenu pour un échantillon pris à la base de la draperie, tandis que celui de 27.000 BP a été trouvé pour un échantillon près du bord extérieur de celle-ci. Ces résultats indiqueraient que la calcite n'a pas constitué un système clos (condition nécessaire pour l'application de cette méthode de datation), et qu'il y a sans doute eu un lessivage de la paroi par l'eau, qui a éliminé une grande partie de la concentration en uranium et ainsi faussé largement la datation (Plagnes et al., 2003). En d'autres mots, comme le présente Groenen (2016, p. 91) : « (…) le problème principal porte sur le fait que nous ne disposons pas encore d'un référentiel valable pour évaluer une méthode dont les résultats contredisent les nombreuses dates obtenues par le radiocarbone. ».

Dans l'ensemble, les informations en présence convergent pour définir les mains négatives comme un phénomène essentiellement gravettien, dans une unité culturelle particulièrement intéressante car peu commune. En effet, dans l'état actuel des connaissances, il existe peu de motifs que nous puissions restreindre chronologiquement de la sorte, à l'exception de certains signes complexes (ex. : quadrangulaires cloisonnés, signes de type Placard, etc.). Cette unité nous permet de les considérer comme un phénomène esthétique spécifique et présente un socle solide pour nos essais d'interprétations de ces ensembles de motifs en tant que manifestations culturelles.

Tableau 2. Datations liées aux mains négatives du Paléolithique récent en Europe occidentale.

Site	Date AMS Année BP	Âge calibré BP[2]	Code de laboratoire	Origine	Source
Datation directe					
Cosquer	27.110±400	30.006-28.429	GifA-92409	Main négative 7 (Panneau I)	(Clottes et al., 1992b, 1995; Valladas et al., 2017)
	26.180±330	29.112-28.026	GifA 92424		
	27.110±350	29.918-28.759	GifA-92491		
	24.840±340	28.012-26.437	GifA-95358	Main négative 12 (Panneau III)	(Clottes et al., 1995)
	23.150±620	26.816-24.293	GifA-95372		
	27.740±410	31.047-29.165	GifA-96073	Main négative 19 (Panneau III)	
	26.900±290	29.497-28.785	GifA14172/ SacA39203	Main négative 1	(Valladas et al., 2017)
	26.310±270	29.096-28.146	GifA14173/ SacA39204	Main négative 9	
Gorham's Cave	16.990±90	18.855-18.367	Beta-238027	Main négative 1	(Simón-Vallejo et al., 2018)
Fuente del Salín	18.200 ± 70 (potentielle contamination de l'échantillon)[3]	20.381-20.051	GX-27.757	Main négative	(González Morales & Moure Romanillo, 2008)
Datation indirecte par association ou superposition					
Abri Labattut	Gravettien	25.500−29.500	-	Main négative sur un bloc effondré dans une couche gravettienne	(Delluc & Delluc, 1991)
Abri du Poisson	Gravettien	-	-	Plafond orné antérieurement effondré	(Delluc & Delluc, 1991)
El Castillo	>13.060±200	> 14.307-13.153	GifA-91004	Bison 18a sur mains négatives rouges	(Valladas et al., 1992)
	> 13.520±130	>14.799-13.942	GifA-96068		
	12.620±110	>13.386-12.828	GifA-96079		

[2] Le calcul des datations calibrées a été effectué le 06/04/2025 à travers le site internet https://c14.arch.ox.ac.uk/, avec le logiciel *OxCal* v4.4 de Bronk Ramsey (2021) ; r300 ; Données atmosphériques de Reimer et al. (2020) (à l'exception de celle de l'abri Labattut).

[3] Les auteurs soulignent qu'il est possible que cet échantillon ait fait l'objet d'une contamination organique à cause de son contexte, en raison de l'abondante circulation d'air et de la présence de nombreux insectes sur les parois, liées à la proximité de l'extérieur (González Morales & Moure Romanillo, 2008).

	>12.910±180	>14.072-12.964	GifA-91172	Bison 18b sur mains négatives rouges	
Fuente del Salín	22.340 +510/-480	24.961-24.633	GrN18574	Charbon provenant du foyer d'une couche archéologique près des mains négatives	(Moure Romanillo & González Morales, 1992; González Morales & Moure Romanillo, 2008)
	22.580±100	25.251-24.874	GX-27756-AMS	Charbon provenant du foyer d'une couche archéologique près des mains négatives	
	23.190±900	27635-23.912	GX-29438	Fragments osseux trouvés en superficie près des mains négatives	
Gargas	26.860 ± 460	29.837-28.172	GiFA-92369	Restes osseux insérés dans des fissures de la paroi près du panneau des mains	(Clottes et al., 1992c)
Grande Grotte d'Arcy	28.250 ± 430	31.737-29.426	-	Charbon	(Girard et al., 1995)
	27.630 ± 400	30.931-29.071	-	Charbon	
	26.700 ± 410	29.591-28.163	-	Fragment d'os brûlé	
	26.100 ± 390 (fraction humique)	29.176-27.714	-		
	24.660 ± 330 (Gif/Y.)	27.847-26.117	-	Fragment d'os brûlé	
	26.250 ± 500 (Oxford)	29.315-27.533	-	Fragment d'os brûlé	
Pech-Merle	24.640 ± 390	27.891-26.009	GifA-95357	Cheval ponctué juxtaposé aux mains négatives	(Lorblanchet et al., 1995)
Grotte de Vilhonneur (Les Garennes)	27.110 ± 210	29.666-29.024	Beta - 216141	Côte humaine n°18 trouvée dans la cavité	(Airvaux et al., 2006; Henry-Gambier et al., 2007)
	26.790 ± 190	29.278-28.762	Beta - 216142	Côte humaine n°19 trouvée dans la cavité	
	28.520 ± 230	31.583-29.988	Beta - 216143	Côte d'hyène trouvée dans la cavité	

Moulin de Laguenay	26.770 ± 380	29.628-28.247	-	Couche archéologique située en dessous des peintures	(Pigeaud & Primault, 2007)
Chauvet	<26.340±30	<29.146-28.115	GifA-101468	Possible mammouth situé en dessous d'une main négative	(Feruglio et al., 2011)
Datation indirecte par la méthode U/Th					
La Garma	Date approximative de 28.500 (U/Th)	-	-	Coulée de calcite superposée à une tache rouge à proximité d'une main négative	(González Sainz, 2005)
El Castillo	>24.340±120 (U/Th) (Âge corrigé)	-	O-58	Superposition d'une main négative ponctuée du *Plafond des Mains*	(Pike et al., 2012)
	>37.630±340 (U/Th) (Âge corrigé)	-	O-82	Echantillon superposé à une main négative rouge, sous le bison jaune du *Plafond des Mains*	
	>41.400 ± 570 (U/Th) (Âge corrigé)	-	O- 83	Echantillon superposé à un disque rouge du *Plafond des Mains*	
Fuente del Trucho	>25.110 (U/Th)	>25.110	FT-1a	Main négative 1a	(Hoffmann et al., 2017)
	>26.050 (U/Th)		FT-1b	Main négative 1b	
	>25.200 (U/Th)		FT-2b	Main négative 2a	
	>25.720 (U/Th)		FT-2c	Main négative 2c	
	>26.400 (U/Th)		FT-8	Main négative 8	
	>26.730 (U/Th)		FT-9	Main négative 9	
	>26.240 (U/Th)		FT-10	Main négative 10	
	>27.370 (U/Th)		FT-11	Main négative 11	

Maltravieso	>5.870 (U/Th)	-	MAL 1C (P III)	Echantillon superposé à une main négative rouge	(Hoffmann et al., 2018a; Standish et al., 2022)
	> 13.400 (U/Th)	-	MAL 22 (P III)		
	> 6.010 (U/Th)	-	MAL 2B+2C (P IV)		
	> 7.390 (U/Th)	-	MAL 3B (P IV)		
	> 5.930 (U/Th)	-	MAL 6C (GS I)		
	> 6.100 (U/Th)	-	MAL 7C/D (GS I)		
	> 20.650 (U/Th)	-	MAL 4B (GS II)		
	> 32.270 (U/Th)	-	MAL 18A (GS II)		
	> 6.200 (U/Th)	-	MAL12A (GS III)		
	> 66.710 (U/Th)	-	MAL13A (GS III)		
	> 23.120 (U/Th)	-	MAL15B (GS III)		
	> 35.270 (U/Th)	-	MAL15F (GS III)		
	> 55.240 (U/Th)	-	MAL17D (GS III)		
	> 14.710 (U/Th)	-	MAL19A (GS III)		
	> 46.600 (U/Th)	-	MAL 25D (GS III)		
	> 39.070 (U/Th)	-	MAL26 (GS III)		
	> 30.540 (U/Th)	-	MAL27 (GS III)		
	> 22.800 (U/Th)	-	MAL28D (GS III)		
	>8.020 (U/Th)	-	MAL 5A (GS III)		
	> 34.610 (U/Th)	-	MAL 8A (GS IV)		
	> 31.750 (U/Th)	-	MAL 8B (GS IV)		
	> 45.560 (U/Th)	-	MAL 21G (GS IV)		
	> 24.370 (U/Th)	-	MAL 10A (GS IV)		

2.1.3. Technique

Les mains se présentent dans l'art paléolithique sous plusieurs formes. Sur les parois des grottes, on trouve des mains positives (pigment appliqué sur la main puis sur la paroi), négatives, peintes, gravées, sculptées ou encore des empreintes. Quelques exemplaires gravés ont également été identifiés dans l'art mobilier. Pour ce qui est des mains négatives elles-mêmes, qui sont l'objet de ce travail (à l'exclusion des autres catégories susmentionnées), plusieurs auteurs se sont penchés sur la question de leurs techniques de réalisation, sur lesquelles je vais m'attarder ici.

Les mains négatives paléolithiques peuvent être de différentes couleurs. A ce jour, nous connaissons des exemplaires de couleur rouge (la plus fréquente, avec différentes tonalités, pouvant aller vers le mauve, tirés d'argiles et d'hématites), noir (de charbon ou d'oxyde de manganèse), jaune (de goethite), blanc (de talc et chlorite) et marron (d'argile) (Groenen, 1997).

Pour ce qui est de la technique d'exécution, plusieurs auteurs se penchèrent sur la question, au travers d'expérimentations, pour déterminer de quelle manière les mains négatives pouvaient avoir été réalisées (Leroi-Gourhan, 1967; Lorblanchet, 1980, 1991, 1993, 1995, 2010; Groenen, 1988; Vaquero Turcios, 1995; Fernández-Navarro et al., 2025). A l'exception de Leroi-Gourhan (1967), qui défend que « Quoique la pulvérisation à distance ne soit pas théoriquement exclue, le procédé le plus approchant de l'effet des mains originales consiste à poser à l'aide d'une brosse (simple touffe de crins alignés et liés) la poudre d'ocre sur la paroi humide » (Leroi-Gourhan, 1967, p. 109), les auteurs s'accordent pour dire que les mains négatives semblent avoir été réalisées en grande majorité par projection de pigment liquide, la main posée sur la paroi faisant office de pochoir. Ceci peut se faire par application du colorant liquide à travers un tube creux, comme le suggèrent certains vestiges archéologiques, tels les os d'oiseaux trouvés dans la grotte d'Altamira, à l'intérieur desquels furent détectées des traces de pigment rouge (Montes-Barquín et al., 2004) (Figure 2), comme le défendent Malvesin-Fabre *et al.,* (1954) et Verbrugge (1970). Une autre option est la projection du pigment par la bouche, comme le proposèrent très tôt d'autres auteurs (Luquet, 1926; Casteret, 1930; Sahly, 1966; Barrière, 1977). Il faut noter, cependant, comme le présente Lorblanchet (2010), que certains pigments, comme l'oxyde de manganèse, sont toxiques. Cette observation compromet dès lors la plausibilité d'une hypothèse générale de pulvérisation directe par la bouche.

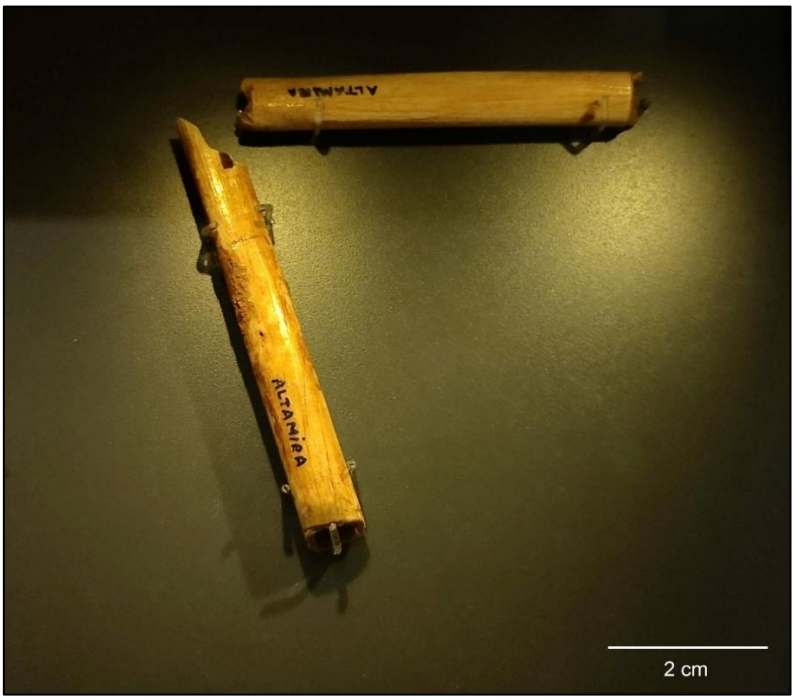


Figure 2. Os d'oiseaux (possibles aérographes) de la grotte d'Altamira dans lesquels furent détectées des traces de pigment rouge[4].

[4] Sauf mention contraire, toutes les illustrations présentées dans ce travail appartiennent à O. Spaey.

Dans le cadre de cette thèse, en collaboration avec V. Fernández-Navarro, A. Torres et M.-D. Mesa, nous avons créé un programme expérimental qui avait pour objectif de confirmer ces observations et de tester une série de procédés d'exécution de mains négatives (Fernández-Navarro et al., 2025b). Ceci, afin d'évaluer l'hypothèse de techniques alternatives pour créer ce halo diffus caractéristique des exemples archéologiques (Tableau 3, Figure 3).

Tableau 3. Liste des techniques composant le programme expérimental avec les caractéristiques de chaque technique réalisée (Fernández-Navarro et al., 2025b).

N°	Technique	Type de pigment	Type de paroi	Résumé des caractéristiques
A	Pinceau	Sec	Humide	Technique caractérisée par un aspect opaque et homogène. Le halo est continu, aux bords abrupts et complètement conditionné par la volonté de l'exécutant. Les traces des coups de pinceau sont discernables, ainsi que celles des poils à certains endroits.
B	Pinceau	Liquide	Sèche	Technique très similaire d'aspect à la première (A), si ce n'est que dans ce cas-ci les coups de pinceau sont moins visibles. La forme du halo, très opaque, aux bords abrupts, est également tout à fait soumise à la volonté de l'exécutant.
C	Pinceau. Peinture lancée avec force	Liquide	Sèche	Technique qui peut être réfutée avec une sécurité assez ferme. La forme de la main n'est pas perceptible, les écoulements et les traces de lancer de la peinture ne permettent pas la définition du motif.
D	Pinceau au poil court utilisé par projection indirecte (poils ramenés vers soi et relâchés)	Liquide	Sèche	Technique donnant un résultat très peu homogène, qui ne permet pas d'apprécier la forme du négatif de la main. Les gouttes projetées sont très grandes et séparées. La forme du halo est irrégulière.
E	Tampon	Sec	Humide	Technique présentant un résultat très caractéristique en ce qu'elle forme une forme de contour dessiné, où les espaces interdigitaux sont absents. La largeur de l'outil crée en effet une impression de largeur de doigts ne correspondant pas à la réalité. Les tracés du tampon sont observables, et le halo formé est abrupt. Nous observons également que la surface peinte n'est pas homogène car le pigment ne pénètre pas dans les anfractuosités de la paroi.
F	Tampon	Liquide	Sèche	Technique très similaire à celle du tampon avec pigment sec sur paroi humide, qui donne un aspect similaire de doigts aux espaces interdigitaux peu dessinés et très larges. Les traces du tampon sont également visibles et son contour est dessiné, très caractéristique. De même, le pigment n'atteint pas les anfractuosités du support.

G	Doigt	Sec	Humide	Technique qui présente, tout comme celles de tampon, un aspect dessiné caractéristique. Le contour est fort défini, dépendant de la volonté de l'exécutant, et le pigment ne se glisse pas dans les irrégularités du support. L'aspect général est assez proche de la technique du pinceau, sans présenter toutefois les traces de poils ni de traits. Nous observons également que le pigment est fort condensé.
H	Doigt	Liquide	Sèche	Technique qui présente un contour brut dessiné très homogène et caractéristique. Tout comme pour l'application au doigt du pigment sec sur paroi humide, la peinture n'atteint pas les petites zones creuses de la paroi.
I	1 tube. Eau dans la bouche	Sec	Sèche	Technique caractérisée par un pigment très dilué, avec peu d'opacité, ne permettant pas de définir la main de façon appréciable.
J	1 tube. Projection de peinture liquide	Liquide (sec mélangé en bouche)	Sèche	Technique définie par une définition très faible de la main, due à au caractère fort liquide de la peinture. Cette caractéristique fait que celle-ci se glisse entre la main et la paroi, ce qui empêche le dessin des doigts. Le halo est peu diffus.
K	1 tube. Projection de pigment sec	Sec	Humide (grotte)	Technique convaincante, qui donne un résultat défini et très net. Le halo est doux et la surface est homogène et brillante. Elle est cependant légèrement moins opaque que celles des techniques venturi et de la projection buccale de peinture liquide. La technique est néanmoins un peu fastidieuse, car nécessite de remplir le tube de pigment (au moins 7 fois pour une main négative), ce qui nécessite l'intervention d'au moins deux individus. Autour de la forme s'identifient de nombreux petits grumeaux d'hématite, appuyés sur les irrégularités de la paroi.
L	Aérographe (effet *venturi*)	Liquide	Sèche (grotte)	Technique très efficace, rapide et nette, donnant un résultat probant avec un halo doux ainsi qu'une surface homogène et opaque. Elle ne présente pas de traces de coulures.
M	1 tube	Sec	Sèche (grotte)	Technique aux résultats tout à fait équivalents à celle du tube de pigment sec sur paroi humide (K). Le pigment est bien fixé sur la paroi.
N	Projection buccale directe	Liquide	Sèche (grotte)	Technique probante, rapide et efficace, nécessitant cependant de la part de l'exécutant une gestion spécifique et un potentiel entraînement pour que le résultat soit au rendez-vous. Éventuelle présence de coulures et de gouttes plus grandes en fonction de l'habileté du souffleur.

Après application sur support rocheux en extérieur, les techniques les plus convaincantes furent réalisées dans la grotte expérimentale de Isuntza I/Zubiburua (Lekeitio, Pays Basque), offrant un cadre idéal pour la reproduction des techniques préhistoriques (Figure 3, K à N).



Figure 3. Résultats finaux de chaque technique du processus expérimental (Fernández-Navarro et al., 2025b).

Nous sommes arrivés à la conclusion, comme la majorité des auteurs précédents, qu'une des techniques les plus probantes était bien celle de projection du peinture liquide (eau et pigment) à l'aide de deux tubes, en exerçant l'effet d'appel d'air *venturi*. De même, la projection de peinture directement depuis la bouche, appliquée avec maîtrise, nous semble aussi constituer une possibilité concluante (surtout pour les cas de mains négatives situés sur les plafonds).

Enfin, une autre méthode est venue s'y ajouter, avec des résultats inattendus : la projection de pigment sec, via un tube unique. En effet, le haut taux d'humidité de l'environnement souterrain permet à celui-ci d'adhérer à la paroi, y compris en des zones qui ne sont pas complètement humectées[5] (Figure 4, D).

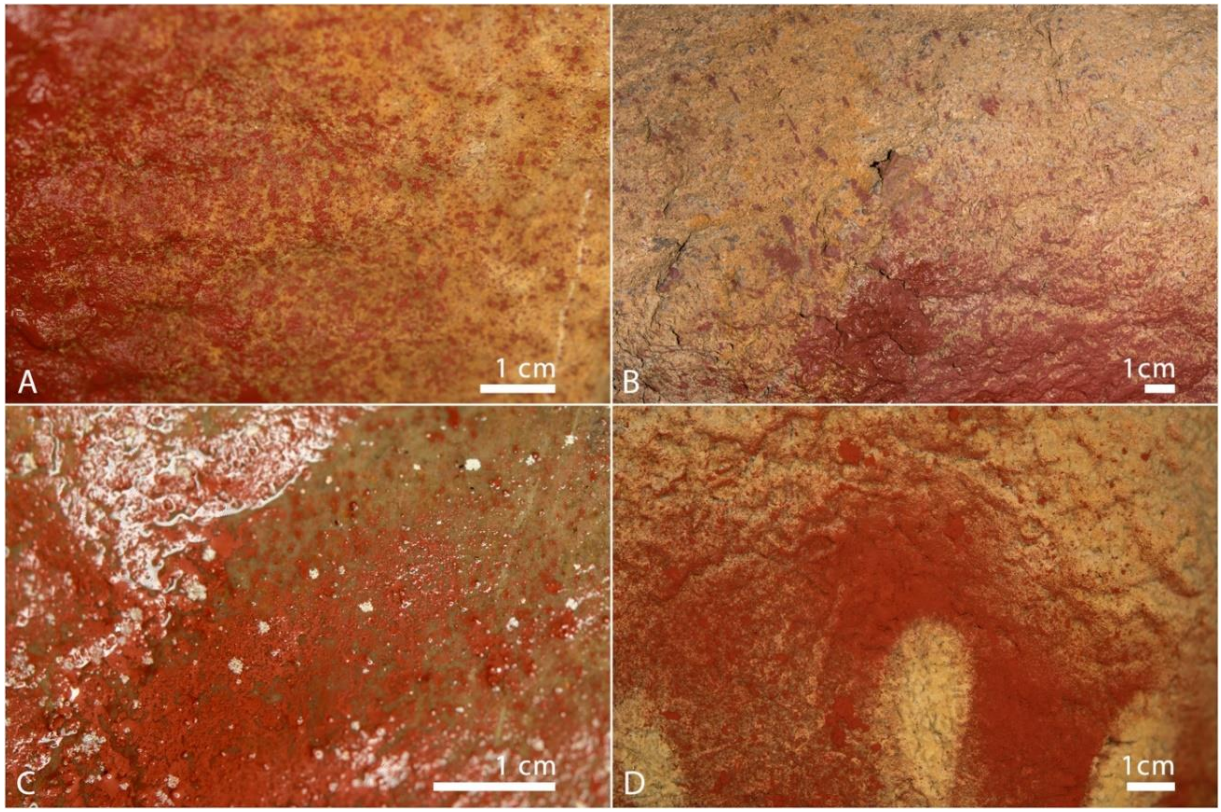


Figure 4. Détail du halo des techniques convaincantes, selon notre processus expérimental (Fernández-Navarro et al., 2025b). **A**. Aérographe (effet venturi) (technique L). **B**. Projection buccale directe (technique N). **C**. Projection de pigments secs, 1 tube sur mur humide (technique K). **D.** Projection de pigments secs, 1 tube sur mur sec (technique M).

Notons toutefois que certaines mains négatives, comme l'exemplaire de la main blanche à Gargas (Foucher et al., 2007), ou encore un exemplaire rouge à Fuente del Salín (Figure 5) pourraient relever d'autres techniques d'application, comme celle de l'application directe de pigment.

[5] Ce fait nous parut surprenant, car selon les travaux de Lorblanchet (1980), en effet, le soufflage de pigment sec à travers un tube nécessiterait une paroi humide pour sa fixation.



Figure 5. Main négative de la grotte de Fuente del Salín (Cantabrie) (© *GIM Geomatics*) dont l'application semble différente de ses congénères. Celle-ci pourrait en effet avoir été réalisée par application de pigment par tamponnage frotté plutôt que par projection (Moure Romanillo et al., 1985)[6].

Pour ce qui est de la composition des peintures, plusieurs auteurs se sont intéressés à la question, d'abord pour d'autres motifs et périodes du Paléolithique récent (Clottes et al., 1990; Chalmin et al., 2002; Garate et al., 2004; de Balbín Behrmann & González, 2009; Olivares et al., 2014; d'Errico et al., 2016), mettant en avant la présence de charges (Vandiver, 1983; Clottes et al., 1990; Groenen, 1991) et la possibilité d'utilisation de liants gras (d'origine animale et végétale) (Pepe et al., 1991).

Pour les mains négatives en particulier, des études ont été réalisées sur celles de Gargas et Tibiran (Clot et al., 1995), concluant à l'utilisation de plusieurs types de pigments, y compris dans les figures présentant visuellement la même couleur. De même pour la grotte de Maltravieso, où plusieurs couleurs furent utilisées, et différentes recettes également pour des tons similaires (Collado Giraldo & García Arranz, 2022), comme à la grotte de La Garma (Arias et al., 2011). Pour ce qui est du processus de préparation, et notamment celui de réduction en poudre du pigment, l'hypothèse du broyage[7] et celle de la réduction en poudre par frottement

[6] Cette observation est cependant remise en question par Collado *et al.* (2018), qui défendent pour cette main une technique de projection de pigment.

[7] Cette technique a cependant le désavantage de créer une finesse de particule bien moindre que celle de la réduction par frottement, selon nos expérimentations.

sont convaincantes (Viré, 1908; de Beaune, 1989, 2002). En témoignent la plaquette en grès et les morceaux d'hématite retrouvés à Combe-Cullier (Lot) (White, 1993) (Figure 6), ainsi que les nombreux restes de coquillages présentant des traces de ce processus (Cuenca Solana, 2013; Cuenca Solana et al., 2016)[8]. Ces derniers ont également pu servir comme récipients.



Figure 6. Plaquette en grès et hématite de Combe Cullier (Lot) d'après White (1993).

2.1.1. Format

Les mains négatives, si elles sont globalement homogènes au niveau de leur technique d'application, à quelques exceptions près, ne le sont pas au niveau formel. En effet, certaines mains présentent la particularité de présenter des parties de doigts manquantes[9] (d'une, de deux phalanges ou de tout le doigt).

[8] Ces études démontrent que des coquillages ont été utilisées comme outils lors d'actions de raclage de minéraux (hématites de différentes duretés et compositions), sur base de l'analyse des traces de micro-usure sur celles-ci.

[9] Ceci, non à cause de raisons de conservation, comme c'est le cas dans souvent, mais bien par l'absence spécifique de segments de doigts, alors que le reste de la main et du halo de couleur sont présents. On peut donc distinguer les *mains incomplètes* (pour des raisons de taphonomie ou de choix de support restreint) des *mains aux doigts imcomplets*, ces dernières constituant le sujet qui nous intéresse particulièrement ici. Il faut noter également que ce phénomène de doigts manquants se limite aux mains négatives : on ne le retrouve ni dans l'art mobilier, ni dans les mains positives ou gravées.

Parmi les 39 grottes et abris avec des mains négatives connus à ce jour, 14 comptent des mains négatives au doigts manquants[10] (soit 35,9%). Il s'agit des sites présentés dans le Tableau 4.

Tableau 4. Liste de grottes et abris contenant des mains négatives aux doigts manquants. En gris sont soulignées celles dont la combinaison unique est l'auriculaire manquant (mis à part la main complète pour le cas de Maltravieso).

Archambeau	Las Estrellas
Arcy-sur-Cure	Fuente del Trucho
Ardales	Maltravieso
Cosquer	Margot
El Cudón	Montera del Torero
Gargas	Palomas IV
Erberua	Tibiran

Notons que les sites de Estrellas, Palomas IV et la Montera del Torero (en gris dans le Tableau 4), toutes situées dans le sud de l'Espagne et très rapprochées géographiquement, partagent la caractéristique de compter un seul doigt manquant, toujours le même : l'auriculaire. Les autres cavités présentent des combinaisons changeantes, mais la grotte de Maltravieso, un peu plus au nord, présente également de nombreux exemplaires dont seul l'auriculaire est manquant.

Cette absence de segments digitaux a été au centre de nombreux débats depuis la découverte de la grotte de Gargas, la première cavité où le phénomène fut observé. La question principale était de savoir si ces doigts avaient été coupés ou simplement repliés.

Plusieurs hypothèses furent ainsi présentées :

(i) Celle de l'**absence réelle** des doigts.

Par amputation volontaire :

- Mutilations rituelles (Alonso, 2019; Breuil, 1952; Cartailhac, 1906; Casteret, 1951; Delluc & Delluc, 1991; Hooper, 1980; Levy, 1948; Lundborg, 2014; Luquet, 1926; McCauley et al., 2018; Pradel, 1975; Verbrugge, 1970).

[10] La grotte de Gorham pourrait éventuellement s'ajouter au *corpus*, mais son état de conservation complique la détermination de la complétude des doigts.

Par amputation involontaire :

- Nécroses dues à des gelures (Bahn & Vertut, 1997; Barrière, 1976, 1977; Barrière & Suères, 1993; Janssens, 1957; Nougier, 1984; Sahly, 1966; Utrilla, 2005; Utrilla & Bea, 2015).
- Perte par suite de maladies (du type de la maladie d'Ainhum, la maladie de Raynaud, ou d'autres comme l'artérite aiguë, l'artérite syphilitique, l'artériosclérose, l'embolie, la gangrène diabétique, la thromboangéite obstructive, l'infection méningococcique grave ou le syndrome de Lesch-Nyhan) (Bahn & Vertut, 1997; Barrière, 1976, 1977; Barrière & Suères, 1993; Jandeaux, 1997; Janssens, 1957; Nougier, 1984; Sahly, 1966).

(ii) Celle des **doigts repliés**, dont Leroi-Gourhan (1965) a été l'un des premiers à défendre l'idée, adoptée par la suite par de nombreux auteurs (e. g. Lorblanchet, 1980; Groenen, 1988; Clottes et al., 2005).

Enfin, des suggestions plus récentes ouvrent le débat sur la possibilité que les combinaisons des mains au doigts manquants représentent une langue des signes suppléante (Etxepare & Irurtzun, 2021), dans un ordre d'idée peu éloigné de l'hypothèse de Leroi-Gourhan, qui suggérait que celles-ci pouvaient correspondre à un code de chasse, les configurations de doigts repliés symbolisant différents animaux (Leroi-Gourhan, 1967).

2.1.2. Paléodémographie

En plus de la variabilité formelle spécifique liée aux doigts manquants, la main négative présente aussi des fluctuations au niveau de sa taille générale, reflétant la dimension de la main de la personne ayant effectué le pochoir. Cette particularité fut repérée très tôt et nombreux furent les essais pour essayer de décrypter l'identité des exécutants des mains présentes sur les parois.

La présence de différents gabarits est manifeste, des mains de grande taille coexistant avec des mains de très petite dimension, comme la main de Gargas mentionnée ci-dessus, attribuée à un bébé. Plusieurs auteurs ont également noté l'aspect infantile de mains représentées dans les grottes de Gargas (Sahly, 1966), Bayol (Leroi-Gourhan, 1965), Cosquer (Clottes et al., 2005), la Grande Grotte d'Arcy-sur-Cure (Baffier & Girard, 2007), Fuente del Salín (González Morales & Moure Romanillo, 2008), Fuente del Trucho (Utrilla et al., 2012; Ripoll López & Muñoz Ibañez, 2019) et Maltravieso (Ripoll López et al., 1999).

A partir de ces observations, plusieurs méthodes biométriques furent appliquées pour tenter de déterminer le sexe et l'âge des individus en question. En se fondant sur l'index de Manning[11] (Manning et al., 1998; Nelson et al., 2006) ou d'autres métriques, des auteurs tels que Chazine & Noury (2006), Groenen (1988), Guthrie (2005), Mackie (2018), Rabazo-Rodríguez *et al.* (2017), Snow (2006, 2013), Wang *et al.* (2010) défendent la possibilité d'identifier la présence des deux sexes dans les témoins archéologiques, avec la présence d'une majorité de mains féminines. Plusieurs auteurs proposent également la possibilité de déterminer différentes catégories d'âge (Groenen, 1988; Manhire, 1998; Ripoll López et al., 1999; Guthrie, 2005; Chazine & Noury, 2006; Gunn, 2006; Snow, 2006, 2013; Bednarik, 2008; Wang et al., 2010; Pettitt et al., 2014; Mackie, 2015, 2018; Carden & Blanco, 2016; Rabazo-Rodríguez et al., 2017; Fernández-Navarro & Garate Maidagan, 2021; Fernández-Navarro et al., 2022, 2024, 2025a) ainsi que la taille de l'individu (Manhire, 1998).

Il faut noter que plusieurs difficultés surviennent quant à la détermination du sexe et de l'âge des individus ayant effectué les mains négatives, notamment au niveau de la taphonomie et de l'orientation du soufflé, qui peuvent impacter la taille des empreintes aujourd'hui. D'autre part, les méthodes utilisées jusqu'ici n'offrent pas encore de taux de réussite indiscutable dans cette détermination (Brůžek et al., 2013). Pour cette raison, certains auteurs sont d'avis qu'il n'est pas possible de différencier le sexe des individus (Gradin, 1981; Flood, 1987; Henneberg & Mathers, 1994; Gunn, 2006; Sierp & Henneberg, 2015). Pour pallier ces écueils, les chercheurs se penchent aujourd'hui vers l'inclusion d'autres méthodes novatrices, comme le *Machine Learning* (Wang et al., 2010).

Les résultats des études proposant une détermination mettent en évidence la présence d'une grande diversité au niveau de l'âge et du sexe des propriétaires des mains peintes sur les parois, orientant vers l'hypothèse que ce type de manifestations relevait d'une pratique culturelle en lien avec le groupe social en général, peut-être de l'ordre de l'activité collective.

2.1.3. Distribution spatiale

Pour ce qui relève de la distribution spatiale des mains négatives, il faut observer que les préhistoriens ont eu tendance à se concentrer davantage sur d'autres aspects de ces figurations. Comme l'affirment Pettitt *et al.* (2014, p. 49), « Wider research has concentrated entirely on the identity of hand stencils rather than their context » [Les recherches en général se sont

[11] L'index de Manning est une mesure qui se base sur le rapport entre la longueur de l'index et de l'annulaire chez l'homme et la femme, celui-ci étant impacté par le sexe de l'individu. En des termes très simples, selon celui-ci, la prépondérance de l'annulaire sur l'index est plus fréquente chez la femme adulte.

entièrement concentrées sur l'identité des mains négatives plutôt que sur leur contexte]. L'ouvrage général *Handpas* (Collado Giraldo, 2018), reprenant toutes les mains négatives d'Espagne accessibles à la date de publication en est un bon exemple, car bien qu'étant en général très complet, il tend à traiter chaque main séparément, et ne fait pas l'analyse de leur localisation (si ce n'est, bien entendu, la description générale de la localisation des pochoirs).

Ainsi, bien que l'analyse des figurations sur base de leur distribution spatiale ait fait l'objet de nombreuses études pour les motifs animaliers ou les signes, avec les différentes hypothèses suggérées pour expliquer leur structuration dans les réseaux souterrains (Leroi-Gourhan, 1958a, 1965; Laming-Emperaire, 1962; Sauvet et al., 1977; Raphaël, 1986), la question de gestion de l'espace n'a jusqu'ici été que très peu abordée pour les mains négatives. Cela constitue un manque d'information important pour notre connaissance de ce phénomène. Ceci, car dans la recherche en Préhistoire, il est ainsi aujourd'hui admis que les figurations animales n'ont pas été disposées dans les cavités de manière aléatoire et que les peintres et graveurs du Paléolithique récent ont *choisi* avec soin les parois qui allaient accueillir leurs œuvres, non seulement en intégrant les particularités géomorphologiques de la paroi (Sauvet & Tosello, 1998) mais encore en choisissant certaines zones des cavités, au détriment d'autres zones, parfois plus favorables en tant que support (Barrière, 1982; Lorblanchet, 2010; Clottes, 2011; Groenen et al., 2012; Groenen, 2016).

Reste donc à analyser ce qu'il en est pour les mains négatives : quelles ont été les propositions des chercheurs en lien avec leur distribution dans l'espace ?

Par rapport à leur organisation générale dans la cavité, plusieurs auteurs avancent qu'elles semblent être préférentiellement situées à l'entrée ou dans les parties antérieures des cavités (Leroi-Gourhan, 1965; Barrière, 1977; Delluc, 2006; Djindjian, 2015). Leroi-Gourhan ajoute qu'elles semblent dans le cas de Gargas organisées de telle manière que leur concentration augmente et que les mains isolées semblent faire le lien entre les panneaux formant une chaîne (Leroi-Gourhan, 1967, p. 118) : « Au terme de l'analyse d'ensemble, on constate que les mains de Gargas se présentent par groupes de densité croissante, groupes dans lesquels la fréquence relative des mains rouges croit également, de l'entrée vers le fond. Les mains sont fréquemment disposées par couples de même nature, parmi lesquelles se distribuent des mains, noires ou rouges, disposées horizontalement. ». Barrière, pour sa part, affirme qu'il n'y existe pas de rythme particulier, ni dans leur nombre, ni dans leur couleur (Barrière, 1977). Pour la même cavité, Groenen propose qu'il s'agisse de six ensembles topographiques distincts, constituant un véritable projet pour les Paléolithiques (Groenen, 1990).

Pour la grotte d'El Castillo, Groenen et Groenen soulignent que les mains négatives sont situées dans la partie droite du réseau et défendent que la distribution des motifs semble répondre à une logique cohérente, ceux-ci constituant un dispositif graphique singulier (Groenen & Groenen, 2019).

Par ailleurs, de nombreux chercheurs notent leur distribution en groupe, ou par paires ou séries de trois, ainsi que l'isolement de certaines figurations de mains (Leroi-Gourhan, 1967, 1992; Barrière, 1977; Groenen, 1990, 2011, 2016; Delluc, 2006; Foucher et al., 2007; Clottes, 2008; Collado Giraldo, 2018).

Par rapport aux autres motifs, Leroi-Gourhan (1965) affirme qu'elles sont situées en général près des compositions centrales, tandis que Delluc (2006) se limite à dire qu'elles sont dans certains cas associées à des panneaux complexes, comme c'est le cas dans la grotte de Pech-Merle, avec le panneau des chevaux ponctués.

Groenen (2011) note également que les mains négatives sont inégalement représentées, ce qui peut être observé dans le nombre de grottes hébergeant des mains négatives en général (39 cavités) aussi bien que dans leur quantité au sein d'une même grotte (allant de 1 à 192).

Enfin, cet auteur fait plusieurs autres observations au niveau de la disposition spatiale des mains négatives, d'abord au niveau de leur disposition dans la structure générale du réseau puis au niveau de leur rapport direct à la paroi (Groenen, 1990, 2011, 2013, 2016). Il relève ainsi que certaines parties du réseau semblent particulièrement signifiantes, que les mains peuvent être situées près des zones d'accès tout comme dans des espaces difficiles à atteindre (incluant dans quelques cas le franchissement d'obstacle), et qu'il observe parfois une recherche de zones non-éclairées. Au niveau local, selon ces travaux, certaines mains font l'objet d'une mise en scène, comme la fameuse « Main à la niche » de la grotte de Gargas, et peuvent être liées à des ouvertures. Il note une recherche de concavités, comme des niches ou des creux, agissant comme des écrins, mais cependant pas de mise en forme (comme l'utilisation des reliefs et détails naturels pour en créer les contours ou le modelé). Dans certains cas de Gargas et de Roucadour, cet auteur distingue une préparation de support, via l'application de pigment ou le râclage préalable à la création des mains négatives.

Un travail de recherche a également été effectué par Pettitt et al. (2014) sur les figurations de mains des grottes de la Garma et d'El Castillo. Cet article est centré sur une conception locale de l'espace du motif pictural de la main négative, principalement à travers la notion de « palpation » et du toucher de la paroi. Il suggère un lien possible entre le choix des

emplacements des mains et la "lecture" par le toucher des parois, qui aurait conduit à l'intégration des ondulations de celle-ci (positions de préhension ou concavités) pour certaines figurations de pochoirs.

González García a aussi travaillé sur l'espace dans un travail de synthèse sur une série de grottes cantabriques, où il cite les mains négatives comme un motif fréquemment situé sur les panneaux qu'il nomme « actifs » (définis comme influençant l'espace qui les entoure[12]), au contraire de supports inactifs ou indéterminés (à la fois actifs et inactifs) (González García, 1987, 1990, 2001).

Enfin, il faut noter la proposition de Collado Giraldo (2012) sur la grotte de Maltravieso. Ce travail envisage l'analyse spatiale de la cavité, sur base de son plan, en proposant de la structurer en trois zones : *initiale*, *moyenne* et *finale*. Reconnaissant la subjectivité induite par cette structuration, cet article propose de passer outre en effectuant conjointement l'analyse spatiale de l'entièreté de l'art pariétal de la cavité (mains, motifs animaliers et signes). Ceci, après l'avoir préalablement organisé en quatre phases chronologiques distinctes. La zone initiale et le début de la zone moyenne correspondraient ainsi à un art fait pour être vu, tandis que dans la zone moyenne, les motifs, situés plus loin des espaces de transit, seraient situés dans des lieux plus intimistes. A propos de la zone finale, qui ne contient aucune main négative, il remarque que les motifs sont en général davantage répartis dans l'espace. De même, le travail sur base du plan introduit également des complexités de biais de perception.

Toutes ces affirmations, si elles sont intéressantes en ce qu'elles constituent une base de travail, sont toutefois à considérer avec prudence. En effet, ces méthodes (travail sur base de plans, en 2D avec des informations spatiales partielles, estimations à partir de l'état actuel de la cavité, etc.) peuvent introduire des biais venant entraver la pertinence des résultats.

2.1.4. Propositions d'interprétation

Les mains négatives, au-delà de l'identification de leur technique ou des individus les ayant créés, ont également généré un certain nombre de théories interprétatives.

Celles-ci sont orientées autour de deux axes principaux : l'action significative, d'une part, et un type de symbole ou de communication, d'autre part.

[12] Ces travaux ne donnent pas, malheureusement, de définitions plus précises des notions utilisées.

a) Action significative

Une interprétation proposée par Clottes et Lewis-Williams (1996) suggère que la main négative était le fruit d'une action symbolique signifiante, liée à un processus rituel, dans l'objectif de se connecter à l'au-delà ou à un monde magique.

Ces deux auteurs (Lewis-Williams, 2002; Clottes, 2008) font remarquer, en effet, que le processus de création de la main négative impliquait un passage par une phase où la main, totalement recouverte de pigment, comme la paroi qui l'entoure, semble disparaître dans celle-ci (Figure 7). Ils défendent donc que, symboliquement, cela pourrait être interprété comme un passage à travers la paroi, vers une autre dimension.

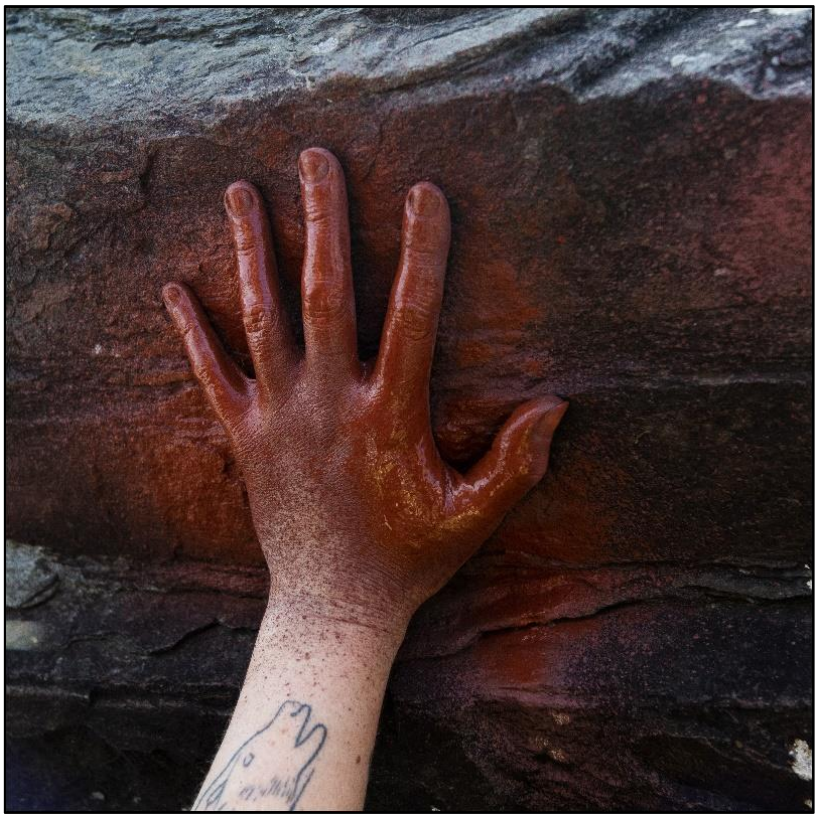


Figure 7. Procédure de réalisation d'une main négative effectuée à l'air libre durant la campagne d'expérimentation, capturée au moment où la main ayant servi de pochoir est de la même couleur que la paroi colorée alentour.

Clottes et Lewis-Williams (1996) proposent également l'idée de l'utilisation des mains négatives comme action de marquage d'un espace, pour symboliser son appropriation, comme symbole de pouvoir ou de possession. Enfin, ces auteurs vont plus loin en faisant le lien entre les mains négatives aux doigts manquants et des rites d'initiation chamaniques qui impliqueraient l'amputation de phalanges, la douleur causée pouvant induire un état de conscience altéré facilitant le contact avec le monde des Esprits. Cette idée est basée sur la comparaison avec des pratiques observées en Afrique du Sud, reportées par Drennan (1937).

C'est également en s'appuyant sur des comparaisons ethnographiques publiées par Manhire (1998) que Guthrie (2005) formule une conjecture alternative, proposant que les mains négatives d'adultes pouvaient avoir été créées lors de cérémonies de guérison, tandis que celles d'individus plus jeunes seraient le fruit de cérémonies d'initiation.

b) Symbole ou communication

L'idée de la main négative comme vecteur de communication est apparue dans les travaux de Leroi-Gourhan (1967) à propos des exemplaires aux doigts manquants de la grotte de Gargas. Celui-ci propose en effet d'interpréter ces motifs comme un système de communication non-verbal qui aurait été utilisé par les chasseurs, pour communiquer silencieusement. Cette hypothèse de langue des signes *suppléante* sera reprise, nous l'avons dit, par Etxepare et Irurtzun (2021). Un peu avant cela, dans son ouvrage *Préhistoire de l'art occidental* (1965), Leroi-Gourhan proposait d'assimiler ces motifs à ces signes féminins (comme les vulves ou les *signes ouverts*), dans son système structuraliste, où chaque animal ou signe était connecté au genre masculin ou féminin. Selon ces travaux, l'association fréquente des mains avec des traits parallèles ou ponctuations (signes masculins), et leur présence « auprès des compositions centrales ou au milieu des figures principales » (Leroi-Gourhan, 1965, p. 107) rendait probable l'idée que ces signes aient joué un rôle de caractère féminin, dans ce système interprétatif de l'art pariétal.

Rouillon (2006), pour sa part, a avancé l'hypothèse que les mains aux doigts manquants de la grotte de Cosquer pourraient constituer un système numérique pour compter sur les doigts, sur base de la présence exclusive dans cette grotte des configurations présentant un, deux, trois, quatre ou cinq doigts levés, allant du pouce à l'auriculaire.

Gregg (2008) et Taçon *et al.* (2014), quant à eux, ont suggéré que celles-ci pourraient représenter la signature d'un artiste, ou une manière de laisser sa trace personnelle sur la paroi (trace qui serait reconnaissable dans le futur). Cette idée est basée sur certaines pratiques des Aborigènes australiens reportées par Basedow (1925), qui pouvaient reconnaître les empreintes de leurs ancêtres.

Pour terminer, en lien avec l'espace, la théorie, proposée par plusieurs auteurs, de la fonction des mains (ou des ponctuations) comme marqueurs topographiques est également à mentionner (Groenen, 1990, 2011, 2013; Foucher, 1991; Pigeaud, 2005; Collado Giraldo, 2018).

Celles-ci pouvaient par exemple servir pour indiquer des lieux spécialement dangereux, comme le suggèrent Clottes *et al.* (2005) pour des exemplaires de la grotte Cosquer semblant mener à un puits de 24 mètres de profondeur.

Face à la diversité de ces hypothèses, il me semble important de rappeler que, si les mains négatives sont aujourd'hui considérées comme un phénomène culturel plutôt homogène, il est possible qu'elles soient la trace de plusieurs coutumes différentes. Les études ethnoarchéologiques de Moore (1977), qui ne relèvent pas moins de dix fonctions différentes pour les pochoirs aborigènes d'Australie[13] sont en effet une bonne illustration de la diversité existant dans les cultures humaines et de l'importance de ne pas la négliger, surtout à des échelles temporelles aussi importantes que celles avec lesquelles nous travaillons.

Dans la section suivante, je propose un aperçu de la notion d'espace et de la manière dont elle a été traditionnellement traitée en archéologie.

2.2. L'espace dans les grottes ornées

2.2.1. Introduction

La décision des Paléolithiques de choisir les grottes pour y apposer leurs motifs n'est pas anodine, en ce qu'il s'agit de lieux qui, par essence, leur sont hostiles. A l'obscurité s'ajoutent les conditions d'humidité intense et les dangers physiques que présentent de nombreuses cavités. Toutes ces raisons ne les prédisposent pas à investir les espaces souterrains. Cependant, on observe chez les populations paléolithiques une volonté de s'engager dans ces espaces, avec une préparation et une adaptation conséquentes. L'énergie et les ressources mises en œuvre pour ce faire reflètent l'importance de ces lieux, et confirment la pertinence de la démarche d'analyse spatiale. En effet, les espaces choisis pour la création de ces manifestations graphiques, qui subsistent aujourd'hui, peuvent nous apprendre beaucoup sur la logique et le sens de ces activités pour ces groupes sociaux.

A partir de cette constatation surviennent une foule de questions: Qu'est-ce qu'un *lieu* ? Jusqu'où nous conduit le mot *espace* ? Peut-on s'atteler à sa définition, ou du moins à proposer

[13] Cet auteur identifie pour ces motifs dix fonctions différentes : (i) Signature individuelle d'un artiste ou pour attester d'un passage ; (ii) Mémorial, pour être commémoré après la mort ; (iii) Message aux esprits des ancêtres ; (iv) Message séculier aux autres Aborigènes ; (v) Témoignage d'un événement historique ; (vi) Outil de narration pour enregistrer les mythes sur les sites sacrés ; (vii) Moyen d'utiliser le pouvoir d'un site de sorcellerie ; (viii) Empreintes de mains laissées par les ancêtres totémiques du Dreaming et évidemment particulièrement sacrées ; (ix) Empreintes de mains faites dans des lieux sacrés pour tirer une force spirituelle des ancêtres ; (x) Représentations au pochoir de parties (ou de l'ensemble) d'espèces totémiques à des fins mythiques ou magiques.

un panorama des concepts qu'il peut mobiliser ? De la *caverne participante* de Leroi-Gourhan (1965) à la *caverne organisatrice* de Pigeaud (2013), quelles furent les propositions des chercheurs et que peut amener son analyse ?

Or, il est intéressant de constater que l'étude de l'espace a été historiquement peu prise en compte dans l'étude de l'art rupestre et qu'il n'existe pas encore de consensus sur ce que l'on entend par « espace ». Lorsqu'ils ont adressé la question, les chercheurs ont été confrontés à un certain nombre de difficultés qui furent adressées avec les outils disponibles jusqu'ici. Entre autres, la question de la représentation de cet espace en trois dimensions sur des supports n'en offrant que deux, la subjectivité du chercheur ou encore les nombreuses facettes de cette notion. En effet, jusqu'à très récemment, les seuls moyens disponibles pour représenter l'espace se limitaient à la photographie, aux plans, aux coupes et à la description verbale, impliquant des degrés de subjectivité non négligeables, ce qui est extrêmement délicat lorsqu'il s'agit d'évoquer des lieux aussi complexes que les cavités souterraines.

Le vocabulaire lui-même, utilisé pour traiter la question spatiale, montre rapidement ses limites. En effet, si l'on tente d'utiliser dans l'étude de l'espace en art pariétal des mots d'usage quotidien, on se rend compte que ceux-ci sont limités par notre cadre de référence culturel et qu'ils ne sont pas du tout adaptés au monde souterrain. Ainsi, des termes tels que *couloir*, *fond* ou encore *salle* révèlent leur inadéquation à représenter la réalité, par le caractère unique de chaque cavité.

Le terme *espace* est donc tiraillé, depuis la situation d'un motif sur la paroi à la perception physique d'étroitesse, en passant par les notions de visibilité, d'acoustique, d'appropriation ou encore de structuration du champ pictural.

Dans cette section, je propose de faire le point sur l'analyse théorique, méthodologique et pratique de l'espace dans l'art pariétal. C'est-à-dire les notions liées au concept d'espace, y compris les apports d'autres disciplines, comme la philosophie ou l'anthropologie, pour permettre son application dans le domaine de la recherche sur l'art pariétal paléolithique avec des outils adéquats.

2.2.2. L'espace en archéologie et Préhistoire

Observons tout d'abord ce qui a été proposé par les préhistoriens et archéologues dans la recherche sur l'espace dans le cas particulier des grottes ornées durant le Paléolithique récent. Je donnerai premièrement un aperçu de leurs propositions de structures et méthodes d'étude,

puis de leurs théories interprétatives, pour ensuite m'attarder sur une série d'observations en lien avec le sujet.

2.2.2.1. Propositions de structure

Comme mentionné plus haut, l'espace de la cavité a été généralement assez peu considéré dans l'étude de l'art pariétal. Ceci, aussi bien à l'échelle de la paroi, avec les relevés, par exemple, des travaux comme ceux de Breuil (1952), faisant abstraction du support et de l'espace entre les motifs, qu'à l'échelle plus générale de la cavité.

Ainsi, comme le commente Groenen (2013, 2019), les travaux de Raphaël (pionnier dans le domaine dans les années 1940 et au début des années 1950, seulement publié posthume en 1986), puis Laming-Emperaire (1962) et Leroi-Gourhan (1965) furent novateurs en leur temps, par leur essai de compréhension de la structuration de l'espace dans l'art paléolithique. Cependant, la définition arbitraire des secteurs, la focalisation sur l'iconographie et la recherche d'un modèle idéal applicable à toutes les cavités (comme un archétype) ont attribué à l'espace lui-même un rôle de second plan. Des grottes aussi complexes qu'El Castillo, Pech-Merle ou Les Trois-Frères (Figure 8) furent donc réduites à une structure générale alors qu'elles offraient des possibilités d'étude spatiale approfondie et exhaustive.

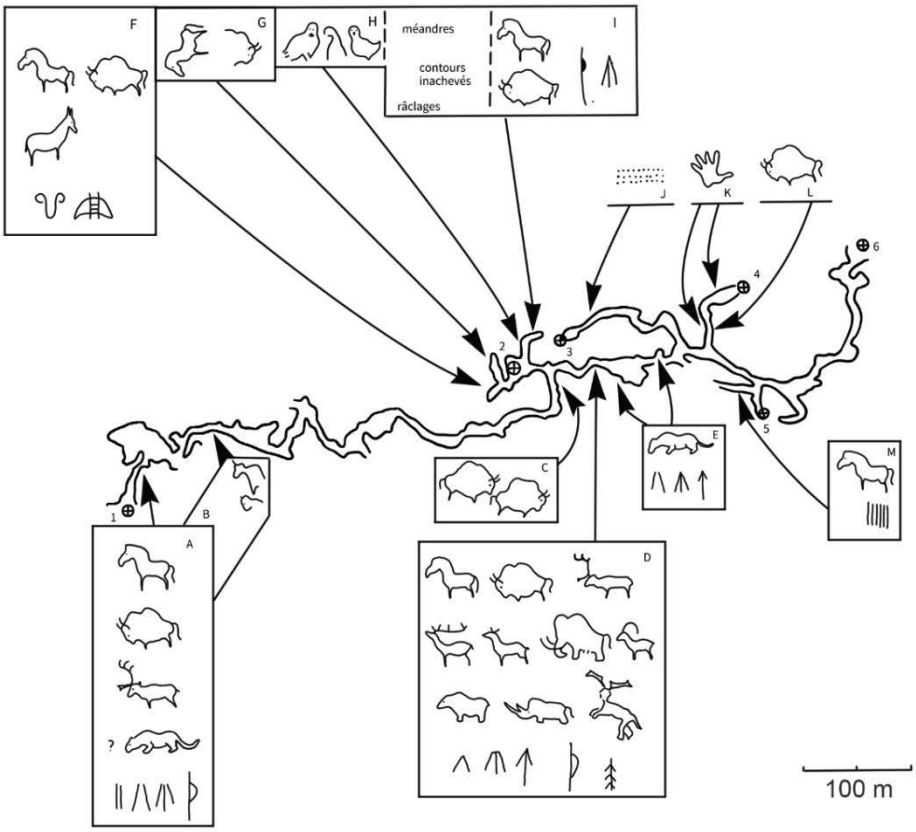


Figure 8. Structure de la grotte des Trois-Frères selon Leroi-Gourhan (1965).

Après ces grands modèles de structuration, d'autres chercheurs ont exploré de nouvelles voies pour l'analyse de l'espace. Ils ont en particulier proposé de nombreuses catégories pour le ranger, le diriger, le proportionner.

Ainsi, la notion de *panneau*, définie par Leroi-Gourhan (1972), qui fut traduite en *ensemble graphique* par Sauvet (1993), est un concept qui a régné longtemps, et qui continue d'occuper une place importante dans la division de l'espace malgré les nombreuses critiques qui lui ont été adressées (Leroi-Gourhan, 1972). Cette notion, si elle se défend pour certains espaces, se montre en effet tout à fait arbitraire dans de nombreuses grottes et abris, comme à Combarelles ou à Fuente del Trucho, par exemple, où la morphologie de la grotte ne permet pas une délimitation claire de panneaux[14] (Sauvet & Sauvet, 1979).

De son côté, Vialou (1986, 2009) a proposé de séparer la description de l'espace en deux catégories : la *situation topographique*, à l'échelle de la cavité, et la *position pariétale*, à une échelle plus locale. Dans la première, il considère les espaces tels que le porche d'entrée, les galeries, les espaces en cul-de-sac, les fonds, salles ou galeries et les failles et diverticules. Il suggère, dans le même temps, des concepts nouveaux, tels que celui d'*arrêt et retour sur ses pas*, *retour obligé*, ou *circulation obligée* qui relèvent, davantage que de la description de lieux, de ce qu'ils imposent en forme de cheminement et de comportement. Dans la seconde, il pose des catégories impliquant des termes comme *vertical*, *plafond*, *concave*, *dièdre* ou encore *entablement*. La distribution de la zone ornée dans le développement du réseau souterrain est aussi questionnée par ces travaux. Selon cet auteur, différents types d'ensembles se présentent. D'une part, un modèle *simple*, où la décoration est concentrée en un point. D'autre part, un modèle *multiple*, qui peut être continu (avec un espace orné sans interruption) ou discontinu (avec un espace orné séparé en différentes zones).

Cette idée est reprise et approfondie par Garate (2010), qui propose les types suivants : espace *linéaire à grande dispersion*, *espace fermé* (motifs rassemblés en un point) et *zones restreintes* (avec la décoration située dans des endroits d'accès simple, mais éloignés, ou plus proches du chemin principal, mais d'accès difficile). Chez cet auteur, on retrouve également les notions d'*unité topographique*, *unité de composition* et *unité graphique* qui rejoignent les concepts de

[14] Le terme est défini par Leroi-Gourhan de la façon suivante : « les panneaux, surfaces continues localisées dans un couloir ou dans une salle, comportant un centre et une périphérie ou pourtour » (Leroi-Gourhan, 1972, p. 285). Sauvet propose quant à lui la définition qui suit : « Surface ornée continue, généralement circonscrite par des particularités morphologiques majeures du support (failles, fissures, coulées de calcite, angles dièdres, changements de nature ou de coloration de la roche, etc.) » (Sauvet, 1993, p. 303). Si elle convient pour certaines zones ornées, cette définition ne peut cependant pas être appliquée dans de très nombreux cas, ce qui laisse alors place à une délimitation arbitraire des espaces en question.

secteur, *panneau* et *figure*. Ce sont ces mêmes catégories qu'utilisent Ochoa et García-Diez (2018). Pour les unités topographiques, ces auteurs considèrent les classifications proposées par la spéléologie (*passage*, *niche*, *couloir*, *salle*, …).

Nous l'avons vu (section 2.1.3), dans les travaux de González García (1987, 1990, 2001) apparaissent les notions de support *actif*, *inactif* ou *indéterminé*, en fonction de leur influence (active, inactive ou les deux) sur l'espace qui les entoure. Ces termes, envisageant l'effet des zones ornées, sont basés sur sa conception de panneau, qui rejoint celle proposée par Leroi-Gourhan en 1972.

Groenen (2012, 2013, 2016, 2017, 2019), pour sa part, a proposé de séparer les espaces de la cavité en deux grands types : les *zones de cheminement*, ou de transit, qui relient les espaces principaux et ne sont pas ou peu ornés, et les *zones de stationnement*, qui sont ornées, et qui structurent le dispositif.

Enfin, Fritz (2020) introduit les termes d'*espace environnemental*, d'*espace de la grotte* et d'*espace des surfaces ornées*. Elle différencie aussi ce qu'elle nomme les espaces *non-immersifs*, destinés à être vus en vision frontale, et les espaces *immersifs*, qui sont appelés à être vus avec du recul, en ce que le cheminement fait partie même de l'expérience.

Dans l'ensemble, ce bref aperçu de la littérature révèle une grande variété de conceptions concernant l'espace, les divisions spatiales, les taxonomies et les implications de l'expérience humaine qui, même si elles permettent d'approcher la nature complexe de la relation entre l'espace et l'art rupestre, sont souvent trop impressionnistes et vagues. En conséquence, les systèmes taxonomiques proposés dans ces travaux ne parviennent pas à atteindre une adéquation descriptive et explicative.

2.2.2.2. Symbolique et essais d'interprétation

Au-delà de ces systèmes de catégories, qui tentent d'organiser non seulement les figures mais également la pensée du scientifique, plusieurs travaux ont abordé la question de l'interprétation. Les principales propositions, dont voici un bref aperçu, continuent aujourd'hui à influencer la recherche.

a) Types d'espace

Une question que l'on retrouve fréquemment dans les travaux traitant de l'espace dans les réseaux souterrains est celle de la visibilité, et en particulier l'existence d'une distinction entre un espace *public* et un espace *privé*. Cette idée se retrouve en effet chez de nombreux auteurs

(Laming-Emperaire, 1962; Sauvet & Sauvet, 1979; Raphaël, 1986; Vialou, 1986, 2009; Bradley, 1991, 1995; Foucher, 1991; de Beaune, 1995; Clottes, 1997; Baffier & Girard, 1998; Gamble, 1998; Lorblanchet, 2001; Lewis-Williams, 2002; Bahn, 2003; Villeneuve & Hayden, 2007; Utrilla & Martínez-Bea, 2008; Villeneuve, 2008; Pastoors & Weniger, 2011; Groenen, 2016, 2017; Ochoa Fraile, 2016; Bourdier et al., 2017; Ochoa & García-Diez, 2018; Jouteau et al., 2020; Jouteau, 2021). Cependant, quelques autres travaux argumentent qu'« Il n'est donc guère possible, dans ces conditions, de spéculer [...] sur une opposition entre images « publiques » et « privées » (Le Quellec, 2022, p. 514).

Bien qu'une majorité semble converger vers une séparation générale, il existe des différences importantes dans la terminologie et les concepts associés.

- **Espaces *privés*** : Selon certains auteurs, les espaces *privés* sont caractérisés par une absence de polychromie et des images *crues* ou expédiées ayant nécessité moins d'efforts de production. Les zones les accueillant seraient moins accessibles et davantage limitées, n'offrant pas de vision d'ensemble. Laming-Emperaire (1962) parle de *panneaux destinés à être cachés* et Vialou (1986, 2009) reprend cette notion de dissimulation : selon lui, ce sont des lieux qui ne sont pas immédiatement repérables, et qu'on trouvera plutôt dans ce qu'il nomme le *réseau dérivé*. Ce type de lieu aurait également une capacité limitée (allant d'une à trois personnes). Le public serait dès lors plus restreint, soit par les conditions d'accès, soit par la petite taille de la zone ou l'impossibilité d'un stationnement prolongé (Foucher, 1991). Bahn (2003) donne une série d'exemples d'espaces qu'il considère comme cachés, aux Combarelles II, à Fronsac, à Pech-Merle ou encore à Bernifal. Utrilla et Martínez-Bea (2008) suggèrent l'idée de « petite grotte dans la grotte ». Jouteau (2021) observe que ce type de lieu pourrait être séparé en deux sous-espaces : *individuel* (seul) ou *restreint* (quelques individus), d'après les propositions de certains auteurs (Gamble, 1998; Villeneuve, 2008; Bourdier et al., 2017). Cette notion d'espace privé se trouverait à l'extrême dans des lieux tels que la grotte du Pergouset, où une figure dont la situation implique qu'elle ait été dessinée à l'aveugle permet de poser la question de l'objectif de ce type de représentation : est-ce le fait de voir l'image qui importe, ou davantage le simple fait de la créer (Lorblanchet, 2010) ? Serait-on plutôt du côté du *faire* que du côté du *voir,* comme le propose Villeneuve (2008) ? En effet, selon des auteurs comme Lewis-Williams (2002), l'acte de création lui-même peut avoir une valeur symbolique performative qui va au-delà du résultat visuel. Dans ce cas, on peut considérer que l'œuvre n'est pas la peinture, mais bien l'acte de réalisation de celle-ci. Il défend que ce

serait le cas pour les mains négatives, qui résulteraient d'un acte rituel tellurique d'immersion dans la paroi.

- **Espaces *publics*** : A l'opposé du spectre se situeraient les espaces *publics*. On trouve cette notion déjà chez Laming-Emperaire (1962), qui mentionne des panneaux *destinés à être vus*. Ce sont des endroits où on trouverait un type de décor monumental, avec une recherche de mise en scène et l'utilisation de techniques bien visibles, comme la peinture polychrome. Foucher (1991) va plus loin en proposant l'idée que la décoration de ces espaces, qu'il caractérise comme *profanes*, a pour objectif de provoquer des réactions affectives chez les spectateurs. Selon Villeneuve (2008), ce type d'espace public, orienté vers le groupe, est plus grand et on y trouve des images davantage élaborées. Vialou (1986, 2009) nuance cette idée en suggérant que les œuvres présentes dans ces espaces ne sont pas systématiquement spectaculaires, mais qu'elles sont repérables immédiatement et d'accès facile. Bahn suit cette proposition, en ajoutant que certains sites ornés ont fait l'objet de modifications dans le but de les rendre accessibles pour le public, comme les grottes de Cougnac ou de la Peña de Candamo (Bahn, 2003). Jouteau (2021) complète cette pensée en affirmant qu'ils étaient destinés à recevoir des groupes de l'ordre de grandeur de plus de vingt personnes, suivant la proposition de Gamble (1998). Enfin, Groenen (2017) ajoute que ces sites, aussi marquants qu'ils soient, ne constituent pas une majorité dans l'art pariétal paléolithique.

b) Configuration et organisation des motifs

En plus de cette grande dichotomie, d'autres théories liées à la symbolique de la grotte ont été présentées, certaines plus audacieuses que d'autres. En effet, si Vialou (1986) affirme que la structuration des motifs est simplement impossible à interpréter et si Sauvet *et al.* (1977) se limitent à proposer que la grotte était sans doute connotée, avec certains espaces particulièrement signifiants, d'autres auteurs vont plus loin dans leurs interprétations avec des propositions plus précises.

Les modèles structuralistes de Leroi-Gourhan (1958b, 1965) (Figure 9) et de Laming-Emperaire (1962), par exemple, proposent une interprétation des associations animales basée sur une dualité cheval-bovidé prévalente, et une répartition des figures animales dans les différentes zones de la cavité en fonction des types d'espèces et de l'importance desdits espaces. Djindjian (2003, 2015) a par la suite proposé une révision de ces modèles avec l'hypothèse originale que l'emplacement des motifs reflète le territoire réel des populations du Paléolithique

récent, variant selon les grandes périodes de cet intervalle de temps (Aurignacien et Gravettien / Solutréen / Magdalénien). Il distingue ainsi des compositions centrales, des périphéries, des zones de profondeur/diverticules et de passage. Cependant, ce modèle, qui se veut universel, comme ceux de la génération précédente, ne rend pas bien compte de la diversité des structures souterraines existantes, comme le rappellent les travaux de Sauvet et Sauvet (1979, p. 352) : « A. Leroi-Gourhan (1958b) a tenté de montrer que la répartition des différentes espèces animales n'était pas uniforme dans les différentes parties de la grotte (entrée, passages, panneaux principaux, zones périphériques, diverticules, fond). Mais la démonstration repose entièrement sur la valeur des définitions que l'on peut donner de chacune de ces parties. Or, les grottes ont souvent des configurations tourmentées dans lesquelles les définitions sont inapplicables. Pour notre part, nous avons éprouvé beaucoup de difficultés à tirer des conclusions d'une telle analyse topographique. ».

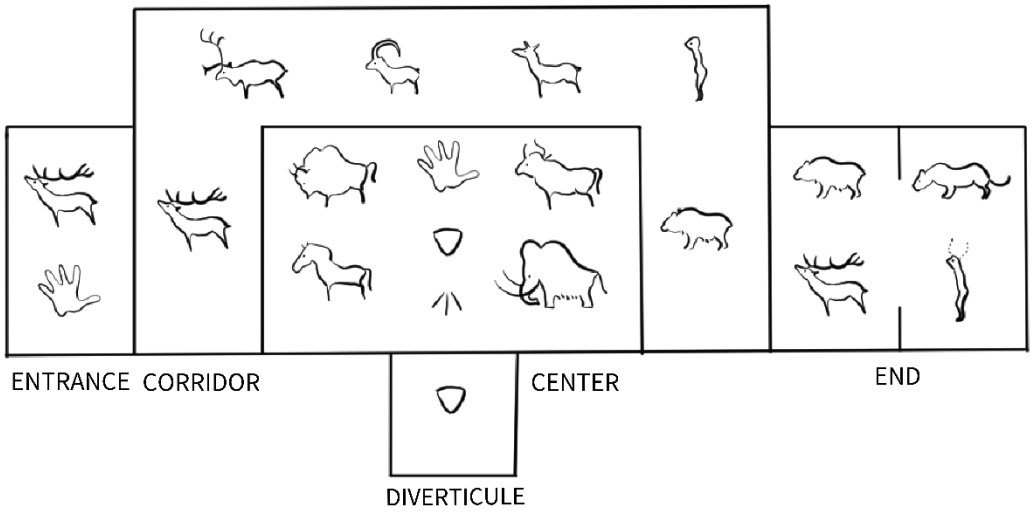


Figure 9. *Disposition idéale d'un sanctuaire paléolithique* selon Leroi-Gourhan (1965).

c) Fonction des motifs – marqueurs d'espace

Une autre théorie, que l'on retrouve en essence chez plusieurs auteurs (Groenen, 1990, 2011, 2013; Foucher, 1991; Pigeaud, 2005; Collado Giraldo, 2018) suggère que certains motifs, comme les ponctuations ou les mains négatives, pourraient avoir eu une fonction de marqueurs topographiques. Ces indicateurs mettraient en évidence certains segments du réseau, comme les espaces d'introduction au dispositif, les espaces de transit, d'articulation, ou les espaces terminaux, de clôture. Ils pourraient également signaler des zones dangereuses, des zones de stationnement ou encore servir de balises pour effectuer un trajet spécifique dans la cavité, indiquant un chemin à suivre. Groenen signale également dans la grotte d'El Castillo la présence de spéléothèmes brisés et déplacés qui pourraient avoir servi de marqueurs

topographiques (Groenen, 2016, p. 218) : « La question du cheminement est donc centrale. Elle est d'ailleurs confortée par des traces élémentaires (série de ponctuations) ou des motifs (disques) qui constituent dans certains cas, on l'a vu, autant de jalons susceptibles de baliser les espaces. Mais elle peut encore être confirmée par des spéléothèmes posés bien en vue à certains endroits du réseau, qui pouvaient servir à marquer l'espace ou à indiquer la direction à suivre, comme on l'observe par exemple dans l'*Entrée gravettienne* ou à l'entrée de la *Galerie des Disques* d'El Castillo. La situation topographique de ces éléments laisse à penser qu'ils pourraient avoir servi de balises pour guider le cheminement du visiteur dans la cavité. ».

2.2.3. Des espaces théoriques aux espaces sociaux

Puisque l'archéologie est aujourd'hui interdisciplinaire et que l'étude de l'art pariétal s'est longtemps perdue dans un système de pensée unique, je propose d'agrandir notre vision. Pour nous rendre compte des terrains qu'il nous reste à parcourir, ou des limites de notre système, tentons ainsi un aperçu de différentes manières de penser l'espace.

2.2.3.1. Conceptions théoriques

Dans la culture occidentale, il est courant de considérer l'espace comme un milieu vide et absolu et ce, depuis l'avènement de la pensée cartésienne qui propose de le voir comme une étendue, un contenant indifférent de son contenu (Figure 10). Dans un même ordre d'idée, Lefèbvre (1974) évoque les différents types d'espaces mathématiques (espace euclidien, à courbures, …), qui sont extérieurs à notre champ de perception. Dans cette représentation commune de l'espace, cet auteur note également que ce dernier est totalement séparé du concept de temps, comme si ceux-ci évoluaient sur deux systèmes différents, sans se croiser.

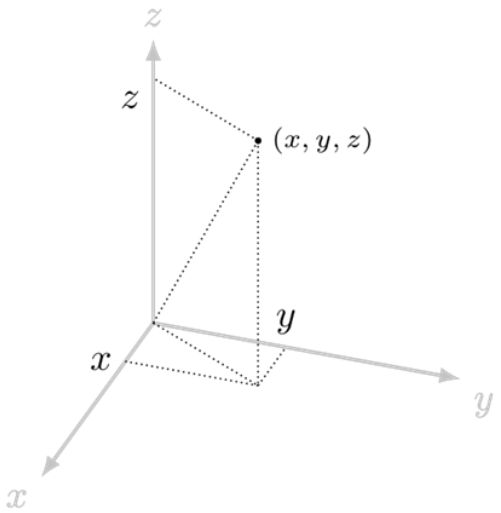


Figure 10. Coordonnées cartésiennes de l'espace.

Comme le notent également Hall *et al*. (1968), l'espace et le temps sont des concepts spécifiques à une culture. Cependant, ils tendent à être considérés comme « universellement valables » par chaque culture, ce qui peut être illustré dans le vocabulaire de tous les jours.

S'opposerait à cela la notion *d'espace relatif*, avec la philosophie de la centralité, qui le considère uniquement par rapport à un sujet et à une situation (Moles & Rohmer, 1998). C'est dans cette idée que s'insère Berthoz (2005), qui suggère que l'espace est toujours conçu, perçu et vécu en fonction de notre cadre de référence propre (basé sur le fonctionnement de notre cerveau). Cet angle d'approche, qui replace l'humain et sa perception dans l'équation, a été évoqué dans le cadre de l'étude de l'art préhistorique, notamment par Groenen (2013) puis Fritz (2020). Cette dernière met également en avant, en citant les travaux de Merleau-Ponty (1945, 1964), Gibson (1950), Guillaume (1979) ou Berthoz (2005), le lien de l'espace avec le mouvement. Elle définit ainsi trois types d'espaces : (i) l'espace du corps (qui s'arrête aux limites de nos possibilités de préhension directe), (ii) l'espace de l'environnement proche et (iii) l'espace de l'environnement lointain.

Dans les grottes aux passages étroits ou difficiles, comme celles d'Aizpitarte (*alias* Aitzbitarte), de Nerja ou d'Arenaza, pour ne citer que quelques exemples, cette notion d'expérience subjective et le lien entre l'espace et le mouvement sont abondamment illustrés.

On retrouve ce point de vue basé sur la perspective de l'individu chez Hall (1959), qui introduit l'idée que puisque l'espace et la territorialité sont intrinsèquement liés à notre culture, les comportements spatiaux peuvent être considérés comme un « langage silencieux » en ce qu'ils mobilisent un code. Ainsi, par exemple, la distance physique entre les individus lors de leurs interactions est le fruit de normes sociales, qui varient d'une culture à l'autre (c.f. i.a., Lomranz, 1976; Kreuz & Roberts, 2017). Selon Sapir, certains aspects de la culture sont considérés comme acquis et exploités par les membres d'une communauté ethnique "… in accordance with an elaborate and secret code that is written nowhere, known by none, and understood by all". [« ... conformément à un code élaboré et secret qui n'est écrit nulle part, qui n'est connu d'aucun, et qui est compris par tous »] (Sapir, 1927, p. 556).

Ce lien entre l'espace et notre perception de celui-ci a également été étudié par Moles et Rohmer (1998), qui envisagent la question de l'appropriation : *dominer l'espace au lieu d'être dominé par lui*. Ceci, par étapes, d'abord avec l'exploration puis par l'enracinement. C'est la proposition que l'on retrouve également chez des chercheurs comme Pigeaud (2005) ou Groenen (2013). Le premier aborde dans ses travaux ce qu'il appelle les *phases de prise de possession de la caverne*, qu'il divise en trois niveaux : exploration, appropriation et utilisation.

Le deuxième, de son côté, avance comme indice de ce processus le mécanisme d'utilisation des reliefs suggestifs de la cavité pour la création des images pariétales, qui implique une connaissance préalable en profondeur du réseau souterrain.

Toujours dans cette idée de relation avec l'espace, Moles et Rohmer (1998) reconnaissent trois degrés de valorisation de l'espace, en fonction de notre relation avec celui-ci : l'espace avec lequel nous n'avons *pas de relation*, le lieu ayant pour nous une *identité*, et celui que nous nous sommes *appropriés*.

Il est intéressant également de considérer la proposition de Lefèbvre (1974), qui suggère de voir l'espace comme un *produit*, créé et créateur. Selon ce philosophe, l'espace et le temps ne sont pas des « faits de *« nature »* plus ou moins modifiée », mais des produits de culture : ils seraient des aspects d'une « nature seconde », effet de l'action des sociétés sur les données sensibles, les matières et les énergies. Au-delà du fait d'être des produits, ils interviendraient aussi dans la production, en organisant le travail productif, les déplacements, les réseaux de répartition des produits, etc. Par rapport à l'art des grottes, cette pensée semble pertinente, puisque nous voyons que l'espace intervient directement dans la répartition des motifs, au niveau de la structure générale des réseaux, ainsi que de la forme des parois. L'espace lui-même est donc d'une certaine manière actif dans la création de l'art, il est le produit de la société qui l'utilise mais intervient aussi dans les actions de celle-ci.

De même, en ce qui concerne ce que l'environnement offre, Gibson (1977, p. 67) élabore le concept d'*affordances* : "The affordance of anything is a specific combination of its substance and its surfaces taken with reference to an animal" [« L'affordance d'une chose est une combinaison spécifique de sa substance et de ses surfaces prises en référence à un animal »]. En d'autres termes, il s'agit de ce que l'environnement offre, « pour le meilleur ou pour le pire ». D'après lui, un endroit peut être 'sit-on-able', 'bum-into-able' or 'fall-off-able' [« assis-able », « cogn-able » ou « tomb-able »]. De ce point de vue, les grottes, comme tout environnement, offrent de nombreuses possibilités et en restreignent d'autres.

Un autre apport de la philosophie particulièrement pertinent dans le cadre de l'étude de l'art pariétal est la proposition de Moles et Rohmer (1998) d'identifier certains types d'espace spécifiques comme *l'île*, ou *la grotte*. Selon ces auteurs, ce qu'ils appellent *archétypes* sont des formes d'espace particulières en ce qu'elles impliquent une décision concrète : ce sont des espaces où l'on décide d'aller, *où l'on va*. On n'y passe pas par hasard et s'y rendre nécessite une préparation qui peut être importante. Nous serions là devant le passage de l'espace au *lieu*. Ce concept est tout à fait applicable à l'art des grottes qui nécessite une préparation, des

ressources matérielles (lumière, matériel de dessin et de peinture, échafaudages et cordes éventuelles, etc.), une forme physique et, éventuellement, un entraînement spécifique.

A ce propos, il est intéressant d'observer qu'en règle générale, les êtres humains peuvent faire référence linguistiquement —ou en pointant du doigt— à ce qu'ils conçoivent comme des lieux, mais pas aussi facilement aux espaces, qui tendent à ne pas avoir de démarcations conceptuelles claires. Sur le plan linguistique, les lieux peuvent être désignés par des démonstratifs associés à des noms communs, comme *cette grotte*, ou par des désignateurs rigides de toponymes — des noms propres — comme *Aizpitarte*. Au contraire, les espaces ont tendance à être des entités vagues dépourvues de noms et la référence déictique ne peut se faire qu'au moyen d'une démarcation réelle.

De la même façon, Moles et Rohmer suggèrent que certains espaces peuvent être propices à certains types d'utilisation. C'est notamment le cas de l'espace sacré, qui peut être lié à certaines caractéristiques physiques comme la verticalité, pour n'en citer qu'une. La verticalité a en effet pris un poids particulier dans l'ascétisme chrétien, et se retrouve également dans d'autres traditions (par exemple les églises gothiques particulièrement hautes comme celle d'Ulm Minster ou la cathédrale de Cologne, les pagodes bouddhistes de Tiānníng ou Tō-ji ou les mosquées musulmanes de Al-Nour ou Isfahan). Certains lieux investis par les Préhistoriques, aux dimensions imposantes, comme La *Grande salle* de Pech-Merle, par exemple, ou la *salle du Cataclysme* de Nerja (Figure 11) invitent à se poser la question de l'impact de ces caractéristiques sur le choix de l'emplacement des figures.

Tous ces exemples et approches, s'ils tendent vers diverses directions, mettent en évidence le fait qu'il serait peu pertinent de considérer notre conception contemporaine et *WEIRD*[15] de l'espace comme universelle : cette notion implique une grande complexité.

[15] WEIRD est l'acronyme de Western, Educated, Industrialized, Rich et Democratic [Occidental, Eduqué, Industrialisé, Riche et Démocratique]. Voir, entre autres, Henrich (2020). Ce concept est basé sur l'idée que le point de vue des personnes WEIRD ne représentent qu'une portion non-représentative de la diversité culturelle de l'humanité. Il vise à sensibiliser aux différences psychologiques et aux biais présents dans les études menées dans le cadre des sciences cognitives, de l'économie comportementale et de la psychologie.



Figure 11. Grotte de Nerja (Málaga, Spain), Salle du Cataclysme (© A. J. Torres Riesgo). On peut se représenter les dimensions de la salle grâce à la présence des chercheurs vêtus de jaune.

2.2.3.2. Approche ethnologique comparée

Voyons à présent ce que l'ethnoarchéologie peut apporter à notre réflexion. Cette discipline nous offre un panel de perspectives importantes par rapport au concept d'espace, en ce qu'elle permet, comme le remarquent Domingo *et al.* (2020), de mettre l'accent sur les variations sociales et culturelles qui se produisent de manière diachronique et diatopique.

Dans leur article sur les sites d'art rupestre aborigène australien de la région de Barunga, ces auteurs remettent en question l'idée communément admise par les archéologues selon laquelle les sites facilement accessibles sont associés à un type d'art « public » ou profane, tandis que les sites moins accessibles sont liés à une forme d'art plus privée ou sacrée. Ils donnent l'exemple du site d'art rupestre Doria Gudaluk, dont les degrés d'accessibilité varient en fonction de la période de l'année et du contexte, ce qui illustre bien la complexité qui peut être présente dans les cultures de peuples chasseurs-cueilleurs. Ainsi, les cérémonies qui y ont lieu se déroulent en partie sur site et en partie hors-site (y compris dans des lieux depuis lesquels l'art rupestre n'est pas visible). Certains sites sont ainsi ouverts en général, mais soumis à des régulations d'accès pour les cérémonies. Ce contrôle culturel, tout comme certaines actions cérémonielles comme les danses, ne laisse pas de traces.

Des traitements différentiels similaires de l'espace peuvent être observés chez pratiquement tous les groupes humains. Par exemple, les Nukak de la forêt tropicale amazonienne (Politis, 2007) conçoivent l'espace qui les entoure comme une juxtaposition de cinq dimensions à travers lesquelles ils perçoivent et utilisent le paysage et où ils affichent différents modèles de comportement (le *territoire de la tribu*, le *territoire du groupe régional*, l'*espace lointain qui est connu mais rarement visité*, le *territoire qui est connu mais non visité* et l'*espace mythique de la cosmologie Nukak*).

Comme mentionné, de telles conceptions émiques différentielles de l'espace sont bien attestées dans les populations humaines et, très souvent, elles impliquent un traitement rituel différent : Par exemple, chez les Garifunas (Coelho, 1955), le rite d'appel des esprits (*arairaguni*) peut être pratiqué dans des espaces publics ou privés, selon le praticien. Si ce rituel a lieu dans un espace privé, le public ne peut qu'entendre la performance du praticien, mais s'il a lieu dans un espace public, toutes les pratiques rituelles et les actes de l'officiant sont visibles, ce qui lui confère un prestige beaucoup plus grand au sein de la communauté.

De même, les conceptions mystiques et rituelles de l'espace peuvent être observées dans le comportement linguistique particulier de certaines cultures : les Burus, par exemple, utilisent des éléments lexicaux différents en fonction du contexte (ceux utilisés à la maison ne sont pas ceux usités lors des expéditions de chasse), afin d'éviter les mauvais esprits et de garantir une bonne chasse (Grimes & Maryott, 1994), comme le font les Kewa, les Mbongu et les Gawigl lorsqu'ils se trouvent dans la zone des pandanus (Franklin, 1972; Franklin & Stefaniw, 1992). Des « tabous linguistiques quotidiens » analogues sont observés chez les Marshallais lorsqu'ils se rendent sur l'« île aux oiseaux » (Tobin, 1952), ou chez les insulaires de l'île Rossel sur l'île de Loa (Armstrong, 2011).

Enfin, le traitement différencié de l'espace et ses pratiques linguistiques associées sont largement attestés dans les rites d'initiation, de l'Afrique de l'Ouest à l'Australie, où les enfants à initier sont généralement retirés de la communauté, isolés hors de leur zone de vie habituelle et souvent initiés à une langue particulière pendant la période d'initiation.

L'ethnologie peut aussi nous éclairer quant à la question de l'audience en nous ouvrant à des perspectives peut-être négligées jusqu'ici. Comme le remarque Carlson (2018): « Performance is always performance for someone, some audience that recognises and validates it as a performance even when, as is occasionally the case, the audience is the self » [La performance est toujours une performance pour quelqu'un, un public qui la reconnaît et la valide en tant que telle, même si, comme c'est parfois le cas, le public est soi-même]. Les esprits ou d'autres entités

métaphysiques peuvent également être considérés comme le public de ces performances, entités qui ne pourraient pas être restreintes aux critères d'occupation observés traditionnellement par les archéologues (Witelson, 2023).

De la même façon, nous devons élargir notre conception de la question de la visibilité en général. L'archéologie a le plus généralement tenté de répondre à l'épineuse question du public-cible en calculant la capacité maximale d'un site ou d'une zone. Cependant, s'il est difficile d'augmenter la possibilité d'accueil physique d'un lieu, il est possible de la restreindre, de nombreuses façons. Comme le proposent en effet certains auteurs (Domingo et al., 2020), il n'y a pas de claire relation entre la taille de l'audience et la taille du site. Une restriction culturelle, avec des enjeux de danger (de punition par les esprits ou par les hommes de lois traditionnels) pouvait être de mise. Certains endroits peuvent en effet être considérés comme étant si puissants qu'il pourrait s'avérer dangereux pour des non-initiés, ou pour certains individus d'un genre déterminé de s'en approcher[16].

Cette idée est cohérente par rapport aux observations de Guy (2017) sur les inégalités au Paléolithique. Contre l'idée reçue d'une sorte de communautarisme, cet auteur défend qu'il y avait déjà des inégalités sociales et économiques à l'époque et que « L'occupation humaine avérée de sites ornés et/ou riches en œuvres mobilières mérite d'être soulignée. Elle suggère en effet, là encore, que des individus à l'exclusion des autres vivaient au contact des représentations dont le caractère sacré paraît peu contestable. L'occupation des grottes ornées pourrait donc constituer un signe supplémentaire de discrimination sociale, comme semble déjà l'être l'inhumation ou le dépôt de défunts dans les cavités décorées. On a distinctement le sentiment ici d'une forme d'appropriation du sacré par une minorité ».

Un autre type de limitation de l'accès est le secret autour du sens des figures. Ainsi, un même motif peut avoir différents niveaux de sens, révélés en fonction de l'âge, du genre et des qualités personnelles de l'observateur potentiel. Des motifs peuvent de cette manière être cachés en plein jour, par une restriction de l'information.

[16] Par exemple, le Garbhagriha des temples hindous — rarement accessible à quiconque en dehors des prêtres du temple « pūjari » (Bharne & Krusche, 2014) ; le sanctuaire intérieur (Kōtai-jingu) de Naikū à Ise, qui est le plus sacré des sanctuaires shinto au Japon, uniquement accessible à la famille impériale et à la prêtresse la plus élevée — traditionnellement, une fille de l'empereur lui-même (Tange & Kawazoe, 1965) — ; Le Saint des Saints du Temple de Jérusalem, qui, dans l'ancienne tradition juive, était considéré comme la demeure de Dieu, dont l'accès était réservé au seul grand prêtre, et uniquement le jour de Yom Kippour (Barker, 1998) ; ou la chapelle de la Tablette de la cathédrale d'Axum de l'Église orthodoxe éthiopienne Tewahedo, qui abriterait l'Arche d'Alliance et serait entretenue par un seul moine, nommé à vie (Heldman, 1992).

La connaissance liée à l'image, tout comme sa localisation, peut être une source de pouvoir, comme l'ont observé Nash et Smiseth (2015) en étudiant plusieurs sites de gravures de chasseurs/cueilleurs/pêcheurs norvégiens, dont la localisation était cachée pour maintenir ou renforcer les hiérarchies sociales, et dont le sens des images était également sujet au secret.

L'ethnologie peut aussi nous renseigner à propos de la perception de l'espace et du paysage en général. Ainsi, Luig et Von Oppen (1997) suggèrent que le paysage est davantage un processus historique qu'un résultat fini, et Thomas (1993), propose l'idée que le paysage, plutôt que d'être vu comme un objet, depuis la perspective de l'observateur, doit être compris de l'intérieur. C'est dans une perspective similaire que s'inscrit la *performance theory*, qui propose un angle de recherche nouveau. Selon Witelson (2023), les questions traditionnelles des archéologues à propos de l'art rupestre, comme *Qu'est-ce que ça représente ? Qui l'a fait ? Quand cela a-t-il été fait ? Comment cela a-t-il été fait ? Qu'est-ce que cela signifie ?* restreignent le champ de la vision de l'art. Ces travaux proposent ainsi de s'intéresser aux processus en jeu autour de la création, la visualisation et l'utilisation de l'art rupestre.

Par rapport au choix des lieux, ou de la réutilisation systématique des mêmes parois ou abris, l'ethnologie nous montre qu'il existe de nombreux critères de décision possibles. Comme l'observent certains travaux (Domingo et al., 2020), l'utilisation récurrente des mêmes abris montre que ce qui importait, plus que les peintures, c'était le lieu et le paysage environnant. Le travail de Taçon (1990) va un pas plus loin en affirmant que certains sites sont visuellement imposants et « invoke common responses in human beings – feeling of awe, power, majestic beauty, respect » [suscitent des réactions communes chez les êtres humains - sentiment d'admiration, de puissance, de beauté majestueuse, de respect] (Taçon, 1990, p. 37). Bahn suggère quant à lui l'idée qu'il y aurait dans la grotte des zones « universellement désagréables » (Bahn, 2003), tandis que d'autres seraient plus propices à la création d'un décor. Ceci vient rejoindre l'idée avancée par Moles et Rohmer (1998), mentionnée plus haut, que certaines dispositions physiques invitent à un type d'utilisation de l'espace. Certains auteurs vont jusqu'à proposer que l'espace de la grotte et ses conditions environnementales spécifiques peuvent induire des effets sur le comportement humain, ce qui aurait des implications par rapport à la création de l'art (par exemple l'hypothèse basée sur l'hypoxie (Kedar et al., 2021)).

Dans le même registre, nous trouvons également le concept de *territoires imprégnés*, présent dans la cosmogonie des peuples aborigènes australiens, qui raconte comment au *Dreaming* [Temps des Rêves], les Êtres anciens ont façonné le paysage avec des actions intentionnelles et non-intentionnelles, qui ont imprimé des forces spirituelles dans le territoire (Mather, 2003).

L'intégration de l'ethnologie à la recherche en archéologie, c'est-à-dire l'ethnoarchéologie, nous permet ainsi, tout comme la philosophie, d'ouvrir notre regard aux nombreuses possibilités de conception de l'espace. Cependant, si les parallèles sont très tentants avec l'art des grottes, Domingo *et al*. (2020) nous rappellent avec raison que l' « Ethnoarchaeology has been misused in the past, through the enthusiastic but misguided application of Australian Aboriginal totemism to Palaeolithic cave art (e.g. Breuil & Lantier, 1950), across thousands of years and thousands of kilometres. [L'ethnoarchéologie a été utilisée à mauvais escient dans le passé, par l'application enthousiaste mais erronée du totémisme aborigène australien à l'art rupestre paléolithique (par exemple Breuil & Lantier, 1950), à travers des milliers d'années et des milliers de kilomètres.] » (Domingo et al., 2020, p. 718) ; Tâchons donc d'y trouver une source de remise en question de nos idées préconçues, sans glisser dans l'attractif écueil de la comparaison anachronique.

2.3. Études géomatiques

Ce travail se distingue par l'utilisation des nouvelles technologies pour l'analyse spatiale. Ce faisant, il suit les traces d'autres travaux, bien que cette voie soit encore peu fréquentée, pour le cas de l'étude des grottes ornées.

La reconnaissance de la pertinence de l'utilisation de la représentation tridimensionnelle pour l'étude de l'art pariétal s'est faite il y a plus de quinze ans déjà, avec une accentuation ces dix dernières années. Ainsi, des techniques telles que la photogrammétrie ou la lasergrammétrie ont été adoptées par plusieurs chercheurs pour :

(i) générer une documentation des espaces en eux-mêmes (Gonzalez-Aguilera et al., 2009; González-Aguilera et al., 2009; Angás et al., 2013, 2014; Martin-Beaumont et al., 2014; Xu et al., 2014; Angás & Bea, 2014; Galeazzi et al., 2014; Cassen et al., 2014; Plisson, 2015; Plisson & Zotkina, 2015; Alexander et al., 2015; Cortón Noya et al., 2015; Jaillet et al., 2017; Rivero et al., 2019b),

(ii) contrôler l'état de conservation des zones décorées (Lacanette & Malaurent, 2010; Hoblea et al., 2014; Garate et al., 2025),

(iii) produire des relevés (Azéma et al., 2010; Fritz et al., 2010b; Robert et al., 2012; Domingo et al., 2013; Feruglio et al., 2013; Defrasne, 2014; Fuentes et al., 2019; Lesvignes et al., 2019; Le Fillâtre et al., 2021; Barbuti et al., 2023) et même une restauration virtuelle à travers ceux-ci (Fritz et al., 2010a; Beraldin et al., 2011; Azéma & Gély, 2014),

(iv) analyser les données, l'art et son contexte (Güth, 2012; Sadier, 2013; Boche et al., 2014; Bourdier et al., 2015; Robert et al., 2016; Zotkina & Miklashevich, 2016; Genuite et al., 2023).

Notons qu'au-delà de l'illustration, l'utilisation de la 3D permet également de dépasser les fameuses catégorisations que nous avons vues dans la section 2.2.2 de réflexion : l'espace est vu et conçu comme un tout sans subdivisions ni descriptions lexicales. L'avènement de la réalité virtuelle est aussi une possibilité qui va dans cette direction (Wisher et al., 2023a; Torres et al., 2024).

Sur base de ces structures en trois dimensions, il est possible de pousser plus loin la recherche, en utilisant des logiciels comme les SIG, qui permettent de mesurer une série de données spatiales.

Ce terme de SIG, *Système d'Information Géographique* (GIS en anglais , pour *Geographic Information System*), qui sera beaucoup usité dans cette thèse, me semble nécessiter une définition. Je rejoins le site web https://geoconfluences.ens-lyon.fr/[17] qui le définit de la façon suivante :

> « Système qui permet de recueillir, stocker, traiter, analyser puis mettre en forme des données géographiques. Il permet d'analyser sous forme de « couches » les différentes informations numériques disponibles sur un territoire géoréférencé, c'est-à-dire dont les informations sont référencées selon leurs coordonnées géographiques. Structurées sous forme de bases de données, elles peuvent être extraites, triées, traitées à partir des requêtes de leur utilisateur. Ces systèmes facilitent donc les opérations de superposition, comparaison, simulation des données sur un espace. Ils permettent, en particulier, de réaliser des Modèles numériques de terrain (MNT) et d'avoir une vision 3D de restitution et de simulation paysagère des espaces étudiés. Ils facilitent les études d'anticipation des transformations d'un paysage : impact visuel de certains travaux et projets d'aménagement (autoroute, lignes à grande vitesse, projets immobiliers, aménagements paysagers, forestiers). »

Ces systèmes sont aujourd'hui largement répandus dans l'archéologie en général (Menéndez-Marsh et al., 2023), en particulier dans le domaine de l'archéologie du paysage, avec des études portant sur l'analyse des champs visuels et auditifs des sites, leur distribution géographique ou leur proximité avec les ressources environnantes (Wheatley & Gillings, 2000, 2002; Wheatley,

[17] Consulté le 1er juillet 2025.

2004; Llobera, 2007, 2012; Magnin, 2013; Gillings, 2015, 2017; Dell'Unto et al., 2016; Landeschi et al., 2016; Wienhold & Robinson, 2017; Díaz-Andreu et al., 2017; Wernke et al., 2017; Landeschi, 2019; Dell'Unto & Landeschi, 2022).

Les SIG ont également fait leurs preuves dans les milieux souterrains (Moyes, 2002; Herrmann, 2002; Nigro et al., 2003; Boche et al., 2012; Ortega Martínez, 2012, 2014; Albert, 2017; Landeschi et al., 2019; Louman, 2022; Intxaurbe et al., 2022) et abris sous-roche (Bourdier et al., 2017), malgré les contraintes que leur application implique dans ces environnements. Principalement appliquées à l'étude des motifs rocheux, ces études récentes se sont concentrées sur les questions d'accessibilité, de visibilité, de capacité d'accueil et d'itinéraire optimal de passage.

Cependant, la combination des deux, c'est-à-dire l'application des SIG à la décoration des grottes en tant qu'objets tridimensionnels (et pas seulement en tant que surfaces en plan), n'est pas évidente, car ces outils ont été conçus pour un univers bidimensionnel. Ainsi, l'ajout d'une troisième dimension, c'est-à-dire la possibilité de l'existence simultanée de plusieurs points partageant les mêmes coordonnées en *x* et en *y* (pour un *z* différent) est une donnée complexe à gérer pour un programme qui n'est pas pensé pour cela (ni son système général, ni tous les calculs qu'il permet de réaliser).

Des propositions pour combiner les possibilités des SIG aux objets en trois dimensions comme les grottes ont été effectuées ces dernières années par Intxaurbe *et al.* (2020, 2022, 2024). Appliquées principalement à l'étude des motifs rupestres, ces études se sont concentrées sur les questions d'accessibilité, de visibilité, de capacité spatiale de certaines zones décorées ou leurs conditions d'accès (Intxaurbe et al., 2021). Ces nouvelles propositions constituent un précédent important à ce travail, qui repose sur des prémisses similaires (et une partie de la méthode d'analyse). Nous le verrons, combinés à des outils statistiques, ces technologies et programmes permettent une nouvelle approche qui s'éloigne des méthodes traditionnelles, ces dernières étant caractérisées par des moyens de description et de mesure qui peuvent se révéler subjectifs.

2.4. Approche préliminaire

2.4.1. Introduction

Avant de proposer une nouvelle méthode d'analyse spatiale, avec les outils numériques disponibles aujourd'hui, j'ai fait la démarche de tenter une analyse spatiale traditionnelle, avec les méthodes utilisées depuis les prémisses de la discipline en utilisant les sources publiées.

Ceci, dans le but d'établir un premier état des lieux quant aux possibilités de ce type d'angle d'approche et aux nécessités en termes de méthode et d'outils d'analyse.

Dans cet objectif, j'ai rassemblé les informations disponibles sur les 39 grottes et abris ornés hébergeant des mains négatives connus à ce jour (Figure 1, p. 24) afin d'essayer de déterminer les schémas de distribution de ces motifs dans les réseaux souterrains. Sur base de leurs plans, et de la situation des mains dans celles-ci (parfois décrite très sommairement dans les publications disponibles), j'ai ensuite organisé les cavités en différents groupes, en fonction de la position des mains négatives dans le plan de la grotte.

2.4.2. *Corpus*

Ce *corpus* est formé, donc, des trente-neuf grottes contenant des mains négatives situées au Paléolithique récent :

Altamira, Archambeau, Arcy-sur-Cure (Grande Grotte), Ardales, Bernifal, Beyssac, Bison, Chauvet, Combarelles, Combe-Nègre I, Cosquer, El Castillo, El Cudón, Emilie, Erberua, Las Estrellas, Les Fieux, Font de Gaume, Fuente del Salín, Fuente del Trucho, Gargas, Gorham, Roc de Vézac, La Garma, Labattut, Maltravieso, Margot, Les Merveilles, La Montera del Torero, Moulin de Laguenay, Las Palomas IV, Paglicci, Pech-Merle, Poisson, Roucadour, Tibiran, Tito Bustillo, Les Trois-Frères et Vilhonneur.

Je précise que cette étude préliminaire se restreint aux mains négatives, à l'exclusion des mains positives, frottées, ponctuations ou tracées digitaux, pour limiter au maximum la subjectivité de la catégorisation des motifs.

Il faut encore souligner que ce que j'appelle « méthode traditionnelle » est l'étude spatiale sur base de la bibliographie actuellement disponible et publiée, c'est-à-dire la documentation bidimensionnelle (plans et photos) et la description de celles-ci dans les différents articles et ouvrages. Je l'ai dit, cette information restreinte peut donner une image distordue de la réalité, dans le sens où il s'agit de données peu nombreuses et spécifiques, qui peuvent orienter le regard et l'axe d'analyse. Cependant, je choisis, dans le cadre de cette approche préliminaire, de m'y limiter, pour évaluer les possibilités des informations et méthodes traditionnelles, ainsi que les potentielles limitations des publications sous leur forme actuelle.

2.4.3. Zones de la cavité

Dans un premier temps, j'ai organisé les cavités en différents groupes en fonction de la position des mains négatives dans le plan de la grotte. Sur base de l'observation générale de la dispersion des mains négatives dans celles-ci, j'ai établi cinq catégories (Figure 12 et Figure 13).

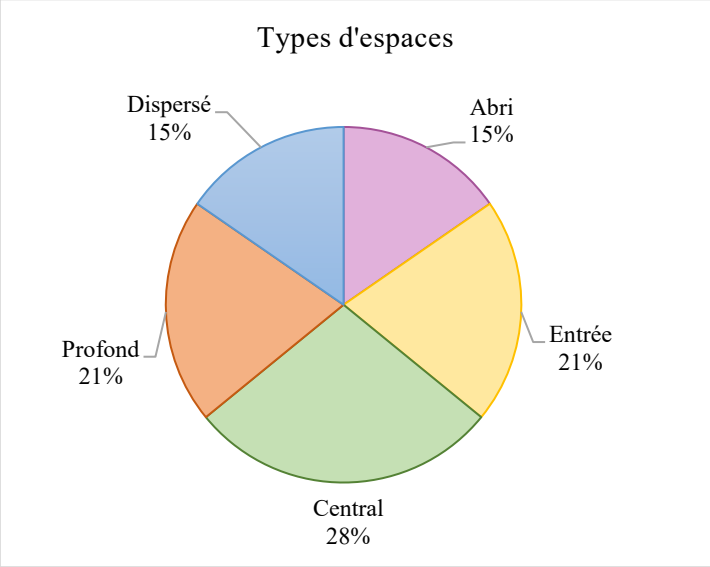


Figure 12. Distribution des mains négatives sur base du plan de la cavité.

J'ai séparé d'une part les *abris*, dont le faible développement impliquait une catégorie singulière, puis les grottes dont les mains se situaient proches de l'*entrée*, vers le *milieu* de la cavité, dans le *fond* de celle-ci et enfin de façon *dispersée*, dans de multiples espaces au sein du réseau souterrain.

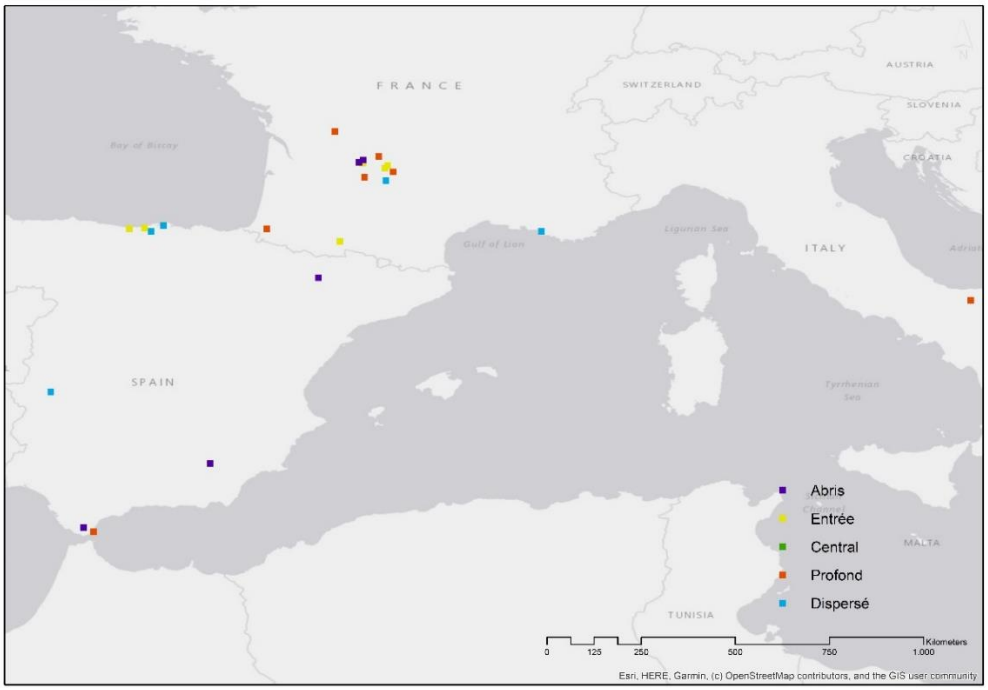


Figure 13. Répartition géographique du *corpus* en fonction de la distribution des mains sur le plan de la cavité.

Comme nous le voyons sur la répartition géographique et dans le graphique de distribution en catégories, cette première proposition de répartition en catégories ne semble pas dégager de dynamiques récurrentes dans la répartition des mains négatives dans les cavités. Ceci peut être adressé de deux manières. La première serait d'y conclure que chaque cavité héberge une distribution de mains négatives différentes et qu'il n'est pas pertinent d'y chercher une logique commune. La seconde, pour laquelle j'opte, envisage une remise en question de mon angle d'approche. En effet, si cette première tentative de distribution n'a pas donné de résultats concluants, cela peut être lié à plusieurs facteurs :

(i) Tout d'abord, la création des catégories. Celles-ci, très simples, sont arbitraires, car basées sur trop d'éléments pour éviter la subjectivité.

(ii) Ensuite, le manque d'information. Cette séparation des grottes en différents groupes est basée, je l'ai dit, sur leur situation dans le réseau, uniquement à travers la vue en plan, des photos et leur description, quand elle était disponible, ce qui représente très peu de données pour travailler de manière informée. Ce manque vient donc fausser les données de travail.

(iii) Enfin, la spécificité de ces informations oriente la recherche dans une direction spécifique. Il paraît peu pertinent de penser, en effet, que les Paléolithiques avaient comme nous l'habitude de représenter les espaces sous forme de plans en deux dimensions, de visions zénithales pour des lieux aussi complexes que les grottes, avec leurs formes organiques, irrégulières, leurs différents étages et la perte de lien avec l'extérieur que l'on expérimente y cheminant. Cependant, ce type d'illustration nous oblige à penser l'espace de manière plane et linéaire, en ignorant tout des différents niveaux, de la forme et de la matière des parois, de la potentielle dangerosité ou inaccessibilité de certaines zones, bref, restreint et oriente notre conception des lieux, ce qui fausse notre jugement.

Tous ces éléments s'alignent pour empêcher une recherche pertinente, et m'amènent donc à considérer les résultats peu concluants de cette première étude comme une invitation à chercher d'autres axes d'investigation.

2.4.4. Espace de transit *vs.* espace reculé

Sur cette base, j'ai donc tenté une seconde approche, davantage orientée vers la question du cheminement dans la cavité, tentant de m'approcher de l'expérience d'une visite des cavités. Cette fois, j'ai considéré deux catégories seulement : les *emplacements de passage* ("espace

principal") et les *emplacements latéraux* ("espace secondaire"). Les mains considérées *dans le passage* seraient celles que le visiteur croise sur son chemin lors de sa visite du réseau souterrain, tandis que celles attribuées à la seconde catégorie seraient placées dans des voies latérales ou secondaires, qui ne seraient pas empruntées d'office lors du cheminement.

Cette analyse a donné des résultats plus concluants de la première, ceux-ci mettant en lumière la majorité écrasante (87,18 %) des mains négatives situées dans les espaces de passage (Figure 14 et Figure 15). Placées « sur la route » du visiteur ayant pour objectif de traverser la cavité sans spécifiquement l'explorer de fond en comble, elles permettent donc de poser de premières hypothèses en termes de visibilité de ces motifs. Tout semble indiquer, en effet, que les mains négatives sont situées dans des espaces principaux, ou de transit.

Ces résultats invitent également à poser la question de la fonction sociale des mains négatives : étaient-elles conçues pour être vues, disposées dans les espaces de passage car il importait qu'elles soient observées ? Si je pose l'hypothèse que les espaces principaux ou de passage sont rattachés à une catégorie de motifs que l'on pourrait qualifier de « publics », au contraire d'autres motifs plutôt situés dans des espaces reculés (de caractère davantage secret ou pour lesquels une connaissance préalable de l'emplacement des figures seraient nécessaires). Les mains négatives tendraient donc à se rattacher à ce premier groupe.

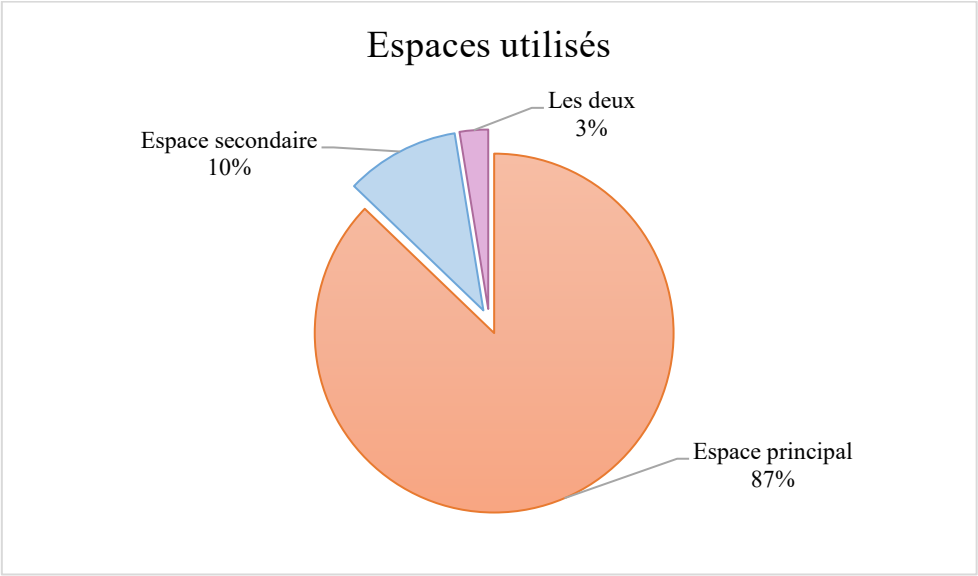


Figure 14. Distribution des mains négatives par rapport au cheminement dans la cavité.

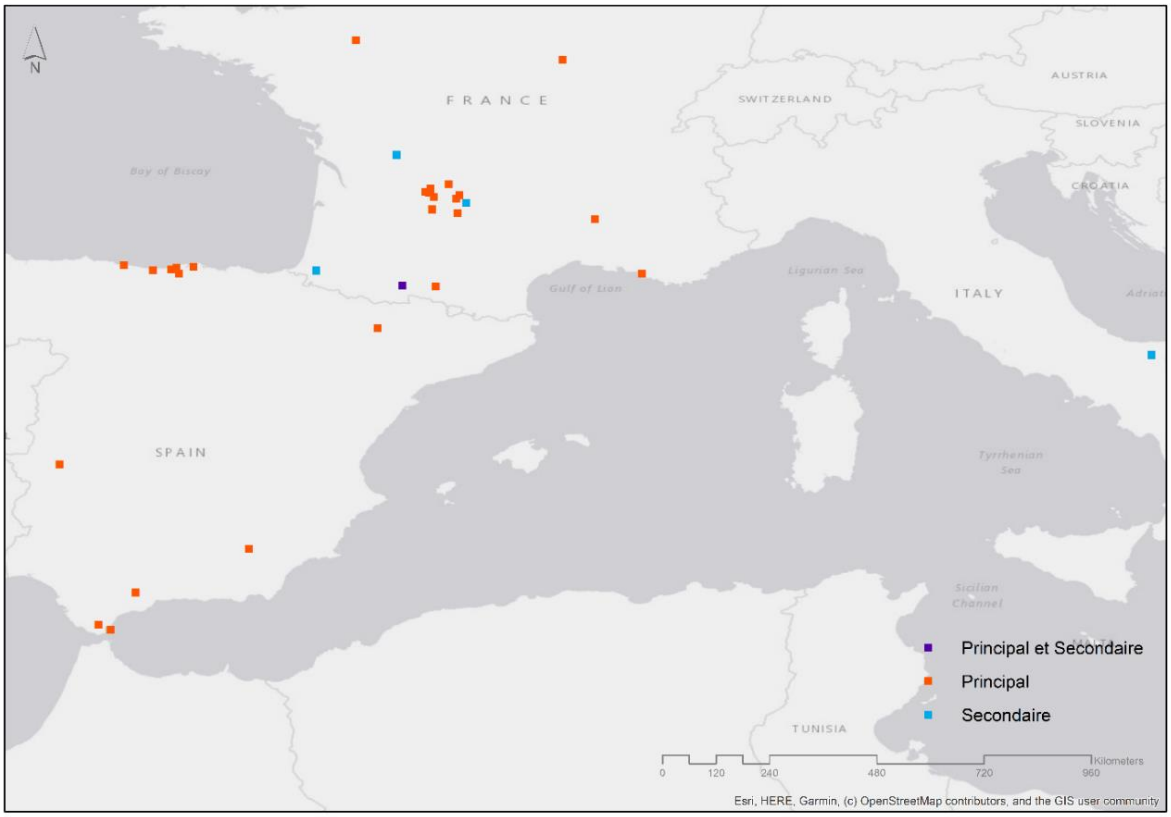


Figure 15. Répartition géographique du *corpus* en fonction de la distribution des mains négatives par rapport au cheminement dans la cavité.

Cependant, une analyse plus approfondie de certaines cavités, avec recoupement des informations (analyse *in situ*), m'a amenée à considérer la nécessité de préciser ces notions, trop simples pour refléter avec pertinence la complexité de ce système esthétique. En effet, dans certaines cavités, les mains négatives apparaissant « sur le chemin » dans les plans sont en fait disposées dans des espaces reculés de la paroi. Par exemple, les mains négatives de la grotte de Font-de-Gaume, placées proches du sol sur une paroi en retrait, ou celle des Combarelles, située dans une « niche » de la voûte (Man-Estier et al., 2015). Dès lors, ce « caractère public » est à remettre en question, si les figurations sont en réalité plutôt cachées à la vue.

Ces cas concrets viennent donc entériner mon hypothèse de base suggérant que les méthodes traditionnelles posent des limites problématiques pour l'étude de l'espace, nous restreignant à des résultats circonscrits et en proie aux difficultés de la subjectivité du chercheur.



MÉTHODE

3. Méthode

Nous l'avons vu, les enjeux méthodologiques et conceptuels qui s'imposent lors de l'analyse spatiale en art pariétal préhistorique sont nombreux et les exigences de ce sujet le sont tout autant. Comment aborder l'espace de la cavité, face à des grottes tellement différentes, sous de multiples aspects ? On peut se demander comment choisir une approche qui serait pertinente de façon transversale, pour toutes ces formes souterraines différentes. En effet, il est difficile d'établir des catégories ou typologies d'espace pertinentes, car c'est précisément l'aspect particulier de certains lieux ou zones qui déterminent le fait d'avoir été choisis pour être ornés. Face à ces difficultés, comme présenté plus haut (section 2.2.2) (Spaey et al., 2024), l'analyse spatiale n'a pas toujours reçu de la part des chercheurs l'attention qu'elle méritait, notamment à cause du manque de méthodes adaptées. Or, la technologie actuelle nous offre de nouvelles possibilités : plutôt que de décrire, nous pouvons tenter d'illustrer et de mesurer. En effet, si la représentation en deux dimensions ne convient pas à l'étude de l'espace, il est pertinent de se tourner vers l'imagerie 3D et les méthodes d'analyse qu'elle permet (Figure 16).

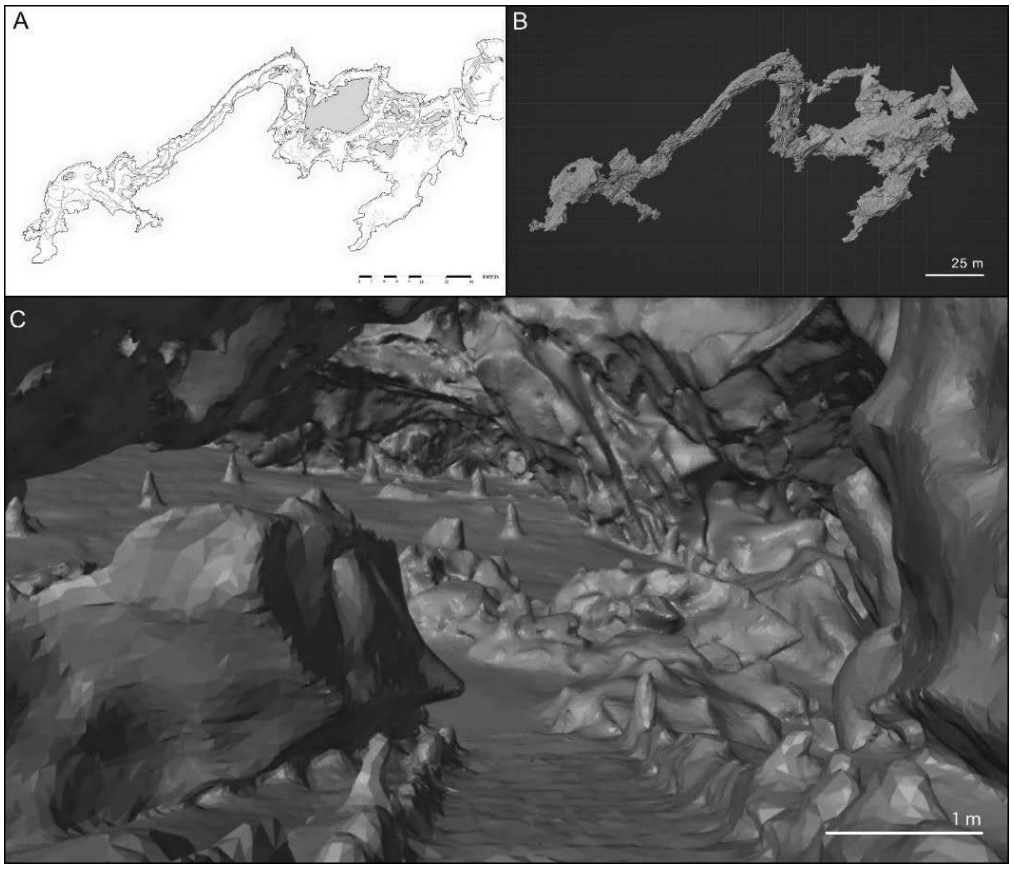


Figure 16. Comparaison entre le plan et des images 3D de la grotte d'El Castillo (Cantabrie, Espagne) (© Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno de Cantabria), où s'illustre bien la plus grande proximité entre notre expérience dans la visite d'une cavité et la visite tridimensionnelle de celle-ci (C), par rapport à l'illustration classique de son plan (A). **A**. Plan. **B**. Vue de l'objet 3D en perspective zénithale. **C**. Vue depuis l'intérieur de l'objet 3D (ici en deux dimensions, mais disponible en ligne sous forme d'objet 3D).

C'est le parti que je prends dans ce travail : utiliser les nouvelles technologies pour tenter, à travers elles, de pallier les problèmes rencontrés par le passé dans la recherche sur l'analyse spatiale.

A travers ces quelques lignes, je propose une méthode d'analyse spatiale combinant des outils de capture tridimensionnelle, l'analyse géomorphologique, l'étude d'archive, les *Systèmes d'Information Géographique* et les statistiques. Elle se caractérise par ses aspects systématique, quantifiable, reproductible et par là tendant à une objectivité plus importante que les méthodes traditionnelles. Ce processus comprend une série d'étapes de travail (Figure 17), qui seront développées ci-dessous : la création du modèle tridimensionnel, la localisation des unités graphiques étudiées, l'étude des changements de la forme de la cavité depuis le Paléolithique récent, la reconstruction virtuelle du modèle vers son aspect lors de la création des motifs, l'analyse spatiale proprement dite (avec les SIG), l'étude statistique des données obtenues et enfin l'interprétation.

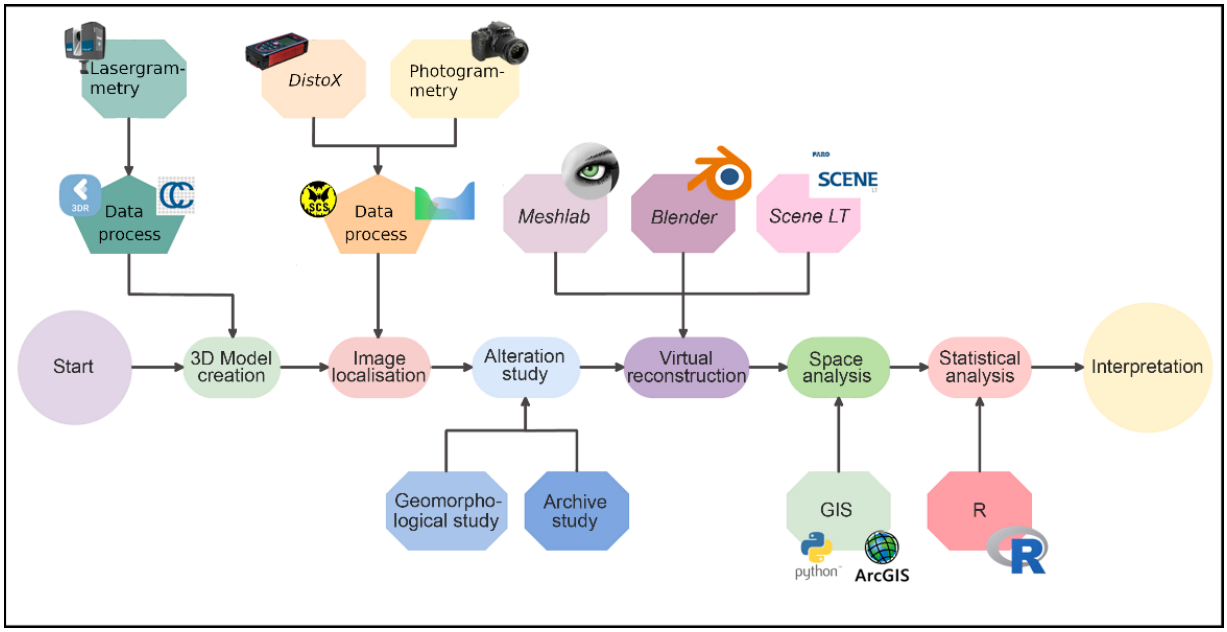


Figure 17. Organigramme des tâches proposées dans ce paradigme de recherche intégrative.

Dans ce chapitre, nous verrons les contraintes relatives au sujet, la structure choisie pour l'aborder, les questions éthiques liées à notre méthode et enfin le détail de celle-ci, en trois sections : les techniques de recollection de l'information, celles utilisées pour le traitement et la modification des données et enfin nos méthodes d'analyse spatiale et statistique.

3.1. Structure générale

Pour structurer et clarifier l'analyse spatiale, je propose une organisation en différentes échelles: globale, macro et micro. Cette division me permet de clarifier mon angle d'approche, au vu de la complexité du terme *espace* et de toutes les notions s'y rattachant.

3.1.1. Échelle globale

La première catégorie que je suggère est une *vision générale*, non seulement de la cavité mais aussi de son contexte, au niveau géographique (Monney, 2012; Genuite et al., 2018, 2022).

Cette échelle permet de parler, par exemple, de la présence ou l'absence de grottes ornées dans une région, ou encore de considérer le rapport d'une cavité avec son environnement proche (sources de matières premières, etc.) (Magnin, 2013), les grottes pouvaient également constituer un référentiel important dans le paysage (Vialou, 2005; Pigeaud, 2013). C'est à cette échelle que se déploierait aussi le *territoire symbolique* proposé par Pigeaud[18] (2005).

Je précise que cette échelle ne sera pas au centre, dans le cadre de ce travail de thèse doctorale, celle-ci étant uniquement centrée sur la dimension de la cavité.

3.1.2. Échelle macro

La deuxième échelle suggérée est celle d'un niveau que j'appellerai *macro*, qui est axé sur la cavité seulement. C'est à cette échelle qu'il est possible d'envisager le développement des différents dispositifs pariétaux.

Ainsi, à l'échelle macro se posent les questions de sélection de lieux, de modification de l'espace ou de déplacement dans la cavité (avec l'accessibilité des mains négatives, le *Least Cost Path*[19] [Chemin le plus facile] pour y accéder, ainsi que sa difficulté). D'autres questions, comme celle de la fonction des motifs (marqueurs topographiques, etc.), relèvent également de ce niveau, en ce qu'elles relèvent du cheminement dans la cavité en général. Enfin, la possibilité d'accueil des espaces, en termes de public, et la visibilité des motifs (entre elles et chacune séparément) sont aussi traitées à cette échelle.

[18] Cet auteur affirme que « le territoire s'inscrit aussi au niveau des mentalités ainsi que des comportements symboliques (rituels, processions, fêtes…). L'art rupestre à l'air libre structure le paysage, en délimitant des espaces « sacrés » et des espaces « laïques » et l'art pariétal dans les cavernes lui confère épaisseur et densité. » (Pigeaud, 2005, p. 178).

[19] Je détaillerai ce concept un peu plus loin (section 3.4.1).

Je présenterai dans un premier temps tous ces aspects d'un point de vue théorique, et je les détaillerai plus concrètement ensuite dans les autres sections de ce chapitre de méthodologie.

3.1.2.1. Sélection de lieux

La sélection de certaines zones au détriment d'autres, pourtant favorables à la décoration (parois lisses, accessibles, visibles, etc.), est une observation qui met d'accord nombre d'auteurs (Laming-Emperaire, 1962; Leroi-Gourhan, 1965, 1972, 1992; Sauvet & Sauvet, 1979; Vialou, 1986; Foucher, 1991; Clottes & Courtin, 1994; Gély & Porte, 1996; Bosinski & Schiller, 1998; Freeman & González Echegaray, 2001; Gély, 2001; González García, 2001; Pigeaud, 2004, 2013; Clottes et al., 2005; Delluc, 2006; Bégouën et al., 2009; Groenen, 2011, 2013; Jouteau et al., 2020; Jouteau, 2021). En constituent des exemples clairs la *Salle des Bauges* de Chauvet ou encore certaines parois de la grotte de Rouffignac, où de nombreuses parois non décorées en côtoient d'autres richement ornées, bien que présentant des surfaces tout aussi (voire davantage) appropriées.

Ces choix, visibles, peuvent s'illustrer de plusieurs façons :

(i) Notons, tout d'abord, qu'une paroi (gauche ou droite) peut être préférée, comme l'observe Groenen (2013) à El Castillo, pour les biches striées, les quadrangulaires cloisonnés et les mains négatives.

(ii) La distribution des motifs a également varié en fonction des périodes, et c'est là que vient s'insérer la difficulté mentionnée de différencier les dispositifs de décoration en présence. Certaines zones semblent avoir eu de l'importance durant de très longs laps de temps, puisqu'elles furent surchargées, avec des figurations parfois à des milliers d'années d'écart (Garate et al., 2021). Selon González García (2001), cet investissement spécifique de certaines parois constitue un indice d'une conception hiérarchisée de l'espace.

(iii) Notons aussi que des types spécifiques d'espaces semblent avoir particulièrement attiré l'attention des Paléolithiques. Par exemple, les recoins, niches et diverticules (González García, 2001; Delluc, 2006) ou encore les zones dangereuses, comme le puits de dix-neuf mètres de Cosquer (Clottes, 2008), ou l'art audacieux d'Etxeberri (Figure 18) ou de Santimamiñe (Intxaurbe et al., 2022). Certains de ces lieux très difficiles d'accès furent choisis comme support de représentation (Stone, 1995; Bahn, 2003; Groenen, 2013), ainsi que des espaces particulièrement singuliers, comme le *Sanctuaire des Mains* à Gargas (Barrière, 1976; Foucher et al., 2007; Clottes, 2008).



Figure 18. Grotte d'Etxeberri (Pyrénées-Atlantiques, France), Reconstruction graphique d'une corniche avec un cheval noir et des taches rouges, une zone à haut risque (© D. Garate & M. Medina-Alcaide).

3.1.2.2. Modifications de l'espace

Au-delà du fait de participer de manière passive à la structure de l'œuvre d'art en tant que support, l'espace fut également le fruit de manipulations de la part des Paléolithiques. Ceci tout d'abord au niveau d'une modification de la structure de celui-ci, avec le bris et/ou le déplacement de spéléothèmes (Las Monedas, Las Chimeneas, El Castillo, Villars, Bernifal, Carriot, le Combel) ou de blocs (La Garma (Figure 19), Les Trois-Frères, Domme, Le Tuc d'Audoubert, Ardales, Tito Bustillo, La Pasiega A, Chauvet, Enlène, Erbérua), ou encore le creusement de passages dans la paroi (Pech-Merle, Cougnac) (Groenen, 2016). Ensuite, directement dans la matière, pour créer l'œuvre, comme nous l'observons avec les bas-reliefs en argile des Pyrénées (Le Tuc d'Audoubert, Aizpitarte, Labouiche, Bédeilhac, Erbérua). Dans ces derniers cas, au lieu de s'adapter à l'espace présent, l'artiste a modifié le volume de celui-ci et créé l'espace artistique lui-même.



Figure 19. Structures dans le secteur IV de la grotte de La Garma (Cantabrie, Espagne) (© P. Saura).

3.1.2.3. Déplacement

La forme de la grotte influence également notre façon de s'y mouvoir. Il est donc pertinent, dans le cadre de la recherche, de s'attarder sur les potentiels liens entre le déplacement dans la cavité et la décoration paléolithique, comme l'ont proposé Rouzaud (1978), Delluc et Delluc (1979a), le Guillou (2005), Pastoors et Weniger (2011), Groenen (2013), Ochoa et García-Diez (2018) ou encore Intxaurbe *et al.* (2021). Ceci peut se faire à plusieurs niveaux.

En effet, pour voir toutes les œuvres d'une grotte, comme le met en avant Groenen (2013), le visiteur doit se déplacer, et ce cheminement est conditionné par la structure (naturelle) de la cavité. Il est donc intéressant de questionner la logique de déplacement. Rouzaud (1978) avance que l'attitude la plus cohérente est de choisir le chemin le plus facile. Une telle donnée, le caractère d'accessibilité, est aujourd'hui quantifiable grâce à des expérimentations et analyses à travers les *Systèmes d'Information Géographique* (SIG) telles que celles effectuées par Intxaurbe *et al.* (2021), qui permet d'ajouter un degré d'objectivité et de mesurabilité à ce paramètre complexe.

L'hypothèse suivante, pour faciliter le déplacement dans la cavité, avancée par Rouzaud (1978), est l'utilisation d'une *paroi-guide* [20]. A ce propos, Groenen et Groenen (2015) observent dans la grotte d'El Castillo pas moins de 732 traces charbonneuses distribuées de façon continue le long des parois. Selon cette étude, plutôt que des traces de torches aléatoires, il s'agirait éventuellement de marques réalisées de façon intentionnelle, comme balises topographiques. Ceci en raison de la composition de ces marques : si la majorité est faite de pin, d'autres contiennent, en plus du charbon, d'oxyde de manganèse parfois mêlé d'oxyde de fer. Il me faut, concernant ce sujet, également aborder l'étude de considération du contexte pariétal et en particulier les travaux sur les restes charbonneux situés sur les sols (Medina-Alcaide et al., 2012, 2015, 2018a, 2021, 2023). Ceux-ci proposent en effet une lecture, pour plusieurs grottes, de leur occupation, par l'observation des dépôts de charbons au sol témoignant de l'illumination – et donc de la présence humaine – de celles-ci. Observer les traces de dépôts charbonneux des torches, par exemple, peut en effet nous donner des informations précieuses quant aux logiques de déplacement en présence.

Outre la proposition de la paroi-guide, d'autres auteurs abordent la question du repérage dans les réseaux souterrains (Jouteau, 2021). Ainsi, des idées comme celle de la présence de panneaux signalisateurs, avec l'exemple de la grotte de Niaux (Robert, 2007, 2012; Clottes, 2010), de lampes à graisse placées sur le sol (e.g. dans la grotte de Gabillou) (de Beaune, 2000) ou encore, nous l'avons vu, de spéléothèmes déplacés ou de motifs sur les parois ont été proposées.

3.1.2.4. Public

Parler d'espace amène également à considérer la position des Paléolithiques dans ces lieux, en tant que créateur, mais aussi en tant que récepteur de ces motifs. Nous pouvons nous demander, par rapport aux premiers, ce qu'il en était de leur position, si celle-ci était commode ou désagréable, voire dangereuse, et si les œuvres pouvaient être réalisées par un seul individu ou si elles nécessitaient de l'aide ou même la mise en place d'une structure.

L'assistance, quant à elle, pose d'autres questions. Le type d'audience, d'ordre privé ou public, que j'ai évoqué, en est une. A celle-ci est liée toute une série de paramètres, qui sont aujourd'hui mesurables grâce à des techniques et technologies récentes.

[20] Ce travail suggère l'utilisation d'une paroi comme référence lors de la déambulation dans la cavité, comme guide.

La question de la capacité d'occupation a ainsi été étudiée par Neufert (1951), Villeneuve (2008), Pastoors et Weniger (2011), ou encore Ochoa et García-Diez (2018). Ces auteurs proposent notamment des estimations de l'occupation moyenne d'un individu.

3.1.2.5. Visibilité

Pour ce qui est de la possibilité de voir les motifs, l'angle de visibilité est un sujet qui fut traité par le Guillou (2005), avec la notion de *champ visuel*, mais aussi par Garate (2010), Villeneuve (2008), Ortega Martínez (2014) ou Ochoa et García-Diez (2016, 2018). Notons encore les travaux de Vialou (2009), qui abordent la notion de dissimulation, par la technique ou par l'emplacement des motifs. Enfin, les travaux d'Intxaurbe *et al.* (2022), déjà mentionnés, traitent la visibilité d'un point de vue plus systématique que les travaux sus-cités, qui restent quant à eux dans l'estimation et se basent sur l'état actuel des cavités.

La visibilité des motifs peut également être mesurée par rapport à l'espace principal. Groenen (2013) observe de cette façon que les zones ornées des grottes d'El Castillo, Las Monedas ou de La Pasiega ne sont peu ou pas visibles depuis l'espace principal des cavités. Enfin, il propose l'idée de points de vue imposés par certains éléments, qui forcent un regard spécifique (Groenen, 2016). L'exiguïté d'un espace, la technique (discrète) ou l'anamorphose sont des caractéristiques qui orientent le regard du spectateur, et peuvent de cette façon nous donner de nouveaux éléments sur les objectifs de représentation de l'art pariétal.

D'autres auteurs se sont attelés à la question complexe de la visibilité des motifs, nous l'avons vu, à travers diverses méthodes (Le Guillou, 2005; Villeneuve, 2008; Vialou, 2009; Garate, 2010; Pastoors & Weniger, 2011; Ortega Martínez, 2014; Ochoa Fraile, 2016; Ochoa & García-Diez, 2018; Intxaurbe et al., 2022).

Enfin, cette question renvoie naturellement à la problématique de l'éclairage. Plusieurs auteurs ont travaillé sur la manière dont les illuminations conditionnent notre perception de l'espace, notamment à travers l'analyse et la reproduction expérimentale de lumières fixes, de lampes à graisse et de torches (de Beaune, 2000; Medina-Alcaide et al., 2021) (Figure 20).



Figure 20. Utilisation expérimentale de torches dans la grotte laboratoire d'Isuntza (Lekeitio, Espagne) par l'équipe de Pregraphity (© A. J. Torres Riesgo).

3.1.3. Échelle micro

La troisième échelle que je propose de retenir est l'échelle *micro*, qui se situe directement au niveau de la paroi. Celle-ci me permet de poser les questions de l'interaction des figures avec le support et de leurs relations entre elles. C'est à ce niveau que je traiterai également les thématiques reliées à la position de l'artiste (confort, hauteur, etc.).

Comme pour l'échelle macro, je présenterai ici la pertinence de ces questions au niveau théorique et je les détaillerai concrètement plus loin.

3.1.3.1. Impact du support

On le sait, les Paléolithiques ont choisi avec soin les parois qui allaient accueillir leurs œuvres, et ont souvent intégré des caractéristiques de la forme de la roche, qui participent à la création de leurs figures (Sauvet & Sauvet, 1979). Leroi-Gourhan (1965) parle à ce propos de *caverne participante*, tandis que Pigeaud (2013) la considère plutôt comme une *entité organisatrice*.

On peut dès lors se demander, dans le cadre d'une étude de l'espace, si cette motivation n'a pas été majeure, ce qui rendrait caduque l'idée d'une dispersion symbolique choisie des motifs (puisque la présence seule des reliefs évocateurs, aléatoire, orienterait celle-ci).

Cependant, il nous faut remarquer que, bien que la forme et la matière du support ait évidemment dû avoir un impact à l'heure de choisir la dispersion des figures (Sauvet & Tosello, 1998; Robert, 2016, 2017; Jouteau et al., 2019; Sakamoto et al., 2020; Wisher et al., 2023b), elle n'est pas la seule en cause dans cette décision. En effet, les reliefs peuvent de nombreux éléments différents : une fissure peut devenir la patte d'un bovidé, d'un équidé ou d'un félin, les trois étant faciles à adapter (les espèces animales sont d'ailleurs parfois difficilement différenciables quand certains segments corporels sont manquants). Certaines particularités de la paroi, par ailleurs, qui nous paraissent évocatrices aujourd'hui, ont été ignorées, et quand les reliefs suggestifs sont absents, les Paléolithiques s'en sont simplement passés. Par ailleurs, on notera que les reliefs ont été largement exploités pour créer certains types de motifs, mais pas d'autres (pensons par exemple aux mains négatives, qui ne sont jamais réalisées en utilisant des reliefs ou des fissures comme contours), ce qui peut nous donner des indices sur leur nature et leur finalité.

Il est légitime de penser, dès lors, que la recherche d'une logique de dispersion est sensée, malgré la présence de cet objectif d'intégration des reliefs. C'est une idée partagée par Leroi-Gourhan (1972), qui affirme qu'on peut observer une primauté de la « règle de lieu » sur celle du relief des motifs intégrés.

3.1.3.2. Interaction entre les motifs

La présence de différents motifs disséminés sur les parois invite ensuite à se poser la question de leur interaction ou de leur connexion. Nous l'avons vu, avec les précurseurs, comme Raphaël, Laming-Emperaire et Leroi-Gourhan, des premiers essais ont été effectués pour tenter de lire ces associations (surtout concentrés sur les figurations animales). D'autres hypothèses, comme celle de la connexion entre le motif de la main négative et les points, ou disques, que nous avons brièvement évoqués, sont partagées par une série d'auteurs (Breuil, 1952; Leroi-Gourhan, 1965, 1967, 1992; Sauvet et al., 1977; Groenen, 1990; González García, 2001; Collado Giraldo, 2018). Ces motifs, obtenus avec la même technique que les mains, par projection de pigment, sont fréquemment présents dans les grottes comportant des mains négatives et associés dans de nombreux cas à la même chronologie (par datation directe ou indirecte).

Les concepts de *juxtaposition* et de *superposition* (*emboîtement* chez Vialou (2009)), pour les différents types de combinaisons entre figures, proposés par plusieurs auteurs, permettent de rendre compte de leur situation. Les termes comme *intégration* ou *fusion* (Sauvet et al., 1977),

ou les différents degrés d'éloignement (Leroi-Gourhan, 1965) semblent être voués à dépendre de la sensibilité de chaque chercheur, et sont dès lors peut-être moins pertinents.

3.1.3.3. Aspects sensoriels

Enfin, il est intéressant de considérer les éléments souvent négligés que sont nos sens, ainsi que certains éléments physiques de la cavité. Comme le remarque Jouteau (2021), dans un univers comme les grottes où l'on peut rencontrer l'obscurité totale, nos sens se mettent en alerte et deviennent hyper réceptifs.

Pigeaud (2013) met en avant le fait que le sens du toucher est important, dans ce contexte, alors qu'au contraire, Nowell & Van Gelder affirment que « while navigating challenging, slippery, wet, bear-pitted, and boulder-strewn floors, Upper Paleolithic peoples likely could not see their feet and yet they appear to have refrained from touching the walls or ceilings » [en se déplaçant sur des sols difficiles, glissants, humides, creusés par les ours et parsemés de rochers, les populations du Paléolithique récent ne pouvaient probablement pas voir leurs pieds et pourtant elles semblent s'être abstenues de toucher les murs ou les plafonds] (Nowell & Van Gelder, 2020, p. 593). Cependant, il a été observé que l'utilisation de torches plutôt que de lampes à graisse permet une illumination plus large (Medina-Alcaide et al., 2021). De plus, de nombreuses traces d'hématite furent laissées sur les parois de grottes (Medina-Alcaide et al., 2018), ce qui vient contester cette affirmation.

Pigeaud (2013) met aussi l'accent sur la présence d'une sensation d'enfermement. La grotte, espace fini, est un milieu très différent de l'espace infini du dehors. Y entrer implique, de plus, un risque d'y rester bloqué, d'avoir un accident et de ne simplement pas en sortir.

D'autres sens, comme celui de la vue, en particulier avec la lumière, ont été abordés par de nombreux auteurs, qui ont travaillé des aspects allant des types d'éclairage à l'impact de la lumière sur la perception des motifs et la conception de l'image, en passant par la portée d'une torche (Delluc & Delluc, 1979b; de Beaune, 1987b, 1987a, 1995, 2000; Arias, 2009; Lorblanchet, 2010; Pastoors & Weniger, 2011; Medina-Alcaide et al., 2012, 2015, 2018a, 2021; Groenen, 2013, 2017; Ochoa & García-Diez, 2018; Intxaurbe et al., 2020; Jouteau, 2021).

L'ouïe, ensuite, est un sens qui a pu avoir un impact non-négligeable dans le choix des surfaces à orner, où la résonance est parfois impressionnante. Différents chercheurs ont abordé cette question ou ont mis en évidence la potentielle importance de celle-ci dans le choix des lieux ornés (Reznikoff, 1987; Reznikoff & Dauvois, 1988; Waller, 1993b, 1993a; Dauvois, 1994;

Bahn, 2003; Arias, 2009; Groenen, 2016; Fazenda et al., 2017; Miyagawa et al., 2018; Diaz-Andreu & Mattioli, 2018; Till, 2019; Jouteau, 2021). La question de la présence de création sonore dans les grottes peut notamment être mise en relation avec les différents types d'instruments découverts dans les gisements paléolithiques (Absolon, 1935; Bibikov, 1975; Fages & Mourer-Chauviré, 1983; Buisson, 1990; Dauvois, 2005; Conard et al., 2009), ainsi que de la possible utilisation de lithophones, c'est-à-dire des concrétions pariétales mêmes pour créer de la musique (Glory, 1964b, 1964a; Glory et al., 1965; Dauvois, 1996, 2005; de Balbín Behrmann et al., 2002; Lorblanchet, 2010; Groenen & Groenen, 2025).

L'importance d'éléments naturels, comme l'eau, est également à considérer dans le cadre de l'étude de l'espace. Son impact a été noté pour certains cas d'art paléolithique (Foz Côa, Tito Bustillo, Pergouset, etc.), ainsi que pour d'autres sites d'art rupestre plus récent, comme ceux de l'art du Bronze scandinave. La possibilité d'une prise en compte de sa présence (visible, audible ou tactile (Lorblanchet, 2010; Groenen, 2016)) dans l'espace de la cavité, et potentiellement d'une influence de celle-ci sur la distribution des dispositifs pariétaux est donc à examiner. Notons également que d'autres ressources naturelles, comme les minéraux de fer (source de pigment), ou l'argile (source de matière première pour les modelages), peuvent également avoir eu un impact lors des choix spatiaux effectués.

Enfin, abordons la question de la perception du *temps*. Celle-ci est en effet particulière, dans les cavités, comme le note Pigeaud (2013). Le temps semble arrêté quand nous nous déplaçons sous terre, comme l'illustrent les expériences sur les rythmes circadiens (Siffre, 1963; Aschoff, 1985, 1988). À mesure que nous perdons l'accès à nos repères habituels – lumière du jour, bruits extérieurs – il se fait plus difficile à mesurer. La temporalité des motifs mêmes, avec une iconographie qui nous donne parfois à voir la période de l'année dans laquelle l'animal représenté se situe (Crémades & Bonissent, 1993; Dubourg, 1994; Feruglio, 2006; Azéma, 2009, 2010), en est une autre forme. Enfin, le temps « domestiqué » du cheminement dans la cavité, distendu par les différences de progressions de certaines zones est un autre élément qui interagit avec l'espace. Comme le propose Lefèbvre (1974), la séparation entre *Temps* et *Espace*, que l'on retrouve en général dans la culture occidentale, laisse alors place à une vision où ces deux concepts s'entrecroisent et s'enlacent.

Cette question de la perception est également un point d'ancrage de la recherche de connexions entre les hommes modernes et les Paléolithiques, avec des chercheurs comme Clottes et Lewis-Williams (1996), qui s'appuient sur les neurosciences pour analyser le fonctionnement de nos cerveaux humains. Bahn (2003), Taçon (1990), Groenen (2013) et Fritz (2020) s'inscrivent

également dans cette perspective de perception de l'art pariétal et rupestre, tout comme les travaux de Mellet *et al.* (2019).

Ces aspects sensoriels, bien que sans doute d'importance, sont plus difficiles à aborder dans le cas d'une étude spatiale quantitative comme celle-ci. Mes points d'attention seront donc concentrés sur les autres aspects que je viens d'aborder, qui offrent une prise plus facile. Dans des études postérieures, l'objectif est de pouvoir ajouter ces questions à la méthode.

3.2. Méthodes de récollection de l'information

Je présenterai ici les méthodes utilisées pour la récollection de l'information, nécessaires à l'application des analyses spatiales. Il s'agit donc de la première étape du processus visant à reconstituer la forme de la cavité lors de la création des motifs (cf. flux de travail, Figure 17, p. 74).

3.2.1. Travail d'archive

La phase initiale du travail de récollection d'informations est caractérisée par l'étude de fonds de documentation, d'archives et de publications anciennes, comme cela a déjà été proposé par les travaux d'Ochoa et al. (2017). Ceux-ci nous éclairent quant aux processus récents ayant eu lieu dans la grotte depuis sa documentation ancienne jusqu'à aujourd'hui (Spaey et al., 2025). De cette manière, il est possible d'obtenir une idée plus fiable de l'état original des espaces où apparaissent les mains avant l'adaptation de la grotte aux visites touristiques, fouilles et autres types d'interventions documentées.

3.2.1.1. Photographies

La première catégorie de sources est constituée par la documentation photographique. En effet, en capturant un instant-clé de la vie de la grotte de manière graphique, elles donnent un aperçu de son état et de son évolution récente.

Il est important, bien entendu, de considérer certains éléments pouvant induire en erreur, comme les forts contrastes, dus soit au type de méthode (collotype, etc.), soit à la difficulté de la photographie en grotte en général. Ceux-ci peuvent en effet fausser la compréhension des tons, textures, reliefs et de l'espace en général.

3.2.1.2. Plans

En plus des photographies proprement dites, une autre source de documentation graphique peut asseoir nos connaissances de l'espace de la cavité : les plans de celle-ci. En effet, on peut souvent observer une évolution de ces représentations au fur et à mesure de l'évolution de la connaissance du réseau souterrain ainsi que des technologies de topographie. Au-delà de cette évolution évidente, les premiers relevés topographiques peuvent également nous apporter des informations sur des éléments qui ont aujourd'hui disparu, ou sur lesquels nous avons des doutes (blocs déplacés, structure des espaces, etc.). Ceci, surtout dans le cas des cavités ayant été adaptées à la visite touristique, dont la structure a subi de grandes altérations (comme les grottes d'Altamira (Figure 21), La Pasiega ou El Castillo, pour ne citer que quelques exemples).

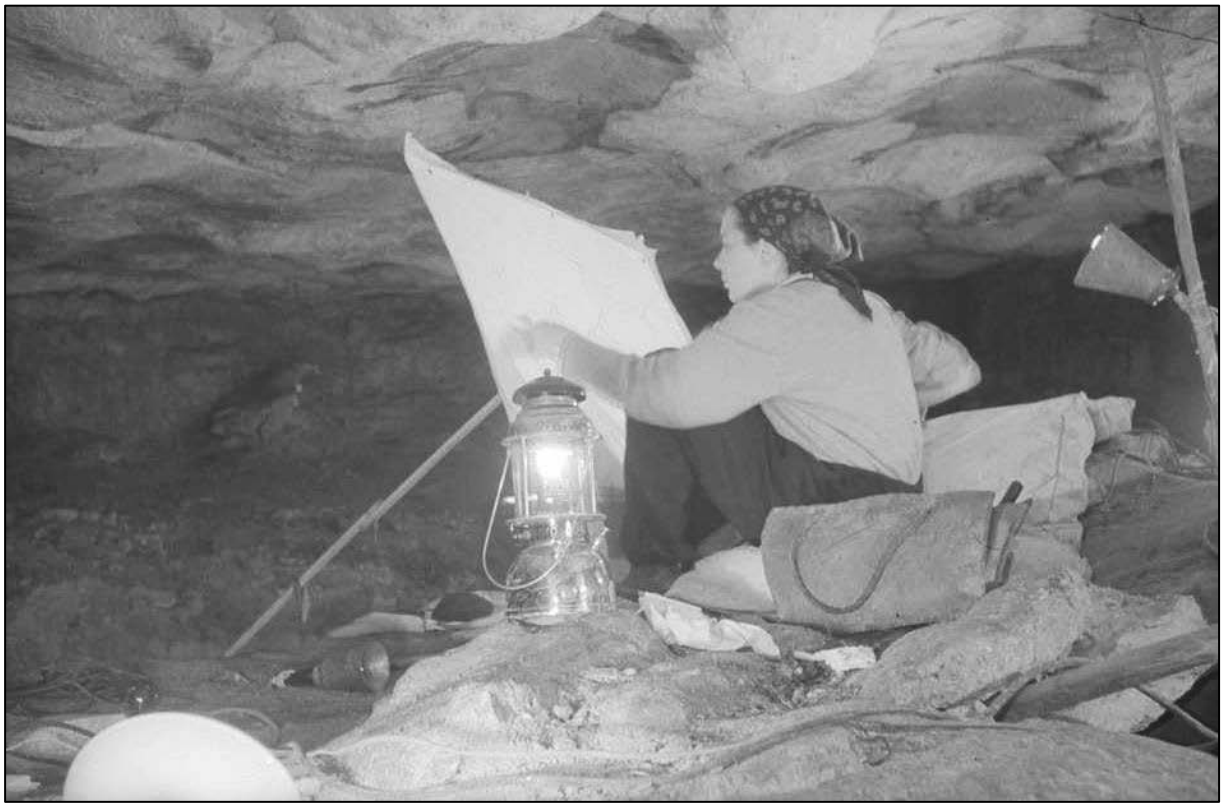


Figure 21. Photographie de l'état du *Plafond des Polychromes* d'Altamira en 1936, où l'on peut observer que le sol n'avait pas encore été rabaissé à cet endroit (© *Frobenius Institute*).

3.2.1.3. Sources écrites et orales

Les sources écrites (ouvrages, articles, rapports de fouille, etc.) viennent ensuite jouer leur rôle pour compléter ces différentes informations. De pair avec les témoignages oraux, comme les connaissances accumulées par les guides au fil des ans, ils contribuent à la découverte de vestiges importants que l'on ignorerait autrement parce qu'ils sont difficiles à retrouver. Par

exemple, des informations sur une zone qui a pu être fouillée ou comblée, ou sur un passage aujourd'hui impraticable qui a pu être franchi dans le passé.

Naturellement, ces informations ont tendance à être plus subjectives que d'autres types de sources. De plus, dans certains cas, le temps écoulé depuis les événements qui ont conduit à la modification de la zone à des fins touristiques élimine la possibilité d'avoir accès à des témoignages oraux de première main de la période précédant les changements. C'est pourquoi il est crucial de vérifier les données *in situ* et de recouper les différents types d'informations.

3.2.1. Inspection visuelle et documentation photographique

Une autre étape importante du travail de récollection de données est la prospection dans la cavité. En effet, lorsque cela s'avère possible (sous les contraintes d'accès ornées qui peuvent s'avérer restrictives), il s'agit de procéder à une inspection visuelle et une documentation photographique des mains. Ceci, pour enregistrer une série d'informations quant à leurs caractéristiques techniques, leur rapport au support, au contexte environnant, à la possibilité d'accueil estimée du lieu, l'estimation de la position de l'artiste, etc. Cette étape est significative pour la vérification des sources récoltées par ailleurs[21] et pour compléter les informations recueillies.

La possibilité de l'étude sur le terrain est également intéressante pour noter, par une prospection systématique, les éventuelles modifications anthropiques non documentées pour l'adaptation au tourisme. Celles-ci avaient souvent pour objectif d'être indétectables, pour une expérience d'immersion totale du public dans la cavité. Or, si certains éléments comme les escaliers ou les rambardes sont évidents, l'identification d'autres éléments plus discrets (installation de lumières, aplanissement du sol, etc.) constitue parfois un vrai défi. La documentation systématique de ceux-ci, par une prise de clichés annotés (Figure 22), permet donc de pouvoir dans un second temps les supprimer dans le modèle tridimensionnel.

[21] Lors de l'application de l'analyse spatiale, ces observations ont permis un « rapport à la réalité », c'est-à-dire une sécurité quant à la justesse des résultats. En effet, l'analyse spatiale à travers les GIS, dans sa première version, créait beaucoup d'erreurs car le processus computationnel était très lourd (ce qui a mené à sa modification dans le cadre de ce travail). Ainsi, quand un motif donnait des résultats étranges, qui détonnaient par rapport à ceux de ses voisins, par exemple, les données prises sur le terrain ont permis de vérifier leur cohérence et de réitérer l'analyse si nécessaire.

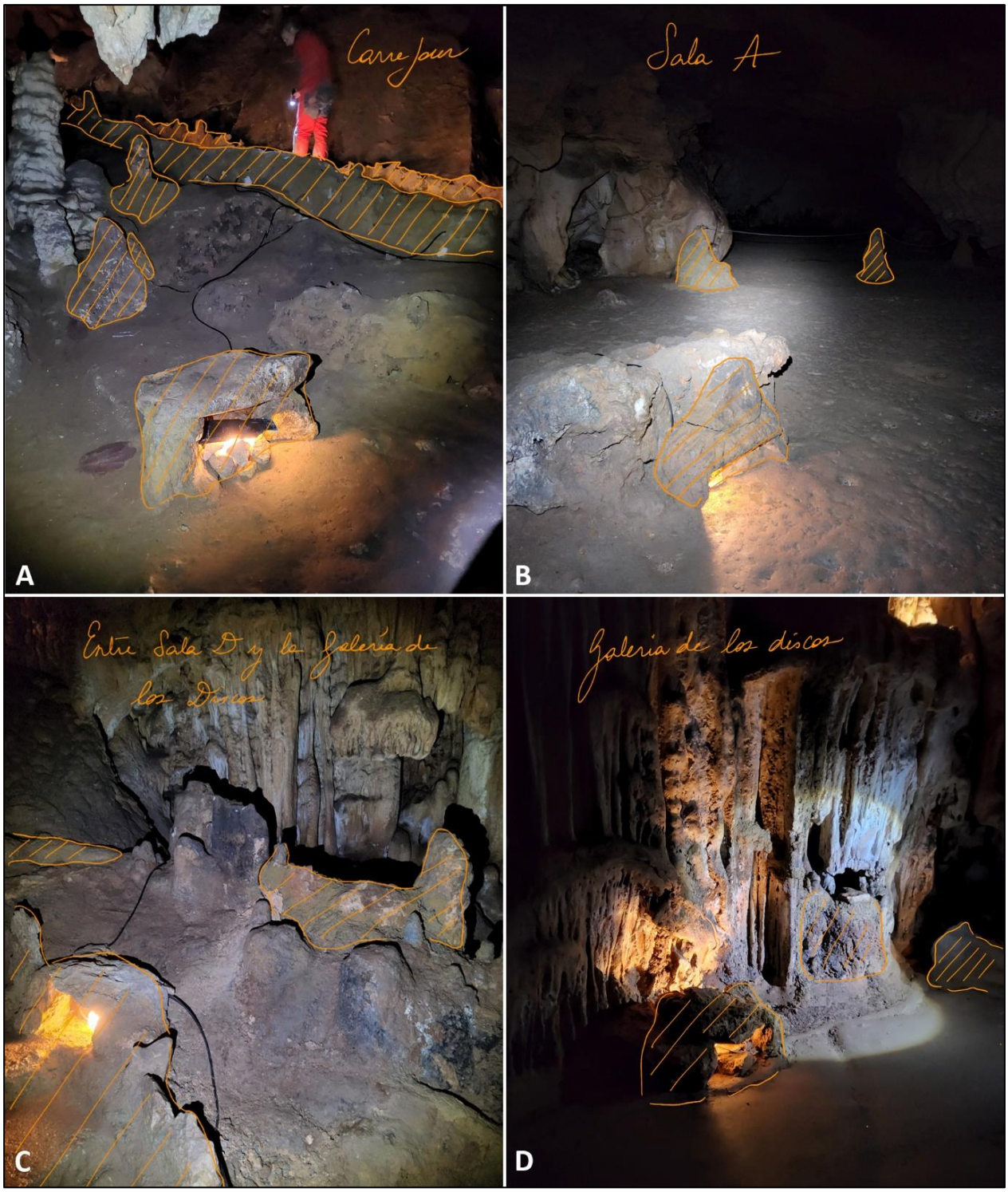


Figure 22. Croquis sur photographies du processus de documentation des modifications anthropiques observées dans la grotte d'El Castillo. **A.** Zone du *Carrefour*. **B.** *Salle A*. **C.** Zone entre la S*alle A* et la *Galerie des Disques*. **D.** *Galerie des Disques*.

3.2.2. Caractérisation géomorphologique de la cavité

Un troisième élément de documentation fondamental pour la reconstitution de l'état préhistorique de la grotte est l'évaluation des changements géomorphologiques de la cavité.

En effet, outre les changements liés à l'action anthropique, les processus sédimentaires, érosifs, climatiques ou encore les mouvements tectoniques peuvent complètement modifier la morphologie d'une grotte (Van Gundy & White, 2009; Delannoy et al., 2010; Sadier, 2013; Laureano et al., 2016; Genuite et al., 2018; Jaillet et al., 2024). De même, des événements zoogènes peuvent affecter de manière importante le paysage cavernicole (par exemple, la corrosion induite par le guano des chauves-souris (Audra et al., 2016, 2019; Bruxelles et al., 2016; Barriquand et al., 2021; Cailhol et al., 2021; Sala et al., 2023) ou les griffades et bauges d'ours).

Pour analyser comment les sociétés paléolithiques se sont adaptées et ont optimisé l'espace pour choisir des emplacements pour l'art pariétal, une étude géologique est nécessaire, afin de déterminer l'espace original disponible dans la grotte à l'époque (Delannoy et al., 2012; Jouteau et al., 2019; Kemper et al., 2023a, 2023b; Intxaurbe Alberdi et al., 2023). Ceci, en éliminant tous les processus qui ont pu être générés à l'intérieur des grottes après la création des motifs. Pour ce faire, dans le cadre de ce travail, une méthode similaire à celle employée dans la caractérisation géomorphologique de grottes telles que Santimamiñe, Atxurra ou Praileaitz, entre autres, est utilisée (Aranburu et al., 2015; Arriolabengoa et al., 2018a, 2018b, 2020; Garate et al., 2020b; Intxaurbe Alberdi et al., 2023). Après avoir identifié les unités allo-stratigraphiques ayant affecté la grotte (unités stratigraphiques séparées par des surfaces d'érosion), la stratigraphie relative des processus est établie. Pour ce faire, la géomorphologie de la grotte doit être analysée (crêtes horizontales, pendants, canaux de plafond, etc.). Grâce à cela, il est possible d'identifier les processus qui ont influencé la création et l'évolution des grottes, y compris les différents épisodes de sédimentation et d'érosion qui ont eu lieu. Sur cette base est ensuite établie une chronologie relative. Les processus de formation anciens (formation de spéléothèmes, érosion physico-chimique, etc.) qui permettraient de reconstituer le plus précisément possible les espaces décorés sont identifiés et la grotte est cartographiée dans son intégralité, en enregistrant chacun des épisodes et des formations. Des logiciels graphiques (*Adobe Illustrator*® et *Photoshop*®) sont utilisés à cet effet.

3.2.3. Lasergrammétrie

Pour pouvoir travailler sur les modèles en trois dimensions, il s'agit tout d'abord de les générer[22]. L'obtention de modèles tridimensionnels des grottes se réalise par lasergrammétrie, une technique qui permet, au travers de rayons laser, de reproduire les parois d'un lieu. Ceci, grâce à l'enregistrement de dizaines de millions de points géolocalisés (nuage de points), en plusieurs prises, ensuite reliés par triangulation pour créer une maille, c'est-à-dire unifiés sous forme d'un objet 3D. Cette opération permet d'obtenir un fichier de type objet (par exemple au format .obj), qui peut être lu par des logiciels tels que *Blender*®, un logiciel gratuit d'accès libre.

Cette saisie d'information tridimensionnelle, permettant de situer un grand espace en peu de temps, peut être associée à la saisie de la texture des parois (son aspect visuel) avec le même appareil, celle-ci étant cependant limitée en termes de résolution. Il est possible de la compléter par d'autres techniques de capture d'images, comme la photogrammétrie, qui sera évoquée plus loin (section 3.2.4.2).

Les modèles 3D obtenus, à l'échelle et géolocalisés (échelle relative et globale) constituent une représentation à précision millimétrique de l'état actuel de la cavité, avec un degré très faible d'erreur (pour la grotte d'Atxurra, par exemple, les travaux d'Intxaurbe *et al.* (2020) parlent d'une erreur estimée de 1 mm par 25 m, avec 90% de réflectance).

3.2.4. Géolocalisation

Les unités graphiques, sujet de l'étude, doivent ensuite être géolocalisées une à une, pour pouvoir être placées sur le modèle tridimensionnel avec précision. En effet, le modèle tridimensionnel obtenu par lasergrammétrie, davantage centré sur les reliefs que sur les nuances des parois, ne donne pas d'information précise sur les motifs pariétaux.

Cette opération de géolocalisation des motifs peut se faire à l'aide de plusieurs moyens, grâce à l'utilisation d'un distancio-clinomètre 3D, de la photogrammétrie ou d'une station totale. Dans le cadre de ce travail, j'ai utilisé ces deux premières, que je développerai ici.

[22] Dans le cadre de ce travail, j'ai pu bénéficier de modèles qui avaient déjà été créés, auxquels j'ai eu accès soit sous forme de nuages de points, soit déjà sous forme de maille.

3.2.4.1. Distancio-clinomètre 3D

Depuis quelques années, un nouveau dispositif électronique est venu s'intégrer aux pratiques de topographie de la spéléologie et de l'archéologie : Le *DistoX2*[23]. Ce petit appareil est un distancemètre de la marque *Leica*®, le *DistoX310*, customisé, devenu clinomètre 3D avec connexion Bluetooth (Almeida-Warren et al., 2021) (Figure 23, A).

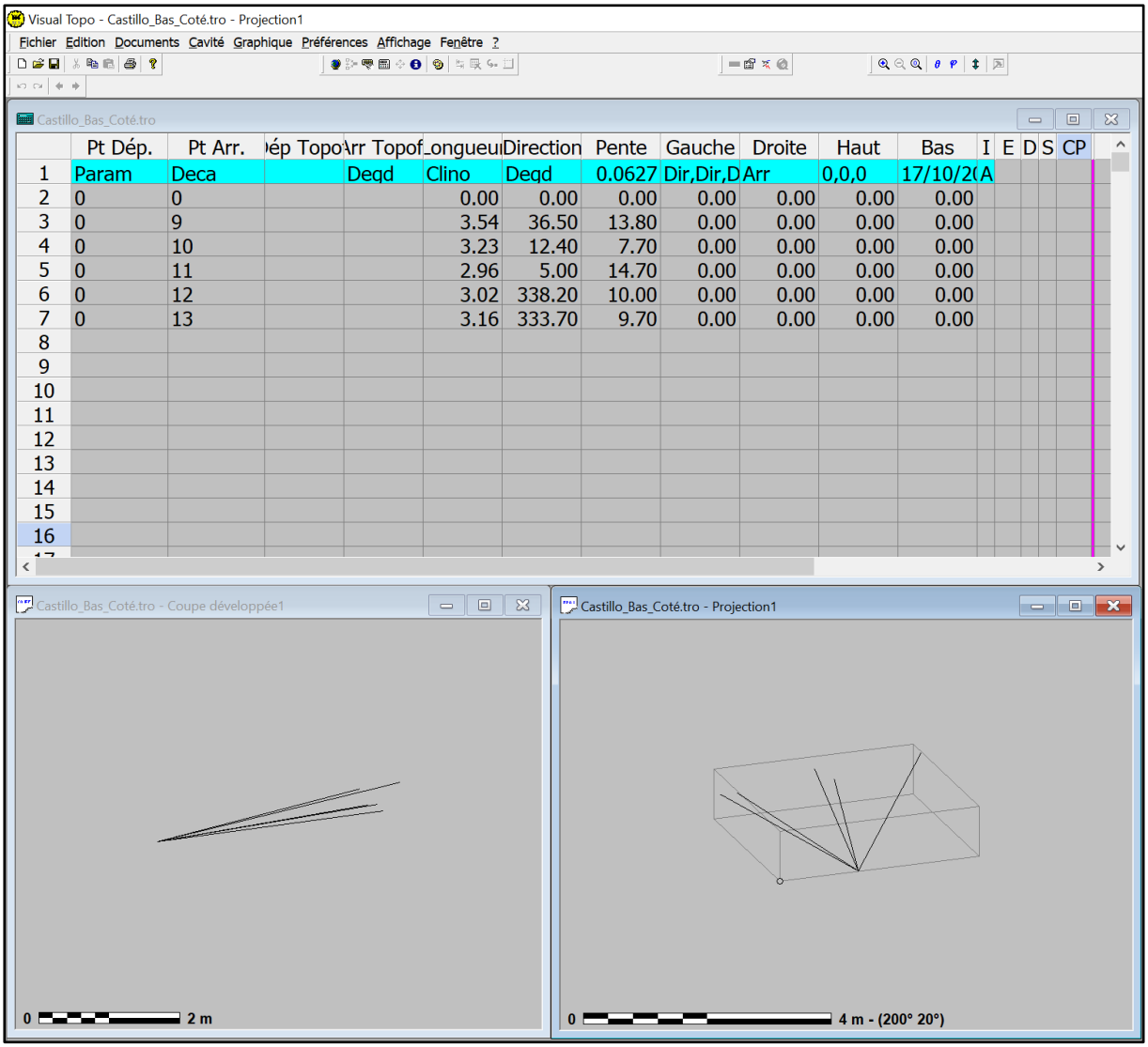


Figure 23. Utilisation de l'appareil *DISTOX2* pour la géolocalisation des figures de mains négatives. **A**. Photo de l'appareil en utilisation. **B**. Capture d'écran du logiciel *TopoDroid* où l'on peut distinguer la position des mains 71, 72, 73 et 76 de la *Galerie des Mains* d'El Castillo depuis un point de base zéro.

Extrêmement transportable (de la taille d'un téléphone mobile, il est idéal pour les grottes d'accès difficile ou profondes dans lesquelles l'utilisation d'une station totale est contraignante voire impossible. Il ne nécessite en effet pas d'équipement important pour son utilisation dans la grotte (uniquement le distancemètre lui-même et une tablette, connectée par Bluetooth).

Les données de géolocalisation sont recueillies à travers l'application *TopoDroid* (Figure 23, B), puis traitées avec le logiciel *VisualTopo* (Figure 24). Ces coordonnées sont ensuite introduites dans les SIG.

[23] J'ai opté pour l'utilisation du *DistoX2* pour la localisation de toutes les mains négatives de la cavité d'El Castillo, à l'exception des 44 situées sur son *Plafond des Mains*.



	Pt Dép.	Pt Arr.	ép Topo	Arr Topof	ongueu	Direction	Pente	Gauche	Droite	Haut	Bas	I	E	D	S	CP
1	Param	Deca		Degd	Clino	Degd	0.0627	Dir,Dir,D	Arr	0,0,0	17/10/2(	A				
2	0	0			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
3	0	9			3.54	36.50	13.80	0.00	0.00	0.00	0.00					
4	0	10			3.23	12.40	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00					
5	0	11			2.96	5.00	14.70	0.00	0.00	0.00	0.00					
6	0	12			3.02	338.20	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
7	0	13			3.16	333.70	9.70	0.00	0.00	0.00	0.00					
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																

Figure 24. Capture d'écran du logiciel *VisualTopo* où l'on peut voir un exemple de coordonnées relatives d'une série d'unités graphiques et leur situation en coupe et en projection.

3.2.4.2. Photogrammétrie

La seconde méthode adoptée pour la géolocalisation des motifs de mains négatives est la photogrammétrie[24]. Cette technique permet d'ajouter au modèle 3D, en se combinant à celui-ci, une reproduction texturée photoréaliste de la paroi qui offre une source d'information précise quant à l'état des figures et facilite leur analyse détaillée.

La *photogrammétrie d'objet de proximité*, qui permet une grande précision et résolution, consiste en une combinaison de prises de vue photographiques non ordonnées et des outils de

[24] J'ai opté pour ce système de géolocalisation pour le *Plafond des Mains* de la grotte d'El Castillo (en raison de la forte concentration d'unités graphiques dans la zone), ainsi que pour la toutes les unités graphiques des deux autres cavités du *corpus*, Fuente del Trucho et Fuente del Salín.

computer vision (vision artificielle), basés sur l'algorithme SIFT[25] ou similaire. Elle permet un enregistrement en 3D du volume de la paroi. En d'autres mots, la prise de photos vient créer non seulement une forme en trois dimensions, mais aussi l'image photographique de celle-ci.

Un aspect crucial du processus est la qualité des images sur lesquelles le modèle photogrammétrique 3D est basé, c'est pourquoi des paramètres tels que la précision des couleurs, la longueur focale, l'éclairage, la disposition des plans de mise au point, etc. sont pris en compte[26]. Les images prises pour la modélisation 3D sont traitées à l'aide du programme *Adobe Photoshop*®, pour permettre une création harmonieuse de leur combinaison en un volume unique.

Ensuite, à travers le logiciel *Agisoft Metashape*®, le modèle photogrammétrique est traité, d'abord en créant un nuage de points, puis en maillant celui-ci, formant un objet numérique. Autour de cette structure vient « s'envelopper » une texture, qui est l'aspect visuel de ce relief. Cette texture peut alors être traitée avec des logiciels de gestion d'image, comme le plug-in *DStretch*® pour le programme *ImageJ*®, permettant de rehausser certains spectres colorés (Le Quellec et al., 2013, 2015; Defrasne, 2014). Pour les tons rouges des mains négatives, j'utilise en général les spectres de couleur synthétique *yds*, *yrd* ou *lds*. Une fois modifiée, cette image est importée en tant que nouvelle texture sur la maille du modèle photogrammétrique créé. Ce processus permet une plus grande visibilité des motifs, ce qui facilite le travail de localisation des figures.

Enfin, grâce à des points de la paroi reconnaissables dans le nuage de points obtenu par lasergrammétrie (donnant leurs coordonnées), les deux modèles peuvent être unis et la photogrammétrie géolocalisée (Figure 25). Les mains négatives peuvent alors être situées une à une avec précision sur la texture obtenue, le programme donnant les coordonnées des points sélectionnés (Figure 26).

[25] Il s'agit d'une méthode, inventée par l'informaticien canadien David G. Lowe, pour détecter et identifier les éléments similaires entre différentes images numériques.

[26] Le matériel utilisé pour la photogrammétrie de la grotte d'El Castillo est un appareil photo numérique *Nikon® D850* avec quatre flashs *Speedlite® YN560 IV* et un objectif *Nikon® Nikkor AF-S 35mm f/1.4.* Pour les deux autres cavités, j'ai obtenu directement les modèles photogrammétriques texturisés qui avaient été réalisés lors de campagnes archéologiques antérieures. Je précise toutefois que la documentation complète des figures n'avait pas été réalisée, c'est-à-dire que je disposais dans les deux cas d'une liste partiellement documentée des figures, que j'ai dû compléter en les localisant avec précision sur les modèles à ma disposition.

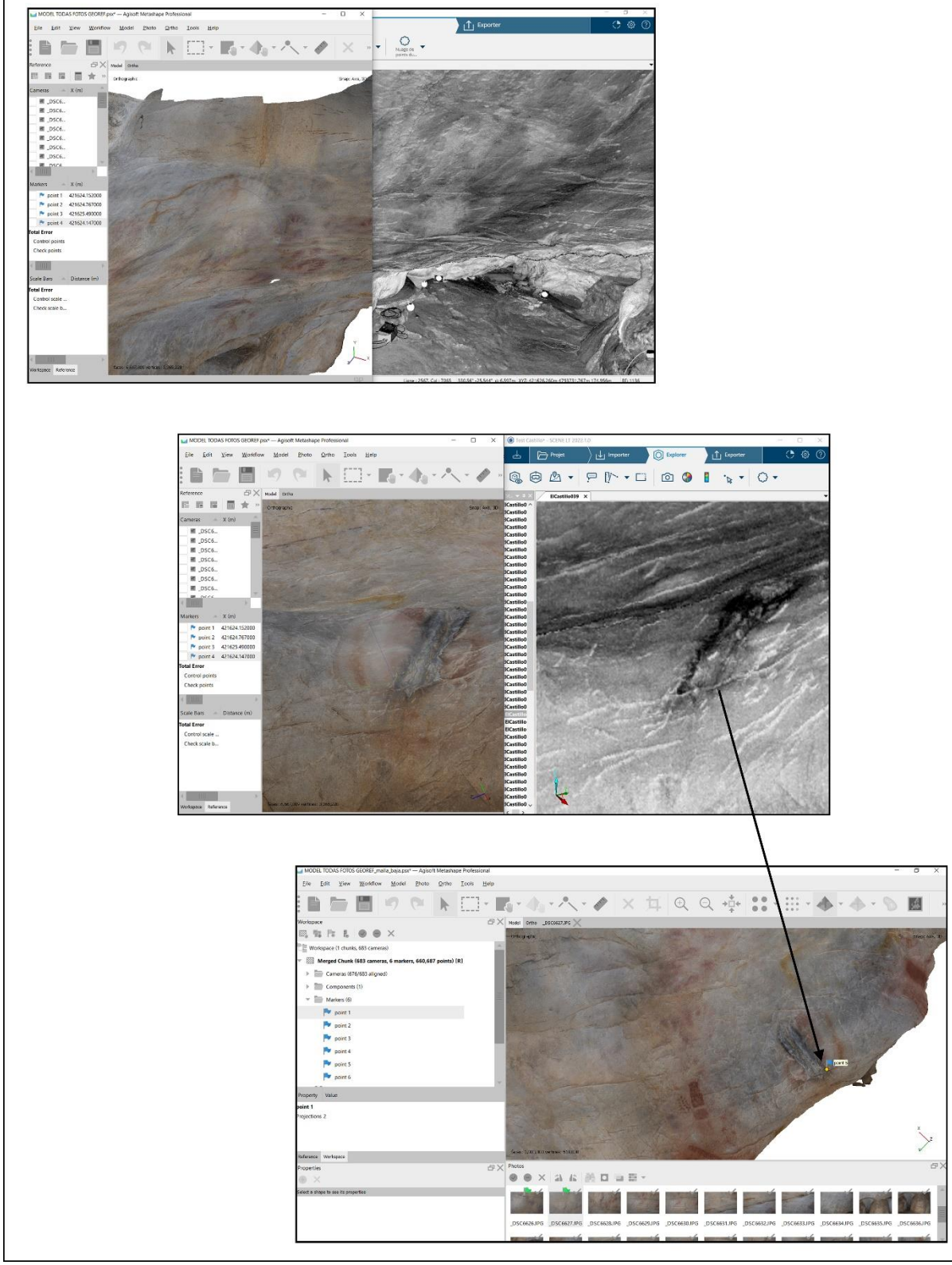


Figure 25. Captures d'écran du processus de géolocalisation du modèle photogrammétrique du *Plafond des Mains* de la grotte d'El Castillo à l'aide du logiciel *Metashape*® d'*Agisoft*® et du logiciel *SCENE LT*® de *Faro*®. Les reliefs spécifiques permettant une identification précise sont retrouvés sur le logiciel *SCENE LT*® (à droite), qui fournit des coordonnées, ensuite insérées par la création de points de référence sur *Metashape*®.

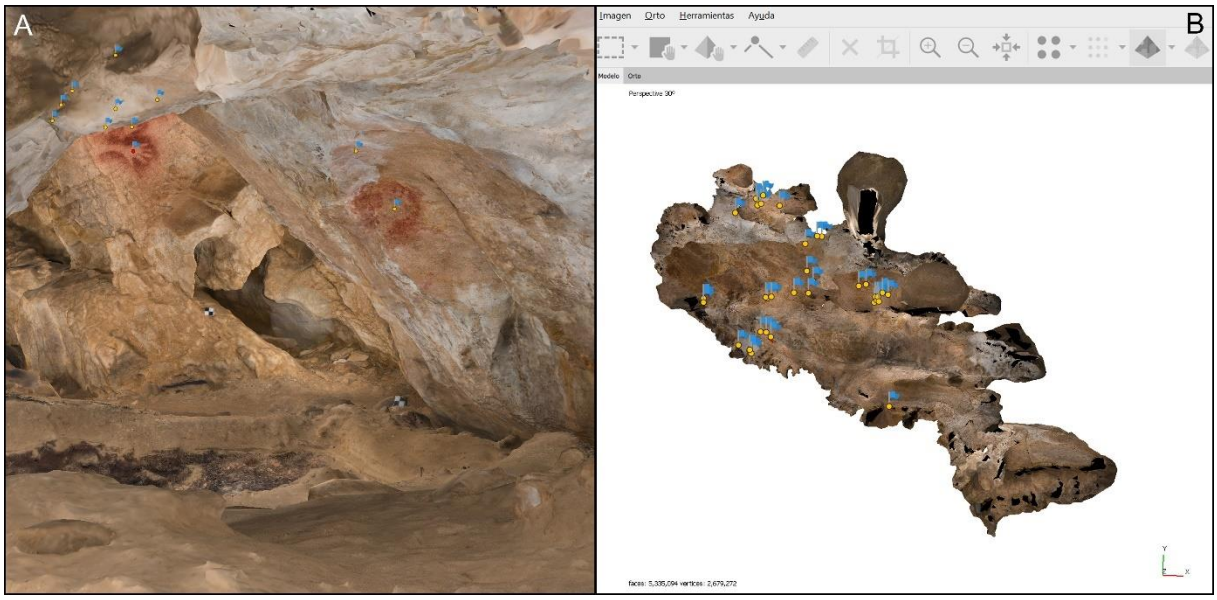


Figure 26. Captures d'écran du processus de géolocalisation des mains de la grotte de Fuente del Salín à l'aide du logiciel *Metashape*® d'*Agisoft*®. **A**. Localisation des mains négatives à l'aide de la texture. **B**. Distribution des coordonnées sur le modèle 3D général de zone ornée.

3.2.5. Capture LiDAR

Cette documentation tridimensionnelle nécessite dans certains cas d'être complétée par l'ajout d'une nouvelle méthode : le scanner LiDAR[27]. Ceci, en particulier dans des cavités au développement assez long, pour lesquelles la résolution du modèle 3D n'est pas suffisante, si le modèle tridimensionnel ne peut pas excéder un certain poids[28]. Les triangles composant la maille sont alors assez grands[29], ne pouvant rendre avec précision les reliefs de certaines mains, cachés dans des replis rocheux. Dans ces cas-là, la capture LiDAR des zones qui nécessitent une précision plus grande est une façon de contourner cette difficulté[30]. Celles-ci sont ensuite replacées sur le 3D général de la cavité et fusionnées avec celui-ci avec le logiciel *Blender*® (Figure 27).

Cette technique permet, grâce aux ondes LiDAR, la saisie des reliefs, qui sont joints à une capture photographique simultanée. Les résultats de la texture obtenue sont largement inférieurs en termes qualitatifs à la photogrammétrie classique, mais sont convaincants en termes de forme

[27] LiDAR est l'acronyme de *Light Detection and Ranging* [Détection et estimation lumineuse], qui est une technique de mesure basée sur l'analyse d'un faisceau de lumière envoyé et réceptionné en retour par un appareil.
[28] Dans les trois cas étudiés, il m'a fallu les limiter à une taille de fichier de 500MB, correspondant au maximum de ce que les SIG peuvent supporter pour importer le fichier 3D (avec l'équipement informatique utilisé).
[29] Pour la grotte d'El Castillo, la plus grande du *corpus*, cette taille de fichier imposait une taille de triangles de 10 cm de côté.
[30] La capture LiDAR permit la création d'une maille avec des triangles de 5 mm de côté en moyenne pour les zones sensibles.

du modèle, surtout quand ils sont combinés, comme c'est le cas ici, à d'autres méthodes comme la lasergrammétrie, ce qui ajoute de la fiabilité, par croisement de données.



Figure 27. Rendu à travers le programme *Blender*® de la reconstruction de l'état paléolithique de la grotte d'El Castillo, où on peut voir à gauche l'insertion de la zone du *Carrefour*, capturée par LiDAR, dans le modèle général modifié (en blanc), avec au fond le *Plafond des Mains*, capturé par photogrammétrie.

3.3. Méthodes de modification et traitement de l'information

Une fois acquises un maximum d'informations sur l'état original de la grotte, son évolution et les modifications qui y furent appliquées, il s'agit de reconstruire l'espace souterrain afin d'obtenir la reproduction la plus fidèle possible de l'espace au moment de l'exécution des manifestations graphiques. Voici un aperçu détaillé de la méthode mise en place pour ces étapes de modification du modèle tridimensionnel.

3.3.1. Façonnage du modèle tridimensionnel

Pour le façonnage 3D, j'ai pris le parti d'utiliser *Blender®,* très utilisé dans l'animation et la reconstitution virtuelle, qui permet de modeler des objets tridimensionnels.

Sur base des informations recueillies, j'ai donc modifié les modèles 3D, en particulier à deux niveaux. D'abord, la suppression des modifications anthropiques (sols abaissés ou fouillés, escaliers, sources lumineuses, câbles, tunnels surcreusés, barrières, etc.). Ensuite, le retour aux niveaux de sols anciens (Figure 28).

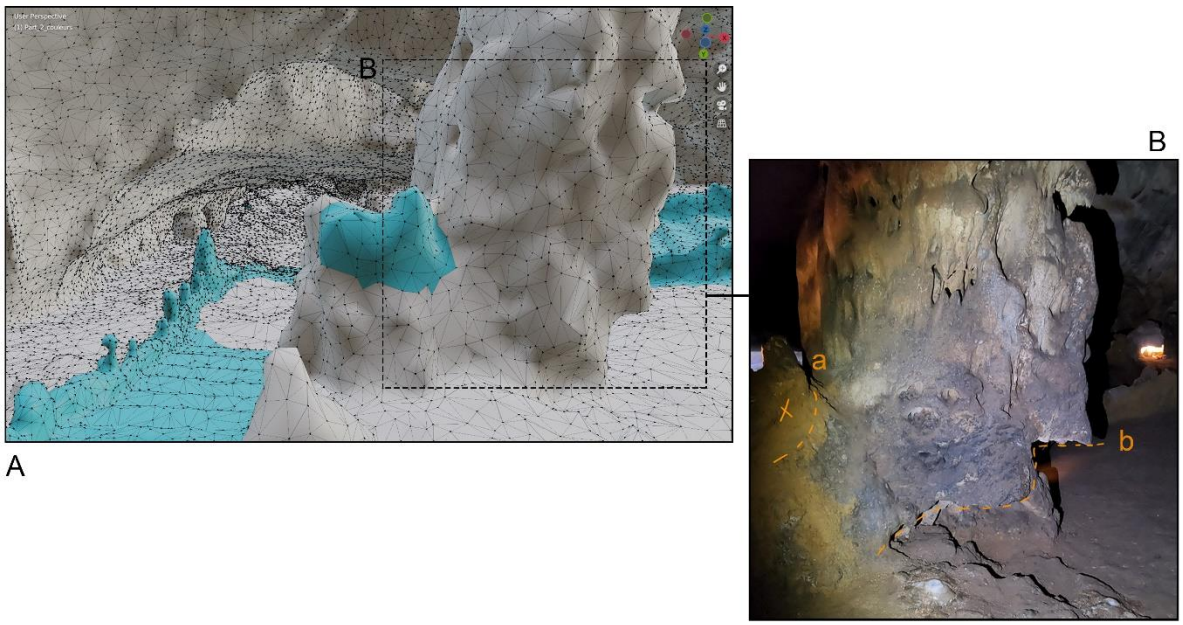


Figure 28. Documentation du processus de modification du modèle 3D via *Blender*® sur la base des notes recueillies dans la grotte d'El Castillo, suite à l'analyse géomorphologique. **A**. Capture d'écran où les éléments ajoutés par modification anthropiques ont été sélectionnés en bleu**. B**. Photographie de la zone sélectionnée en pointillés, où sont annotés en orange différents éléments : **a**. Ajouts modernes de « faux » spéléothèmes. **b**. Détail du niveau présumé du sol paléolithique identifié lors de l'analyse géomorphologique.

Concrètement, j'ai opté pour une combinaison de deux processus :

(i) D'une part, l'**édition de la maille** par effacement et ajout (*Edit Mode*), pour supprimer des grands segments comme les escaliers ou piliers, mais aussi les sphères[31] ou les erreurs de scan (végétation, interférences, etc.).

(ii) D'autre part, le **modelage** (*Sculpt mode*), pour les modifications plus subtiles (lampes, etc.) et la gestion des niveaux de sol.

J'ai pour ce faire articulé le travail en deux phases. Premièrement, la mise en couleurs de tous les segments de la cavité nécessitant changement. Deuxièmement, l'édition et le modelage de la maille (Figure 29).

Les documents finaux sont donc constitués par :

1. Le modèle de la cavité tel que je l'ai reçu.
2. Le même modèle en couleurs illustrant les zones où des changements furent effectués.
3. Le modèle reconstitué, reflétant l'état de la grotte au Paléolithique récent.

[31] Les sphères de scan sont utilisées pour unir plusieurs scans entre eux, pour que le programme puisse reconnaître facilement les espaces et les combiner, grâce à leur forme caractéristique.

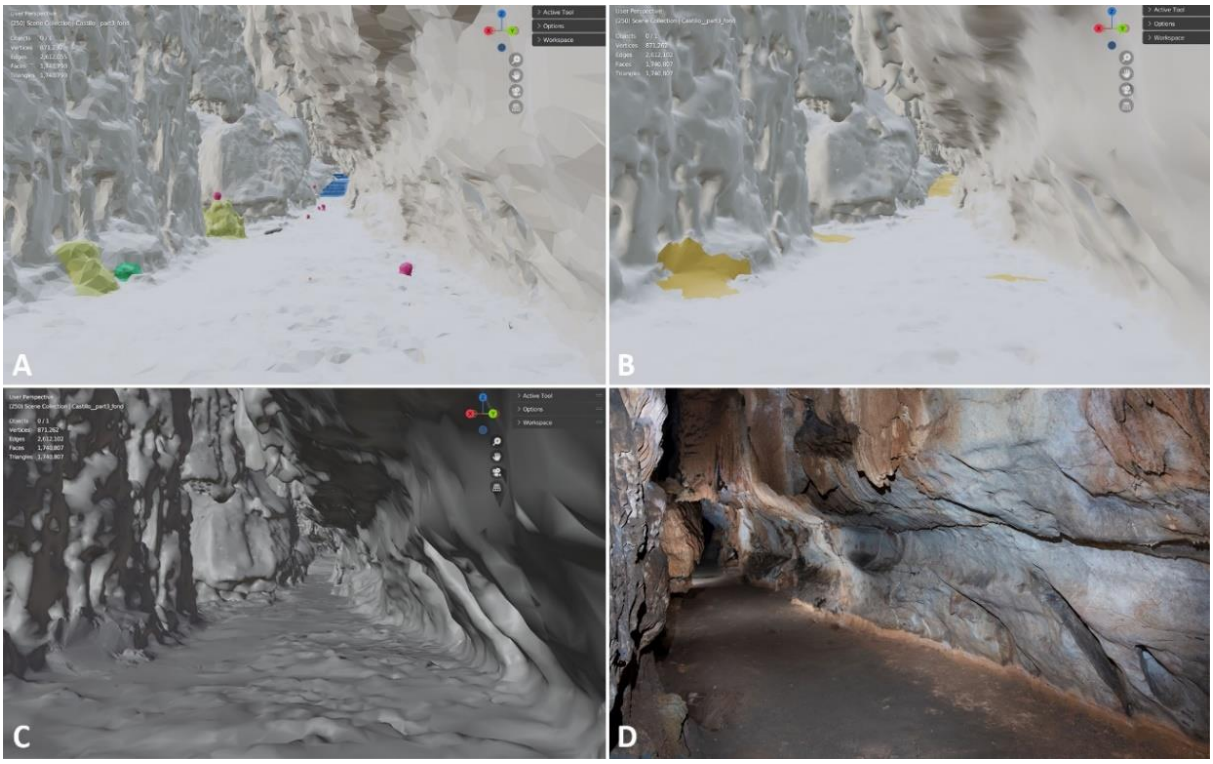


Figure 29. Modification du modèle 3D de la *Galerie des Disques* de la grotte d'El Castillo *via* le logiciel *Blender*® sur la base des informations recueillies dans la grotte. **A.** Zones colorées à modifier[32]. **B**. Zones modifiées colorées. **C.** État de la grotte au Paléolithique selon les informations collectées. **D.** Photographie de l'état actuel de la cavité.

3.3.2. Préparation des supports pour l'analyse à travers les SIG

Une fois modifié le fichier 3D vers la reconstitution de l'espace de la cavité durant le Paléolithique, il faut encore réaliser une dernière étape avant l'application des analyses spatiales : la préparation des différents supports 3D complémentaires nécessaires à celle-ci. Il est de fait nécessaire de donner aux SIG des informations relatives au sol de la cavité et aux superpositions de galeries, ou de doubles-plafonds, pour éviter une confusion qui fausserait l'analyse spatiale. En effet, comme précisé plus haut, les SIG furent pensés tout d'abord pour fonctionner avec des documents possédant des coordonnées en *x*, *y*. Ils furent ensuite adaptés pour pouvoir inclure également des coordonnées en *z*, passant en 3 dimensions. Cependant, les objets tridimensionnels sur lesquels je travaille ne possèdent pas seulement des coordonnées en *x*, en *y* et en *z*, ils possèdent aussi plusieurs points partageant les mêmes coordonnées dans les trois axes. Ceci, car il ne s'agit pas seulement d'une surface unique, comme pourrait l'être le relief d'une colline, mais bien d'un objet complexe. Dès lors, les points du sol de la cavité partageront par exemple la même coordonnée en *z* que leurs homologues du plafond. Par

[32] J'avais dans un premier temps opté pour une échelle de couleurs correspondant aux différents types de modification en présence (vert pour les illuminations, rose pour les sphères de laser-scan (bleu pour les escaliers, etc.), mais cette méthode, trop chronophage au vu du nombre très élevé de modifications, a finalement été remplacée par les choix de couleurs explicités plus haut.

conséquent, il faut indiquer au programme quelles sont les surfaces qui constituent le sol, pour éviter qu'il ne tente de « se déplacer » sur les parois du plafond.

Se pose alors la question de la délimitation des parois et du sol : où se trouve la limite entre les deux ? Dans certains cas, lorsque les parois sont très verticales, la distinction est assez claire, car il serait difficile de cheminer sur celles-ci. Néanmoins, elle est le plus souvent très vague. Pour faire face à ce problème, l'analyse a été programmée pour écarter systématiquement les angles très verticaux[33]. De ce fait, ce n'est pas un problème de « déborder » dans la sélection des sols, l'important étant de supprimer les plafonds et les zones qui pourraient se superposer en hauteur au sol (pour éviter la double coordonnée en *z*). En d'autres mots, lorsqu'un doute survient, de savoir s'il s'agit de sol ou de paroi, je l'inclus dans le sol (Figure 30).

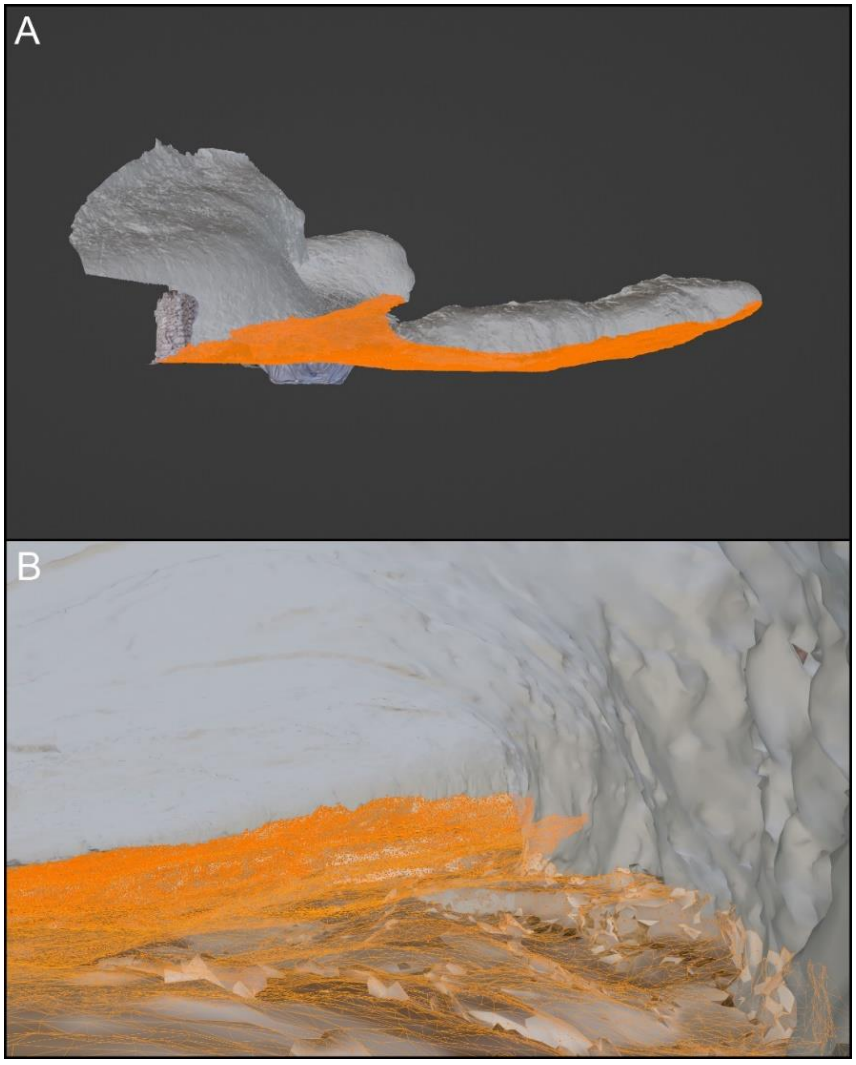


Figure 30. Illustration du processus de sélection de sol dans la grotte de Fuente del Trucho. **A**. Entièreté du modèle 3D avec le sol sélectionné en orange. **B**. Vue détaillée d'un tronçon de la grotte avec le sol sélectionné.

[33] Elle considère, pour la question du public, uniquement les espaces avec un angle inférieur à 30° (Intxaurbe et al., 2024). Pour le cheminement, elle sépare les angles inférieurs à 45°, classifiés comme « marcher » ou « ramper » aux angles supérieurs à 45°, déterminés comme « escalader » (Intxaurbe et al., 2021).

Pour le cas des galeries superposées, le cas est un peu plus complexe, car il n'est pas possible de sélectionner plusieurs niveaux de sols. Dans ce cas, il faut réaliser plusieurs modèles, l'un avec la galerie supérieure, l'autre avec la galerie inférieure, et réaliser les calculs deux fois en comparant les informations recueillies.

Un autre point pour lequel il faut éclairer le programme est celui des « plafonds intermédiaires ». Cette question survient en lien avec la visibilité. En effet, le programme comprend les parois comme des obstacles qui empêchent la visibilité. Cependant, il considère par défaut uniquement les surfaces externes comme des parois (par exemple le plafond). Dans le cas où il y a des plafonds intermédiaires (Figure 31), par exemple le passage sous un bloc, il faut donc lui donner l'information que ceux-ci constituent également des obstacles à la vision.

Il est ainsi nécessaire de créer deux documents supplémentaires au modèle tridimensionnel modifié : le même modèle réduit aux sols de la cavité, d'une part, et celui-ci réduit aux plafonds intermédiaires d'autre part.

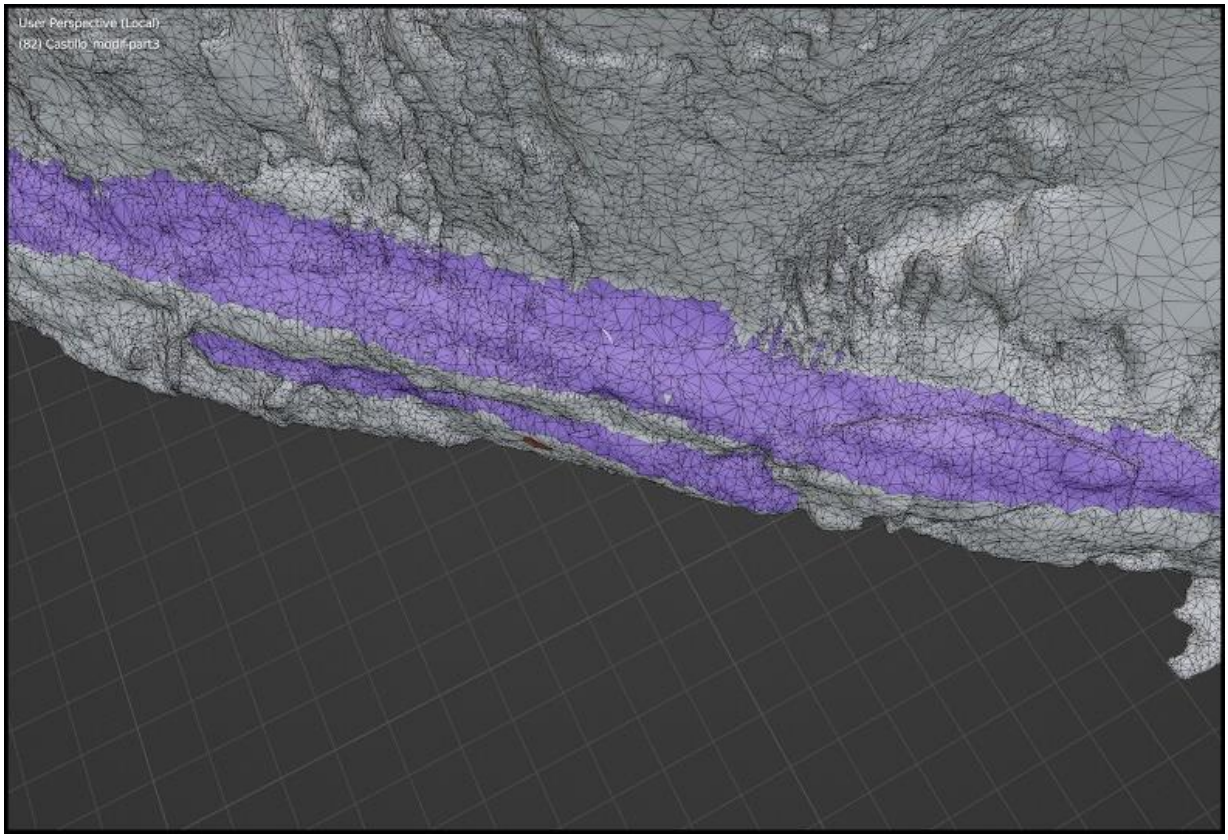


Figure 31. Exemple de sélection des plafonds intermédiaires (en mauve) dans la *Galerie des Disques* de la grotte d'El Castillo (vue aérienne).

3.4. Méthodes d'analyse de l'information

3.4.1. Systèmes d'Information Géographique

3.4.1.1. Introduction

Une fois l'environnement souterrain reconstitué et les figures géolocalisées avec précision dans le modèle 3D, on peut procéder à une série de mesures à travers les SIG.

Comme expliqué précédemment, ce travail s'inscrit dans une optique de co-construction, suivant les lignes de conduite de la science ouverte. Ainsi, la méthode des travaux de Intxaurbe *et al.* (2021, 2022, 2024), appliquée à d'autres types de motifs dans des sites distincts, servit de base de travail à cette étude. Cette méthode a été modifiée pour être adaptée à l'étude des mains négatives et complétée par de nouveaux axes d'analyses. Pour que cette démarche collaborative puisse être continuée, les méthodes et résultats furent rendus publics[34], afin qu'ils puissent à leur tour être réutilisés et améliorés (cf. section 3.6).

Les travaux antérieurs (Intxaurbe et al., 2021, 2022, 2024) avaient abouti à la création d'un *script* (une série de commandes à appliquer à un programme, ici les SIG) permettant la réalisation de calculs relatifs à l'accessibilité, la visibilité, la capacité d'accueil et le chemin optimal vers les motifs ornés. Cependant, son mode de fonctionnement impliquait de lourds processus, notamment à cause du fait que l'analyse de chaque main répétait des actions pesantes, comme des calculs relatifs à l'entièreté de la cavité (importation du modèle 3D, création de cartes topographiques, etc.). Ceci a eu pour conséquence l'apparition de nombreuses erreurs dans les résultats[35], car le logiciel ne pouvait pas bien supporter le poids des fichiers (Figure 32). De plus, le script, devant être appliqué à chaque motif individuellement, ne permettait pas de calculs par rapport aux motifs dans leur entièreté, en tant que groupe.

[34] https://osf.io/e4py8

[35] Pour la grotte d'El Castillo, lors de la première phase du travail d'analyse, plus de 50% de l'analyse des motifs avaient été affectés par des bugs, apparaissant à différents endroits dans les résultats obtenus. J'appliquai ainsi l'analyse systématiquement aux 77 mains avant de me rendre compte dans l'analyse des résultats qu'il y avait de nombreuses incohérences. Je repris alors un à un tous les aspects et identifiai que le problème venait de l'importation du modèle 3D, qui créait des fichiers de topographie présentant des erreurs (Slope, etc.). Comme les autres calculs se faisaient sur cette base, il me fallut trouver une solution d'allègement du processus.

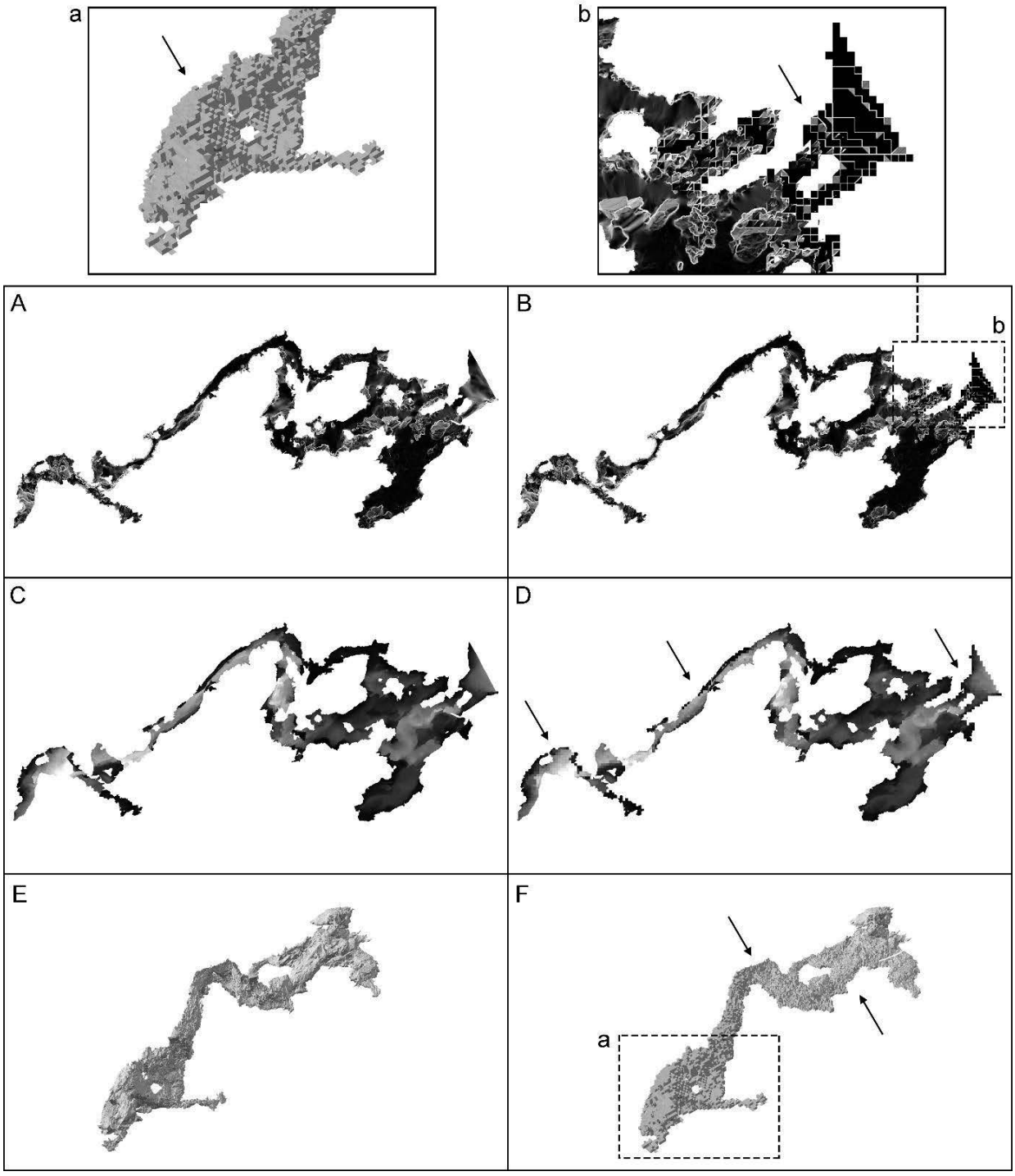


Figure 32. Exemples de cartes de l'analyse spatiale illustrant des *bugs* dûs à la lourdeur du processus, dans la grotte d'El Castillo. **A**. Carte des pentes de la cavité. **B**. Même carte des pentes, où la partie proche de l'entrée n'a pas été bien gérée par le programme. **b)** Détail de la partie défaillante, *pixellisée*. **C**. Carte des *Hauteurs* de la cavité. **D**. Même carte, où les flèches indiquent des zones défaillantes. **E**. Shapefile de la grotte en 3D. **F**. Même fichier, avec des zones n'ayant pas été bien restituées lors de sa création. **a)** Détail de ces zones déficientes.

J'ai donc procédé à la division du script en deux : le premier, « ***Script général*** », applicable à un fichier .shp contenant l'ensemble des motifs de mains de la cavité (**AllIn**), traitant de l'analyse de celles-ci comme un tout, avec leur dynamique interne (relations entre elles) et des fichiers d'analyse de la topographie de la cavité.

Le second, « ***Script pour chaque main*** », applicable à chaque motif individuellement, avec les questions de position de l'artiste, accessibilité, capacité et visibilité. Cette division permettait d'alléger considérablement le poids du script, ce qui eut pour résultat de supprimer les erreurs.

Par ailleurs, certaines questions relatives spécifiquement aux mains négatives, notamment en lien avec les possibilités qu'elles offrent en termes de position de l'exécutant, me semblaient pertinentes à intégrer. J'ai donc ajouté les analyses suivantes :

Pour évaluer la question de savoir si les mains étaient situés dans des lieux potentiellement dangereux (près d'escarpements, etc.), j'ai inclus le calcul d'une carte d'inclinaison des parois (**Dangerousness**) et une analyse kernel (de densité) de la concentration des zones de difficulté (**GreaterDifficulties**).

Par rapport à l'interprétation des motifs, notamment la conjecture que des mains pouvaient avoir eu une fonction d'indicateur spatial, j'ai créé un point tout au fond de la cavité (**Depth**), pour calculer un « chemin principal » (*Least Cost Path* ou LCP – voir ci-dessous) qui mène au fond de la grotte (**MainCorridor**). Ceci, pour pouvoir comparer deux éléments. D'abord, confronter la facilité d'accès aux mains à celle de cet endroit au fond de la cavité (voir quelle est la différence en termes d'accessibilité entre ces deux points). D'autre part, pour poser la question d'un couloir principal de visibilité (duquel pourraient se voir ou non les motifs) (**VisibleMainCorridor**), dans le rayon d'une torche, à l'aide de l'outil *Buffer*.

J'ai inséré des calculs d'intervisibilité des mains, c'est-à-dire leur visibilité entre elles (**Intervisibility**), pour répondre à la question de savoir si d'autres mains sont visibles (et combien) lorsque l'on se tient face à l'une d'elles et si celles-ci peuvent diriger le visiteur, indiquant la voie à suivre dans la cavité en le guidant de main en main.

Enfin, j'ai également ajouté le calcul des zones de la cavité depuis lesquelles il est possible d'observer le plus grand nombre de mains (**IdealPosition**), ainsi que le regroupement des figures en général (**HeatMapDensity**).

Pour ce qui est du rapport à la position de l'artiste, j'ai croisé, dans les analyses statistiques, les données recueillies de hauteur des motifs à l'orientation des mains (calculées en fonction de la circonférence de 360º d'une horloge analogique, où 12:00 = 0º ; 15:00 = 90º ; etc.), pour estimer leur facilité d'exécution.

A ces nouveaux apports s'ajoutent les analyses préalablement mises en place par les travaux antérieurs :

La difficulté d'accès (**Least Cost Path**), calculée sur base de la pente de la grotte et sa forme générale, selon les expérimentations de Intxaurbe *et al.* (2021). Celle-ci fournit une donnée de coût (**Path Cost**)[36] et de longueur (**Path Length**).

Les questions de **visibilité** sont également abordées en établissant la visibilité potentielle de chaque motif dans les limites du diamètre d'une torche[37] et divisant le public en trois positions : debout, penché et couché (Tableau 5) (**Visibility Lying Down**, **Visibility Stooping**, **Visibility Standing**). Ces chiffres sont basés sur les calculs des estimations d'occupation, utilisés par Holt (2003) et Intxaurbe *et al.* (2022 et 2023), suivant Neufert (1951), Pastoors et Weninger (2011) et Ruiz-Redondo (2014). Ils considèrent qu'une personne debout a besoin d'une hauteur supérieure à 1,599 m et occupe une surface de 0,77 m², tandis qu'une personne assise, ayant besoin d'une hauteur comprise entre 0,71 et 1,599 m, occupe 0,90 m² et une personne allongée 1,75 m², dans des zones dont la hauteur est comprise entre 0,24 et 0,71 m.

Tableau 5. Détail des mesures considérées pour les calculs d'occupation.

Position du public	Hauteur (m)
Lying Down [couché]	0,24 < H > 0,71
Stooping [accroupi]	0,71 < H > 1,599
Standing [debout]	1,599 < H

La taille estimée, pour les individus, est de 159,90 cm (Intxaurbe et al., 2024) et correspond à une moyenne sur base des découvertes archéologiques de restes humains de la fin du Paléolithique récent et du début du Mésolithique (165,3 cm pour les hommes et 154,5 cm pour les femmes (Holt, 2003; Shackelford, 2007; Cox et al., 2019)). A partir de cette donnée, pour ce qui est de l'estimation de la position de l'exécutant, les mesures suivantes ont été utilisées, en considérant « la position la plus proche utilisable par l'artiste », avec une pente inférieure à 30° (Tableau 6).

[36] Celui-ci est mesuré avec l'unité « mètre par seconde divisé par 1 (soit $\frac{1}{m/s}$) », utilisée pour l'accumulation des valeurs de coût (Intxaurbe et al., 2021).
[37] Les travaux de Medina-Alcaide et al. (2021) suggèrent un diamètre de 2,99 m, celle-ci formant une aire de 28,30 m².

Tableau 6. Détail des mesures considérées pour les calculs de position de l'exécutant

Position de l'exécutant	Hauteur
Crouching/kneeling/sitting/lying down [Accroupi, agenouillé/assis/couché]	0 ≤ Distance au sol ≤ 1 m
Leaning [Penché]	1 ≤ Distance au sol ≤ 1,3 m
Leaning/Upright [Penché/Debout]	1,3 ≤ Distance au sol ≤ 1,7 m
Upright [Debout]	1,7 ≤ Distance au sol ≤ 1,8 m
Elevated [Surélevé]	1,8 > Distance au sol

Enfin, ces analyses créent également des fichiers relatifs à la topographie de la grotte en général, comme le modèle numérique de terrain (**Slope**) ou les objets tridimensionnels .wrl convertis en fichiers .shp.

3.4.1.2. Fichiers nécessaires à l'application du script

Le processus de travail requiert l'application en premier lieu du *Script général*, car il fournira certaines données nécessaires à l'application du *Script pour chaque main*. Chaque script dépend des fichiers suivants :

1) script_general

- Le shapefile du point d'accès à la cavité: « **Access.shp** »
- Le shapefile de l'entièreté des mains négatives de la cavité: « **Allin.shp** »
- Le fichier 3D de la grotte dans son état paléolithique: « **CeilingsMax.wrl** »
- Le fichier 3D des plafonds bas de la cavité, pour les cas de superpositions de niveaux, dans leur état paléolithique: « **CeilingsMin.wrl** »
- Le shapefile du point le plus profond de la cavité: « **Depths.shp** »
- Le fichier 3D des sols de la cavité dans leur état paléolithique: « **GroundOk.wrl** »
- Le script sous forme de document python: « **Script_General_1.py** »

2) script_pour_chaque_main

- Le shapefile du point d'accès à la cavité: « **Access.shp** »
- Le fichier shp du 3D de l'entièreté de la grotte dans son état paléolithique (obtenu par l'application du **Script_general**): « **CeilingsMax.shp** »
- Le shapefile du point le plus profond de la cavité: « **Depths.shp** »
- L'image du sol de la cavité (obtenu par l'application du **Script_general**): « **GroundOk.tif** »
- Le shapefile de l'unité graphique à analyser: « **GU.shp** »
- L'image des plafonds de la cavité (obtenu par l'application du **Script_general**): « **Height.tif** »
- Le script sous forme de document python: « **Script_pour_chaque_main.py** »

3.4.1.3. Détail de la procédure

Voici un détail de la procédure d'analyse spatiale avec les SIG :

Concrètement, le set d'instructions utilise le fichier tridimensionnel sous sa forme de fichier .wrl et l'importe dans *ArcGIS*®, qui le transforme en fichier .shp et est alors capable de le considérer dans son environnement. Sur cette base, il mesure une série de données pour créer des fichiers raster et shapefile, suivant une procédure définie.

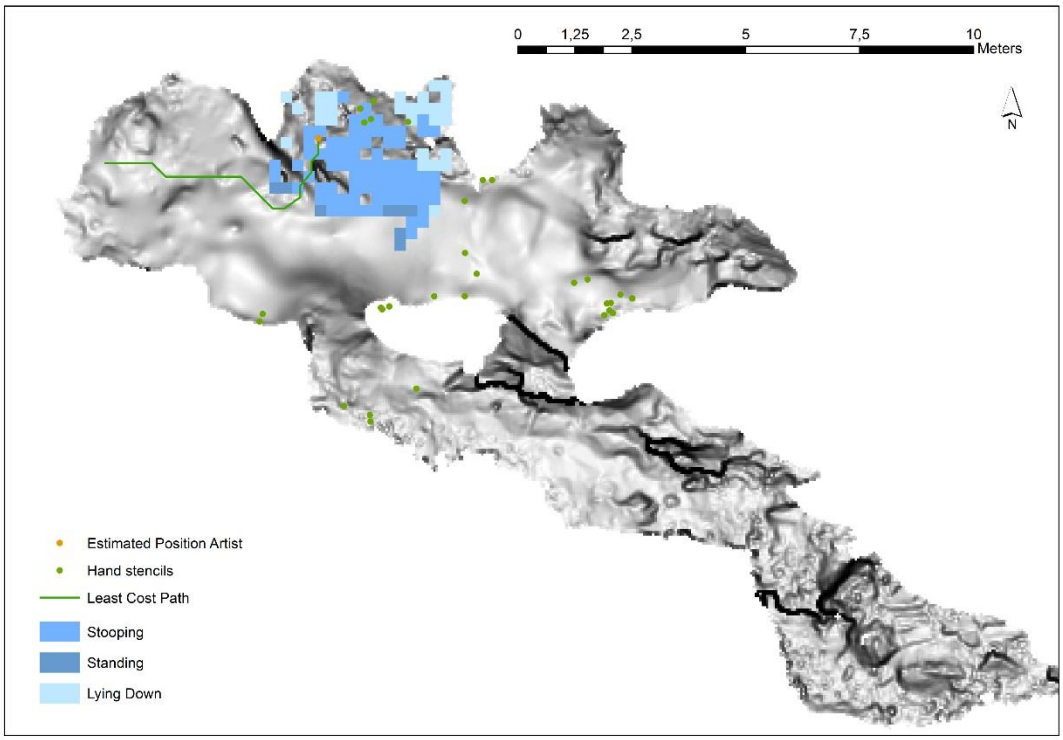
Dans *ArcGIS*®, on insère le script[38], qui sélectionne les documents rangés dans un dossier situé dans le *Bureau* de l'ordinateur, appelé *Paleospeleology*, pour effectuer ses opérations.

Les résultats sont organisés dans ce même dossier, en une série de sous-dossiers. Ceux-ci sont constitués de plusieurs éléments :

1) Les fichiers de résultats temporaires, utilisés pour effectuer les calculs nécessaires à d'autres fichiers. Ils ne seront utilisés que pour vérifier qu'il n'y a pas eu d'erreur dans le processus ou pour visualiser les éléments de calcul si nécessaire.
2) Les fichiers de résultats finaux, dont les données seront par la suite interprétées et intégrées dans les calculs statistiques. Ceux-ci sont de différents types : shapefiles, avec des données numériques correspondantes, fichiers raster (images) et tableaux de données (Figure 33). Ces éléments seront donc analysés de deux formes : visuellement et à travers des données numériques.

[38] Celui-ci est disponible, comme spécifié plus haut, sur la plateforme https://osf.io/e4py8.

A



B

Table

AllIn

FID	Shape	Label	Object_ID	coord_x	coord_Y	coord_z	COUNT_OID_	Interv	COUNT_OID1	Ideal	COUNT_OI_1	MCVis	COUNT_OI_2	LCPVis
0	Point ZM	Salin_Mano_01	1	100,759365	102,107076	24,172025	5	71,428571	72	63,716814	53	46,902655	72	63,716814
1	Point ZM	Salin_Mano_02	2	101,056441	102,179516	24,00898	7	100	89	78,761062	64	56,637168	89	78,761062
2	Point ZM	Salin_Mano_03	3	102,039517	101,761142	23,896461	1	14,285714	69	61,061947	37	32,743363	69	61,061947
3	Point ZM	Salin_Mano_04	4	101,778186	101,846958	23,980446	1	14,285714	69	61,061947	38	33,628319	69	61,061947
4	Point ZM	Salin_Mano_05	5	101,479501	101,650005	23,953506	5	71,428571	81	71,681416	49	43,362832	81	71,681416
5	Point ZM	Salin_Mano_06	6	101,422181	101,394857	24,014549	2	28,571429	75	66,371681	46	40,707965	75	66,371681
6	Point ZM	Salin_Mano_07	7	101,566282	101,664882	23,838236	5	71,428571	84	74,336283	49	43,362832	84	74,336283
7	Point ZM	Salin_Mano_08	8	101,536824	101,500529	23,854424	5	71,428571	81	71,681416	49	43,362832	81	71,681416
8	Point ZM	Salin_Mano_09	9	101,61151	101,443586	23,714645	5	71,428571	80	70,79646	49	43,362832	80	70,79646
9	Point ZM	Salin_Mano_12	10	96,292965	99,060719	25,356827	0	0	41	36,283186	41	36,283186	41	36,283186
10	Point ZM	Salin_Mano_13	11	95,706083	99,401345	25,271393	1	14,285714	50	44,247788	50	44,247788	50	44,247788
11	Point ZM	Salin_Mano_14	12	93,925314	101,421047	24,276802	1	14,285714	109	96,460177	109	96,460177	109	96,460177
12	Point ZM	Salin_Mano_15	13	93,858119	101,25801	23,967918	1	14,285714	113	100	113	100	113	100
13	Point ZM	Salin_Mano_16	14	96,521187	101,555393	23,514992	1	14,285714	71	62,831858	56	49,557522	71	62,831858
14	Point ZM	Salin_Mano_16bis	15	96,55025	101,521681	23,257507	1	14,285714	67	59,292035	52	46,017699	67	59,292035
15	Point ZM	Salin_Mano_17	16	97,689473	101,810072	22,904678	3	42,857143	80	70,79646	26	23,00885	80	70,79646
16	Point ZM	Salin_Mano_18	17	95,148381	105,270275	23,794167	0	0	87	76,99115	34	30,088496	87	76,99115
17	Point ZM	Salin_Mano_19	18	96,156263	105,624756	23,909805	2	28,571429	73	64,60177	20	17,699115	73	64,60177
18	Point ZM	Salin_Mano_19bis	19	96,301532	105,69938	23,853912	1	14,285714	80	70,79646	24	21,238938	80	70,79646
19	Point ZM	Salin_Mano_20	20	96,070523	105,928698	23,879158	0	0	60	53,097345	16	14,159292	60	53,097345
20	Point ZM	Salin_Mano_20bis	21	97,115586	105,636326	23,78157	0	0	58	51,327434	19	16,814159	58	51,327434
21	Point ZM	Salin_Mano_21	22	98,621964	102,305138	23,471107	3	42,857143	69	61,061947	7	6,19469	69	61,061947
22	Point ZM	Salin_Mano_21bis	23	98,364769	102,757983	23,672386	4	57,142857	84	74,336283	15	13,274336	84	74,336283
23	Point ZM	Salin_Mano_22	24	98,360733	103,902811	24,254478	2	28,571429	52	46,017699	8	7,079646	52	46,017699
24	Point ZM	Salin_Mano_23	25	98,958455	104,361756	23,244763	5	71,428571	86	76,106195	16	14,159292	86	76,106195
25	Point ZM	Salin_Mano_24	26	98,75628	104,358809	23,278409	5	71,428571	83	73,451327	13	11,504425	83	73,451327
26	Point ZM	Salin_Mano_25	27	96,357822	106,086925	23,664391	1	14,285714	80	70,79646	31	27,433628	80	70,79646
27	Point ZM	Salin_Mano_12bis	28	96,28	99,202	25,616287	1	14,285714	32	28,318584	32	28,318584	32	28,318584
28	Point ZM	Salin_Mano_16ter	29	96,703	101,588	23,063362	2	28,571429	65	57,52214	49	43,362832	65	57,52214
29	Point ZM	Salin_Mano_26	30	97,3	99,782	26,369156	0	0	36	31,858407	36	31,858407	36	31,858407
30	Point ZM	Salin_Mano_27	31	98,364	101,813	23,000092	4	57,142857	63	55,752212	4	3,539823	63	55,752212

1 (0 out of 31 Selected)

AllIn

Figure 33. Exemple de résultats de l'analyse spatiale obtenus avec les SIG pour Fuente del Salín. **A**. Fichier raster du sol d'une partie de la grotte, sur lequel sont positionnés différents shapefiles : les mains négatives de la cavité, la position estimée de l'exécutant pour la main 18, le *Least Cost Path* vers celle-ci et ses zones de visibilité en fonction des positions du public (couché, accroupi ou debout). **B**. Tableau des attributs de l'entièreté des mains obtenu par l'analyse générale de celles-ci.

Il est nécessaire d'appliquer l'analyse à chaque motif individuellement en nommant le shapefile de l'unité graphique analysée « GU ». Ce processus est aussi chronophage et peut mener à des erreurs (comme tous les motifs doivent tour à tour porter le même nom). Il pourrait bénéficier d'une automatisation dans le futur.

Il faut finalement préciser que les résultats sont envoyés dans le même dossier dans le *Bureau* et qu'il faut ensuite les déplacer, au moment de passer à l'analyse d'un autre motif, car les résultats sont enregistrés systématiquement au même endroit, sous le même nom.

3.4.2. Statistiques

Enfin, la dernière étape est constituée par l'analyse statistique des données, par des études de correspondance de différents facteurs, afin de voir si des dynamiques de distribution spatiale se dégagent à l'intérieur des cavités ornées. Pour ce faire, nous avons utilisé R[39] (R Core Team, 2024), et en particulier le package R FactoMineR (Lê et al., 2008) pour ce qui est des analyses factorielles[40]. Le code utilisé pour l'analyse statistique est également disponible en ligne[41], ainsi que dans les annexes (section 11.2).

Nous avons effectué une série d'**Analyses sur Composantes Principales** (ACP), d'**Analyses Factorielles pour les données mixtes** (Analyse Factorielle) (Pagès, 2004) et de regroupements hiérarchiques sur les composantes principales (**Analyse de Clusters**), afin d'identifier les schémas de variation dans les données. L'ACP s'applique exclusivement aux variables continues (par exemple, la longueur du chemin), tandis que les analyses factorielles permettent de combiner des variables quantitatives et catégorielles (par exemple, la latéralité des mains). Les analyses de clusters traitent les résultats obtenus par les techniques précédentes afin d'identifier des clusters dans les données, c'est-à-dire des ensembles d'observations qui présentent des schémas de variation similaires.

Nous avons pris le parti de travailler sur des **cas complets** uniquement, pour éviter de procéder à *l'imputation de valeur manquante* qui nous semblait complexe à défendre pour le cas de données archéologiques dont nous tentons de décrypter le fonctionnement. Ce choix de considérer seulement les cas complets implique cependant une perte d'information importante. Pour la grotte d'El Castillo, le grand nombre de mains diminue l'importance statistique de cette déperdition, mais elle est plus sensible dans le cas de la grotte de Fuente del Salín, par exemple, où les mains sont en général en moins bon état de conservation (ce qui pose problème pour diminuer la latéralité et l'orientation). Nous avons cependant décidé de rester sur une méthode

[39] R est un logiciel libre pour le calcul statistique (R Core Team, 2024), utilisé ici dans sa version 4.3.3. (https://www.r-project.org/).
[40] L'application de l'analyse statistique a été réalisée en collaboration avec Iñigo Urretarazu-Porta (CNRS-IKER, UPPA & EHU), qui s'est chargé intégralement de la gestion du code avec le programme R. Toute cette section est donc le fruit d'un travail commun, tant dans les réflexions pour la manipulation des données que l'interprétation des résultats.
[41] https://osf.io/4sed7/?view_only=a64bdc27e99141d8a4e93e436d150f0a

homogène et de traiter les trois grottes de la même façon, pour avoir des résultats homogènes permettant davantage de comparaison entre les sites.

L'ensemble des données contient 20 variables, dont voici le détail :

1) **id_hand** : L'identifiant de chaque main. Les valeurs possibles sont des entiers positifs (sous forme de caractères).
2) **zone** : La zone cataloguée de la grotte où la main négative se situe[42].
3) **zone_en** : Le noms des zones en anglais avec des espaces et majuscules.
4) **path_diff** : La difficulté du chemin. Contient des nombres positifs.
5) **path_length** : La longueur du chemin entre l'entrée de la cavité et la main négative, en mètres. Contient des nombres positifs.
6) **height_motif** : La hauteur de la main négative par rapport au niveau du sol reconstitué, en mètres. Contient des nombres positifs.
7) **est_artist_pos** : La position estimée de l'artiste lors de l'exécution de la main négative. Les valeurs possibles sont : upright [debout], leaning_upright [penché/debout], leaning [penché], elevated [élevé] et crouching [accroupi].
8) **vis_stooping** : Le nombre d'individus qui peuvent voir la main en même temps en position accroupie. Contient des nombres positifs.
9) **vis_standing** : Le nombre d'individus qui peuvent voir la main en même temps en position debout. Contient des nombres positifs.
10) **vis_lying_down** : Le nombre d'individus qui peuvent voir la main en même temps en position couchée. Contient des nombres positifs.
11) **total_vis** : La visibilité totale de la main. Il s'agit de la somme des variables de visibilité précédentes (points 8, 9 et 10). Contient des nombres positifs.
12) **laterality** : La latéralité de la main. Elle est soit right [droite] (r), soit left [gauche] (l), soit NA (lorsqu'elle n'a pas pu être définie).
13) **orientation_clock** : L'orientation horaire de la main, allant de 12 (12h) à 23,5 (23h30). 12 heures est une main verticale. Les valeurs entre 18,5 et 23,5 indiquent une orientation de la main vers la gauche, tandis que celles entre 12,5 et 17,5 indiquent une orientation vers la droite. Ainsi, une main orientée à 90° vers la droite sera à 15h.
14) **color** : La couleur du pigment de la main négative: red [rouge], black [noir] ou yellow [jaune].

[42] Elles sont en français ou en espagnol et ne contiennent pas d'espaces, ni de majuscules (lesquels peuvent poser des problèmes).

15) **n_vis_hands** : Le nombre de mains négatives qui peuvent être vues à partir de la position d'une main négative en particulier. Contient des nombres entiers positifs.
16) **cave** : Le nom de la grotte où est située la main négative.
17) **wall_ceiling** : Cette catégorie est uniquement pertinente dans le cas de la grotte de Fuente del Trucho pour différencier les mains situées sur le plafond de celles situées sur la surface verticale du fond de la grotte.
18) **missing_fingers** : L'indication des doigts manquants (catégorie pertinente uniquement dans le cas de la grotte de Fuente del Trucho qui en contient). Elle s'organise comme suit : un *l* fait référence à un doigt complet, un *i* à un doigt où une phalange est manquante et un *x* à un doigt complètement absent. Ceci, en considérant toujours l'ordre des doigts suivants : pouce, index, majeur, annulaire, auriculaire (indépendamment de la latéralité de la main, gauche ou droite). Ainsi, une main dont l'auriculaire est réduit à une phalange sera indiquée *llll**i*** et une main au pouce entièrement absent ***x**llll*** (voir section 5.2.3.1).
19) **orientation_degree** : La transformation de l'orientation des mains exprimée en heures vers un système de degrés. On soustrait 12 aux valeurs et chacune est ensuite multipliée par 30 (pour arriver à une échelle de 360°, la mesure d'un cercle).
20) **transformed_orientation_angle** : Une autre transformation basée sur les degrés. L'orientation des mains illustrée sur un cercle pose le problème, lors de l'analyse statistique, de séparer radicalement les mains orientées à 23h (330°) de celles orientées à 12h (360°). Ceci, à cause de la différence numérique entre elles, car le 23 et le 12 ont beaucoup d'écart en nombre, malgré qu'ils soient voisins sur le cadrant. Pour pallier ce problème, nous appliquons une autre transformation, qui pivote les angles, et place ainsi cet écart à un autre endroit du cercle, près des orientations les moins courantes. Ceci, pour que l'impact statistique soit moins important.

Nous avons utilisé les packs suivants :

dplyr v. 1.1.4 (Wickham, 2023a), explore v. 1.3.3 (Krasser, 2024), factoextra v. 1.0.7 (Kassambara & Mundt, 2020), FactoMineR v. 2.11 (Lê et al., 2008), forcats v. 1.0.0 (Wickham, 2023a), geomtextpath v. 0.1.4 (Cameron & van den Brand, 2024), ggdist v. 3.3.2 (Kay, 2024a, 2024b), ggforce v. 0.4.2 (Pedersen, 2024a), ggimage v. 0.3.3 (Yu, 2023), ggplot2 v. 3.5.1 (Wickham, 2016), ggrepel v. 0.9.6 (Slowikowski, 2024), ggsci v. 3.2.0 (Xiao, 2024), grid v. 4.4.2 (Ooms, 2024; R Core Team, 2024), magick v. 2.8.5 (Ooms 2024), magrittr v. 2.0.3 (Bache & Wickham, s. d.), patchwork v. 1.3.0 (Pedersen, 2024b), RColorBrewer v. 1.1.3 (Neuwirth,

2022), readr v. 2.1.5 (Wickham et al., 2024a), rmarkdown v. 2.29 (Xie et al., 2018, 2020; Allaire et al., 2024), scales v. 1.3.0 (Wickham et al., 2023), see v. 0.9.0 (Lüdecke et al., 2021), stringr v.(Müller & Wickham, 2023)Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte., tibble v. 3.2.1 (Müller & Wickham, 2023) et tidyr v. 1.3.1 (Wickham et al., 2024b).

3.5. Limites de la méthode

Ces méthodes novatrices sont prometteuses pour l'étude de l'art pariétal en ce qu'elles adressent des problèmes majeurs de l'étude spatiale, comme le manque de précision dans la prise des données et la représentation inadaptée. Cependant, comme toute méthode, elles sont aussi sujettes à un certain nombre de limites. Dans cette section, ces questions seront abordées, d'abord d'un point de vue général, puis concrètement par rapport à ce sujet de recherche spécifique.

3.5.1. Choix du chercheur

Au-delà des caractéristiques propres à l'analyse spatiale, le chercheur est confronté à une série de choix qui restent souvent invisibles.

En constitue un premier exemple le choix d'un *corpus* pertinent, qui se pose au moment de tenter de lire la dispersion d'un dispositif pariétal. Les critères potentiels, pour sa sélection, peuvent relever du style, de l'iconographie, de la technique, ou d'autres facteurs encore. Même les motifs qui nous semblent catégorisés et bien à part peuvent être remis en question. La représentation de la main, bien connue grâce aux centaines de mains négatives existantes, en forme un bon exemple. A l'heure de les étudier, doit-on inclure les mains positives, parfois présentes dans les mêmes grottes ? Doit-on séparer les mains négatives complètes et les mains négatives aux doigts manquants ? Différents types de doigts manquants se présentent, avec systématiquement le même absent, ou des combinaisons différentes, doit-on les discriminer ? Que faire des mains « frottées » ou des tracés digitaux peints ou gravés ? Doit-on inclure les « points » ou « disques » qui semblent s'associer aux mains négatives, ou encore les doigts repliés isolés ? Rapidement, des choix se présentent, qu'il revient au chercheur d'assumer.

C'est là que se posent deux problèmes majeurs : l'*ethnocentrisme* et la *subjectivité*. Plusieurs auteurs nous alertent de ces écueils : Lewis-Williams (1990, p. 133) défend que « The 'archaeological context', however, is not 'given' as the illusion of positivist archaeology suggests. All contexts are assemblages of selected features; they are value-laden constructs made by archaeologists acting in specific social circumstances. Archaeologists decide which

features of the past shall be deemed the context of the art » [Le « contexte archéologique », cependant, n'est pas « donné » comme le suggère l'illusion de l'archéologie positiviste. Tous les contextes sont des assemblages d'éléments sélectionnés ; ce sont des constructions chargées de valeur, réalisées par des archéologues agissant dans des circonstances sociales spécifiques. Les archéologues décident quels éléments du passé seront considérés comme le contexte de l'art.], ce qui sera traduit par Conkey (1997, p. 344) à travers l'expression « Contexts are made of contexts » [Les contextes sont faits de contextes] qui l'illustre bien. Ce concept sera également repris dans les travaux de Brouwer Burg (2017), pour ne citer qu'elle. Gero (1996) partage cette idée et affirme que nos « découvertes » en tant que chercheur sont en réalité le fruit d'un mélange de notre contexte et de notre interprétation.

En effet, dans la recherche en art pariétal paléolithique[43], l'omniprésence de notre façon de penser *WEIRD* est indubitable et nous devons être conscients que le concept que nous employons aujourd'hui pour désigner un ensemble d'entités différentes peut être inapproprié pour d'autres cultures, car elles peuvent avoir eu une partition plus nuancée des éléments, qui peuvent même ne pas correspondre à un ensemble cohérent.

Par exemple, l'étude des langues permet d'observer que les catégories d'une culture ou d'une langue ne s'adaptent pas nécessairement à une autre. Ce qui est compris dans un seul terme dans une langue peut en nécessiter deux ou plus dans une autre. En d'autres termes, ce qui est inclus aujourd'hui dans une langue en tant que tokens d'une (macro-) catégorie peut, dans une autre langue ou à une autre époque, être différencié en davantage de catégories (et vice versa). Par exemple, en français, les différentes espèces de chênes (*Quercus robur*, *Quercus pyrenaica*, *Quercus ilex*) appartiennent toutes à la même catégorie et sont toutes appelées « chêne », alors que le basque les différencie comme différents types d'arbres : « haritz », « ametz » et « arte ». En résumé, la catégorisation elle-même est médiatisée par la culture et nous devrions être conscients de ce fait lorsque nous tirons des conclusions sur toute manifestation esthétique complexe.

Ainsi, comme le relève Groenen (2016), la notion même de *figure animale* limite et oriente notre pensée. Dans les essais d'analyse de la structuration de l'espace, on rencontre également le concept de *liaisons thématiques*, mais celui-ci restreint les figures à une essence qui vient de notre conception. Ecrire « type d'animal : cheval » ou « type de figure : signe » revient à baser

[43] Cet écueil n'est pas spécifique à cette discipline, il est inhérent à tout type de recherche.

tout notre système sur une interprétation actuelle (sans parler de termes plus spécifiques tels que « tectiforme » ou « tracés digitaux »).

Si, plutôt qu'*essence cheval*, telle figure évoquait un individu de telle race, de sexe masculin, à telle période de l'année, dans telle position ou activité[44] ? Ou si elle représentait l'activité elle-même, plutôt que l'individu ? En effet, l'interprétation des motifs soulève directement un problème bien connu de la philosophie analytique : l'indétermination de la référence, comme l'évoquait Quine (1960)[45]. Ainsi, comment savoir si ce *renne buvant* de la grotte des Combarelles a la moindre chose à voir avec un le *renne sautant* de Las Monedas ? Ils sont peut-être à l'opposé l'un de l'autre, en termes de symbolique. De plus, si l'on considère que l'importance peut résider dans l'attitude de l'animal plutôt que dans son espèce, le *renne buvant* est peut-être beaucoup plus proche de ce *bison menacé* ou de ce *cheval tombant* que d'un renne statique, par exemple.

Selon Leroi-Gourhan (1980), le bestiaire stéréotypé de l'art pariétal paléolithique défendait cette catégorisation. Cependant, l'approche éthologique proposée par les études de Clottes *et al.* (1994) montre les limites de ce point de vue.

Ainsi, l'établissement de critères, de catégories et les tentatives d'objectivation des études ont souvent pour effet de proposer des résultats qui apparaissent faussement éloignés de l'arbitraire et du subjectif, et virent vers la fausse-objectivité. Les statistiques, entre autres, réduisant en chiffres et en graphiques les phénomènes observés, peuvent invisibiliser une partie importante du travail qui les constitue : la catégorisation. En effet, que ce soient des catégories qualitatives ou quantitatives, il y a toujours un facteur de choix pour la définition de leurs caractéristiques ou des fourchettes numériques qui les limitent.

Le découpage physique des cavités en différentes zones constitue un bon exemple de cette catégorisation. Les cavités sont en effet des entités physiques uniques qui se refusent à une délimitation claire. Parler de « salle », lorsque le plafond devient paroi, puis couloir et puits, sans donner prise à une limite franche, est complexe. Tout comme l'est déterminer des catégories d'espace applicables à différents sites, quand se côtoient grottes-couloir et grottes avec alternances d'espaces restreints et d'espaces immenses. Si l'on reprend, dans l'objectif

[44] Il faut également considérer la distinction entre la forme et le symbole.

[45] Cette thèse soutient qu'aucun fait objectif ne détermine de manière unique à quoi les termes linguistiques renvoient. Même avec une connaissance complète des événements et du comportement linguistique des participants, plusieurs interprétations d'un terme restent également plausibles (e.g. même si on entend "gavagai" seulement en présence de lapins, ce terme peu signifier "lapin", "parties non détachées d'un lapin", "présence de lapin", etc.).

d'étudier un *corpus*, certaines catégories proposées par des chercheurs, comme les secteurs, les panneaux ou les ensembles graphiques, nous nous trouvons rapidement confrontés à notre propre subjectivité, car la catégorisation elle-même demande une justification *a priori*. Ceci, jusqu'à la délimitation de l'unité graphique : ses frontières sont floues.

La même question se pose pour la différence entre une *grotte* et un *abri rocheux*. Cette distinction, proposée par plusieurs auteurs (Laming-Emperaire, 1962; Leroi-Gourhan, 1965; Fortea Pérez, 1994; Vialou, 2009; Ochoa Fraile, 2016; Groenen & Groenen, 2019), dont certains affirment qu'elle correspond également à une différence chronologique, peut-être simplement le fruit de notre système de pensée, de nos propres catégories.

Cette subjectivité prend peut-être sa source dans la *manière de représenter* les réseaux souterrains. Il est intéressant de souligner, en effet, que la plupart des travaux de recherche antérieurs sur l'art pariétal paléolithique ont utilisé, de manière générale, des plans en deux dimensions. Or, comme je l'ai mentionné auparavant, ceux-ci ne rendent pas justice à leur développement souterrain. Comme le présente Jaillet (2014, 2016), cette façon d'illustrer l'espace, qui implique une façon de penser l'espace lui-même, dirige notre conception et nos réflexions. L'opération de cartographie en elle-même est confrontée aux difficultés de ce passage de la 2D à la 3D (avec des différences de largeur du couloir entre le sol et le plafond, les différents niveaux, etc.). Le plan est donc lui-même une traduction codifiée de la réalité des réseaux, souvent très éloignée de l'expérience de la visite de ces endroits. Certains chercheurs, comme le note Sauvet (1993), ont proposé de résoudre ce problème en ajoutant au traditionnel plan des coupes et des photos (Figure 34). Cependant, si ces images permettent de concevoir de façon plus concrète le développement de certaines zones, elles ne permettent pas de rendre compte de la complexité des espaces souterrains.

La proposition de l'utilisation de la 3D est porteuse d'espoir, dans ce sens, car parvient à s'échapper en partie de cette catégorisation spatiale, mais nous sommes sans cesse rattrapés par cette nécessité de catégoriser, de différencier, de définir. Durant le déroulement de ce travail, j'ai ainsi tâché de documenter au maximum les choix effectués.

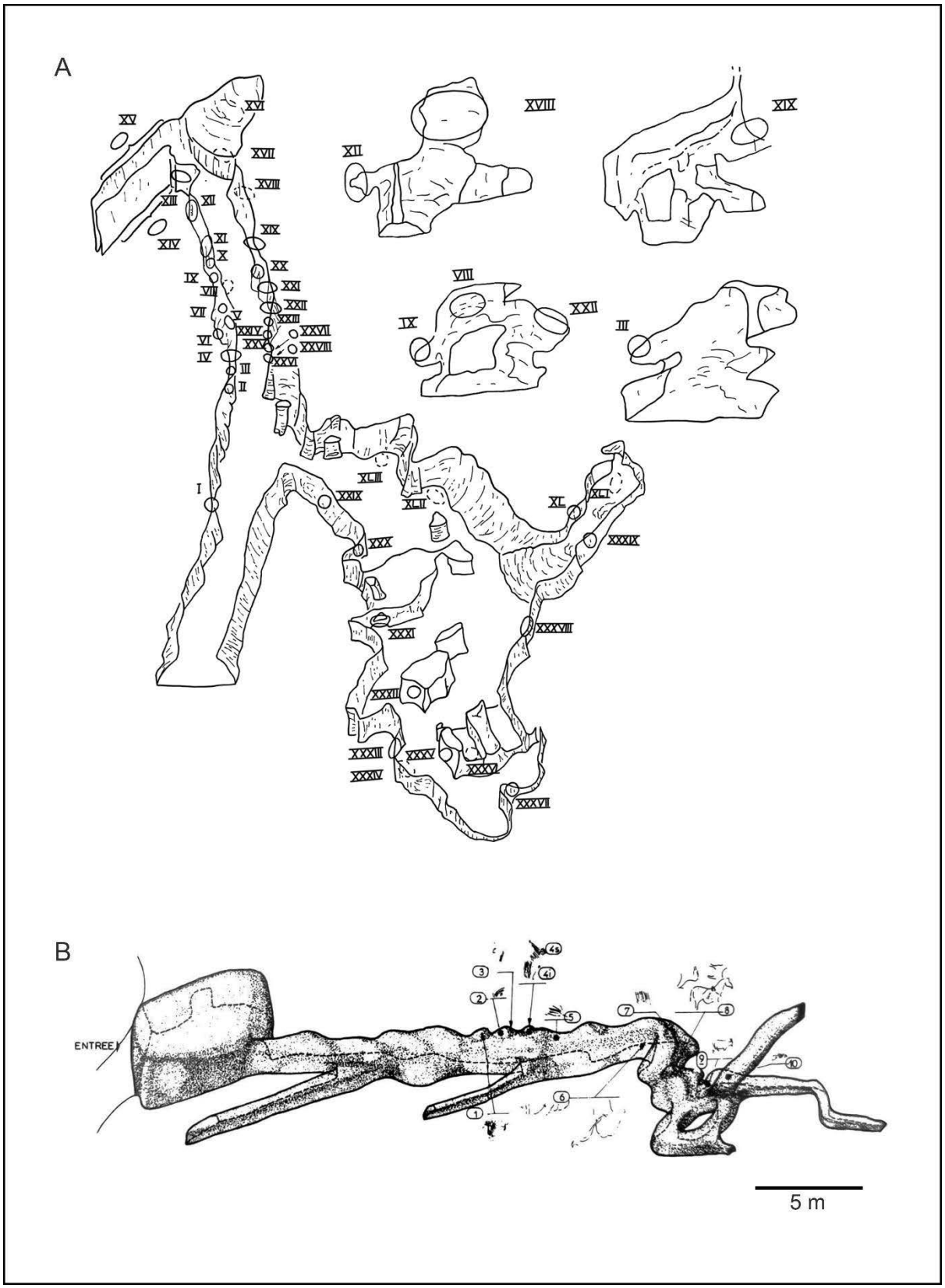


Figure 34. Exemples des propositions de représentations spatiales dépassant la 2D présentées par Sauvet (1993). **A**. Vue en élévation de la grotte de La Pasiega (Cantabrie, Espagne) (d'après González García, 1987). **B**. Perspective axonométrique de La Croze-à-Gontrand (Dordogne, France) (d'après Delluc et al., 1983).

3.5.2. Avantages et contraintes propres au sujet de recherche

A ces difficultés générales s'ajoutent les caractéristiques du milieu, sujet à une série d'avantages et de contraintes, que je développerai ici.

3.5.2.1. Avantages

Le premier avantage des grottes en tant que support à l'analyse spatiale est l*'immobilité (relative) des parois*.

En effet, malgré les changements (géologiques, anthropiques, taphonomiques) que la grotte a pu traverser, on peut argumenter que les figures visibles aujourd'hui sont placées à l'endroit même où les Paléolithiques ont choisi de les placer[46]. Contrairement à l'art mobilier, plus facilement déplaçable, nous avons donc accès à un contexte fixe qui est précieux pour l'étude des traces laissées par les peuples du Paléolithique récent.

Ensuite, la *nature conservatoire* des grottes, comme le fait remarquer Clottes (1993), qui a l'avantage d'enregistrer jusqu'à certains gestes des occupants de la grotte en nous permettant de voir les traces de leur passage et de leurs actions (empreintes de pas[47], foyers, structures, éléments brisés, etc.).

Enfin, un autre élément en la faveur de l'étude spatiale est le caractère fondamentalement *hostile* pour l'homme du milieu souterrain (Rouzaud, 1978), qui fait que la question du hasard dans le choix du lieu peut d'emblée être réfutée : les grottes sont, comme le remarquaient Moles et Rohmer (1998), et je l'ai souligné plus haut, un lieu *où l'on va*, qui nécessite un savoir-faire. Nous ne sommes pas face à un site orné choisi au détour d'un chemin, par défaut.

3.5.2.2. Contraintes

Pour ce qui est des contraintes de notre sujet d'étude par rapport à cette thématique spatiale, notons tout d'abord, pour compléter notre premier point listé dans les avantages, la *taphonomie*, ainsi que les *changements dans la forme de la grotte*. En effet, son évolution géologique et ses conditions environnementales, alliées aux actions humaines et animales de visites et/ou destruction, impliquent que nous n'avons accès aujourd'hui qu'à une parcelle des informations disponibles au Paléolithique. Certaines informations, comme l'emplacement de l'entrée

[46] A l'exception de quelques extractions, comme l'Abri de Laussel en Dordogne, ou l'Abri du Poisson, qui manqua de justesse de subir le même sort.
[47] Ou même de doigts (Garate et al., 2020c).

paléolithique, par exemple, primordial à l'heure de penser la conception d'un lieu, sont parfois difficiles à retrouver.

A ces changements s'ajoutent, comme le remarque Bahn (2003), ce qu'il appelle *l'environnement non-empirique*, c'est-à-dire les données de l'ordre du tabou ou du mythe, qui ont disparu aujourd'hui.

La question de *l'accumulation des figures* est aussi une contrainte importante pour l'analyse de la distribution des figurations. En effet, il est souvent difficile de déterminer la contemporanéité des motifs et de démêler les différents systèmes esthétiques superposés. En constituent des exemples clairs la grotte d'El Castillo, nous le verrons, mais encore celle de la Peña de Candamo (Corchón Rodríguez et al., 2011, 2013) ou encore celle de Tito Bustillo (Balbín & Moure, 1980). Si les parois étaient déjà ornées lors de la création de certains motifs, les artistes ont dû prendre position par rapport à ces figurations préexistantes. Les attitudes observées sont multiples, allant de l'évitement à la réutilisation ou l'intégration de motifs. Parfois, elles semblent même relever de l'indifférence (Groenen, 2016) (cf. le cas de Chauvet (Gély & Azéma, 2005) vs. Christol Cave (Le Quellec et al., 2009)).

Cette contrainte est d'importance par rapport à la réalisation des mains négatives, car il n'est pas établi, à ce jour, si celles-ci ont été réalisées une à une ou toutes à la fois, et si certaines d'entre elles ont disparu. Or, ces questions invitent à s'interroger sur la pertinence même d'une analyse spatiale, s'il n'est pas établi que ces motifs forment un ensemble pensé comme tel, ou s'il nous manque une partie de cet ensemble. Plusieurs éléments permettent d'adresser ce point.

Premièrement, comme je viens de l'exposer, dans le cas où les motifs auraient en effet été placés un à un, si le premier être humain ayant effectué cette action n'a, en effet, pas pu le faire en fonction d'autres mains, les suivants, en revanche, ont pu voir les précédentes. De sorte que les mains disposées à la suite l'ont été avec l'information de la disposition spatiale de celles déjà présentes sur les parois. Elles ont donc pu entrer en compte dans la décision de leur placement. Par ailleurs, il faut noter que, si certaines zones sont surchargées de ce type de motif, certaines parois sont complètement vides, et d'autres ornées d'un unique exemplaire. Ces éléments orientent vers l'importance de certains lieux en particulier, que ce soit pour une décoration en masse à un moment unique ou au fil du temps.

La seconde question, celle de la *taphonomie*, est également intéressante. En effet, si des motifs ont disparu, pour des raisons de conservation différentielle, ce qui est commun dans des espaces

souterrains, avec différentes dynamiques de circulation d'air, d'eau, de CO^2 ou la biocorrosion, comment analyser avec pertinence la distribution de l'ensemble des mains ?

A nouveau, plusieurs éléments viennent sustenter la réflexion à ce propos :

(i) De nombreuses parois, où d'autres motifs ont traversé le temps, sont exemptes de mains négatives. Dans ces cas-là, une conservation différenciée est peu probable : si les autres figures sont toujours là, il est pertinent de penser que les mains négatives le seraient aussi (quitte à être en moins bon état, si elles les précèdent, mais dont la trace pourrait être visible).

(ii) D'autres parois, où l'on ne peut apprécier aucun motif aujourd'hui, pourraient également être considérées comme de potentiels emplacements où des mains négatives étaient présentes au Paléolithique mais elles auraient disparu avec le temps. Cependant, il est souvent plus judicieux de déduire une faute réelle du fait lui-même de l'absence de toute évidence en sa faveur (voir Irurtzun (2025) pour une argumentation générale fondée sur la logique bayésienne). En d'autres mots, si les parois apparaissent vierges de peinture aujourd'hui, et si nous n'avons aucune raison de penser le contraire, le plus probable est qu'il n'y en ait jamais eu. Par ailleurs, les phénomènes géologiques comme les coulées de calcite, par exemple, qui pourraient cacher des traces de peinture, peuvent souvent être détectés par une analyse minutieuse de la surface.

Enfin, il faut assumer qu'il y aura toujours place au doute. La proposition est donc ici de poser des hypothèses sur les informations en ma possession aujourd'hui, qui seront, je l'espère, complétées et corrigées dans le futur, comme se doit de l'être la connaissance toujours en construction.

3.5.3. Entraves techniques

L'application de ces méthodes et technologies implique la confrontation à une série d'embûches. Sont détaillés ici deux points majeurs : la précision des méthodes de localisation des motifs et les contraintes des systèmes de géolocalisation.

3.5.3.1. Précision de la géolocalisation des figures

La géolocalisation des figures est un autre point d'attention de la méthode sujet à réflexion. En effet, pour ce qui est de la précision, à l'heure de replacer les coordonnées obtenues *via DistoX2* et via photogrammétrie sur l'objet 3D, il s'avère que presque toutes les positions des mains ont dû être légèrement modifiées. Ceci, car celles-ci se trouvaient dans la plupart des cas soit

derrière la paroi, soit trop loin devant, à cause du manque de précision de cette géolocalisation (Figure 35).

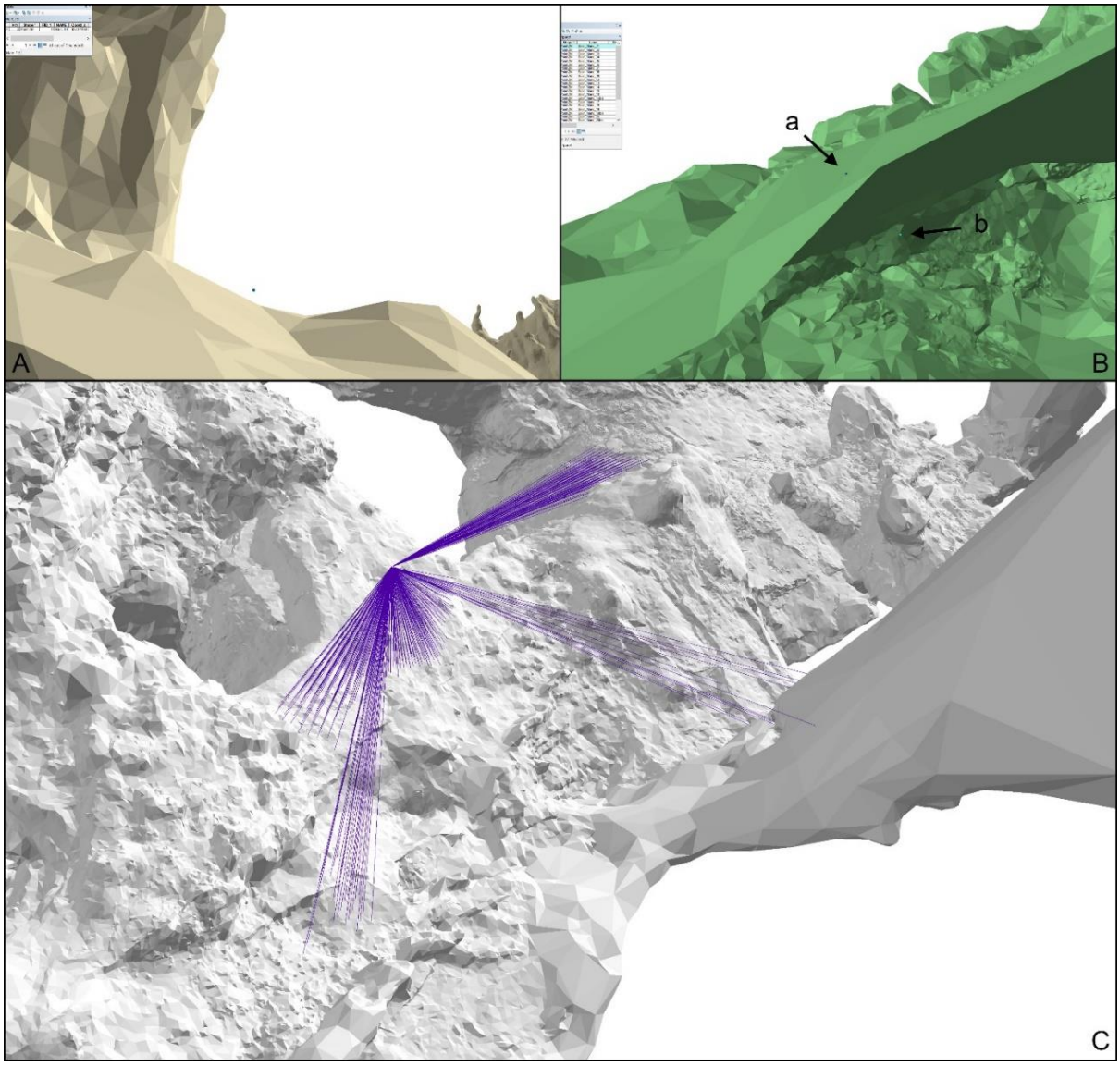


Figure 35. **A**. Exemple d'une faille de géolocalisation d'une main négative de la grotte d'El Castillo, qui apparaît derrière la paroi à cause d'un manque de précision de sa géolocalisation sur le modèle 3D. **B**. Exemple d'une modification de la localisation d'une main négative de la grotte de Fuente del Salín. **a**. Position de main 01 avant modification, située derrière la paroi. **b**. Position de la même main après modification de ses coordonnées de 5 cm sur l'axe *y* et 5 cm sur l'axe *z* nécessaire pour la faire passer de l'autre côté de la paroi. **C**. Illustration de l'application de l'analyse à une main située derrière la paroi. En mauve, on peut observer les *Lines of Sight*, déployées en dehors du modèle.

J'ai donc procédé à une modification manuelle de chaque motif, en prenant note de ces changements dans chaque axe. Les moyennes de ces transformations sont exprimées dans le Tableau 7. On peut observer une grande différence entre la photogrammétrie et le DistoX2, ce dernier montrant une précision largement plus faible.

Tableau 7. Moyenne d'erreur de la géolocalisation des figures dans les trois cavités[48].

Grotte	*Méthode*	*Sur l'axe x (cm)*	*Sur l'axe y (cm)*	*Sur l'axe z (cm)*
El Castillo	***DistoX2***	1,2	**5,1**	0,7
	Photogrammétrie	0,1	0,05	1,6
Fuente del Trucho	Photogrammétrie	0	0,1	0,9
Fuente del Salín	Photogrammétrie	0	0,5	0,2

Pour la photogrammétrie, ces erreurs sont dues à la jonction entre le modèle 3D et elle-même[49]. Pour le *DistoX2*, l'erreur peut survenir à différents moments du travail, en lien avec des facteurs variés :

- Lors de la prise de la donnée, tremblement, ou captation d'un élément présent sur la trajectoire du laser au lieu de la figure (filet de protection des motifs, par exemple).
- Lors de la localisation du point 0, documentée par des photos et/ou des vidéos, qui doit ensuite être retrouvée sur le nuage de points du modèle.
- Lors du traitement de données (*VisualTopo*) des erreurs de manipulation de données et de traduction des coordonnées peuvent être commises (Figure 36).
- Lors du transfert de ces données vers *ArcGIS*®.

[48] Ces données correspondent à la modification de la position des motifs qui se trouvaient derrière la paroi, pour les remettre à l'intérieur de la cavité.
[49] Comme présenté dans la section 3.2.4.2, le processus pour unir deux objets 3D passe par la reconnaissance de certains points sur les deux objets, et une opération de jonction. Lors de cette étape, il peut y avoir des imprécisions.

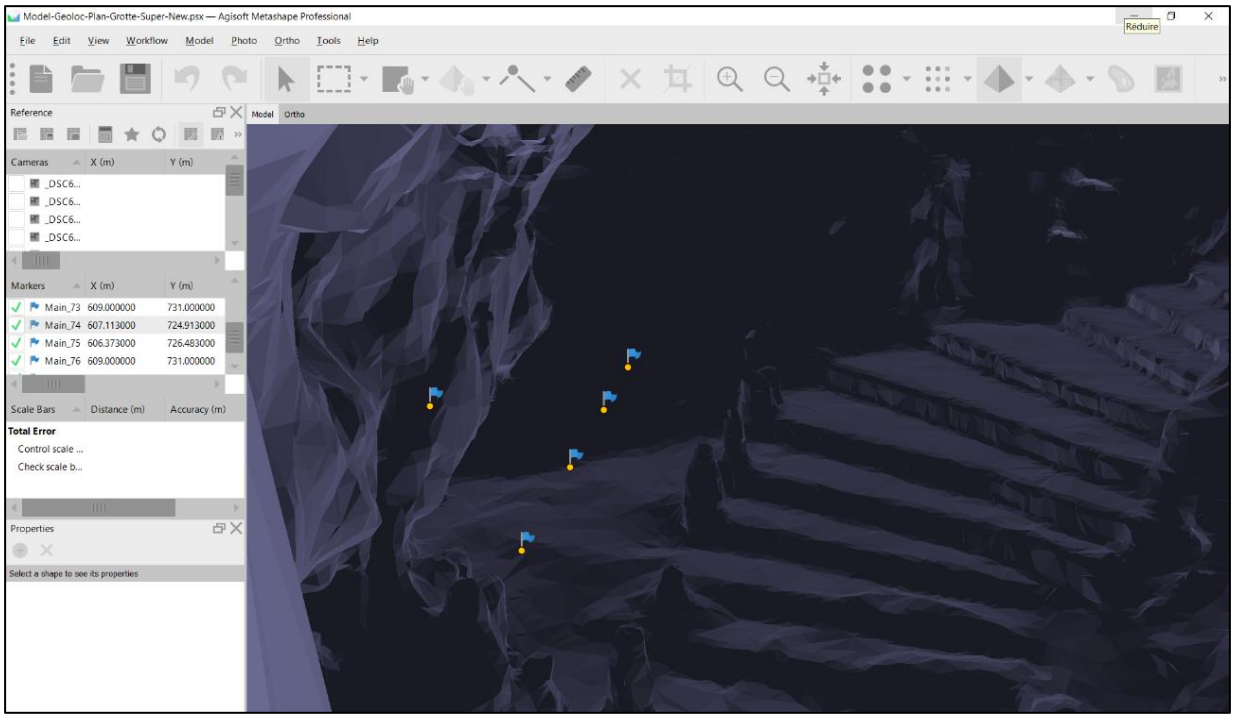


Figure 36. Capture d'écran du logiciel *Agisoft Metashape*® où l'on peut observer cinq mains négatives « flottant » dans l'objet 3D, suite à une erreur de manipulation des données recueillies avec le *DistoX2* lors de leur traitement avec le logiciel *Visual Topo*.

La station totale, autre technique de géolocalisation, est une solution alternative, qui offre de nombreux avantages au niveau de la précision de la prise de données. Cependant, elle partage avec le *DistoX2* les enjeux de trajectoire interrompue du laser, de transfert/traduction de systèmes de coordonnées et de traitement de celles-ci. S'ajoute enfin son déplacement peu commode : celle-ci nécessite en effet la réalisation d'une triangulation sur base de points connus et doit donc toujours être connectée visuellement à des zones dont on connaît plusieurs coordonnées. Déplacer la station totale jusque dans le fond d'une grotte nécessite dès lors une nouvelle triangulation à chaque fois que le laser n'accède plus à une zone, ce qui peut s'avérer extrêmement laborieux dans le cas d'une grotte au grand développement comme celle d'El Castillo ou d'accès difficile comme à Fuente del Salín. Pour un cas comme la grotte-abri de Fuente del Trucho, cela semble, par contre, avec la photogrammétrie, la solution la plus adaptée.

3.5.3.2. Exigences des programmes en lien avec les coordonnées géographiques

Une autre exigence importante, liée aux spécificités des programmes informatiques, est celle de la gestion des coordonnées. En effet, je travaille en ETRS89 - ZONE 30N, qui implique des coordonnées très longues (par exemple $x = 421.641{,}014$; $y = 4.793.724{,}823$; $z = 182{,}617$). L'utilisation de ce système de coordonnées permet de travailler dans *ArcGIS*® sans problème, avec tous les fichiers dans un même environnement géographique déterminé.

Cependant, certains programmes ne peuvent pas gérer des coordonnées si longues. Leur espace de travail propose un centre défini, et si l'objet est situé trop « loin » de ce centre, il ne permet pas une précision suffisante pour le travailler, et le déforme ou le sépare (Figure 37).

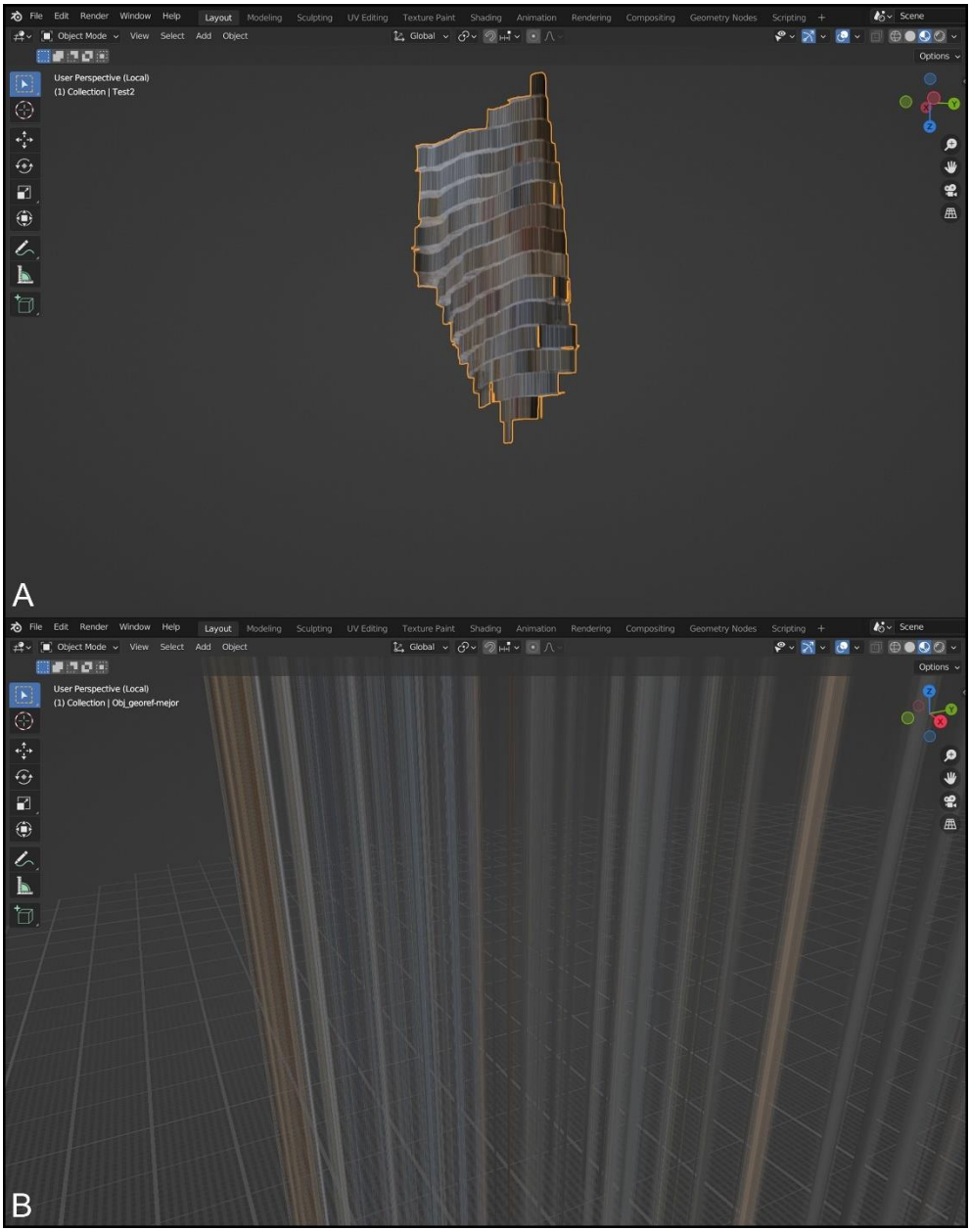


Figure 37. Captures d'écran de *Blender*® où on peut observer que le programme n'arrive pas à visualiser correctement le fichier 3D, la photogrammétrie du *Plafond des Mains* d'El Castillo, à cause de ses coordonnées trop longues. **A**. Le modèle apparaît dans sa forme générale mais de façon fragmentée. **B**. Le modèle est complètement démantibulé.

Il faut donc donner à l'objet des coordonnées plus courtes, par exemple en soustrayant une certaine somme des coordonnées (Figure 38) de façon homogène (c'est-à-dire d'une part pour le modèle et d'autre part pour la localisation de chaque main).

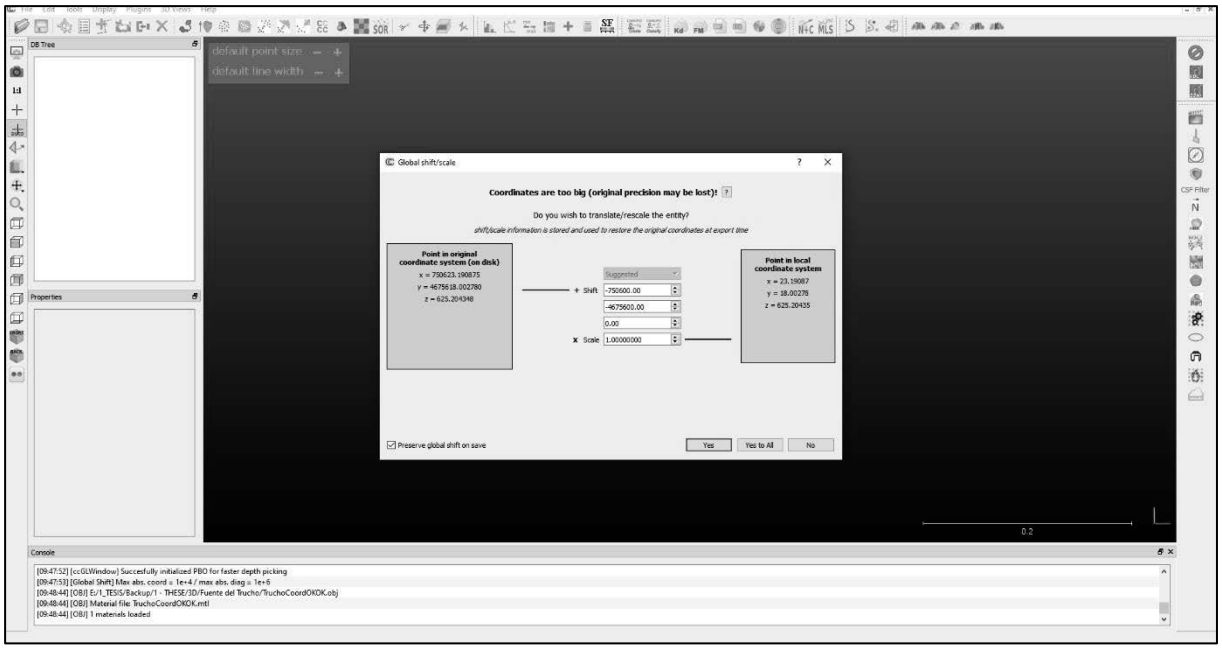


Figure 38. Capture d'écran du programme *CloudCompare* qui propose une soustraction des coordonnées en *x* et en *y* pour pouvoir gérer le modèle sans problème. Lors de l'enregistrement, le programme offre la possibilité de remettre automatiquement les coordonnées d'origine.

Pour le modèle d'El Castillo, par exemple, le modèle 3D a des coordonnées auxquelles il a été soustrait 421.000 en *x* et 4.793.000 en *y* (voir exemple, Tableau 8).

Tableau 8. Exemple de transformation des coordonnées de la Main négative 1 de la grotte d'El Castillo.

El Castillo	*x* (m)	*y* (m)	*z* (m)
Coordonnées réelles de la Main 1	421.641,014	4.793.724,823	182,617
Coordonnées transformées de la Main 1	641,014	724,823	182,617

Pour les modèles qui sont en *coordonnées locales*, c'est-à-dire qui ne sont pas géoréférencées avec l'extérieur, et placées dans un système propre[50], un autre problème se pose. Ceux-ci permettent en effet l'existence de coordonnées négatives. Or, le script est pensé pour travailler avec un système géographique ETRS89 - ZONE 30N, qui n'en possède pas. Il faut donc aussi opérer un changement de coordonnées. Pour l'emplacement des figures, il suffit de leur additionner un nombre (par exemple, 100) pour qu'elles passent en positif. Pour le modèle, c'est plus complexe, car il faut opérer une translation de tout l'objet, pour laquelle on doit utiliser un programme, par exemple *Agisoft Metashape*®, en identifiant des points et en leur

[50] C'est le cas de Fuente del Salín, qui a été scannée, et dont on a un modèle à l'échelle, mais qui n'a pas été géoréférencé par rapport aux coordonnées générales de la Terre. Il « flotte » donc dans son propre système, mais cela ne pose pas de problème pour l'analyse spatiale, puisque les calculs que je fais sont *intrasite*, sans lien avec le contexte géographique environnant.

donnant de nouvelles coordonnées, avec précision. En principe, une autre possibilité est de les déplacer avec *Blender*®, qui permet cette action pour le modèle dans son entièreté. Cependant, il est complexe de déterminer quelle est l'opération de déplacement qui correspondra au changement effectué sur les coordonnées, c'est-à-dire de faire le lien entre le déplacement dans l'espace de l'objet et le résultat sur ses coordonnées.

3.6. Principes *FAIR*

Cette section traitera en détail des valeurs suivies à propos de la question de la transparence et reproductibilité de la recherche ainsi que du partage des données, avec quelques détails pratiques.

3.6.1. Transparence du processus

Nous venons de le voir, il va de soi que ce type de travaux de recherche, en particulier dans les aspects de reconstruction de l'état paléolithique d'une cavité, impliquent dans une certaine mesure une part interprétative. En effet, même si les informations recueillies sont les plus complètes possibles, nous ne disposons pas de documentation pour chaque centimètre carré de la cavité. Deux auteurs devant la tâche de modeler un secteur le feraient peut-être légèrement différemment (avec le sol légèrement plus pentu ici, un peu moins plat, etc.). Pour pallier ce problème, une documentation la plus complète possible de tous les processus de reconstruction fut donc visée.

Ainsi, pour l'étape du modelage de la cavité sur base des informations récoltées, il fut envisagé d'opter pour un code couleurs en termes de fiabilité de l'information, comme proposé entre autres par Aparicio et Figueiredo (2016), mais il s'est rapidement avéré que les données ne permettaient pas une échelle de fiabilité d'une telle précision. J'ai donc choisi de colorer d'un même ton les modifications anthropiques en général, mais les changements du niveau de sol (évolutions naturelles et changements artificiels) d'une autre couleur[51] (Figure 39).

Toutes les opérations de calcul statistique sont également complètement transparentes car les données et les processus effectués pour obtenir les résultats sont disponibles en ligne. De cette façon, il est possible de reprendre toutes les informations utilisées et d'appliquer les calculs

[51] Pour la grotte d'El Castillo, les photos de l'intérieur de la grotte (antérieures aux modifications anthropiques) étant limitées, et l'étude géomorphologique ne pouvant pas s'appuyer sur des datations, la majorité du travail repose sur des suggestions probables, qui ne permettent donc pas d'y établir une hiérarchie claire. Pour Fuente del Trucho et Fuente del Salín, c'est également le cas, dans une plus large mesure (les informations se sont avérées encore plus limitées à l'exception de la fouille archéologique intérieure de Fuente del Salín). Pour ces deux dernières, j'ai donc utilisé une seule couleur.

effectués dans R pour obtenir les graphiques et données numérales. Les scripts R contiennent également des éléments d'explications pour chaque procédé, pour permettre à tout un chacun de pouvoir suivre leur développement et logique.

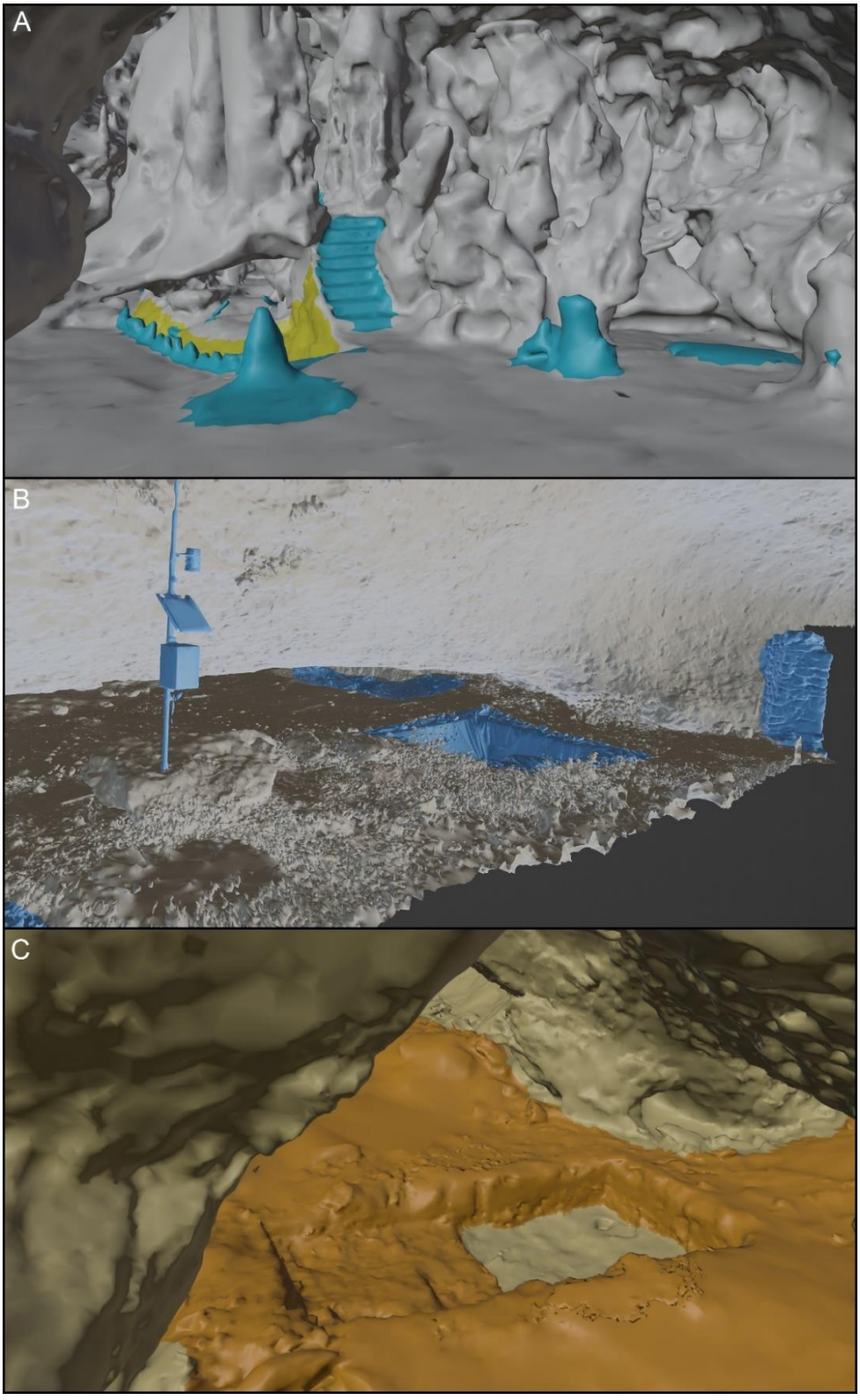


Figure 39. Captures d'écran des modèles tridimensionnels colorés, qui illustrent les modifications effectuées lors du remodelage vers l'état paléolithique. **A**. El Castillo, *Galerie E*. **B**. Fuente del Trucho, entrée. **C**. Fuente del Salín, vue du secteur le plus densément décoré avec le foyer excavé.

3.6.2. Reproductibilité de la recherche

Par ailleurs, ce travail vise une documentation précise et exhaustive de l'ouvrage effectué, sous tous ses aspects, en partageant les données et les sources utilisées, pour qu'il puisse éventuellement être reproduit et vérifié par nos pairs adéquatement, comme nous le verrons dans le point suivant. Il serait intéressant, en effet, de voir quelle serait la différence, en termes de résultats, entre l'utilisation du modèle reconstruit dans le cadre de ce travail, et un modèle modelé par une autre personne, sur base des mêmes informations (documents d'archives et étude géomorphologique).

3.6.3. Libre accès

Un autre point important est celui du partage et de l'accessibilité aux données. Ce travail embrasse les principes FAIR de la science ouverte (*open science*) et des données ouvertes (*open data*), sous tous leurs aspects. Ceux-ci stipulent que les données doivent être "Findable, Accessible, Interoperable, and Re-usable" [« Trouvables, Accessibles, Interopérables et Réutilisables »][52]. J'ai ainsi partagé les modèles 3D allégés (dans leur version actuelle avec modifications en couleurs et dans la version paléolithique reconstituée) sur la plateforme en ligne *Sketchfab*, qui permet une visualisation facile et intuitive (Figure 40). Sur la plateforme *Openscience Framework*, j'ai disposé toutes les données téléchargeables[53] : (i) les modèles 3D dans leur état paléolithique reconstitué, (ii) les scripts R et (iii) les scripts Python, ainsi que (iv) tous les documents nécessaires pour l'application de ceux-ci (pour l'analyse SIG et statistique). Ces données sont librement accessibles, évaluables et utilisables pour d'autres recherches.

https://sketchfab.com/olgaspaey

osf.io/e4py8

Figure 40. QR Codes permettant d'accéder aux plateformes en ligne de stockage de données de ce travail, https://sketchfab.com/olgaspaey et https://osf.io/e4py8.

[52] Pour plus de détail sur les directrices espagnoles, françaises et européennes en général, voir https://www.go-fair.org/fair-principles/

[53] Pour le téléchargement, celui-ci est toutefois limité aux modèles modifiés dans le cadre de ce travail. Pour le cas des modèles non-modifiés, je suis disposée à les transmettre également, sous réserve de communication et de vérification avec les autorités compétentes, propriétaires desdits modèles.

Ils pourront être utilisés pour (i) analyser la distribution spatiale de n'importe quel motif, comme les mains négatives, mais aussi (ii) constituer des repères scientifiques substantiels dont la valeur va au-delà de la capacité d'analyse qu'ils apportent pour l'étude d'un motif particulier. En effet, ce partage de données va aussi impacter la conservation du patrimoine. En mettant le modèle à la disposition du public, nous permettons à d'autres chercheurs de « visiter » virtuellement la grotte et d'y trouver des informations utiles pour leurs études. Cela permet d'assurer une conservation adéquate de la grotte, en évitant les risques de dommages à un patrimoine aussi fragile, qui sont inhérents à toute visite sur place.

Cependant, il faut préciser que, si l'idée du partage est solide, sa mise en pratique est encore complexe. Par exemple, lors de la mise en ligne des modèles tridimensionnels assez lourds qui dépassent la taille autorisée pour les plateformes libres[54] de partage de données. Pour n'en citer que quelques-unes, *Sketchfab* limite actuellement à 50MB la taille de chaque fichier, dans sa version gratuite. *Github*, quant à lui, autorise un total de 2GB, mais limité à 100MB par fichier. Enfin, la plateforme *Openscience Framework* offre davantage de possibilités, avec une limite de 5GB au total pour l'ensemble des fichiers déposés dans un projet. Pour les plateformes imposant une limite, celle-ci est problématique, car la taille moyenne de chacun des modèles se situe autour de 500MB. Or, réduire la taille implique une perte de résolution, ce qui contre la précision de l'analyse, puisque les détails sont nécessaires à une étude avec la finesse nécessaire à l'échelle des motifs.

Par ailleurs, la question du droit des données est également à prendre en compte. En effet, il est nécessaire à ce jour de demander l'autorisation aux administrations pour avoir accès aux plans, modèles 3D ou encore nuages de points ayant été créés lors de campagnes précédentes. La question se pose, dès lors, de savoir qui est le propriétaire de ces données, et donc libre de les partager. En effet, si ces fichiers ont été modifiés, il est pertinent de se demander si cette modification est suffisante pour considérer un changement de propriété de l'objet numérique. De même, pour les photographies de documentation. Celles-ci sont le fruit d'un travail scientifique, dont la propriété intellectuelle devrait être attachée au groupe de recherche qui les a réalisées. Cependant, la cavité en elle-même répond aux administrations, garantes de la protection du patrimoine et de sa diffusion, qui pourraient vouloir l'exclusivité des images de celle-ci. Il s'avère qu'aujourd'hui les instructions à ce propos sont encore peu claires, et nous ne rencontrons pas de directives généralisées. Si les idées de la science ouverte sont solides, il

[54] D'autres plateformes sont accessibles aux chercheurs, comme HUMANUM pour le CNRS (pour le stockage de fichiers lourds), pour ne citer qu'un exemple, mais elles sont souvent restreintes aux individus rattachés à ces organismes.

reste donc encore à créer des environnements numériques répondant aux exigences de ce type de données lourdes, et à clarifier la question de l'appartenance des informations générées par la recherche.

3.7. Conclusion

Je conclurai cette présentation de l'ensemble de méthodes que j'ai pris le parti d'employer dans ce travail par le rappel suivant :

Cette thèse a pour objectif d'avoir une portée méthodologique, c'est-à-dire de contribuer à la construction d'une méthode permettant l'analyse spatiale de façon plus pertinente que ce qui a été fait ces dernières décennies. Ainsi, malgré les difficultés inhérentes à toute proposition innovante (technologique ou non), je prends le parti de parier sur les potentialités de ces nouveaux outils, tout en restant attentive à ne pas sombrer dans les écueils présentés[55]. Ces méthodes ont en effet un potentiel important, permettant d'aborder avec agilité des espaces complexes de manière empirique, reproductible et quantifiable, surmontant les difficultés de l'illustration et de la subjectivité des catégorisations spatiales. De plus, leur format numérique présente aussi l'avantage de pouvoir ensuite être élargi à une application à d'autres environnements, d'autres motifs et à une échelle géographique et chronologique étendue. Suivant les principes de la *science ouverte*, elles permettent aussi de rendre la recherche scientifique accessible au plus grand nombre, ce qui favorise la multidisciplinarité et l'ouverture de celle-ci à tous les niveaux de la société tout en permettant la conservation optimale de ce précieux patrimoine. Enfin, par ces mêmes principes, elles orientent notre discipline vers une dynamique de collaboration précieuse, permettant une amélioration constante du processus d'analyse. J'ai ainsi l'espoir que dans un futur proche (ou lointain), ce travail puisse être non seulement évalué par des pairs, sous tous ses aspects (sans laisser des éléments « invisibles » pour les autres chercheurs), mais aussi critiqué, complété et enrichi. Plutôt que de jouer la carte de la compétitivité, je considère la collaboration comme la forme la plus efficace et équilibrée de co-construction de nos savoirs scientifiques à tous, pour préserver et découvrir encore, ensemble, notre patrimoine commun.

[55] Par exemple, à propos de l'apparence objective du type de données obtenues, il est important de souligner l'importance du travail de terrain et de la présence du regard humain derrière l'application de ces programmes. En effet, il est vain d'espérer que les programmes n'apportent des savoirs nouveaux sur l'organisation spatiale de façon automatique. S'il y a bien certaines dynamiques qui furent mises en lumière par l'analyse au travers des SIG, la plupart des réflexions sont nées d'une observation *in situ* qui m'a permis d'orienter les axes de recherche du travail. De la même façon, il est important d'être sans cesse attentif à la cohérence des résultats obtenus. En d'autres mots, ces outils sont là pour répondre aux questions de façon précise et quantifiable, mais par pour penser à notre place.



MATÉRIAUX

4. Matériaux

4.1. Motifs sélectionnés

Les mains négatives situées dans les grottes ornées d'Europe occidentale font partie d'un *corpus* de productions esthétiques séparé traditionnellement en différents groupes thématiques (GRAPP, 1993). Celui-ci est divisé en trois grandes sections : les signes, les animaux et les figurations humaines. En termes de techniques, de matériaux et de contexte, les mains sont similaires aux autres motifs trouvés sur les parois des grottes. Cependant, elles se distinguent radicalement des autres par un certain nombre d'aspects. Leur singularité peut être évoquée à plusieurs niveaux :

(i) D'un point de vue **chronologique**, ces productions sont rassemblées, pour la grande majorité des figures datées, à la période initiale du Paléolithique récent, et plus précisément dans des contextes gravettiens (cf. section 2.1.2). Cette unité temporelle n'est pas fréquente dans l'art pariétal paléolithique, où l'on retrouve en général les mêmes thématiques tout au long des différentes périodes.

(ii) Au niveau **thématique**, bien qu'elles représentent une partie spécifique du corps humain, les mains se distinguent du groupe singulier des figures anthropomorphes, dont les règles de représentation diffèrent de celles des animaux. En effet, si les animaux sont en général directement reconnaissables et manifestant un réalisme important, les figurations humaines témoignent plutôt de déformations ou de schématisme dans leur représentation. Les mains négatives ne peuvent donc pas être assimilées à ces catégories. Quant à celle des signes abstraits, l'aspect figuratif indéniable des mains négatives nous freine à les y intégrer. Elles semblent donc former leur propre groupe figuratif.

(iii) Sur le plan **conceptuel**, la représentation d'une figure par la figuration de son contour, à travers un processus de reconstitution abstraite de la réalité, est très différente du geste mécanique qui consiste à appliquer un segment de corps sur le mur, simplement pour le recouvrir de pigment. Comme l'exprime bien Groenen « (…) la réalisation d'une main négative implique quelque chose de très différent de ce qui est en jeu dans la réalisation d'une représentation animale ou anthropomorphe, qui nécessite une reconstruction abstraite de la réalité perçue résultant elle-même d'un acte de synthèse préalable, bien visible dans le fait que le trait du dessin s'inscrit d'emblée dans la cohérence de la représentation qu'il reconstruit. (…) Dans le cas des mains négatives, au contraire, la vaporisation de colorant sur la main restitue l'image de façon « mécanique », sans

qu'aucune reconstruction abstraite préalable n'ait dû être opérée : la technique rend l'image de la main de façon immédiate et reproduit toujours l'original de manière identique. Or ceci donne à la main négative un caractère ambigu. » (Groenen, 1990, p. 10). En effet, les mains négatives ont ceci de particulier que leur technique même, si elle implique l'application de pigment, ne nécessite pas, comme pour d'autres types de représentations, de savoir dessiner une figure. La technique du pochoir consiste en l'application, dans ce cas-ci, de la main sur la paroi, pour y projeter (ou appliquer) ensuite du pigment. Comme les mains positives, les mains négatives représentent donc bien une main, mais sans pour autant impliquer le processus d'abstraction, de re-présenter la réalité, depuis une image mentale, car c'est leur modèle qui trace leurs traits[56]. Cependant, malgré cette distinction, il faut noter que la gestion du processus de projection du pigment a dû nécessiter un apprentissage technique, car nous notons très peu de maladresses dans les exemplaires observés (coulures, dépassements du pigments sous la main, etc.), contrairement à ce que nous avons pu produire dans nos travaux d'expérimentation (section 2.1.3). Il s'agit donc de la maîtrise d'une technique picturale, bien que celle-ci ne mobilise pas le même processus d'abstraction que la création d'un motif sans pochoir. Notons, de plus, que l'identité de l'exécutant peut être multiple. Il est en effet possible que l'individu ayant apposé sa main sur la paroi ait été différent de celui projetant le pigment[57]. Les mains de bébé de la grotte de Gargas en sont de fait une démonstration, car on y discerne la main d'un adulte ayant appuyé la main de l'enfant en bas âge sur la paroi (Groenen, 2011).

(iv) Enfin, au niveau de leur **répartition spatiale**, même si cet aspect n'a pour l'heure pas encore été abondamment étudié (voir section 2.1.3), il semble que ces figures, présentes dans les mêmes espaces que d'autres motifs, comme les figures animales ou les signes abstraits, ne semblent pas suivre les mêmes dynamiques de distribution. Elles peuvent en effet se trouver sur les mêmes parois que ceux-ci, sans pourtant paraître interagir avec eux (avec certaines exceptions, comme le panneau des chevaux ponctués de la grotte de Pech-Merle (Lot)), ou sur d'autres espaces bien séparés (comme à Gargas ou à Tibiran), comme le remarque Groenen (2011, p. 68). Les mains négatives semblent avoir été placées de

[56] Au contraire d'autres exemples de mains littéralement dessinées, comme les exemplaires de Roucadour (Lorblanchet, 2010) ou Combe-Nègre (Feruglio et al., 2007; Lorblanchet, 2010).

[57] De ce fait, le terme *artiste* est utilisé dans cette thèse comme synonyme du mot *exécutant*, suivant une des définitions du terme « artiste » proposée par le *Dictionnaire de la Langue Française informatisé* :
« Artisan qui excelle dans son travail, qui a acquis une technique, une maîtrise d'exécution, un savoir-faire qui lui permet de reproduire habilement un modèle ou même d'en inventer de nouveaux. ». Les mains négatives paléolithiques me semblent en effet témoigner d'une telle maîtrise, et défendent donc ce choix lexical. Ceci, loin de l'idée de vouloir y apposer des notions contemporaines, liées à la question de l'*Art pour l'Art* ou du *Beau*, car ces productions picturales, aux contexte culturel à des milliers d'années de celui-là, en étaient sans doute très éloignées.

manière assez indépendante des autres motifs sur les parois des cavités (comme nous le verrons dans la section 6.4), à l'exception également des ponctuations, sur lesquelles nous reviendrons ci-après. Au niveau de la relation à la paroi, les mains ne semblent pas non plus, à première vue, présenter le rapport à la mise en forme qui peut être observée pour une grande majorité des figurations animales paléolithiques (intégration de reliefs, etc.).

Cependant, les mains négatives partagent aussi avec les autres représentations une série de points communs.

(i) Le **contexte de la cavité**, par exemple, avec ses exigences et ses dangers, en est le premier, l'investissement dans les réseaux souterrains nécessitant beaucoup de préparation et d'équipement.

(ii) Au niveau **technique**, ensuite, non seulement par l'utilisation des mêmes pigments, mais aussi de méthodes d'application spécifiques, comme celle du pochoir (observé notamment chez les fameux « chevaux chinois de Lascaux ») et de la projection de pigment.

La question se pose, face à tous ces éléments, de savoir ce qu'il en est de cette catégorie. Doit-elle être assimilée à d'autres types de motifs, comme les mains positives, les tracés digitaux ou encore les ponctuations ? D'autre part, peut-on mettre dans un même groupe de motifs toutes les mains négatives, indépendamment de l'état de complétude de leurs doigts (car celles aux doigts manquants pourraient différer grandement au niveau de leur fonction, si elles s'apparentent par exemple à un code ou une langue des signes suppléante (Etxepare & Irurtzun, 2021)) ?

Ces éléments ont été considérés lors de la constitution du sujet d'étude. Plusieurs auteurs ont proposé, en effet, un rapprochement entre les disques et les mains négatives (Breuil, 1952; Leroi-Gourhan, 1965, 1967, 1992; Sauvet et al., 1977; Groenen, 1990; González García, 2001; Collado Giraldo, 2018), principalement par leur technique, le soufflé, l'utilisation de pigment rouge et leur position dans la stratigraphie pariétale au même niveau. En comparaison, les mains positives, pour ne prendre qu'un exemple, n'en partagent ni la technique ni la fréquence de voisinage[58]. Conceptuellement parlant, avec l'application d'un pigment plutôt que la création par pochoir, elles s'en éloignent également.

[58] Il convient également de mentionner qu'aucune main positive avec des doigts manquants n'a été découverte à ce jour.

L'intégration des disques au *corpus* s'est donc posée, mais plusieurs éléments sont cependant venus la contrecarrer. En plus de la difficulté technique d'ajouter un nombre non-négligeable de motifs au *corpus*, pour la grotte d'El Castillo notamment, cette intégration impliquait un risque de déperdition de pertinence dans l'analyse. En effet, si certains disques semblent en effet tout à fait corrélés aux mains négatives, comme celles du *Plafond des Mains* ou de la *Galerie des Disques*, d'autres, à des endroits bien distincts dans la grotte (notamment plus en profondeur, dans la *Salle Finale*) ne peuvent pas être reliés aux mains avec sécurité. Comment faire la différence, si elle existe, entre les disques qui seraient liés aux mains et ceux qui relèveraient d'une fonction et d'une dynamique spatiale indépendante ? Pour éviter que l'insertion dans le *corpus* d'éléments sans lien n'empêche de voir se dégager des arrangements spatiaux intéressants, j'ai donc restreint celui-ci aux mains négatives uniquement, quitte à compléter l'étude ultérieurement par la mise en place d'un parallèle avec d'autres éléments graphiques.

4.2. Sites étudiés

4.2.1. Observations générales sur le choix du *corpus*

Ce travail de thèse doctorale n'a pas pour ambition de faire un état des lieux de toutes les situations de dispersion spatiale de mains négatives existantes. Il s'agit, plutôt, de la création d'une méthode pertinente pour l'analyse de ce type de motifs, appliquée à plusieurs sites aux caractéristiques différentes.

Pour ce faire, les trois grottes qui forment ce *corpus* partagent des caractéristiques importantes, comme la présence, bien entendu, de ces représentations, une chronologie commune et une certaine proximité géographique.

Cependant, elles sont aussi distinctes sous plusieurs aspects, ce qui vient enrichir leur étude.

Au niveau de leur extension, tout d'abord, El Castillo étant considérée comme une grotte profonde, comme Fuente del Salín, dans une moindre mesure, alors que Fuente del Trucho est désignée comme une grotte-abri au développement très restreint.

Par leur taille et leur forme, elles bénéficient de conditions de luminosité différentes, cette dernière cavité présentant à la fois des zones de lumière naturelle que des zones de pénombre et d'obscurité, tandis que El Castillo est dans l'obscurité totale. Le cas de Fuente del Salín est un peu complexe à définir, à ce propos, en ce que les figurations de mains seraient situées très proches de l'entrée actuellement disparue, certaines éventuellement aussi dans la pénombre.

Ensuite, pour ce qui est des mains négatives aux doigts manquants, il est possible que celles-ci aient été en réalité tout à fait distinctes des mains négatives complètes, en termes fonctionnels. Or, dans le *corpus* sont présents les cas de la grotte d'El Castillo et de Fuente del Salín, aux mains complètes, et celle de Fuente del Trucho, aux mains complètes et aux doigts manquants. Le choix de la constitution d'un *corpus* rassemblant les deux phénomènes (mains complètes et doigts manquants) permettra de les comparer et de mettre à l'épreuve l'hypothèse qu'il s'agisse de deux systèmes culturels distincts.

Pour leur répartition géographique, Fuente del Salín et El Castillo sont toutes deux situées en Cantabrie, tandis que Fuente del Trucho est à Huesca (sur le versant sud des Pyrénées), ce qui nous donne également une possibilité de comparaison intéressante.

Enfin, le choix des grottes fut aussi orienté, cela va de soi, par les questions pratiques d'accès, qui peuvent s'avérer complexes. Nous avons donc choisi des cavités pour lesquelles il était envisageable d'obtenir ou de réaliser la documentation tridimensionnelle et l'analyse des motifs[59], en soignant cependant leur pertinence pour cette étude.

Il faut finalement préciser que le *corpus* bénéficierait d'être complété dans un second temps par d'autres cavités, pour pouvoir tirer des conclusions d'ordre plus général sur la dispersion des mains négatives dans les grottes ornées du Paléolithique récent, ce qui est notre objectif *in fine*.

4.2.2. Grotte d'El Castillo

4.2.2.1. Présentation du site

La grotte d'El Castillo est un site archéologique majeur de la côte cantabrique. Située dans la commune de Puente Viesgo, sur le versant NE du mont Castillo, c'est une formation karstique de grand développement (790 mètres) (Figure 41). Son entrée actuelle se trouve à une altitude de 195 mètres au-dessus de la rivière Pas qui, après s'être déversée dans la Pisueña, se jette dans la mer Cantabrique à une vingtaine de kilomètres de là. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes : 43°17′32″N 3°57′56″W. Dans la même montagne se situent trois autres cavités ornées majeures : les grottes de Las Monedas, Las Chimeneas, et la Pasiega. Parmi celles-ci, les grottes d'El Castillo et de las Monedas sont actuellement ouvertes au public.

[59] Les contraintes d'accès, d'autorisations, les collaborations nécessaires et les limites au niveau du temps et des moyens économiques disponibles, dans le cadre d'une thèse doctorale, sont tous des éléments qui ont motivé la restriction du *corpus* à l'analyse approfondie de trois cavités, dont la sélection a été orientée par les raisons décrites ci-dessus.

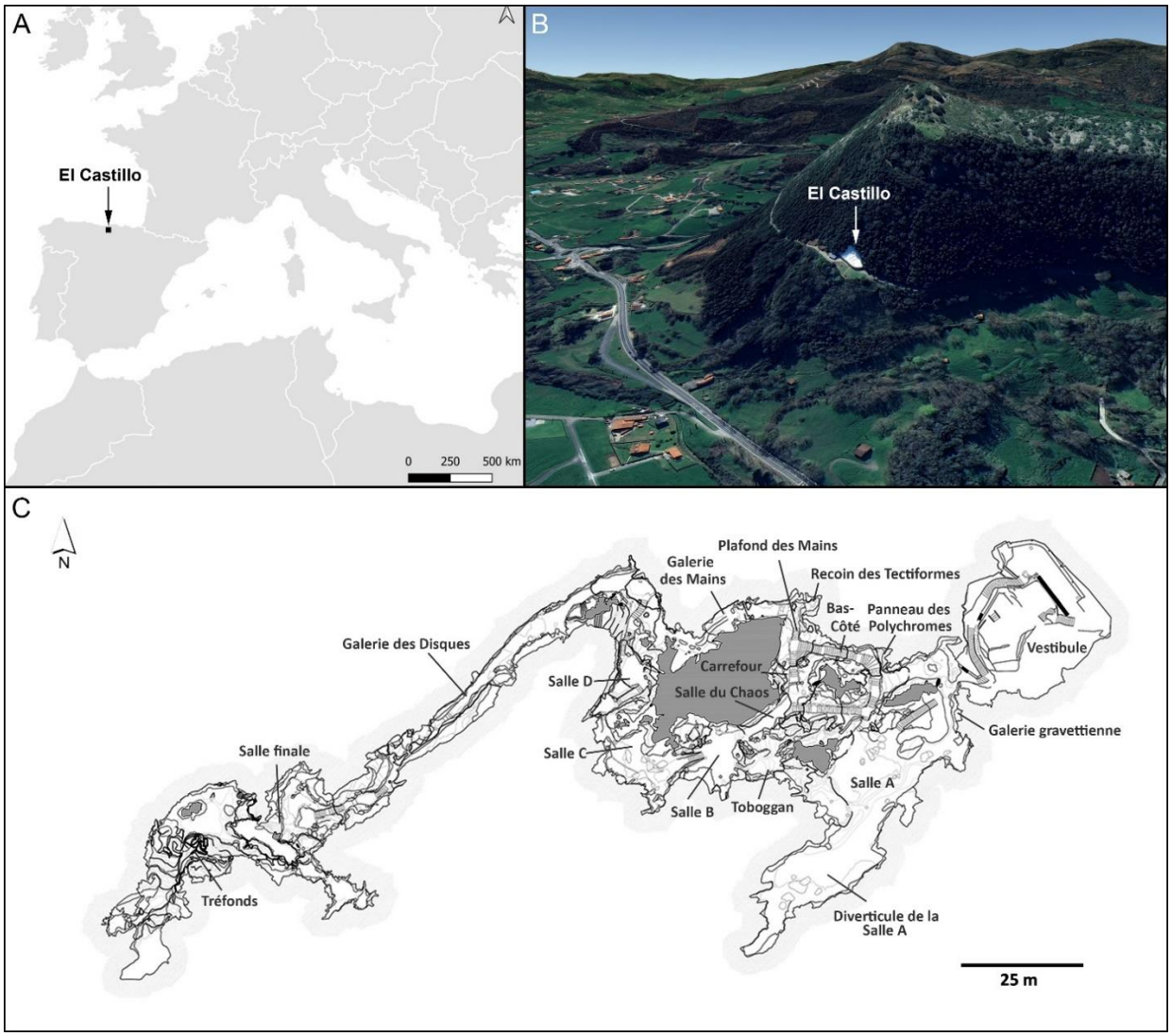


Figure 41. **A**. Carte du sud-est de l'Europe où est indiquée la position de la grotte d'El Castillo (source: https://ec.europa.eu/eurostat/). **B**. Vue aérienne des environs, avec la colline du Mont Castillo au premier plan (source: Google Earth). **C**. Carte de la grotte d'El Castillo avec indication des secteurs traditionnels (carte de base de *GIM Geomatics*, © *Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno de Cantabria*).

Classée au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis le 7 juillet 2008, la grotte se distingue également par son porche d'entrée qui a servi de lieu d'occupation pendant des millénaires, depuis le Paléolithique initial jusqu'à l'âge du Bronze. Encore en cours de fouille aujourd'hui, sa stratigraphie s'étend sur plus de dix-huit mètres (Figure 42) (Cabrera Valdés, 1984).



Figure 42. **A**. Porche d'entrée de la grotte d'El Castillo dans son état actuel (2024), où l'on peut distinguer sur la gauche la puissante stratigraphie du gisement archéologique. **a)** Photo d'archive (© *Diario Montañés*) des fouilles de 1910-1914 de la même zone, au début des travaux d'excavation. La ligne en pointillés indique le niveau de sol le plus haut, précédant les fouilles.

4.2.2.2. Historiographie du gisement archéologique

La grotte d'El Castillo a été découverte en 1903 par Alcalde del Río (Alcalde del Río, 1906), qui prospectait dans la région pour essayer de découvrir l'art préhistorique, celui-ci ayant été reconnu par le monde scientifique un an plus tôt. Il commença à fouiller le site archéologique de l'abri, ce qui lui permit de découvrir l'entrée de la grotte et une partie de l'art rupestre qui s'y trouvait. Les préhistoriens Obermaier et Teilhard de Chardin participèrent aux

fouilles (Obermaier, 1916), puis à l'étude de l'art, dirigée par Alcalde del Río, qui aboutit à la publication du livre *Les Cavernes de la Région Cantabrique* (Alcalde del Río et al., 1911).

L'étude de l'art rupestre de la grotte a été reprise en 1934 par la *Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas*, et après la guerre civile espagnole par une série de chercheurs : García Guinea et Echegaray (1966, 1972), Bernaldo de Quirós, Cabrera Valdés et Ceballos del Moral (1984, 2005), González Morales, Moure Romanillo (González Morales & Moure Romanillo, 1984; Moure Romanillo et al., 1996) et González Sainz (2010), ainsi que, plus récemment, Bayarri, Sebastián et Ripoll (Ripoll et al., 2021b, 2021a) et Groenen et Groenen (2004, 2006, 2007a, 2007b, 2008, 2012, 2013, 2014, 2015, 2019, 2025).

Au vu de son importance, l'art pariétal de la cavité a fait l'objet de nombreuses études (Alcalde del Río, 1906; Alcalde del Río et al., 1911; Ripoll Perelló, 1956, 1971, 1972; González Echegaray, 1964, 1972; García Guinea & González Echegaray, 1966; González Echegaray & Moure Romanillo, 1970; González Morales & Moure Romanillo, 1984; González García, 1987, 1990, 2001; Moure Romanillo et al., 1996; Garate, 2006; Groenen, 2006, 2007a, 2007b, 2008b, 2008a, 2012, 2013, 2014; Mingo Álvarez, 2009; González Sainz, 2010; Ruiz-Redondo, 2010; Groenen et al., 2012; Pettitt et al., 2014, 2015b; Ripoll et al., 2014, 2021b, 2021a; Groenen & Groenen, 2015, 2019, 2025; Rabazo-Rodríguez et al., 2017; Díaz-González & Garate, 2025 ; Spaey et al., 2025).

Cependant, sa célébrité a également impliqué, en tant qu'élément important du patrimoine, son ouverture au tourisme très tôt, ce qui a eu de graves conséquences. En effet, l'intérieur de la grotte a subi de profondes modifications au niveau de sa morphologie afin de l'adapter aux visites touristiques, avec l'ouverture de galeries artificielles, la condamnation de certains passages ou l'installation d'escaliers, de rampes ou de marches de pierre puis de béton. Ces modifications se sont déroulées en plusieurs phases, sans documentation ni contrôle scientifique, au cours du 20e siècle. Par conséquent, l'aspect du sol et des espaces que l'on peut observer aujourd'hui est très différent de ce que les groupes paléolithiques pouvaient voir.

La grotte possède actuellement une seule entrée, bien qu'au cours de son histoire elle en ait connu davantage, qui furent ensuite comblées ou obstruées. La configuration morphologique de la cavité est constituée d'une série de salles et de couloirs de taille et de volume variables, qui sont aujourd'hui facilement accessibles, à l'exception de certaines parties de la salle finale, qui n'a pas été adaptée aux visites touristiques.

4.2.2.1.Art

La grotte compte actuellement 2.563 entités graphiques, dont 541 motifs figuratifs peints, dessinés et gravés, 924 motifs non figuratifs et 881 traces colorées (Groenen & Groenen, 2025) se répartissant le long de la longue période du Paléolithique récent. Parmi ceux-ci, on compte 77 mains négatives, toutes peintes en rouge (Collado Giraldo, 2018)[60]. Dispersées dans la cavité, elles sont réparties inégalement. Parfois regroupées sur certaines parois, parfois esseulées, la plupart d'entre elles sont situées entre le *Panneau des Polychromes* et la *Galerie des Disques*, avec une concentration importante sur le *Plafond des Mains* (qui en compte 44) (Figure 43).



Figure 43. Vue du *Plafond des Mains* de la grotte d'El Castillo.

Le puissant gisement archéologique de l'entrée a également livré l'une des plus grandes accumulations d'art mobilier de la région (Barandiarán, 1972; Corchón Rodriguez, 1986). Parmi celles-ci se distinguent notamment des célèbres omoplates gravées de biches striées (Figure 44), un motif caractéristique du Magdalénien inférieur cantabrique, que l'on retrouve aussi sur les parois de la grotte (Almagro Basch, 1976; Fernández-Lombera, 2003; Rivero et al., 2019).

[60] L'inventaire de Groenen & Groenen (2025), publié après notre travail à El Castillo, en recense quant à lui 84, dont une falsification, qui n'est pas une main négative paléolithique (celle de la *Salle A*, non considérée ici).

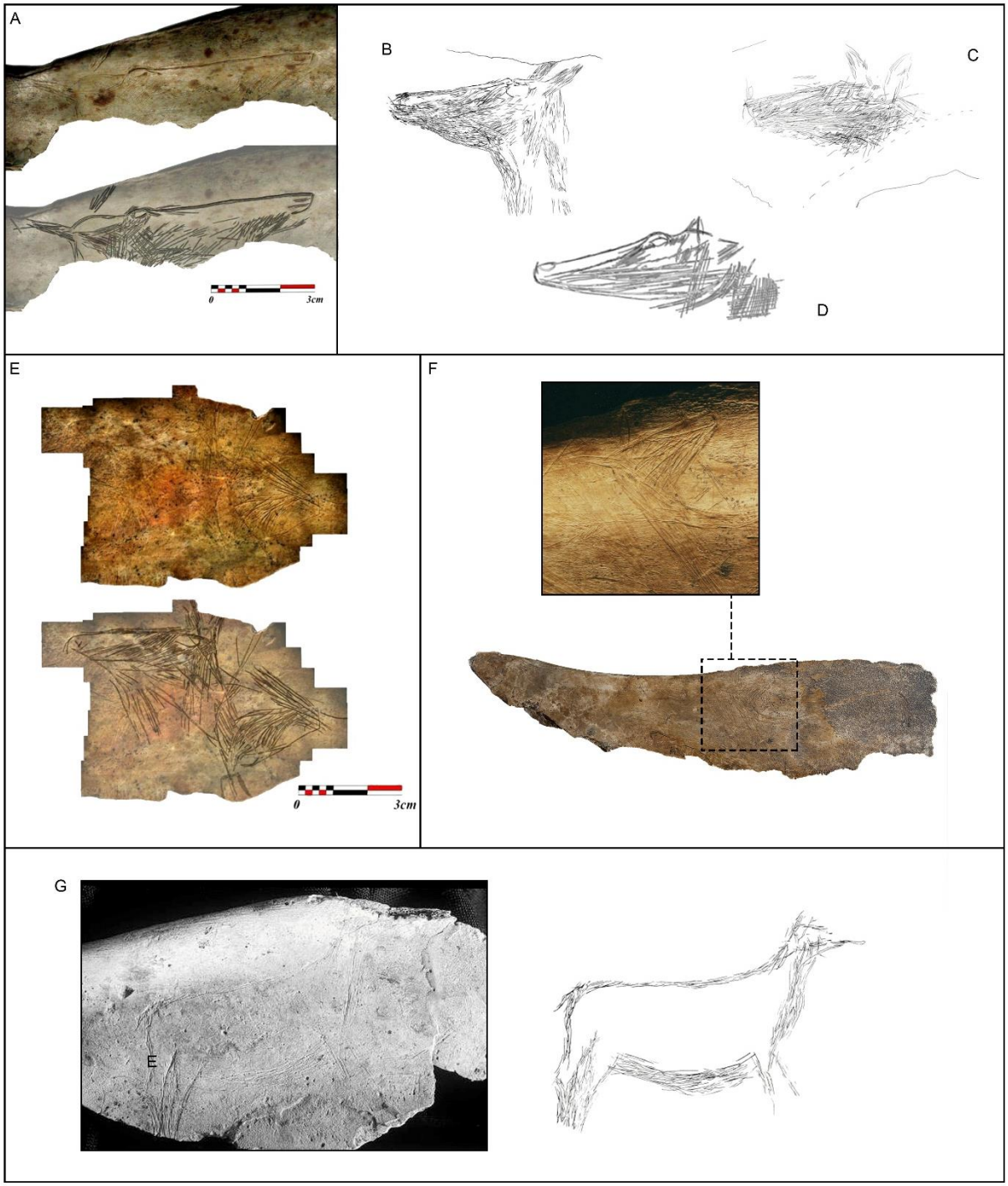


Figure 44. Exemples de biches striées gravées sur omoplates de la grotte d'El Castillo. **A**. Relevé d'après Rivero et al. (2019). **B**. Relevé d'après Fernandez-Lombera (2003), figure 44. **C**. Relevé d'après Fernandez-Lombera (2003), figure 81. **D**. Relevé d'après Breuil & Obermaier (1912). **E**. El Castillo (relevé d'après Rivero et al., 2019). **F**. El Castillo (© Museo de Arqueología Nacional, Consejería de Cultura y Deporte). **G**. Relevé et photo d'après Fernandez-Lombera (2003), figure 91.

En outre, on trouve des traces d'art mobilier pré-magdalénien, dont un outil en galet (compresseur/retoucheur) gravé d'un félin (Barandiarán, 1972; Rivero et al., 2022) (Figure 45). Enfin, citons les éventuels fragments d'os peints attribués à l'Aurignacien, ayant cependant suscité un débat au niveau de leur statut d'art mobilier (Zilhão & d'Errico, 2003; Cabrera Valdés et al., 2005; Rivero et al., 2022).

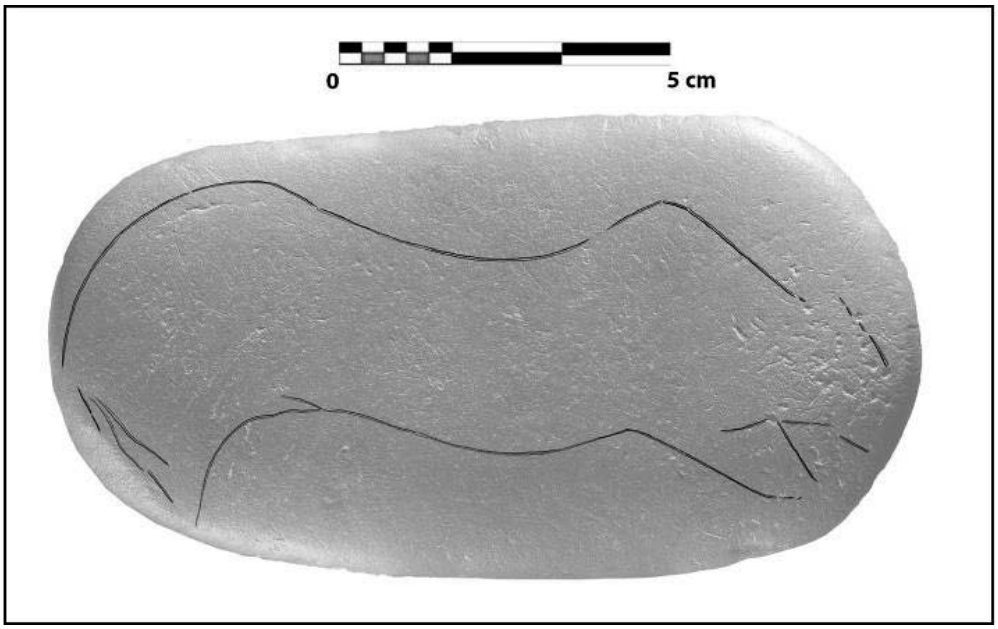


Figure 45. Galet gravé figurant un possible félin provenant du gisement archéologique de la grotte d'El Castillo. Relevé d'après Rivero et al. (2022).

4.2.2.2. Datation

Nous disposons actuellement d'une douzaine de dates radiocarbone pour la cavité (Valladas et al., 1992; Moure Romanillo et al., 1996) ainsi que d'une série de datations par la méthode Uranium-Thorium (Pike et al., 2012; Hoffmann et al., 2018a, 2018b). Malheureusement, ces informations ne permettent pas de déterminer les processus de décoration des parois avec beaucoup de précision, soit en raison de l'ancienneté des datations (^{14}C), soit à cause du manque de fiabilité de la méthode (U-Th) (Pike et al., 2017; Pearce & Bonneau, 2018; Hoffmann et al., 2018b; Aubert et al., 2018a; White et al., 2020).

Le croisement de ces données nous donne une idée générale des phases de décoration successives durant le Paléolithique récent, sans cependant nous permettre de les situer avec précision. Ainsi, en ce qui concerne la chronologie de l'art rupestre, les chercheurs qui ont étudié la grotte s'accordent sur deux points importants : sa diachronie et son amplitude temporelle. Différents cadres chronologiques ont été proposés, séparant la composition du décor en trois phases (González Echegaray, 1972), quatre (Alcalde del Río et al., 1911; Leroi-Gourhan, 1965), neuf (Breuil & Obermaier, 1935) ou même cinq phases décoratives, réalisées à trois ou quatre époques différentes (González García, 2001).

4.2.2.3. Géomorphologie

La grotte d'El Castillo est une cavité active, qui fait aujourd'hui encore l'objet de transformations dues à des processus karstiques. Depuis l'époque paléolithique, elle a donc subi des changements dans sa morphologie. Dans le cadre de ce travail, une étude détaillée du système karstique de la grotte d'El Castillo fut réalisée en collaboration avec Martin Arriolabengoa (EHU) et Iñaki Intxaurbe (EHU), illustrée par la création d'une carte géomorphologique (Figure 46). Les résultats de cette étude seront détaillés dans la section 5.1.1.2. (voir également Spaey et al., 2025).

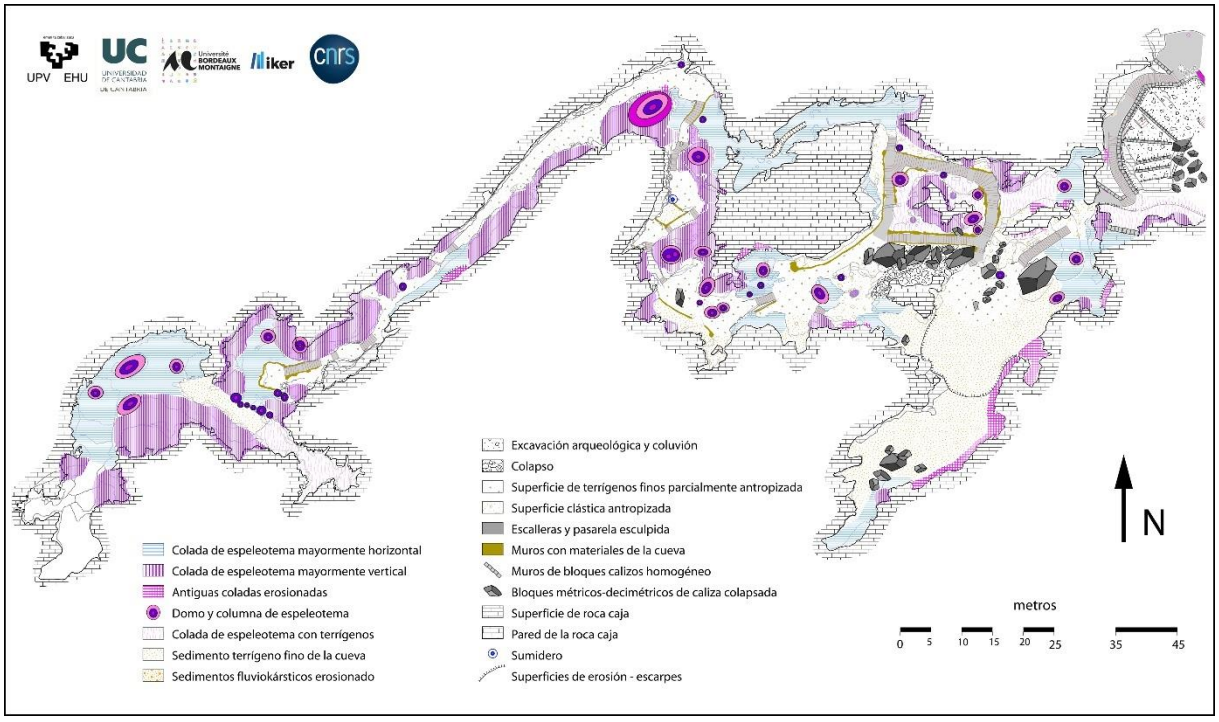


Figure 46. Carte géomorphologique de la grotte d'El Castillo (auteurs : M. Arriolabengoa, O. Spaey, I. Intxaurbe & D. Garate. Base topographique : *GIM Geomatics*).

4.2.3. Grotte de Fuente del Trucho

4.2.3.1. Présentation du site

La grotte-abri de Fuente del Trucho est située à Asque-Colungo (Huesca), sur la rive droite de la gorge du fleuve Arpán (aussi appelé Trucho), dans le versant sud des Pyrénées. Cette cavité appartient à la vallée du fleuve Vero, que le Trucho rejoint à un kilomètre de là. Pas loin de la cavité est située la source (*fuente* en espagnol) qui lui a donné son nom, et l'emplacement de celle-ci est stratégique en ce qu'il permet de contrôler le passage du gibier environnant (Utrilla et al., 2016) (Figure 47).

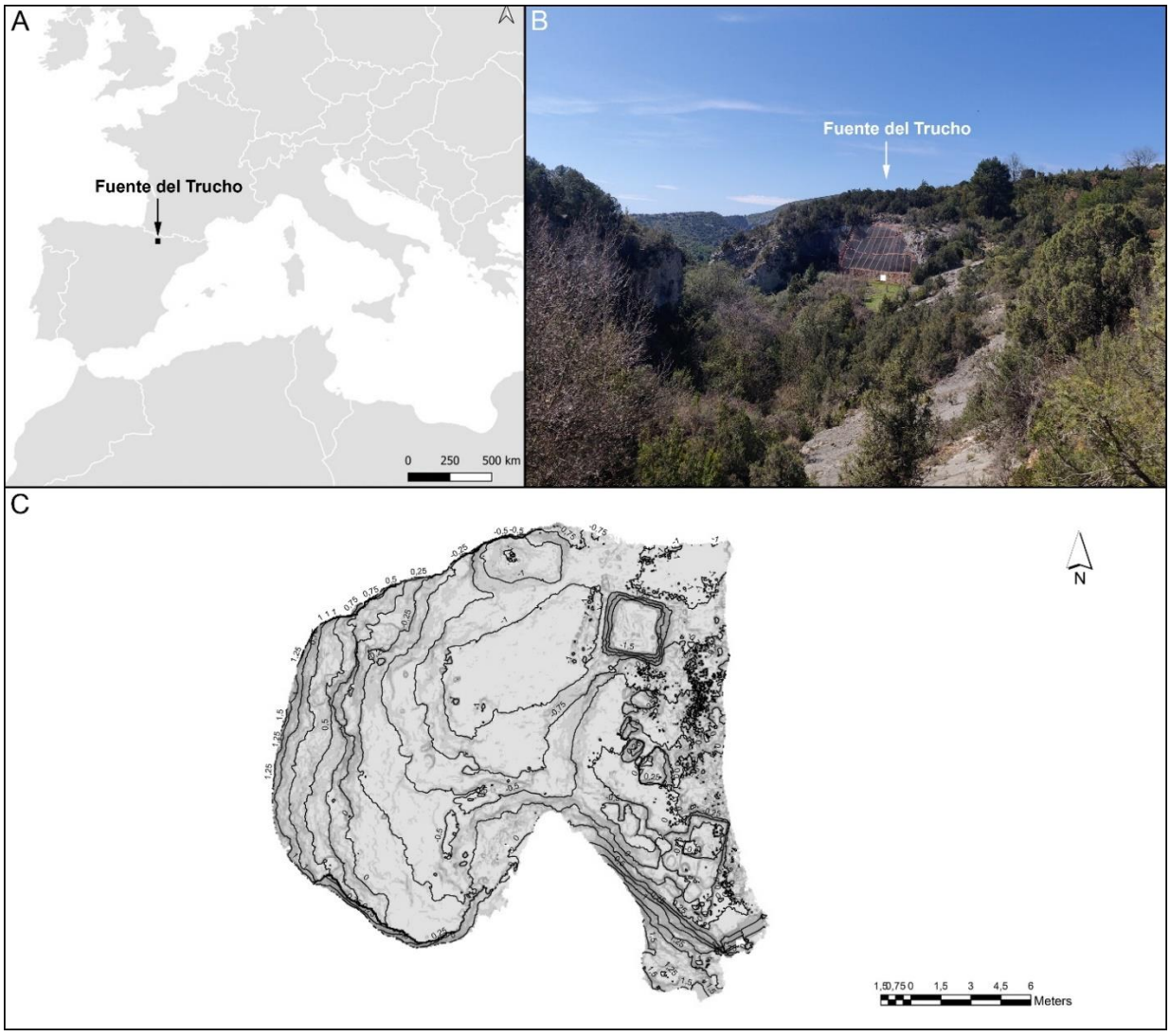


Figure 47. **A**. Carte du sud-est de l'Europe où est indiquée la position de la grotte de Fuente del Trucho (source : https://ec.europa.eu/eurostat/). **B**. Vue aérienne des environs (source: Google Earth). **C**: Carte de la grotte-abri de Fuente del Trucho.

La grotte possède une grande ouverture de 22 mètres de large, orientée au SE, donnant accès à deux parties distinctes : sur la gauche, une salle arrondie, du type abri, où entre la lumière par une ouverture arrondie assez large. La seconde, sur la droite, plus profonde, qui forme une petite cavité circulaire de 24 mètres de profondeur. Pour y accéder, on doit s'abaisser au début, le plafond se réduisant pour ensuite s'agrandir à nouveau, ce qui restreint la luminosité de cet espace à une semi-pénombre, voire à une obscurité dans le fond, même lors de jours ensoleillés (Figure 48).



Figure 48. Vue de l'entrée de Fuente del Trucho. La cavité se développe à partir de la zone de rétrécissement située dans la grande zone d'ombre de la photo.

4.2.3.2. Historiographie du gisement archéologique

Les peintures de la grotte furent découvertes par une équipe du musée de Huesca et de l'université de Saragosse dirigée par Baldellou, en 1978, dans le cadre du plan de prospections d'art rupestre du fleuve Vero (Utrilla et al., 2016).

Suite à cela eurent lieux au total neuf campagnes de fouille du gisement archéologique (Figure 49), conduites d'abord par l'équipe de Mir et Baldellou, entre 1979 et 1986, à l'entrée de la cavité (secteur extérieur) (Baldellou & Mir, 1986; Mir, 1987; Mir & Salas, 2000), puis par Utrilla et Montes, dans deux zones plus à l'intérieur : au pied des gravures et sous un panneau peint, en 2005, 2014 et 2016 (Montes et al., 2006; Utrilla et al., 2010, 2014, 2014, 2016). Durant ces campagnes furent mis au jour :

- Dans la zone extérieure, de nombreux matériaux archéologiques, à rattacher soit au Paléolithique moyen soit au Paléolithique récent (voir section 4.2.3.4), avec des restes de charbon, du matériel faunique et pas moins de 5.900 pièces d'industrie lithique.

- Dans la fouille au pied des gravures, des céramiques à tour vitrifiées et des structures en cuvette circulaires avec restes funéraires, à rattacher à la présence musulmane dans la zone du Haut Vero aux alentours de la fin du 8ème siècle p.C.n. A ceux-ci s'ajoutent d'autres pièces de matériel historique (céramiques, briques, etc.), ainsi que des restes d'occupation du Paléolithique récent.
- Dans la fouille sous le plafond orné (niveaux mélangés), du matériel moustérien, aurignacien probable, gravettien probable, solutréen et magdalénien probable.

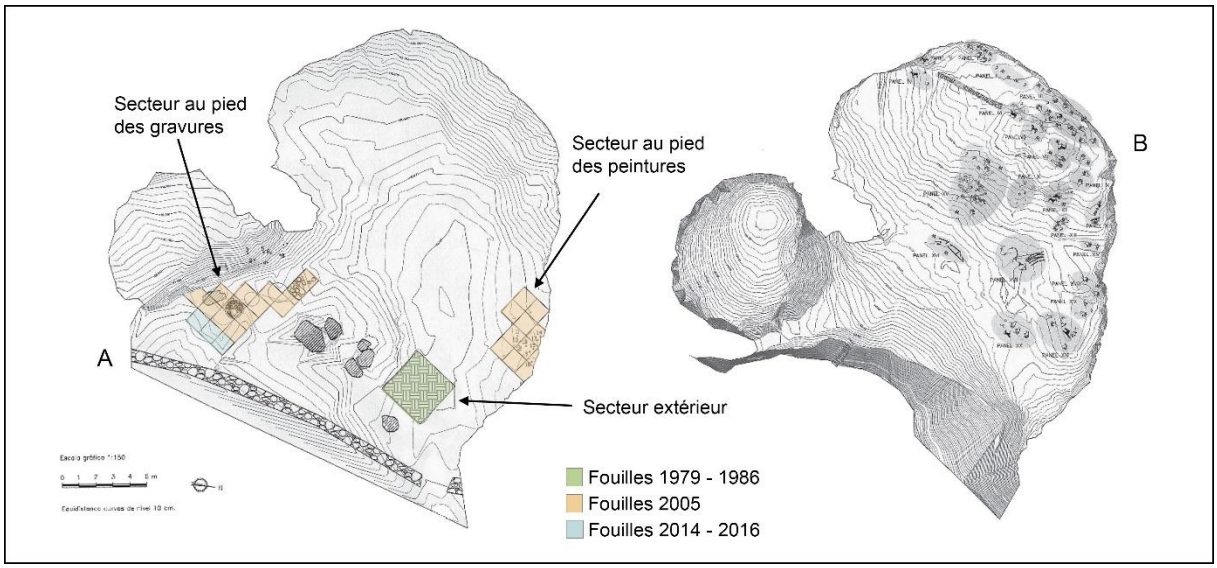


Figure 49. Localisation des sondages archéologiques et des zones ornées de Fuente del Trucho (image modifiée d'après Utrilla *et al.* (2014)). **A**. Plan du sol avec situation des fouilles de Mir (1979-1986) en vert, celles d'Utrilla et Montes (2005), dans les zones au pied des gravures et au pied des peintures et en bleu celles d'Utrilla *et al.* (2014 et 2016) au pied des gravures. **B**. Plafond orné avec la localisation des peintures.

Un premier travail de digitalisation fut également réalisé en 2013 (Angás & Bea, 2014) et une intervention de prélèvement de calcite recouvrant les peintures fut menée en 2013 dans le but de procéder à des datations par la méthode Uranium-Thorium (U/Th) (Hoffmann et al., 2017).

Enfin, pour ce qui est de l'analyse de l'art pariétal, il fut d'abord étudié par Beltrán et Baldellou (Beltrán & Baldellou, 1981; Beltrán Martínez, 1993) puis Baldellou et Viñas entre 1989 et 1991 (Baldellou, 1991, 1994), suivis de Baldellou, Ripoll et Muñoz en 2000 (Ripoll et al., 2001, 2005), Utrilla (2005) et enfin Utrilla et Bea à partir de 2011 (Utrilla et al., 2013, 2014, 2014, 2015, 2016; P. Utrilla & Bea, 2015).

4.2.3.3. Art

C'est dans l'espace le plus large et profond de la cavité centrale que se situent les fameuses mains négatives, ainsi que les animaux et signes peints de la cavité. Mon inventaire comporte

59 mains négatives, de couleur rouge (53), noire (3) et jaune (3), dont un grand nombre a la particularité de compter des doigts aux phalanges manquantes (Figure 50). Utrilla et Bea (2022) en comptent, pour leur part, plus de 70.



Figure 50. Mains négatives rouges aux doigts manquants de Fuente del Trucho.

Ces auteurs recensent également un total de 16 figures animales : neuf chevaux, quatre ours, deux cervidés et un bouquetin. Parmi ceux-ci, certains animaux sont gravés : les ours, un cervidé, deux chevaux et une figure indéterminée. Ces derniers se trouvent dans la partie gauche de l'abri, éclairée de lumière naturelle, sur le sol (Figure 51).



Figure 51. Zone de sol ornée de Fuente del Trucho, dans un secteur séparé de celui des figurations peintes du plafond.

Parmi les signes peints, il faut mentionner les séries de points, et les signes trilobés ou tréflés, particulièrement intéressants au niveau formel (Figure 52).

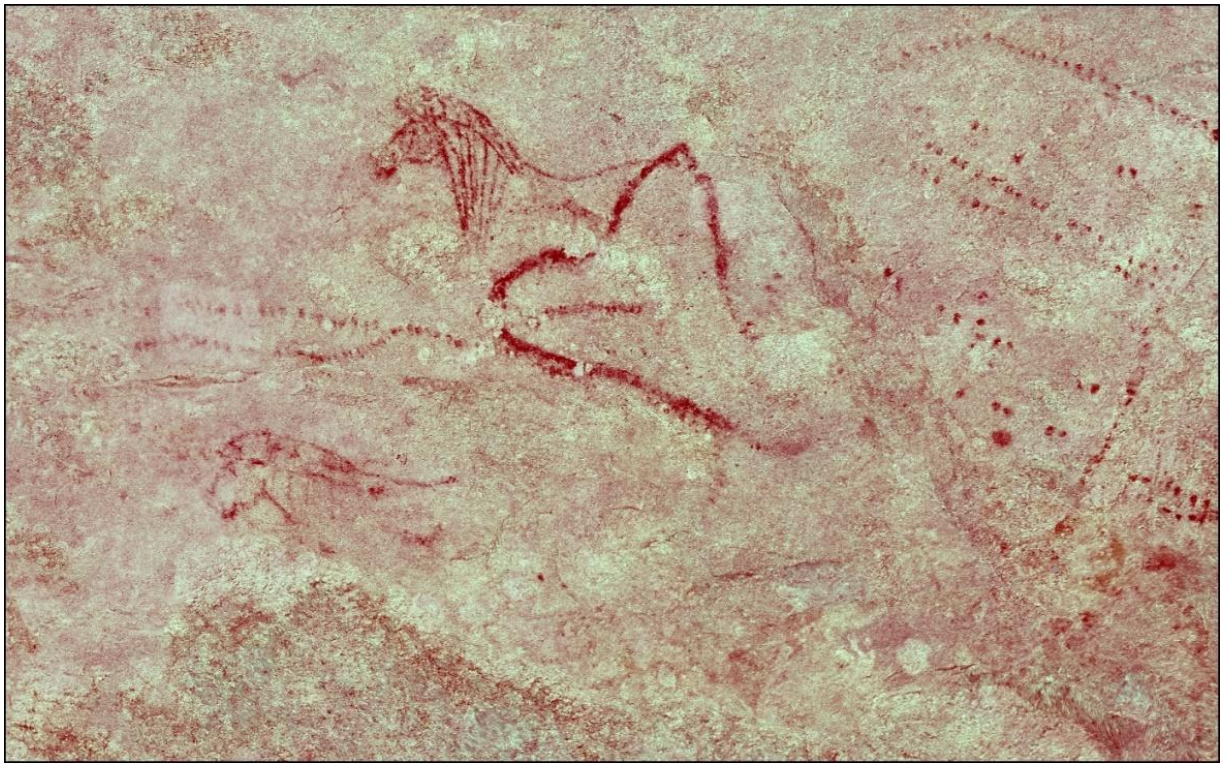


Figure 52. Chevaux, lignes des points et signe trilobé peints en rouge sur le plafond de la grotte de Fuente del Trucho. Photographie traitée avec le plug-in *DStretch*® pour le programme *ImageJ*® en utilisant le spectre de couleur synthétique *lre* pour rehausser la couleur rouge.

4.2.3.4. Datation

La question de la datation est assez complexe dans le cas de la grotte-abri de Fuente del Trucho car nous nous trouvons face à des informations de différentes sources, à la fiabilité variable, qui ne se recoupent pas toujours.

Ainsi, Utrilla *et al.* (2016) parlent pour les mains négatives de la cavité d'un « âge supérieur à 27.370 ans », sur base des datations U/Th mentionnées ci-dessus[61], croisées à une comparaison stylistique des motifs animaliers qui viendrait corroborer cette hypothèse de datation gravettienne des figurations de la cavité (Utrilla et al., 2016; Hoffmann et al., 2017).

Nous avons déjà évoqué la complexité du problème des datations U/Th, sur laquelle nous ne reviendrons pas ici. Il nous faut cependant observer que ces datations sont très homogènes par rapport aux chronologies des mains négatives de l'art pariétal paléolithique obtenues par d'autres méthodes (voir section 2.1.2).

D'autres éléments sont également à considérer quant à la chronologie de ce site archéologique. Les premières fouilles, de l'équipe de Mir et Baldellou, mentionnées ci-dessus, ont en effet procédé à des datations ^{14}C AMS. Contre toute attente, celles-ci ont donné des dates de 19.060±80 et 22.460±150 BP, alors que le matériel archéologique identifié (plus de 5900 pièces) est en tous points assimilable à celui du Paléolithique moyen, au niveau de sa typologie, des matières premières et des techniques de taille (Mir & Salas, 2000). Ceci, pour l'ensemble des trois unités stratigraphiques identifiées dans la fouille de 9 m².

Face à ces résultats, Mir et Salas (2000) défendent que les datations sont correctes, car le prélèvement et la méthode de datation est fiable et que les modèles et structures des foyers, ainsi que la présence des peintures et gravures, sont cohérentes avec une chronologie du Paléolithique récent[62].

Il nous faut noter, cependant, que ces datations, bien que réalisées avec la méthode ^{14}C AMS, ont été faites sur base d'un mélange de 500 grammes d'esquilles d'os éparpillés sur plusieurs quadrants de la fouille (dans un même niveau) :

- "La muestra TR-7595 (Beta-72393) está situada entre 0,75-0,95 m en la unidad arqueológica 1 (UA1) y da una edad de 19.060±80 (14C AMS). En concreto

[61] Pour rappel, celles-ci sont les suivantes : >25.110, >26.050, >25.200, >25.720, >26.400, >26.730, >26.240 et >27.370 B.P. (U/Th).

[62] "Estas dataciones ofrecen una gran garantía analítica y alto grado de fiabilidad, tanto en lo referente a la falta de contaminación y buena representatividad de cada muestra dentro de su unidad arqueológica como a la rigurosidad y prestigio del laboratorio de datación radiocarbónica." (Mir et Salas, 2000, p. 14)

corresponde a fragmentos óseos de los cuadrados J-1 y J1. [L'échantillon TR-7595 (Beta-72393) est situé entre 0,75-0,95 m dans l'unité archéologique 1 (AU1) et a été daté à 19.060±80 (14C AMS). Il correspond concrètement à des fragments d'os des carrés J-1 et J1]" (Mir et Salas, 2000, p. 14).

- "La muestra TR-16570 (Beta-80691) está situada entre 1,65-1,70 m en la unidad arqueológica 3 (UA3) y tiene una edad de 22.460±150 BP (14C AMS). Concretamente corresponde a fragmentos de los cuadrados J2, K2 y L2. [L'échantillon TR-16570 (Beta-80691) est situé entre 1,65 et 1,70 m dans l'unité archéologique 3 (AU3) et a été daté à 22.460±150 BP (14C AMS). Il correspond concrètement à des fragments provenant des carrés J2, K2 et L2.]" (Mir et Salas, 2000, p. 14).

De ce fait, il faut admettre la possibilité que ces datations aient été faussées par la présence d'éléments anachroniques dans les ensembles d'os rassemblés, par exemple à cause des trous de poteaux observés, comme le suggèrent Utrilla *et al*. (2016), qui soutiennent que ces niveaux seraient plutôt Moustériens.

Pour ce qui est du chantier de fouilles effectué à l'intérieur de la cavité, sous les figurations de signes tréflés et du bouquetin, Utrilla *et al*. (2016) déplorent le caractère remanié du sol de la grotte dû à l'utilisation de celle-ci comme enclos, qui a eu pour conséquence un piétinement important du sédiment par le bétail.

Ces auteurs notent malgré tout la présence de pièces lithiques considérées comme fossiles directeurs de plusieurs périodes du Paléolithique récent, comme un « possible Aurignacien » (grattoirs carénés et à museau, lame étranglée), le Gravettien (pointes à dos, pièces esquillées, burins multiples à troncature), le Solutréen (pièces à retouche plate et deux pointes à cran similaires à celles de Chaves datées à 19.700 BP), un possible Magdalénien (burins, perforateurs multiples, petits grattoirs circulaires et autres grattoirs unguiformes, et quelques petites pointes à pédoncule de type Teyjat). Ces hypothèses sont corrélées par une datation en thermoluminescence à 13.244±945 sur un racloir craquelé par le feu et une datation radiocarbone de 20.800±100 BP (date calibrée : 25.414-24.640 BP) (Utrilla et al., 2014b, 2016).

Enfin, pour la fouille au pied des gravures, dans l'autre partie de la grotte-abri, une chronologie plus large fut mise au jour, avec la présence de céramiques et structures datées à 1235±35 BP (date calibrée à 68% : 776±63 AD), de matériaux lithiques du Paléolithique récent ainsi que des datations d'os (sur base d'os uniques cette fois) à 26.020±150 BP (date calibrée : 30.690-29.820 BP) et 31.880±220 (date calibrée : 36.700-36.280 BP) (Utrilla et al., 2014b, 2016). Ces

dernières viennent renforcer encore les éléments en faveur d'une présence humaine au Gravettien à un moment de l'histoire de la cavité.

4.2.3.5. Géomorphologie

Pour ce qui est de l'étude géomorphologique de la cavité, nous n'avons pas eu l'occasion, dans le cadre de ce travail, de mettre en place une étude géomorphologique comme nous avons pu le faire pour la grotte d'El Castillo, pour des raisons pratiques d'autorisations et d'accès à la cavité. Cependant, plusieurs éléments nous viennent en aide pour évaluer l'évolution des parois depuis le Paléolithique récent à aujourd'hui. En effet, nous avons vu que le sédiment était meuble, dans la zone des peintures (ne permettant d'ailleurs pas l'établissement d'une coupe stratigraphique, selon les travaux d'Utrilla *et al.* (2014b, 2016)) sans la présence de plaques stalagmitiques comme c'est le cas dans beaucoup de gisements archéologiques en grotte. Ces éléments penchent donc en faveur d'une faible activité géologique en termes de formation stalagmitique.

Par ailleurs, le fait que le plafond soit abondamment orné sur presque la totalité de sa surface, qui est du reste homogène, fait que nous pouvons être rassurés quant à l'évolution de celle-ci depuis la création de ses figures : puisqu'elles sont arrivées jusqu'à nous, c'est que les parois étaient identiques à l'époque. En d'autres mots, les peintures constituent un *terminus ante quem* qui nous assure de l'état inchangé de la paroi. Les traces du passage du temps se limiteraient donc géologiquement à la présence de fines couches de calcite, celles-là mêmes qui furent datées par la méthode U/Th. De plus, comme indiqué, la grotte n'est pas ouverte au public (et n'a pas été modifiée à cette fin) et son accès est strictement réservé aux équipes de recherche disposant d'une autorisation préalable, de sorte qu'elle n'a pas subi autant de modifications et d'adaptations qu'El Castillo.

4.2.4. Grotte de Fuente del Salín

4.2.4.1. Présentation du site

La grotte de Fuente del Salín se situe dans le bassin inférieur de la vallée de la rivière Nansa, tout près de l'estuaire de Tinamenor. Plus précisément, dans la localité de Muñorrodero, à quelques mètres à peine de la route, dans le quartier de Salín, qui appartient à la municipalité du Val de San Vicente (Bohigas Roldán et al., 1985) (Figure 53). Elle est localisée à environ 3 kilomètres de la ligne de côte actuelle (Gutiérrez Zugasti et al., 2012), à une douzaine de mètres d'altitude par rapport au niveau de la mer (González Morales, 2022). Son contexte géologique est composé de terrasses fluviales, spécifiquement une zone de limons argileux.

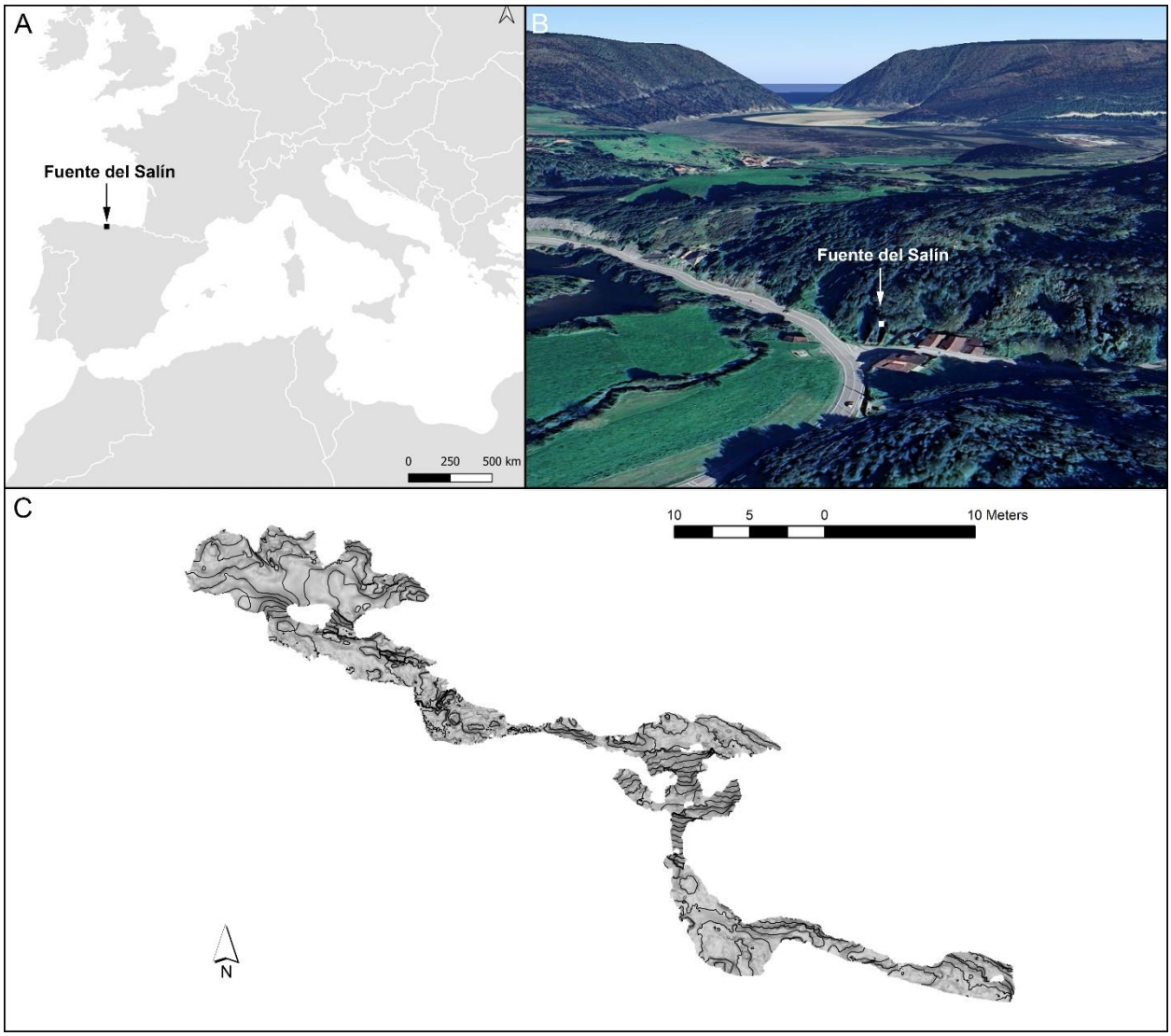


Figure 53. **A**. Carte du sud-est de l'Europe où est indiquée la position de la grotte de Fuente del Salín (source : https://ec.europa.eu/eurostat/). **B**. Vue aérienne des environs (source : Google Earth). **C**. Carte de la grotte de Fuente del Salín.

Son nom de *fuente* [source] lui vient de sa géomorphologie particulière (Alonso Gutiérrez, 2018). Elle appartient en effet à un vaste réseau souterrain à plusieurs niveaux, dont ceux inférieurs sont actifs. Ainsi, de son entrée actuelle jaillit presque tout au long de l'année un flux d'eau plus ou moins fort. De plus, elle subit un mécanisme de siphonnage, qui inonde brusquement les galeries basses lorsqu'un certain niveau d'eau est atteint, de façon périodique (González Morales & Moure Romanillo, 2008). L'unique accès à la cavité n'est donc possible qu'aux moments où la quantité d'eau est suffisamment basse (Figure 54), ce qui complique considérablement la recherche scientifique. Comme c'est le cas également à Fuente del Trucho, l'accès à cette grotte est actuellement limité à la recherche archéologique, et elle ne fut pas adaptée au tourisme.



Figure 54. Entrée actuelle de la grotte de Fuente del Salín. **A**. Entrée sèche, en août 2024. **B**. Entrée où l'on peut voir que le conduit d'entrée est entièrement sous eau, en juillet 2025.

Heureusement pour les peintures, le niveau dans lequel elles se situent, plus haut que les galeries inondées, est complètement fossile. Le sol y est composé d'une couche de sédiments fins et sableux (Bohigas Roldán et al., 1985) (Figure 55)**,** au contraire de celui des espaces inférieurs, où l'on peut observer le témoignage de la présence quasi constante de l'eau.



Figure 55. Vue du sol dans la zone ornée, composé en surface d'une couche de sédiments fins et sableux.

Les mains négatives sont ainsi dispersées sur les parois alentours d'une petite salle centrale, dans laquelle fut découverte une couche d'occupation gravettienne avec un grand foyer (Figure 56) (González Morales & Moure Romanillo, 2008).



Figure 56. Vue du sondage archéologique de la salle ornée, recouvert par une bâche de protection. On peut distinguer plusieurs mains négatives sur les parois alentour.

A quelques mètres seulement de celui-ci se situe l'entrée paléolithique présumée, dans une zone aujourd'hui obstruée par un éboulement, très proche de l'extérieur (González Morales & Moure Romanillo, 2000) (Figure 57).



Figure 57. Vue de l'entrée paléolithique présumée, aujourd'hui bouchée par un éboulement.

4.2.4.2. Historiographie du gisement archéologique

Découverte le 16 octobre 1985 au cours d'une exploration systématique de la zone par une équipe de spéléologues de la Sociedad de Actividades Espeleológicas de Cantabria (SAEC), Carmen Martínez Barberán, Luis Jorde et Ramón Cabarga (González Morales & Moure Romanillo, 2008), la grotte a depuis fait l'objet de plusieurs campagnes d'études, toutes cependant contraintes par la situation complexe de la grotte avec ses risques d'inondation de l'entrée (et d'y rester, de ce fait, piégés).

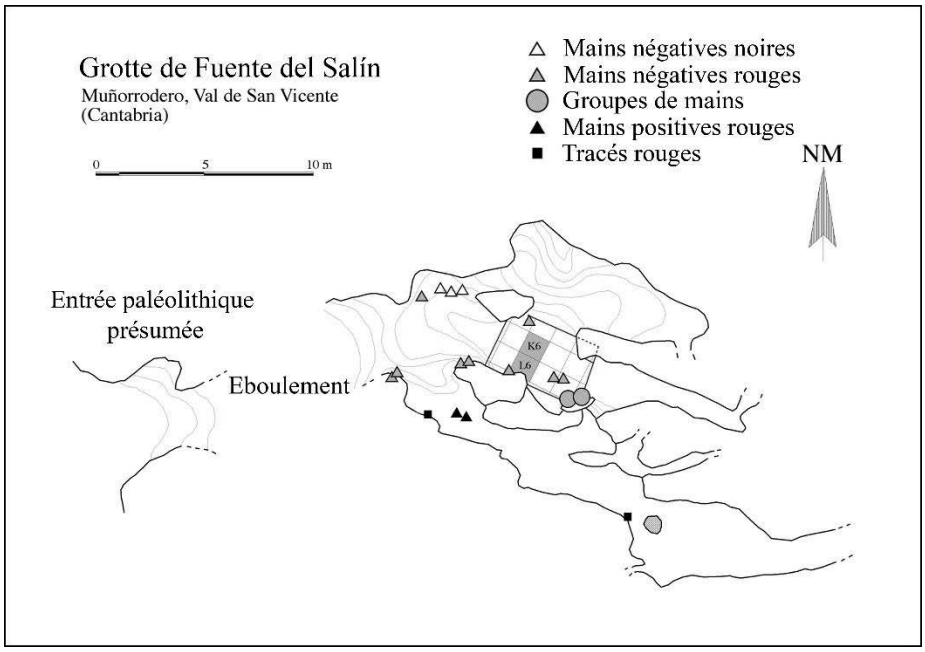


Figure 58. Topographie de la grotte de Fuente del Salín avec indication de la zone de fouilles, d'une partie des motifs et de l'entrée originale présumée, d'après Moure Romanillo et González Morales (2008).

Publiée de façon préliminaire par la SAEC puis Bohigas et Sarabia (Bohigas Roldán et al., 1985; SAEC, 1985; Bohigas Roldán & Sarabia Rogina, 1988), elle fut l'objet de campagnes de fouilles archéologiques et de premières études de son art pariétal en 1990 et 1991 par Alfonso Moure y Manuel González Morales, qui se poursuivirent en 2000 puis entre 2015 y 2019 (Moure Romanillo et al., 1985; Moure Romanillo & González Morales, 1992; González Morales & Moure Romanillo, 2000, 2008). Ces fouilles mirent au jour une couche d'occupation importante de l'époque gravettienne, au cœur même de l'espace décoré et proche de l'entrée (Figure 58). En effet, sous un premier niveau stratigraphique composé d'une fine couche d'argile foncée pratiquement stérile, fut découvert, après une mince croûte stalagmitique, un puissant niveau composé de nombreux restes de mammifères, de mollusques marins (surtout des patelles, des littorines et des trivias (Cuenca Solana, 2013) et d'ichtyofaune, ainsi que d'industrie osseuse et lithique (en silex, quartzite et schiste (González Morales, 2016)), le tout

autour d'un grand foyer. Furent également trouvés des morceaux d'hématite, un bloc de calcaire avec des restes de pigment et un morceau de paroi également avec du colorant (Alonso Gutiérrez, 2018). Des études récentes ayant étudié les restes du foyer évoquent la possibilité que cette occupation ait été interrompue durant un court laps de temps, avec une couche d'environ un centimètre d'épaisseur présentant une absence d'éléments d'apport anthropogénique (Alzate-Casallas et al., 2025). Ceci pourrait impliquer une division de cette période d'occupation en deux phases. Cependant, ces données nécessiteraient une confirmation par l'extension de la zone de prélèvement qui était ponctuelle (elle ne couvrait pas l'entièreté de la séquence horizontalement). Par ailleurs, il est également possible que cette brève période corresponde à une stratégie d'occupation saisonnière par le même groupe social et que ces deux phases potentielles soient peu éloignées dans le temps.

4.2.4.3. Art

Les mains négatives de la cavité sont toujours en cours d'étude. Le travail en collaboration avec M. González Morales (UC) nous a permis d'élever leur nombre à 33, toutes a priori complètes (sans doigts manquants), bien qu'en état de conservation très variable. Notre décompte actuel recense donc 9 mains noires et 24 rouges. S'y ajoutent deux mains positives rouges.

Fait étonnant, la cavité ne comporte, à part les mains, qu'une autre qu'une autre représentation : un motif abstrait, situé dans la continuation de la grotte, sur une fine colonne, à plusieurs dizaines de mètres du foyer et des autres figurations (Figure 59 et Figure 60).

Le *corpus* peint de la cavité est complété, enfin, par de nombreuses traces de pigment rouge plus légères (Figure 61 et Figure 62) réparties entre la zone centrale ornée et celles dudit motif. Ces dernières peuvent être plus ou moins évidentes et sont souvent situées juste aux endroits de passages resserrés ou sur des espaces où l'on mettrait naturellement la main pour s'appuyer. Elles ressemblent à des traces de passages fortuites, qui auraient par exemple été le fait du frottement d'un vêtement (ou d'un corps) maculé d'hématite (cf. Medina-Alcaide et al., 2018).



Figure 59. Motif rouge abstrait situé sur une colonne dans une partie profonde de la grotte de Fuente del Salín.

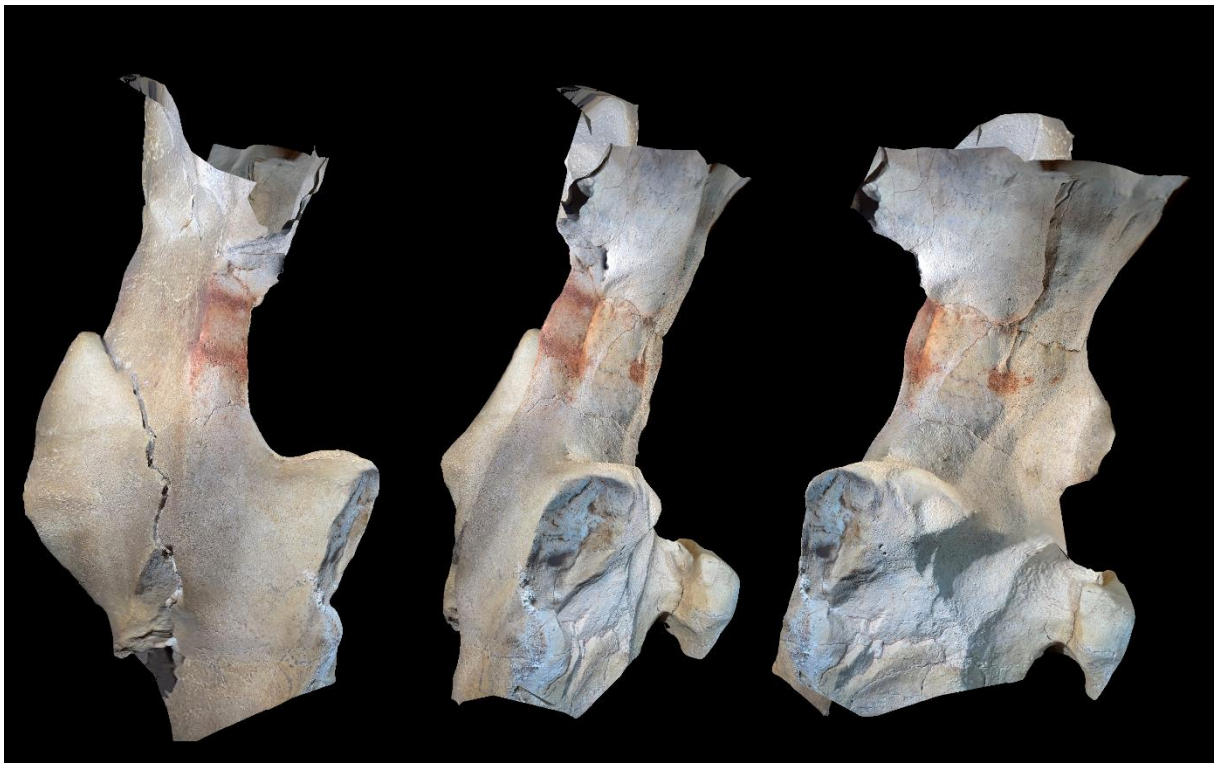


Figure 60. Motif rouge abstrait situé sur une colonne dans une partie profonde de la grotte de Fuente del Salín. Capture LiDAR de différents points de vue (© M. González Morales).

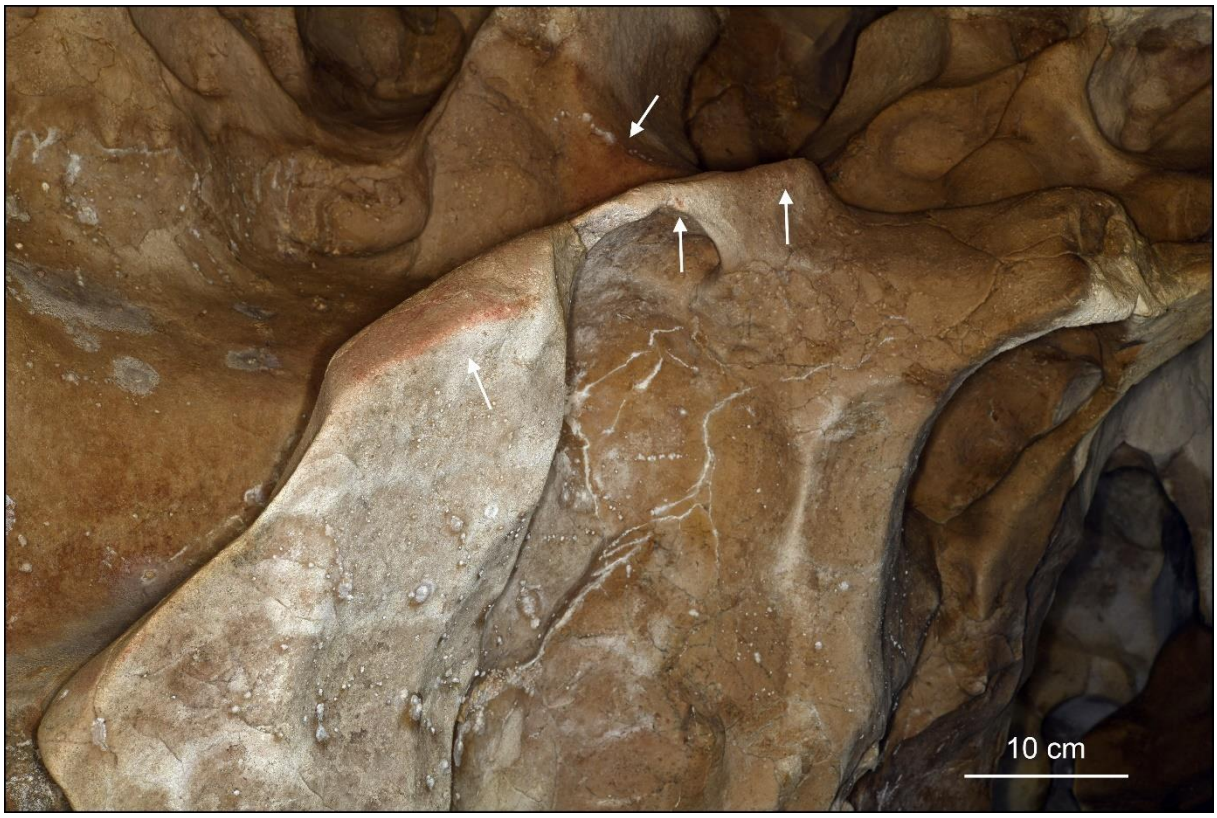


Figure 61. Exemple de traces de pigment rouge « frotté » dans les environs du motif abstrait.



Figure 62. Autres traces de pigment rouge « frotté » dans les environs du motif abstrait, accompagnées de deux lignes rouges frottées.

4.2.4.4. Datation

Nous disposons de plusieurs sources de datation pour les restes archéologiques de la grotte de Fuente del Salín. La première datation, qui fait débat, est celle effectuée par radiocarbone AMS sur le charbon d'une main négative noire. Celle-ci a en effet donné une date de 18.200 ± 70 ans, ce qui est plus jeune que la chronologie généralement acceptée pour les mains négatives, situées au Gravettien (voir section 2.1.2). Les auteurs stipulent cependant que ce prélèvement a peut-être subi un rajeunissement par contamination organique, lié aux conditions de la cavité, aux nombreuses circulations d'air et la présence abondante d'insectes sur les parois dus à la proximité avec l'extérieur : "No es imposible que esta muestra se haya rejuvenecido por contaminación orgánica, en un ámbito con amplia circulación de aire y presencia de abundantes insectos en las paredes por la proximidad al exterior." (González Morales & Moure Romanillo, 2008, p. 81). Par ailleurs, les matériaux de la fouille fournirent également des datations, cette fois plus tardives, comme attendu (Tableau 9).

Tableau 9. Datations effectuées à la grotte de Fuente del Salín.

Type d'objet	**Date CP**	**±**	**Référence de laboratoire**	**δ ^{13}C**	**Age calibré BP (range 68%)**	
Main négative noire	18.200	70	GX-27757-AMS	-24,50%	21.584	22.254
Charbon du foyer	22.340	+510/-480	GrN-18574	?	26.090	27.622
Charbon du foyer	22.580	100	GX-27756-AMS	-26,60%	26.928	27.697
Os en superficie	23.190	900	GX-29438	-21,50%	26.591	29.016
Diaphyse d'ongulé (foyer)	23.040	50	UGAMS-9077	-20,30%	27.184	28.042
Mollusque *Patella vulgata* (foyer)	23.160	90	OxA-27195	+0,78	27.610	28.129

L'hypothèse proposée par les auteurs des recherches de la cavité est donc que les motifs pariétaux et l'occupation de la cavité sont contemporains et attribuables à la chrono-culture gravettienne (González Morales & Moure Romanillo, 2008). Selon González Morales (2022), il s'agit donc d'un exemple très intéressant, car peu fréquent, de présence des mains négatives dans l'environnement direct d'un espace domestique gravettien.

4.2.4.5. Géomorphologie

Les conditions de travail complexes de la grotte ne nous ont pas permis d'effectuer une étude géomorphologique dans la cavité. Celle-ci est prévue dans un futur proche, suivant les conditions hydrauliques en présence. Elle sera précieuse, en particulier pour confirmer ou infirmer la localisation de l'entrée paléolithique. Cependant, plusieurs éléments viennent déjà étayer nos connaissances quant à l'état paléolithique de la cavité. Pour ce qui est de l'entrée originale, des recherches préliminaires de membres de la *Federación Cántabra de Espeleología* (informations transmises par M. Gonzáles Morales) ont calculé une distance de seulement trois mètres entre l'éboulement de l'entrée obturée présumée et l'extérieur, ce qui rend très probable l'hypothèse de la localisation de l'entrée à cet endroit. Ensuite, par rapport à l'état des parois, la présence des mains négatives, comme pour le plafond de Fuente del Trucho, constitue un *terminus ante quem* pour les surfaces ornées, ce qui va dans le sens d'un changement relativement faible en général. Enfin, les couches archéologiques nous informent quant à l'état du sol durant le Gravettien.



RÉSULTATS

5. Résultats

Dans cette section seront présentés les résultats relatifs à l'analyse spatiale de la distribution des mains peintes dans chaque cavité, qui seront ensuite discutés plus en détail dans le chapitre suivant (section 0). Je détaillerai dans un premier temps tous les éléments relatifs à la restitution de l'état paléolithique des espaces, puis je passerai au travail de géolocalisation des motifs et enfin à l'analyse spatiale proprement dite.

5.1. El Castillo

Passons premièrement aux résultats relatifs à l'étude de la grotte d'El Castillo.

5.1.1. Restitution de l'état paléolithique de la cavité

Avant de procéder à l'analyse spatiale, il était important de produire une reconstitution la plus fiable possible de l'état de la cavité durant l'époque paléolithique. Celle-ci est constituée par une analyse et recollection d'informations de toutes sortes, qui sera présentée ici point par point.

5.1.1.1. Sources disponibles

Dans le cas de la grotte d'El Castillo, les travaux d'aménagement au tourisme mentionnés plus haut compliquent considérablement la tâche. Ceci, car comme spécifié (section 4.2.2.2), ils n'étaient pas accompagnés de documentation et furent conséquents. De plus, les photographies de l'intérieur de la cavité sont en général très peu nombreuses, surtout celles antérieures auxdits travaux.

Ainsi, mis à part la publication de l'ouvrage *Les Cavernes de la Région Cantabrique* (Alcalde et al., 1911), qui en présente quelques-unes, cette opération de restitution se voyait pauvrement documentée. Après de plus amples recherches furent cependant localisés trois clichés de l'Institut Frobenius, spécialisé dans les archives historiques et anthropologiques, figurant des peintres dans les salles de la cavité, occupés à reproduire des motifs paléolithiques. En effet, l'ethnologue allemand Leo Frobenius (1873 - 1938) était fasciné par l'art rupestre préhistorique. Il chargea donc des artistes de voyager et de réaliser pour lui des reproductions de peintures rupestres. C'est ainsi qu'en 1936, une équipe d'illustrateurs composée de quatre femmes et d'un homme (Katharina Marr, Elisabeth Pauli, Erika Trautmann, Maria Weyersberg et Alf Bayrle) s'est rendue dans plusieurs grottes du nord de l'Espagne. Outre des peintures et des dessins, cette expédition a été documentée par une série de photographies.

Il s'avère qu'il existait un certain nombre de clichés qui n'avaient pas été numérisés. Suite à une collaboration fructueuse avec l'Institut, et en particulier avec Peter Steigerwald, le responsable du département photo et des archives photographiques de l'Institut Frobenius, de nouveaux négatifs furent digitalisés. En parallèle, j'ai procédé à l'identification systématique de l'orientation de l'image, de l'identification du motif, de la grotte de provenance et de la zone de la cavité, lorsque cela était possible. Les clichés étaient en effet désordonnés, et provenaient en majorité de trois grottes cantabriques différentes : Altamira, La Pasiega et El Castillo. Mélangées parmi celles-ci se trouvaient également des photographies de sites d'autres périodes, comme une série pétroglyphes de Galice d'époques plus récentes, ou des scènes rurales, par ailleurs aussi très intéressantes.

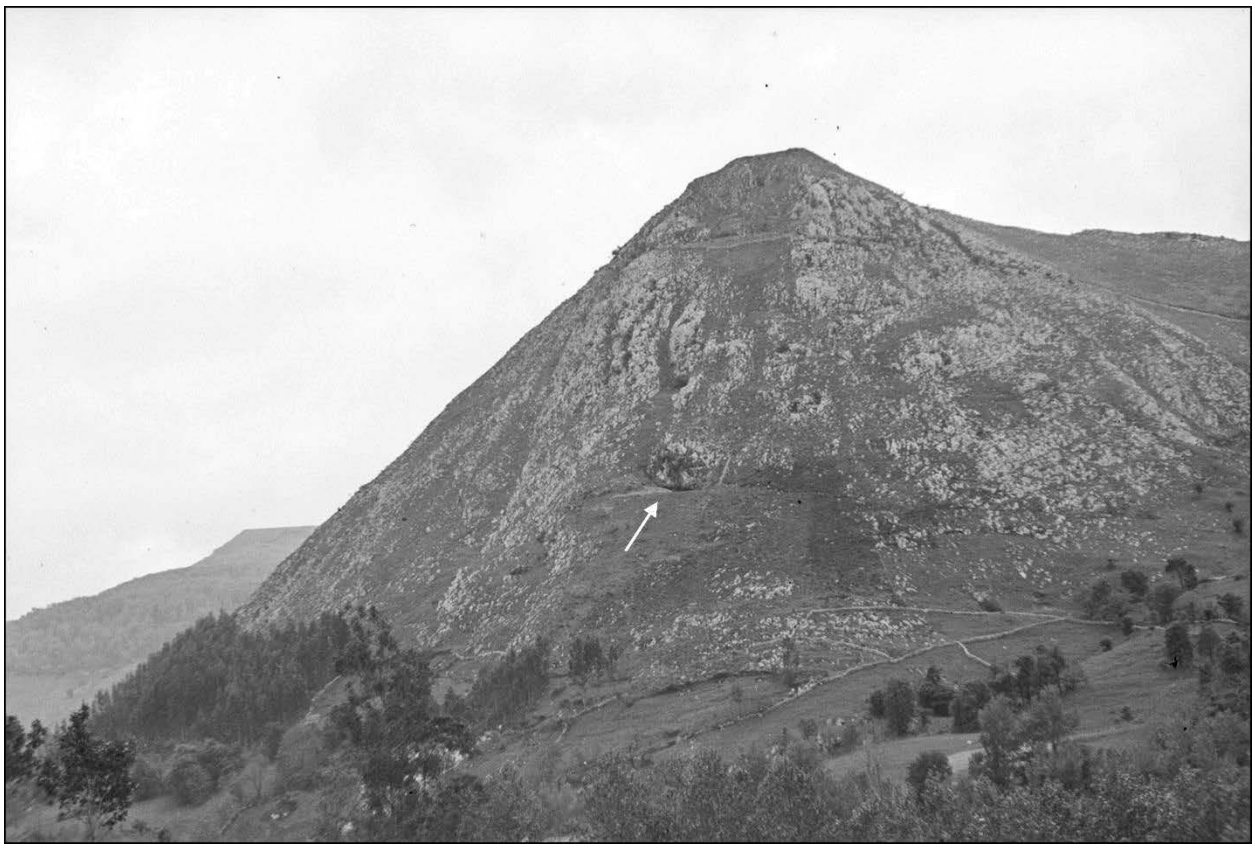


Figure 63. Photographie du Mont Castillo prise lors de la campagne de 1936 (© Frobenius Institute). La flèche indique l'entrée de la grotte d'El Castillo.

Ce travail commun a permis la mise en ligne de plus de deux cent nouvelles figures, dont une série de l'intérieur de la grotte d'El Castillo, de son porche d'entrée et des alentours (Figure 63). Celles-ci sont aujourd'hui toutes visibles en accès libre sur le site *http://bildarchiv.frobenius-katalog.de/*.

Ces images constituent la base de la documentation graphique de cette recherche sur les travaux d'adaptation touristique effectués à El Castillo. Elles sont complétées, bien sûr, par toute une série d'informations de différents types, comme présenté dans la Méthode (section 0).

Je procéderai ci-dessous à l'exposition en détail des ordres d'indices et des décisions que j'ai prises pour cette opération de reconstitution de l'espace de la cavité au Paléolithique.

5.1.1.2. Information collectée et décisions

5.1.1.2.1. Entrées

Par rapport aux entrées de la cavité, les différentes sources informent que, si aujourd'hui il n'en existe qu'une ouverte, ce n'était pas le cas dans le passé. Ainsi, en 1906, deux bouches donnaient accès à la *Salle A* (Alcalde del Río, 1906). De plus, les rapports de fouilles du porche d'entrée font mention d'une troisième ouverture, sur laquelle je m'attarderai ci-dessous.

Pour ce qui est de la seconde entrée, le cas est assez simple, car son obturation, effectuée sans doute à l'époque des grands travaux, est encore visible aujourd'hui (Figure 64). Y font mention Alcalde del Rio et al. (1911, p. 113) de la façon suivante :

« Au fond du diverticule, il y a deux issues, l'une, à gauche, par un passage de 6 m. 50, aboutissant en haut d'une cascade de stalagmite d'environ 5 mètres de pente impraticable. L'autre, à droite, est un petit tunnel, long de 10 mètres, amenant par une descente rapide sur des concrétions, à une salle de très vastes proportions et à voûte élevée de plus de 10 mètres, c'est notre « Grande Salle » (…) ».

Le *petit tunnel* correspond ainsi à l'entrée utilisée actuellement, par ailleurs fortement modifié (portes, aplanissement du sol, boites d'électricité, murs, etc.), tandis que le passage à gauche est la voie comblée, et la *Grande Salle* est la *Salle A*. J'ai donc procédé à la recréation du tunnel sur *Blender*® en reliant les deux zones identifiées dans les scènes de scan, de part et d'autre de celui-ci (Figure 64).

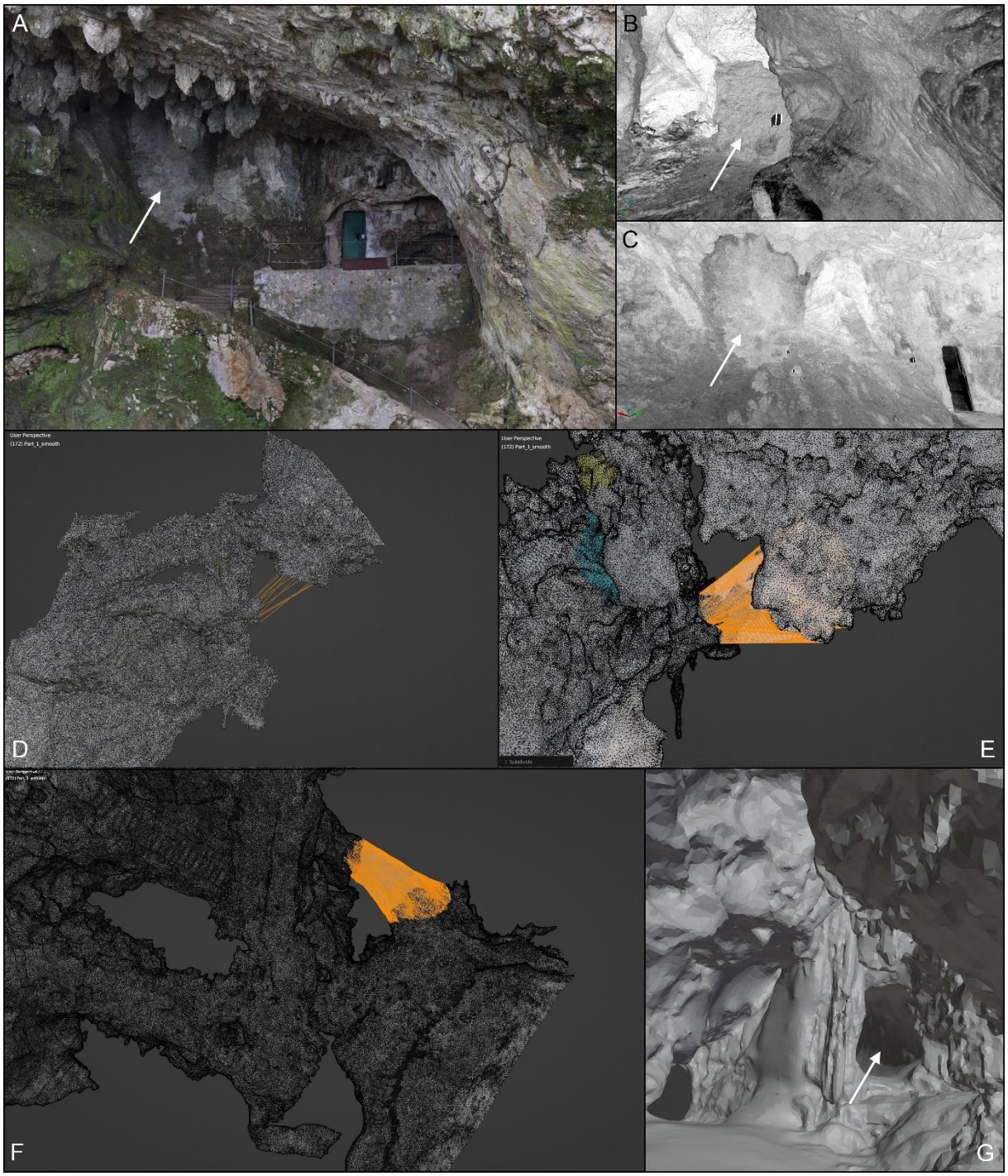


Figure 64. **A.** Photographie de l'état actuel de l'entrée de la cavité, où la flèche indique la seconde entrée actuellement fermée. **B.** et **C.** Captures du logiciel *SCENE LT*® où la flèche indique la même zone, et où l'on distingue les détails du dessin du remplissage artificiel. **D.** Capture *Blender*® (vue zénithale) du modèle 3D en processus de modification, avec la recréation des axes de la structure générale du tunnel obturé (en orange). **E.** Capture *Blender*® (vue zénithale) de la suite du processus, avec le remplissage des parois sans modelage (en orange). **F.** Capture *Blender*® (vue zénithale) du tunnel d'entrée reconstruit et modelé (en orange). **G.** Capture *Blender*® où la flèche indique l'entrée reconstituée, vue depuis le haut de la *Salle A*.

Quant à la troisième entrée, j'ai recueilli à son propos les informations suivantes :

Lors des fouilles du porche d'entrée, dirigées par Obermaier peu après la découverte de la grotte, fut dégagée une entrée supplémentaire vers l'espace souterrain, venant s'ajouter aux deux accès de l'étage supérieur. Celle-ci, dénommée « entrée moustérienne », était rattachée selon les rapports de fouille anciens à des niveaux moustériens, suivis des couches appelées « aurignacien alpha », « beta », « gamma » et « delta » (Obermaier, cité par Lanzarote Guiral, 2011) (Figure 65, D).

Or, en analysant le plan de la cavité, on s'aperçoit qu'il existe une galerie, passant sous l'entrée actuelle, qui selon son développement topographique devrait mener à celle-ci. Ce couloir est dénommé « Galerie gravettienne ». Il est donc approprié de se questionner sur le niveau exact dans lequel cette entrée avait été ouverte. En effet, les fluctuations au niveau des dénominations de termes des périodes anciennes du Paléolithique récent, au long de l'histoire de la discipline, invitaient à vérifier cet aspect. De plus, les mains négatives étant rattachées à ces époques anciennes, si cette entrée était découverte à la hauteur des niveaux aurignaciens ou gravettiens, il fallait la considérer dans l'étude spatiale, comme constituant un accès facilité (car plus bas) vers l'intérieur.

Le modèle tridimensionnel de la cavité vint confirmer l'hypothèse de la connexion de la « Galerie gravettienne » à cette entrée, car celle-ci s'arrête clairement à quelques mètres à peine de l'escalier actuel, où l'entrée se trouvait (Figure 65, E & F). La comparaison du modèle avec des images actuelles, puis avec des clichés anciens, permit de situer avec plus de précision son emplacement. Celui-ci fut ensuite rattaché aux informations graphiques et aux sources écrites des fouilles du début du siècle passé (Obermaier, 1916; Lanzarote Guiral, 2011), ainsi que des fouilles récentes (Cabrera Valdés et al., 2001, 2002, 2004, 2005; Bernaldo de Quirós et al., 2010, 2015).

Toutes les informations s'accordent pour dire que cette entrée était complètement enfouie lors de l'occupation gravettienne de la cavité, et même celle des Aurignaciens. Elle se rattache donc bien au Paléolithique initial, et son nom de « Galerie gravettienne » est à relier uniquement à la présence de gravures au style identifié comme gravettien, plutôt qu'à une possible entrée ouverte à cette période.

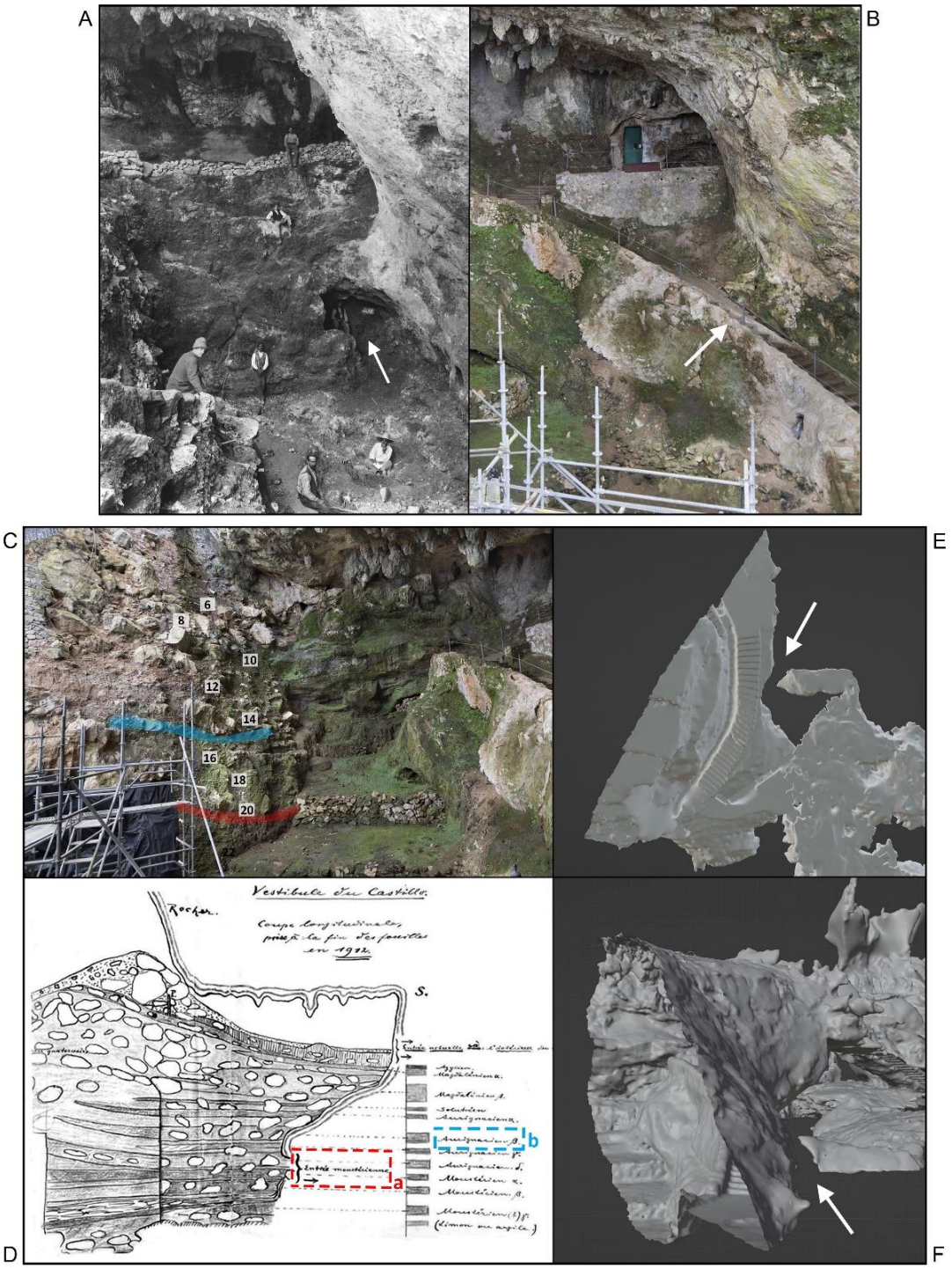


Figure 65. Croisement de données par rapport à la troisième entrée de la grotte d'El Castillo. **A**. Photographie ancienne de l'entrée lors de la campagne de fouilles de 1913 (d'après Lanzarote Guiral, 2011 © *Institut de Paléontologie Humaine*). La flèche blanche indique l'entrée moustérienne. **B**. Photo actuelle avec une flèche indiquant l'emplacement de l'entrée aujourd'hui fermée. **C**. Indication des niveaux de fouille selon Bernaldo de Quirós et al. (2015). Le niveau 14 correspond à un niveau gravettien (29.600 ± 180 BP non calibré et 33.938 ± 282 BP calibré), appelé *Aurignacien beta* dans la fouille d'Obermaier (Bernaldo de Quirós et al., 2010) et le niveau 20 au Moustérien (43.300 ± 3800 BP) (Cabrera Valdés et al., 2004). **D**. Relevé stratigraphique de la fouille d'El Castillo dessiné par Hugo Obermaier à la fin de la campagne de 1912 (d'après Lanzarote Guiral, 2011 © *Institut de Paléontologie Humaine*). **a)** Entrée moustérienne, située dans le *Moustérien a*. **b)** Niveau *Aurignacien beta* correspondant au niveau 14 du Gravettien d'après Bernaldo de Quirós et al. (2010). **E**. Capture *Blender*® du modèle 3D où la flèche indique la fin de la *Galerie gravettienne*, qui était probablement connectée à l'entrée du Moustérien. **F**. Capture *Blender*® du modèle 3D sous un autre angle, où la flèche blanche, indiquant la même zone, montre que la galerie du Gravettien mène à la hauteur de son entrée sur les images d'archives.

5.1.1.2.2. Galerie gravettienne

Par rapport à la *Galerie gravettienne* dont je viens de faire mention, les modifications que j'y ai apportées sont essentiellement liées à l'abaissement des sols et la suppression des éléments d'apport anthropiques (lumières, etc.), ainsi que des sphères de scan. Pour définir les niveaux de sols anciens, deux clichés issus de la collaboration avec l'Institut Frobenius ont été essentiels (Figure 66). Par ailleurs, le niveau de sol visible dans les photos anciennes correspond à l'estimation que j'avais effectuée sur base de mes observations *in situ* en collaboration avec Martin Arriolabengoa (EHU) lors de l'étude géomorphologique. J'ai ainsi remonté légèrement le niveau du sol de la *Galerie gravettienne* dans certaines zones, lorsque des coupes apparaissaient clairement. Au niveau de l'endroit où elle débouche dans le *Bas-Côté*, un dénivelé, également observable, fut aussi modifié.

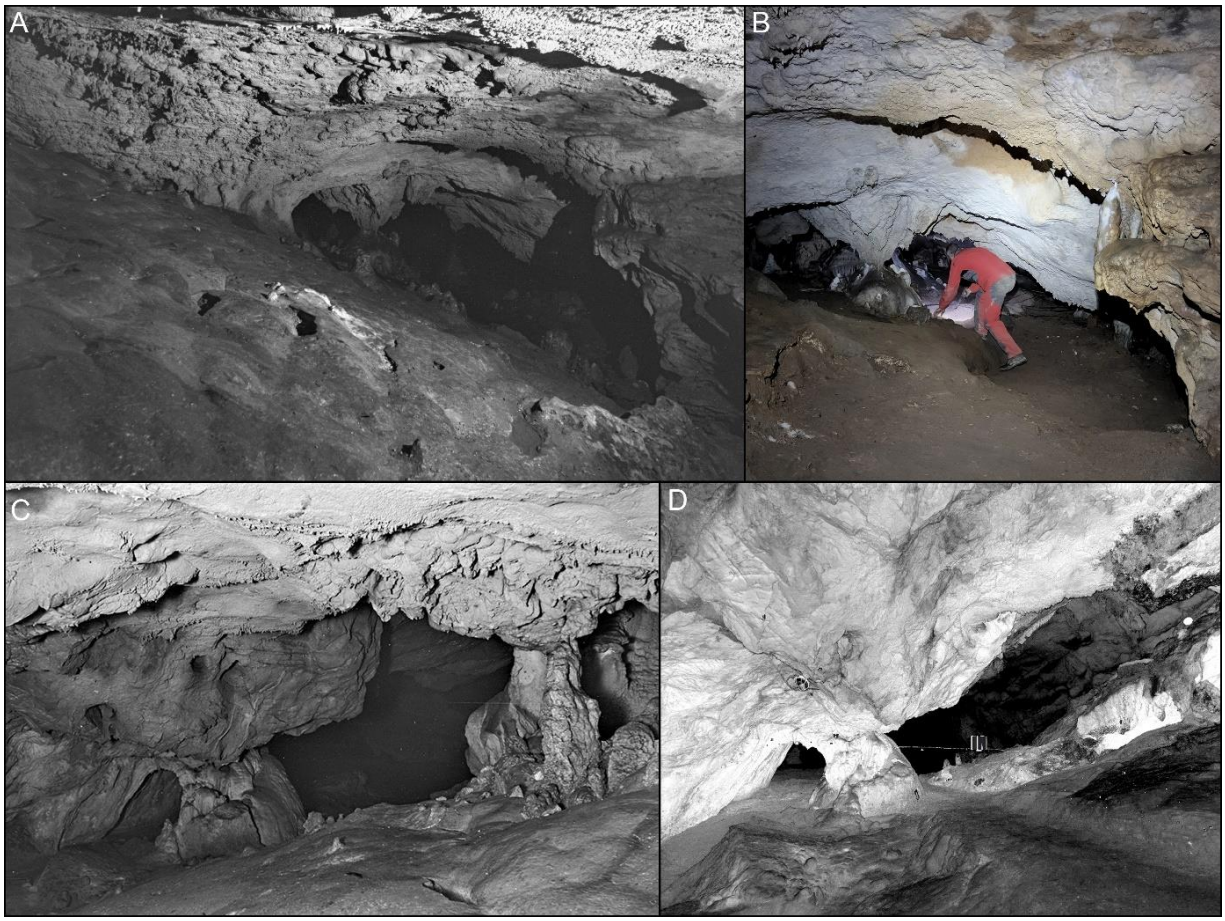


Figure 66. **A.** Photographie de la *Galerie gravettienne* en 1936 (© *Frobenius Institute*). **B.** Photographie de l'état actuel de la même zone, où l'on peut observer d'importantes modifications du sol. **C.** Photographie d'une autre partie de la *Galerie gravettienne* en 1936 (© *Frobenius Institute*). **D.** Capture du logiciel *SCENE LT*® de la même zone où l'on peut également observer des modifications au niveau du sol.

5.1.1.2.3. Salle A

Les témoignages oraux recueillis par rapport à la *Salle A*, notamment à propos de son utilisation pour stocker du remblai lors des grands travaux (avec des sacs découverts dans le sol lors de petits travaux liés à l'électricité) suggèrent qu'il y eut beaucoup d'activité de modification de sol dans cette galerie et son diverticule. De plus, dans leur description de cette salle, Alcalde del Rio, Breuil et Sierra (1911, p. 113) parlent également de trous, sans doute historiques, de « chercheurs de calamine », qui ne sont plus visibles aujourd'hui :

« (…) « Grande Salle », dont les proportions mesurent environ 30 mètres de long, sur une largeur maxima d'à peu près 25 mètres. Elle présente diverses subdivisions : en suivant sa paroi gauche, elle se prolonge en une vaste chambre sans issue mesurant à peu près la même longueur, mais n'ayant que 10 mètres de large et 4 mètres de haut ; toute cette région gauche de la grande salle, avec ce vaste diverticule qui lui fait suite, est sèche, sans concrétions ; des trous creusés dans le sol par des chercheurs de calamine laissent voir des couches ossifères multiples, qu'il faudra explorer avec soin. »

Une image capturée par l'Institut Frobenius illustre l'espace de la galerie mais n'offre pas énormément de détails, laissant une grande partie de l'espace dans l'ombre (Figure 67). Dès lors, sans davantage d'informations, il est difficile de spéculer sans tomber dans l'arbitraire pur. Le sol fut donc laissé à son état actuel et le travail de reconstruction restreint à la suppression des très nombreuses additions anthropiques observées lors du travail de terrain (escaliers, sources lumineuses, piliers, barrières, etc.) (Figure 68).



Figure 67. Photographie de la *Salle A* depuis l'entrée de la cavité en 1936 (© *Frobenius Institute*).

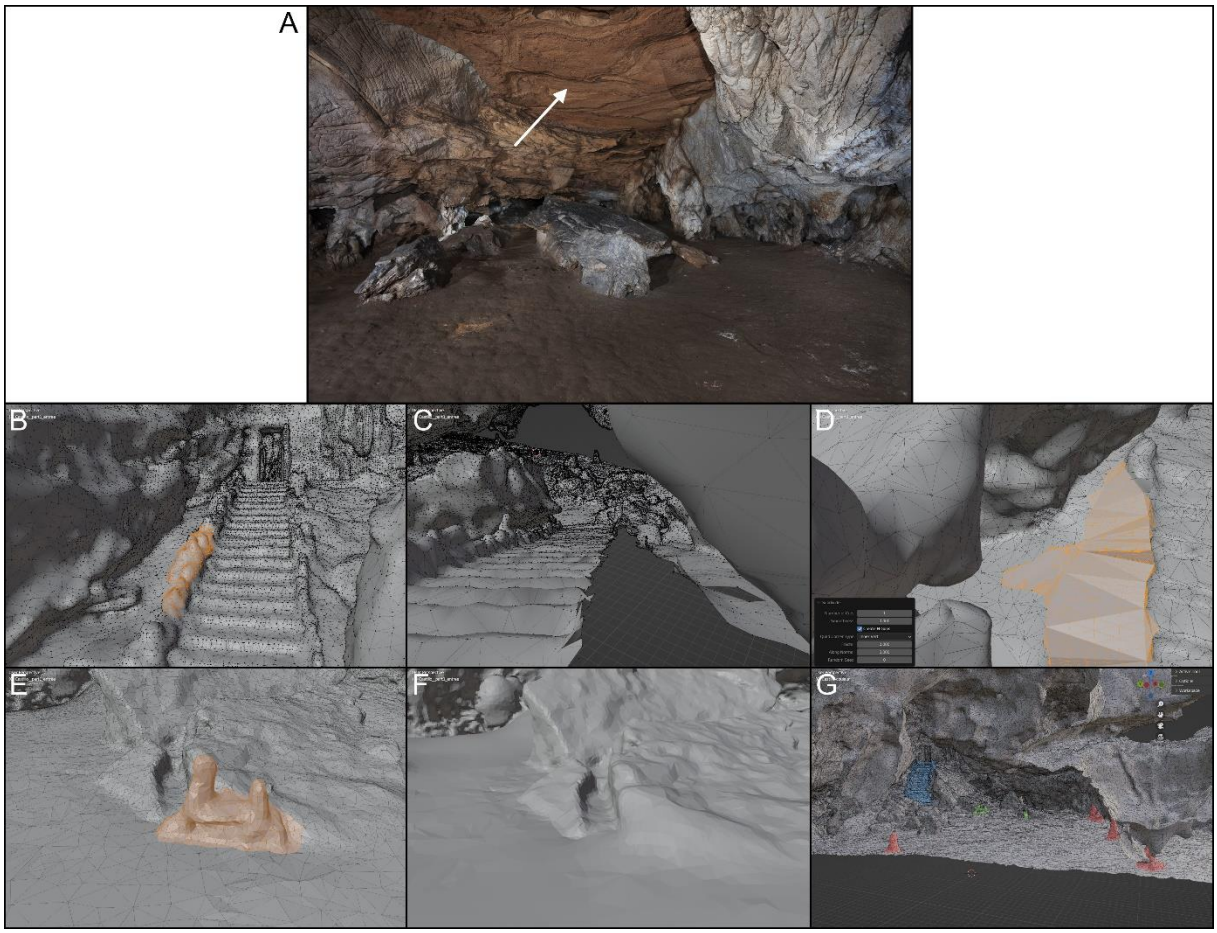


Figure 68. **A**. Photographie d'un faux plafond de coulée stalagmitique dans le fond du *Diverticule de la Salle A*, identifié par l'analyse géomorphologique. **B**. Capture *Blender*® du processus de modification des éléments d'ajouts anthropiques liés à l'adaptation au tourisme. En orange, sélection d'une partie des éléments à modifier. **C**. Capture *Blender*® de la même zone vue d'en haut où ces éléments ont été supprimés. **D**. Capture *Blender*® de la même zone reconstruite par des polygones avant modelage. **E**. Capture *Blender*® où est sélectionnée en orange une structure de lumières à supprimer. **F**. Même zone après modification. **G**. Vue d'un segment de la *Salle A* avec mise en couleur des éléments à modifier.

5.1.1.2.4. Bas-Côté

Le *Bas-Côté* intègre plusieurs secteurs ornés, le *Panneau des Polychromes* et le *Plafond des Mains*, qui seront détaillés séparément.

5.1.1.2.4.1. Panneau des Polychromes

Au niveau du *Panneau des Polychromes*, les photos d'archives (Figure 69) indiquent la présence d'un sol plus irrégulier, d'un niveau assez similaire à celui présent aujourd'hui. On peut y noter la présence de ce qui semble être du remblai au niveau de la paroi, mais la différence de niveau n'étant pas importante, le sol fut laissé tel qu'il est aujourd'hui (en supprimant cependant les éléments évidents d'apport anthropique moderne).

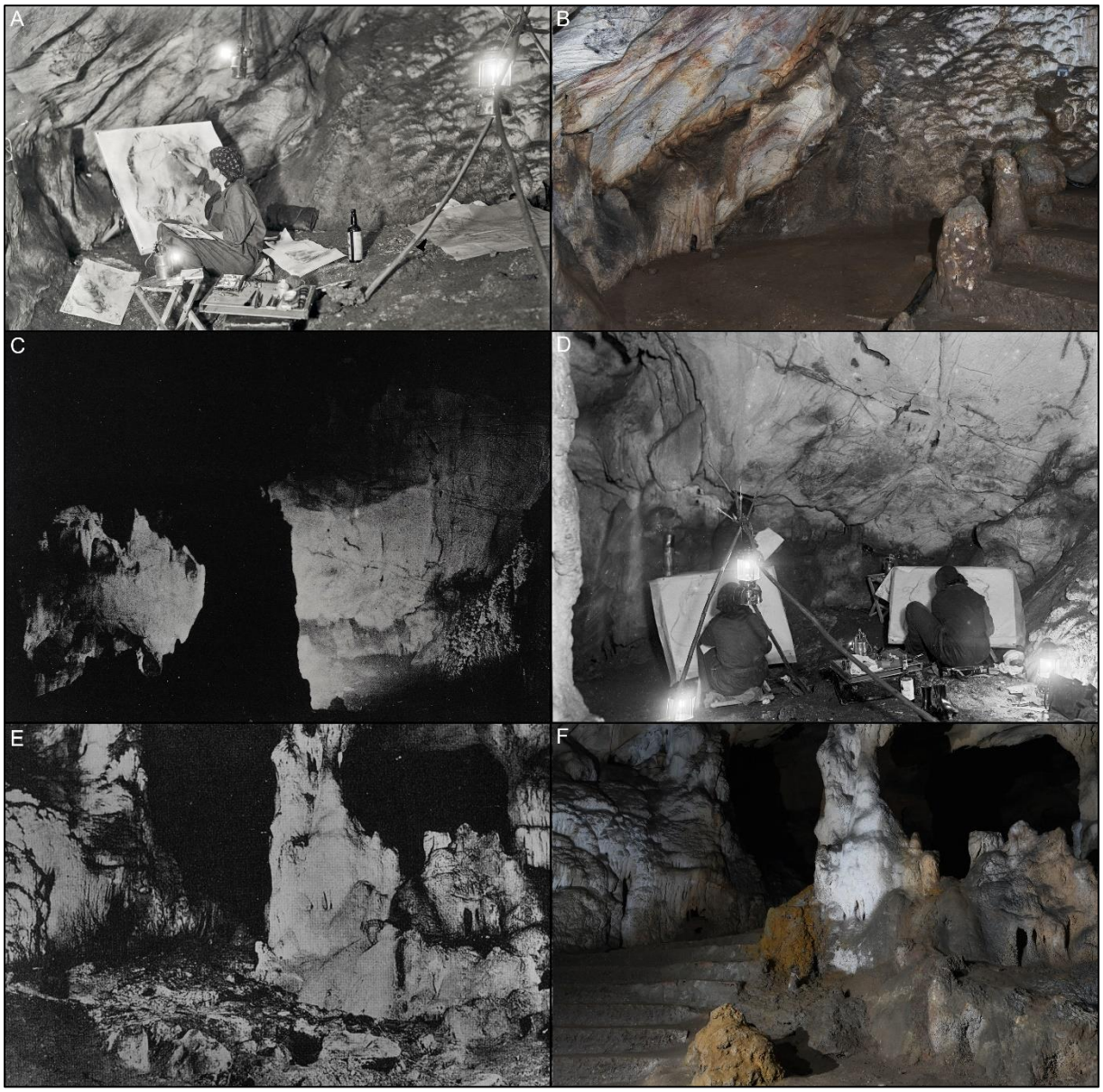


Figure 69. **A**. Photographie ancienne de la zone devant le *Panneau des Polychromes* de 1936 (© *Frobenius Institute*) **B**. Photographie actuelle du même endroit, montrant le nettoyage du sol et les modifications anthropiques (escaliers et spéléothèmes ajoutés artificiellement). **C**. Photographie (plan plus large) du même endroit des *Cavernes de la Région Cantabrique* (1911). **D**. Autre photographie de la même zone de l'expédition du *Frobenius Institute* de 1936. Photographie d'une vue du même endroit, en vision inverse, avec le *Panneau des Polychromes* dans le dos, en direction de la *Salle A*, des *Cavernes de la Région Cantabrique* (1911). **E**. Photographie actuelle du même endroit. On peut y observer par comparaison les modifications effectuées au niveau du sol et les apports de structures pour l'implémentation de lumière artificielle.

5.1.1.2.4.2. Plafond des Mains

Pour ce qui est du *Plafond des Mains*, la documentation picturale était très restreinte, orientée principalement vers le *Plafond* en lui-même. Cependant, des rabaissements du sol sont observables *in situ* dans sa partie basse, le long et surtout en dessous des escaliers. J'ai donc supprimé les éléments d'apport anthropique moderne et légèrement remonté le niveau du sol

dans ces zones. Par ailleurs, l'étude géomorphologique a permis de détecter la présence des vestiges de sol ancien (Figure 70, D), sur lesquels j'ai basé le niveau de sol à cet endroit.

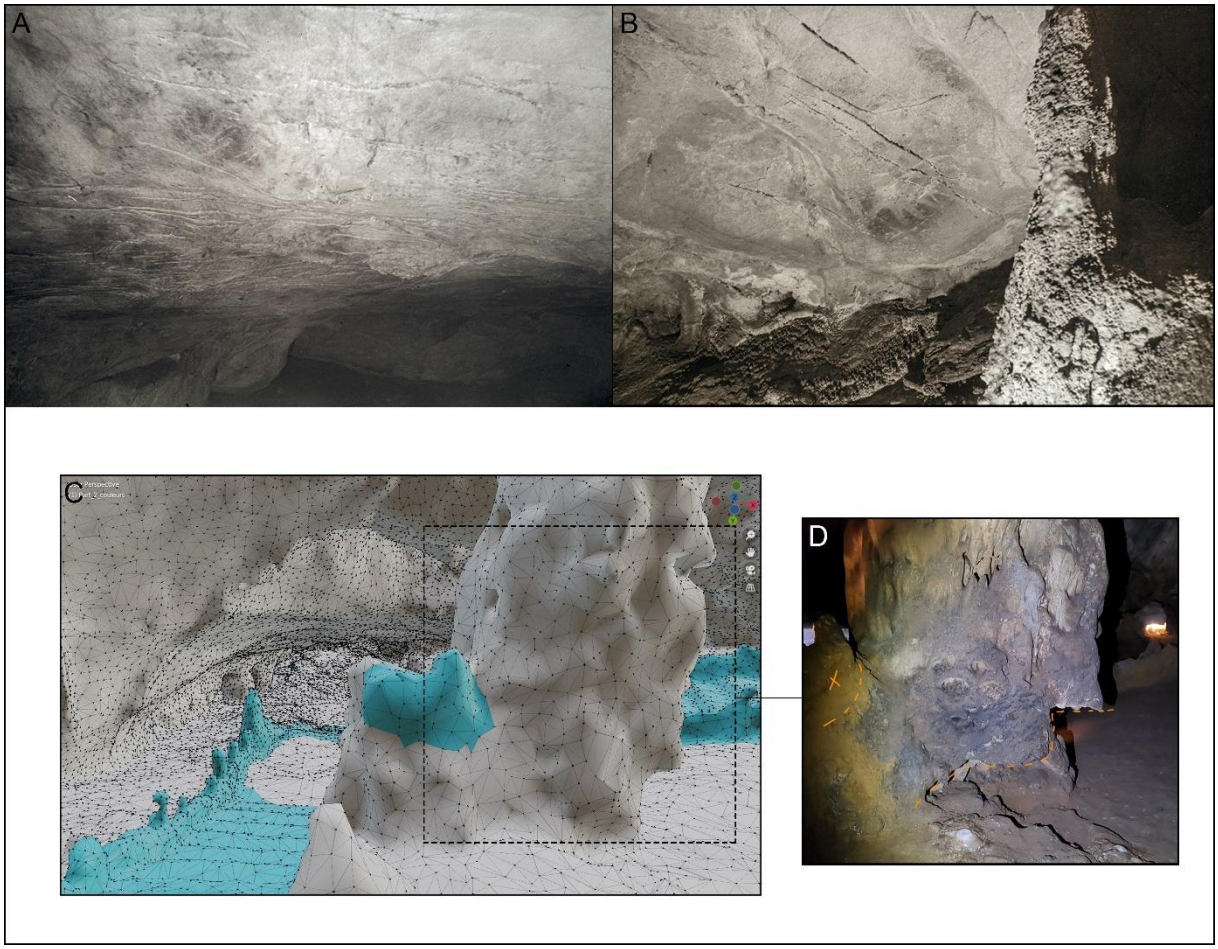


Figure 70. **A.** et **B.** Photographies du *Plafond des Mains* tel qu'il était en 1936 (© *Frobenius Institute*). **C.** Capture *Blender*® du modèle 3D de la cavité avec, en bleu, les zones à modifier. **D.** Note de terrain montrant, en orange, le niveau ancien du sol identifié lors de l'analyse géomorphologique, ainsi que des structures artificielles à supprimer.

5.1.1.2.5. Carrefour

Vers le *Carrefour*, on observe un sol qui paraît intact sur le côté droit en montée depuis le *Plafond des Mains*, et les mains à cet endroit sont hautes mais accessibles sans problème en montant sur les concrétions. Cela permet de penser que le sol paléolithique devait être généralement similaire au niveau actuel (sous les escaliers). Ces suppositions se trouvent confirmées dans l'ensemble par les photos de 1936 (Figure 71), et la restitution fut donc orientée en fonction.

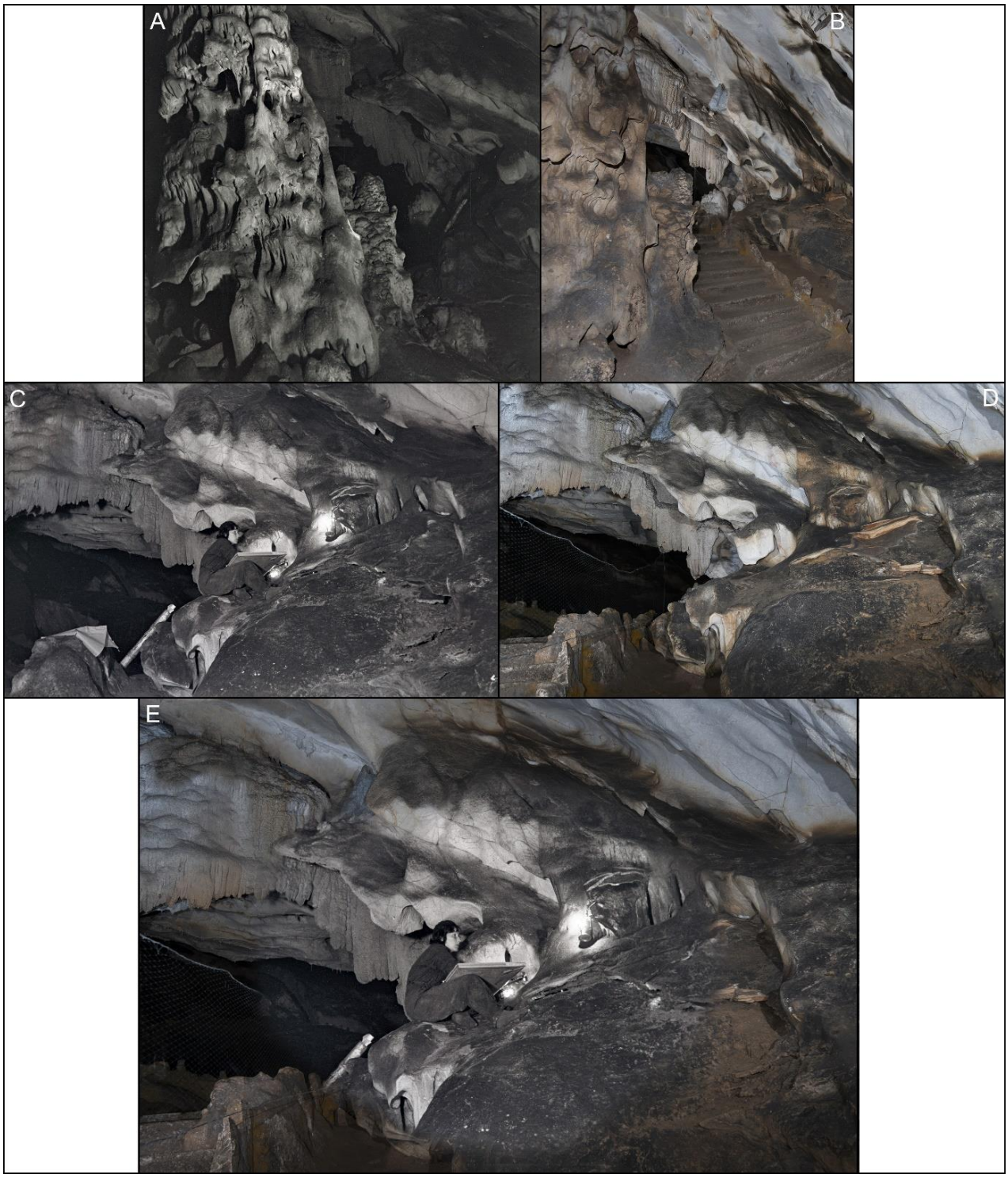


Figure 71. **A.** Photographie d'une vue du *Carrefour* depuis le *Plafond des Mains* en 1936 (© *Frobenius Institute*). **B.** Photographie actuelle de la même zone où l'on peut observer par comparaison les nombreux changements ayant eu cours. **C.** Vue plus rapprochée du carrefour durant l'expédition du *Frobenius Institute* de 1936. **D.** Vue actuelle de la même zone, où se distingue particulièrement la fragmentation et la perte d'éléments de la cascade stalagmitique, qui par ailleurs fut utilisée comme support pour plusieurs gravures paléolithiques. **E.** Fusion des deux images antérieures pour illustrer au mieux les changements spatiaux.

5.1.1.2.6. Salle du Chaos

Pour la *Salle du Chaos*, appelée aussi à cause du chaos de blocs la jonchant (Figure 72, A), la question était de savoir si ces gros blocs s'étendaient pas originellement jusqu'à la paroi, et auraient été détruits pour faciliter le passage et créer l'escalier descendant depuis la *Salle A* durant le 20ème siècle. Cependant, les commentaires d'Alcalde del Rio, Breuil et Sierra (1911, p. 114), qui décrivent un espace entre les blocs et la paroi (ce qui est également illustré sur leur plan, Figure 72, B), suggèrent que cette idée doive être écartée :

« (…) On peut y arriver par un passage plus commode si, venant du vestibule, on prend la droite de la grande salle, entre les corridors qui mènent au bas côté, et d'immenses roches tombées formant une traînée d'une quarantaine de mètres, parallèle, à 5 à 6 mètres de distance, aux murailles de la grande salle. »

La modification fut donc limitée à la suppression des sphères de scan (Figure 72, C et D), des apports modernes et de l'élévation légère du sol aux endroits où son surbaissement faible avait été noté *in situ*.

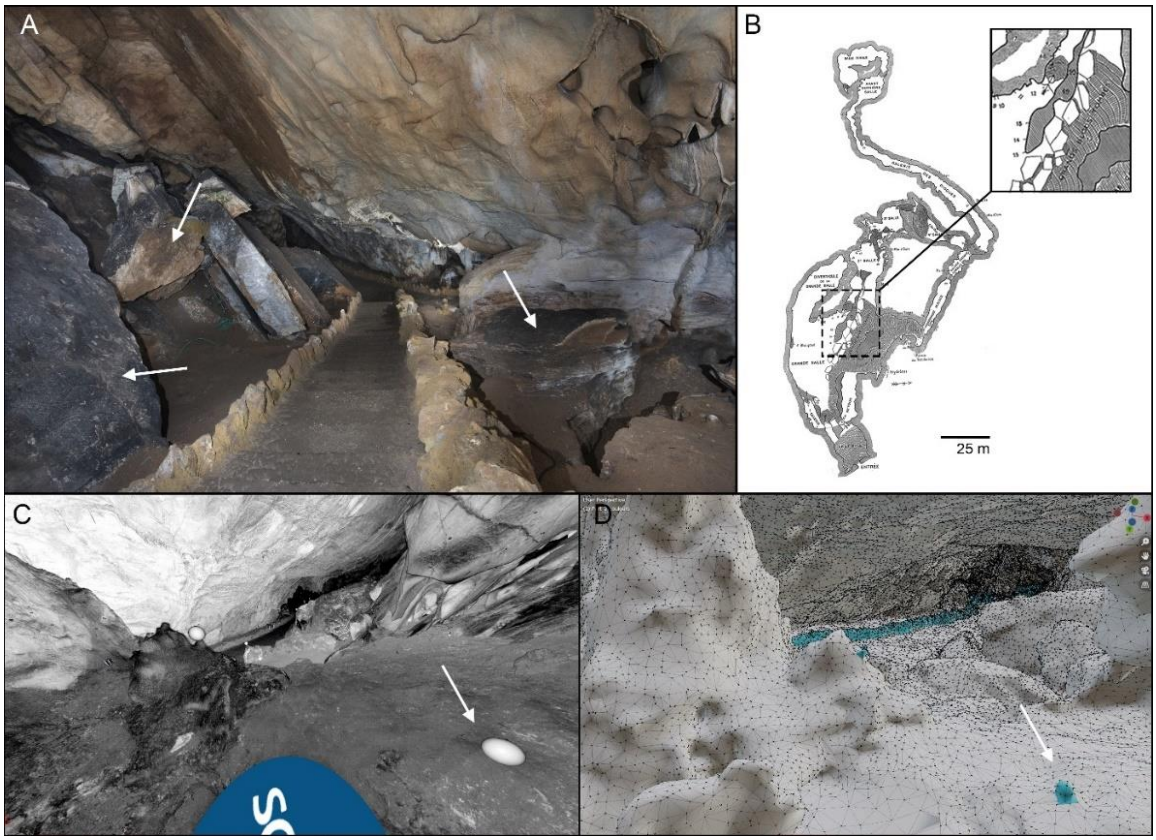


Figure 72. **A.** Vue de la *Salle du Chaos* où les flèches indiquent des blocs de plafond effondrés antérieurement à la modification anthropique de la cavité durant le 20ème siècle, identifiés par l'analyse géomorphologique. **B.** Capture du logiciel *SCENE LT* d'une vue depuis le haut de la *Salle du Chaos*. La flèche indique une sphère placée lors du processus de scan. **C.** Vue du même endroit dans le logiciel *Blender*® où la flèche indique ladite sphère (en bleu). **D.**, **E.** et **F.** Notes de terrain des ajouts anthropiques à modifier dans la *Salle du Chaos*.

5.1.1.2.7. Toboggan

Par rapport à la zone du *Toboggan*, reliant la *Salle A* à la *Salle B*, l'étude géomorphologique a mis en évidence la présence de reliques d'anciens sols de la cavité sur le panneau des signes campaniformes (Figure 73). J'ai donc pris le parti de remonter le sol à ce niveau, en plus de supprimer les marches (creusées d'une part et en pierre d'autre part), les structures d'illumination et les sphères de scan.



Figure 73. *Toboggan*, panneau des signes campaniformes. Les flèches indiquent des vestiges d'anciens sols de la cavité identifiés par l'analyse géomorphologique.

5.1.1.2.8. Salle B

Pour ce qui est de la *Salle B*, Alcalde *et al.* (1911, p. 114) y décrivent un *plancher uni*. Cependant, ils précisent aussi que :

« Dans le sol argileux de cette salle, il existe un gisement archéologique à aspect très archaïque : l'un de nous (Breuil), a en effet recueilli, dans les terres remuées, de gros galets d'ophite taillés à grands éclats d'aspect Paléolithique ancien. Les recherches d'Alcalde del Rio, Breuil et Obermaier en 1910 ont permis de retrouver le niveau a ophites taillés à la phase du remplissage de la terrasse précédant l'entrée ; Breuil a également rencontré une importante station de même

caractère au pied de la montagne, dans l'argile remplissant les anfractuosités du calcaire carbonifère. ».

La description d'un plancher uni, qui oriente vers la supposition que le sol était assez similaire à celui d'aujourd'hui, est contrebalancée par l'utilisation des termes *terres remuées* qui sous-entend plutôt la présence de mouvement et de modification de niveau de sol, malgré qu'il soit fait référence à des époques antérieures à celle des mains négatives.

Les photos anciennes (Figure 74) montrent quant à elles très peu de différences au niveau du sol. Il ne fut donc pas modifié.

La *Salle B* constitue également un cas particulièrement intéressant de la documentation inédite de l'Institut Frobenius, au sujet du tunnel la reliant à la *Salle C*. Ce passage, qualifié par Alcalde del Rio, Breuil et Sierra de « cascade évidée et intentionnellement défoncée » (Alcalde del Río et al., 1911, p. 114), a suscité une série d'interrogations : Les Paléolithiques auraient-ils pu passer par là, ou l'ouverture était-elle complètement fermée ? La configuration observée par Alcalde del Rio, Breuil et Sierra était-elle identique à la grande ouverture actuelle ? Ceci, car Alcalde del Rio (1906, p. 57) mentionne le tunnel en 1906 sans spécifier un état dégradé :

« Dos nuevos pasos, semejantes a los primeros que encontramos, aparecen en el fondo de ésta sala, K [*B*]; uno a la izquierda que divide el muro por rasgada brecha y otro a la derecha formando pequeño túnel ; ambos paralelamente conducen a otra sala, L [*C*] (…). [Deux nouveaux passages, semblables aux premiers rencontrés, apparaissent au fond de cette salle K [*B*] ; l'un à gauche, qui divise le mur par une étroite ouverture, et l'autre à droite, formant un petit tunnel ; tous deux mènent parallèlement à une autre salle, L [*C*] (…)] ».

La présence d'escaliers implique évidemment une modification récente, mais ils ont pu être installés sur un tunnel déjà profond, tout comme ils peuvent, au contraire, témoigner d'un remodelage massif de l'espace à cet endroit, pour éviter aux touristes d'avoir à grimper pour accéder à la salle suivante.

Un certain nombre d'éléments ont répondu à ces questions. Pour le premier point, notre observation *in situ* a permis de distinguer une série de traces de coloration rouge sur le plafond du tunnel (déjà remarqués par Groenen & Groenen, 2025). Il fut donc conclu que, selon toute vraisemblance, les Paléolithiques étaient passés par là. C'est pour la deuxième question, de savoir si le tunnel avait été approfondi au cours du 20ème siècle, que la documentation photographique de l'Institut Frobenius a été particulièrement utile. Deux photos de la zone ont en effet été mises en lumière (Figure 75), révélant clairement la différence entre l'état du tunnel

aujourd'hui et celui de 1936. Sur la base des éléments recueillis, j'en ai conclu que les Paléolithiques auraient pu passer par cette ouverture, même si elle était beaucoup moins commode à emprunter qu'aujourd'hui. Dans ma reconstruction, j'ai donc décidé de rehausser le niveau du sol en me basant sur les lignes latérales du sol observées *in situ* dans le tunnel, sans l'obstruer complètement.



Figure 74. **A**. Photographie de la *Salle B* en 1936 (© *Frobenius Institute*). **B.** Photographie actuelle de la même zone.



Figure 75. *Salle B*. **A**. Photographie du tunnel entre la *Salle B* et la *Salle C* en 1936 (© *Frobenius Institute*). **B**. Photographie de l'état actuel de la même zone, avec repère sur la hauteur du sol ancien. **C**. Photographie d'un détail du côté gauche du tunnel entre la *Salle B* et la *Salle C* en 1936 (© *Frobenius Institute*). **D**. Photographie d'un détail du côté droit de ce tunnel, à droite de l'escalier passant par-dessus le tunnel sur la droite, visible en B.

5.1.1.2.9. Salle C

Pour la *Salle C*, les modifications effectuées sont basées essentiellement sur les observations effectuées *in situ* (Figure 76) : niveau du sol relevé, suppression d'éléments d'illumination, d'escaliers et de sphères de scan. Les creusements du sol sont en effet observables sur les côtés du chemin touristique actuel et furent donc suivis pour la reconstitution.



Figure 76. Notes de terrain relatives aux modifications anthropiques modernes dans la *Salle C*.

5.1.1.2.10. Salle D

Dans la *Salle D*, des opérations similaires à celles de la *Salle C* furent effectuées, basées sur la documentation des très nombreux apports anthropiques modernes (Figure 77 et Figure 78) ainsi que d'une photo d'archive pour le *Carrousel*, la jonction avec la *Galerie des Disques*, aidant à reconstituer le sol dans cette zone, correspondant à la base de l'escalier actuel (Figure 78, B).

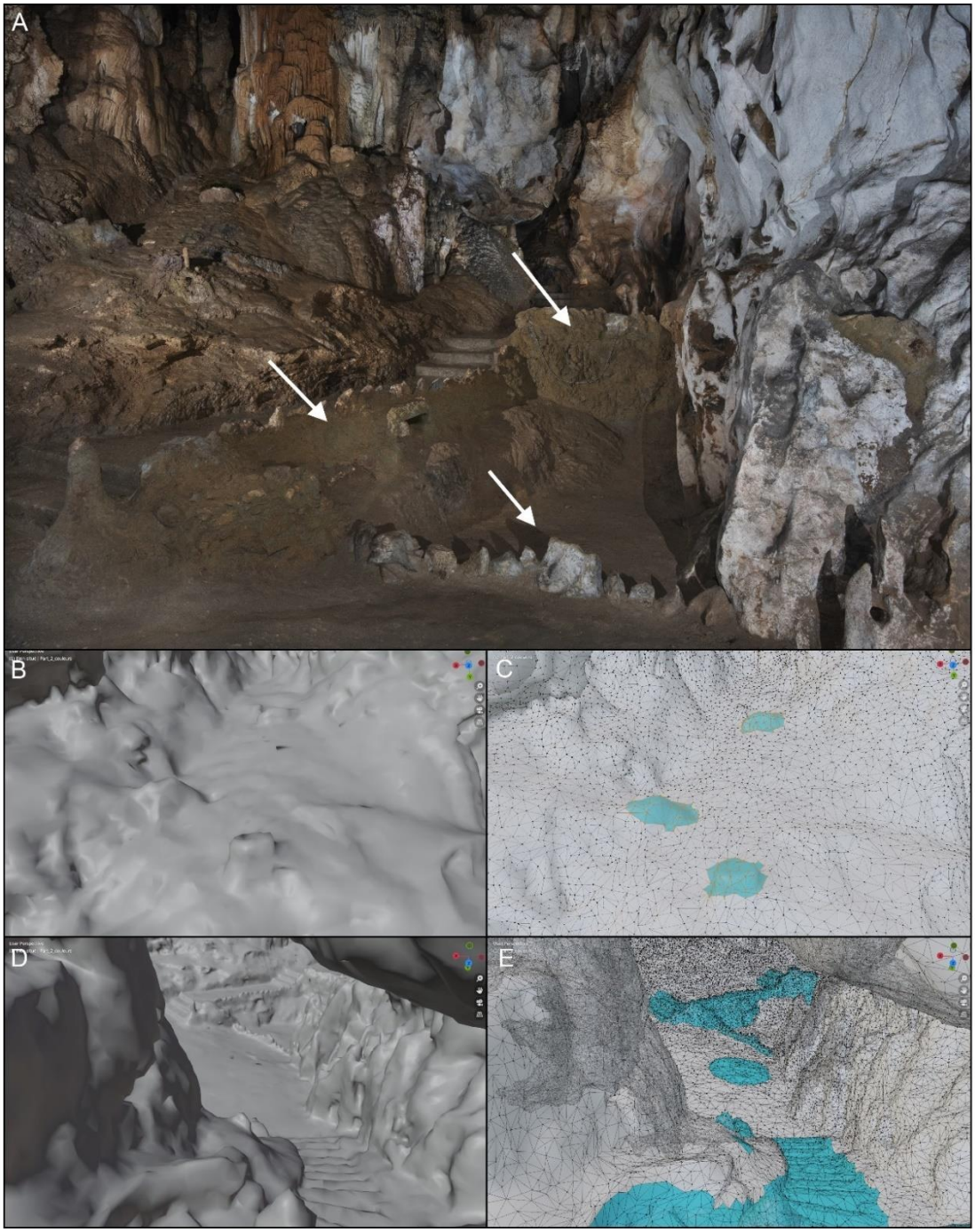


Figure 77. **A**. *Salle D*, les flèches indiquent les structures anthropiques historiques pour l'aménagement de la grotte au tourisme, identifiés par l'analyse géomorphologique. **B.** et **D.** Détail de quelques exemples de structures anthropiques telles qu'elles apparaissent dans le modèle tridimensionnel. **C.** et **E.** Mêmes structures identifiées en bleu pour modification.

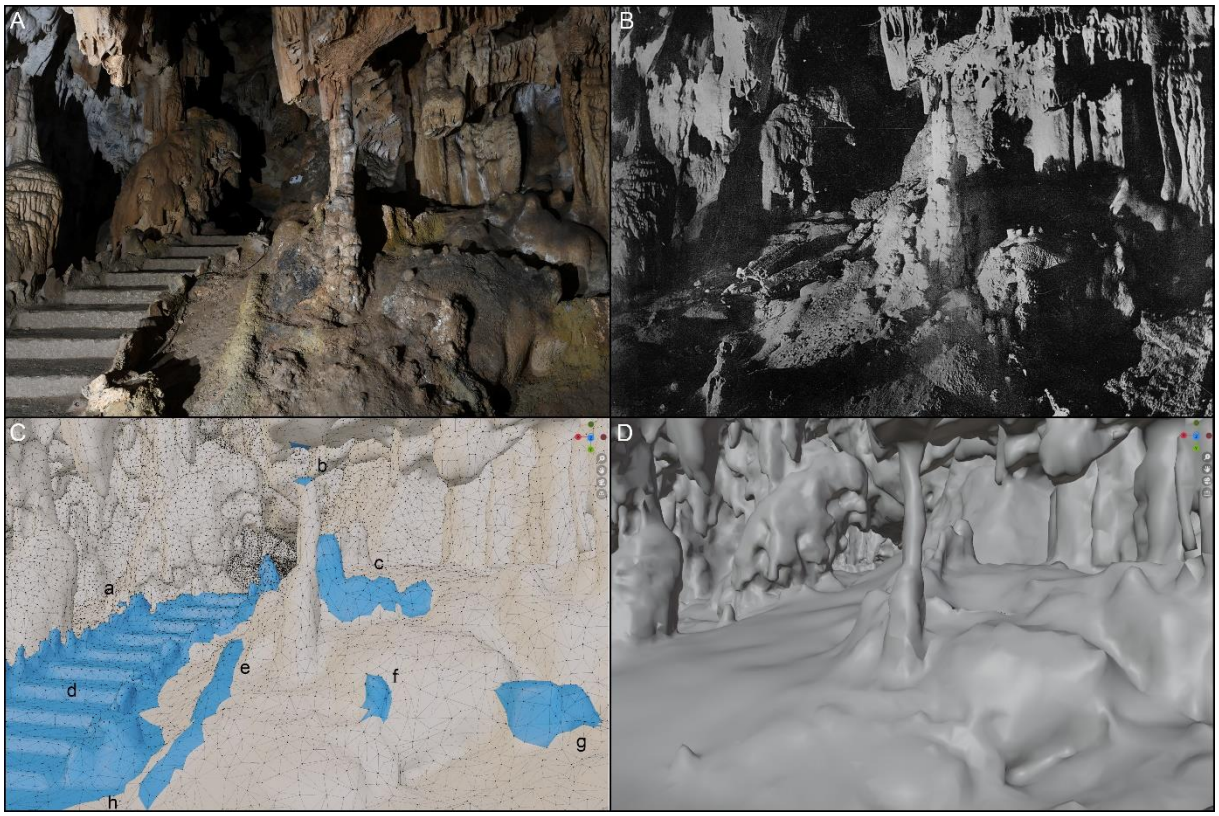


Figure 78. Modification du modèle 3D via le logiciel *Blender*® en fonction des informations recueillies dans la grotte. **A.** Photographie de l'état actuel du passage entre la *Salle D* et la *Galerie des Disques*. **B**. Photographie du même endroit des *Cavernes de la Région Cantabrique* (1911), avant les modifications anthropiques. **C**. Zones colorées à modifier. **a)** Sphère laissée par le processus de balayage laser. **b)** Colonne mal formée pendant le processus de maillage du balayage. **c)** Construction moderne dissimulant un système d'éclairage. **d)** Escaliers. **e)** Câbles semi-enterrés. **f)** Sphère laissée par le processus de balayage laser. **g)** Construction moderne dissimulant un système d'éclairage. **D**. État de la grotte au Paléolithique d'après les informations recueillies.

5.1.1.2.11. Galerie des Mains

La *Galerie des Mains* est un lieu pour lequel l'analyse géomorphologique et le croisement des données furent particulièrement utiles. Cette zone, abondamment ornée de mains négatives, était d'importance pour l'analyse spatiale, car elle constitue un accès potentiel direct vers la *Galerie des Disques*. En effet, depuis le *Plafond des Mains*, endroit de concentration majeur de ce type de motifs dans la grotte, des mains continuent à décorer les parois le long de cette galerie basse, jusqu'à arriver à un tunnel très étroit. Juste de l'autre côté de ce rétrécissement se trouvent deux autres mains négatives. Or, ce tunnel, aujourd'hui surcreusé, est très bas, et serait impraticable sans cette tranchée récente augmentant l'espace de passage.

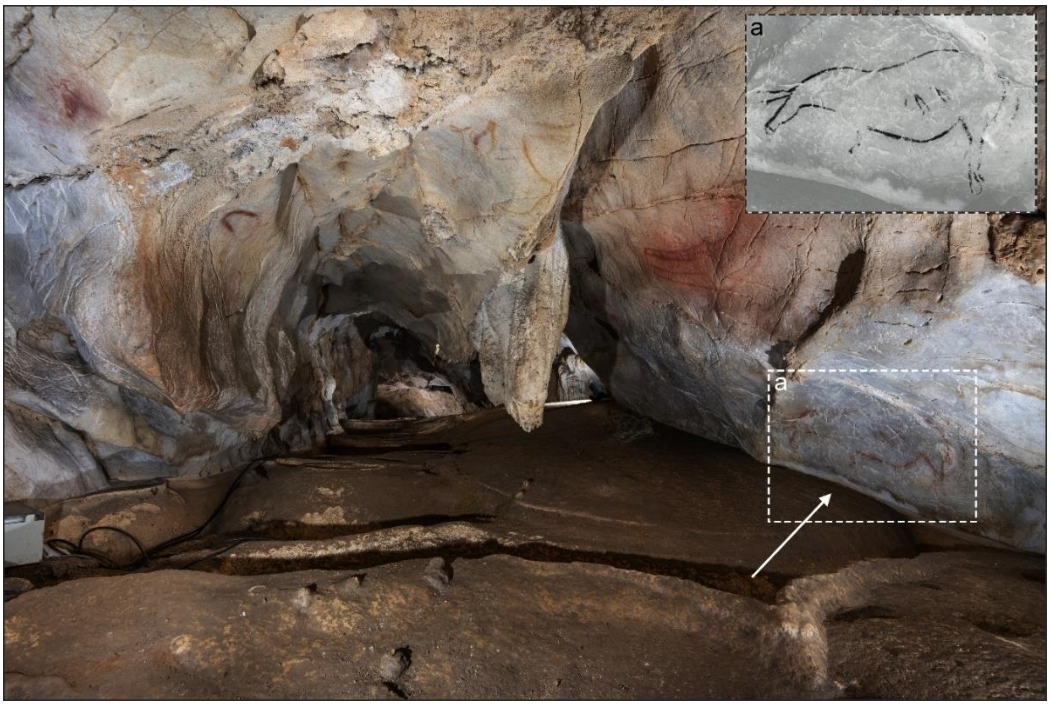


Figure 79. Situation d'un cheval rouge de la *Galerie des Mains* situé proche du sol. Le carré en pointillés (**a**) situe et détaille la figure[63] (relevé : O. Spaey, d'après la photo de Laborie).

Cependant, l'analyse géomorphologique, croisée avec une série d'autres observations, permet de penser que ce ne fut pas toujours le cas. En effet, cette zone se caractérise par une activité, avec des gours inondés fréquemment en hiver (comme c'était déjà le cas lors de la découverte (Alcalde del Rio, 1906) (Figure 80, A)). Selon les analyses stratigraphiques des coupes effectuées dans la *Galerie des Mains*, il semble qu'il y ait eu durant l'Holocène la création d'une croûte stalagmitique importante, qui aurait relevé le niveau du sol entre 10 cm et 40 cm, en fonction des zones (Figure 80, B et E). Ceci expliquerait la difficulté de passer dans le passage d'étranglement de la fin de la *Galerie des Mains* après cet événement, alors que celui-ci devait être davantage praticable durant le Paléolithique récent.

Cette hypothèse est par ailleurs cohérente par rapport à la distribution des mains négatives, dans la suite de celles de la *Galerie des Mains*, de l'autre côté du tunnel, puis en ligne directe vers le dernier exemplaire de la cavité, situé dans la *Galerie des Disques*. La présence de colorant rouge très proche du sol sur la paroi de la *Galerie des Mains* vient également corroborer cette théorie de croissance d'une croûte stalagmitique importante postérieure au Paléolithique récent (Figure 80, C et D). Le cheval présent en début de tunnel, fort proche du sol (Figure 79), pourrait également amener à cette conclusion. Face à ces données, le sol fut donc baissé dans ces zones

[63] Pour plus de clarté, le relevé est présenté ici en noir, mais la figure est en réalité bichrome, composée de tracés rouges et jaunes.

d’une dizaine de centimètres dans la reconstruction, suivant la stratigraphie et les observations réalisées (Figure 80, F).



Figure 80. Croisement d'informations pour la détermination du niveau du sol de la *Galerie des Mains*. **A.** *Galerie des Mains*, plancher stalagmitique actuel avec des gours, actifs et en formation, identifiés par l’analyse géomorphologique. **B.** Stratigraphie du terrain où la flèche blanche indique un premier niveau constitué par une importante formation de spéléothèmes, probablement Holocène. **C.** Photographie d’une zone ornée de mains négatives proches du sol, où est soulignée une zone de la paroi proche du sol où se trouvent des traces de pigment rouge. **D**. Détail des traces de pigment rouge sur le mur, au niveau du sol, indiquant une élévation du niveau de celui-ci. **a)** Sol de coulée stalagmitique. **b)** Pigment rouge, que l'on peut mieux apprécier dans le rectangle où il a été traité avec le plug-in *DStretch*® pour le programme *ImageJ*® en utilisant le spectre de couleur synthétique *yrd* pour rehausser la couleur rouge. **E.** Photographie du même endroit avec une ligne au niveau présumé du sol paléolithique. **F.** Capture *Blender*® où l'on peut voir un cube de 10 cm utilisé comme échelle pour sculpter le modèle 3D.

5.1.1.2.12. Galerie des Disques

Ce phénomène de gours et de création d'une couche de spéléothème horizontal est également d'application dans une partie de la *Galerie des Disques*, mais pas sur tout le sol de celle-ci (Figure 46, p. 142). D'autres ordres d'informations nous informent quant à eux sur les changements ayant eu lieu depuis le début du 20ème siècle. Ainsi, les photos d'archives donnent à voir l'aspect du sol à plusieurs endroits différents de cette galerie (Figure 81 et Figure 82), que j'ai reconstitué en fonction.



Figure 81. **A.** Photographie de la *Galerie des Disques* en 1936 (© *Frobenius Institute*). Le sol de cette zone, modifié, est aujourd'hui totalement plat. **B.** *Galerie des Disques*, sillons subhorizontaux formés pendant la période où la rivière était active à l'intérieur de la grotte, identifiés par l'analyse géomorphologique.

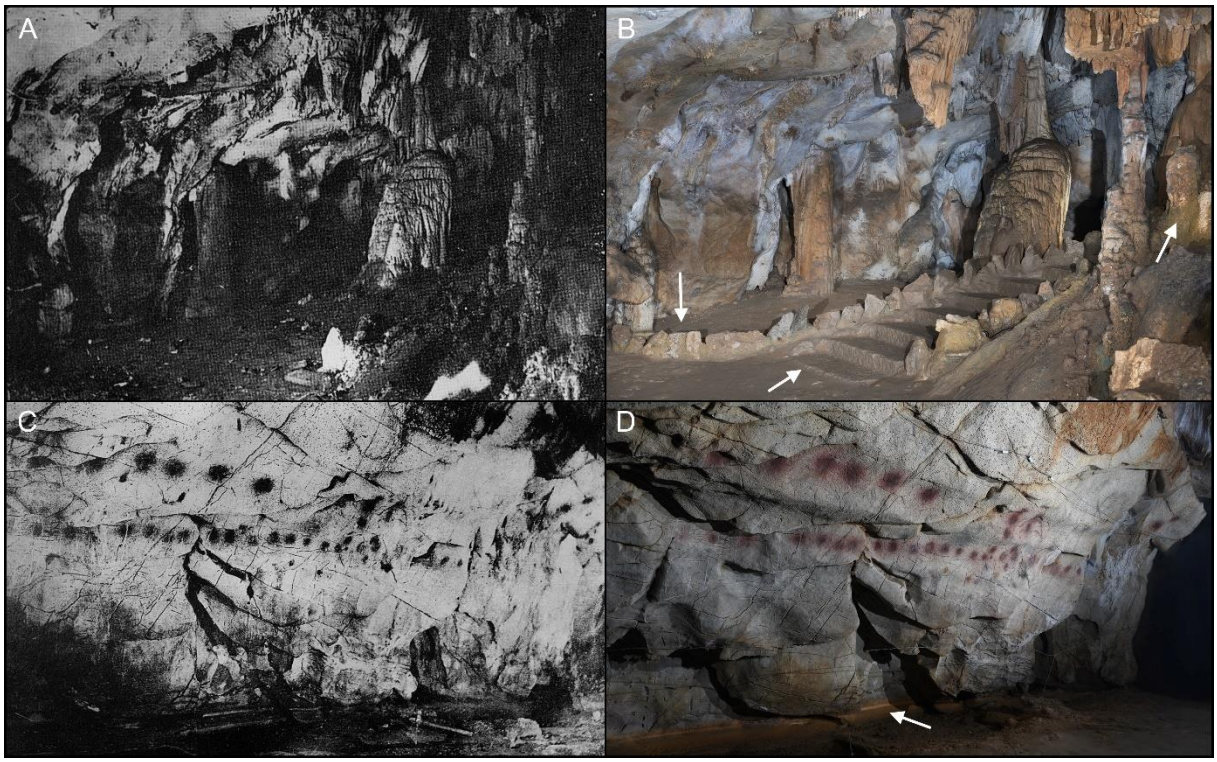


Figure 82. **A.** Photographie du passage entre la *Salle D* et la *Galerie des Disques* en 1911 (© *Les Cavernes de la Région Cantabrique*). **B.** Photo actuelle de la même zone. Les flèches indiquent les éléments de changement. **C.** Photographie de la *Galerie des Disques* en 1911 (© *Les Cavernes de la Région Cantabrique*). **D.** Photo actuelle de la même zone. On observe dans cette zone que le sol n'a pas subi de grands changements dans ce tronçon.

D'autre part, comme ailleurs, de nombreux apports modernes furent annotés *in situ* et supprimés du modèle tridimensionnel (Figure 83 et 84).



Figure 83. **A.** Capture *Blender*® d'une vue de la *Galerie des* Disques où les éléments à modifier ont été mis en couleur.

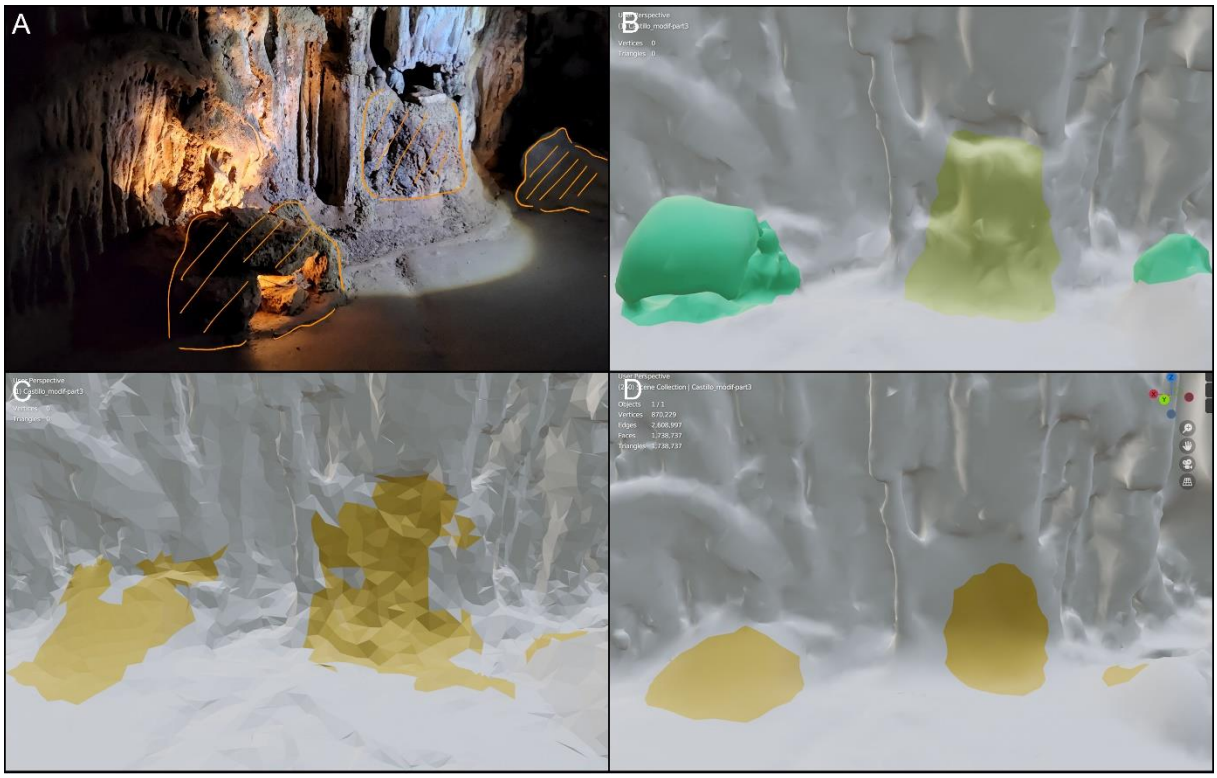


Figure 84. *Galerie des Disques.* **A**. Note de terrain identifiant des éléments d'apport anthropique. **B**. Capture *Blender*® où les éléments en question furent mis en couleur. **C**. Capture *Blender*® de l'état du modèle après modelage. **D**. Capture *Blender*® de l'état du modèle après l'application d'un effet *smooth* pour adoucir les angles des zones modifiées.

5.1.1.2.13. Salle Finale

Pour ce qui est de la *Salle Finale* et de la zone juste avant, hébergeant la colonne nommée *Pied d'Eléphant,* les changements suivants furent effectués. Durant l'observation *in situ* fut émise l'hypothèse que l'effet de suspension du *Pied d'Eléphant* avait été accentuée par un rabaissement du sol d'une vingtaine de centimètres au moins, celui-ci étant observable sur les côtés latéraux de la salle. Cependant, les photos d'archives (Figure 85, A et B) informèrent que cet abaissement était sans doute moindre que ce qui avait été suggéré. On voit en effet que la colonne était déjà en suspension à l'époque, même si les photos laissent deviner que le sol était légèrement plus haut qu'aujourd'hui. En plus de cette légère modification du niveau de sol furent supprimés dans la reconstruction les nombreux ajouts anthropiques observés dans la *Salle Finale* (Figure 85, E, F et G) ainsi que les sphères de scan.

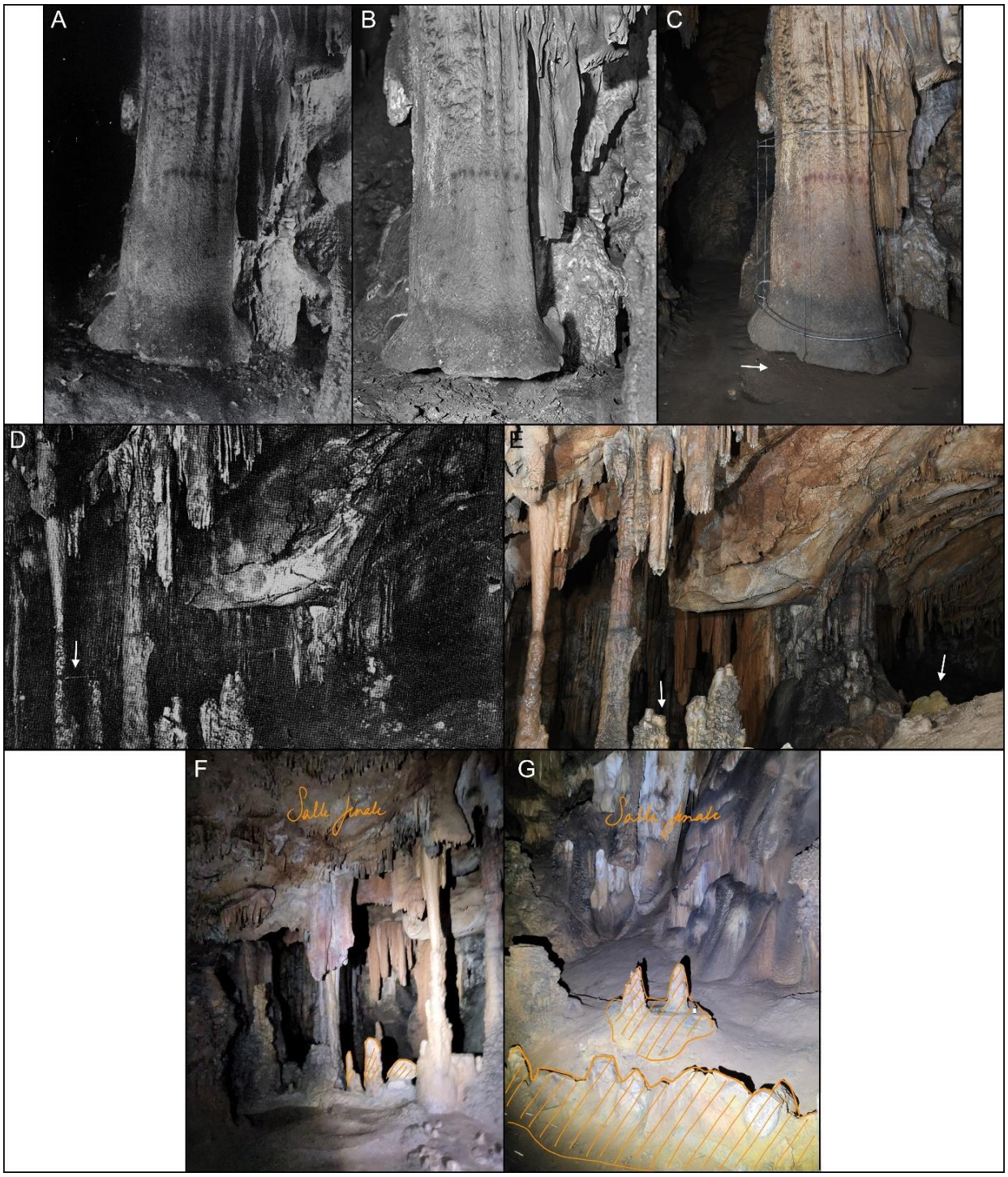


Figure 85. **A.** Photographie ancienne de la colonne dite *Pied d'éléphant* située entre la *Galerie des Disques* et la *Salle Finale* (© *Les Cavernes de la Région Cantabrique,* 1911) On voit que sa base est proche du sol, mais en suspension dans l'air. **B.** Photographie du même endroit en 1936 (© *Frobenius Institute*) **C.** Photographie actuelle du même endroit, où l'on peut observer que le sol paraît légèrement plus bas, probablement en raison des travaux du 20ème siècle pour l'ouverture touristique de la grotte. **D.** Photographie de la *Salle Finale* en 1911 (© *Les Cavernes de la Région Cantabrique*). La flèche indique des concrétions aujourd'hui manquantes. **E.** Vue actuelle de la même zone où les flèches indiquent une concrétion endommagée et des structures artificielles d'illuminations. **F.** et **G.** Notes de terrain mettant en évidence, en orange, les structures artificielles.

5.1.1.2.14. Tréfonds

Enfin, la dernière zone de la cavité, le *Tréfonds*, offre un peu plus de facilité de reconstitution car il n'a pas été aménagé pour le tourisme. De plus, la présence de deux chevaux gravés dans la *Salle en Contrebas* (le premier acéphale et le second complet (Figure 87)) vient assurer que le sol était celui foulé par les Paléolithiques à cet endroit (Figure 86).



Figure 86. *Tréfonds*, vue des surfaces de sol gravées (délimitées par des bandes de marquage rouges et blanches), qui attestent que le sol est égal à son état au Paléolithique dans ces zones. Autour, cependant, se situent diverses fouilles « sauvages », repérables à la couleur plus claire du sol à ces endroits.

Cependant, des trous dans le sol, similaires à ceux de fouilles « sauvages » (peut-être l'œuvre des *chercheurs de calamine* mentionnés précédemment) indiquent que celui-ci n'est pas vierge partout. La couleur blanchâtre des zones remuées à plusieurs endroits aide cependant à leur identification. Ces creusements furent bouchés lors de la reconstitution, tout comme les « pas de spéléologues » creusés pour faciliter le passage des cascades stalagmitiques abruptes et les sphères de scan.

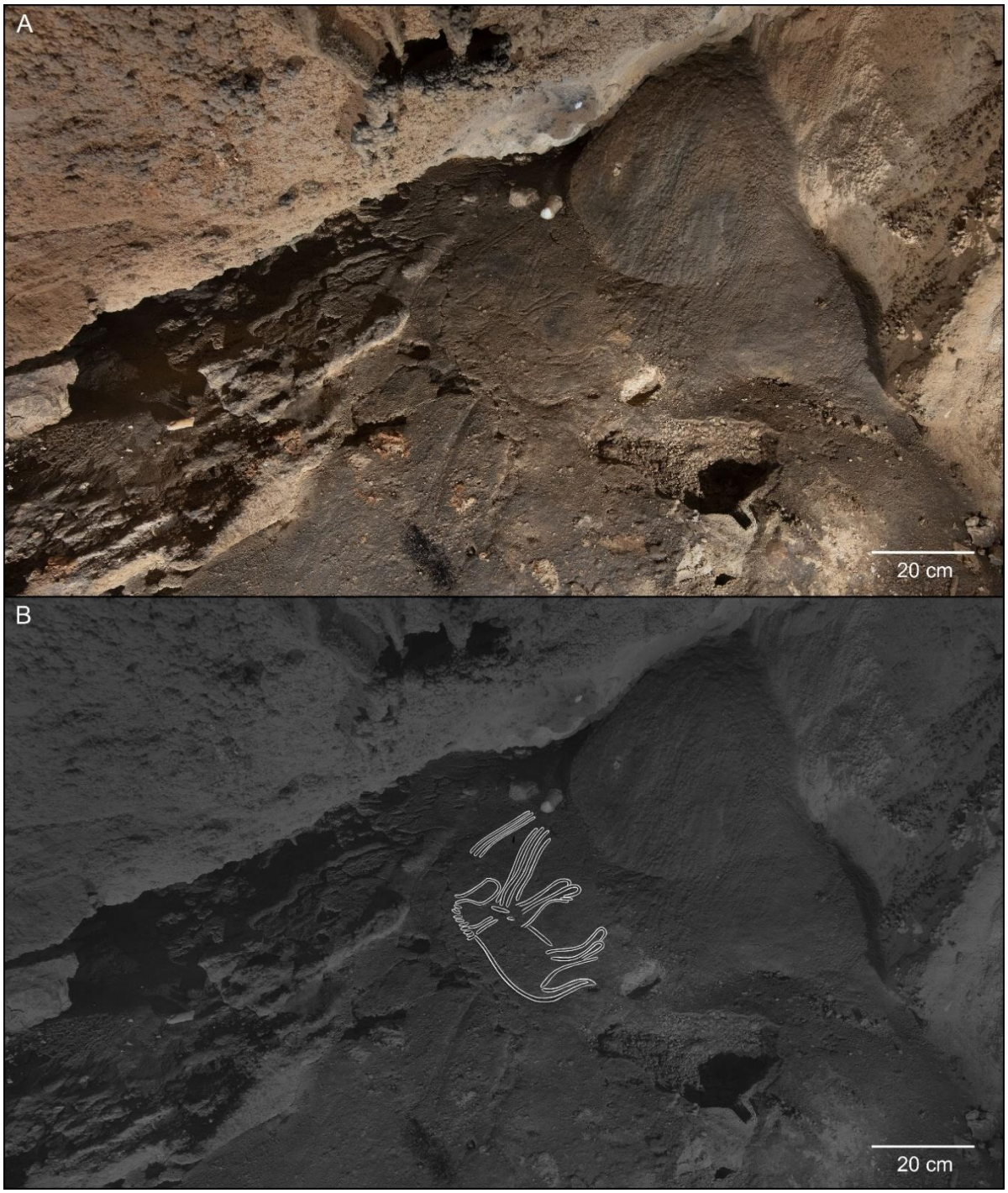


Figure 87. Cheval entier du *Tréfonds*, gravé sur le sol. **A**. Photographie. **B**. Relevé (O. Spaey). Deux séries de tracés parallèles lui sont directement juxtaposées.

5.1.2. Géolocalisation des mains négatives

Ce travail a permis de localiser avec précisément les mains négatives dans le modèle 3D de la grotte (Figure 88).

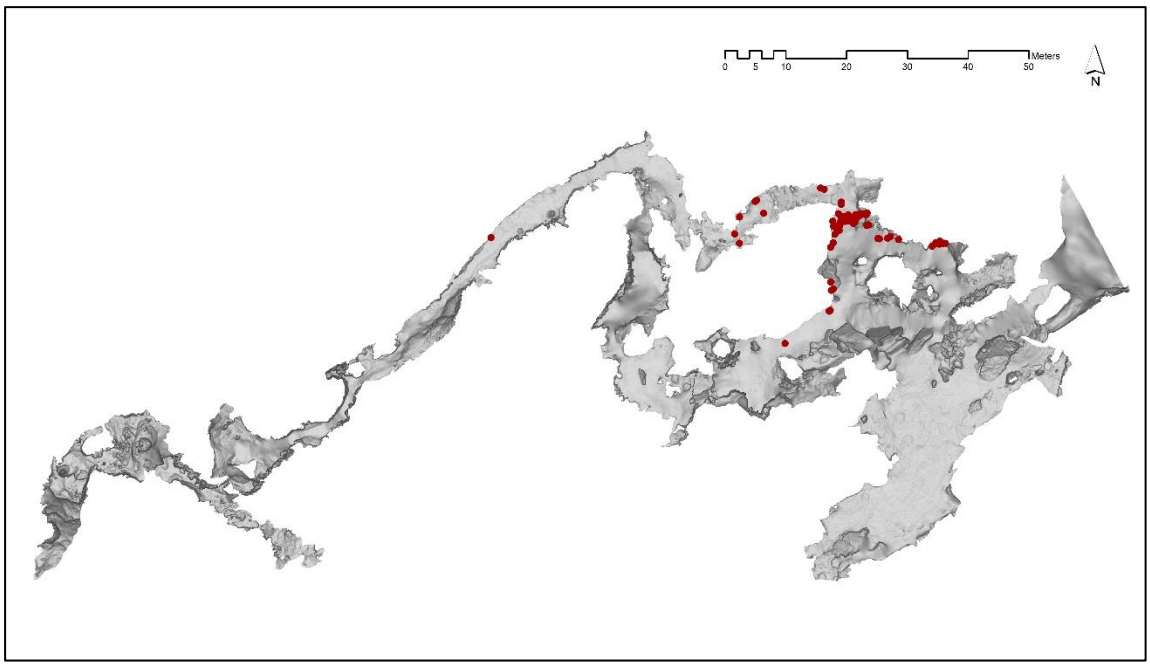


Figure 88. Localisation des mains négatives sur le modèle 3D de la grotte d'El Castillo.

Au cours des travaux d'étude et de documentation, un total de 77 motifs de mains a été localisé, réparti dans l'ensemble de la cavité. Deux grandes concentrations de mains se distinguent. L'une d'entre elles se trouve au *Panneau des Polychromes* (8) et l'autre au *Plafond des Mains* (44). Ce dernier est l'espace de la cavité qui contient le plus grand nombre de représentations de ce type. Il convient de noter la présence de mains dispersées dans divers secteurs de la grotte, qui sont énumérés ci-dessous : *Bas-côté* (7), *Carrefour* (6), *Salle du Chaos* (3), *Galerie des Mains* (8), *Galerie des Disques* (1). Les données topographiques de la position des unités graphiques sont présentées dans le Tableau 29 (en annexe, section 11.1.1, p. 541), en utilisant le système de coordonnées WGS84 UTM Huso 30[64]. Ce travail a également généré du matériel de documentation qui permettra aux futurs chercheurs d'étudier la grotte dans de meilleures conditions. Il s'agit notamment d'une photogrammétrie à haute résolution du *Plafond des Mains* (Figure 90 et Figure 91), ainsi que de photographies de secteurs et de détails.

[64] A noter que, pour faire correspondre les mains négatives avec les coordonnées du modèle 3D de la grotte, il faut soustraire 421 000 m en *x* et 4 793 000 m en *y*, en raison des caractéristiques de certains programmes de gestion 3D qui ne peuvent pas gérer des coordonnées avec des nombres aussi élevés. Les coordonnées indiquées dans ces tableaux sont réelles, exprimées en mètres.

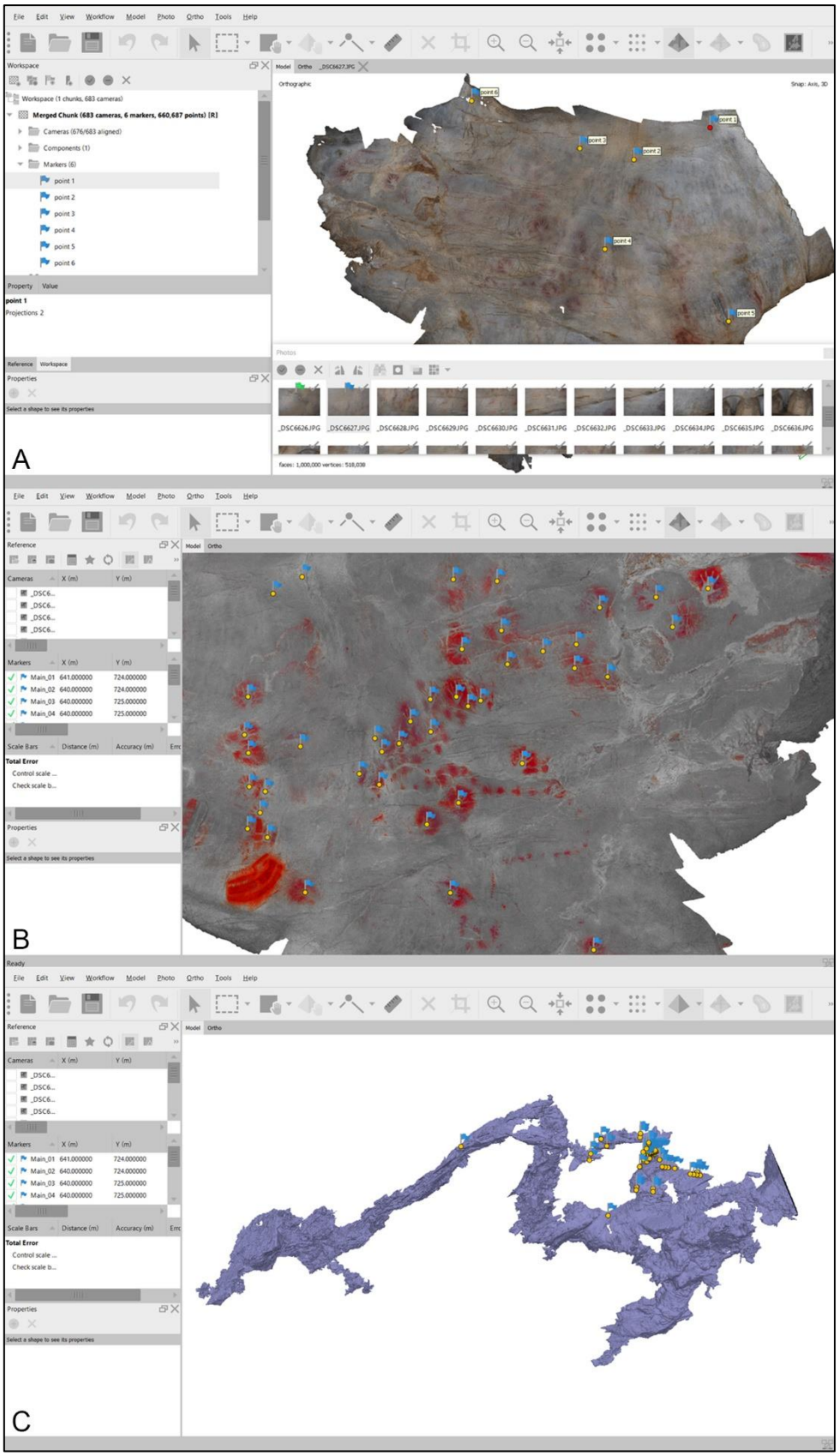


Figure 89. Captures d'écran du processus de géolocalisation des mains situées sur le *Plafond des Mains* de la grotte d'El Castillo à l'aide du logiciel *Metashape*® d'*Agisoft*®. **A**. Traitement du modèle photogrammétrique. **B**. Localisation des mains négatives à l'aide de la texture obtenue et ensuite traitée avec le plug-in *DStretch*® pour le programme *ImageJ*® en utilisant le spectre de couleur synthétique *yds*. **C**. Distribution des coordonnées obtenues avec *DISTOX2* et la photogrammétrie dans le modèle 3D général de la cavité.

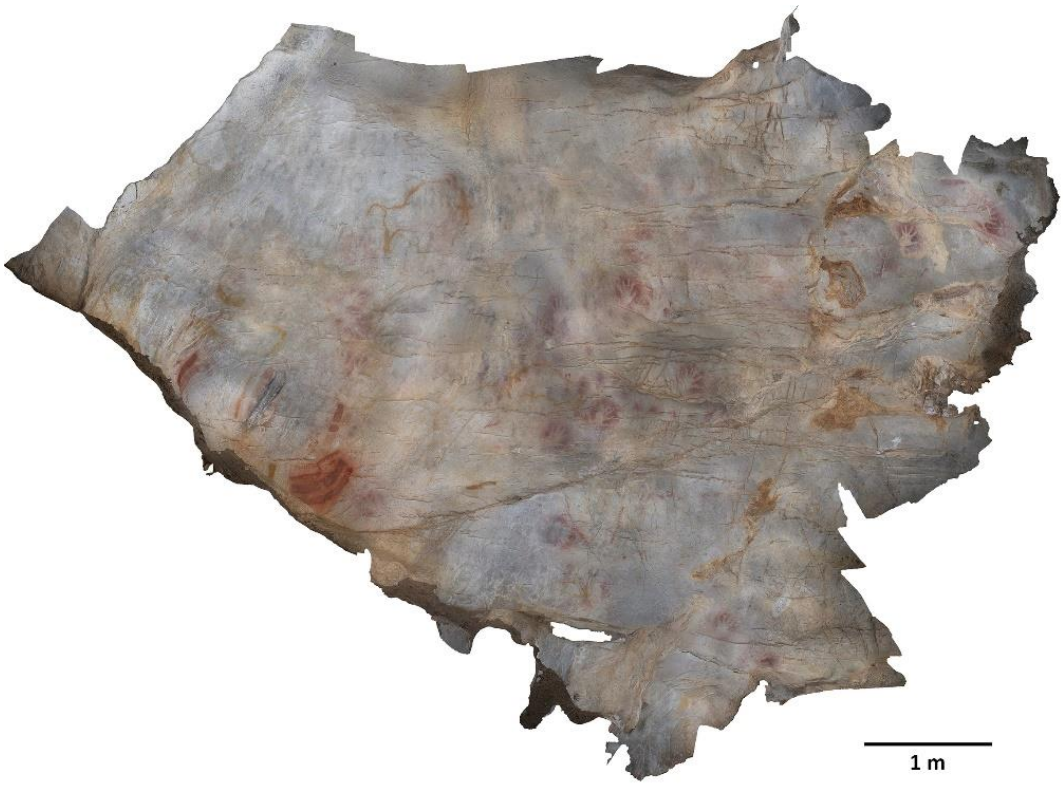


Figure 90. Orthophotographie obtenue à partir du modèle photogrammétrique du *Plafond des Mains*.

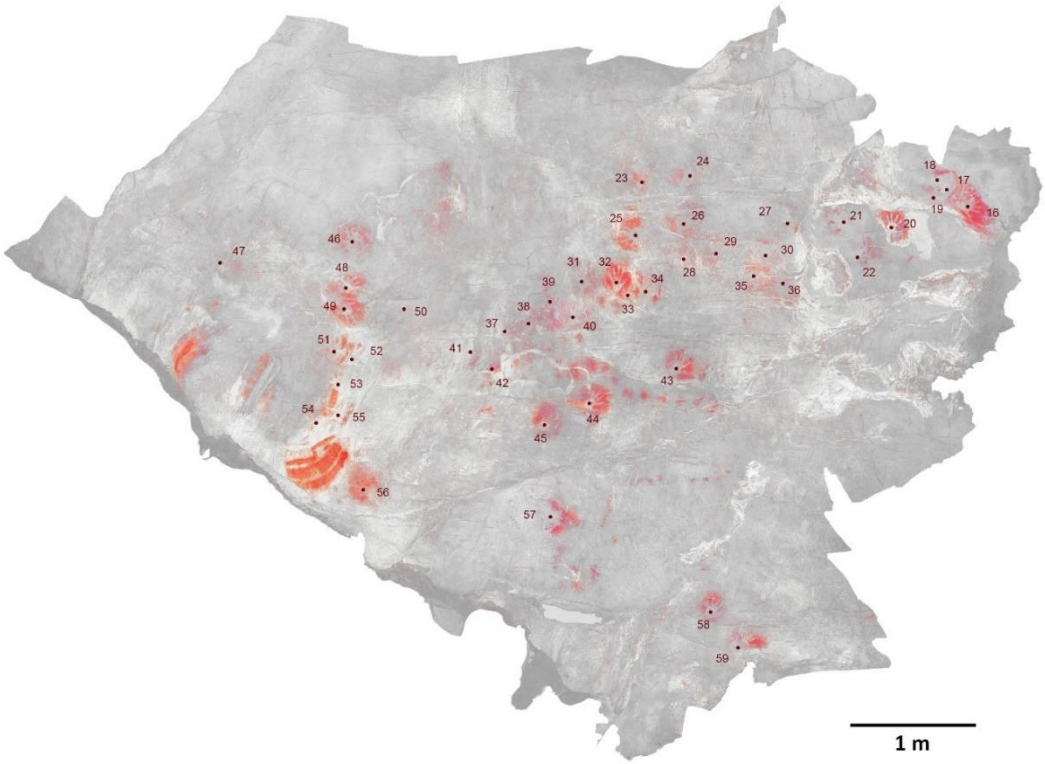


Figure 91. Orthophotographie obtenue à partir du modèle photogrammétrique du *Plafond des Mains*, traité avec le avec le plug-in *DStretch*® pour le programme *ImageJ*® en utilisant le spectre de couleur synthétique *yds* pour rehausser la couleur rouge, avec indication de la numérotation des 44 mains présentes dans cet espace.

5.1.3. Analyse spatiale

Les résultats de mon analyse spatiale à El Castillo seront présentés ici numériquement, puis détaillés à l'échelle macro et micro-spatiale.

5.1.3.1. Données numériques obtenues

Les données numériques de l'analyse spatiale obtenues pour chaque main négative sont présentées dans le Tableau 10 et le Tableau 11.

Tableau 10. Données de l'analyse spatiale des mains négatives d'El Castillo, présentant la zone, les valeurs de difficulté du chemin, de longueur du chemin, de hauteur du motif et de position estimée de l'exécutant.

Motif	**Zone**	**Difficulté du chemin** $(1/\frac{m}{s})$	**Longueur du chemin (m)**	**Hauteur du motif (m)**	**Position estimée de l'exécutant**
Cast_01	*Polychromes*	3,57	47,28	1,71	Debout
Cast_02	*Polychromes*	3,53	47,47	1,46	Penché/Debout
Cast_03	*Polychromes*	4,53	47,91	1,24	Penché
Cast_04	*Polychromes*	5,10	48,06	1,05	Penché
Cast_05	*Polychromes*	3,60	47,63	1,43	Penché/Debout
Cast_06	*Polychromes*	3,60	47,83	1,30	Penché
Cast_07	*Polychromes*	4,75	48,10	1,04	Penché
Cast_08	*Polychromes*	3,34	47,72	1,55	Penché/Debout
Cast_09	*Bas-côté*	3,89	54,00	1,46	Penché/Debout
Cast_10	*Bas-côté*	3,64	54,53	1,50	Penché/Debout
Cast_11	*Bas-côté*	3,62	54,83	1,87	Elevé

Cast_12	*Bas-côté*	3,67	56,18	1,97	Elevé
Cast_13	*Bas-côté*	3,69	56,44	2,01	Elevé
Cast_14	*Bas-côté*	12,08	60,49	0,91	Accroupi/Assis/Couché
Cast_15	*Bas-côté*	3,85	59,85	1,53	Penché/Debout
Cast_16	*Plaf. des Mains*	10,84	63,21	0,46	Accroupi/Assis/Couché
Cast_17	*Plaf. des Mains*	10,84	63,21	0,60	Accroupi/Assis/Couché
Cast_18	*Plaf. des Mains*	7,81	62,70	0,93	Accroupi/Assis/Couché
Cast_19	*Plaf. des Mains*	7,81	62,70	0,93	Accroupi/Assis/Couché
Cast_20	*Plaf. des Mains*	4,73	63,35	1,36	Penché/Debout
Cast_21	*Plaf. des Mains*	3,98	62,85	1,79	Debout
Cast_22	*Plaf. des Mains*	4,12	63,04	1,64	Penché/Debout
Cast_23	*Plaf. des Mains*	3,92	62,32	1,92	Elevé
Cast_24	*Plaf. des Mains*	3,91	62,01	1,90	Elevé
Cast_25	*Plaf. des Mains*	3,96	62,74	1,78	Debout
Cast_26	*Plaf. des Mains*	3,96	62,45	1,79	Debout
Cast_27	*Plaf. des Mains*	3,92	62,39	1,88	Elevé
Cast_28	*Plaf. des Mains*	4,10	62,71	1,71	Debout
Cast_29	*Plaf. des Mains*	3,97	62,45	1,76	Debout
Cast_30	*Plaf. des Mains*	3,95	62,43	1,76	Debout
Cast_31	*Plaf. des Mains*	4,11	63,34	1,71	Debout
Cast_32	*Plaf. des Mains*	4,25	63,22	1,66	Penché/Debout

Cast_33	*Plaf. des Mains*	4,38	63,25	1,64	Penché/Debout
Cast_34	*Plaf. des Mains*	4,36	63,22	1,64	Penché/Debout
Cast_35	*Plaf. des Mains*	4,04	62,61	1,73	Debout
Cast_36	*Plaf. des Mains*	4,11	62,85	1,72	Debout
Cast_37	*Plaf. des Mains*	4,24	63,87	1,64	Penché/Debout
Cast_38	*Plaf. des Mains*	4,21	63,76	1,69	Penché/Debout
Cast_39	*Plaf. des Mains*	4,04	63,56	1,64	Penché/Debout
Cast_40	*Plaf. des Mains*	4,22	63,68	1,66	Penché/Debout
Cast_41	*Plaf. des Mains*	4,61	64,11	1,48	Penché/Debout
Cast_42	*Plaf. des Mains*	4,74	64,19	1,49	Penché/Debout
Cast_43	*Plaf. des Mains*	5,05	63,62	1,60	Penché/Debout
Cast_44	*Plaf. des Mains*	5,35	64,49	1,47	Penché/Debout
Cast_45	*Plaf. des Mains*	5,51	64,49	1,38	Penché/Debout
Cast_46	*Plaf. des Mains*	4,02	62,93	1,69	Penché/Debout
Cast_47	*Plaf. des Mains*	5,51	62,73	1,06	Penché
Cast_48	*Plaf. des Mains*	4,50	63,18	1,44	Penché/Debout
Cast_49	*Plaf. des Mains*	4,90	63,32	1,36	Penché/Debout
Cast_50	*Plaf. des Mains*	4,58	63,63	1,52	Penché/Debout
Cast_51	*Plaf. des Mains*	6,01	63,67	1,24	Penché
Cast_52	*Plaf. des Mains*	6,03	63,98	1,26	Penché
Cast_53	*Plaf. des Mains*	6,87	64,24	1,16	Penché

Cast_54	*Plaf. des Mains*	7,75	64,44	1,07	Penché
Cast_55	*Plaf. des Mains*	8,04	64,79	1,08	Penché
Cast_56	*Plaf. des Mains*	9,50	65,45	0,85	Accroupi/Assis/Couché
Cast_57	*Plaf. des Mains*	8,23	65,33	1,22	Penché
Cast_58	*Plaf. des Mains*	9,59	65,96	1,21	Penché
Cast_59	*Plaf. des Mains*	9,95	66,09	1,15	Penché
Cast_60	*Carrefour*	4,00	61,25	1,32	Penché/Debout
Cast_61	*Carrefour*	4,05	61,29	1,05	Penché
Cast_62	*Carrefour*	3,96	60,75	1,05	Penché
Cast_63	*Carrefour*	17,87	56,73	1,49	Penché/Debout
Cast_64	*Carrefour*	18,04	57,69	1,11	Penché
Cast_65	*Carrefour*	10,68	55,97	1,26	Penché
Cast_66	*Gal. Chaos*	3,87	54,72	1,48	Penché/Debout
Cast_67	*Gal. Chaos*	3,95	54,93	1,52	Penché/Debout
Cast_68	*Gal. Chaos*	4,30	63,17	1,56	Penché/Debout
Cast_69	*Gal. des Mains*	23,64	71,42	0,99	Accroupi/Assis/Couché
Cast_70	*Gal. des Mains*	26,67	72,12	0,54	Accroupi/Assis/Couché
Cast_71	*Gal. des Mains*	31,44	81,19	1,08	Penché
Cast_72	*Gal. des Mains*	46,36	85,31	0,91	Accroupi/Assis/Couché
Cast_73	*Gal. des Mains*	34,00	82,38	0,94	Accroupi/Assis/Couché
Cast_74	*Gal. des Mains*	72,23	88,69	0,71	Accroupi/Assis/Couché

Cast_75	*Gal. des Mains*	63,69	87,44	0,82	Accroupi/Assis/Couché
Cast_76	*Gal. des Mains*	32,51	81,96	1,02	Penché
Cast_77	*Gal. des Disques*	67,11	167,47	1,43	Penché/Debout

Tableau 11. Données de l'analyse spatiale des mains négatives d'El Castillo, présentant les valeurs de visibilité, de latéralité, d'orientation et d'intervisibilité.

Motif	Visibilité accroupi (individus)	Visibilité debout (individus)	Visibilité couché (individus)	Visibilité totale (individus)	Latéralité	Orientation (heures)	Nombre de mains visibles
Cast_01	0,83	10,96	0,36	12,5	Indét.	15	5
Cast_02	0,83	12,26	0,29	13,38	Gauche	13	5
Cast_03	0,69	10,88	0,18	11,75	Gauche	15	2
Cast_04	0,90	10,06	0,14	11,11	Gauche	16	3
Cast_05	0,76	13,23	0,29	14,28	Gauche	23	2
Cast_06	0,83	13,31	0,25	14,40	Gauche	15	2
Cast_07	0,00	12,18	0,00	12,18	Gauche	12	3
Cast_08	0,00	17,21	0,18	17,39	Gauche	12	2
Cast_09	0,42	5,44	0,00	5,85	Gauche	15	0
Cast_10	0,97	14,53	0,00	15,50	Gauche	16	1
Cast_11	1,60	14,29	0,00	15,88	Gauche	13	1
Cast_12	1,46	19,48	0,00	20,94	Gauche	13	1

Cast_13	1,46	21,27	0,00	22,72	Gauche	14	1
Cast_14	2,50	12,18	0,79	15,46	Gauche	14	0
Cast_15	2,71	13,56	0,46	16,73	Gauche	13	1
Cast_16	0,69	6,17	0,36	7,22	Gauche	16	15
Cast_17	1,04	5,60	0,32	6,96	Gauche	12	13
Cast_18	1,74	6,25	0,39	8,38	Indét.	Indét.	17
Cast_19	1,11	6,33	0,46	7,91	Indét.	12	16
Cast_20	2,15	7,55	0,43	10,13	Gauche	14	12
Cast_21	2,08	8,04	0,29	10,40	Gauche	21,5	6
Cast_22	3,61	9,33	0,46	13,41	Gauche	15	13
Cast_23	4,31	21,35	0,32	25,97	Gauche	14	22
Cast_24	4,31	18,51	0,61	23,42	Gauche	13	20
Cast_25	6,88	18,34	0,11	25,33	Droite	21	19
Cast_26	5,83	16,48	0,57	22,88	Droite	14,5	18
Cast_27	2,50	9,58	0,18	12,26	Gauche	11,5	8
Cast_28	6,81	6,81	0,00	13,61	Gauche	12,5	21
Cast_29	5,42	13,96	0,46	19,84	Gauche	22	15
Cast_30	5,00	13,31	0,50	18,81	Droite	22	16

Cast_31	8,82	16,72	0,04	25,58	Gauche	12	22
Cast_32	8,54	16,48	0,14	25,16	Gauche	12	23
Cast_33	9,03	15,75	0,11	24,88	Droite	13	23
Cast_34	8,61	15,58	0,07	24,27	Gauche	12,5	27
Cast_35	6,46	13,56	0,00	20,01	Gauche	15	16
Cast_36	6,39	12,50	0,50	19,39	Gauche	16	14
Cast_37	8,33	15,50	0,18	24,02	Gauche	13	19
Cast_38	8,13	14,85	0,07	23,05	Gauche	13	17
Cast_39	7,92	15,10	0,07	23,09	Gauche	12,5	16
Cast_40	8,89	16,15	0,11	25,15	Gauche	13	19
Cast_41	8,47	14,53	0,00	23,00	Gauche	14	21
Cast_42	8,89	14,20	0,14	23,24	Gauche	12	22
Cast_43	7,57	11,93	0,21	19,72	Gauche	14	16
Cast_44	9,86	13,31	0,11	23,28	Gauche	14,5	20
Cast_45	10,00	12,82	0,21	23,04	Gauche	13,5	22
Cast_46	3,26	18,75	0,11	22,12	Droite	12	10
Cast_47	5,00	14,12	0,14	19,27	Indét.	Indét.	9
Cast_48	6,25	16,15	0,00	22,40	Droite	14,5	20

Cast_49	6,74	14,53	0,00	21,27	Droite	15	26
Cast_50	7,57	15,83	0,25	23,65	Droite	21	22
Cast_51	7,08	10,55	0,11	17,74	Gauche	11,5	18
Cast_52	7,15	11,12	0,29	18,56	Gauche	13,5	21
Cast_53	7,29	9,58	0,00	16,87	Gauche	21	19
Cast_54	7,01	7,87	0,25	15,14	Gauche	13	15
Cast_55	7,43	7,87	0,00	15,30	Gauche	14	16
Cast_56	8,47	5,60	0,25	14,32	Gauche	21	18
Cast_57	10,63	6,41	0,11	17,14	Indét.	12	7
Cast_58	12,36	5,36	0,14	17,86	Gauche	12,5	1
Cast_59	13,33	4,71	0,32	18,36	Droite	13	1
Cast_60	0,28	14,85	0,00	15,13	Droite	21	1
Cast_61	0,42	13,47	0,07	13,96	Gauche	14	1
Cast_62	0,07	10,80	0,04	10,90	Gauche	12,5	0
Cast_63	0,14	8,69	0,00	8,82	Gauche	16	0
Cast_64	0,63	9,82	0,00	10,45	Droite	19	0
Cast_65	0,69	10,80	0,00	11,49	Indét.	21	0
Cast_66	0,69	14,20	0,00	14,90	Droite	23,5	1

Cast_67	0,35	15,67	0,82	16,83	Droite	12	1
Cast_68	2,50	13,64	0,43	16,56	Gauche	12	0
Cast_69	11,81	0,49	0,54	12,83	Gauche	21,5	1
Cast_70	12,85	0,00	0,64	13,49	Droite	23	1
Cast_71	10,97	0,61	3,57	15,15	Droite	12	2
Cast_72	6,18	0,00	0,93	7,11	Gauche	12	0
Cast_73	12,43	2,35	0,64	15,43	Gauche	12	2
Cast_74	2,22	0,00	2,86	5,08	Droite	23	0
Cast_75	4,03	0,00	2,50	6,53	Indét.	12	0
Cast_76	11,88	0,00	0,89	12,77	Indét.	12	2
Cast_77	1,74	15,10	0,00	16,83	Gauche	14	0

5.1.3.2. Analyse au niveau macro-spatial

Au niveau macro-spatial, c'est-à-dire à l'échelle de la cavité dans son ensemble, et en considérant l'intégralité des motifs de mains négatives, j'ai obtenu les résultats suivants.

5.1.3.2.1. Accessibilité

Pour ce qui est de leur accessibilité, il ressort que les mains négatives de la grotte d'El Castillo sont assez homogènes. On peut observer sur l'histogramme de répartition des valeurs, en effet, que les valeurs sont assez condensées entre elles (Figure 92).

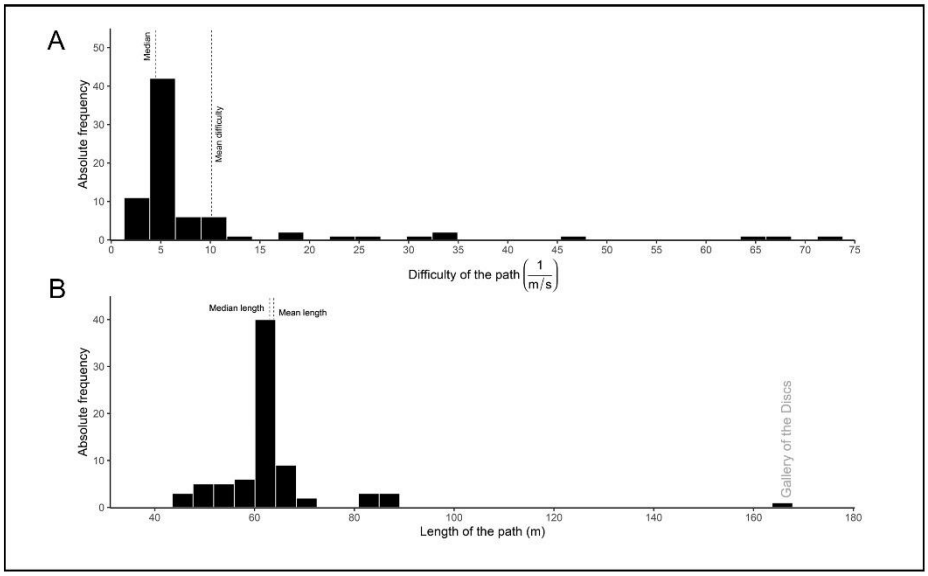


Figure 92. **A**. Histogramme de la difficulté d'accès aux motifs. **B**. Histogramme de la longueur du chemin depuis l'entrée de la cavité. Les deux présentent des valeurs assez condensées entre elles, correspondant à un accès aisé aux mains négatives.

Ceci, tant au niveau de l'accessibilité, avec des valeurs de difficulté basse (10,12 $\frac{1}{m/s}$ en moyenne, donc facilement accessibles), que de la longueur du chemin (à 63,86 m en moyenne depuis l'entrée de la cavité) (Figure 93). On peut également noter sur cette figure que les valeurs sont relativement homogènes par rapport aux catégories d'espaces de la nomenclature classique de la cavité.

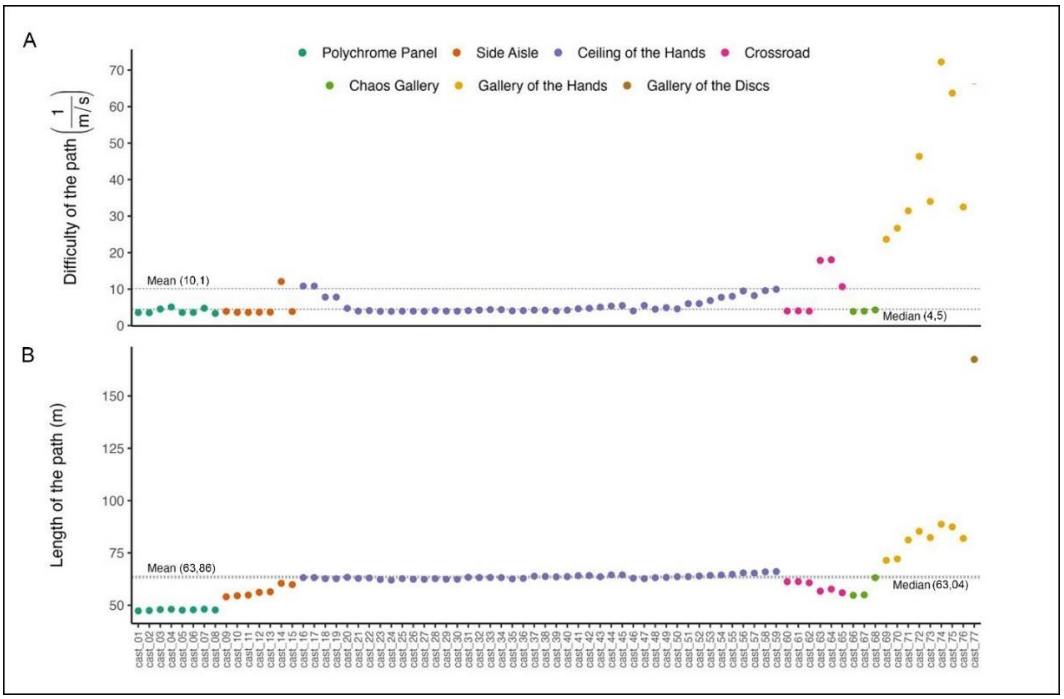


Figure 93. Valeurs de difficulté d'accès (**A**) et de longueur du chemin depuis l'entrée de la cavité (**B**) pour toutes les mains négatives de la grotte d'El Castillo. Les lignes noires en pointillé représentent la moyenne et la médiane de l'ensemble.

Les fichiers raster sur la longueur du chemin et la difficulté illustrent également ces observations (Figure 94). Les mains sont situées dans la zone bleu foncé (valeurs basses) sur la figure du coût de la distance et dans des zones marron pour la difficulté du chemin (également faibles valeurs).

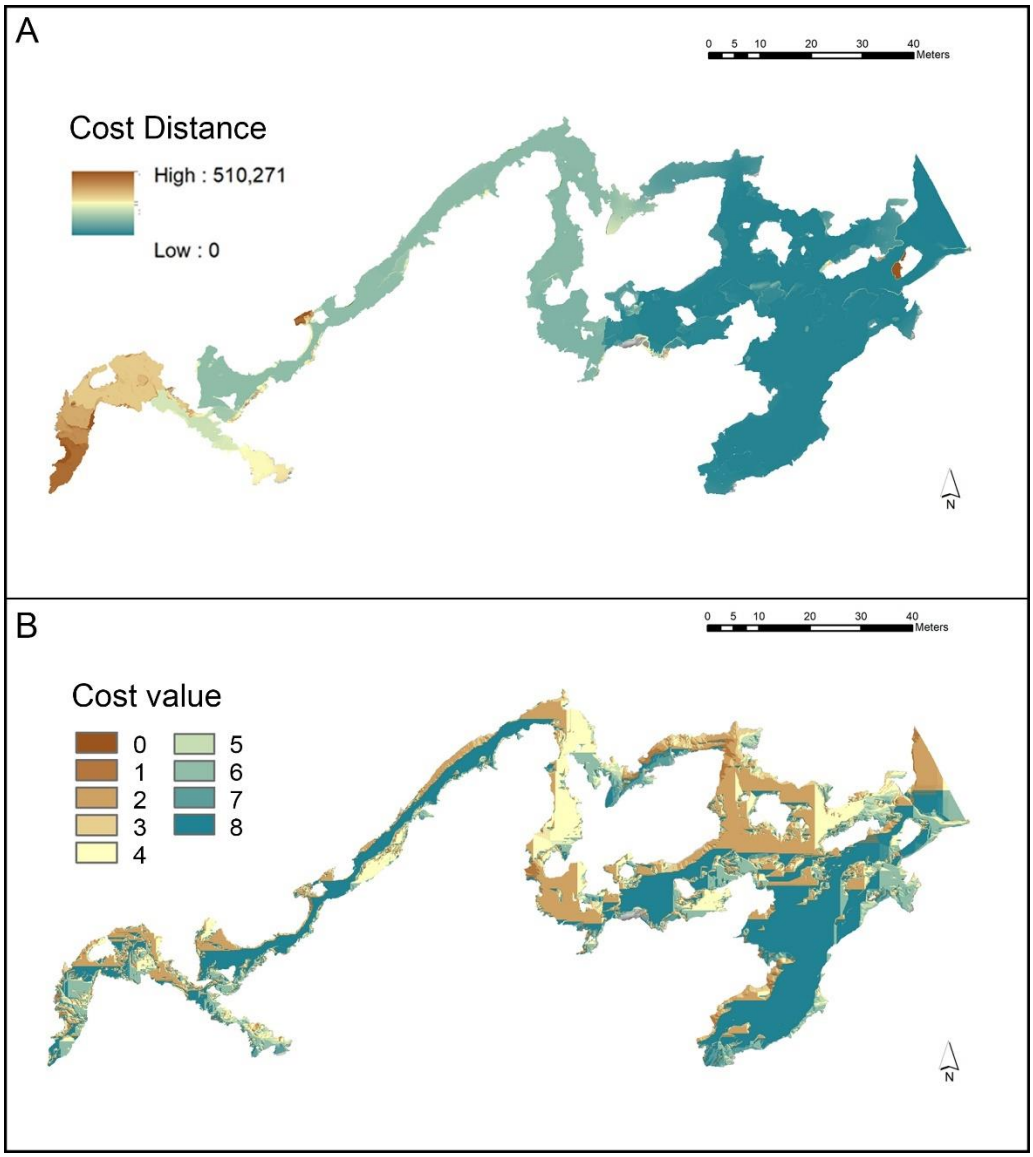


Figure 94. **A**. Plan illustrant la difficulté d'accès dans la grotte, en fonction de la progression à l'intérieur de la cavité. **B**. Plan montrant les niveaux de difficulté d'accès en fonction de la pente du sol.

Les valeurs de la *Galerie des Mains* détonnent cependant, dans le cadre de cette accessibilité générale (elles restent d'accès facile mais sont légèrement plus hautes dans l'ensemble), ainsi que l'exemplaire de la *Galerie des Disques.* Celui-ci, situé un peu plus loin dans la grotte que la plupart des autres, présente cependant également un faible indice de difficulté d'accès (67,11, située à 167,47 m dans la grotte, c'est-à-dire la valeur la plus grande des mains négatives de la cavité, mais qui reste relativement basse (Tableau 12)).

Tableau 12. Résultats généraux de l'accessibilité des 77 mains négatives de la grotte d'El Castillo.

Accessibilité	Difficulté $(\frac{1}{m/s})$	Profondeur – Longueur du chemin (m)
Moyenne	10,12	63,86
Ecart type	14,2	14,7
Médiane	4,5	63,04
Minimum	3,34	47,28
Maximum	72,22	167,47

Pour ce qui est de la dangerosité, c'est-à-dire des espaces qui pourraient générer un risque, le calcul des surfaces indique qu'aucune des mains négatives ne se situe proche de telles zones (Figure 95). Elles sont toutes situées dans des espaces sûrs, sans risque de chute ou nécessité d'escalade.

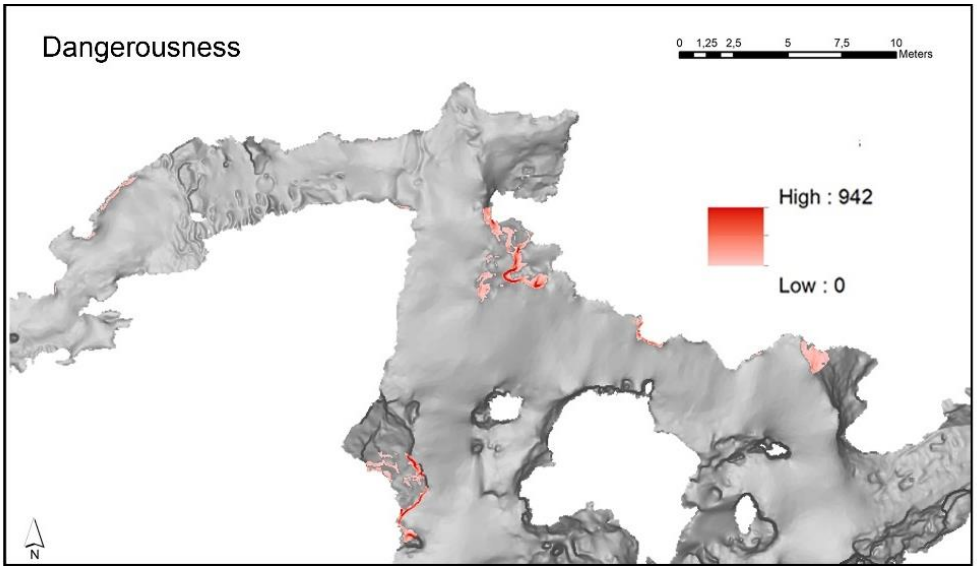


Figure 95. Illustration des zones les plus escarpées de la grotte d'El Castillo en lien avec les représentations de mains. On peut observer que ces espaces ne présentent pas d'escarpements qui pourraient présenter un danger pour les artistes ou l'assistance.

5.1.3.2.2. Visibilité

Pour ce qui est de la visibilité des mains négatives, on observe que celles-ci sont de manière générale assez visibles (Figure 96). Celles-ci peuvent être observées en moyenne par 16 individus simultanément, le nombre le plus faible étant de 5 personnes et le plus élevé de 26 (Tableau 13).

Tableau 13. Résultats généraux de visibilité des 77 mains négatives de la grotte d'El Castillo.

Visibilité totale	Nombre d'individus
Moyenne	16,6
Ecart type	5,6
Médiane	16,6
Minimum	5,1
Maximum	26

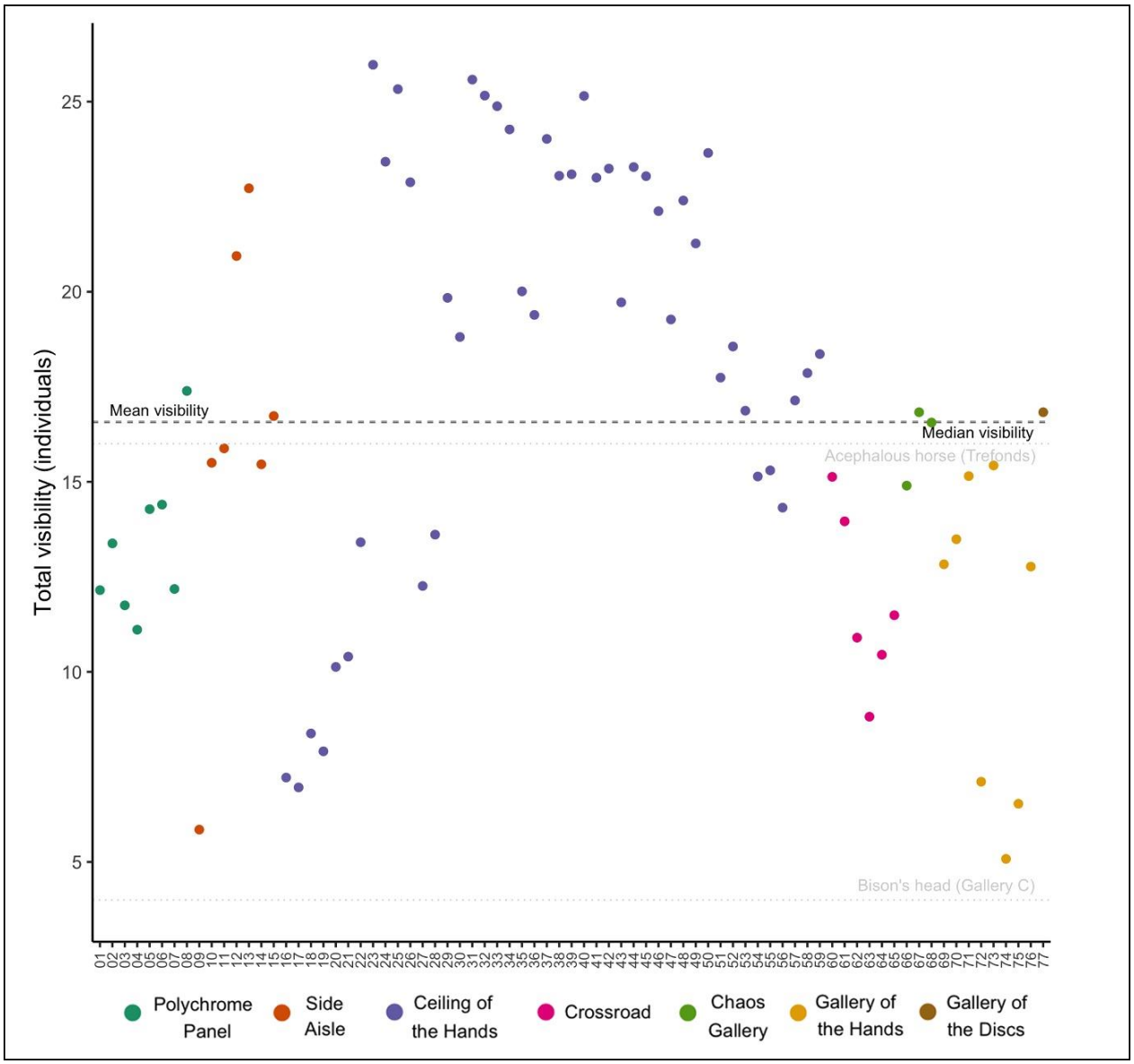


Figure 96. Visibilité totale (*y*) pour chaque main négative (*x*). Les couleurs représentent la zone catégorisée dans laquelle ils se trouvent. La moyenne et la médiane sont superposées du fait de leur forte proximité. Y sont ajoutées les valeurs de visibilité de deux motifs supplémentaires, un cheval acéphale et une tête de bison qui seront présentées dans la section 6.4.

Cependant, la visibilité des mains négatives n'est pas homogène dans l'ensemble de la grotte (Figure 97). On observe sur l'histogramme que les valeurs sont assez réparties en général, avec une plus grande quantité de mains très visibles.

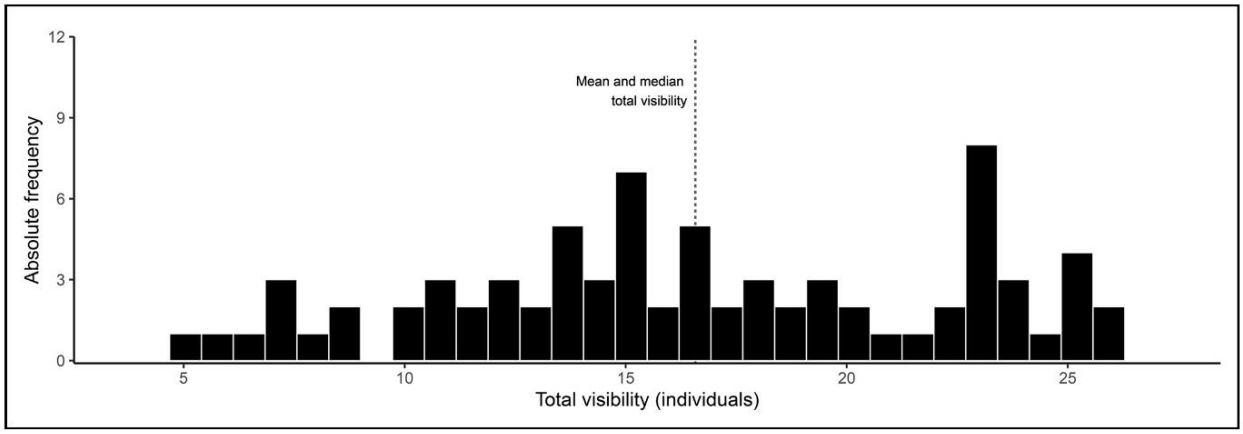


Figure 97. Histogramme de la visibilité totale des mains négatives de la grotte d'El Castillo.

Bien que la visibilité soit globalement élevée, il faut noter qu'elle dépend surtout de la zone de la grotte où elles sont situées (Figure 98). Les mains négatives situées sur le *Panneau des Polychromes*, le *Carrefour* et la *Galerie des Mains* ont une visibilité totale inférieure à la moyenne, tandis que la visibilité moyenne est plus élevée dans le *Plafond des Mains*, même s'il y a des mains à faible visibilité dans cette zone.

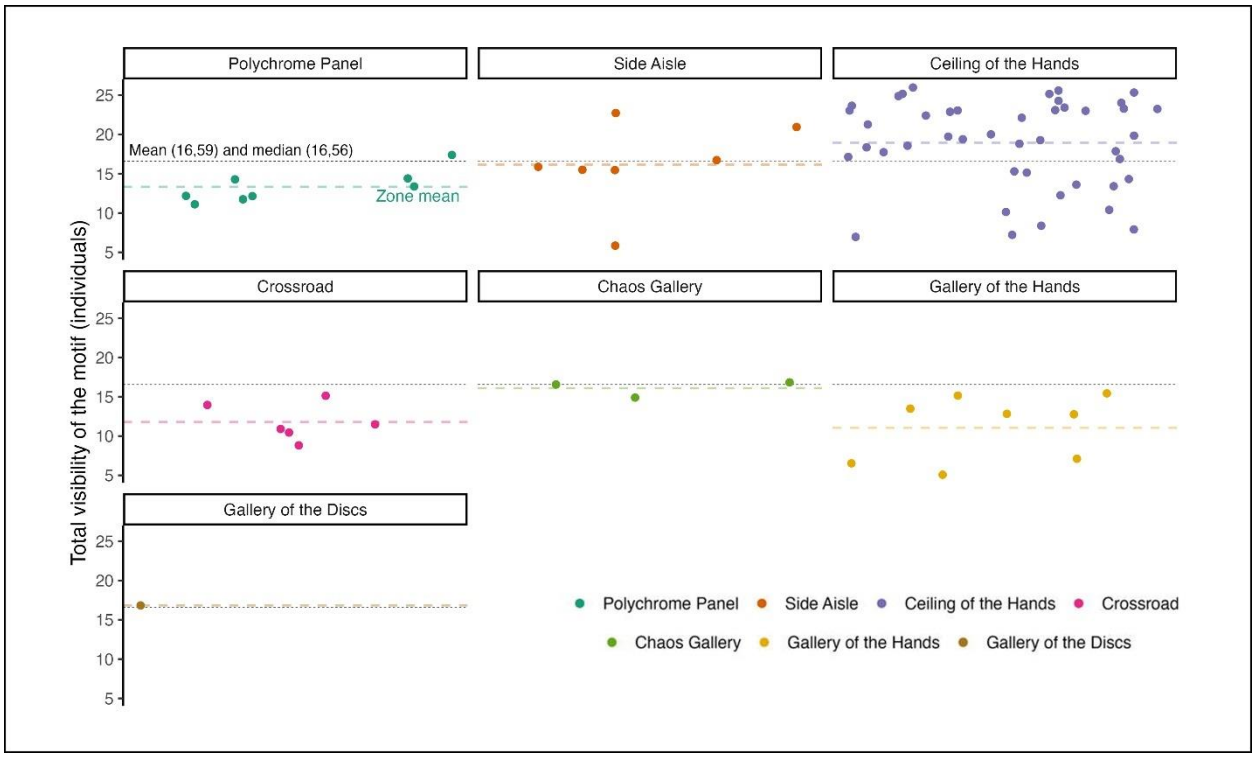


Figure 98. Visibilité des mains négatives de la grotte d'El Castillo. Chaque ligne colorée représente la visibilité moyenne de chaque zone. Les lignes noires en pointillé représentent la moyenne et la médiane de toutes les mains de la grotte.

L'importance de la zone du *Plafond des Mains* par rapport à la visibilité des mains négatives est également illustrée sur la carte de visibilité de l'ensemble des mains de la cavité (Figure 99). Cette zone apparaît comme un noyau central, pas seulement à cause de la quantité de motifs qui y sont regroupés (44 mains), mais aussi à cause de la visibilité de ceux-ci. Elle se distingue par là du reste de la cavité.

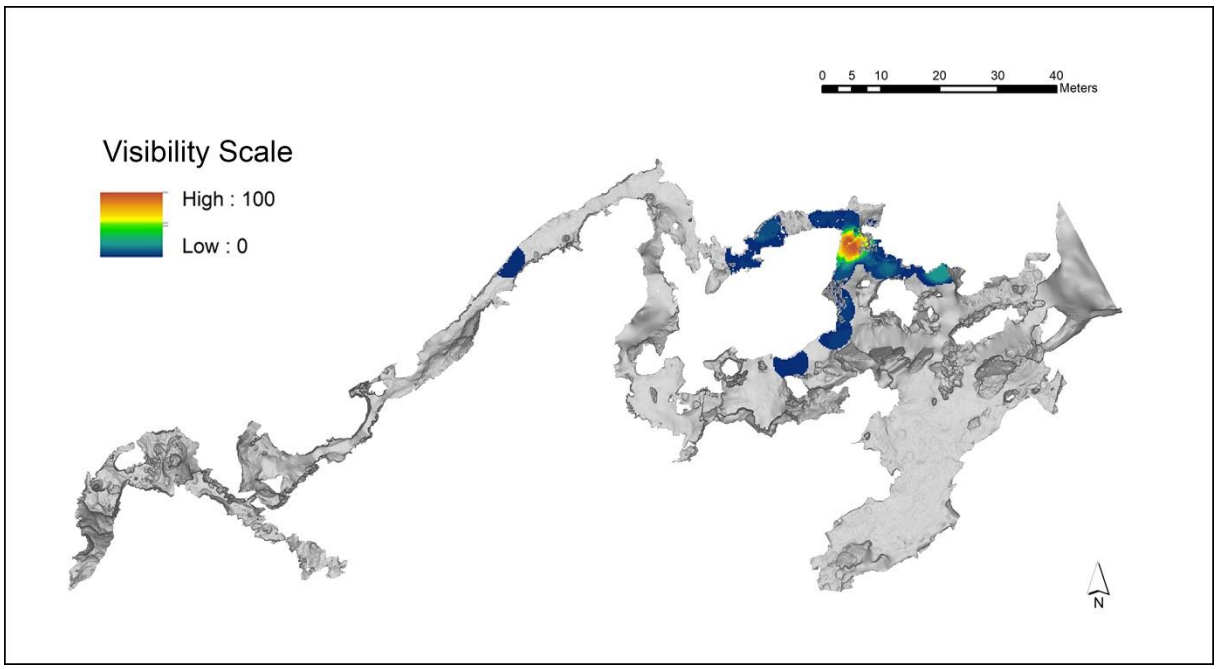


Figure 99. Carte illustrant les principales zones de visibilité en fonction du nombre de mains négatives perceptibles.

5.1.3.2.3. Intervisibilité

Pour ce qui est de l'intervisibilité, c'est-à-dire la visibilité des mains négatives entre elles, les résultats montrent qu'à l'exception du *Plafond des Mains*, il y a beaucoup de mains négatives depuis lesquelles on ne voit pas ou très peu d'autres mains (Figure 100, A). Le nombre de mains visibles depuis l'une d'elles va donc de 0 à 27, avec une moyenne de 10.

Les mains avec un haut taux d'intervisibilité sont, comme attendu, situées sur le *Plafond des Mains* (Figure 101). Pour le reste des zones, le nombre de mains négatives visibles depuis l'une d'entre elles ne dépasse pas 5. Ces données sont également illustrées sur l'histogramme (Figure 100, B), où on peut lire que les mains avec une visibilité basse sont de loin les plus nombreuses.

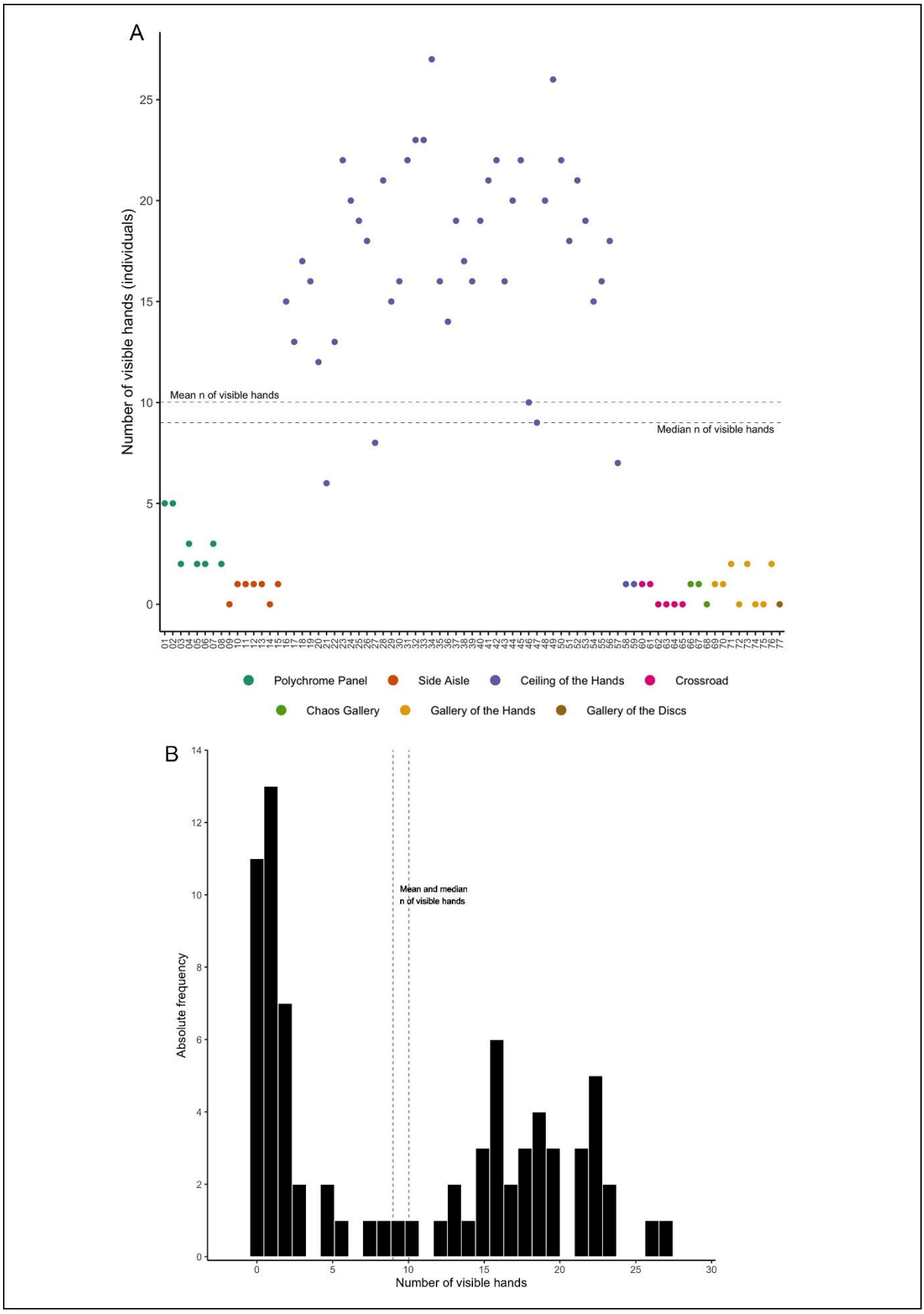


Figure 100. **A.** Nombre de mains négatives visibles depuis une main négative en particulier (*y*) pour chaque main négative (*x*). Les couleurs représentent la zone catégorisée dans laquelle elles se trouvent. **B.** Histogramme de la distribution du nombre de mains visibles.

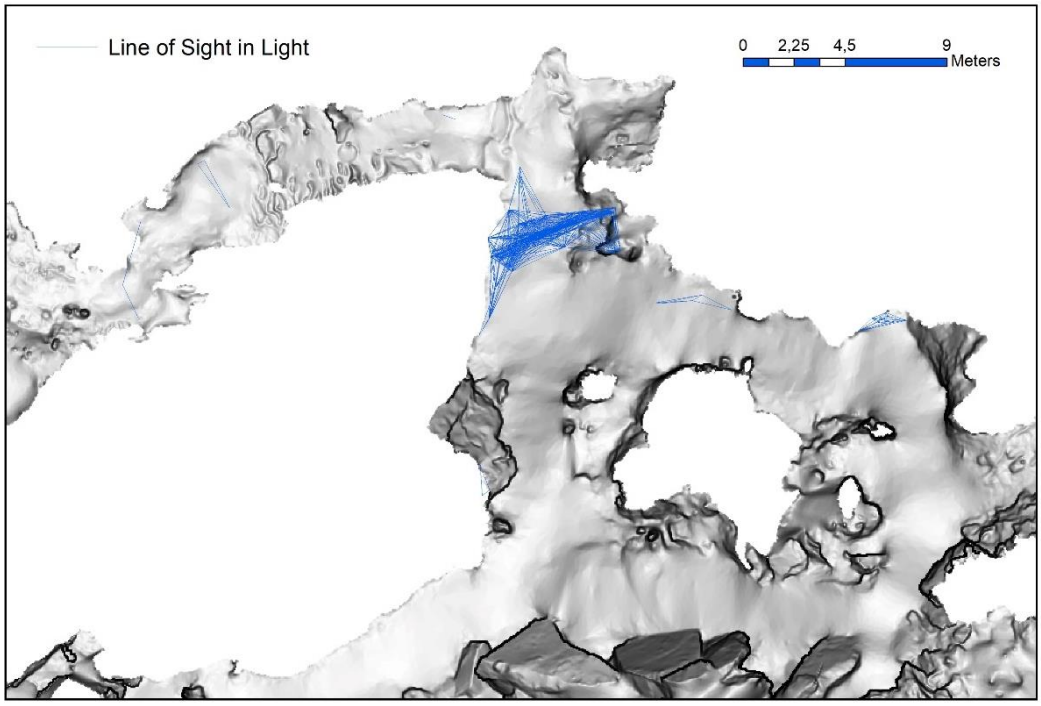


Figure 101. Visibilité des mains négatives entre elles dans les limites du diamètre d'une torche, selon les données de Medina Alcaide *et al.* (2021).

5.1.3.2.4. Latéralité

La latéralité des mains négatives d'El Castillo a pu être établie dans 69 des 77 motifs. Les mains déterminables sont en grande majorité gauches (53/69, soit 76,8%), indifféremment de la zone dans laquelle elles se situent (Figure 102).

On n'observe donc pas une répartition préférentielle de mains gauches ou droites dans certains secteurs. Les zones du *Panneau des Polychromes* et du *Bas-Côté*, cependant, sont uniquement constituées de mains gauches (à l'exception peut-être d'un exemplaire de *Panneau des Polychromes*, dont la latéralité n'a pu être définie). Pour toutes les autres zones avec deux mains ou davantage, les deux latéralités sont représentées.

La majorité de mains gauches par rapport aux mains droites est également intéressante, car il est tentant d'y voir un parallèle avec la majorité de droitiers dans les sociétés actuelles. En effet, il est apparu lors des expérimentations de la reproduction des techniques de soufflé qu'il était commode, en tant que droitier, de tenir la peinture dans sa main directrice, et d'apposer sur la paroi l'autre main. Cependant, les termes gauche ou droite, rappelons-le, font référence à la latéralité en considérant que la main est apposée avec la paume contre la paroi. La possibilité de la position de la main dos contre paroi n'est donc pas écartée. Dans ce cas, nous serions face au cas inverse, avec une majorité de mains droites. Quoi qu'il en soit, il est intéressant de

constater cette prédominance d'une des deux mains, combinée au mélange de celles-ci de façon plutôt homogène dans la cavité.

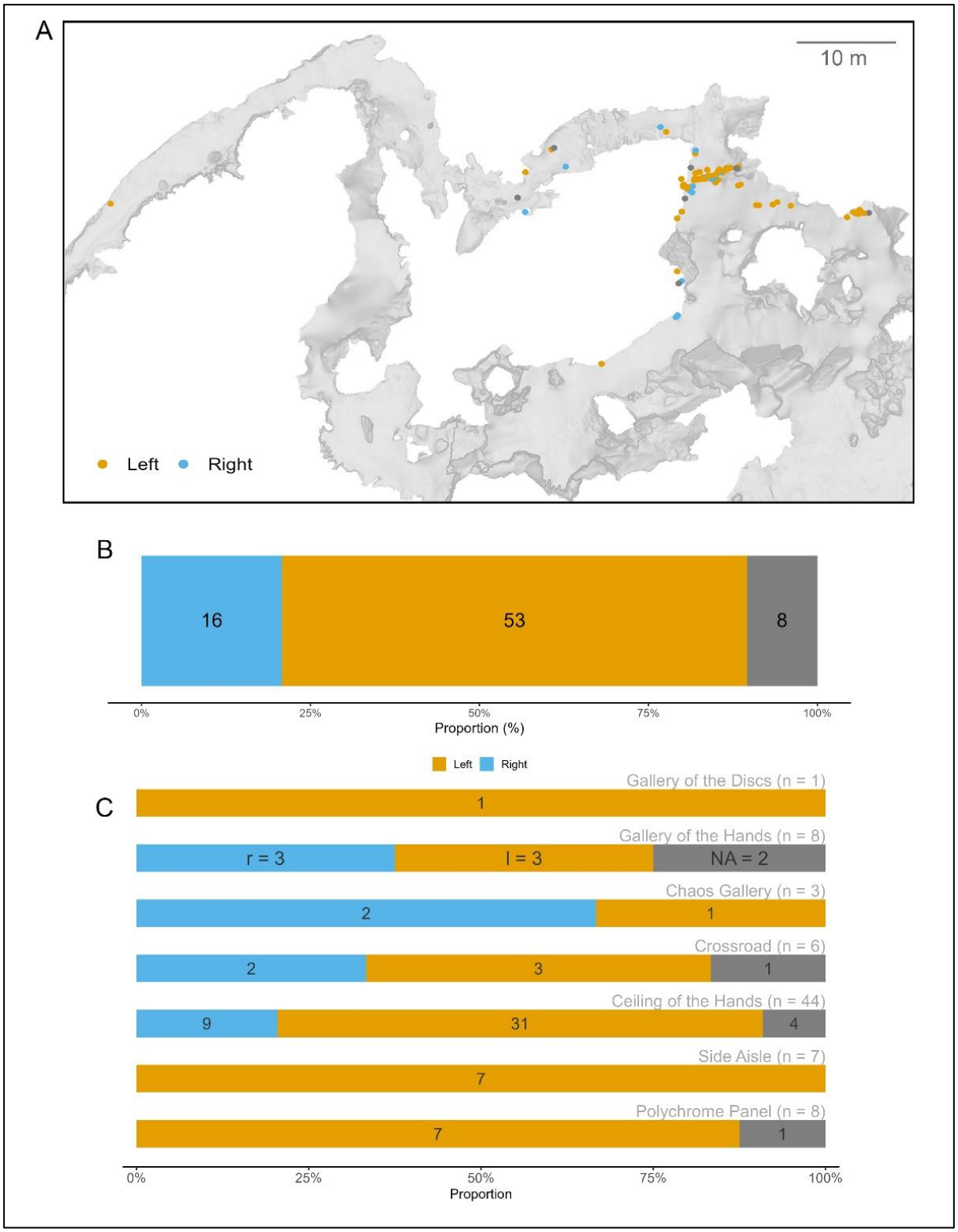


Figure 102. **A**. Proportion de mains gauches, droites et indéterminées dans la grotte d'El Castillo. **B**. Répartition de la latéralité sur le plan de la cavité. **C**. Latéralité des mains négatives (gauche, droite ou indéterminée) en fonction de la zone dans laquelle elles se situent.

5.1.3.2.5. Âge des individus

Enfin, si l'on considère les données issues de l'analyse morphométrique des pochoirs[65] il apparaît que toutes les catégories d'âge sont représentées (Figure 103).

La grande majorité des mains pour lesquelles la tranche d'âge de l'exécutant a pu être déterminée est adulte, avec seulement un exemplaire de main d'adolescents et deux d'individus encore dans l'enfance. Ces trois-cas, cependant, ne sont pas rassemblés mais bien dispersés entre les mains adultes : l'une est située vers le milieu du *Bas-Côté*, l'autre sur le *Plafond des Mains* et la troisième sur une paroi du *Carrefour*. Les deux mains esseulées, celle de la *Salle du Chaos* et celle de la *Galerie des Disques*, sont quant à elles catégorisées comme des mains adultes.

Dans l'ensemble, il semble ne pas y avoir d'association spécifique entre une catégorie et une localisation particulière, si l'on considère que la grande majorité des mains d'individus adultes explique leur présence exclusive dans certains espaces.

[65] Données transmises personnellement par V. Fernández-Navarro en 2024.

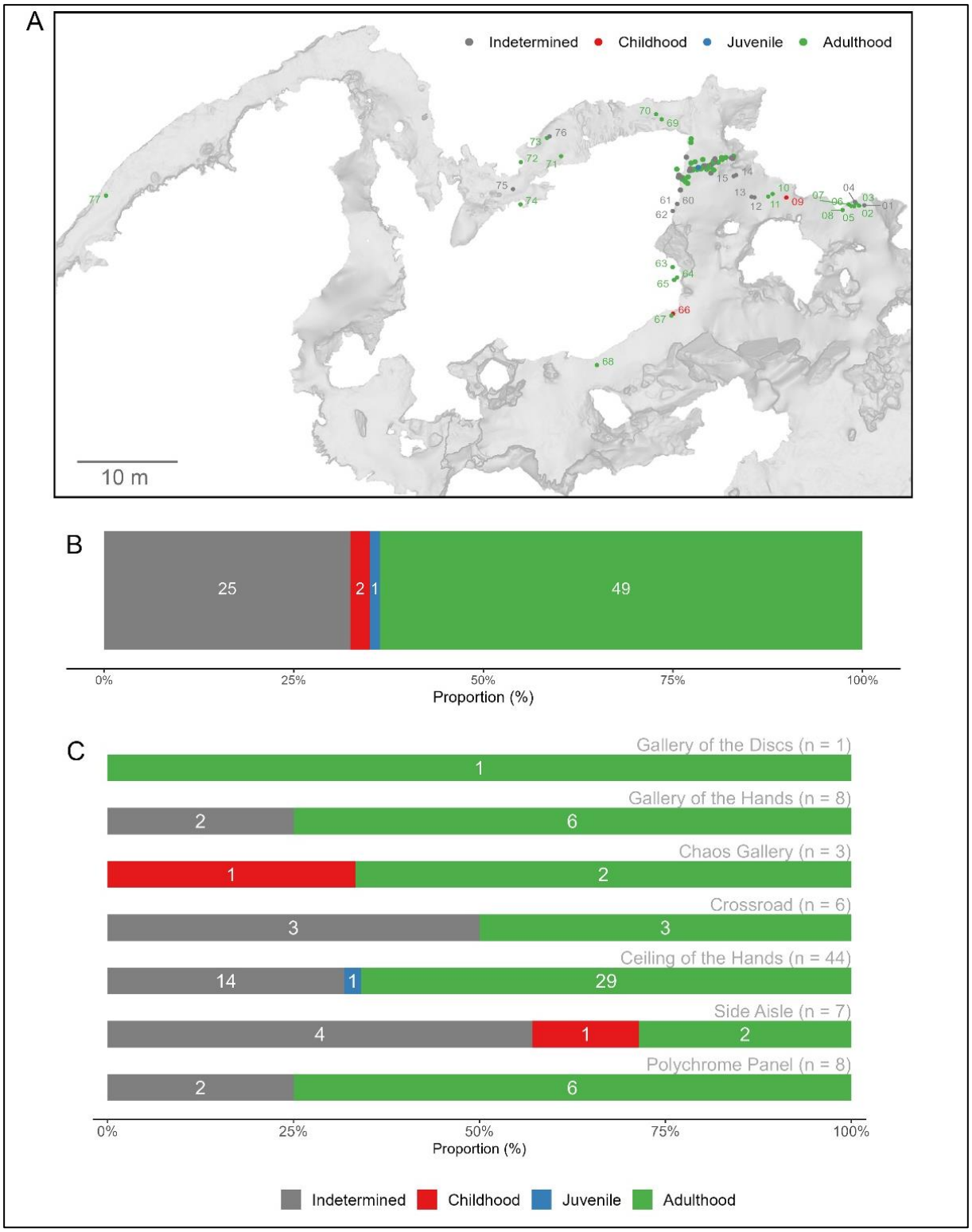


Figure 103. **A**. Proportion des catégories d'âge d'El Castillo selon Fernández-Navarro (données transmises personnellement en 2024). **B**. Distribution des catégories d'âge des mains négatives par zone. **C**. Dispersion de celles-ci sur le plan de la cavité.

5.1.3.2.6. Densité des motifs

On observe une haute concentration des motifs de mains négatives autour de deux zones en particulier : Le *Plafond des Mains* et le *Panneau des Polychromes* (Figure 104). Nous l'avons vu, ces deux zones se distinguent également par leur haute visibilité, de façon particulièrement marquée pour le *Plafond des Mains*. Il faut aussi noter qu'elles sont assez proches l'une de l'autre, et de l'entrée de la cavité, et connectées entre elles par les exemplaires de mains du *Bas-Côté*. Les mains sont également situées en général du côté droit de la cavité, depuis l'entrée, comme l'observaient déjà Groenen & Groenen (2019). En général, ces motifs sont rassemblés dans la partie antérieure de la grotte, et totalement absents des zones plus profondes, bien qu'ils soient tous déjà dans l'obscurité totale.

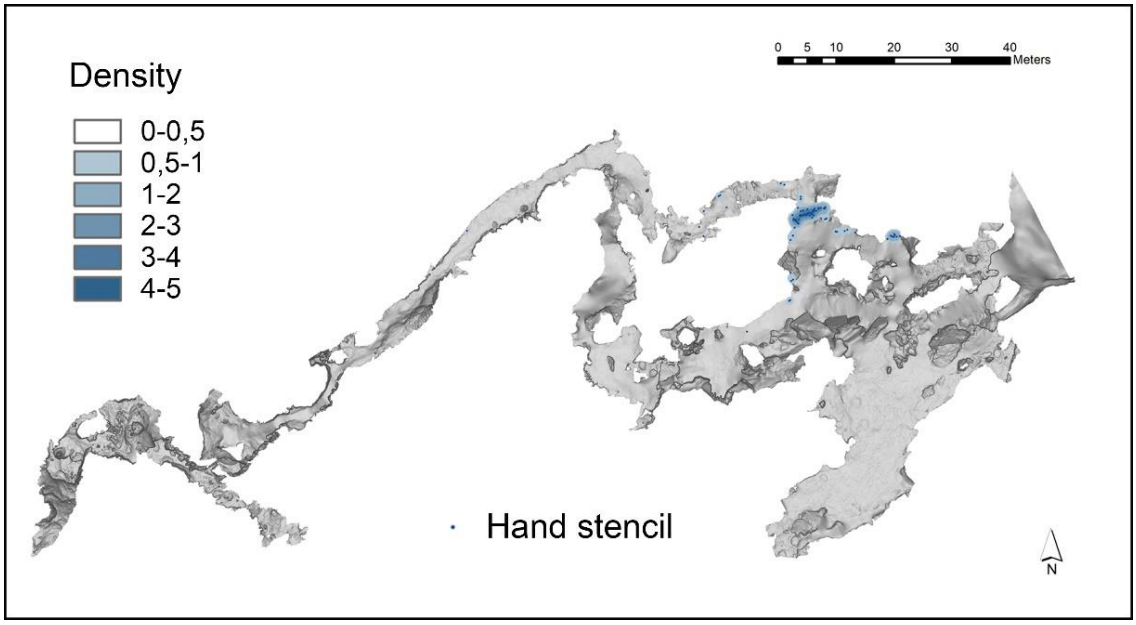


Figure 104. Carte de densité des motifs dans la grotte, obtenue par analyse *Kernel*, montrant la dispersion et le regroupement des mains négatives.

5.1.3.2.7. Analyse Factorielle de Correspondance (AFC) et Classification Hiérarchique sur Composantes Principales (CHCP)

Seront présentées ici avec davantage de détails les étapes qui ont rythmé notre processus de réflexion et de décision quant à l'analyse statistique des données obtenues par l'analyse spatiale de la distribution des mains négatives à El Castillo.

5.1.3.2.7.1. Première analyse

Nous avons tout d'abord procédé à une analyse préliminaire avec la *difficulté du chemin*, la *longueur du chemin*, la *hauteur du motif*, la *visibilité totale*, l'*intervisibilité*, la *latéralité*, et

l'*angle d'orientation transformé*, variables sur lesquels nous avons effectué la *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* (CHCP). Cette analyse a identifié 4 clusters (Figure 105, A), que nous avons tenté de décomposer pour tenter de comprendre les schémas qui les structuraient.

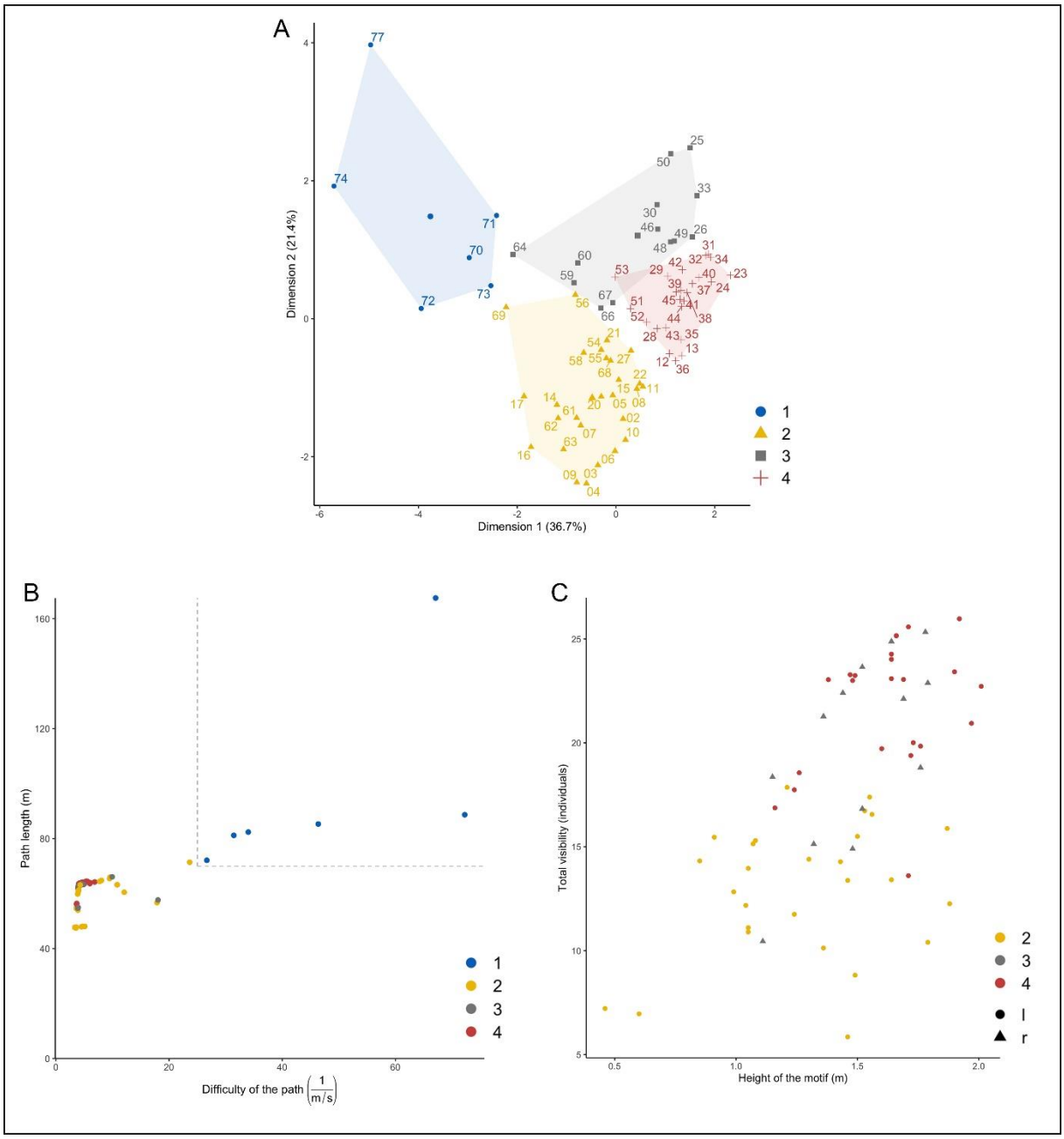


Figure 105. **A.** *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de la grotte d'El Castillo considérant les variables suivantes : la *difficulté du chemin*, la *longueur du chemin*, la *hauteur du motif*, la *visibilité totale*, *l'intervisibilité*, la *latéralité*, et l'*angle d'orientation transformé.* **B.** Répartition des clusters créés en fonction de la *longueur* et de la *difficulté du chemin*. On voit que le cluster 1 se distingue par rapport à ces variables. **C.** Distribution des mains négatives dans les clusters 2, 3 et 4 en fonction de la hauteur des motifs (*x*) et la visibilité totale (*y*). On voit que les clusters 3 et 4 sont rassemblés de façon assez homogène.

Après analyse, il fut observé que le seul facteur utilisé pour séparer les clusters 3 et 4 était la *latéralité* (Figure 105, C). Par rapport aux variables de *visibilité* et de *hauteur des motifs*, par exemple, toutes les mains négatives de ces deux clusters se trouvent rassemblées de façon homogène (Figure 105, B et C).

Cette variable de *latéralité* agissant donc de façon totalement indépendante, sans prendre en compte les autres variables dans cette décision de séparer cet ensemble en deux, il semble plus pertinent de l'exclure, car elle ne semble pas suffisante pour la création de cette scission. Ce faisant, la seule variable catégorielle de l'analyse est supprimée et n'avons alors plus affaire à des données mixes, toutes les variables restantes étant quantitatives.

5.1.3.2.7.2. Seconde analyse

Nous avons donc procédé à une seconde analyse avec la *difficulté du chemin, la hauteur du motif, la visibilité totale des mains, l'intervisibilité* et *l'angle d'orientation transformé de la main.*

On observe dans la carte factorielle (Figure 106, A) un groupe de mains négatives qui forment une ligne, à partir d'environ -2 dans la dimension 1 et -2 dans la dimension 2 vers la droite. Ensuite, les mains à partir de 69 sont plus dispersées vers la gauche, les mains négatives 74 et 77 étant relativement éloignées.

Pour ce qui est du graphique des variables (Figure 106, B) la *difficulté d'accès*, la *hauteur des motifs*, la *visibilité totale* et l'*intervisibilité* sont celles qui expliquent la plus grande variation de la dimension 1, et la *longueur du chemin* celle de la dimension 2. L'orientation de la main semble contribuer très peu à l'une ou l'autre dimension.

Le graphique des variables quantitatives renforce la figure précédente (Figure 106, C). La *longueur du chemin* et la *difficulté d'accès* vont de pair, tandis que la *visibilité totale*, la *hauteur du motif* et l'*intervisibilité* se rassemblent dans la direction opposée. La rotation a très peu contribué à l'une ou l'autre direction.

Quant au diagramme d'éboulis (Figure 106, D), il montre que la première dimension représente plus de 40 % de la variation totale de l'ensemble de données original et que la somme cumulée de la proportion de variance expliquée par les trois premières composantes principales est supérieure à 80 %. Cela suggère à nouveau que les trois premières composantes principales devraient suffire pour toute analyse successive.

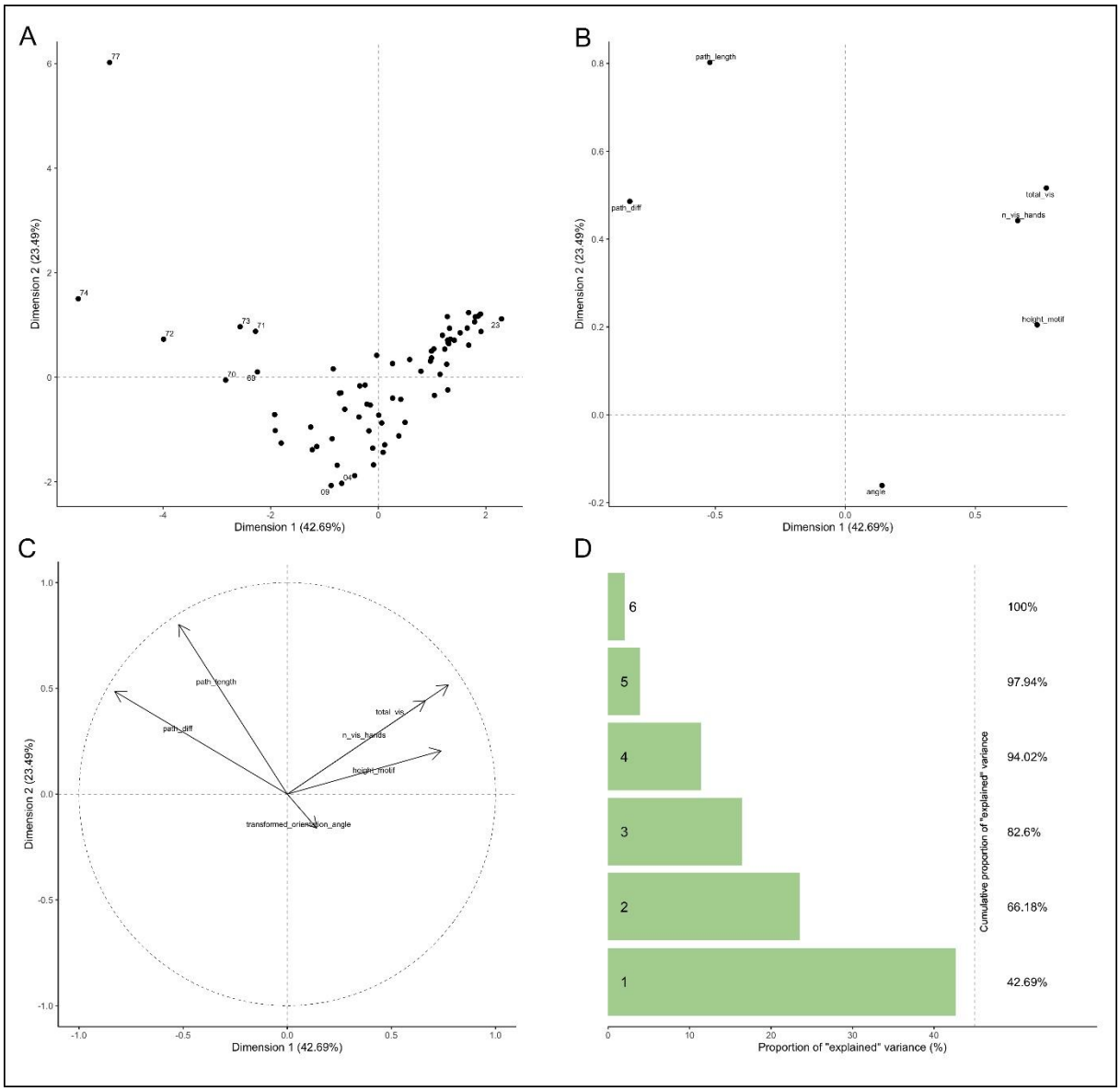


Figure 106. Graphiques de la seconde *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de la grotte d'El Castillo. **A.** Carte factorielle individuelle **B.** Graphique des variables. **C.** Graphique des variables quantitatives. **D.** Diagramme d'éboulis.

Lorsqu'on observe de façon détaillée la contribution des variables dans les deux dimensions (Figure 107), on note que pour la dimension 1, la *difficulté du chemin* est la variable qui contribue le plus, suivie de près par la *visibilité totale* et la *hauteur du motif*. Dans la dimension 2, sans la *latéralité*, la *longueur du chemin* reste la variable la plus importante et se distingue vraiment avec une contribution de plus de 40 %. La variable suivante qui contribue le plus est la *visibilité totale*, avec une contribution inférieure à 20 %.

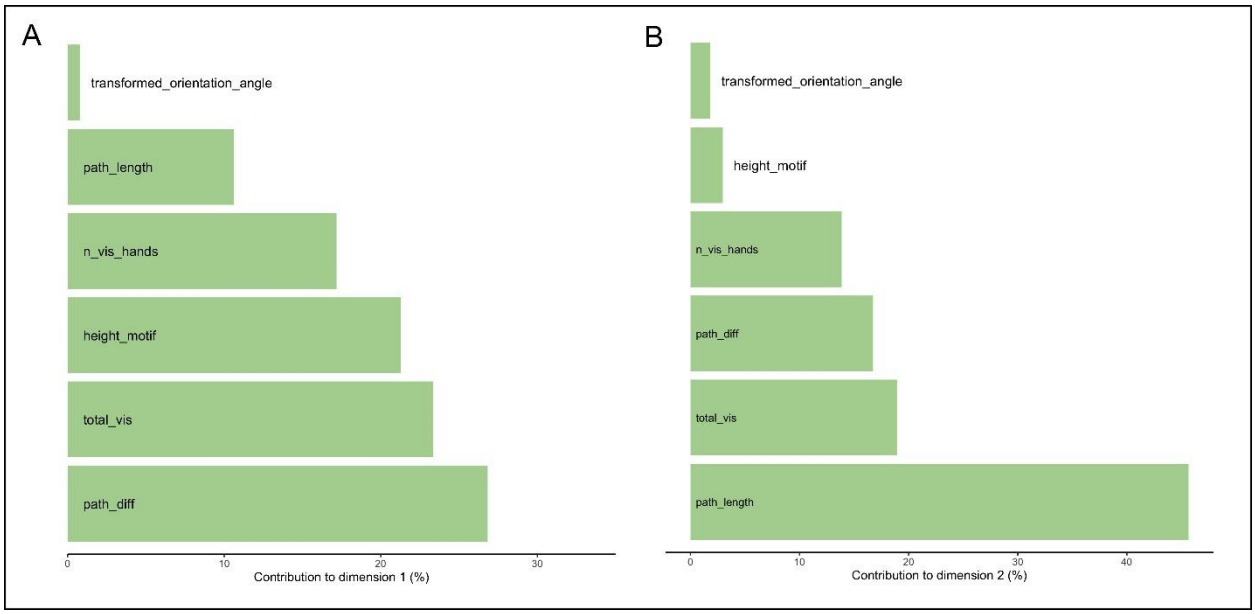


Figure 107. Contribution des variables dans la dimension 1 (**A**) et 2 (**B**) de la seconde *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de la grotte d'El Castillo.

Sans *latéralité* pour diviser le cluster 3, la seconde *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* a créé trois clusters à partir des données (Figure 108).

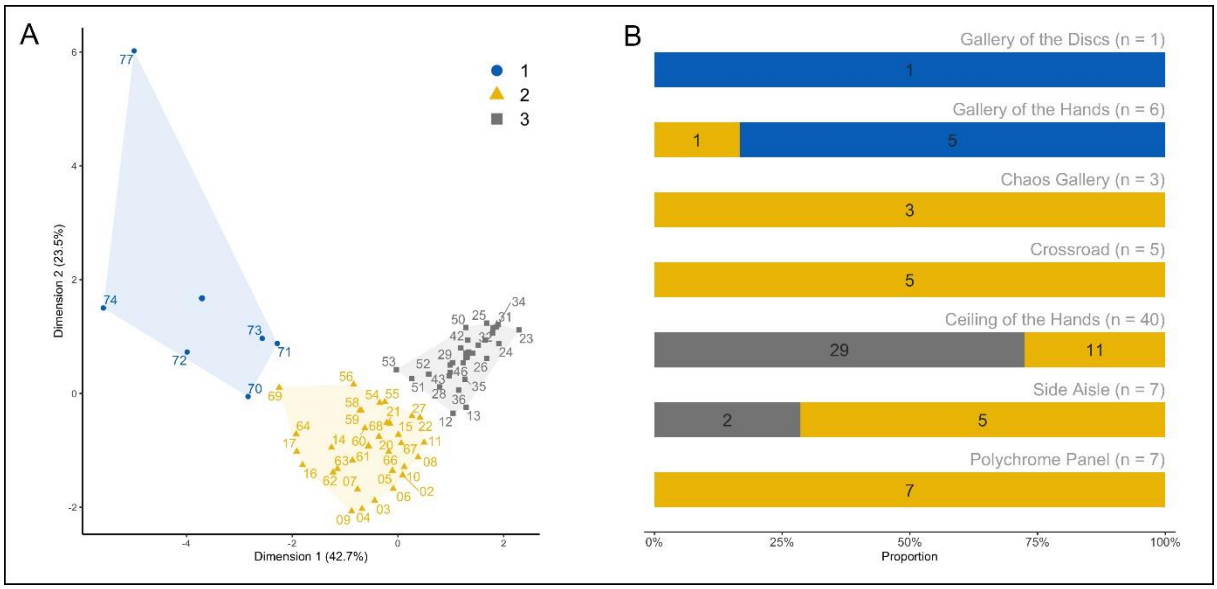


Figure 108. Seconde *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de la grotte d'El Castillo. **A**. Analyse en clusters. **B**. Proportion de mains dans les clusters par zone.

Le premier ensemble (cluster 1) est composé exclusivement des mains négatives du *Plafond des Mains* et de la *Galerie des Disques*, en raison de leur chemin relativement plus long et de leur difficulté d'accès plus élevée (Figure 109, A).

Les autres mains ont été séparées en deux ensembles, principalement en fonction de leur visibilité et de leur hauteur. Le cluster 2 est composé de pochoirs plus proches du sol et moins visibles et le cluster 3 de mains plus hautes et plus visibles (Figure 109, B).

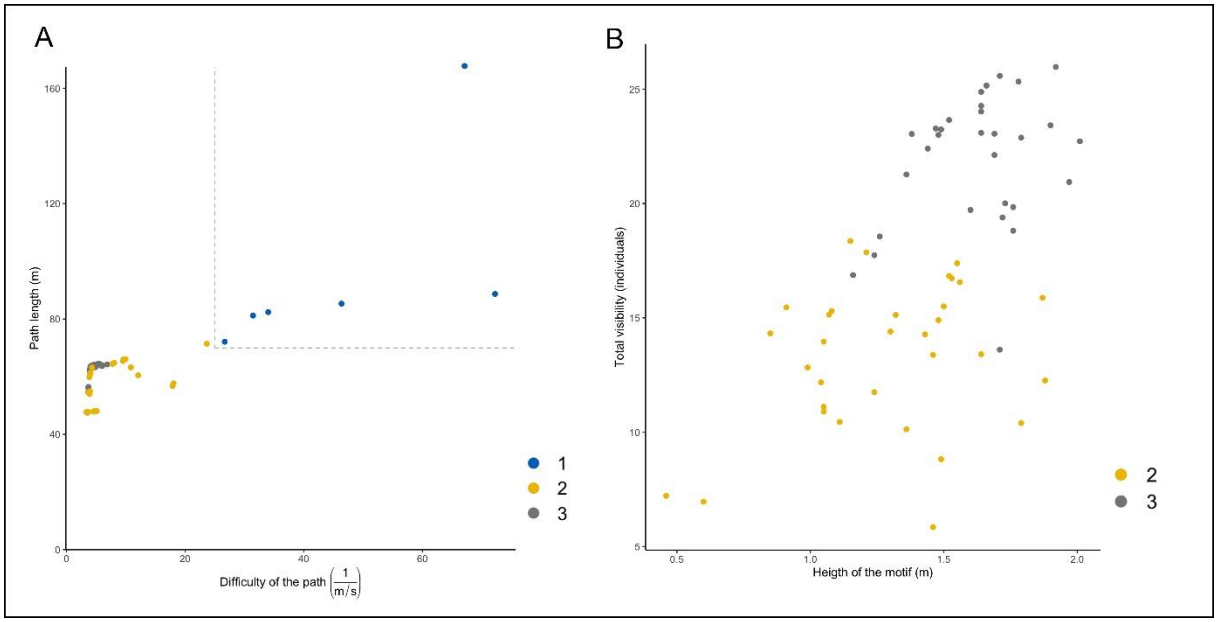


Figure 109. **A.** Répartition des clusters créés par la seconde *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de la grotte d'El Castillo en fonction de la *longueur* et de la *difficulté du chemin*. On voit que le cluster 1 se distingue par rapport à ces variables. **B.** Répartition des clusters 2 et 3 créés par la seconde *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de la grotte d'El Castillo en fonction de la *visibilité totale* et de la *hauteur du motif*.

Presque toutes les mains du *Plafond des Mains* sont regroupées dans le cluster 3 (positions hautes et très visibles), à l'exception d'une partie d'entre elles qui, en raison de leur emplacement proche du sol, sont regroupées dans le cluster 2. Comme il s'agit d'un plafond, la plupart des mains négatives sont relativement hautes, ont une grande visibilité et un grand nombre de mains négatives peuvent être vues à partir de chaque main. Deux mains particulièrement hautes et visibles du *Bas-côté* rejoignent également le cluster 3.

Toutes les mains restantes sont regroupées dans le cluster 2, y compris celles situées sur le *Panneau des Polychromes* (un panneau avec d'abondantes récurrences d'utilisation, c'est-à-dire un espace important dans l'ensemble décoré) où l'on s'attendrait à ce qu'elles soient regroupées dans le cluster 3. Cela pourrait s'expliquer par leur visibilité moindre par rapport au *Plafond des Mains*. Cependant, nous observons que ces chiffres restent élevés et que le panneau offre également un grand espace pour accueillir un public potentiel. Une main négative de la *Galerie des Mains* se trouve aussi dans le cluster 2, en raison de sa moindre visibilité, de sa hauteur et du nombre de mains qu'elle peut voir.

Il convient également de noter que l'analyse de clusters n'a pas permis d'identifier de modèle significatif basé sur l'angle de rotation des mains négatives ni sur leur latéralité.

En résumé, l'analyse a dégagé trois clusters de mains négatives. Premièrement, les mains relativement plus difficiles à atteindre (cluster 1). Deuxièmement, des mains qui ne sont pas très hautes et qui, par conséquent, sont moins visibles, avec aussi un taux faible d'intervisibilité (cluster 2). Enfin, le dernier cluster de mains, très visibles, qui sont globalement hautes (cluster 3).

5.1.3.3. Analyse au niveau micro-spatial

5.1.3.3.1. Position de l'artiste

Au niveau micro-spatial, concernant la position de l'artiste, on peut observer qu'elle varie beaucoup dans toutes les mains négatives de la cavité. On compte 12 mains faites *accroupi/agenouillé/assis/couché*, 19 mains *penché*, 30 mains *penché/debout*, 10 mains *debout* et 6 mains *surélevé* (Figure 110).

Comme pour la latéralité et l'âge des exécutant, on n'observe pas non plus de répartition d'une certaine position par zone, mais bien une grande disparité des positions dans tous les espaces ornés.

Le fait que facilité de la position n'ait pas été systématiquement privilégiée suggère que la commodité de l'exécutant était moins importante que le choix de parois spécifiques, pour des raisons qui relevaient peut-être plutôt de l'ordre du symbolique.



Figure 110. **A**. Dispersion des positions de l'exécutant des mains négatives d'El Castillo sur le plan de la cavité. **B**. Proportion de celles-ci. **C**. Dispersion en fonction des zones définies.

5.1.3.3.2. Orientation

Enfin, je propose d'approcher encore de plus près les gestes des Paléolithiques, en m'intéressant à l'orientation des mains, impliquant les positions corporelles nécessaires pour les placer sur les parois. J'ai en effet noté que la majorité des motifs étaient réalisés de manière confortable et naturelle, les mains gauches étant généralement orientées entre 300º (ou plutôt -60º) et 120º), tandis que les mains droites étaient logiquement orientées entre 270º (-90º) et 90º, chacune étant légèrement dirigée vers le centre du corps (Figure 111).

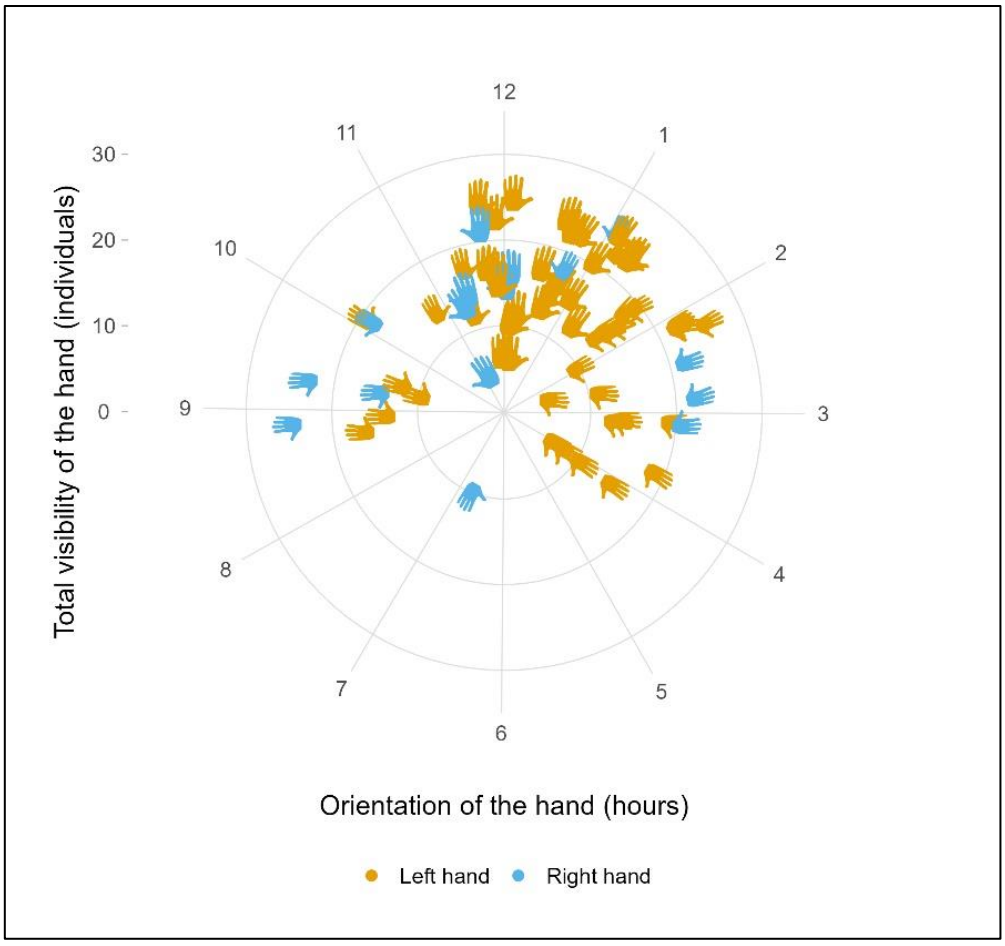


Figure 111. Orientation de toutes les mains négatives avec latéralité déterminable de la grotte d'El Castillo en fonction de leur visibilité.

Cependant, une main négative se distingue et ne suit pas ce schéma. La main 64 est en effet très particulière, car son emplacement implique que l'exécutant ait placé son coude complètement à l'intérieur de la cheminée dans laquelle elle se trouve (Figure 112). De même, la main 63, à proximité directe, présente également une orientation singulière, située sur un pan rocheux descendant, orientée dans la direction de la pente, vers le bas. Dans cet autre cas, je constate à nouveau que la position choisie n'est pas naturellement la plus facile à réaliser, puisqu'elle nécessite une position pliée et tordue pour l'exécutant.

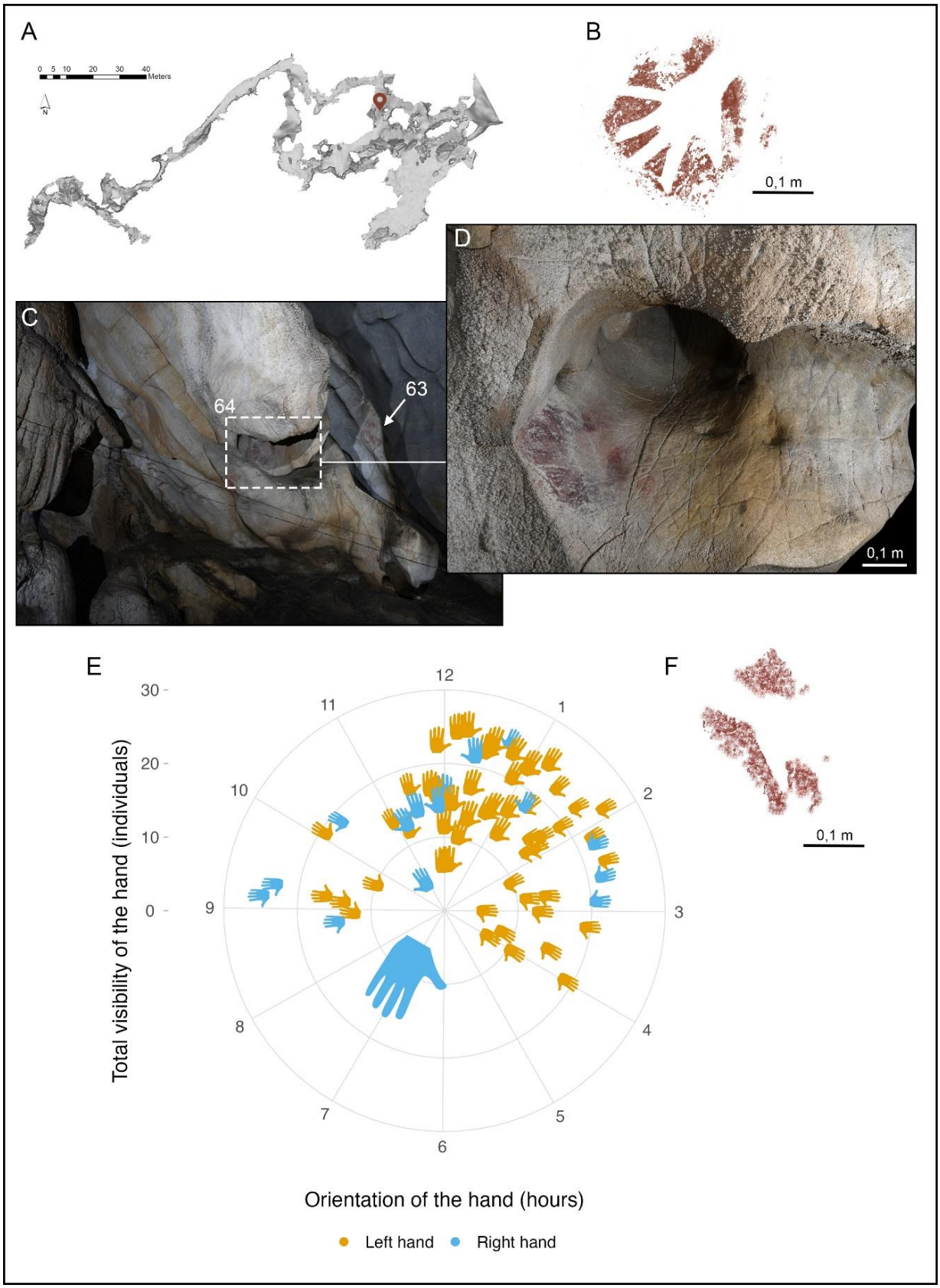


Figure 112. **A**. Situation des pochoirs 63 et 64 sur la grotte (suivant la numérotation de Collado Giraldo (2018)). **B**. Relevé pariétal de la main 64 (auteur : S. Salazar). **C**. Image générale de la zone, où la situation de la main 63 est encadrée et une flèche indique la main 63. **D**. Détail de la main 64. **E**. Orientation de tous les pochoirs déterminables de la grotte, avec la main 64 mise en évidence. **F**. Relevé pariétal de la main 63 (auteur : S. Salazar).

5.2. Fuente del Trucho

5.2.1. Restitution de l'état paléolithique de la cavité

5.2.1.1. Sources disponibles

Les sources disponibles pour documenter la reconstitution de la grotte/abri de Fuente del Trucho, comme nous l'avons vu dans la section 4.2.3.2, sont assez peu précises. En effet, la confusion des datations de la première fouille archéologique (Mir, 1987 et Mir et Salas, 2000), cumulée au caractère meuble du sol de la cavité dans le secteur des peintures (Utrilla et al., 2016), ont pour conséquence que les données quant à l'état du sol au Paléolithique sont assez vagues.

Par ailleurs, je n'ai pas trouvé de photographies anciennes, ou de textes, comme ce fut le cas pour la grotte d'El Castillo. L'art pariétal de Fuente del Trucho fut découvert bien postérieurement (plus de 70 ans plus tard). Son utilisation comme abri pour le détail donne un indice de la méconnaissance de son importance patrimoniale et scientifique avant cette date, et explique aussi l'absence de sources d'archives de ce type.

La documentation disponible pour notre reconstruction se limite donc aux publications sur les fouilles réalisées ainsi qu'au nuage de points, à une série d'orthophotographies et à un modèle tridimensionnel texturé.

5.2.1.2. Information collectée et décisions

Les décisions que j'ai prises par rapport à la reconstruction de la morphologie de la cavité de Fuente del Trucho, en lien avec ses figurations de mains négatives, sont les suivantes.

Par rapport au plafond, comme nous l'avons vu, le problème fut assez simple, puisque celui-ci est très largement orné. Certains motifs sont certes en état de conservation moins bon que d'autres, et une fine couche de calcite est apparue à plusieurs endroits (utilisée pour la datation U-Th mentionnée dans la section 2.1.2) mais l'on peut considérer avec assez de sécurité que si les motifs ont survécu jusqu'à nous, c'est que la surface qui les héberge était similaire à celle que l'on peut observer aujourd'hui. Sa découverte tardive a aussi évité sa modification à des fins de tourisme, ce qui a réduit considérablement le travail de reconstitution que cela aurait impliqué.

Pour ce qui est de la morphologie du sol de la cavité, en revanche, le sujet est plus complexe. Pour exposer les décisions prises à ce propos, il faut revenir sur la problématique de la datation des différentes fouilles ayant été réalisées dans la cavité (Figure 113).

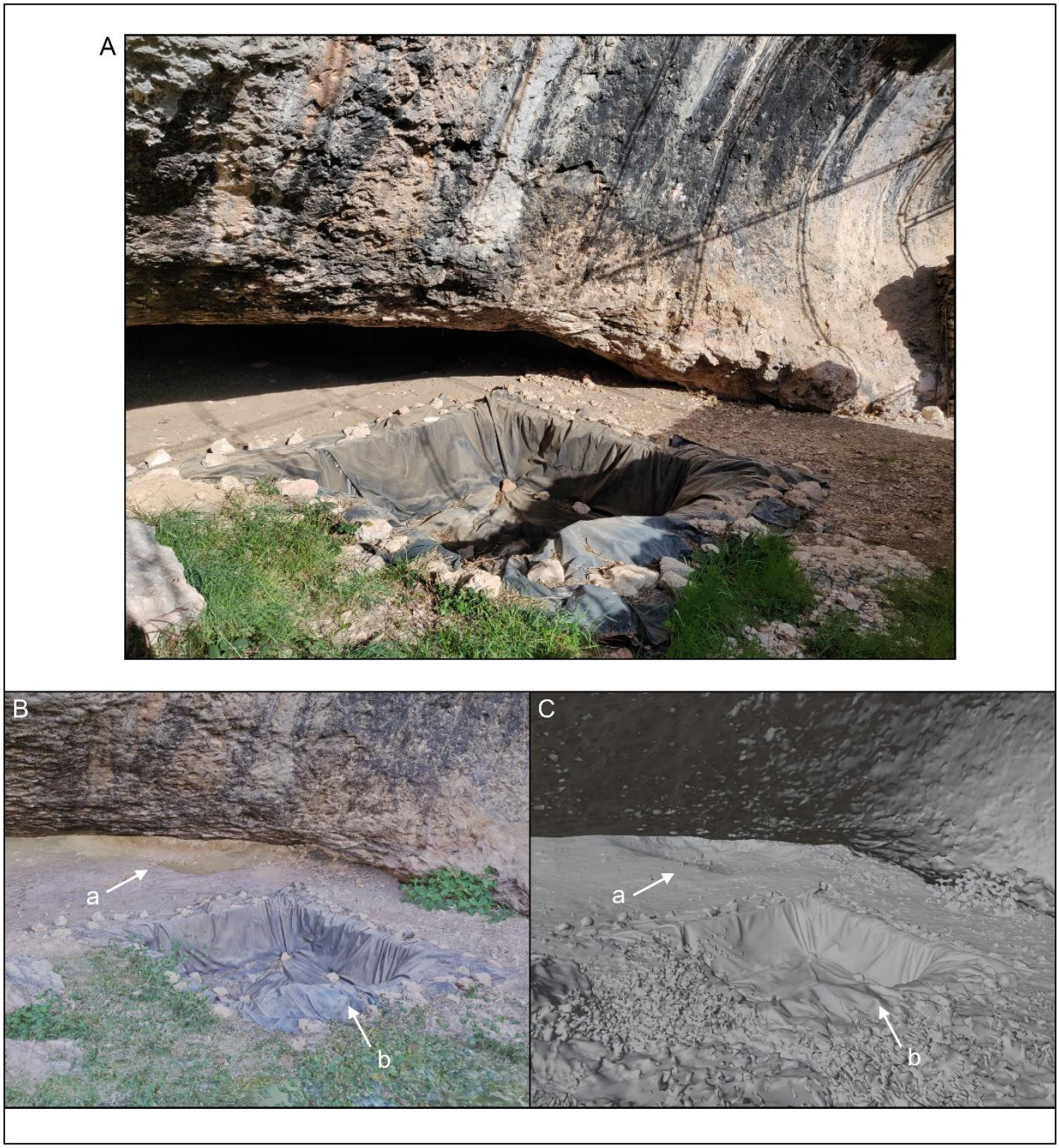


Figure 113. **A**. Photographie de l'entrée de la grotte/abri de Fuente del Trucho. **B**. Vue du même endroit dans l'objet tridimensionnel texturisé. **a)** Fouilles intérieures d'Utrilla *et al.* (2016). **b)** Fouilles de Mir & Salas (2000). **C**. Vue du même secteur dans le modèle sans texture.

Nous l'avons vu, les travaux de Mir et Salas (2000) défendent en effet, pour la fouille extérieure, que les niveaux excavés appartiennent bien au Paléolithique récent, malgré leur matériel et matière première qui ressemble à ceux du Paléolithique moyen (Figure 114). Face à ces données contradictoires, ils proposent leur datation au *Badegoulien*, qui expliquerait selon ceux-ci

l'incohérence observée. A cela, l'étude d'Utrilla *et al.* (2016) réplique qu'il s'agit sans doute d'une contamination d'échantillons, et que ces niveaux sont Moustériens.

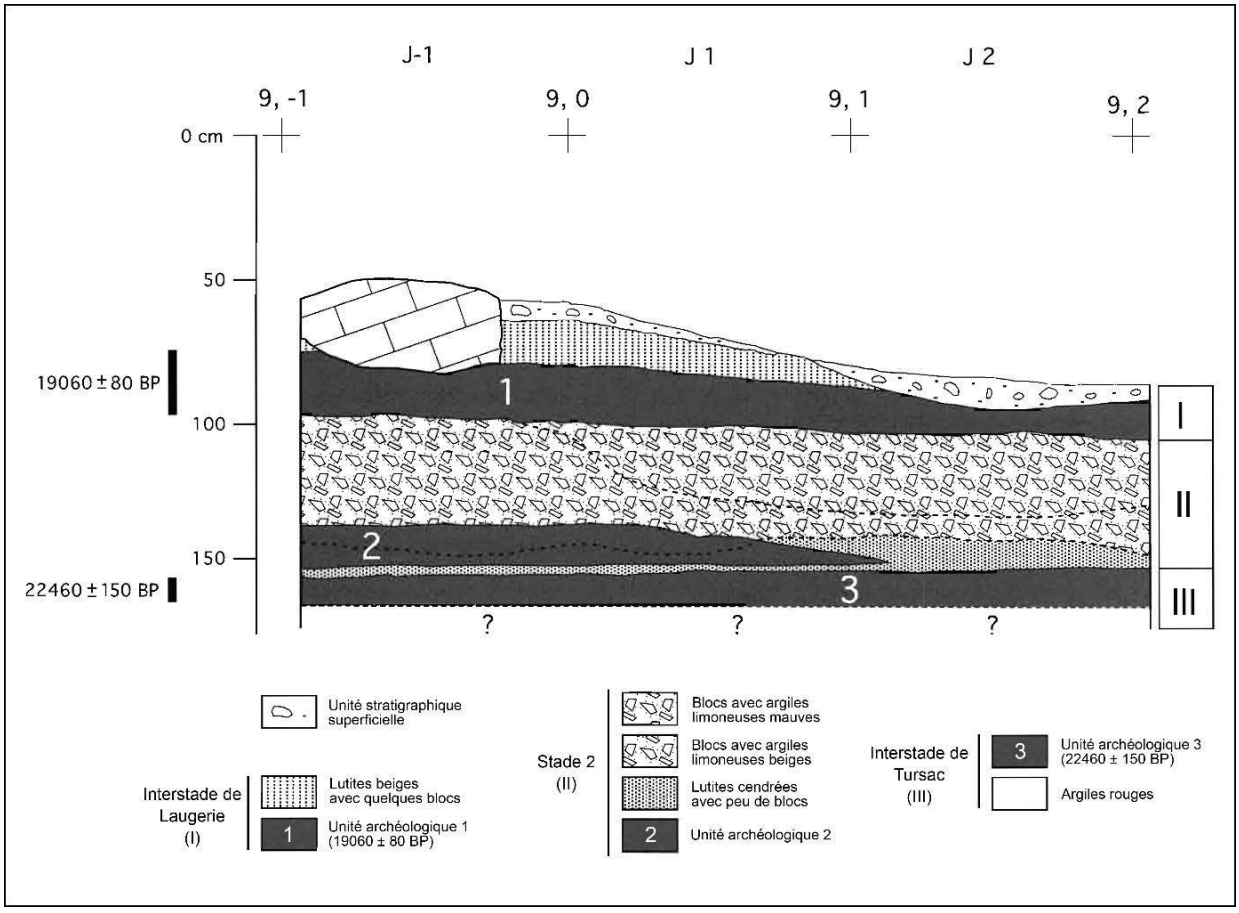


Figure 114. Stratigraphie des fouilles de Mir & Salas (2000)

Les fouilles d'Utrilla *et al.* (2016) à l'intérieur de la cavité ont aussi fait face à des difficultés. Celles-ci ne présentent pas de coupe stratigraphique en raison d'un sol trop meuble. Ce point complique ma reconstitution car il m'est difficile de me représenter la situation des éléments par rapport au niveau du sol actuel. Selon les informations qui m'ont été communiquées personnellement par P. Utrilla, les restes retrouvés pour la fouille au pied des *signes trilobés sont les suivantes :*

- Présence de matériaux affleurant au sol
- Entre 62 et 118-120 cm : Paléolithique récent remanié
- A partir de 116-118 cm : Paléolithique moyen couche 1 (correspondant à la UA1 de Mir)
- A partir de 136-140 cm : Paléolithique moyen couche 2 (correspondant au UA2 de Mir)

Selon Utrilla, ces niveaux du Paléolithique moyen correspondraient à ceux de la fouille de Mir. Cependant, il faut noter que sa fouille est faite dans une partie de la grotte de 50 cm plus profonde que celle de Mir. Selon les données en présence, les fouilles d'Utrilla *et al.* ont donc

mis au jour un niveau de matériel appartenant au Paléolithique récent qui était absent du sol fouillé par Mir, situé plus profondément que les niveaux du Paléolithique moyen des fouilles de Mir. Ces derniers commençaient en effet à -75 cm sous son niveau zéro, tandis que ceux d'Utrilla commenceraient à – 1,66 m sous celui-ci.

La situation des fouilles d'Utrilla dans une zone en cuvette pourrait participer à l'explication de cette différence de niveau, ainsi que le remaniement profond du sol par le bétail.

Cependant, toutes ces informations sont complexes à interpréter, pour plusieurs raisons :

(i) Il reste un doute quant à la chronologie des fouilles de Mir & Salas.

(ii) Les pièces rattachées au Paléolithique récent de la fouille intérieure ne sont pas situées stratigraphiquement.

(iii) Il n'y a pas d'homogénéité évidente pour cette période entre les deux fouilles.

(iv) Le sol inégal fait qu'il est possible que le sédiment se soit accumulé dans certaines zones, et il est également possible qu'il y ait eu des abaissements de terrain, justement à cet endroit surbaissé.

(v) Le sol de la grotte va en montant vers le fond, ce qui fait que la sédimentation est sans doute plus faible au fond qu'à l'entrée (en plus de l'argument pratique de l'obscurité au fond qui défavorise l'occupation par rapport à l'entrée protégée et lumineuse). Par ailleurs, le sol près des parois s'est probablement moins accumulé, car le plafond est plus bas quand on s'y approche, ce qui rend ces zones moins commodes.

Face à ces données, cela n'aurait pas de sens d'enlever une couche uniforme dans toute la grotte. Or, si on enlève une couche différenciée, comment décider où s'arrête la sédimentation, sans données archéologiques ? La décision fut donc prise de ne pas modifier le sol et de considérer que les données de visibilité obtenues sont un *minimum*. Ainsi, il est probable que les mains négatives étaient en fait plus visibles que les données qui seront obtenues, sur base de ce sol probablement plus haut que durant le Gravettien. J'ai donc procédé, par rapport au remodelage, uniquement au remplissage virtuel des zones fouillées, pour obtenir un sol plus uniforme (Figure 115).

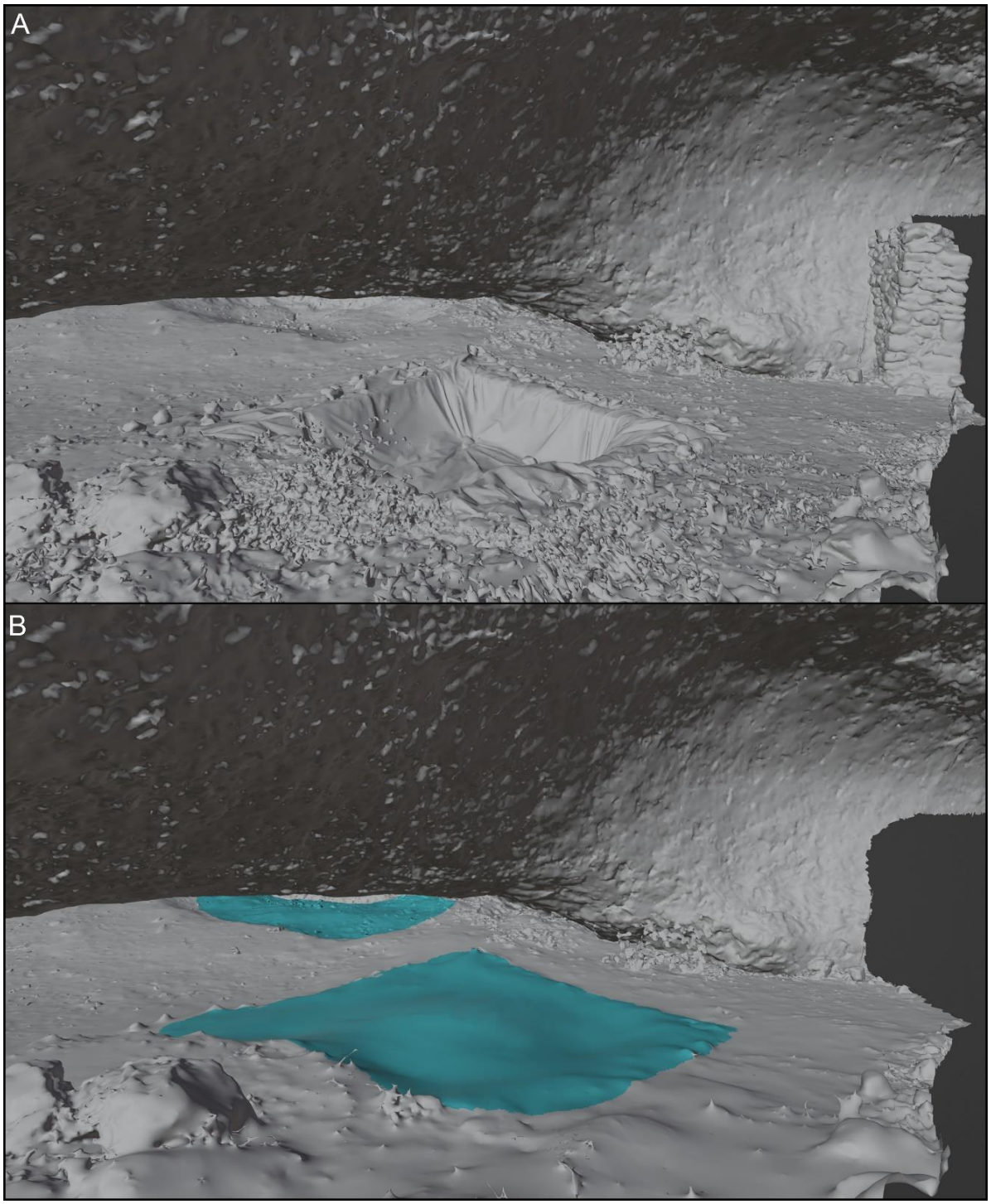


Figure 115. Captures d'écran du logiciel *Blender*® illustrant le processus de restitution du sol de la cavité dans les zones fouillées. **A**. État actuel. **B**. État paléolithique suggéré.

5.2.1.3. Ampliation du corpus

Au cours des travaux d'étude et de documentation, un total de 59 motifs de mains a été localisé. J'ai donc ajouté 4 motifs de mains à l'inventaire de Collado Giraldo *et al.* (2018) (les mains 58 à 61) (Figure 116), et ai écarté pour cette étude la main positive 4 et le bras en négatif 34[66].

[66] Ceci, pour éviter de rassembler des éléments éclectiques dans le *corpus*, comme exposé dans la section 4.1.

Parmi le nouveau total des exemplaires recensés, on compte 53 mains négatives rouges, 3 noires et 3 jaunes.

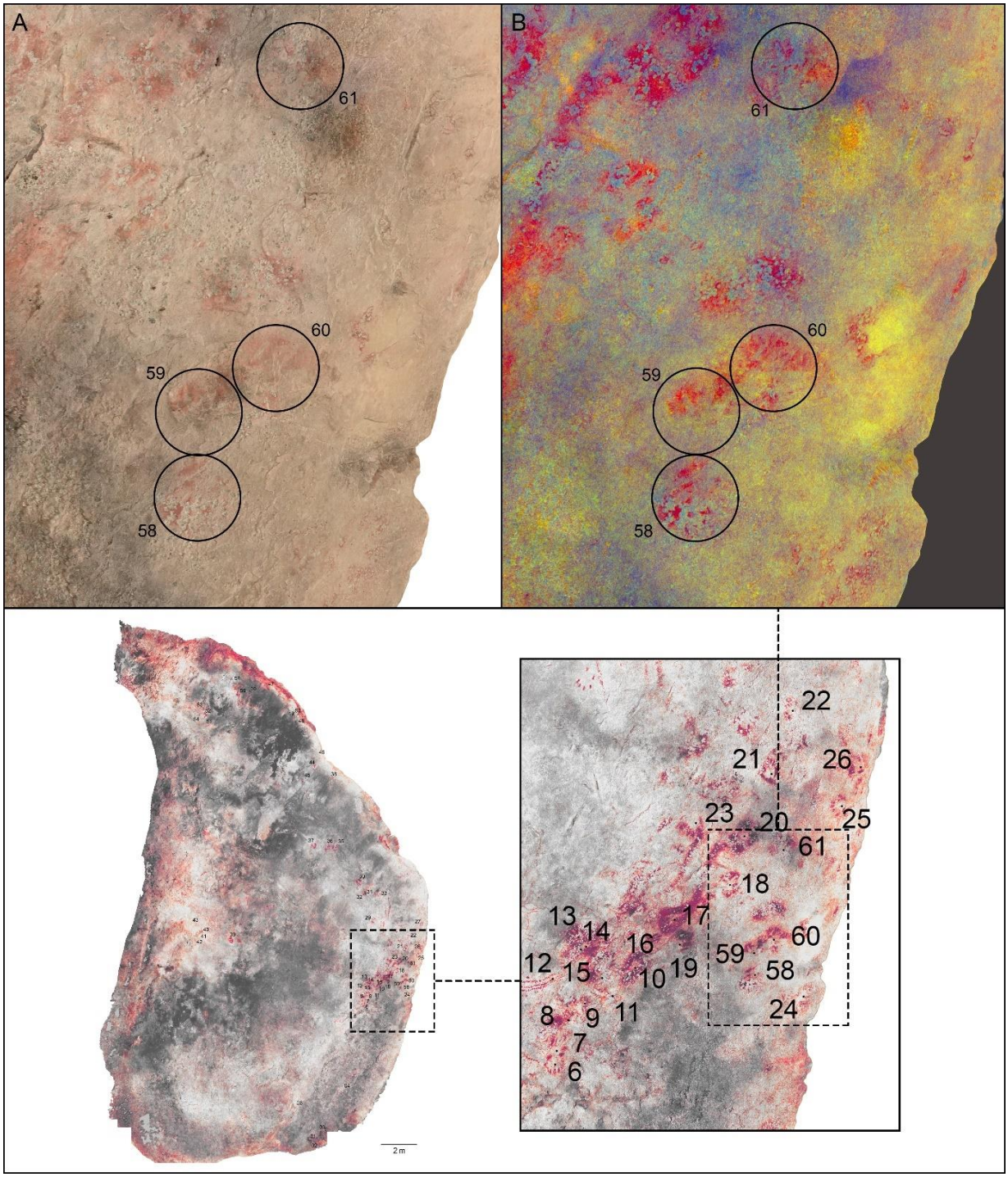


Figure 116. Localisation des mains négatives additionnelles localisées dans le cadre de ce travail, situées sur le plafond de Fuente del Trucho. **A**. Orthoimage. **B**. Orthoimage traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds*, modifiée pour mettre en valeur le pigment rouge.

5.2.2. Géolocalisation des mains négatives

Ce travail a permis de localiser avec précision les mains négatives identifiées dans le modèle 3D de la cavité (Figure 117 et Figure 118).

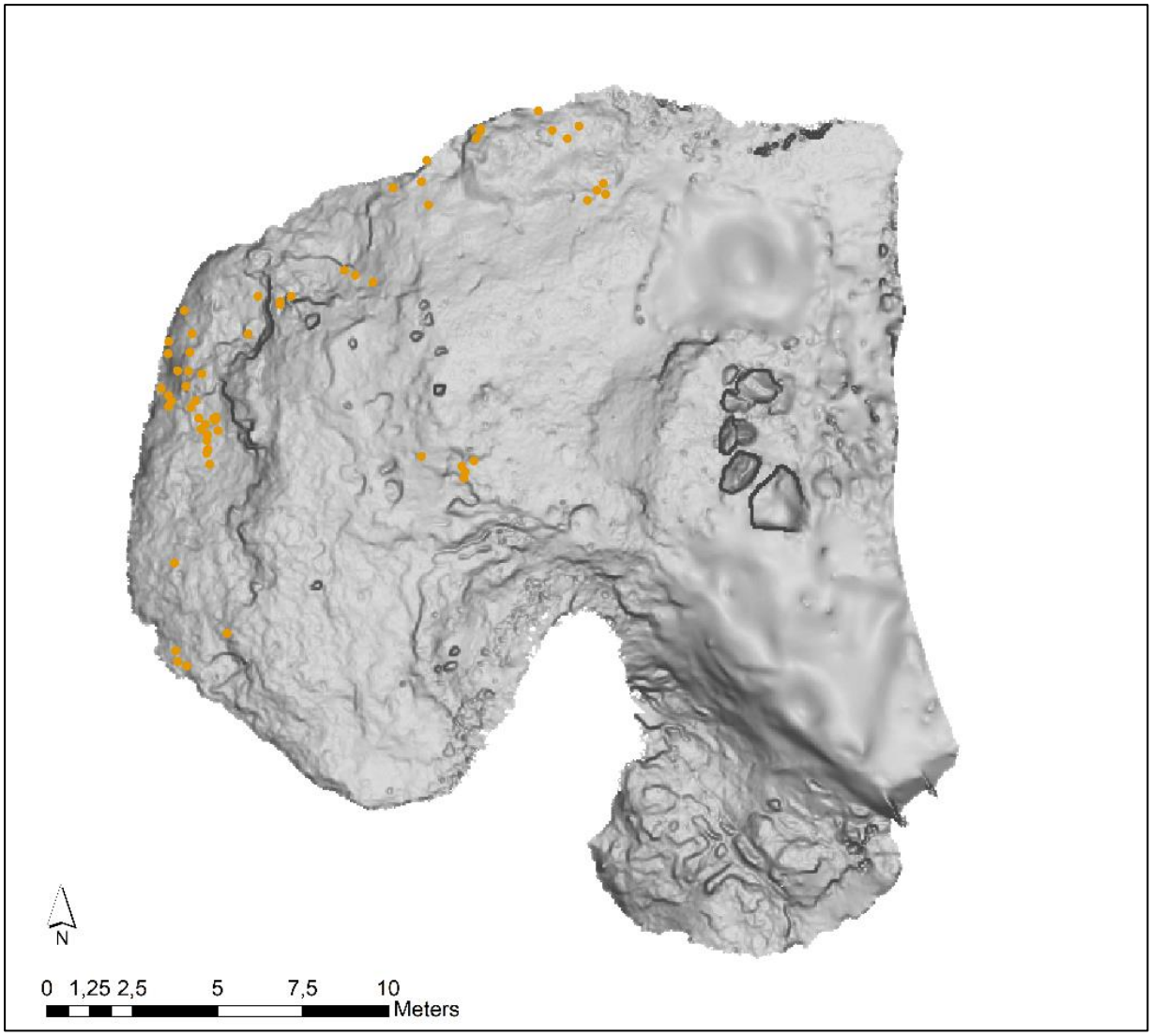


Figure 117. Localisation des mains négatives sur le modèle 3D de la grotte de Fuente del Trucho.

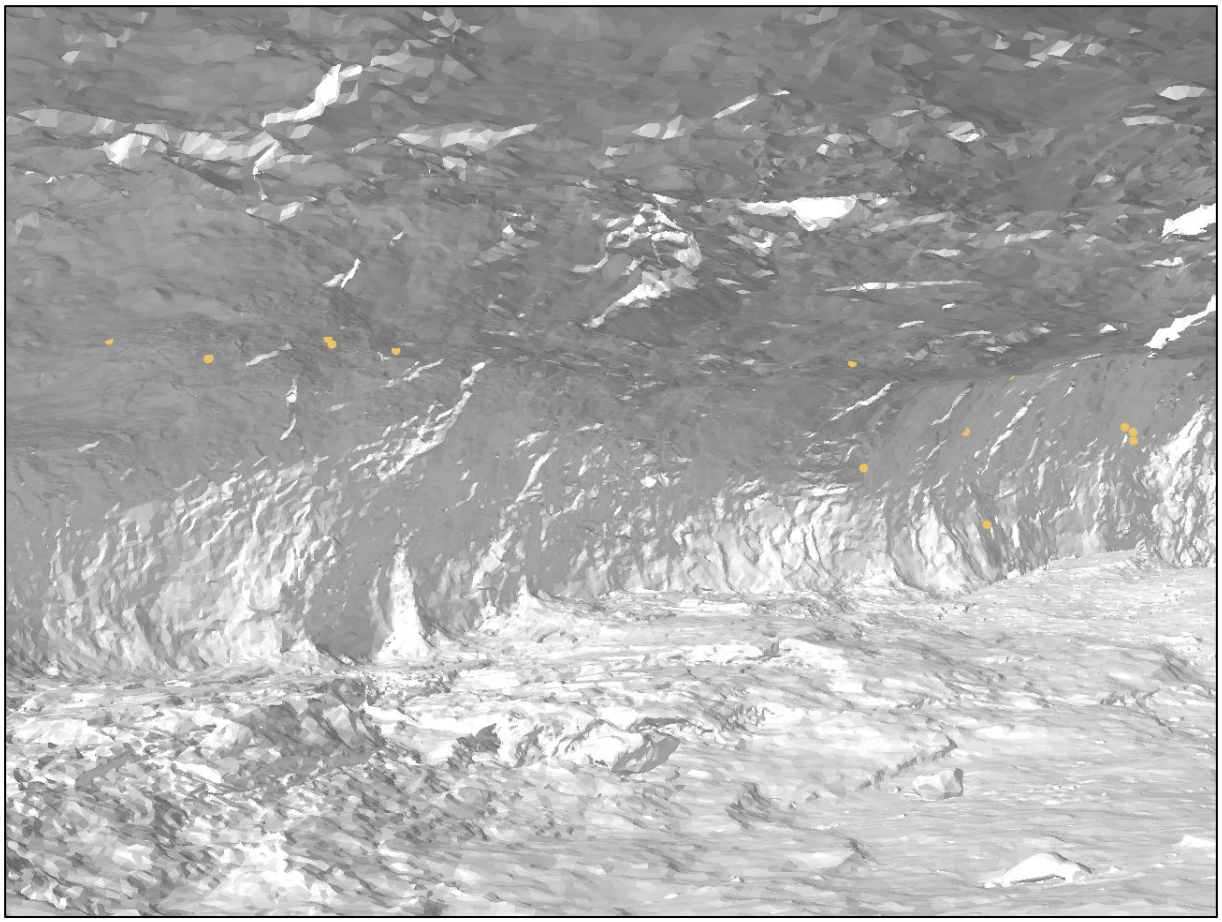


Figure 118. Vue d'une portion du modèle tridimensionnel logiciel *ArcScene*® (paroi du fond et plafond) de Fuente del Trucho avec la situation des mains négatives de la zone en orange.

La méthode que j'ai utilisée pour la localisation s'est organisée en deux temps. J'ai tout d'abord identifié toutes les mains négatives sur les orthophotographies de haute résolution (divisées en différents tronçons, les tesselles) (Figure 119 et Figure 120), obtenues dans le cadre de la digitalisation de la grotte financée par le projet *Mind2Wall.* Cette identification a été réalisée sur base de l'inventaire cité ci-dessus, qui est l'unique répertoire des mains négatives de la cavité à ce jour (une monographie est en cours de préparation par Utrilla, Bea & Angás). C'est au cours de ce travail d'observation que j'ai découvert les mains négatives non-répertoriées auparavant.



Figure 119. Numérotation des mains négatives sur une orthoimage composée de différentes tesselles, ici réunies, du plafond de la grotte de Fuente del Trucho.

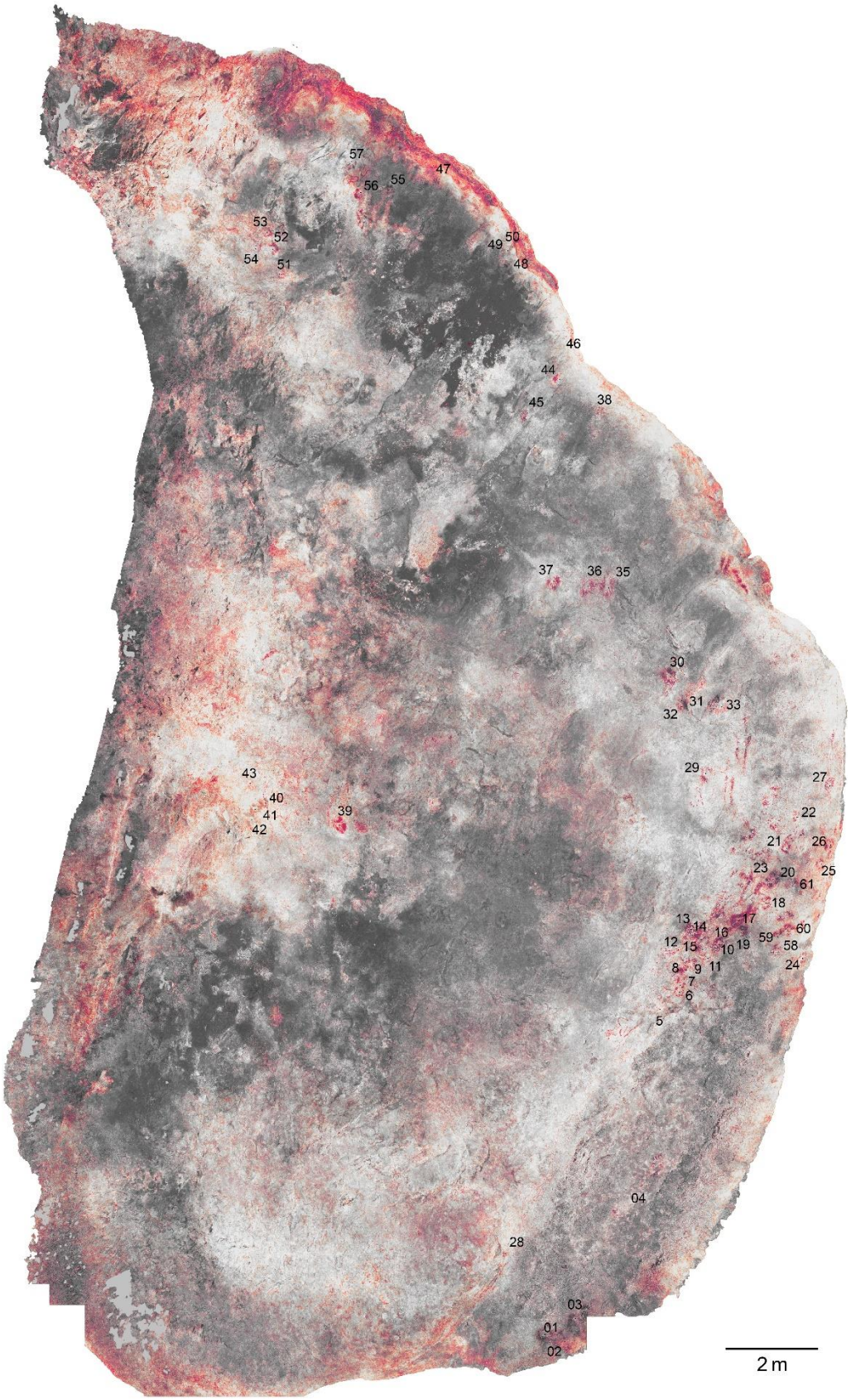


Figure 120. Numérotation des mains négatives sur une orthoimage du plafond de la grotte de Fuente del Trucho, traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *yds*, modifiée pour mettre en valeur le pigment rouge.

J'ai ensuite procédé à la localisation de celles-ci dans le modèle 3D texturé fourni par J. Angas, P. Utrilla et M. Bea (U. Zaragoza). L'image de celui-ci, de bien plus faible résolution, fut suffisante grâce au travail préalable d'identification[67].

Les données topographiques de la position des unités graphiques, obtenues grâce au logiciel *Agisoft Metashape*®, sont présentées dans le Tableau 30, en annexe (section 11.1.2, p. 547), en utilisant le système de coordonnées WGS84 UTM Huso 30[68].

5.2.3. Analyse spatiale

Voici les résultats de l'analyse, présentés à l'échelle macro et micro-spatiale, suivis de questions d'interprétation.

5.2.3.1. Données numériques obtenues

Dans cette grotte s'ajoute un nouvel aspect, qui n'était pas présent à El Castillo : l'existence de doigts incomplets. Pour traiter celle-ci dans l'analyse, comme exposé dans la section 3.4.2, je propose l'utilisation d'un code pour chaque combinaison, formé de lettres présentant un état de complétude différent : *l* représente un doigt complet, *i* un doigt replié et *x* un doigt complètement absent (Figure 121). Tous les codes suivent l'ordre des doigts suivants : pouce – index – majeur – annulaire – auriculaire (indépendamment de s'il s'agit d'une main gauche ou d'une main droite). Pour plus de clarté, j'ai indiqué dans le tableau de résultats ci-dessous la signification de chaque code.

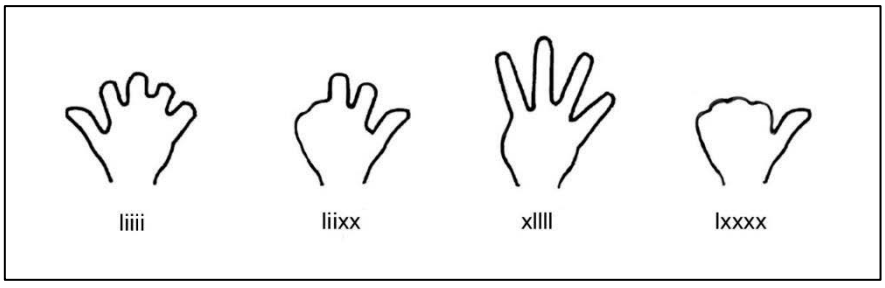


Figure 121. Exemples du code créé pour l'illustration des combinaisons de doigts des mains négatives de Fuente del Trucho.

[67] Il faut mentionner que cette cavité se prêtait particulièrement bien à une localisation des figures avec une station totale, celle-ci étant peu profonde et présentant des parois facilement accessibles. Cette méthode permet une plus grande précision et il aurait été intéressant de l'appliquer pour pouvoir contraster les données obtenues à travers les autres processus de géolocalisation. Cependant, ce projet ne put être mené à bout à cause des complexités d'accès au terrain.

[68] A noter que, comme pour la grotte d'El Castillo, pour faire correspondre les mains négatives avec les coordonnées du modèle 3D de la grotte, il faut soustraire des valeurs, dans ce cas-ci 750 000 m en *x* et 4 675 000 m en *y*.

Les données numériques de l'analyse spatiale obtenues pour chaque main négative sont les suivantes (Tableau 14 et Tableau 15) :

Tableau 14. Données de l'analyse spatiale de Fuente del Trucho illustrant la difficulté et longueur du chemin, la hauteur du motif, la position estimée de l'exécutant et la combinaison de doigts en présence.

Motif	Difficulté du chemin ($1/\frac{m}{s}$)	Longueur du chemin (m)	Hauteur du motif (m)	Position estimée de l'exécutant	Complétude des doigts	Complétude des doigts (code)
Trucho_01	15,9954	26,756097	0,874939	Accroupi	Complet	lllll
Trucho_02	17,1274	26,966015	0,756835	Accroupi	Indét.	Indét.
Trucho_03	16,7684	26,896149	0,774067	Accroupi	Pouce replié (caché)	xllll
Trucho_05	10,0804	22,952158	1,541809	Penché/Debout	Auriculaire replié	lllli
Trucho_06	10,3026	23,076619	1,497741	Penché/Debout	Complet	lllll
Trucho_07	10,3372	23,120898	1,507385	Penché/Debout	Complet	lllll
Trucho_08	10,3347	23,306804	1,467773	Penché/Debout	Indét.	Indét.
Trucho_09	10,2803	23,309714	1,484985	Penché/Debout	Pouce seul	lxxxx
Trucho_10	10,3677	23,620114	1,448933	Penché/Debout	Indét.	Indét.
Trucho_11	10,6717	23,588797	1,347412	Penché/Debout	Indét.	Indét.
Trucho_12	9,72862	23,044664	1,668702	Penché/Debout	Indét.	Indét.
Trucho_13	9,76483	23,585538	1,658203	Penché/Debout	Indét.	Indét.
Trucho_14	9,83586	23,516821	1,610962	Penché/Debout	Indét.	Indét.
Trucho_15	9,77398	23,410776	1,609334	Penché/Debout	Indét.	Indét.

Trucho_16	10,8184	23,982043	1,353169	Penché/Debout	Pouce manquant (caché)	xllll
Trucho_17	10,207	22,693771	1,49231	Penché/Debout	Complet	lllll
Trucho_18	10,5571	22,760458	1,363403	Penché/Debout	Complet	lllll
Trucho_19	10,73	22,874343	1,296956	Penché	Index et annulaire repliés	lilil
Trucho_20	10,5789	22,628384	1,36023	Penché/Debout	Index replié	lilll
Trucho_21	10,9024	22,722157	1,365844	Penché/Debout	Complet	lllll
Trucho_22	12,2306	22,821729	1,237427	Penché	Indét.	Indét.
Trucho_23	9,71172	22,173476	1,704468	Debout	Complet	lllll
Trucho_24	14,7304	23,789695	0,552124	Accroupi	Complet	lllll
Trucho_25	15,2442	23,877265	0,457844	Accroupi	Complet	lllll
Trucho_26	14,0637	23,483286	0,681965	Accroupi	Tous repliés sauf pouce	liiii
Trucho_27	14,9428	23,515286	0,846862	Accroupi	Complet	lllll
Trucho_28	9,70056	24,834457	1,608765	Penché/Debout	Indét.	Indét.
Trucho_29	9,84554	21,66071	1,757446	Debout	Auriculaire replié	llli
Trucho_30	9,40452	19,456287	1,973022	Elevé	Tous repliés sauf pouce	liiii
Trucho_31	9,4121	19,762343	2,129658	Elevé	Indét.	Indét.

Trucho_32	9,4103	19,716076	2,174561	Elevé	Indét.	Indét.
Trucho_33	9,85352	21,343113	1,716633	Debout	Tous repliés sauf auriculaire	iiiil
Trucho_35	9,89603	20,404463	1,722432	Debout	Tous repliés sauf pouce	liiii
Trucho_36	9,69568	17,910431	1,712117	Debout	Tous repliés sauf pouce	liiii
Trucho_37	9,43085	17,210179	1,703999	Debout	Tous repliés sauf pouce	liiii
Trucho_38	14,5178	19,257892	0,92334	Accroupi	Indét.	Indét.
Trucho_39	9,36857	17,194822	1,800434	Elevé	Tous repliés sauf pouce	liiii
Trucho_40	10,8079	17,425767	1,343464	Penché/Debout	Tous repliés sauf pouce	liiii
Trucho_41	11,4029	17,61798	1,280598	Penché	Index et majeur repliés, annulaire et auriculaire manquants	liixx
Trucho_42	11,9849	17,820619	1,240784	Penché	Majeur et annulaire repliés	lliil
Trucho_43	11,0624	17,241156	1,330952	Penché/Debout	Auriculaire manquant	llllx
Trucho_44	12,8287	19,427452	1,115987	Penché	Indét.	Indét.

Trucho_45	10,9224	18,638186	1,598145	Penché/Debout	Complet	llllll
Trucho_46	14,478	19,955338	0,380676	Accroupi	Pouce partiellement replié	illlll
Trucho_47	15,1541	22,09218	0,885132	Accroupi	Tous repliés sauf pouce	liiii
Trucho_48	13,3672	20,718083	1,185312	Penché	Indét.	Indét.
Trucho_49	13,8982	20,872734	1,153992	Penché	Indét.	Indét.
Trucho_50	14,3164	20,982329	1,041819	Penché	Indét.	Indét.
Trucho_51	12,5556	10,044169	1,503723	Penché/Debout	Tous repliés sauf pouce	liiii
Trucho_52	12,9879	9,833272	1,492309	Penché/Debout	Tous repliés sauf pouce	liiii
Trucho_53	13,3676	9,974077	1,485962	Penché/Debout	Tous repliés sauf pouce	liiii
Trucho_54	12,528	9,62717	1,40094	Penché/Debout	Complet	llllll
Trucho_55	14,5359	21,948875	1,358052	Penché/Debout	Indét.	Indét.
Trucho_56	14,5013	22,032766	1,405171	Penché/Debout	Indét.	Indét.
Trucho_57	15,7633	23,408067	1,329548	Penché/Debout	Indét.	Indét.
Trucho_58	13,5305	23,57723	0,882832	Accroupi	Indét.	Indét.
Trucho_59	13,025	23,460754	0,966858	Accroupi	Indét.	Indét.
Trucho_60	13,2325	23,540922	0,795063	Accroupi	Indét.	Indét.
Trucho_61	11,2044	22,837076	1,15218	Penché	Indét.	Indét.

Tableau 15. Données de l'analyse spatiale de Fuente del Trucho illustrant la visibilité, la latéralité, l'orientation et la couleur des mains négatives.

Motif	Visibilité accroupi (individus)	Visibilité debout (individus)	Visibilité couché (individus)	Visibilité totale (individus)	Latéra-lité	Orienta-tion (heures)	Couleur
Trucho_01	7,638889	3,409091	0,678571	11,726551	Droite	20	Rouge
Trucho_02	7,916667	4,545455	0,714286	13,176408	Droite	21	Rouge
Trucho_03	9,166667	4,464286	0,714286	14,345239	Droite	22,5	Rouge
Trucho_05	8,541667	15,016234	0,178571	23,736472	Gauche	14	Jaune
Trucho_06	9,027778	14,042208	0,25	23,319986	Gauche	20	Rouge
Trucho_07	7,291667	13,87987	0	21,171537	Gauche	14	Rouge
Trucho_08	7,638889	13,961039	0,071429	21,671357	Indét.	12,5	Rouge
Trucho_09	7,430556	13,961039	0	21,391595	Droite	15	Rouge
Trucho_10	7,152778	12,824675	0,178571	20,156024	Indét.	12	Rouge
Trucho_11	5,555556	11,038961	0,178571	16,773088	Gauche	21	Jaune
Trucho_12	5,277778	15,422078	0	20,699856	Gauche	14	Jaune
Trucho_13	6,527778	14,042208	0,107143	20,677129	Gauche	12	Rouge
Trucho_14	6,458333	14,529221	0,035714	21,023268	Gauche	15	Rouge
Trucho_15	7,5	14,691558	0,071429	22,262987	Droite	15	Rouge
Trucho_16	6,25	11,444805	0,107143	17,801948	Gauche	15	Rouge
Trucho_17	5,972222	10,876623	0	16,848845	Droite	21	Rouge
Trucho_18	7,777778	8,766234	0,071429	16,615441	Gauche	15,5	Rouge

Trucho_19	7,361111	9,821429	0,178571	17,361111	Gauche	15	Rouge
Trucho_20	7,847222	8,847403	0,178571	16,873196	Gauche	16	Rouge
Trucho_21	7,638889	7,792208	0,214286	15,645383	Droite	13,5	Rouge
Trucho_22	7,152778	7,467532	0,142857	14,763167	Gauche	14,5	Rouge
Trucho_23	7,361111	10,551948	0,178571	18,09163	Droite	20,5	Rouge
Trucho_24	7,430556	5,438312	0,107143	12,976011	Gauche	17	Rouge
Trucho_25	7,5	5,438312	0,25	13,188312	Droite	23,5	Rouge
Trucho_26	7,013889	4,951299	0,142857	12,108045	Gauche	12	Rouge
Trucho_27	5,902778	6,006494	0,107143	12,016415	Gauche	12,5	Rouge
Trucho_28	3,958333	16,477273	0,142857	20,578463	Indét.	20,5	Rouge
Trucho_29	6,180556	16,314935	0,107143	22,602634	Gauche	13	Rouge
Trucho_30	7,361111	16,801948	0,178571	24,34163	Gauche	12,5	Rouge
Trucho_31	6,875	17,288961	0,142857	24,306818	Indét.	12	Rouge
Trucho_32	6,944444	18,587662	0,107143	25,639249	Gauche	13,5	Rouge
Trucho_33	6,597222	13,961039	0,107143	20,665404	Gauche	14,5	Rouge
Trucho_35	6,180556	19,480519	0,214286	25,875361	Droite	12	Rouge
Trucho_36	5,902778	21,915584	0,357143	28,175505	Droite	12	Rouge
Trucho_37	5,555556	23,295455	0,214286	29,065297	Droite	12,5	Rouge
Trucho_38	6,25	9,821429	0,25	16,321429	Indét.	12	Rouge
Trucho_39	8,194444	24,675325	0	32,869769	Gauche	12	Rouge
Trucho_40	14,375	15,746753	0	30,121753	Gauche	12	Noir

Trucho_41	16,597222	13,961039	0	30,558261	Gauche	23	Noir
Trucho_42	13,611111	8,116883	0,035714	21,763708	Gauche	12	Noir
Trucho_43	15,625	12,987013	0	28,612013	Gauche	12	Rouge
Trucho_44	6,388889	14,042208	0,107143	20,53824	Droite	12	Rouge
Trucho_45	5,069444	14,772727	0,107143	19,949314	Droite	12	Rouge
Trucho_46	5,347222	9,415584	0,035714	14,79852	Gauche	23,5	Rouge
Trucho_47	9,583333	5,032468	0,071429	14,68723	Gauche	12	Rouge
Trucho_48	7,708333	9,415584	0,071429	17,195346	Indét.	12	Rouge
Trucho_49	7,083333	8,603896	0	15,687229	Gauche	12	Rouge
Trucho_50	5,902778	8,198052	0	14,10083	Indét.	12	Rouge
Trucho_51	22,013889	4,545455	0,178571	26,737915	Gauche	22,5	Rouge
Trucho_52	20,555556	4,545455	0,5	25,601011	Gauche	12	Rouge
Trucho_53	19,305556	4,220779	0,785714	24,312049	Gauche	12	Rouge
Trucho_54	19,930556	4,301948	0,642857	24,875361	Droite	23,5	Rouge
Trucho_55	12,361111	6,493506	0,214286	19,068903	Gauche	14	Rouge
Trucho_56	13,958333	6,006494	0,428571	20,393398	Droite	23,75	Rouge
Trucho_57	13,333333	4,301948	0,607143	18,242424	Indét.	12	Rouge
Trucho_58	8,402778	7,224026	0	15,626804	Droite	21	Rouge
Trucho_59	6,25	6,574675	0,214286	13,038961	Indét.	12	Rouge
Trucho_60	8,194444	6,331169	0,285714	14,811327	Gauche	14,5	Rouge
Trucho_61	7,638889	7,142857	0,178571	14,960317	Gauche	14	Rouge

5.2.3.2. Analyse au niveau macro-spatial

Le détail des analyses effectuées dans la cavité de Fuente del Trucho, au niveau macro-spatial, sera approfondi dans cette section.

5.2.3.2.1. Accessibilité

Pour ce qui est de l'accessibilité, les résultats obtenus indiquent un faible niveau de difficulté, ainsi qu'un chemin d'accès court (avec une difficulté d'accès moyenne de 11,93 $\frac{1}{(m/s)}$, pour une profondeur de 21,12 m) (Tableau 16).

Tableau 16. Données relatives à l'accessibilité des mains négatives de Fuente del Trucho

Accessibilité	Difficulté d'accès $\frac{1}{(m/s)}$	Distance (m)
Moyenne	11,93	21,12
Ecart-type	2,21	3,87
Médiane	10,92	22,69
Minimum	9,37	9,63
Maximum	17,13	26,97

Les résultats de distance et de difficulté individuels des mains sont assez homogènes entre eux (Figure 122). Certains exemplaires se démarquent légèrement, situés moins profonds dans la grotte/abri (Figure 122, E), mais la différence de difficulté d'accès avec les autres mains semble peu pertinente à relever, au vu des données extrêmement basses de difficulté et de distance.

On peut noter également, par rapport aux couleurs des mains, que ni les trois pochoirs noirs ni les jaunes ne se démarquent particulièrement des mains rouges au niveau de l'accessibilité ou de la latéralité (Figure 122, C et E).

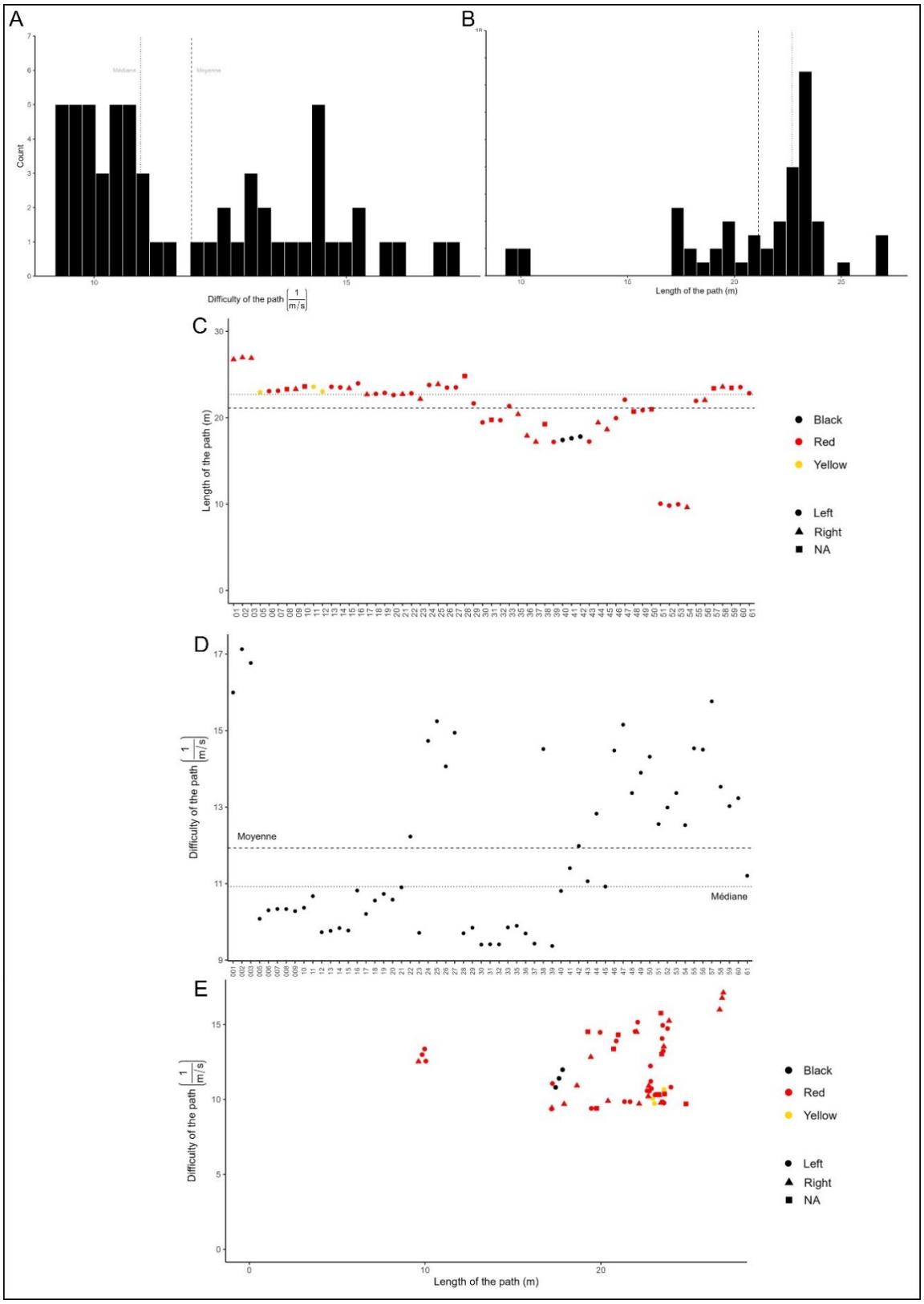


Figure 122. Graphiques illustrant les données d'accessibilité des mains négatives de Fuente del Trucho. **A**. Histogramme de la difficulté d'accès aux motifs. **B**. Histogramme de la longueur du chemin depuis l'entrée de la cavité. Les deux présentent des valeurs assez condensées entre elles, correspondant à un accès aisé aux mains négatives. **C**. Valeurs de longueur du chemin depuis l'entrée de la cavité pour chaque main négative, en fonction de la couleur et de la latéralité. **D**. Valeurs de difficulté du chemin pour chaque main négative. **E**. Valeurs de la difficulté du chemin par rapport à sa longueur depuis l'entrée, en fonction de la couleur et de la latéralité des mains négatives. On peut observer que les trois mains noires et les trois mains jaunes se rejoignent par couleur, présentant des caractéristiques similaires pour les deux variables.

Cette homogénéité au niveau de l'accessibilité est également visible sur les fichiers raster illustrés dans la Figure 123 (A et B). Pour ce qui est des zones sensibles, il est clair que la grotte/abri ne présente aucune zone de potentiel danger dans sa configuration (Figure 123, C).

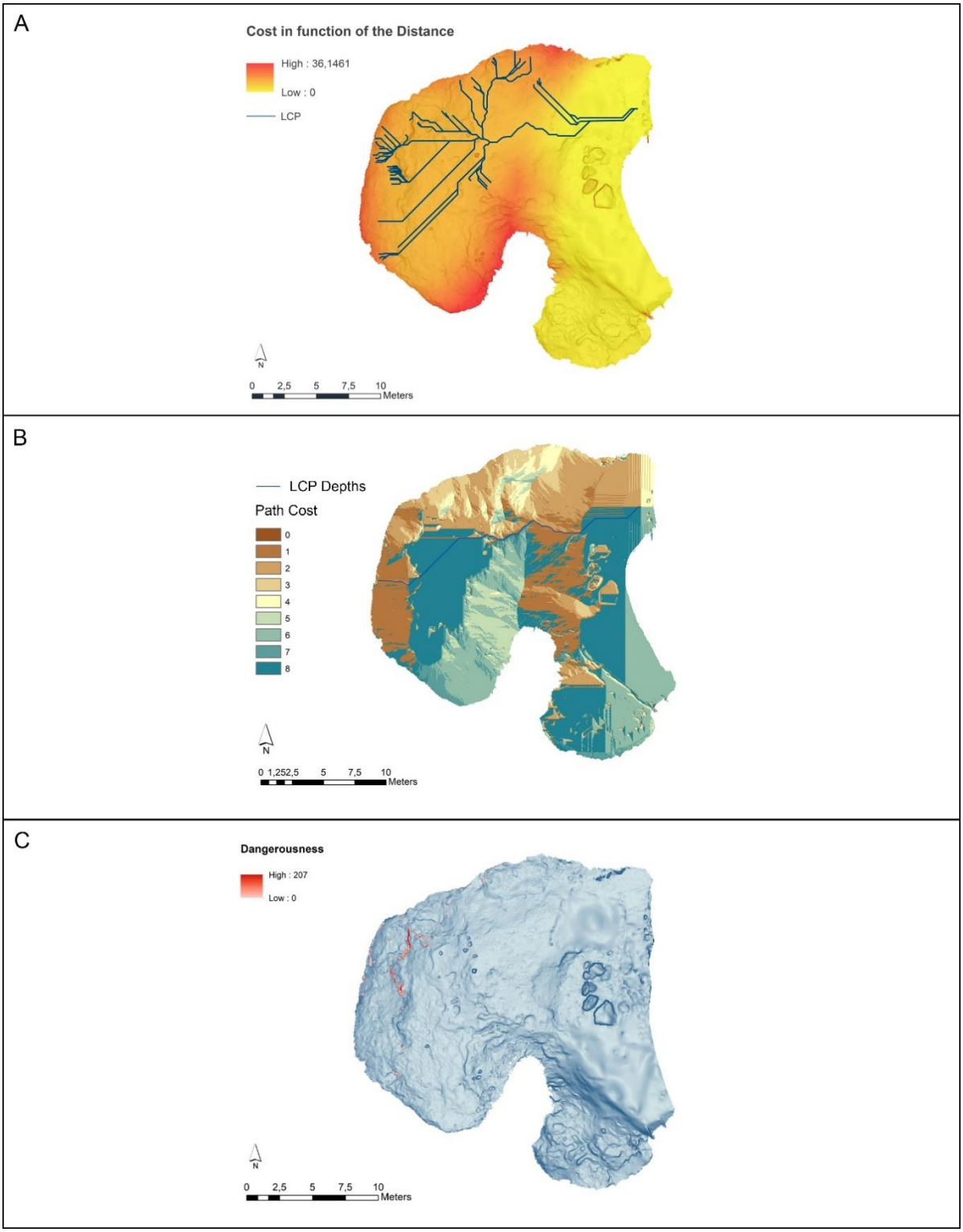


Figure 123. Illustration des données de l'analyse spatiale relatives à l'accessibilité des mains négatives de Fuente del Trucho. **A**. Plan illustrant la difficulté d'accès dans la grotte, en fonction de la progression à l'intérieur de la cavité, avec le LCP des mains négatives. **B**. Plan montrant les niveaux de difficulté d'accès en fonction de la pente du sol. **C.** Illustration de la dangerosité du sol. On peut observer que celui-ci présente un très faible taux d'escarpement.

5.2.3.2.2. Visibilité

Les mains de Fuente del Trucho sont en général très visibles, avec une moyenne de presque 20 assistants potentiels à la fois et un minimum de 11,7 pour un maximum de 32,9 (Tableau 17). Ces valeurs sont en général encore plus élevées que celles, déjà hautes, de la grotte d'El Castillo.

Tableau 17. Résultats généraux de visibilité des 59 mains négatives de Fuente del Trucho.

Visibilité totale	Nombre d'individus
Moyenne	19,9
Ecart-type	5,25
Médiane	20,16
Minimum	11,7
Maximum	32,9

Elles sont également assez homogènes pour l'ensemble des motifs (Figure 126, A et Figure 127, D). Les données laissent voir une baisse de la visibilité au fur et à mesure que l'on se dirige vers le fond de la grotte. Cela correspond à la forme de celle-ci, car les plafonds sont de plus en plus bas lorsque l'on s'approche du fond (Figure 124 et Figure 125).

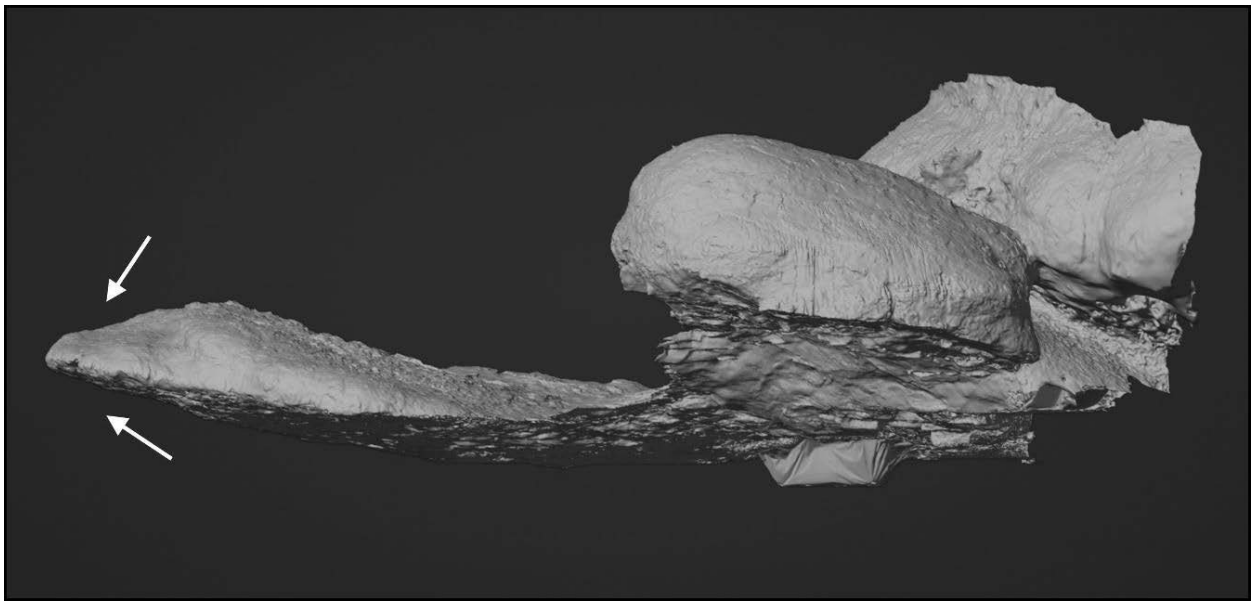


Figure 124. Vue latérale du modèle tridimensionnel de Fuente del Trucho où l'on peut observer que la cavité se rétrécit dans le fond.



Figure 125. Vue de l'intérieur du modèle texturisé, depuis l'entrée de la cavité vers l'intérieur.

L'analyse met en avant une zone de visibilité intensifiée, située juste en dessous de la zone présentant la concentration de motifs la plus importante (Figure 127, B)[69]. Cependant, on peut également observer que les zones de visibilité sont assez réparties dans la grotte-abri.

Pour ce qui est de la position du public, les résultats montrent une plus grande proportion de positions *debout*, ainsi qu'*accroupi* (Figure 126, B). L'application du LCP semble moins pertinente, dans ce cas-ci, étant donné le caractère réduit de l'espace et la facilité d'accès à l'intérieur (Figure 127, A). Notons enfin qu'il n'y a pas de différenciation massive au niveau des couleurs des mains négatives pour ce qui est de leur visibilité (Figure 127, C).

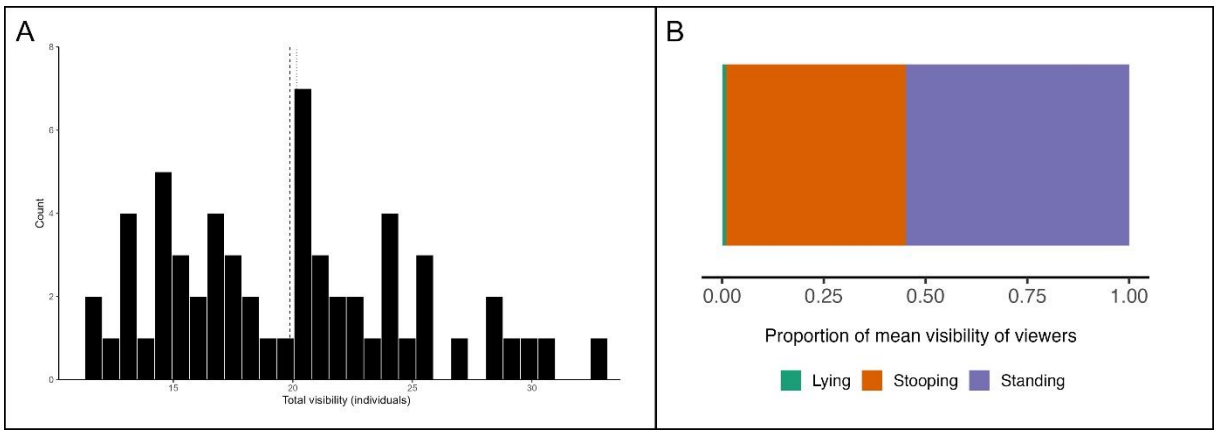


Figure 126. **A**. Histogramme de la visibilité totale des mains négatives de Fuente del Trucho. **B**. Expression de la visibilité totale par types de position.

[69] Rappelons cependant que ces résultats sont à considérer avec prudence au vu de la question délicate de la reconstitution du sol de la cavité, exposée dans la section 5.2.1.2.

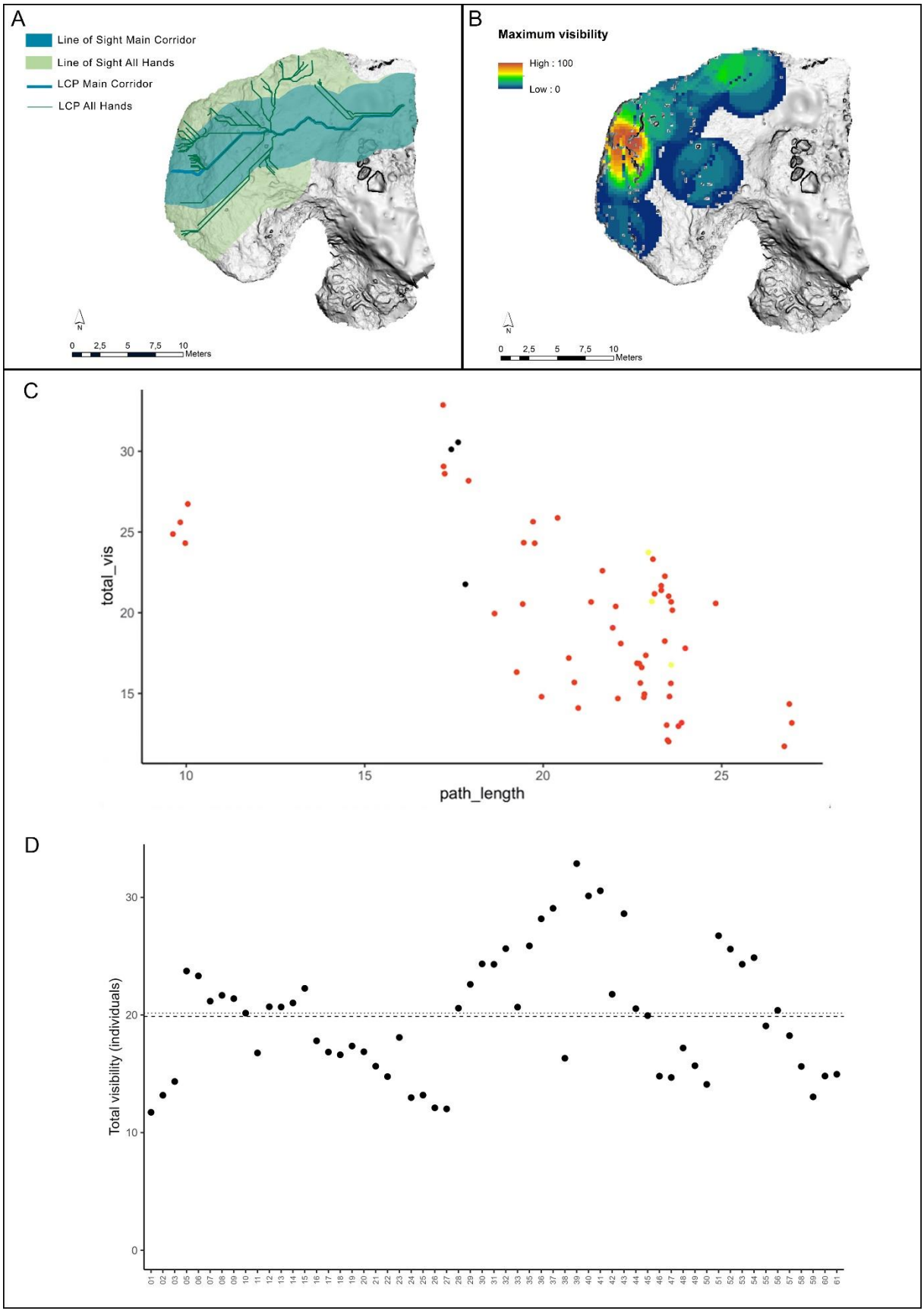


Figure 127. **A**. Recoupement entre le LCP pour aller au fond de la cavité et les mains négatives de la grotte dans le rayon d'action d'une torche (2,99 m). **B.** Carte illustrant les principales zones de visibilité en fonction du nombre de mains négatives perceptibles. **C**. Relation entre la visibilité totale et la longueur du chemin pour les mains négatives de Fuente del Trucho. **D**. Visibilité de chaque main négative de la cavité.

5.2.3.2.3. Intervisibilité

Les mains négatives de la grotte/abri de Fuente del Trucho ont également une intervisibilité assez importante, avec une moyenne de 6,07 mains visibles depuis un pochoir, et un maximum de 17. Certains exemplaires (4) ne peuvent en voir aucune, mais leur proportion est faible par rapport au reste des données (Figure 128). Ces données sont plus variables que celles de la visibilité, et les zones qui montrent une intervisibilité des motifs plus importante sont celles les plus densément ornées.

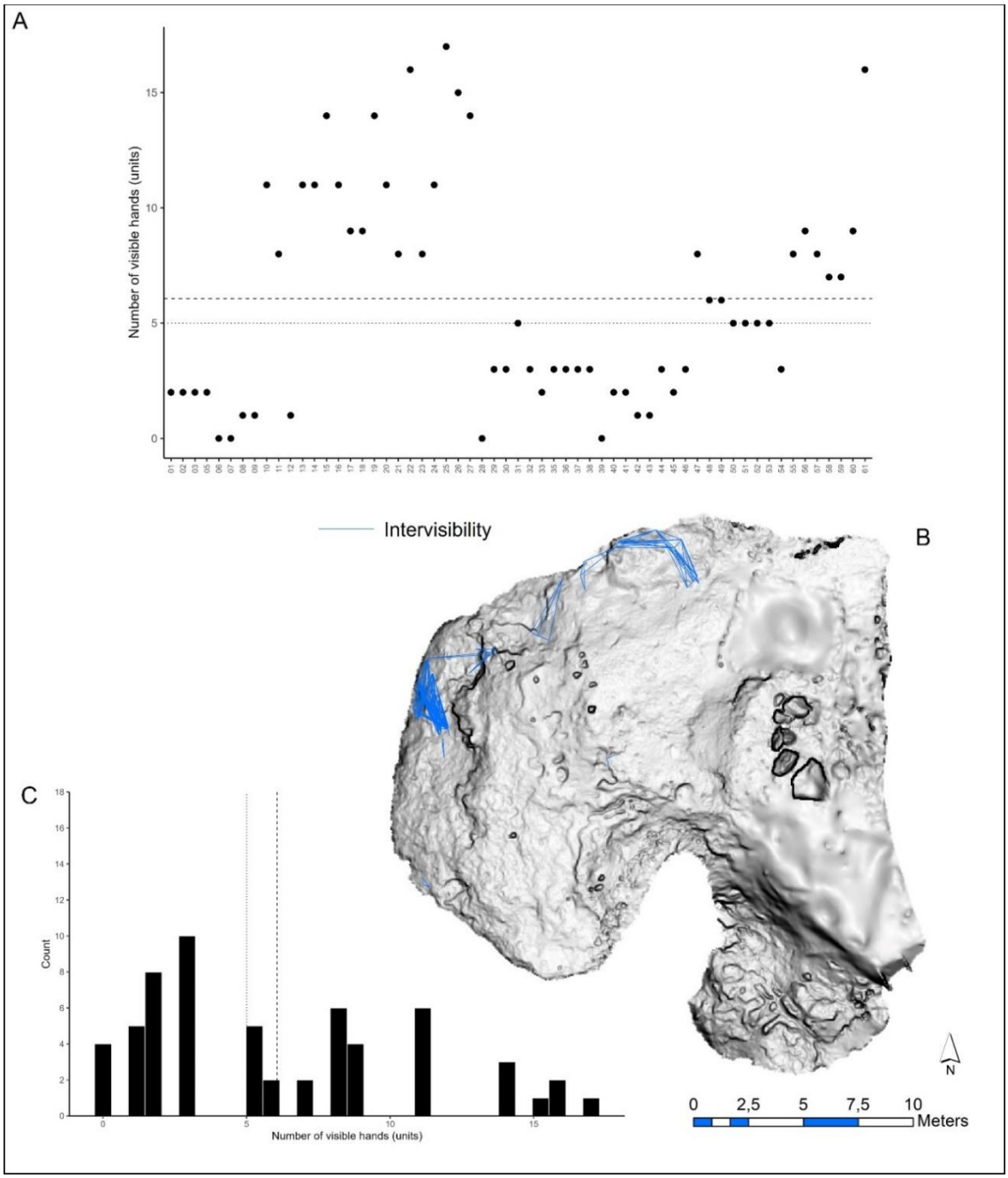


Figure 128. **A.** Nombre de mains négatives visibles depuis une main négative en particulier (*y*) pour chaque main négative (*x*). **B.** Visibilité des mains négatives entre elles dans les limites du diamètre d'une torche, selon les données de Medina Alcaide *et al.* (2021). **C**. Histogramme de la distribution du nombre de mains visibles.

5.2.3.2.4. Latéralité

Sur les 59 mains négatives de la cavité, on compte une majorité de 33 mains gauches, pour 17 mains droites et 9 indéterminées (Figure 129). Comme à El Castillo, on peut constater que celles-ci sont tout à fait mélangées dans la cavité, à l'exception de deux petits groupes, un ensemble de trois mains droites dans le fond de la cavité sur le côté gauche, et le groupe central, composé uniquement de mains gauches. A nouveau les mains gauches (si elles ont été réalisées avec la paume contre la paroi) sont largement majoritaires.

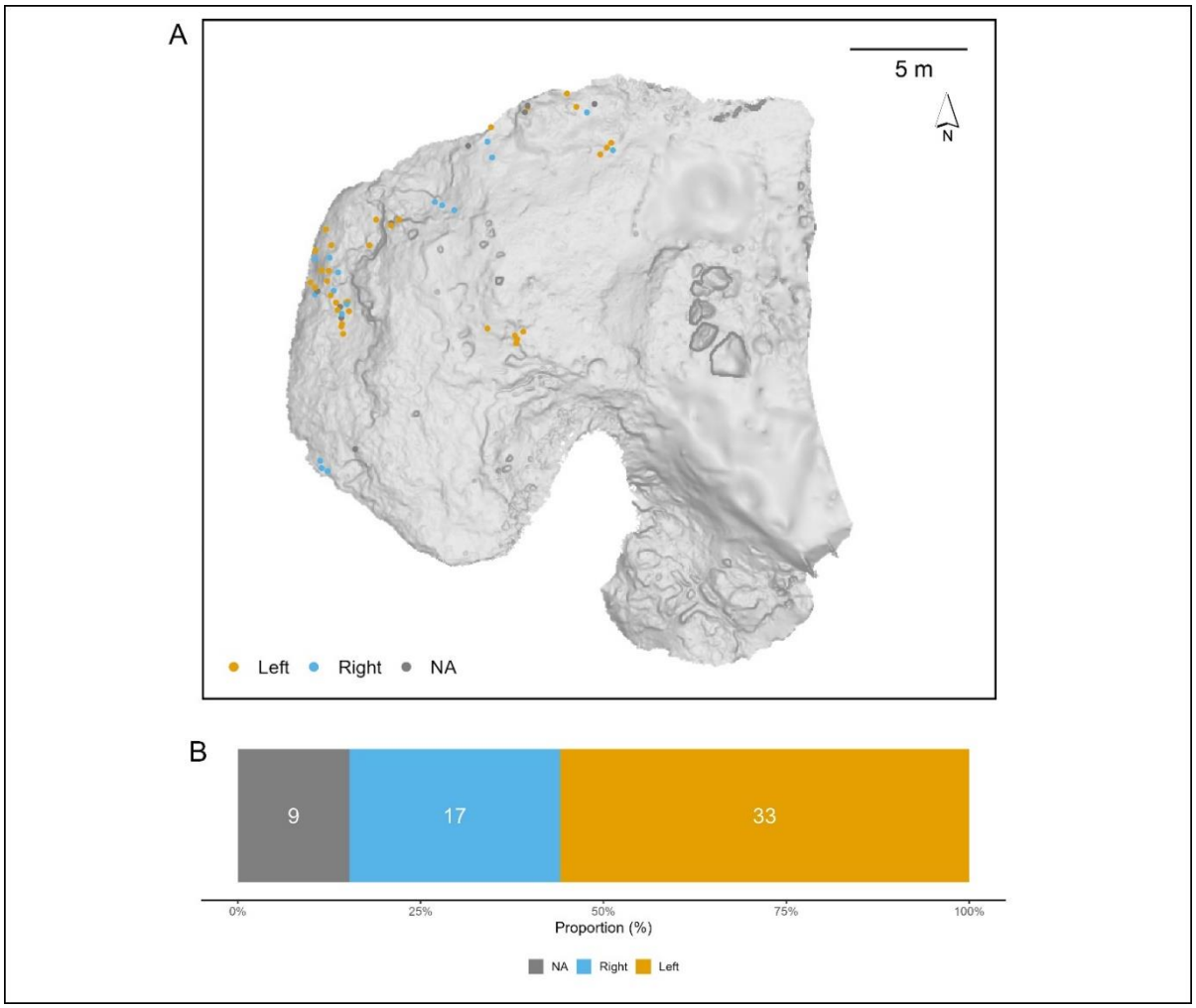


Figure 129. **A**. Répartition de mains gauches, droites et indéterminées sur le plan de la cavité de Fuente del Trucho. **B**. Proportion de celles-ci.

5.2.3.2.5. Âge des individus

Pour ce qui est de la répartition des groupes d'âges identifiés par les recherches de Fernández-Navarro[70] sur base des mesures des mains négatives de la cavité, on remarque que toutes les

[70] Données transmises personnellement en 2024.

tranches d'âge y sont représentées. Contrairement à El Castillo, cependant, les proportions de mains dans chaque groupe sont réparties bien plus égalitairement, avec une majorité d'adolescents (15/30 des mains déterminables, soit 50 %) (Figure 130, C). Les mains d'adultes sont au nombre de 8 (soit 26,66 %) et les mains d'enfants de 7 (23,33 %).

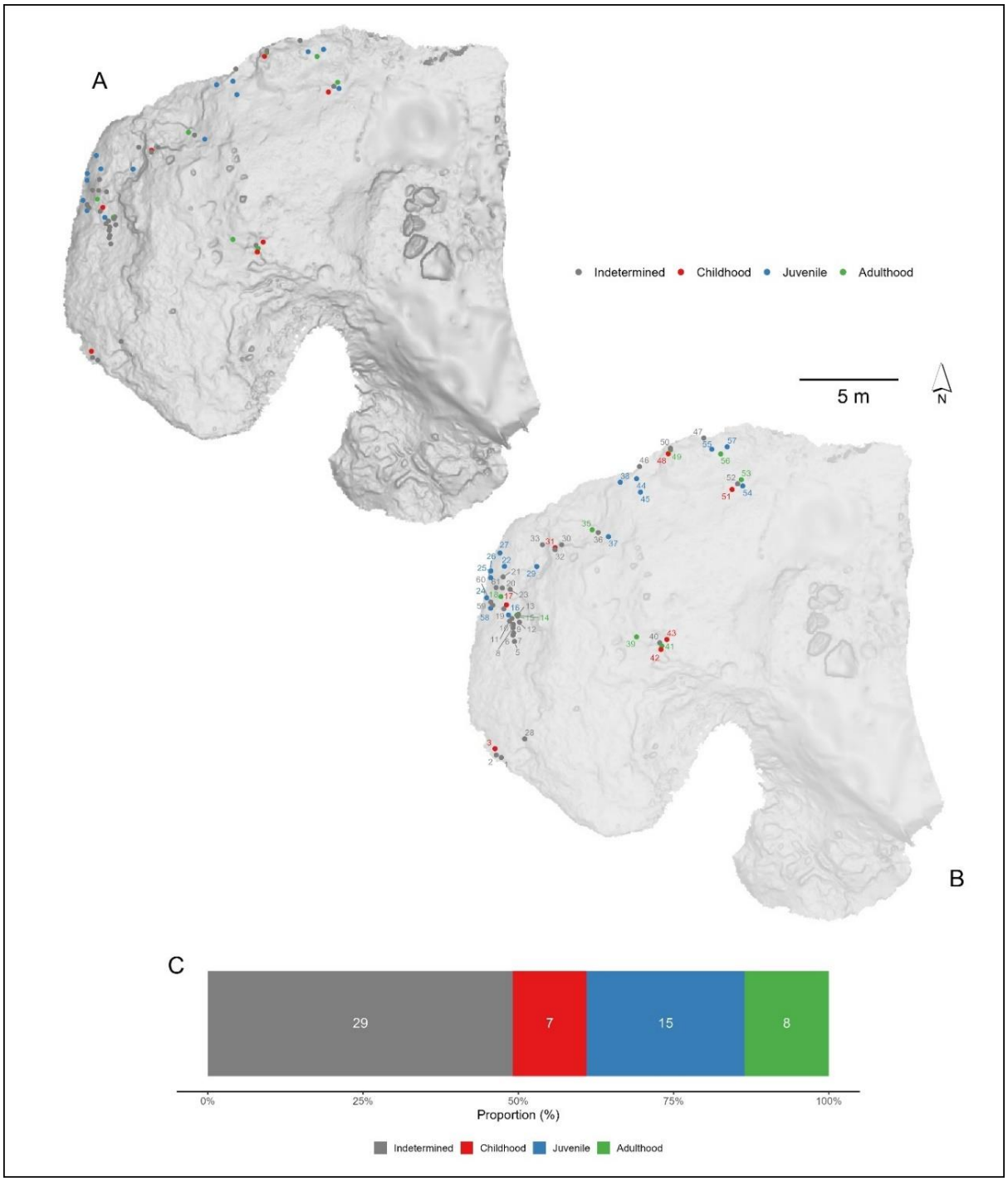


Figure 130. **A**. et **B**. Dispersion des catégories d'âge de Fuente del Trucho sur le plan de la cavité avec leur numérotation. **C**. Proportion celles-ci.

Celles-ci ne semblent pas avoir été distribuées de façon préférentielle dans la cavité : on note un mélange de tous les groupes d'âges (Figure 130, A et B) sur le plafond, à l'exception du

groupe de mains droites du fond à gauche citées plus haut (pour lesquelles une main seulement sur quatre a pu être déterminée, ce qui rend cette valeur non pertinente).

5.2.3.2.6. Doigts manquants

Les combinaisons de doigts représentées à la grotte de Fuente del Salín sont au nombre de 12, illustrées dans la Figure 131.

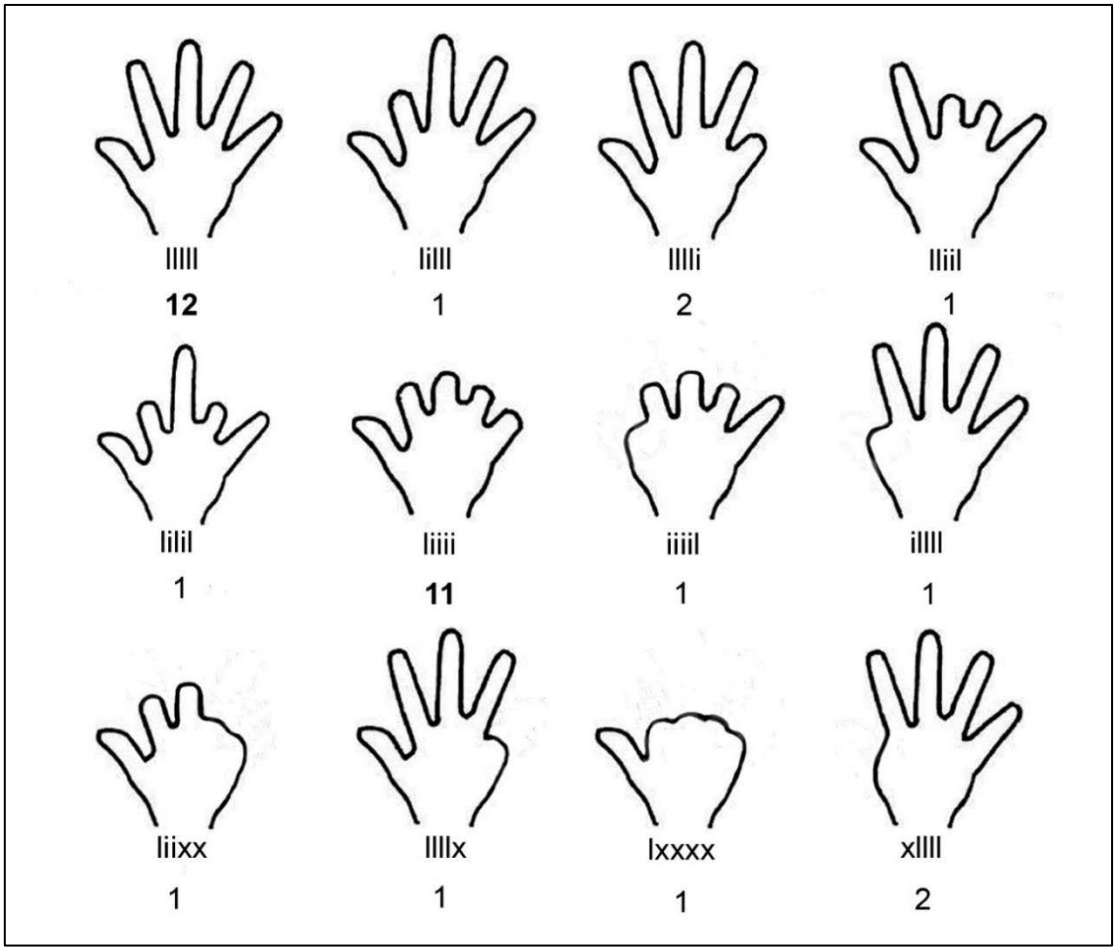
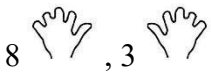


Figure 131. Nombre d'exemplaires des différentes combinaisons de doigts des mains négatives de la Fuente del Trucho.

Sur les 59 mains négatives, 35 offraient un état de conservation suffisant pour pouvoir déterminer la combinaison de doigts représentée. Parmi celles-ci, certaines configurations sont plus fréquentes que d'autres. Le Tableau 18 en présente le détail, ainsi que le code qui leur correspond.

Deux combinaisons se démarquent : la main complète et la main avec tous les doigts repliés à l'exception de l'auriculaire. Cette dernière position est remarquable par la présence de trois exemplaires (tous des mains gauches rouges) regroupés vers l'entrée de la grotte-abri et séparés des autres mains négatives : les mains 51, 52 et 53 (Figure 132).

Tableau 18. Détail des combinaisons et du nombre d'exemplaires de chacune d'entre elles dans la cavité.

Combinaison	**Code**	**Nombre d'exemplaires**	**Illustration et latéralité**
Complet	*lllll*	12	
Index replié	*lilll*	1	
Auriculaire replié	*llll**i***	2	
Majeur et annulaire repliés	*lliil*	1	
Index et annulaire repliés	*lilil*	1	
Tous repliés sauf pouce	*liiii*	11	
Tous repliés sauf auriculaire	*iiiil*	1	
Pouce partiellement replié	*illll*	1	
Index et majeur repliés, annulaire et auriculaire manquants	*liixx*	1	
Auriculaire manquant	*llllx*	1	
Pouce seul, reste des doigts manquants	*lxxxx*	1	
Pouce manquant (caché)	*xllll*	2	
Indéterminable	Indéterminable	24	
Total		59	

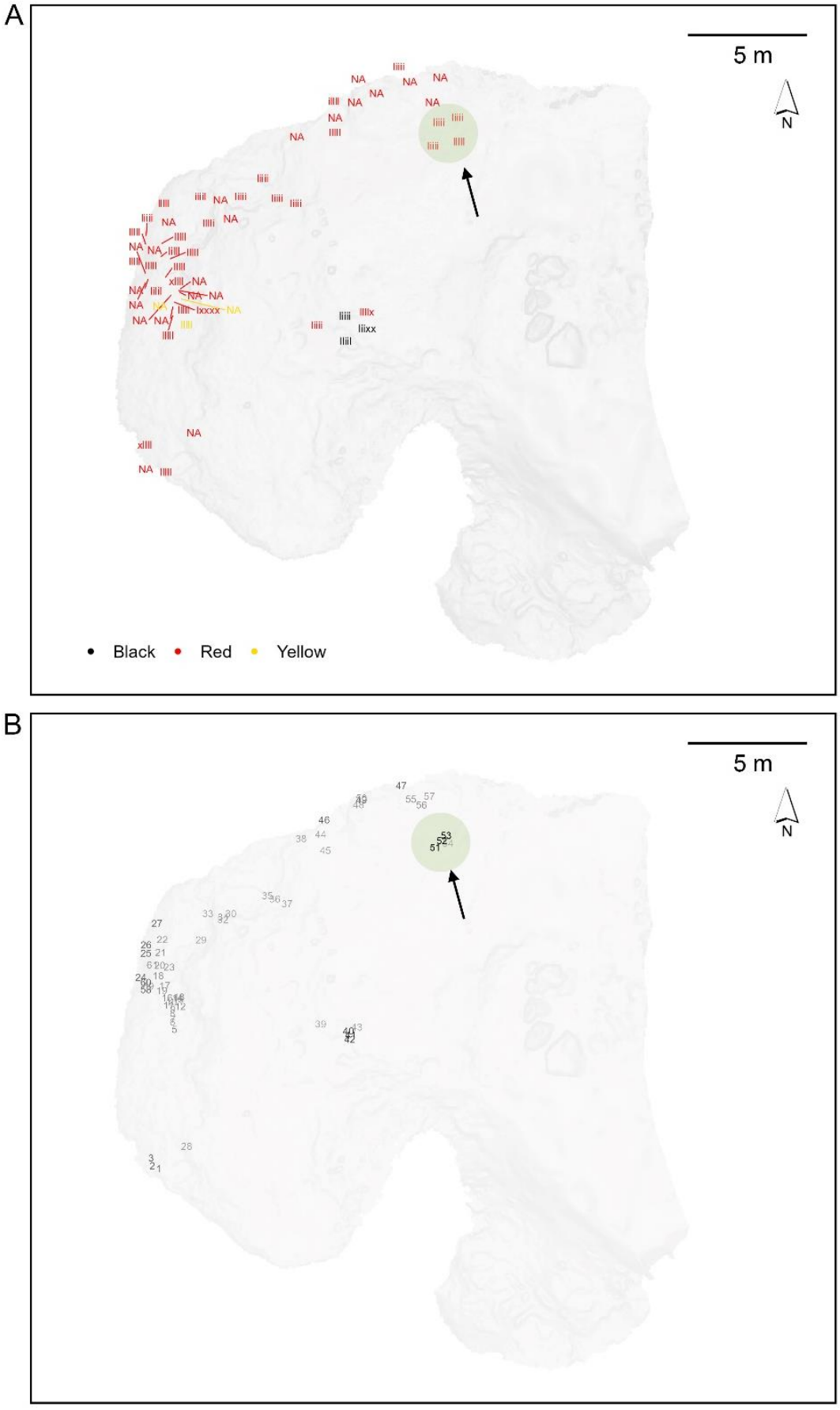


Figure 132. Situation des mains 51, 52 et 53, regroupées, qui partagent la même combinaison de doigts *iiiii*, sur le plan de la cavité. **A**. Illustration des combinaisons et de leur couleur. **B**. Numérotation de celles-ci.

Si l'on observe le lien entre ces combinaisons et les différents facteurs analysés lors de l'étude spatiale, on remarque qu'aucune configuration ne se démarque particulièrement pour ce qui est de la hauteur du motif, mise en lien avec la latéralité et la couleur (Figure 133).

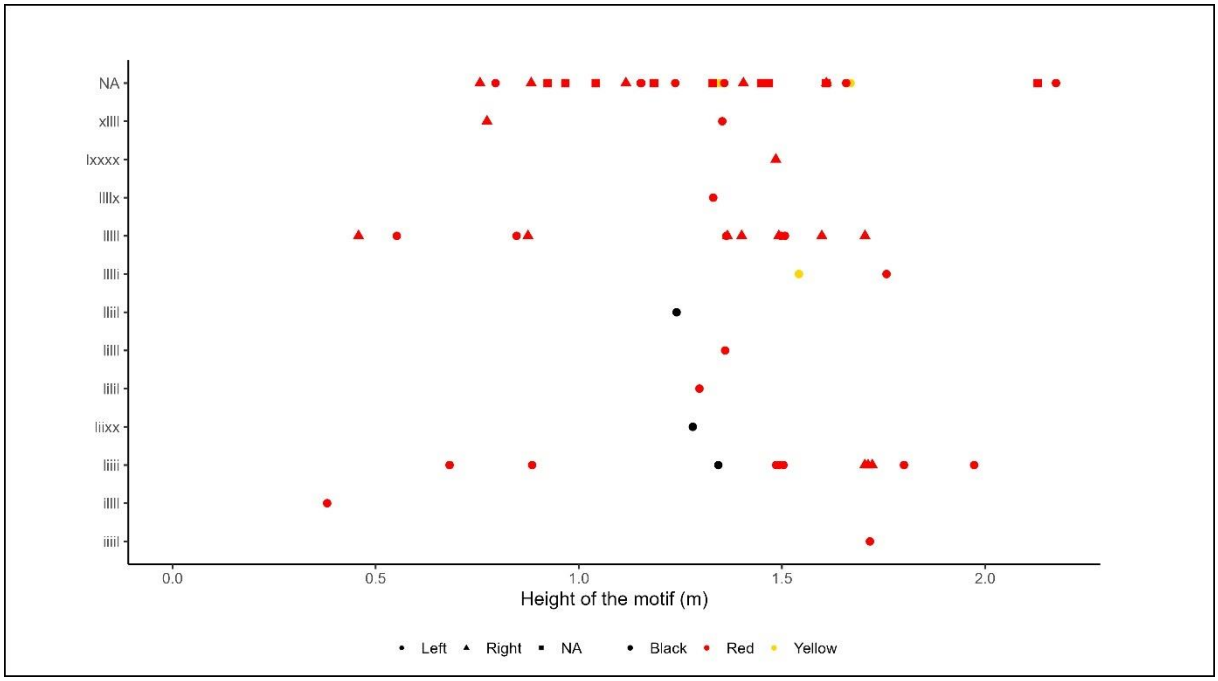


Figure 133. **A**. Rapport entre la position des doigts des mains négatives de Fuente del Trucho et leur hauteur, leur latéralité et leur couleur.

Il en est de même pour l'accessibilité en général, tant au niveau de la difficulté du chemin que de la longueur de celui-ci, mise en lien avec la couleur et la latéralité (Figure 134) : aucune combinaison ne se distingue par rapport à ces facteurs.

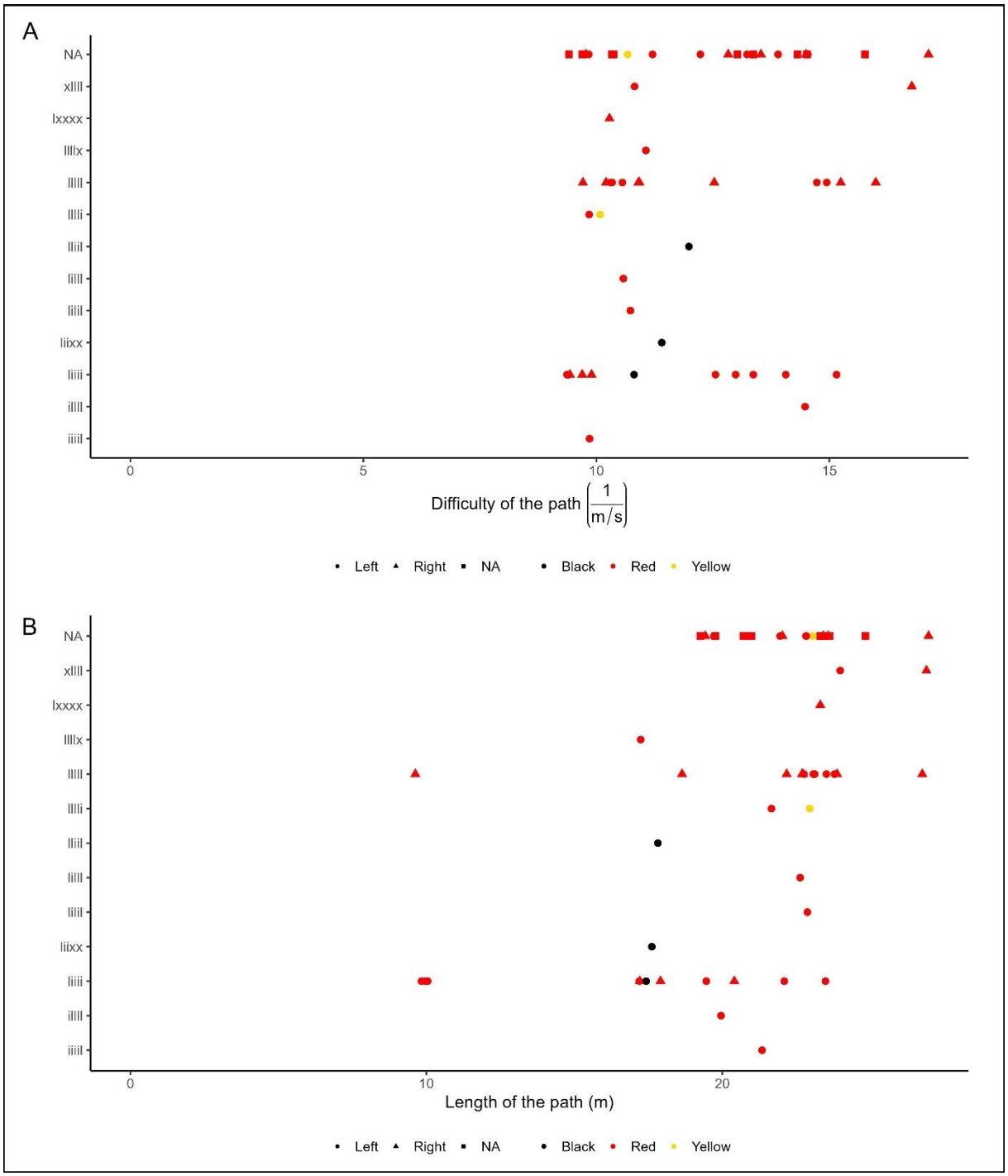


Figure 134. **A**. Rapport entre la position des doigts des mains négatives de Fuente del Trucho et leur difficulté d'accès, leur latéralité et leur couleur. **B**. Même graphique en fonction de la longueur du chemin.

Par rapport à la visibilité et l'intervisibilité, on retrouve aussi, pour les combinaisons, une distribution qui semble davantage aléatoire qu'organisée (Figure 135) : aucune de celles-ci n'est associée de façon particulièrement marquante à l'un de ces facteurs.

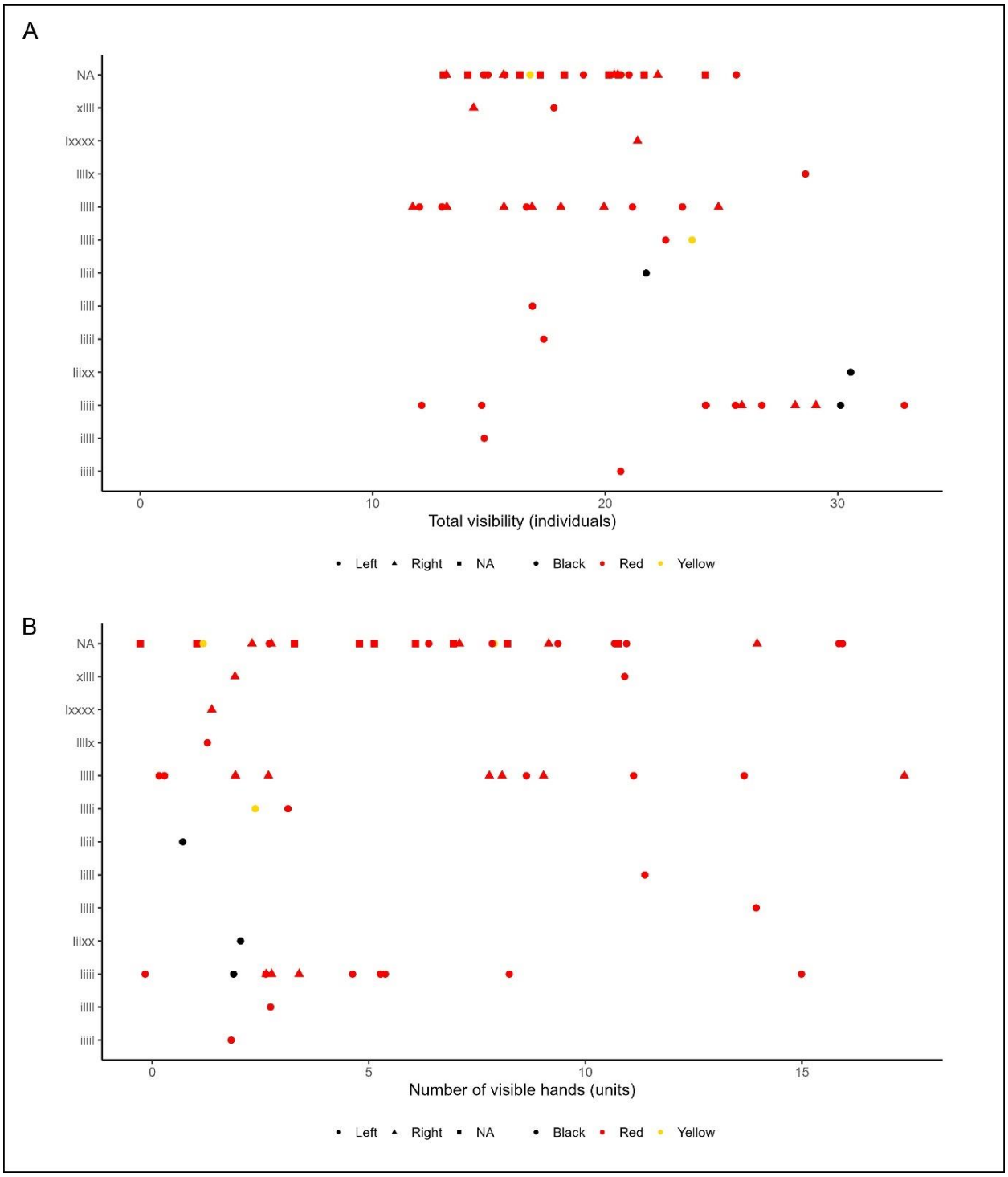


Figure 135. **A**. Rapport entre la position des doigts des mains négatives de Fuente del Trucho et leur visibilité totale, leur latéralité et leur couleur. **B**. Même graphique en fonction de leur intervisibilité.

Enfin, les résultats montrent que ni la couleur ni la latéralité ne sont associées exclusivement à une combinaison en particulier (Figure 136). Indépendamment des combinaisons de doigts, l'observation de la répartition des couleurs des mains sur le plan du plafond permet cependant de noter que les trois mains jaunes sont assez concentrées dans l'espace, de même que les trois mains noires.

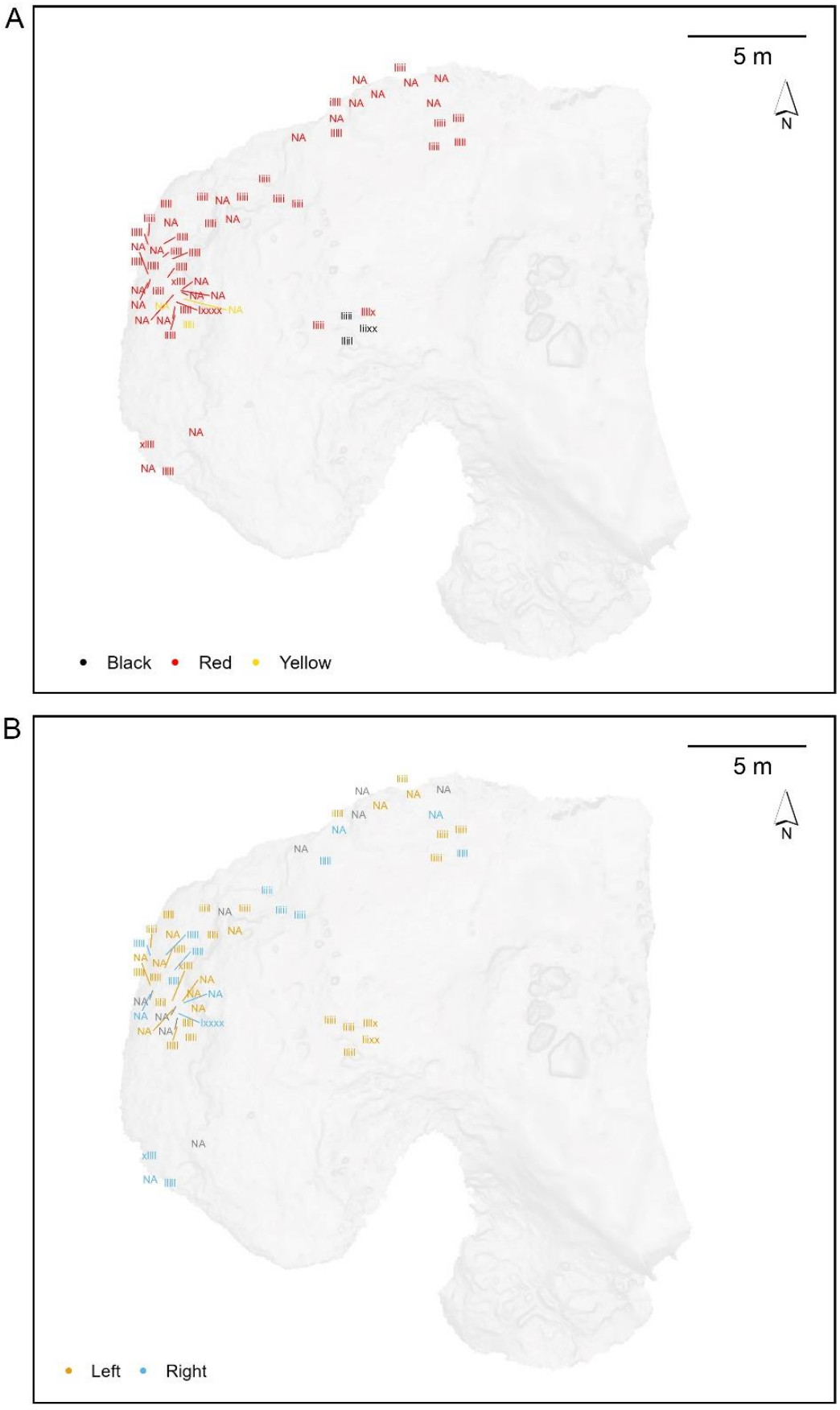


Figure 136. Distribution des mains négatives sur le plafond de la cavité en fonction de **A**. leur combinaison de doigts et leur couleur et **B**. leur latéralité.

5.2.3.2.7. Densité

La densité de mains négatives est particulièrement haute vers le fond de la grotte, comme nous pûmes déjà l'observer dans les calculs de visibilité (Figure 137). Au-delà de l'observation de cette zone de densité maximale, on note que cette tendance à être situées vers le fond de la grotte est applicable à tous les motifs en général, avec quelques exceptions près (petit groupe de mains central). Cette distribution préférentielle pourrait éventuellement être liée à des questions taphonomiques, les zones plus proches de l'extérieur pouvant pâtir davantage de conditions climatiques compliquées.

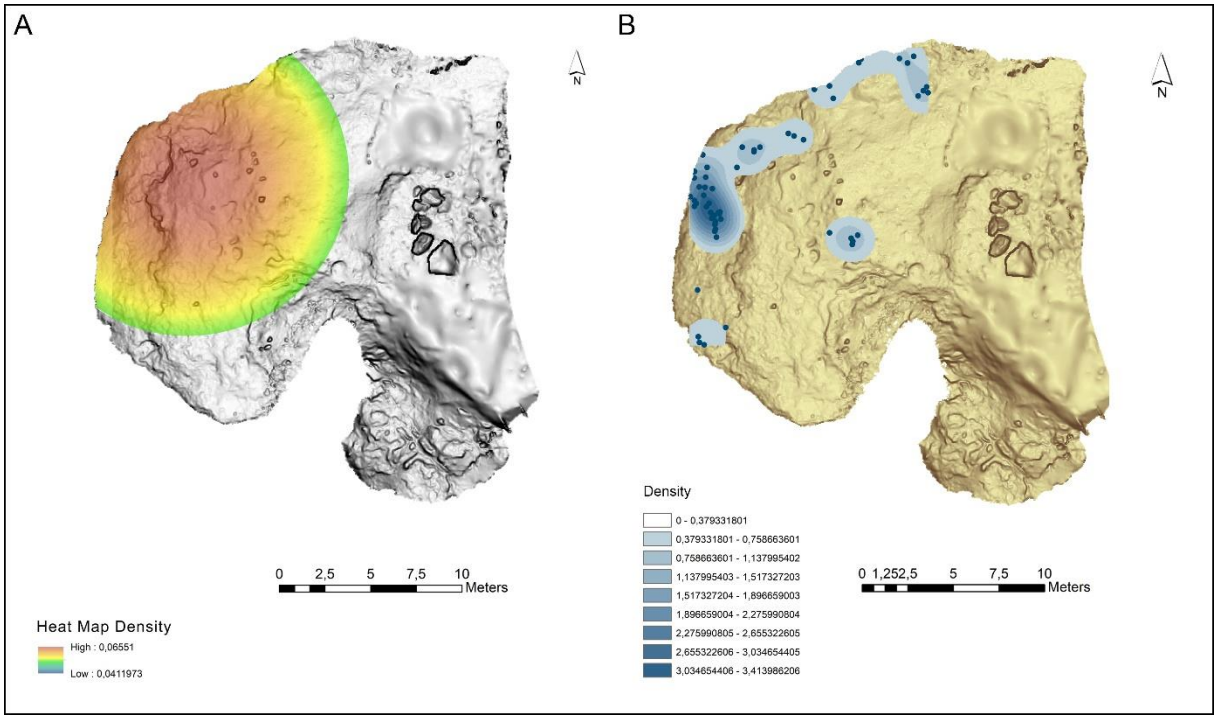


Figure 137. Carte de densité des motifs dans la grotte, montrant la dispersion et le regroupement des mains négatives de Fuente del Trucho. **A**. Densité générale sur le plan de la cavité. **B**. Analyse *Kernel*, montrant les sous-groupes de plus grande densité.

5.2.3.2.1. Analyse Factorielle de Correspondance (AFC) et Classification Hiérarchique sur Composantes Principales (CHCP)

5.2.3.2.1.1. Première analyse

La première analyse que nous avons réalisée considère les variables suivantes : la *difficulté du chemin*, la *longueur du chemin*, la *hauteur du motif*, la *visibilité totale*, l'*intervisibilité*, la *latéralité* et l'*angle d'orientation transformé*. Elle a donné les résultats suivants (Figure 138 et Figure 139).

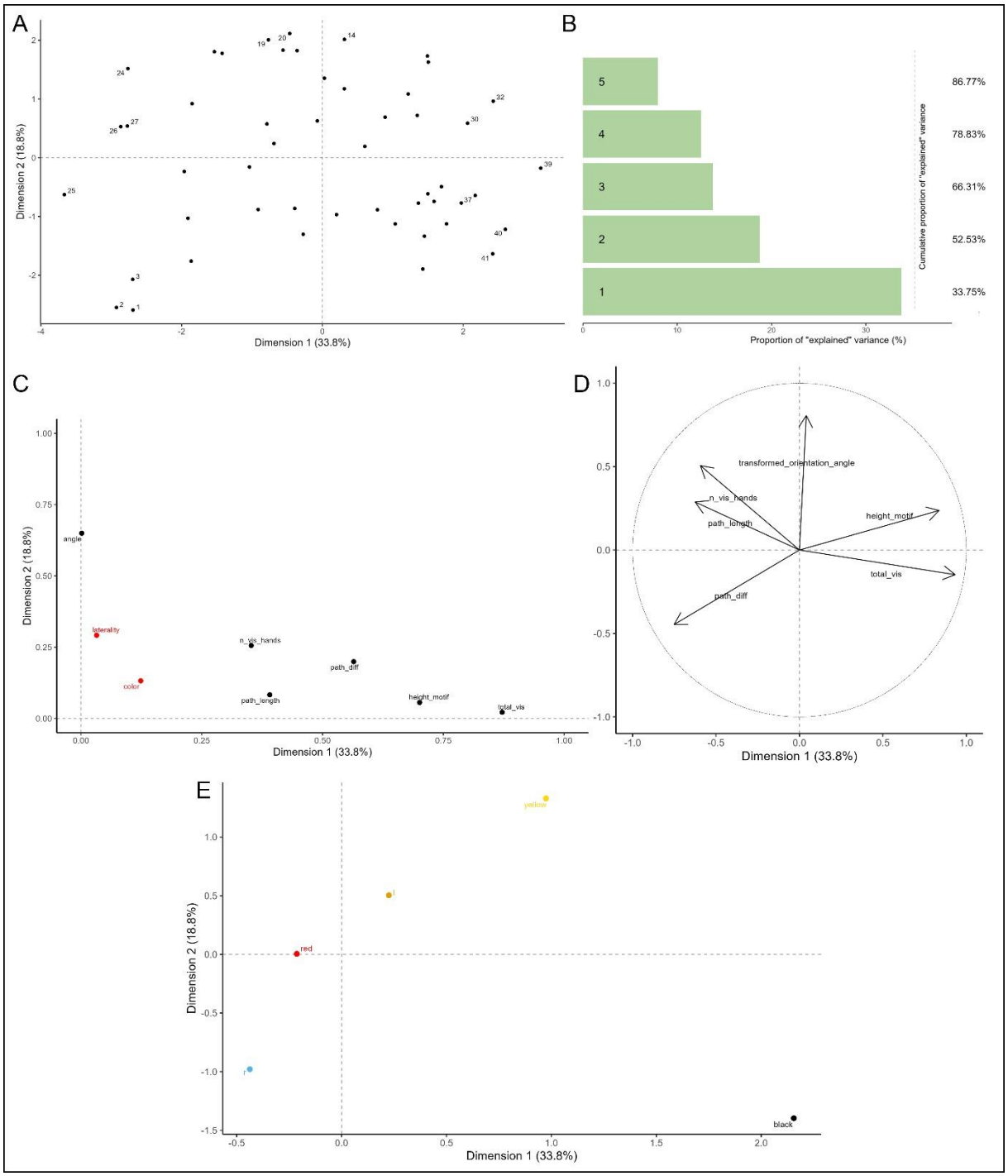


Figure 138. Graphiques de la première *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho. **A.** Carte factorielle individuelle **B.** Diagramme d'éboulis. **C**. Graphique des variables. **D.** Graphique des variables quantitatives. **E.** Graphique des catégories.

Au niveau de la carte factorielle individuelle, on ne voit pas de grande séparation entre les motifs (Figure 138, A). Le diagramme d'éboulis indique que la dimension 1 est bien plus importante que les autres, qui se trouvent toutes à un niveau similaire de prise en compte (Figure 138, B). Le graphique des variables, quant à lui, indique une importance particulière de la *visibilité totale* dans la dimension 1 et de l'*angle d'orientation transformé* dans la dimension 2 (Figure 138, C). Pour les variables quantitatives, on voit que la *visibilité totale* est opposée à

l'*intervisibilité*, et la *hauteur* et la *visibilité totale* sont proches. La difficulté du chemin est inverse à la hauteur du motif, et la *latéralité* et l'*angle d'orientation transformé* (qui sont des données liées) vont dans la même direction (ce qui est cohérent) (Figure 138, D). Pour les variables catégorielles, on note que les couleurs ont une importance assez forte. Les mains droites aussi, dans une moindre mesure (Figure 138, E).

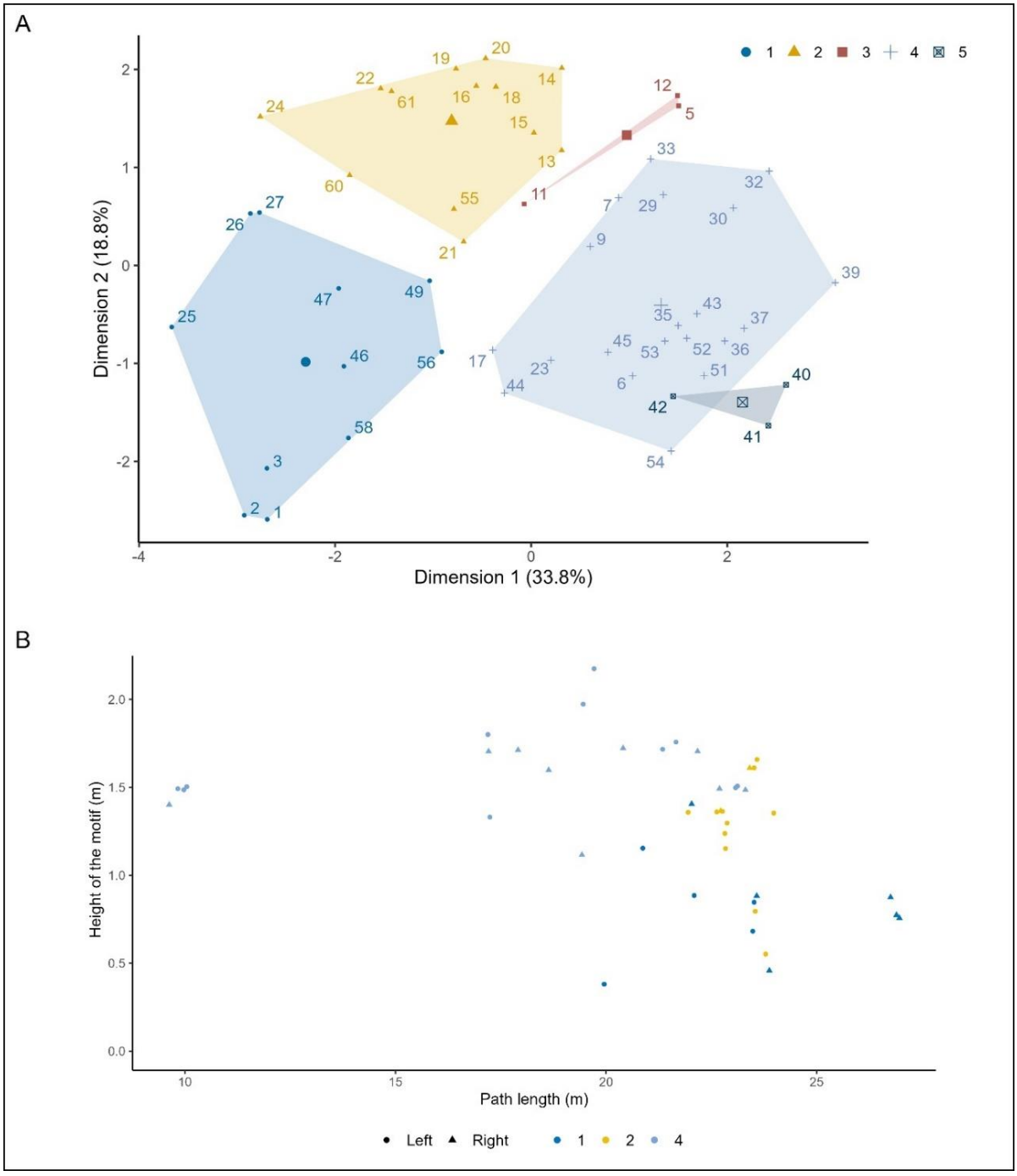


Figure 139. **A**. Première *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho considérant les variables suivantes : la *difficulté du chemin,* la *longueur du chemin*, la *hauteur du motif,* la *visibilité totale*, l'*intervisibilité*, la *latéralité* et l'*angle d'orientation transformé*. **B**. Distribution des mains négatives dans les clusters en fonction de la *longueur du chemin* (*x*) et la *hauteur des motifs* (*y*).

Les clusters obtenus dans le cadre de cette analyse sont au nombre de cinq (Figure 139).

(i) Le cluster 1 est caractérisé par un angle d'orientation transformé très bas, associé à une hauteur basse (Figure 140, A).

(ii) Le cluster 2 par une longueur du chemin assez haute, avec une variabilité de hauteur des motifs, avec également une importance de l'angle d'orientation transformé (Figure 140, B).

(iii) Le cluster 3 par les figures jaunes (Figure 140, A).

(iv) Le cluster 4 par les motifs caractérisés par une longueur du chemin basse et une hauteur faible (Figure 139, B).

(v) Enfin, le cluster 5 est formé des mains noires (Figure 140, A).

Ces résultats doivent cependant être considérés avec prudence car la question de l'angle d'orientation transformé peut être problématique dans le cas d'un plafond (il dépend de l'endroit où on se place pour regarder la figure). De plus, celui-ci, s'il est très intéressant au niveau micro-spatial, a été intégré dans les statistiques par des valeurs numériques, qui faussent donc la perception, malgré sa transformation (voir section 3.4.2).

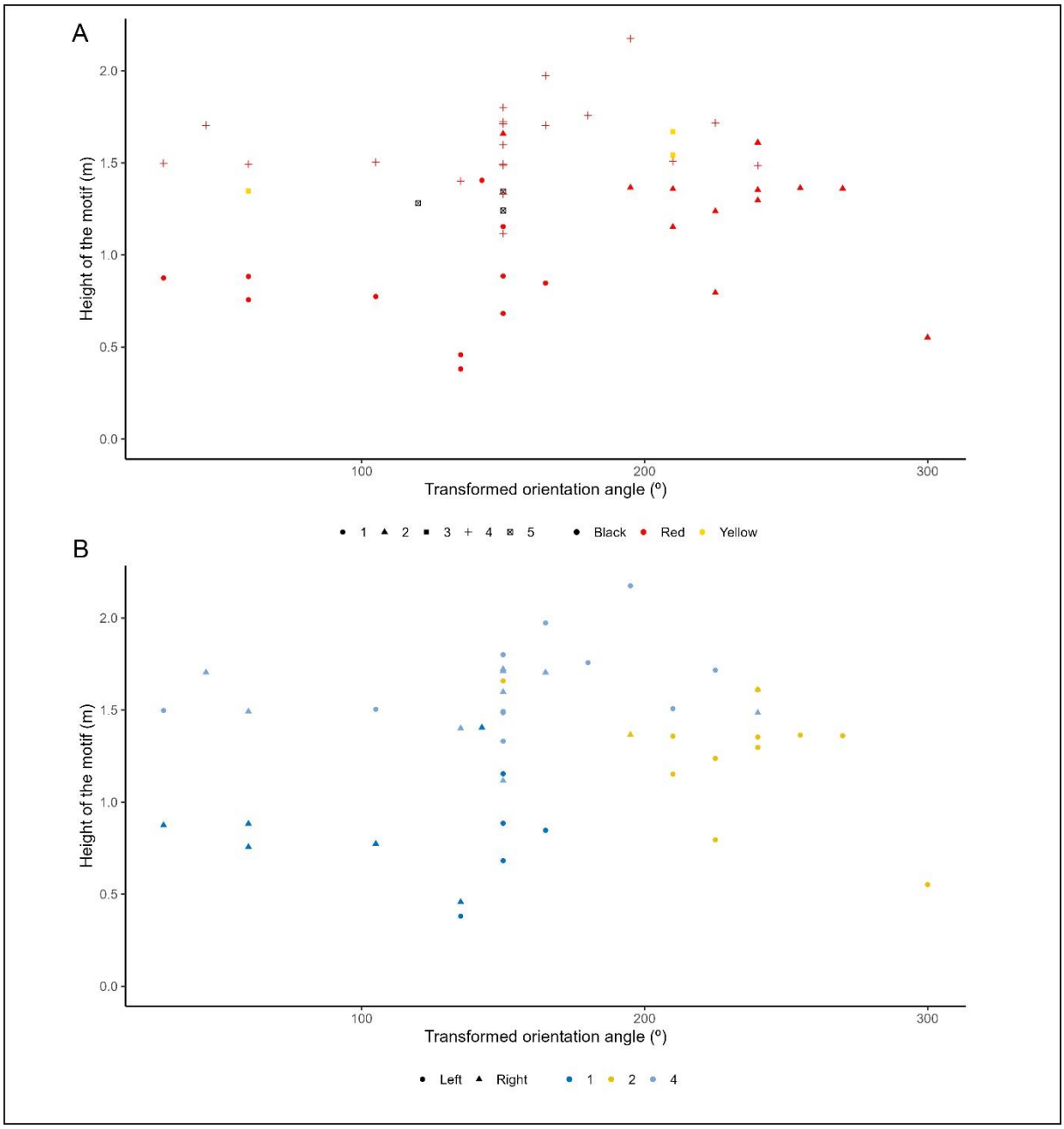


Figure 140. Illustration de l'importance de la variable d'angle d'orientation transformé sur les clusters de la première *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho fonction des variables de hauteur des motifs. **A**. Clusters 1 à 5 avec illustration des couleurs des mains **B**. Clusters 1, 2 et 3 avec illustration de leur latéralité.

5.2.3.2.1.2. Deuxième analyse

Le fait que cette variable d'orientation ait eu tant d'importance dans la formation des clusters invitent donc à refaire une autre analyse, sans celle-ci. Ce second essai, malgré l'absence de ce facteur, propose également 5 clusters (Figure 141) :

(i) Le cluster 1 est caractérisé par des figures à la difficulté d'accès supérieure et une hauteur faible.

(ii) Le cluster 2 est proche du cluster 4, mais se distingue par une plus haute visibilité.

(iii) Le cluster 3 est composé uniquement des mains jaunes.

(iv) Le cluster 4 diffère du cluster 2 par la longueur du chemin.

(v) Le cluster 5 est formé par les mains noires.

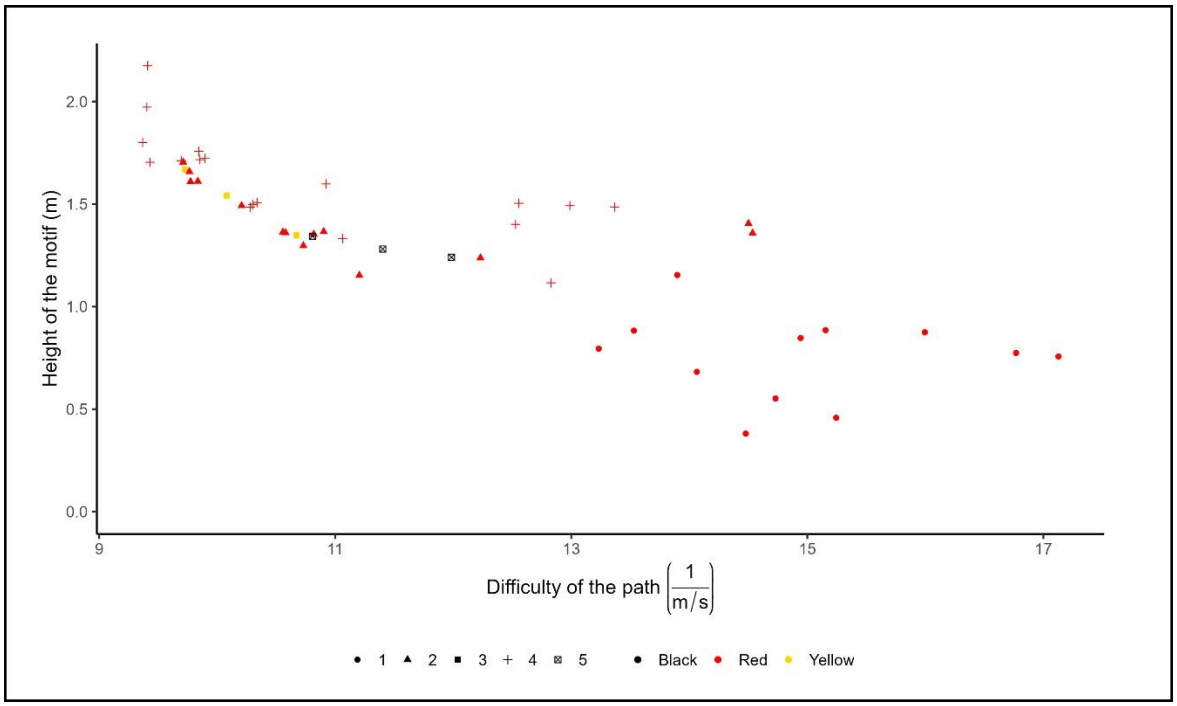


Figure 141. Graphique illustrant les clusters de la deuxième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho considérant les variables suivantes : la *difficulté du chemin*, la *longueur du chemin*, la *hauteur du motif*, la *visibilité totale*, l'*intervisibilité* et la *latéralité*.

Il est intéressant d'observer que bien que l'orientation ait été retirée de l'analyse, les clusters obtenus sont assez similaires, avec deux d'entre eux uniquement basés sur la couleur des motifs. De plus, les éléments discriminant les autres clusters, comme la longueur du chemin ou la difficulté d'accès, semblent assez peu pertinents, au vu des valeurs très faibles en question : toutes les données sont très proches, et les séparer sur cette base est compliqué à défendre. Ces résultats doivent donc être considérés avec précaution.

5.2.3.2.1.3. Troisième analyse

Enfin, j'ai décidé d'ajouter la variable de positions des doigts à l'analyse, pour voir ce que ceux-ci pouvaient apporter à la création des clusters. Cette troisième analyse considère les variables suivantes :

La *difficulté du chemin,* la *longueur du chemin*, la *hauteur du motif,* la *visibilité totale*, l'*intervisibilité*, la *latéralité*, l'*angle d'orientation transformé* et les *combinaisons de doigts*.

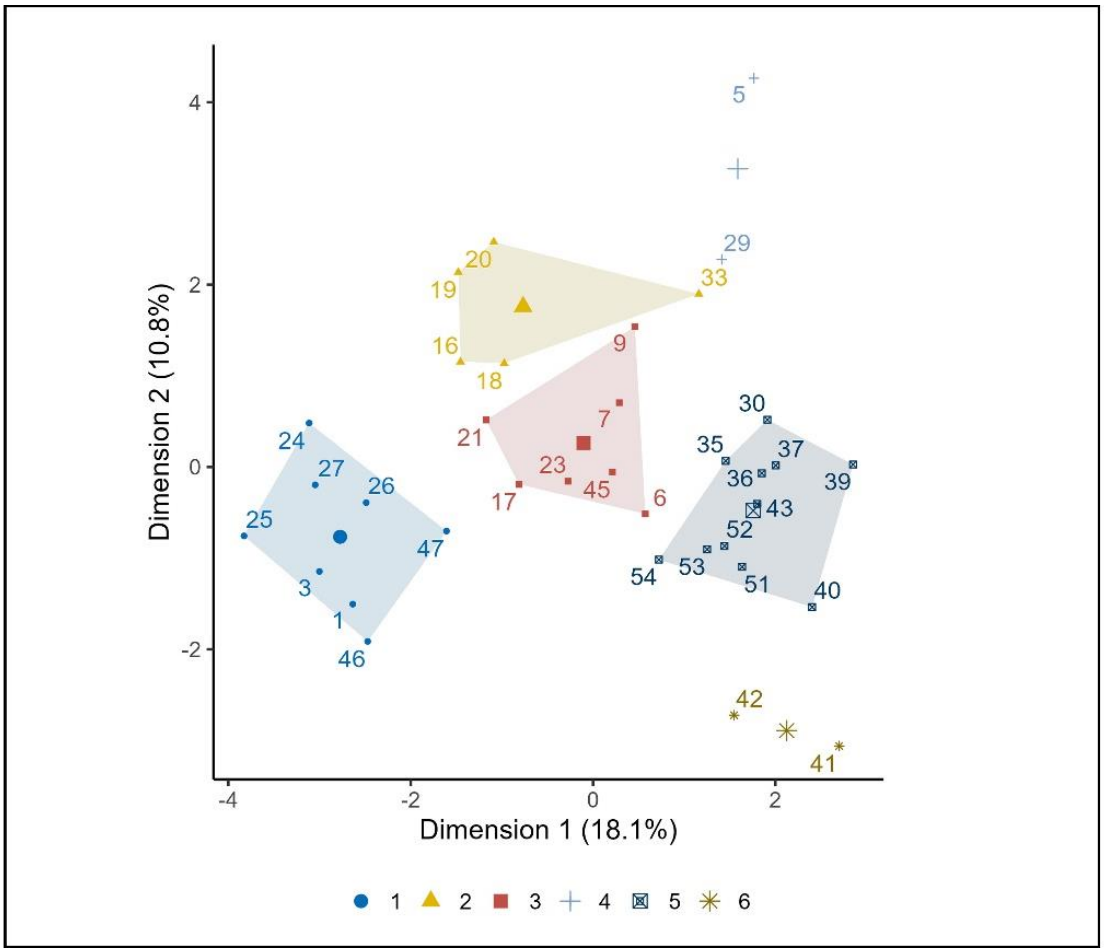


Figure 142. Clusters de la troisième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho prenant en compte les combinaisons de doigts.

Les 6 clusters formés (Figure 142) s'organisent de la façon suivante (Figure 143, Figure 144 et Figure 145) :

(i) Le cluster 1 est caractérisé par la position basse des figures, avec une plus grande longueur de chemin.

(ii) Le cluster 2 se distingue par la hauteur et la longueur du chemin de ses figures.

(iii) Le cluster 3 est similaire au cluster 2, avec une faible difficulté d'accès, une longueur du chemin basse et une hauteur importante. Il a une intervisibilité en moyenne plus basse que les mains du cluster 2.

(iv) Le cluster 4 est composé par une main jaune et une main rouge qui partagent une combinaison de doigts : *llll*i (auriculaire replié).

(v) Le cluster 5 est formé d'une série de mains hautes, dont une majorité (mais pas toutes) partage la forme *iiiii*. Parmi celles-ci se trouve une main noire, la main 40.

(vi) Les deux mains noires (41 et 42) restantes sont unies (malgré leur combinaison formelle différente) pour créer le cluster 6.

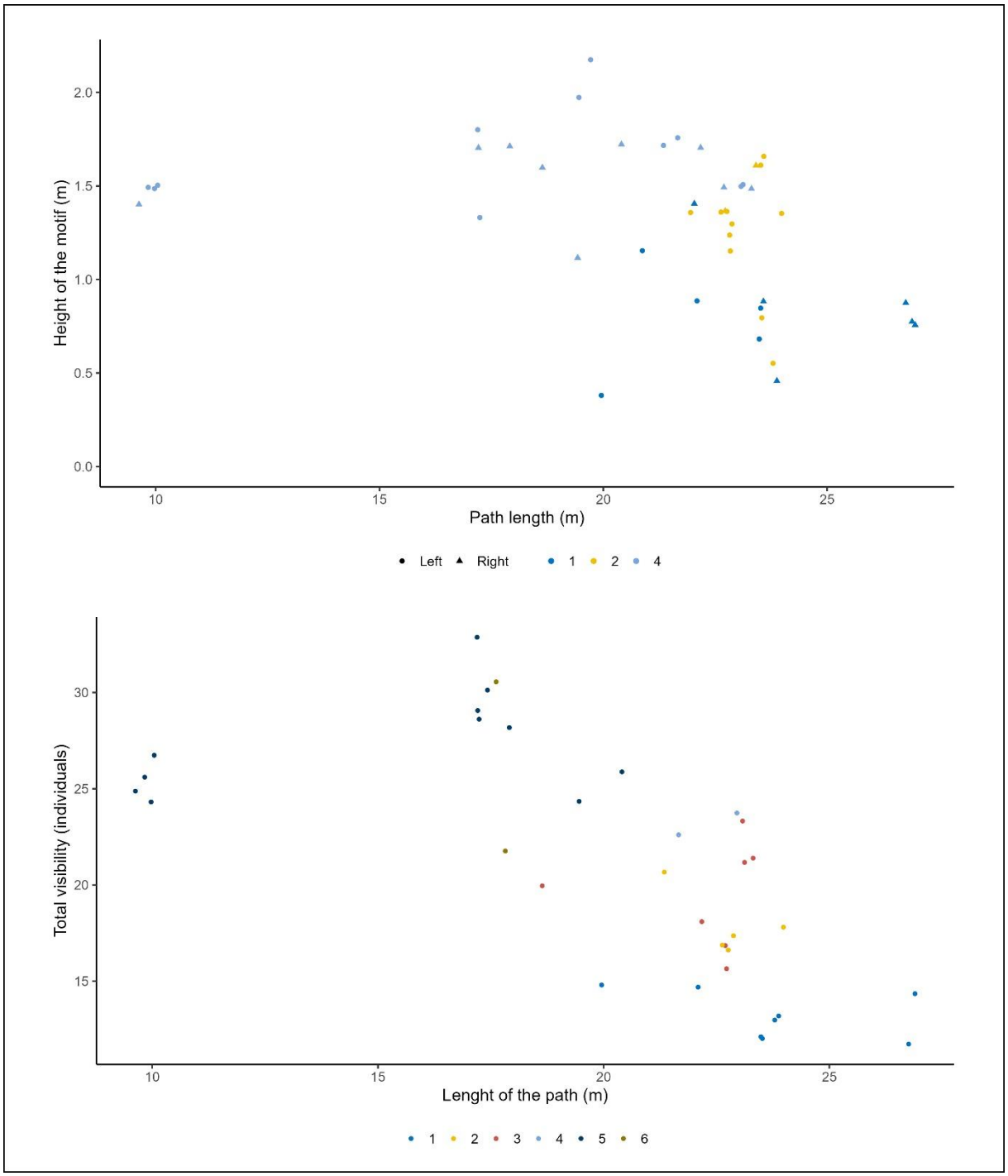


Figure 143. **A**. Répartition des clusters 1, 2 et 4 de la troisième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho prenant en compte les combinaisons de doigts, en fonction de la hauteur des motifs et de la longueur du chemin. **B**. Répartition des six clusters en fonction de la visibilité totale et de la longueur du chemin.

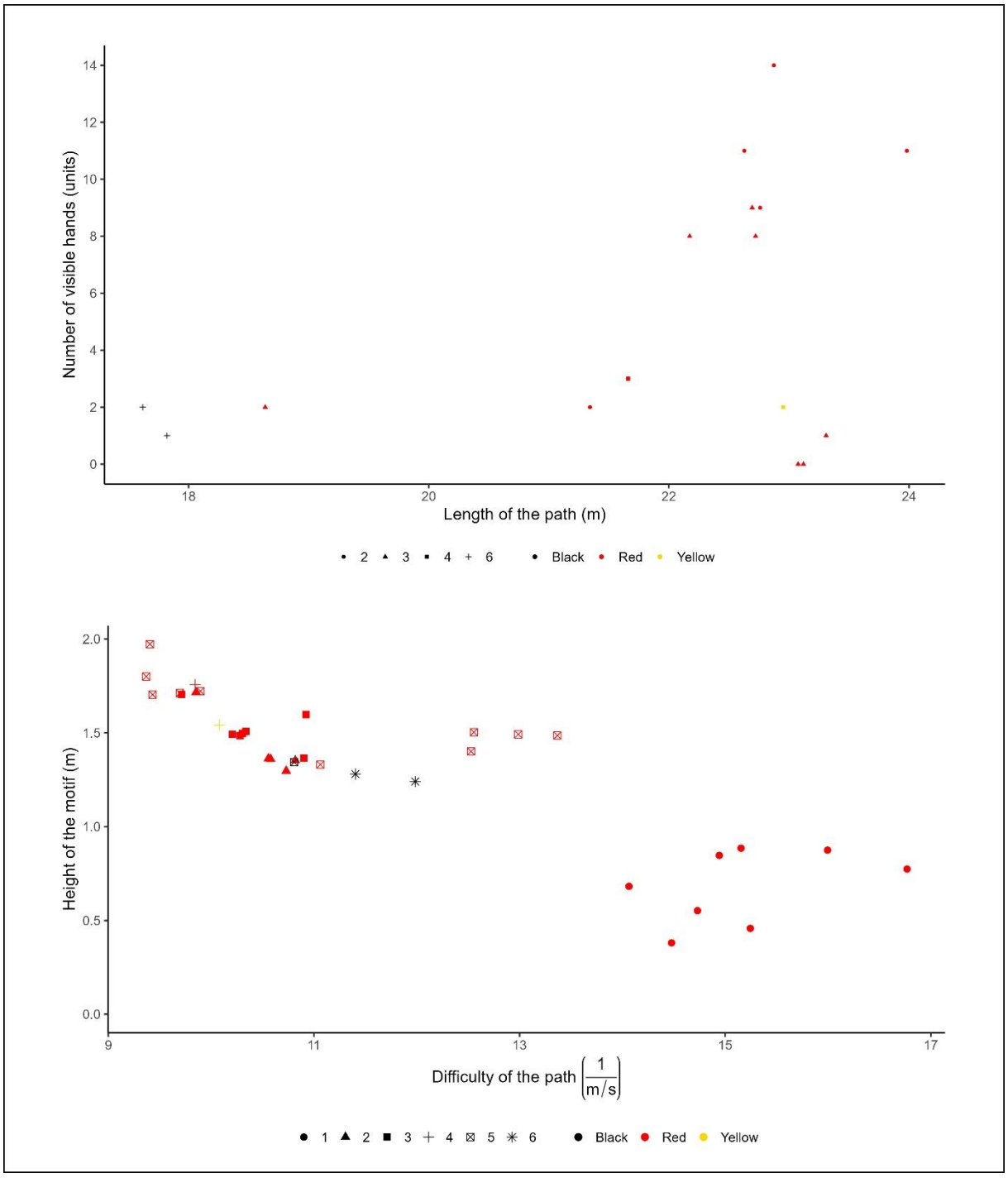


Figure 144. **A**. Répartition des clusters 2, 3, 4 et 6 de la troisième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho prenant en compte les combinaisons de doigts, en fonction de l'intervisibilité et de la longueur du chemin. **B**. Répartition des 6 clusters en fonction de la hauteur des mains et de la difficulté du chemin.

En ce qui concerne la disposition des clusters sur le plan de la cavité (Figure 145), on peut observer que le cluster 1 apparaît composé de figures dispersées dans la grotte mais systématiquement au fond. Au vu de la forme générale de la cavité, qui se rapetisse vers le fond, cela semble logique, puisque ce cluster se caractérise par la longueur d'accès et sa faible hauteur de ses figures. Le cluster 2 est également rassemblé au niveau spatial, à l'exception des mains

55 et 56 excentrées. Le cluster 3 est composé de mains assez proches, le 4 est assez réparti et le 5 tout à fait centré sur ses deux uniques exemplaires.

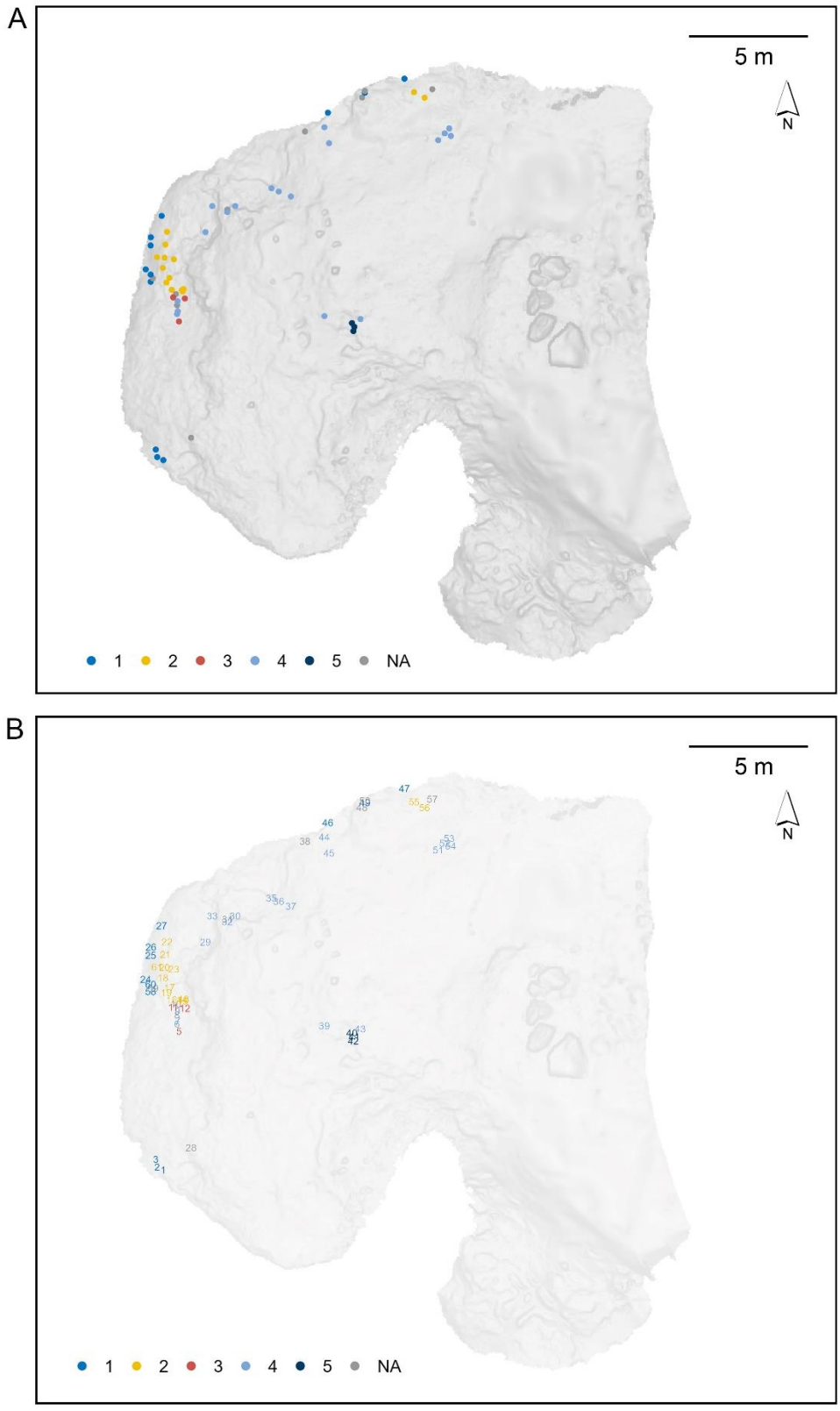


Figure 145. **A**. Graphique illustrant les clusters de la troisième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho considérant les variables suivantes : la *difficulté du chemin,* la *longueur du chemin*, la *hauteur du motif,* la *visibilité totale*, l'*intervisibilité*, la *latéralité* et les *positions des doigts.* **B**. Représentation des mêmes clusters selon les coordonnées en *x* et *y* des mains négatives.

5.2.3.3. Analyse au niveau micro-spatial

5.2.3.3.1. Position de l'artiste

Pour ce qui est de la position de l'artiste, celle-ci est assez variée pour les mains négatives de la cavité (Figure 146). Comme elle dépend de la hauteur des figures, elle se trouve organisée sur le plan, logiquement, par groupes, en fonction de la hauteur des plafonds[71].

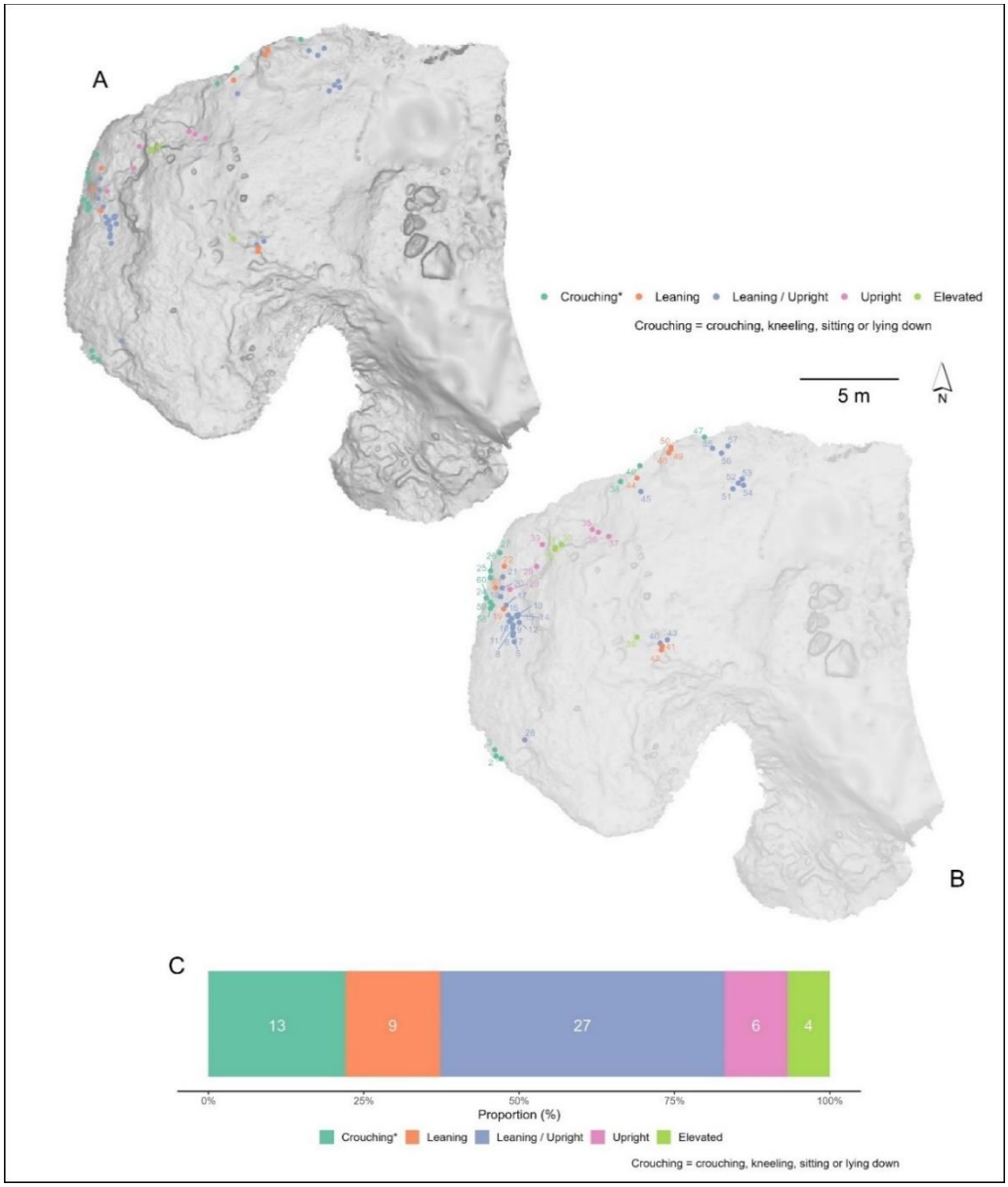


Figure 146. **A**. et **B**. Dispersion des positions de l'exécutant des mains négatives de Fuente del Trucho sur le plan de la cavité, avec leur numérotation. **C**. Proportion de celles-ci.

[71] Il faut noter, cependant, que les données disponibles pour la reconstitution du sol de Fuente del Trucho étaient très faibles, ce qui rend ces résultats de hauteur des motifs incertains.

5.2.3.3.2. Orientation

Enfin, quant à l'orientation des mains de Fuente del Trucho, la plupart suivent la direction naturelle confortable par rapport à leur latéralité (Figure 147). Certains exemplaires se démarquent toutefois (Figure 148), comme la main jaune 11, qui a été réalisée dans un angle inconfortable (21h) pour une main gauche. L'état de conservation de celle-ci ne permet pas de déterminer la complétude de ses doigts. La main complète rouge 6, gauche également, présente aussi un angle inconfortable (20h), impliquant un déplacement du coude. Celle-ci est d'intérêt particulier car il apparaît qu'elle forme avec la main 7 une composition en miroir[72]. La main 24, enfin, une main gauche rouge complète, se démarque par sa position à 17h. Contrairement aux deux autres, celle-ci est située sur la paroi subverticale du fond de la cavité. Son orientation ne dépend donc pas de l'endroit d'où l'interlocuteur la regarde, à la différence des autres mains du plafond.

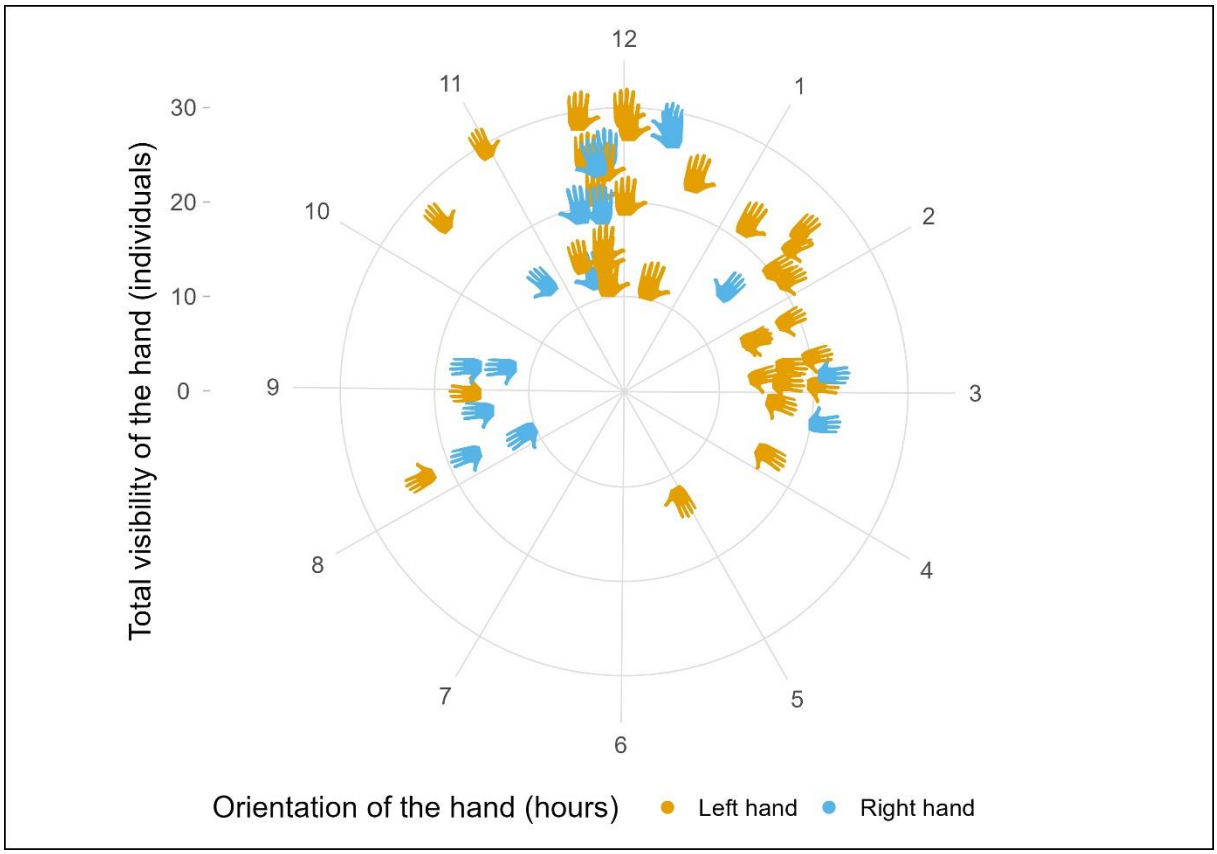


Figure 147. Orientation de toutes les mains négatives avec latéralité déterminable de Fuente del Trucho en fonction de leur visibilité.

[72] Je détaillerai ce cas dans la section 6.3.2.

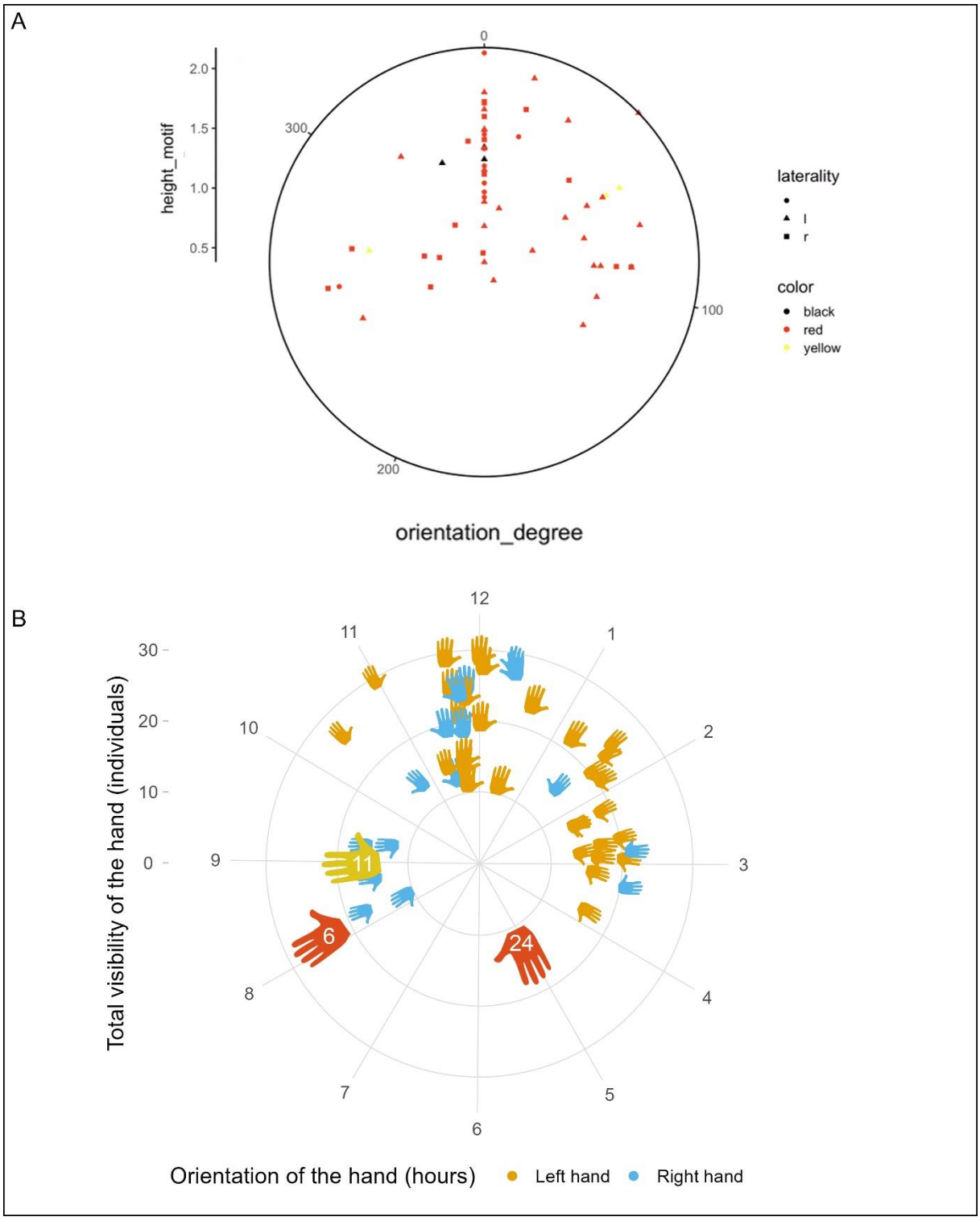


Figure 148. Orientation de toutes les mains négatives avec latéralité déterminable de Fuente del Trucho. **A**. Avec leur couleur en fonction de leur hauteur. **B**. En fonction de leur visibilité. Les deux mains gauches rouges 6 et 24 se démarquent par leur position incommode pour l'exécutant, tout comme la main gauche jaune 11.

5.3. Fuente del Salín

5.3.1. Restitution de l'état paléolithique de la cavité

5.3.1.1. Sources disponibles

Comme pour Fuente del Trucho, les sources disponibles pour la reconstitution de l'espace paléolithique de Fuente del Salín furent assez limitées. Je ne disposais pas, en effet, de photographies anciennes, par exemple, qui pourraient informer sur des changements récents ayant eu lieu dans la grotte, ni d'étude géomorphologique pour évaluer les processus plus anciens. Dans ce cas, cependant, les fouilles archéologiques furent d'une grande aide. En effet, les campagnes de Moure Romanillo et González Morales (Moure Romanillo & González Morales, 1992; González Morales & Moure Romanillo, 2000, 2008; González Morales, 2016) mirent au jour, comme précisé plus haut, une couche d'occupation gravettienne, le niveau 2, à mettre en lien avec les peintures de mains de la cavité.

5.3.1.2. Information collectée et décisions

Ces informations quant à la stratigraphie du gisement offraient l'avantage d'être visibles dans le modèle tridimensionnel de la cavité, où la différence de profondeur entre le carré de fouilles L6 (sommet de la couche gravettienne) et K6 (base de celle-ci) se distinguait nettement, entre les deux et par rapport au sol actuel (Figure 149).

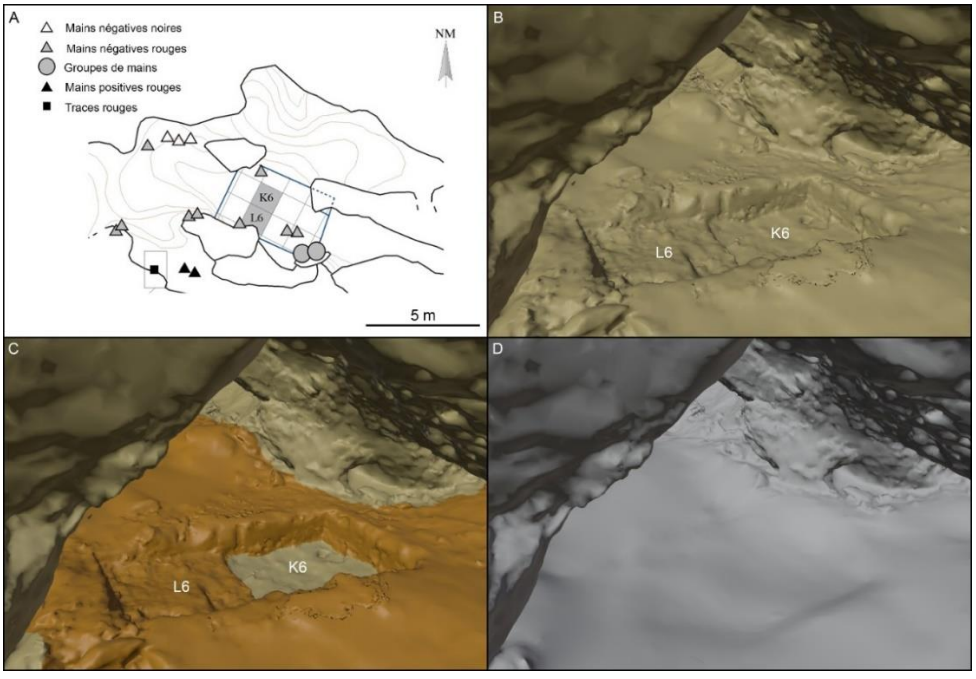


Figure 149. Illustration de la mise à niveau du sol de Fuente del Salín sur base de la hauteur du niveau stratigraphique K6 correspondant à la base de la couche d'occupation gravettienne.

J'ai donc procédé au rabaissement du sol de 30 cm pour l'amener au niveau de K6, c'est-à-dire la hauteur du sol sur lequel les Gravettiens se déplaçaient, au-dessus du niveau 3 stérile. Pour effectuer cette mise à niveau de façon homogène et précise, j'ai utilisé une série de cubes virtuels de 30 cm, répartis sur la superficie du sol. En situant leur sommet juste sous le sol actuel, j'ai pu remodeler le sol en le repoussant jusqu'à leur base (Figure 150).

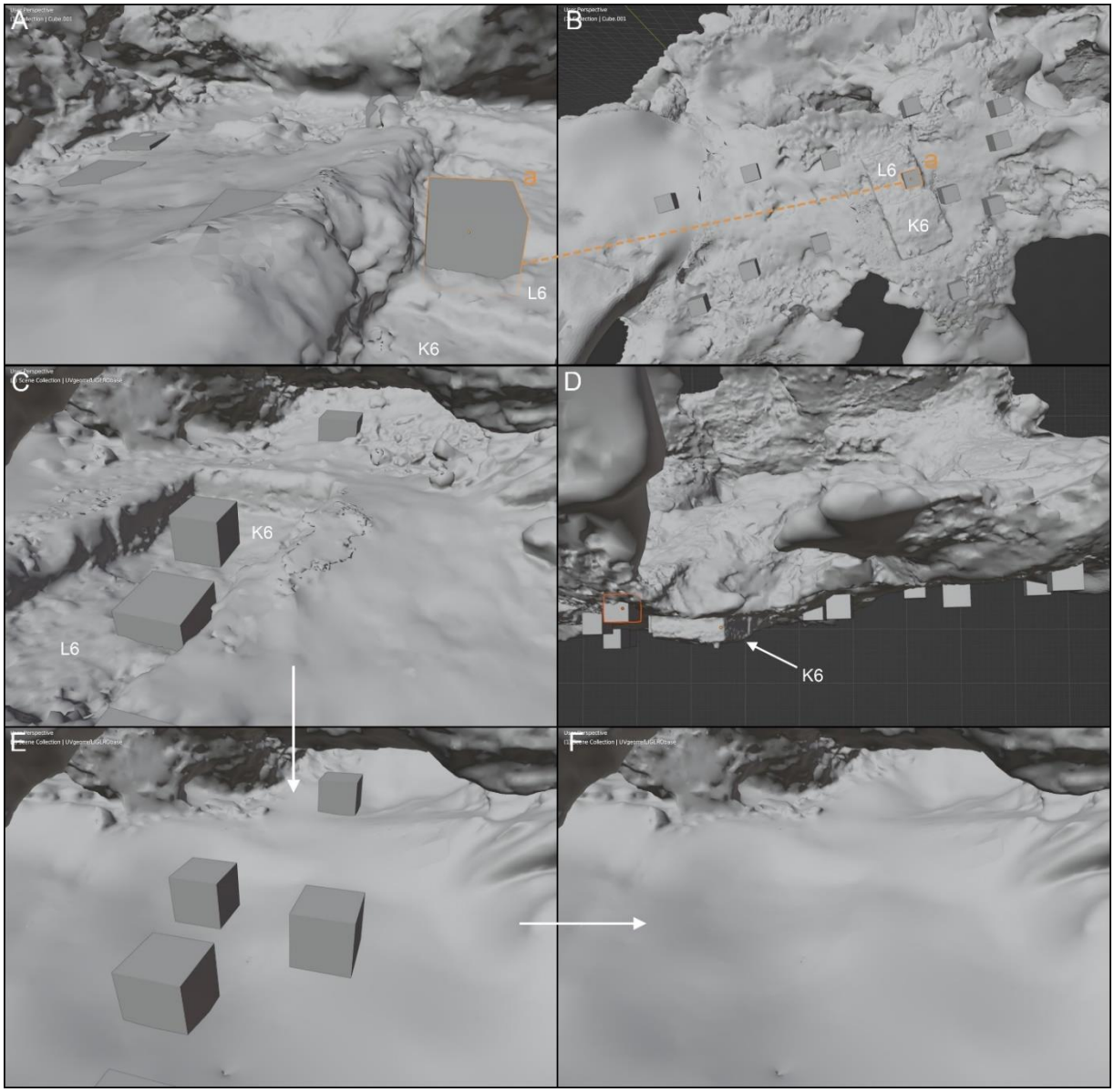


Figure 150. Processus de reconstitution du sol paléolithique de Fuente del Salín dans *Blender*®. **A**. Vue de l'intérieur de la cavité. **a)** Bloc de 30 cm utilisé comme échelle pour le nivellement du sol. **B**. Vue zénithale d'en-dessous du modèle avec le même bloc en **a)**. **C**. Vue des blocs situés dans la fouille, dans les couches L6 et K6. **D**. Vue latérale de la situation du niveau K6 pris comme base. **E**. Même vue que **C** avec le sol remodelé. **F**. Même vue que **E** sans les blocs.

Pour ce qui est de l'éboulis de l'entrée paléolithique supposée, faute de documents supplémentaires pour baser la reconstruction, j'ai utilisé le travail de reconstruction de la bouche d'entrée effectué par l'entreprise *GIM Geomatics* dans le cadre de la création de réalité

virtuelle de la cavité. J'ai donc uni cette section au modèle au sol paléolithique reconstitué (Figure 151).

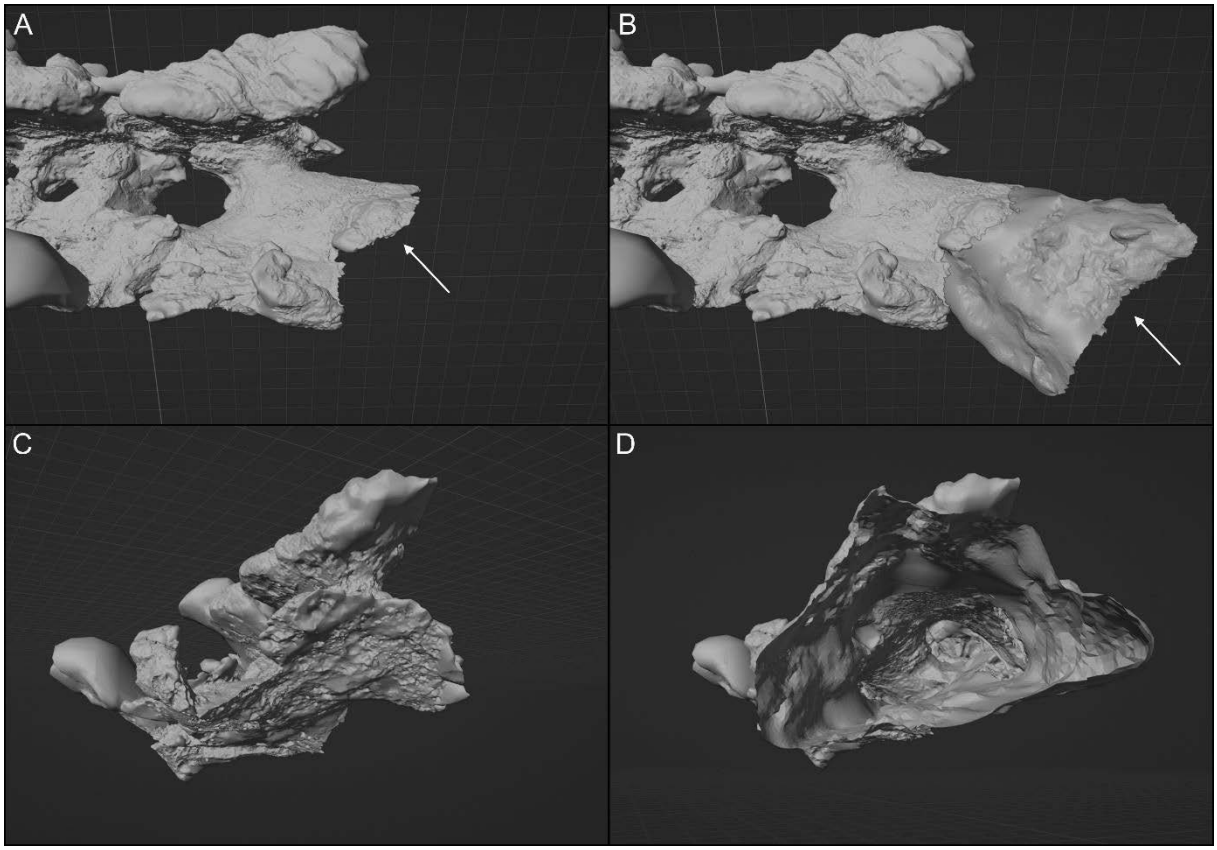


Figure 151. Captures d'écran du logiciel *Blender*® qui détaillent l'ajout de l'ouverture du tunnel d'entrée supposé, aujourd'hui écroulé (travail de reconstruction de la bouche d'entrée de *GIM Geomatics*). **A**. Vue latérale du modèle de l'état de la grotte actuellement, où l'on voit que la sortie, indiquée par une flèche, est obturée. **B**. Même vue latérale du modèle où un segment de tunnel d'entrée (également indiqué par une flèche) a été ajouté. **C**. Vue de face de l'entrée obturée dans le modèle actuel. **D**. Vue de face de l'entrée reconstituée.

5.3.1.3. Élargissement du corpus

Les mains négatives de la grotte de Fuente del Salín n'ont pas encore fait l'objet d'une étude exhaustive, son accès étant la plus grande partie du temps impossible sans recourir à la plongée subaquatique. Si l'ouvrage *Handpas* (Collado Giraldo, 2018) fait état d'une partie des motifs (21 mains négatives), cette documentation avait besoin d'être complétée. Les travaux antérieurs, encore inédits, de l'équipe de M. González Morales (UC) avaient déjà localisé 9 mains négatives supplémentaires, auxquelles j'ai ajouté deux figures, repérées sur l'objet tridimensionnel texturé de l'entreprise *GIM Geomatics,* et D. Garate (UC) a localisé un dernier exemplaire sur base du même document[73].

[73] Je suis en attente de retourner dans la cavité durant une période sèche pour documenter davantage celles-ci.

Il s'agit des figures suivantes.

5.3.1.3.1. Main 12bis

Main noire située sur le *Panneau 4* de la numérotation de Collado Giraldo (2018), sur la paroi à droite des deux mains positives de la cavité, sous la main noire 12, entre deux fines draperies (Figure 152). Il s'agit d'une main droite, aux dimensions particulièrement réduites, dont l'orientation est estimée à 15h.

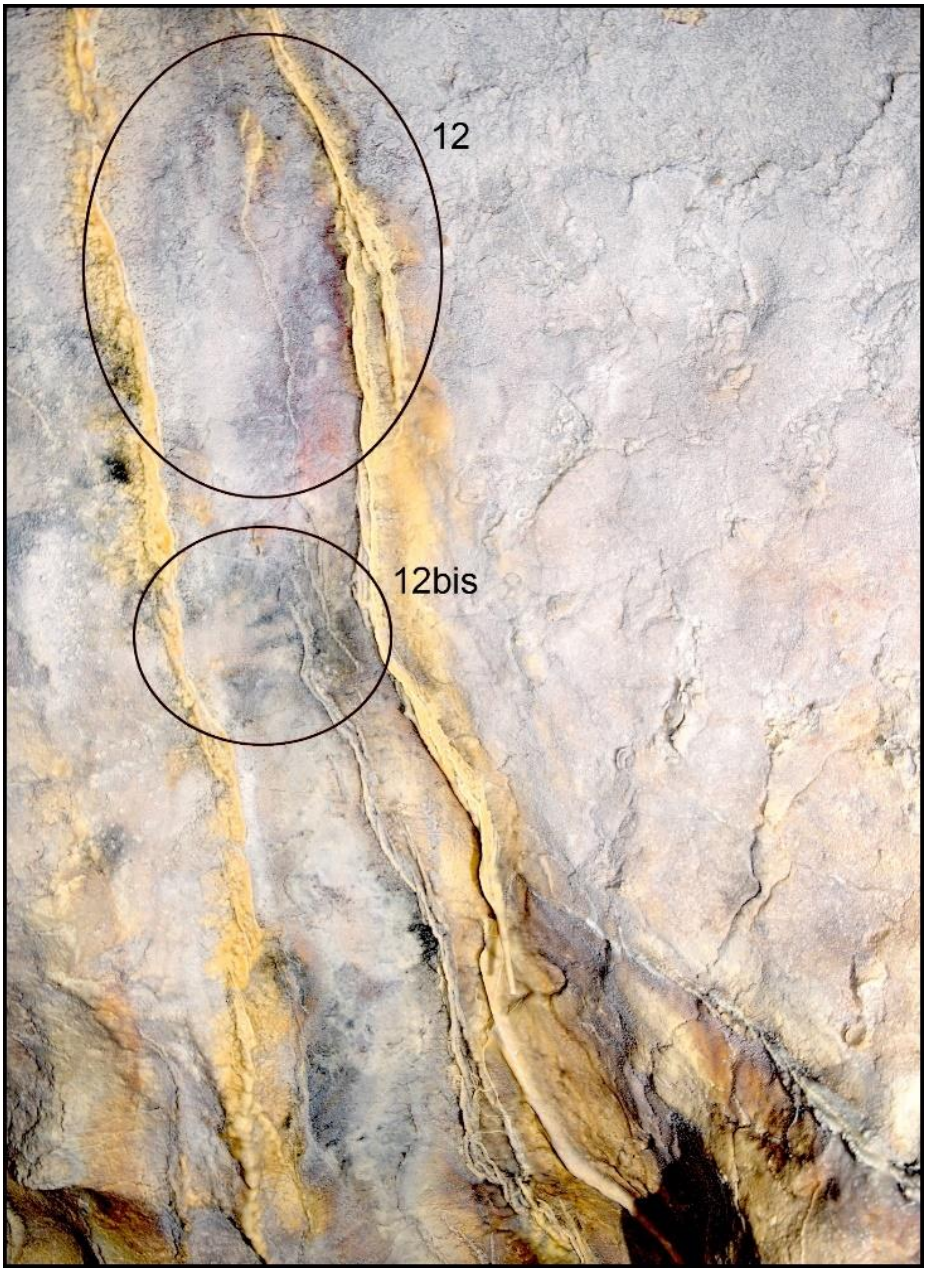


Figure 152. Mains négatives noires 12 et 12bis de Fuente del Salín

5.3.1.3.2. Main 16bis

Située sous la main 16, il s'agit d'un motif rouge dont les contours sont difficiles à discerner, au-delà de la forme générale d'un négatif de la taille d'une main (Figure 153, A). Son orientation et latéralité sont indéterminables.

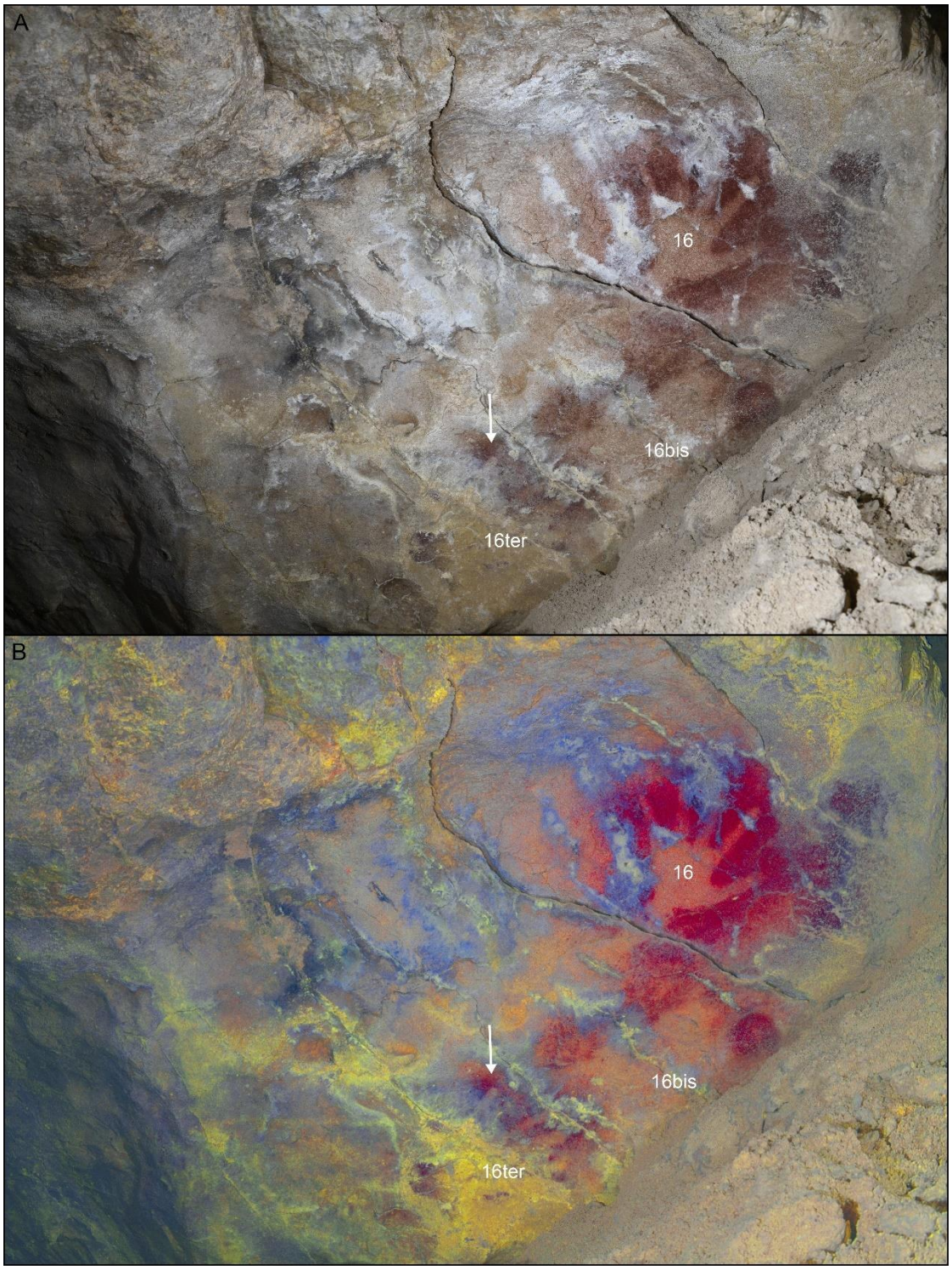


Figure 153. Mains 16, 16bis et 16ter de Fuente del Salín. La flèche indique le doigt supplémentaire qui pourrait appartenir à une autre main. **A**. Photographie non modifiée. **B**. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *lds*.

5.3.1.3.3. Main 16ter

A gauche et en dessous de la main 16 bis, la main rouge 16ter est une figure dont on distingue clairement trois doigts, orientés à 15 heures. Sa latéralité est indéterminable. Une autre main est peut-être présente au-dessus, car un quatrième doigt est visible, mais semble trop long pour être le pouce de cette main (Figure 153, B). Je décide cependant de ne pas me prononcer quant à cette dernière, au vu du manque de données.

5.3.1.3.4. Main 19bis

La main 19bis est un exemplaire noir situé à proximité des mains 20 et 20bis, très mal conservé (Figure 154). On ne distingue que les restes d'un halo noir, mais sa similarité avec les autres mains suggère qu'il s'agit bien d'une main négative, très effacée. Sa latéralité et son orientation sont indéterminables.

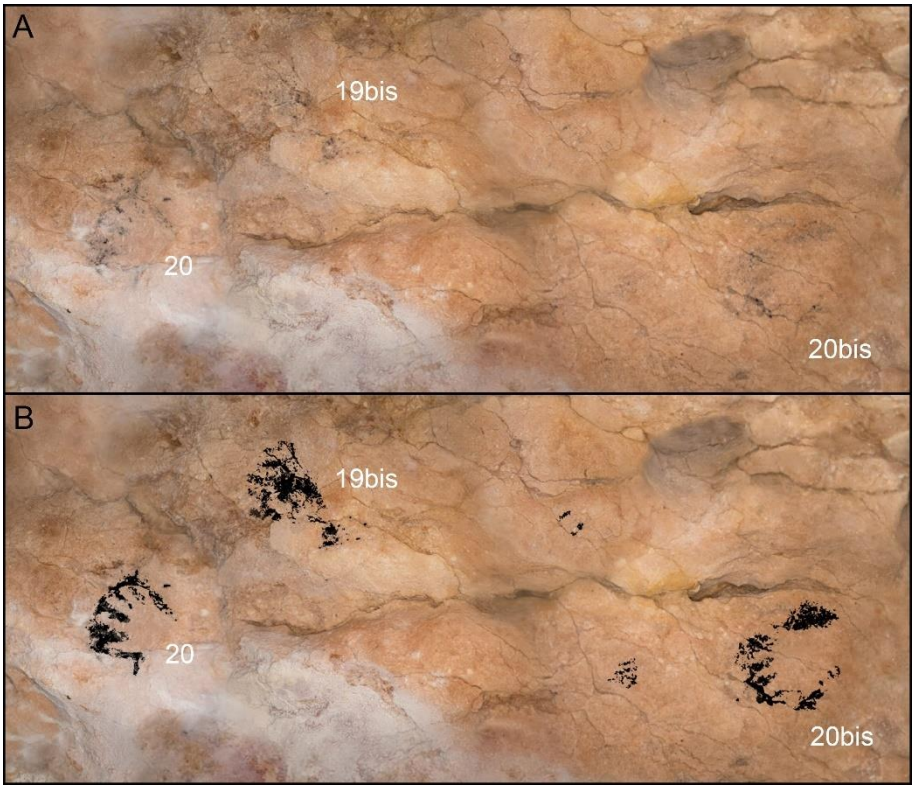


Figure 154. Localisation des mains 20, 19bis et 20bis de la grotte de Fuente del Salín. **A**. Photographie non modifiée. **B**. Relevé (V. Bayarri).

5.3.1.3.5. Main 20bis

Proche de l'exemplaire ci-dessous, la main noire 20bis est pour sa part bien mieux définie (Figure 154) car on peut identifier la présence de doigts. Il semble qu'il s'agisse d'une main droite, mais je ne peux l'affirmer avec certitude. Elle est orientée à 22h.

5.3.1.3.6. Main 21bis

Située au-dessus de la main 21, il s'agit d'un exemplaire rouge également très effacé, dont on ne distingue plus que le halo autour du poignet et de la base de la paume (Figure 155). La main est orientée à 17h mais sa latéralité n'est pas déterminable.

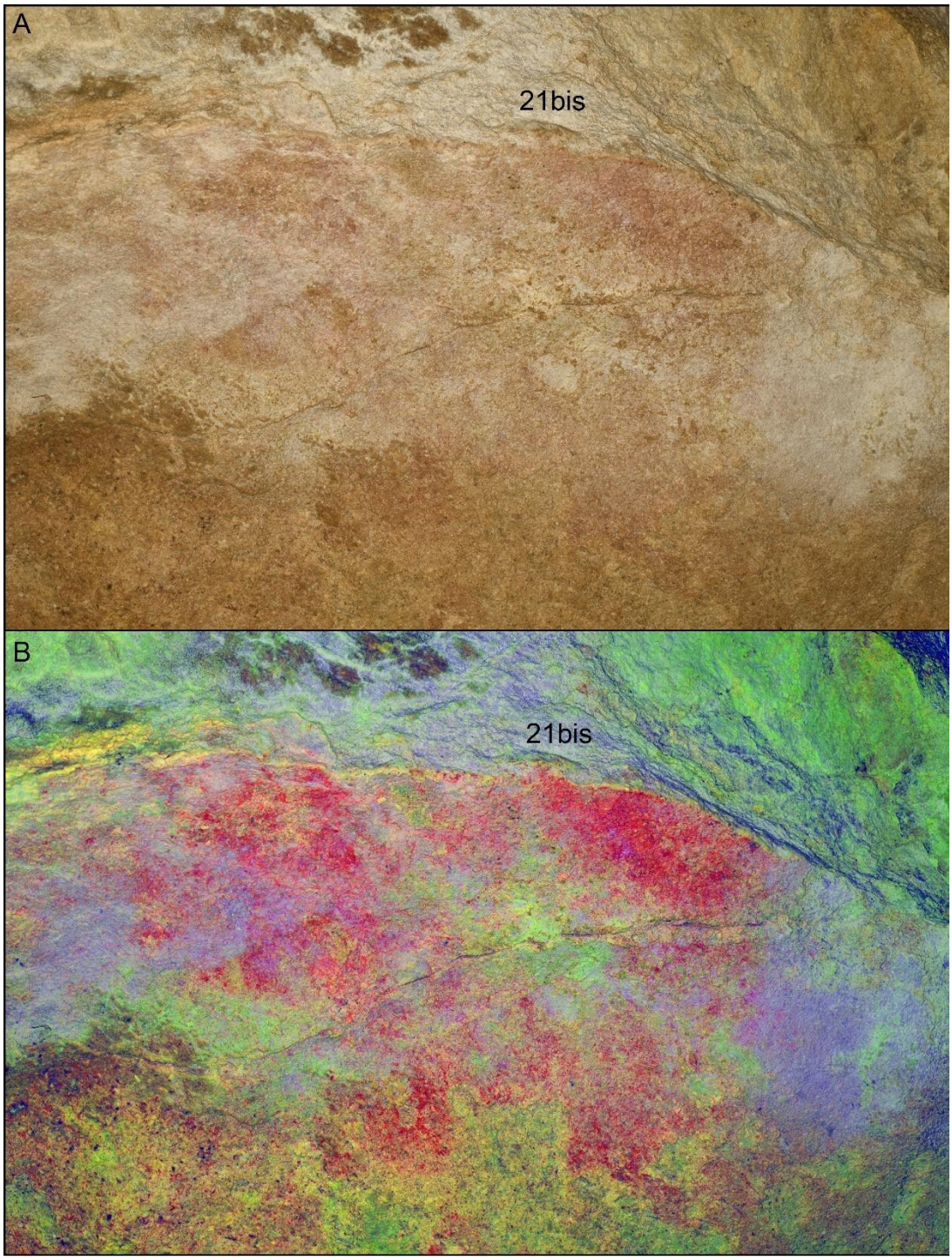


Figure 155. Localisation de la mains 21bis de la grotte de Fuente del Salín. **A**. Photographie non modifiée. **B**. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *yrd*.

5.3.1.3.7. Main 24

La main rouge 24 est située à gauche de la main 23 présente dans l'inventaire *Handpas* (Figure 157 et Figure 156). Son état de conservation ne nous permet pas d'établir des conclusions quant à sa latéralité ou son orientation. Nous nous limitons à affirmer la présence claire d'une projection de pigment avec une zone centrale en négatif, sans plus de détails.

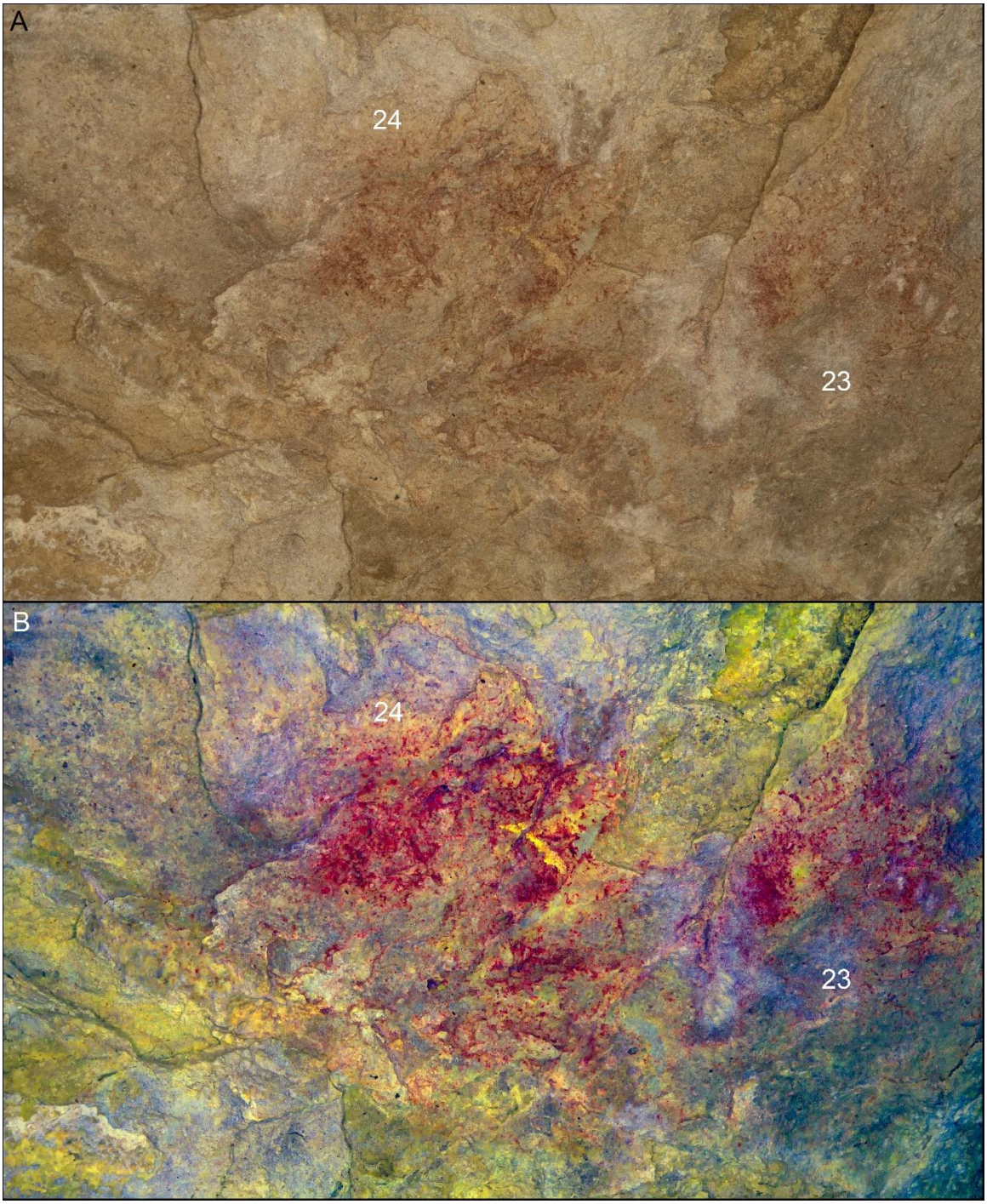


Figure 156. Détail de la main 24 de Fuente del Salín. **A**. Photographie non modifiée. **B**. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *lds*.



Figure 157. Localisation des mains 23 et 24 de la grotte de Fuente del Salín. **A**. Photographie non modifiée. **B**. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *lds*.

5.3.1.3.8. Main 25

L'exemplaire rouge 25, situé sous les mains noires 20 et 19bis (Figure 158 et Figure 159) est un cas similaire au 24, puisque son état de conservation ne permet pas de plus amples conclusions quant à son orientation ou sa latéralité. Je me limite donc à observer une forme en négatif rouge, aux dimensions cohérentes pour une main négative, vraisemblablement réalisé par projection de pigment.



Figure 158. Localisation de la main 25 de la grotte de Fuente del Salín**.**

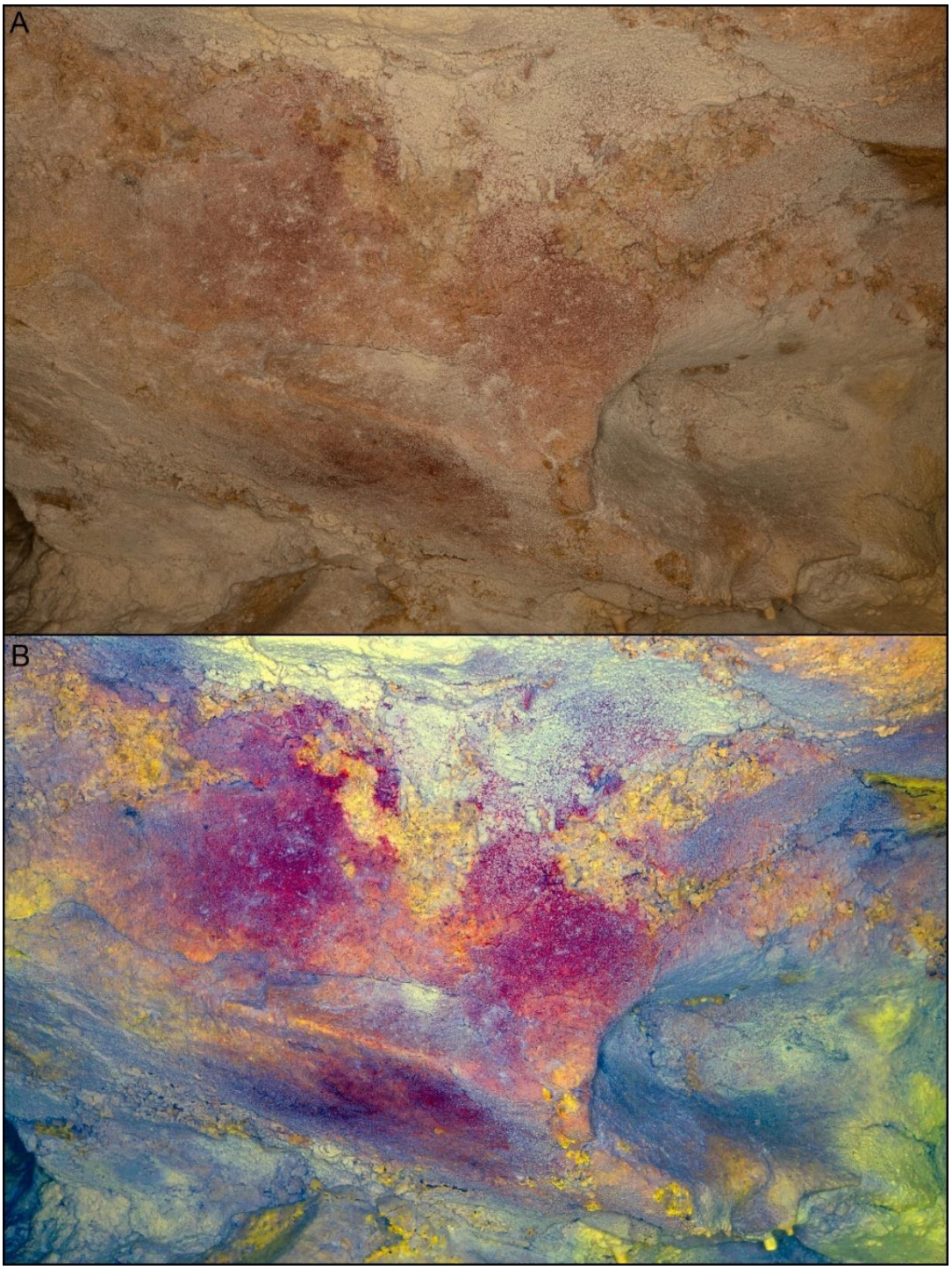


Figure 159. Détail de la main 25 de la grotte de Fuente del Salín. **A**. Photographie non modifiée. **B**. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *lds*.

5.3.1.3.9. Main 26

La main noire 26, située proche des deux mains positives de la cavité (10 et 11) est également très effacée mais son état de conservation laisse toutefois deviner l'emplacement et la forme des doigts (Figure 160) permettant d'établir qu'il s'agit d'une main gauche orientée à 15h.

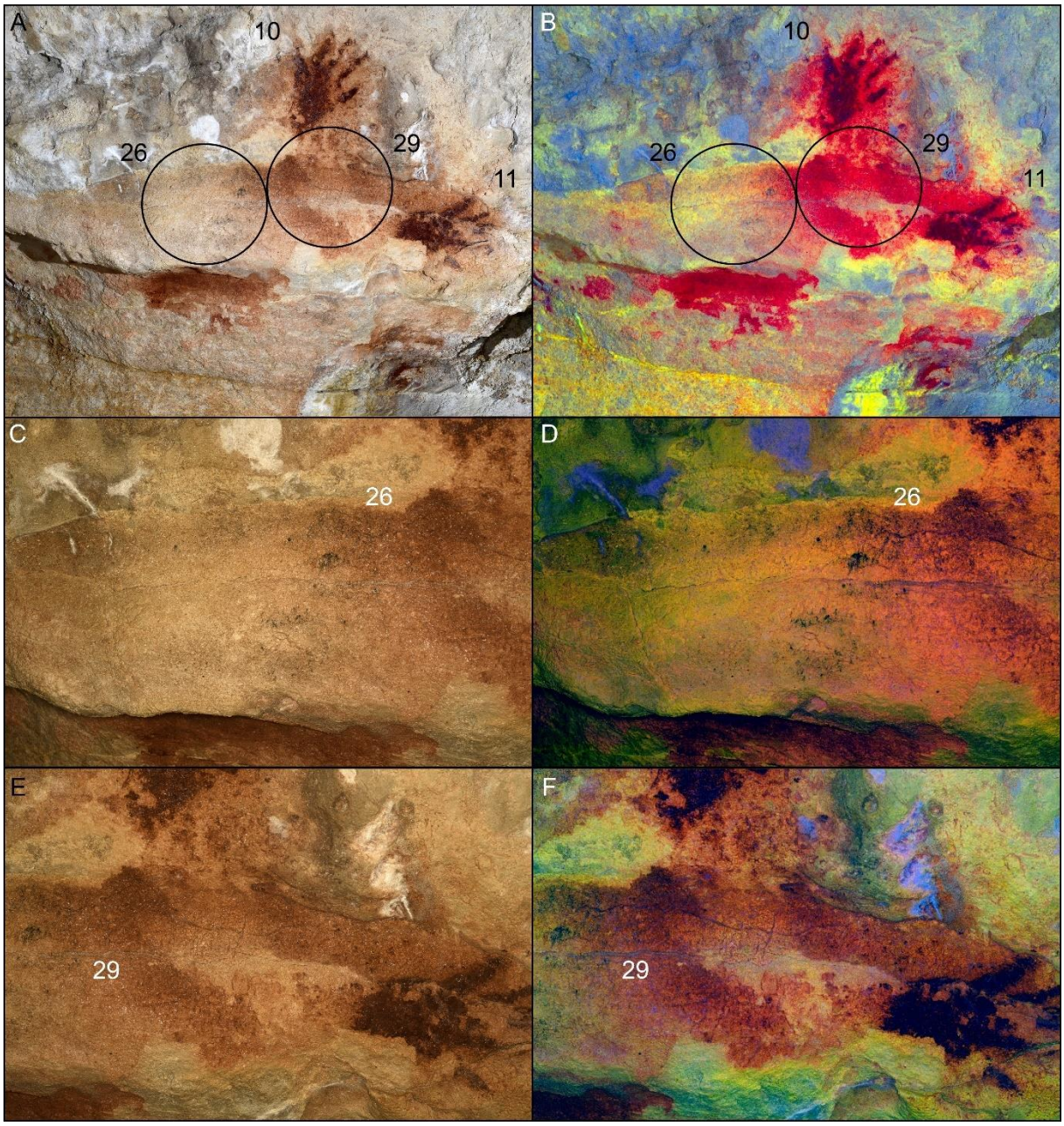


Figure 160. Localisation de la main négative noire 26, de la main négative rouge 29 et des mains positives rouges 10 et 11 de la grotte de Fuente del Salín. **A**. Mains 10, 11, 26 et 29. Photographie non modifiée. **B**. Même ensemble que A. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *lds* **C**. Main noire 26. Photographie non modifiée. D. Mains 26. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *ybk*. **E**. Main rouge 29. Photographie non modifiée. **F**. Main rouge 29. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *lds*.

5.3.1.3.10. Main 27

La main 27 est un autre exemplaire noir, partiellement recouvert par des coulées stalagmitiques, est située à proximité du foyer, entre les mains 21 et 17, sur la même paroi que celles-ci. Les doigts de cet exemplaire, plus visibles que le reste de la main, suggèrent son orientation à 22h (Figure 161). Sa latéralité reste indéterminée.

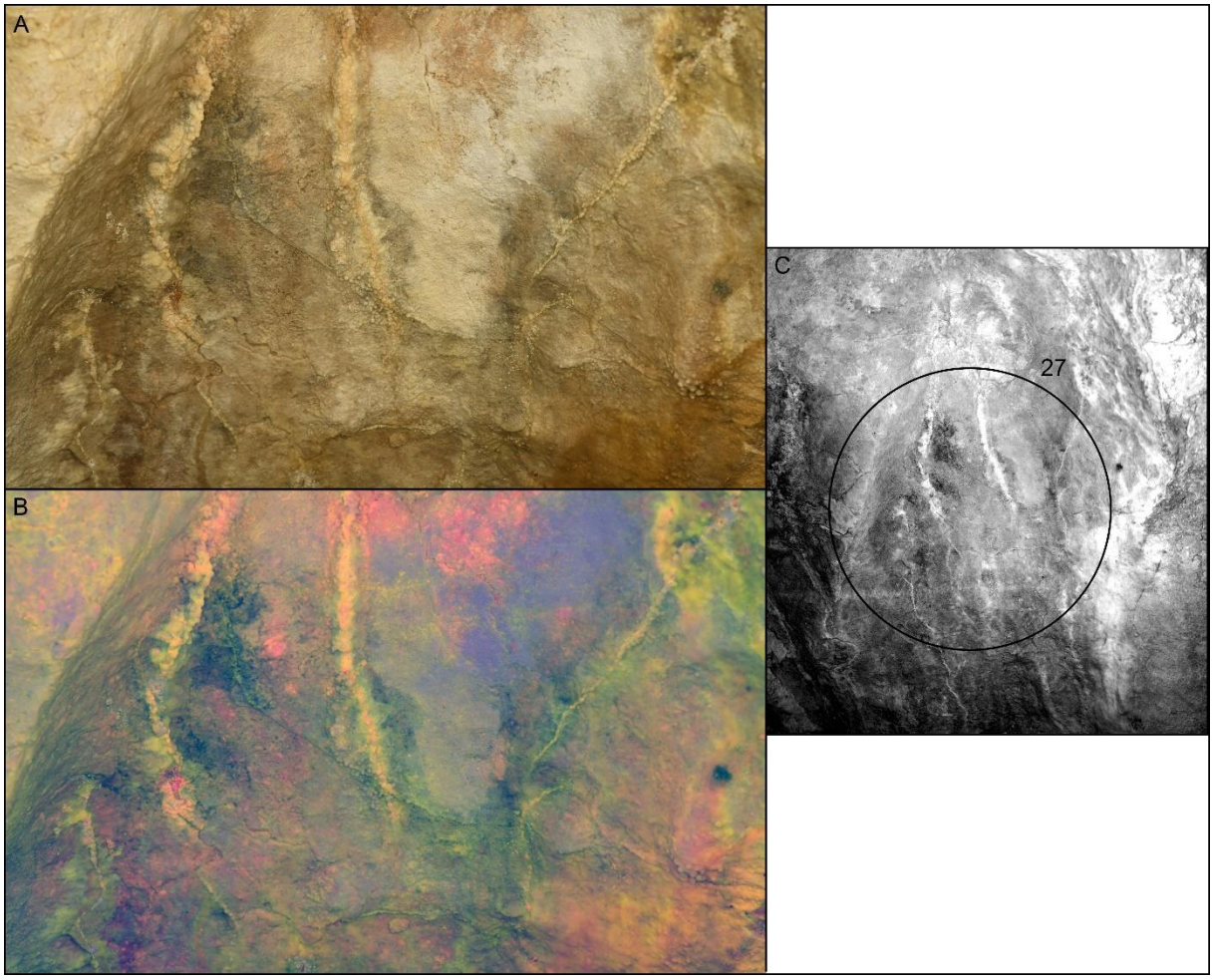


Figure 161. **A**. Détail de la main négative noire 27 de la grotte de Fuente del Salín. Photographie non modifiée. **B**. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *ybk*. **C**. Localisation sur la paroi.

5.3.1.3.11. Main 28

La main négative noire 28 (Figure 162) est située dans la même galerie que les mains positives 10 et 11 et les mains négatives 12, 12bis et 26, mais reste en attente de géolocalisation précise et n'a donc pas pu être incluse dans ce travail d'analyse. Je suggère son orientation à 21h mais sa latéralité est plus complexe à déterminer.

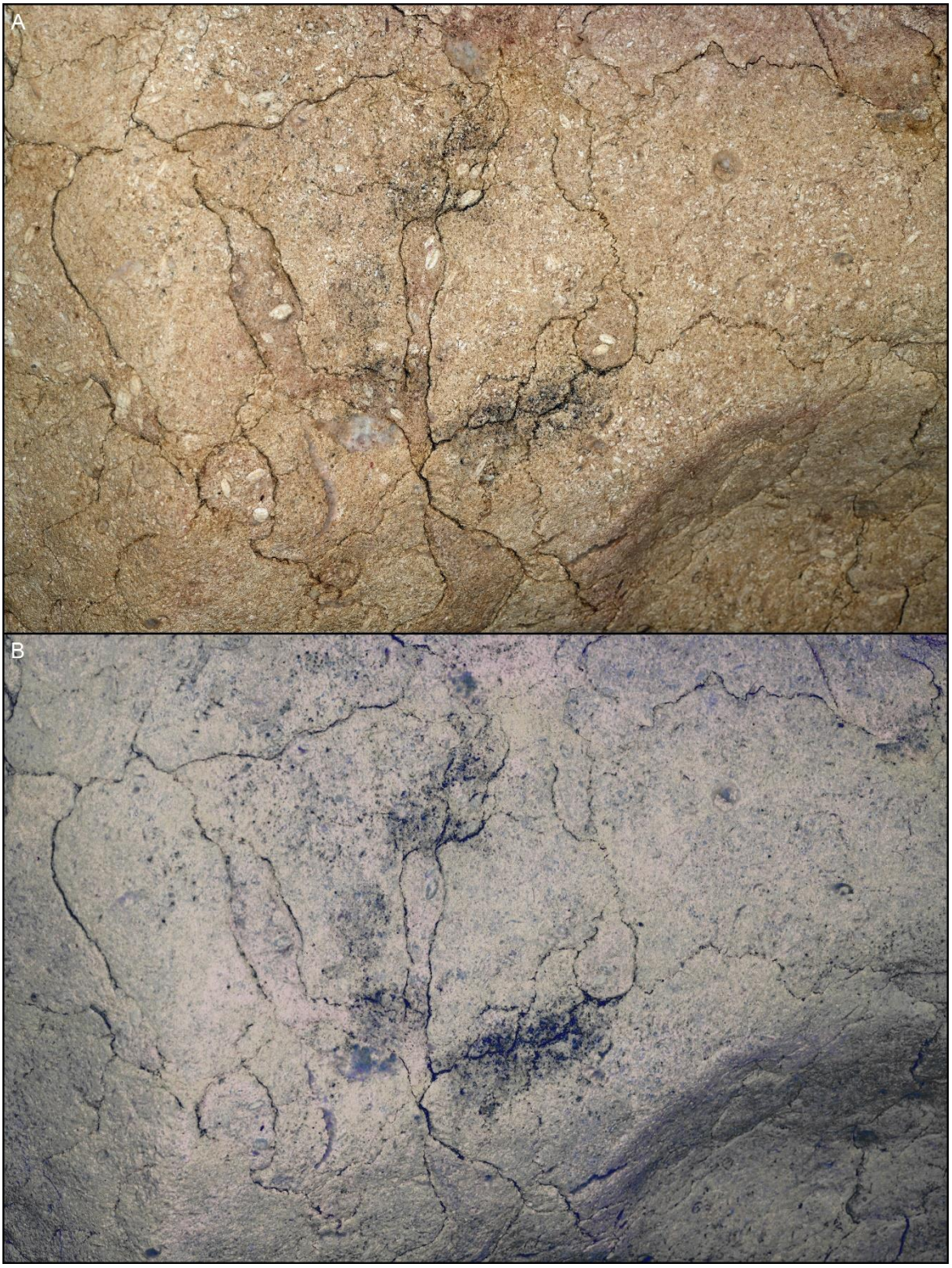


Figure 162. **A**. Détail de la main négative noire 28 de la grotte de Fuente del Salín. Photographie non modifiée. **B**. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *ybk*, avec une modification de la tonalité des couleurs, pour mettre en valeur le pigment noir.

5.3.1.3.12. Main 29

Cette main négative fut localisée par D. Garate (UC) de façon postérieure à l'analyse, ce qui fait qu'elle n'a pas pu être inclue dans cette étude spatiale[74]. Il s'agit d'une main gauche rouge (Figure 160) orientée à 23h, située juste entre les mains positives 10 et 11 et la main noire 26.

5.3.2. Géolocalisation des mains négatives

Les 31 mains négatives étudiées ont été situées dans le modèle tridimensionnel texturé de la grotte (Figure 163), celui-ci ayant d'abord été relocalisé, pour le situer dans des coordonnées uniquement positives (voir section 3.5.3.2). Pour l'opération de géolocalisation, j'ai utilisé, comme pour la photogrammétrie du *Plafond des Mains* d'El Castillo et le modèle de Fuente del Trucho, le logiciel *Agisoft Metashape*® (Figure 164). Les coordonnées ont ensuite été adaptées sur *ArcGIS*® pour qu'elles soient toutes situées à l'intérieur du modèle (Tableau 31, en annexe, section 11.1.4, p. 550).

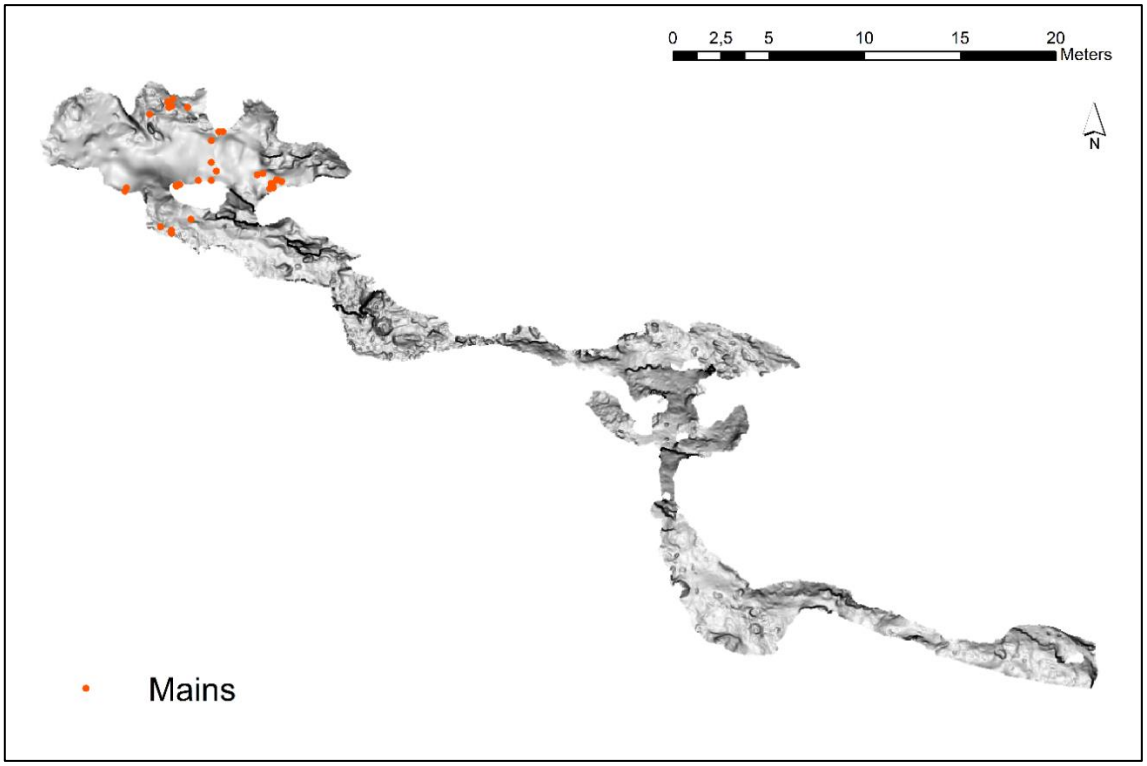


Figure 163. Localisation des mains négatives sur le modèle 3D de la grotte de Fuente del Salín.

[74] Sa situation sur un panneau orné d'autres mains fait qu'elle n'impactera pas beaucoup les résultats au niveau de la distribution générale, mais il serait toutefois pertinent de refaire tout le processus d'analyse spatiale avec cette main et la main 28, une fois que cette dernière sera localisée. Il est également possible que d'autres exemplaires soient découverts lors de l'étude détaillée des motifs, quand nous pourrons travailler *in situ*, qu'il sera alors aussi intéressant d'inclure.

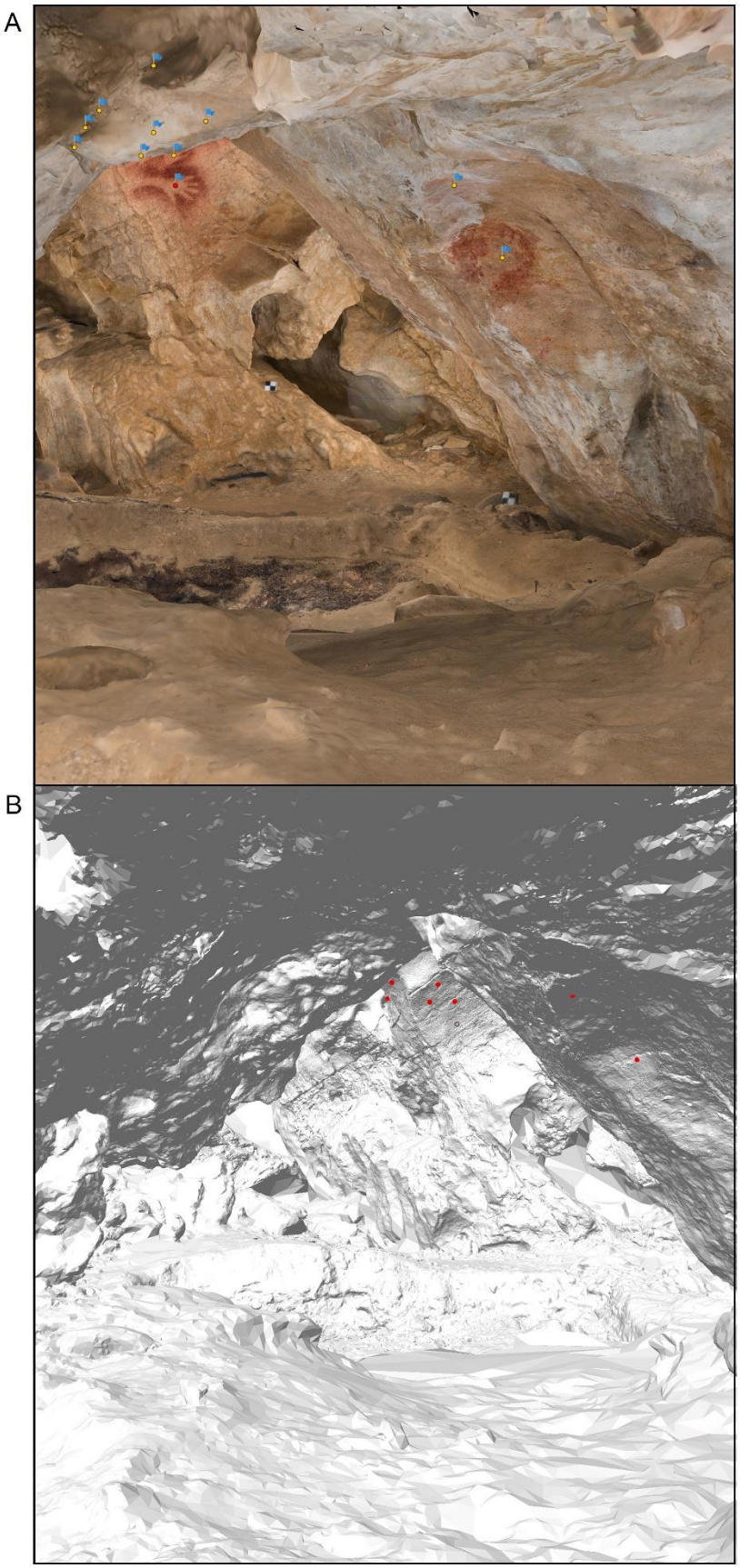


Figure 164. Processus de localisation des mains négatives de Fuente del Salín. **A**. Capture d'écran du logiciel *Agisoft Metashape*®. **B**. Capture d'écran du logiciel *ArcGIS*®.

5.3.3. Analyse spatiale

5.3.3.1. Données numériques obtenues

Voici les résultats obtenus pour la grotte de Fuente del Salín. Les données numériques de l'analyse spatiale obtenues pour chaque main négative sont organisées de la façon suivante : (i) le Tableau 19 regroupe le panneau, la difficulté du chemin, la longueur du chemin, la hauteur du motif, la position estimée de l'exécutant et la couleur du motif et (ii) le Tableau 20 recense la visibilité par position et totale, l'intervisibilité, la latéralité et l'orientation des mains.

Tableau 19. Résultats de l'analyse spatiale des mains négatives de Fuente del Salín (partie 1).

Motif	**Panneau**	**Difficulté du chemin** $(1/\frac{m}{s})$	**Longueur du chemin (m)**	**Hauteur du motif (m)**	**Position estimée de l'exécutant**	**Couleur**
Salín_01	*1*	1,30	11,85	2,11	Elevé	Rouge
Salín_02	*1*	1,87	12,25	1,95	Elevé	Rouge
Salín_03	*2*	0,92431	12,97088	1,831743	Elevé	Rouge
Salín_04	*2*	0,91436	12,73945	1,94751	Elevé	Rouge
Salín_05	*2*	0,90314	12,47805	1,973556	Elevé	Rouge
Salín_06	*2*	0,90547	12,53649	2,006557	Elevé	Rouge
Salín_07	*2*	0,90441	12,50769	1,858359	Elevé	Rouge
Salín_08	*2*	0,90801	12,59313	1,847256	Elevé	Rouge
Salín_09	*2*	0,91107	12,67538	1,665777	Penché/Debout	Rouge
Salín_12	*4*	2,98513	9,60219	1,08935	Penché	Noir
Salín_12bis	*4*	2,54959	9,505438	1,348757	Penché/Debout	Noir
Salín_13	*4*	3,36364	9,595716	0,910542	Accroupi	Rouge
Salín_14	*5*	0,23677	5,559428	0,965023	Accroupi	Rouge
Salín_15	*5*	0,24365	5,745569	0,58419	Accroupi	Rouge

Salín_16	*6*	0,31852	7,473727	0,453257	Accroupi	Rouge
Salín_16bis	*6*	0,31852	7,473727	0,195772	Accroupi	Rouge
Salín_16ter	*6*	0,32069	7,520002	0,034725	Accroupi	Rouge
Salín_17	*7*	0,36661	8,543869	0,405634	Accroupi	Rouge
Salín_18	*7*	7,11608	6,485013	0,768746	Accroupi	Rouge
Salín_19	*8*	8,34487	8,553159	1,038263	Penché	Noir
Salín_19bis	*8*	8,94389	8,661263	0,952011	Accroupi	Noir
Salín_20	*8*	9,94141	8,839832	0,880793	Accroupi	Noir
Salín_20bis	*8*	9,6578	9,466774	0,737686	Accroupi	Noir
Salín_21	*9*	0,39974	9,370688	1,183641	Penché	Rouge
Salín_21bis	*9*	0,37774	8,860687	1,350687	Penché/Debout	Rouge
Salín_22	*10*	5,57173	8,918439	1,853418	Elevé	Rouge
Salín_23	*11*	7,16145	9,514729	0,70134	Accroupi	Rouge
Salín_24	*11*	6,58976	9,393373	0,719268	Accroupi	Rouge
Salín_25	*8*	12,3338	9,494552	0,468226	Accroupi	Rouge
Salín_26	*3*	1,0429	9,661722	1,788519	Debout	Noir
Salín_27	*9*	0,39481	9,256799	0,56614	Accroupi	Noir

Tableau 20. Résultats de l'analyse spatiale des mains négatives de Fuente del Salín (partie 2)

Motif	Visibilité accroupi (individus)	Visibilité debout (individus)	Visibilité couché (individus)	Visibilité totale (individus)	Nombre de mains visibles	Latéralité	Orientation (heures)
Salín_01	4,10	3,81	0,96	8,88	5	Droite	21
Salín_02	4,10	5,19	0,89	10,18	7	Droite	21
Salín_03	3,2639	1,9481	0,85714	6,07	1	Gauche	15

Salín_04	3,4028	2,5162	1,03571	6,95	1	Gauche	15
Salín_05	3,75	3,5714	1,07143	8,39	5	Gauche	14
Salín_06	3,3333	3,8149	3,81494	10,96	2	Droite	23
Salín_07	3,8194	3,6526	1,03571	8,51	5	Droite	20,5
Salín_08	3,8889	2,8409	0,71429	7,44	5	Droite	13
Salín_09	3,1944	4,3019	0,71429	8,21	5	Gauche	15
Salín_12	1,875	1,9481	0,28571	4,11	0	Gauche	14,5
Salín_12bis	2,1528	1,8669	0,21429	4,23	1	Droite	15
Salín_13	2,8472	2,1104	0,25	5,21	1	Gauche	13
Salín_14	1,6667	8,6039	0	10,27	1	Gauche	14,5
Salín_15	1,7361	8,6851	0	10,42	1	Gauche	16
Salín_16	2,6389	4,1396	0,64286	7,42	1	Gauche	13
Salín_16bis	2,7778	4,1396	0,64286	7,56	1	Indét.	Indét.
Salín_16ter	3,125	3,4091	0,71429	7,25	2	Indét.	14,5
Salín_17	5,5556	1,9481	1	8,50	3	Droite	13
Salín_18	5,4167	0,6494	1	7,07	0	Indét.	Indét.
Salín_19	4,7917	0,6494	1,07143	6,51	2	Indét.	22
Salín_19bis	4,7917	0,8117	0,89286	6,50	1	Indét.	Indét.
Salín_20	4,5833	0,3247	0,28571	5,19	0	Droite	12
Salín_20bis	3,8194	0,1623	0,85714	4,84	0	Indét.	22
Salín_21	5,2083	0,8929	2	8,10	3	Gauche	14
Salín_21bis	7,0833	0,5682	2,03571	9,69	4	Indét.	17
Salín_22	4,0278	0,4058	1,17857	5,61	2	Droite	21,5
Salín_23	4,5139	2,1104	1,5	8,12	5	Indét.	12

Salín_24	4,4444	1,2175	1,71429	7,38	5	Indét.	Indét.
Salín_25	5,4167	0,487	1	6,90	1	Indét.	Indét.
Salín_26	2,9861	2,0292	0	5,02	0	Gauche	15
Salín_27	4,375	0,8929	1,5	6,77	4	Indét.	22

5.3.3.2. Analyse au niveau macro-spatial

Dans cette section, je procéderai au détail des résultats obtenus par l'analyse au niveau macro-spatial.

5.3.3.2.1. Accessibilité

Les mains négatives de la Fuente del Salín se distinguent par leur grande accessibilité (Tableau 21, Figure 165). La difficulté d'accès moyenne est proche de zéro et la main la plus difficile à atteindre avec taux de difficulté de 12,33 $\frac{1}{(m/s)}$, ce qui est aussi particulièrement faible. Elles sont aussi situées sur des parois très peu profondes, à 10 mètres en moyenne, c'est-à-dire à côté de l'entrée.

Tableau 21. Données relatives à l'accessibilité des mains négatives de Fuente del Salín.

Accessibilité	Difficulté d'accès $\frac{1}{(m/s)}$	Distance (m)
Moyenne	3,17	9,68
Ecart-type	3,72	2,13
Médiane	0,92	9,47
Minimum	0,24	5,56
Maximum	12,33	12,97

Le point le plus profond de la cavité, quant à lui, est situé à une distance de 83 mètres de l'entrée, avec une difficulté d'accès de 104,40 $\frac{1}{(m/s)}$.

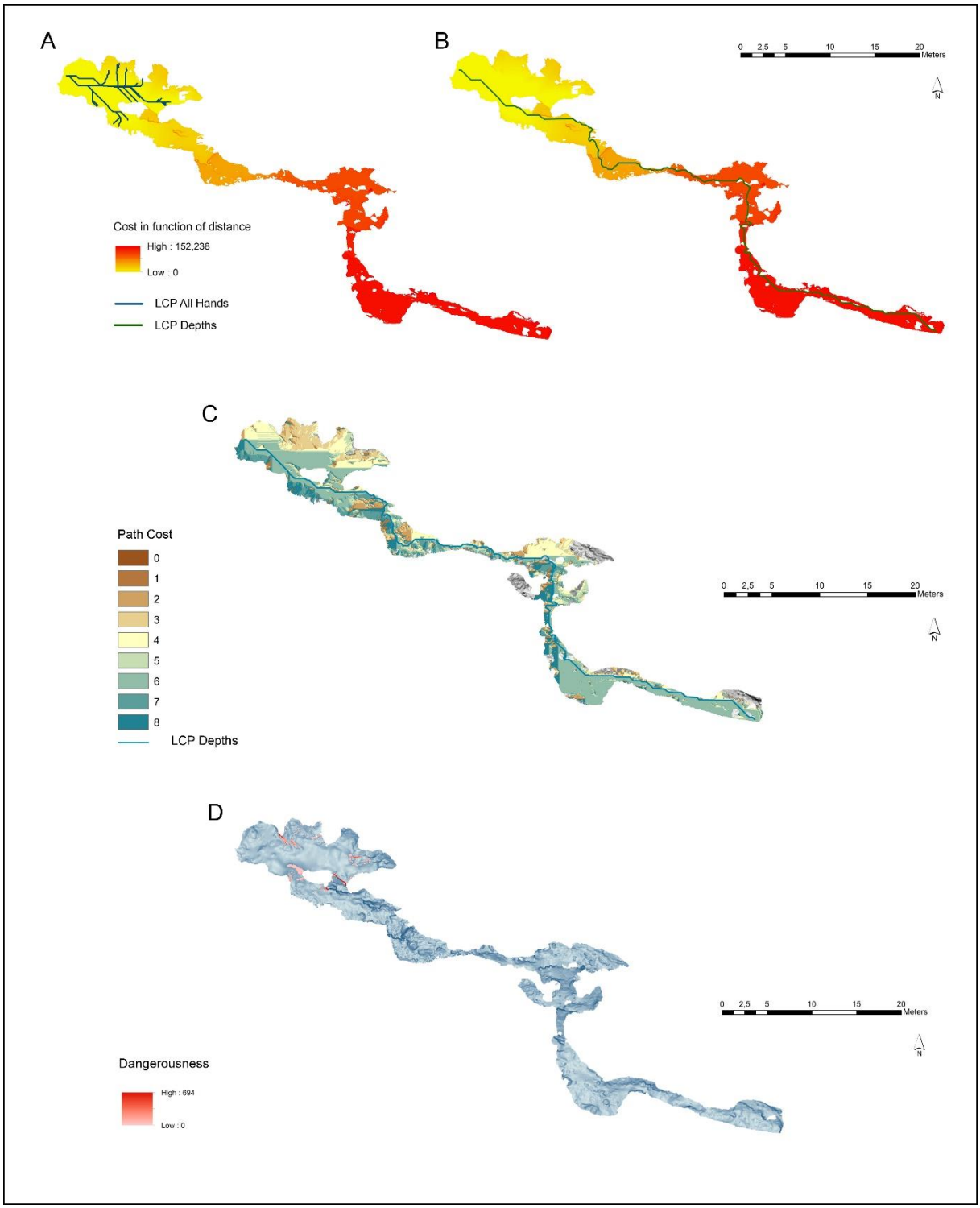


Figure 165. Résultats de l'analyse spatiale concernant l'accessibilité des mains négatives de Fuente del Salín. **A**. Plan illustrant la difficulté d'accès dans la grotte, en fonction de la progression à l'intérieur de la cavité, avec le LCP jusqu'à chaque main négative. **B**. Même plan, avec le LCP jusqu'au fond de la grotte. **C**. Plan montrant les niveaux de difficulté d'accès en fonction de la pente du sol. **D**. Illustration du faible escarpement du sol.

La difficulté d'accès et la profondeur ne semblent pas corrélées à la couleur des motifs (Figure 166).

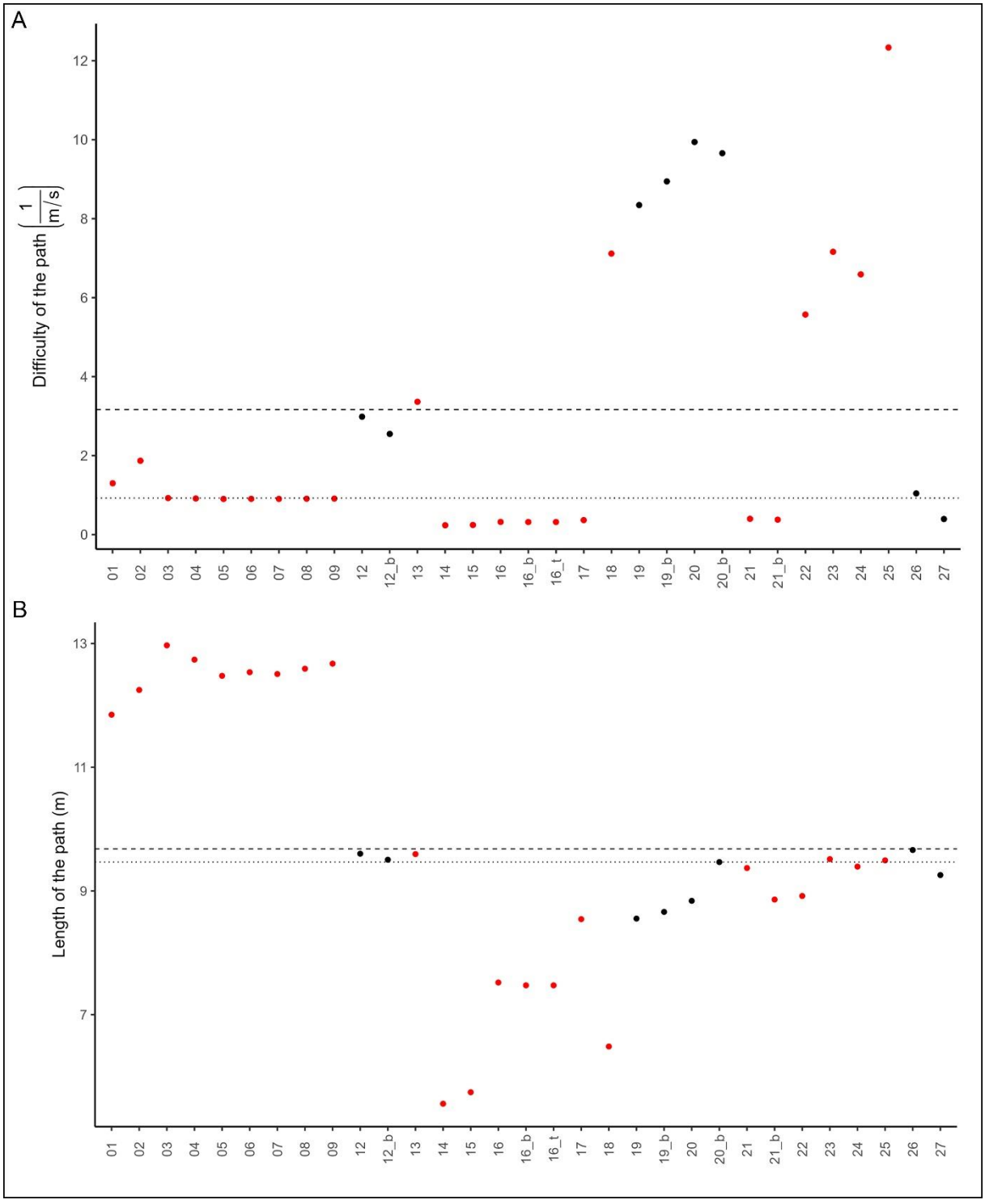


Figure 166. **A**. Valeurs de longueur du chemin depuis l'entrée de la cavité pour toutes les mains de la cavité. **B**. Valeurs en fonction de la difficulté du chemin.

5.3.3.2.2. Visibilité

Pour ce qui est de la visibilité, elle est en général plus faible que celle observée pour les deux grottes antérieures, avec une moyenne de 7,36 (Tableau 22 et Figure 167), et un minimum de 4,11. Il faut noter cependant que l'espace de cette cavité est plus réduit. Il est possible que les valeurs maximales obtenues (proches de 11 assistants) correspondent simplement à la plus grande visibilité que cet espace permet.

Tableau 22. Résultats généraux de visibilité des mains négatives de Fuente del Salín.

Visibilité totale	Nombre d'individus
Moyenne	7,36
Ecart-type	1,83
Médiane	7,38
Minimum	4,11
Maximum	10,96

Les motifs sont concentrés dans un espace restreint, près de l'entrée (Figure 167, A). Le LCP vers le fond de la cavité, quant à lui, ne rencontre pas l'entièreté des mains, comme dans les autres sites (Figure 167, B).

On peut noter également sur l'histogramme qu'il y a davantage d'exemplaires avec une visibilité comprise entre 6 et 9 assistants potentiels (Figure 168, A).

On remarque aussi une disparité entre les couleurs, pour la visibilité : les mains rouges sont en général plus visibles que les mains noires (Figure 168, B).

Enfin, la visibilité des mains ne semble pas conditionnée par la longueur du chemin dans la cavité (qui est par ailleurs faible pour tous les exemplaires, nous l'avons vu) (Figure 167, C).

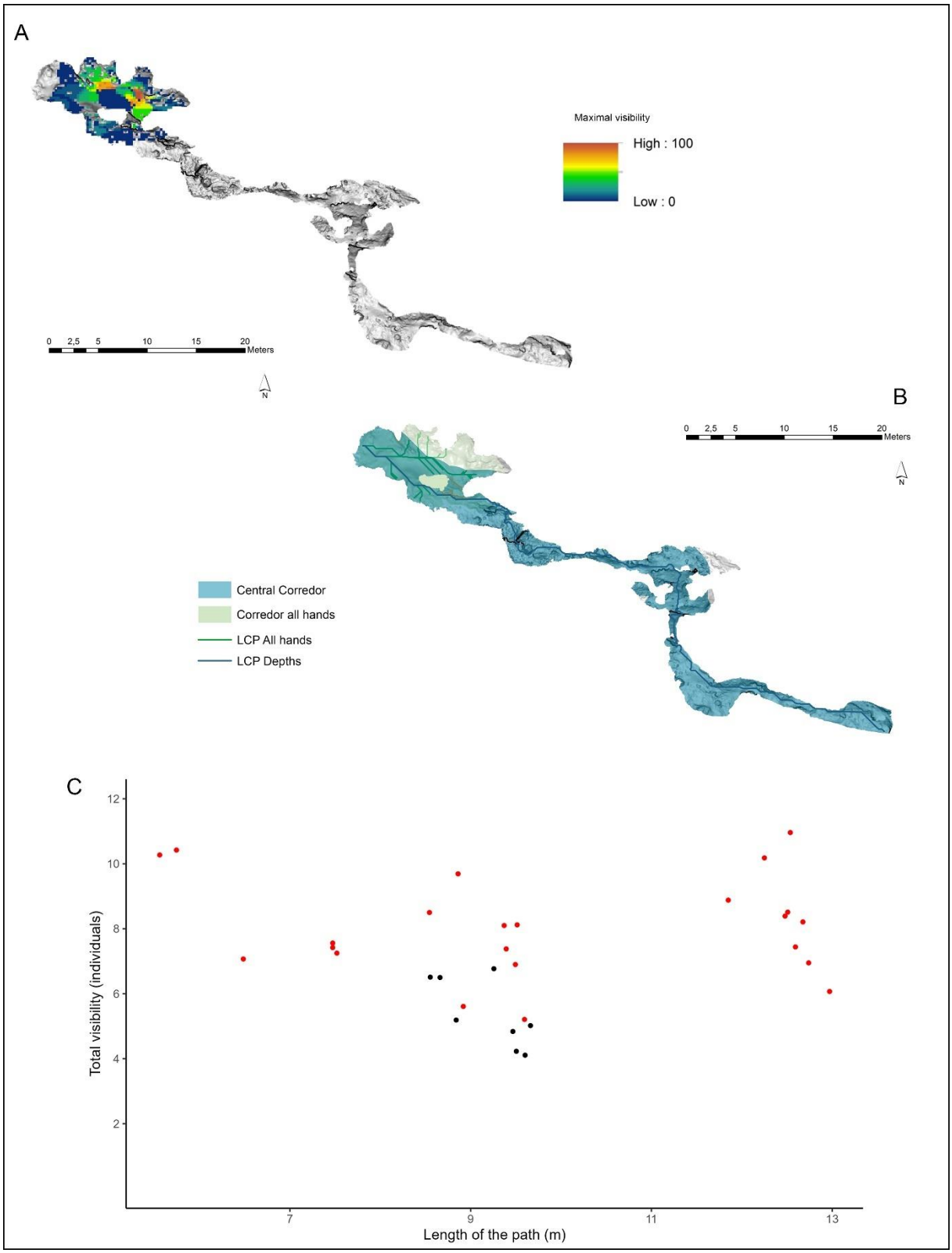


Figure 167. Résultats de l'analyse spatiale concernant la visibilité des mains négatives de Fuente del Salín. **A**. Carte illustrant les principales zones de visibilité en fonction du nombre de mains négatives perceptibles. **B**. Recoupement entre le LCP pour aller au fond de la cavité et les mains négatives de la grotte dans le rayon d'action d'une torche (2,99 m). **C**. Relation entre la visibilité totale et la longueur du chemin.

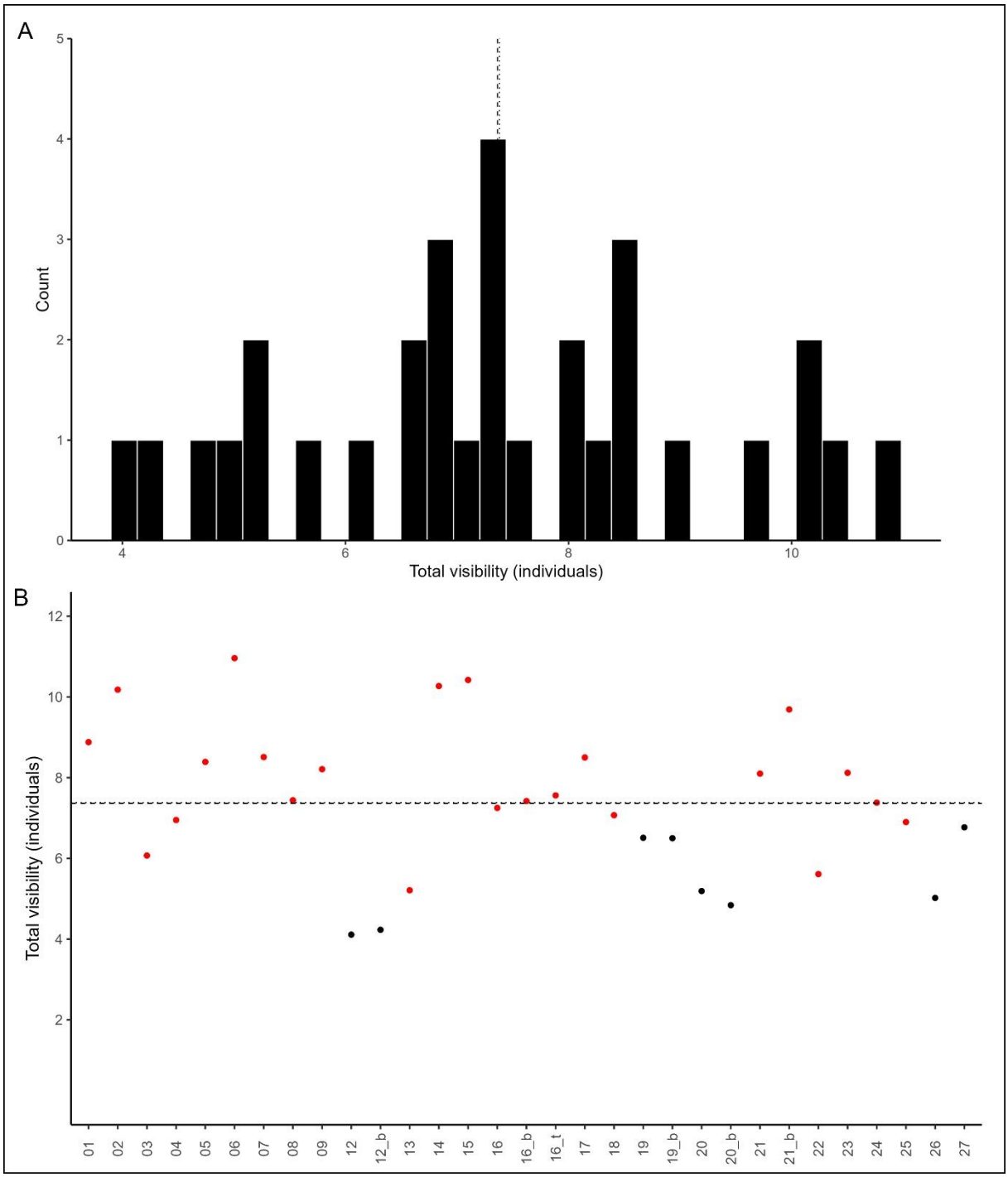


Figure 168. Résultats de l'analyse spatiale concernant la visibilité des mains négatives de Fuente del Salín. **A**. Histogramme de la visibilité totale des mains négatives de Fuente del Salín. **B**. Expression de la visibilité totale de chaque main.

5.3.3.2.3. Intervisibilité

Quant à leur intervisibilité, celle-ci est loin d'être systématique. Les mains situées sur des parois opposées sont certes visibles entre elles (Figure 169), mais l'on n'observe pas un réseau de visibilité, dans le rayon d'action d'une torche pour le moins, qui ferait que depuis un ensemble de mains toutes les autres seraient visibles. Ceci, malgré leur proximité générale.

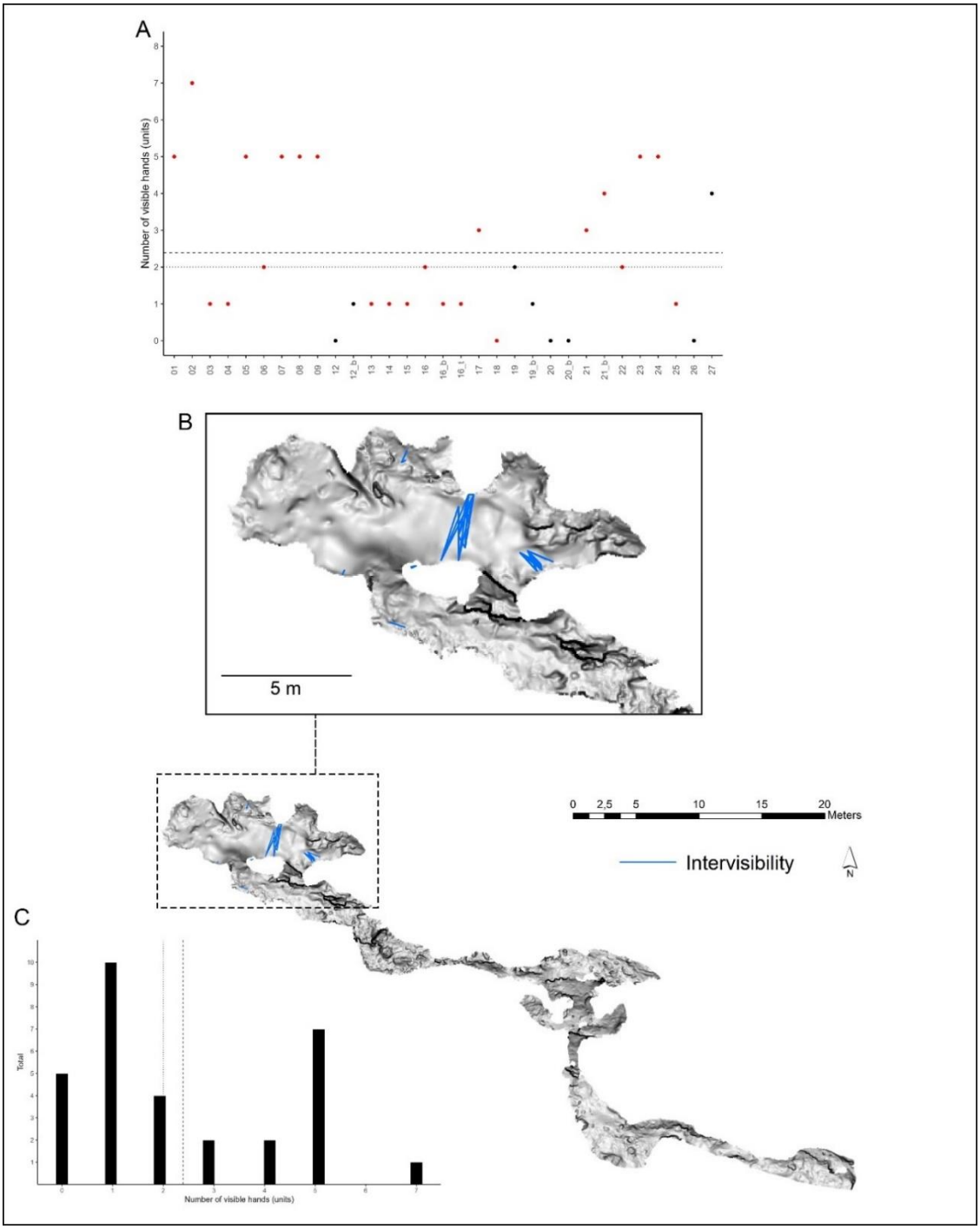


Figure 169. Nombre de mains négatives de Fuente del Salín visibles depuis une main négative en particulier (*y*) pour chaque main négative (*x*). **B.** Visibilité des mains négatives entre elles dans les limites du diamètre d'une torche, selon les données de Medina Alcaide et al. (2021). **C**. Histogramme de la distribution du nombre de mains visibles.

5.3.3.2.4. Latéralité

Sur les 31 mains négatives de la cavité analysées, on compte une majorité de mains gauches (10), pour 8 mains droites et 13 indéterminées (Figure 170). Dans ce cas, la différence proportionnelle est moins forte que dans les deux autres cavités, avec malgré tout aussi une prédominance de mains gauches (si la paume était contre la paroi).

Sur le panneau le plus densément orné, on voit un mélange entre les deux latéralités. C'est également ce qu'on observe dans le reste de la cavité, avec cependant une tendance à la présence de mains gauches dans la partie droite depuis l'entrée, et de mains droites à l'inverse, dans la partie gauche. Toutefois, le grand nombre de mains à la latéralité non-déterminable de permettent pas de tirer de grandes conclusions à ce propos.

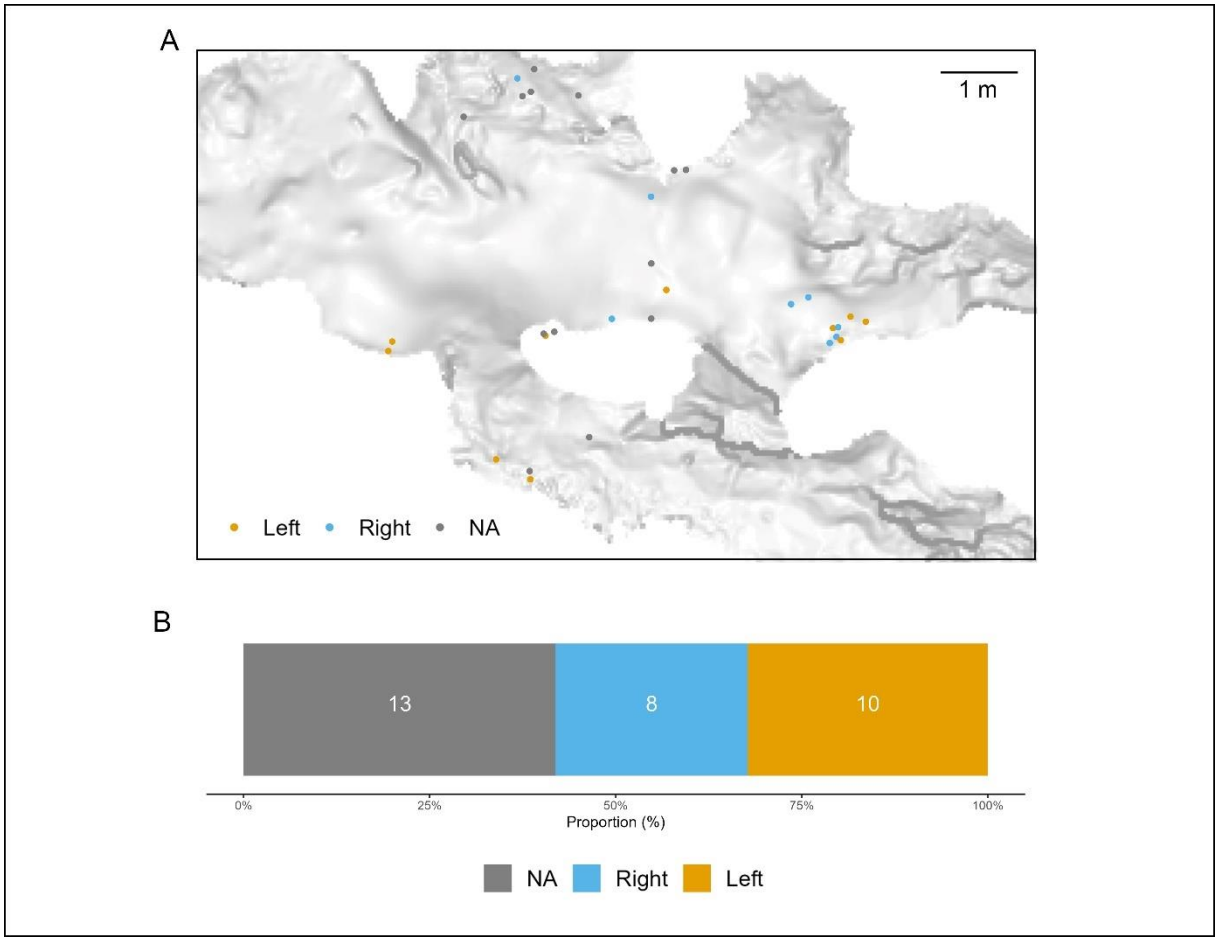


Figure 170. **A**. Répartition de mains gauches, droites et indéterminées sur le plan de la cavité de Fuente del Salín. **B**. Proportion de la latéralité.

5.3.3.2.5. Âge des individus

Les travaux de Fernández-Navarro[75] identifient différentes catégories d'âge pour les mains négatives de la cavité. Bien que la plupart des exemplaires ne permirent pas de détermination à cause de leur état de détérioration avancé, une zone paraît avoir été épargnée par les éléments et se distingue par la présence d'un grand nombre d'exemplaires ayant permis cette catégorisation. On y observe un mélange des groupes (Figure 171), avec une diversité plus grande autour du panneau le plus densément orné.

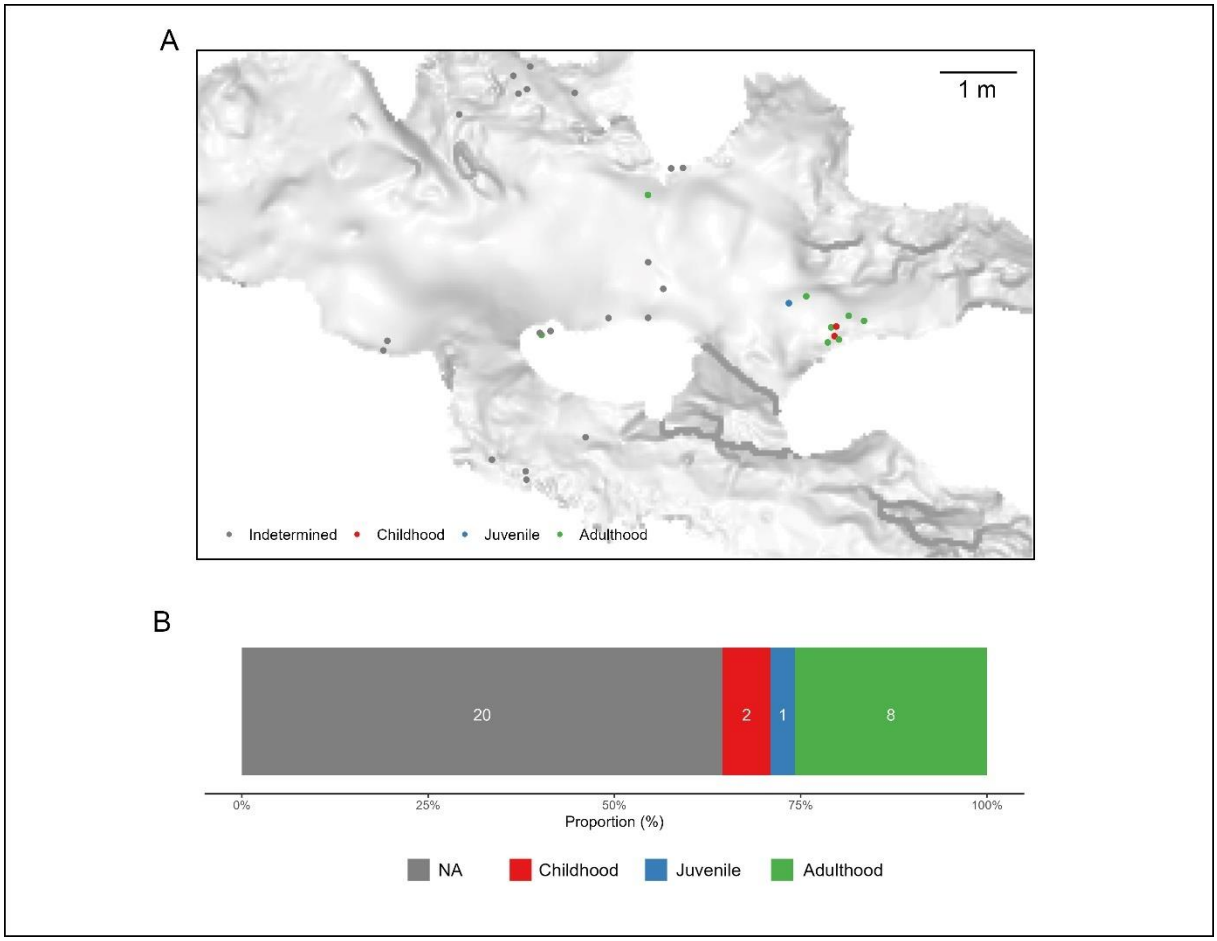


Figure 171. **A**. Dispersion des catégories d'âge de Fuente del Salín sur le plan de la cavité. **B**. Proportion de celles-ci.

[75] Données transmises personnellement en 2024

5.3.3.2.6. Densité

Les mains négatives sont clairement rassemblées dans la partie antérieure de la cavité, proche de l'entrée, au détriment de tout l'espace disponible du reste de la grotte (Figure 172, A). Au-delà de ce groupement général, l'analyse kernel met aussi en évidence une concentration particulière sur une section de paroi rassemblant de nombreuses figures (Figure 172, B).

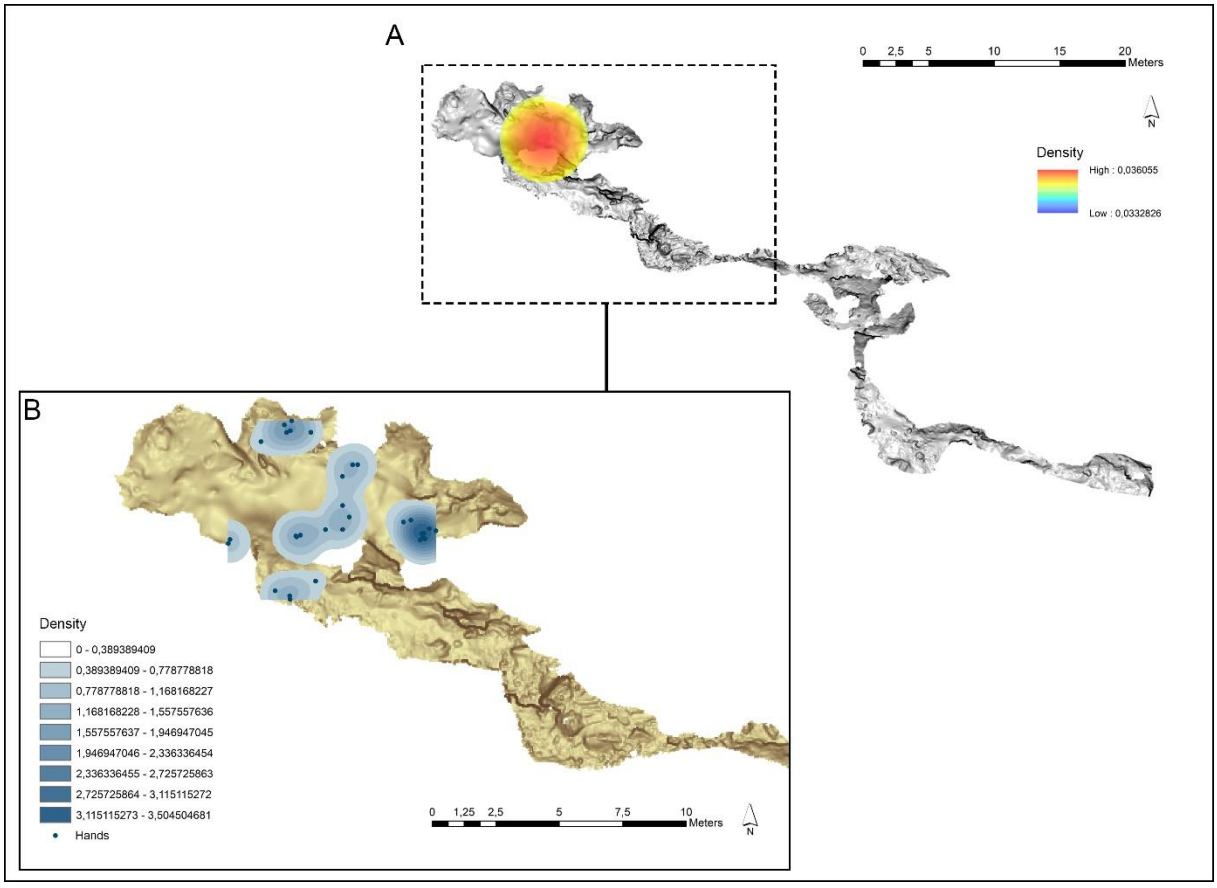


Figure 172. Carte de densité des motifs dans la grotte, montrant la dispersion et le regroupement des mains négatives. **A**. Densité générale sur le plan de la cavité. **B**. Analyse *Kernel*, montrant les sous-groupes de plus grande densité.

5.3.3.2.7. Analyse Factorielle de Correspondance (AFC) et Classification Hiérarchique sur Composantes Principales (CHCP)

5.3.3.2.7.1. Première analyse

La première analyse que nous avons réalisée considère les variables suivantes : la *difficulté du chemin*, la *longueur du chemin*, la *hauteur du motif*, la *visibilité totale*, l'*intervisibilité*, la *latéralité*, la *couleur* et l'*angle d'orientation transformé*. Cette analyse se limite aux cas complets (avec une latéralité déterminée), qui sont au nombre de 18 (sur 31). Elle a donné les résultats suivants (Figure 173).

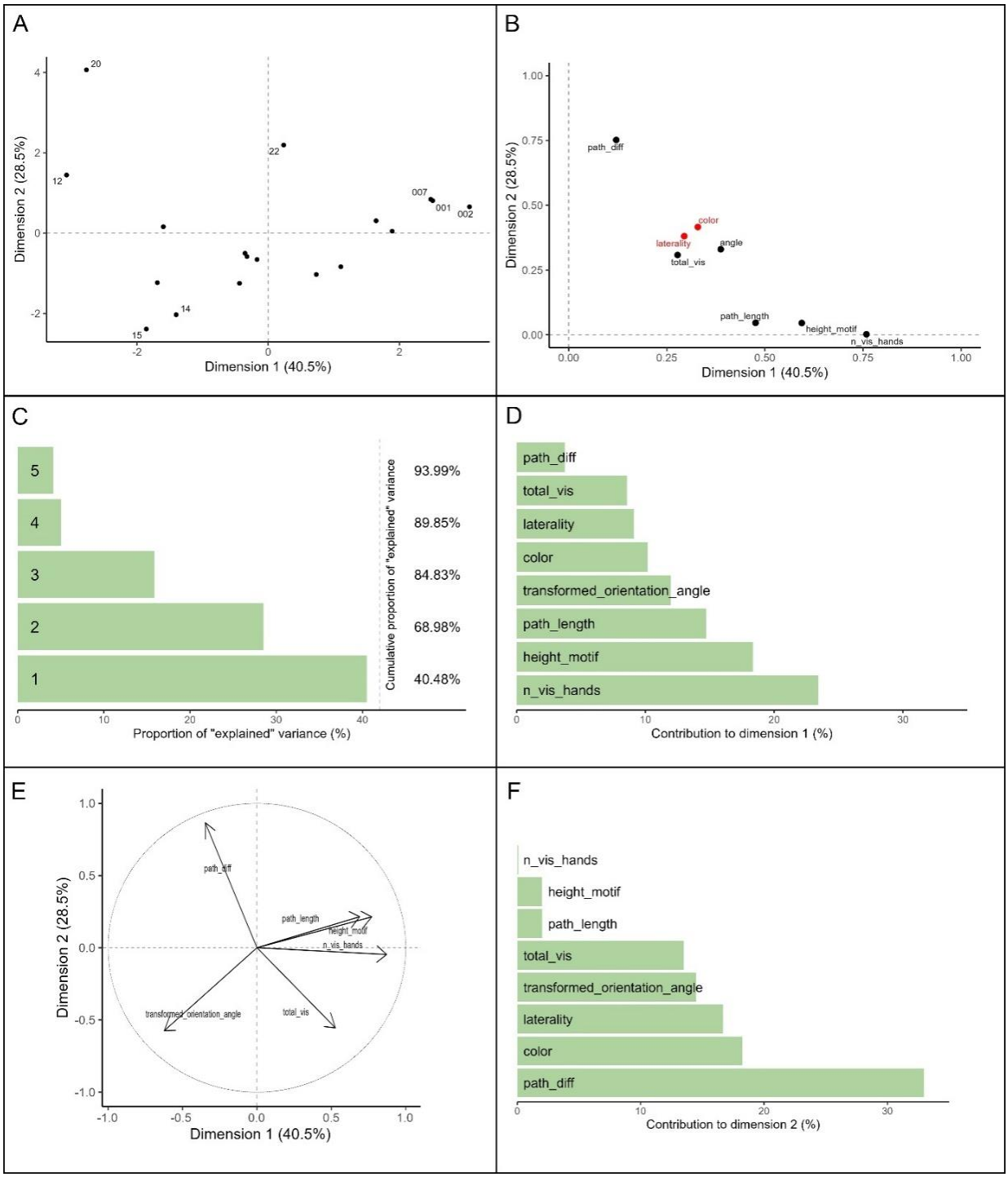


Figure 173. Graphiques de la première *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Salín. **A.** Carte factorielle individuelle **B.** Graphique des variables. **C**. Diagramme d'éboulis. **D**. Graphique des variables quantitatives. **E.** Contribution des variables à la dimension 1. **F.** Contribution des variables à la dimension 2.

La carte factorielle individuelle (Figure 173, A) donne une première impression d'un grand groupe, avec quelques exemplaires épars (12, 20, 22). Sur le graphique des variables (Figure 173, B) et l'illustration de la contribution des variables dans les dimensions 1 (Figure 173, D) et 2 (Figure 173, F), on voit que la difficulté du chemin se distingue par son importance dans la dimension, de même que l'intervisibilité, dans une moindre mesure, dans la dimension 1. Le

graphique des variables quantitatives (Figure 173, E), pour sa part, montre que la visibilité totale est importante dans la dimension 1, que la difficulté du chemin et sa profondeur sont indépendantes et que l'angle d'orientation a également un impact fort. On note aussi que la difficulté fonctionne à l'inverse de la visibilité (au plus les motifs sont difficiles d'accès, au moins ils sont visibles). Enfin, le diagramme d'éboulis (Figure 173, C) met en avant la contribution des trois premières dimensions, qui semblent particulièrement importantes, les deux suivantes étant moins pertinentes.

Malgré l'impression d'un groupe assez homogène (avec quelques exemplaires excentrés) dans la carte factorielle individuelle, les clusters formés par cette première analyse sont au nombre de trois (Figure 174). Le premier est constitué des mains 12 et 20, qui se distinguent clairement par leur couleur (noir) et leur valeur d'intervisibilité nulle (Figure 175, A). La séparation des deux autres groupes est due à la variable de latéralité : les figures du cluster 3 sont toutes des mains droites, qui sont également un peu plus hautes et avec une difficulté d'accès légèrement supérieure à celle des autres figures (Figure 175, B). Les mains du cluster 2, quant à elles, ont toutes une difficulté d'accès similaire, à une exception près, et sont presque toutes des mains gauches.

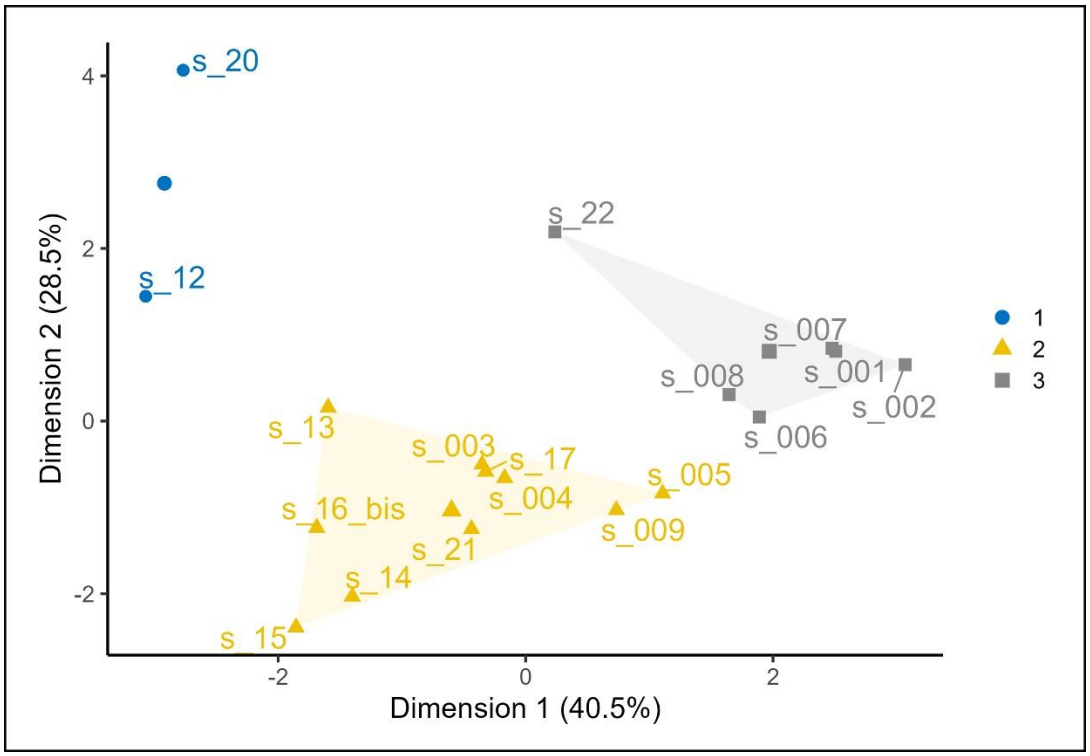


Figure 174. Répartition des clusters de la première *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Salín entre eux.

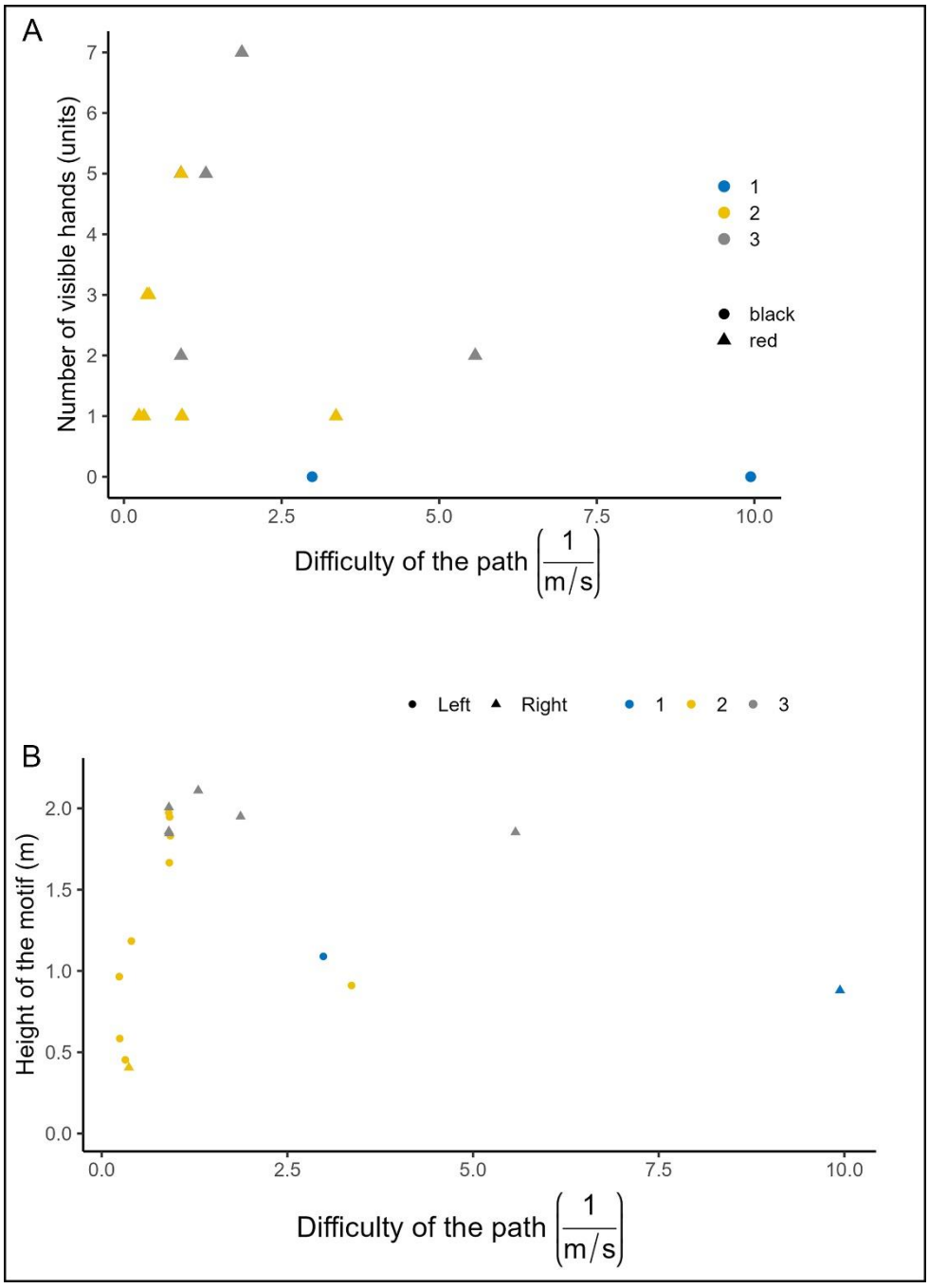


Figure 175. Distribution des clusters de la première *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Salín. **A**. En fonction de l'*intervisibilité*, de la *difficulté du chemin* et des *couleurs*. **B**. En fonction de la *hauteur des motifs*, de la *difficulté du chemin* et des *couleurs*.

5.3.3.2.7.2. Seconde analyse

Face à ces résultats, une seconde analyse a été réalisée, en retirant la latéralité, pour avoir un *corpus* plus large. En excluant cette variable, je travaille cette fois avec 26 mains (sur 31). Les résultats obtenus sont les suivants (Figure 176).

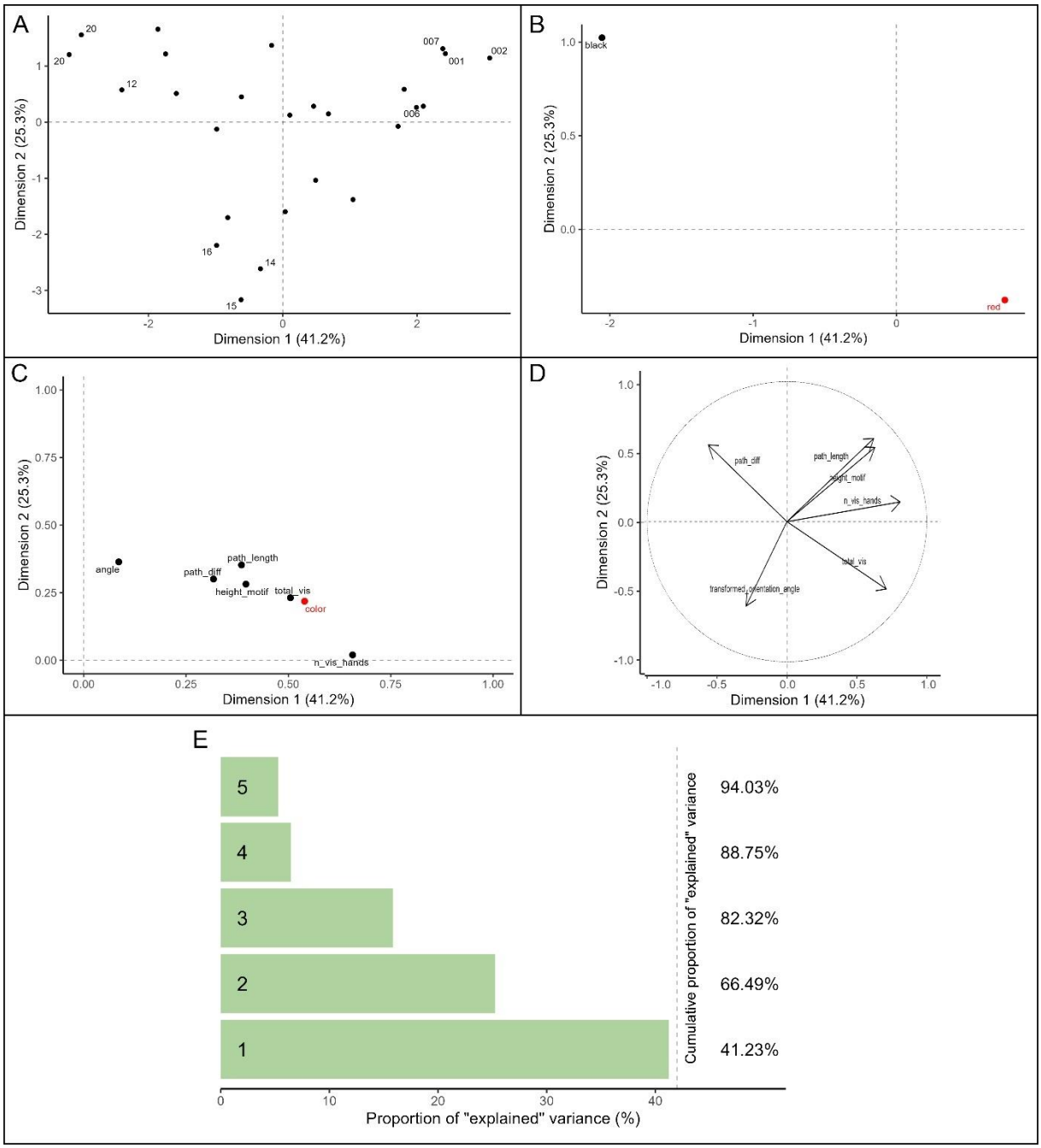


Figure 176. Graphiques de la deuxième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Salín. **A.** Carte factorielle individuelle **B.** Graphique des catégories. **C**. Graphique des variables. **D.** Graphique des variables quantitatives. **E.** Diagramme d'éboulis.

La carte factorielle individuelle de cette seconde analyse (Figure 176, A) est très différente de celle de la première. On voit une homogénéité générale bien plus importante, notamment à cause de l'ajout de nombreuses mains négatives, qui viennent combler les espaces entre les mains auparavant séparées.

Le graphique des catégories (Figure 176, B) montre que les couleurs ont été fort prises en compte, en particulier le noir. Le graphique des variables (Figure 176, C) met en avant un agroupement des variables, avec toutefois une exception pour l'intervisibilité qui se distingue

par son importance dans la dimension 1. Le graphique des variables quantitatives (Figure 176, D) est très similaire à celui de la première analyse, et le diagramme d'éboulis (Figure 176, E) montre un contraste important entre l'importance des trois premières dimensions et celle des deux dernières.

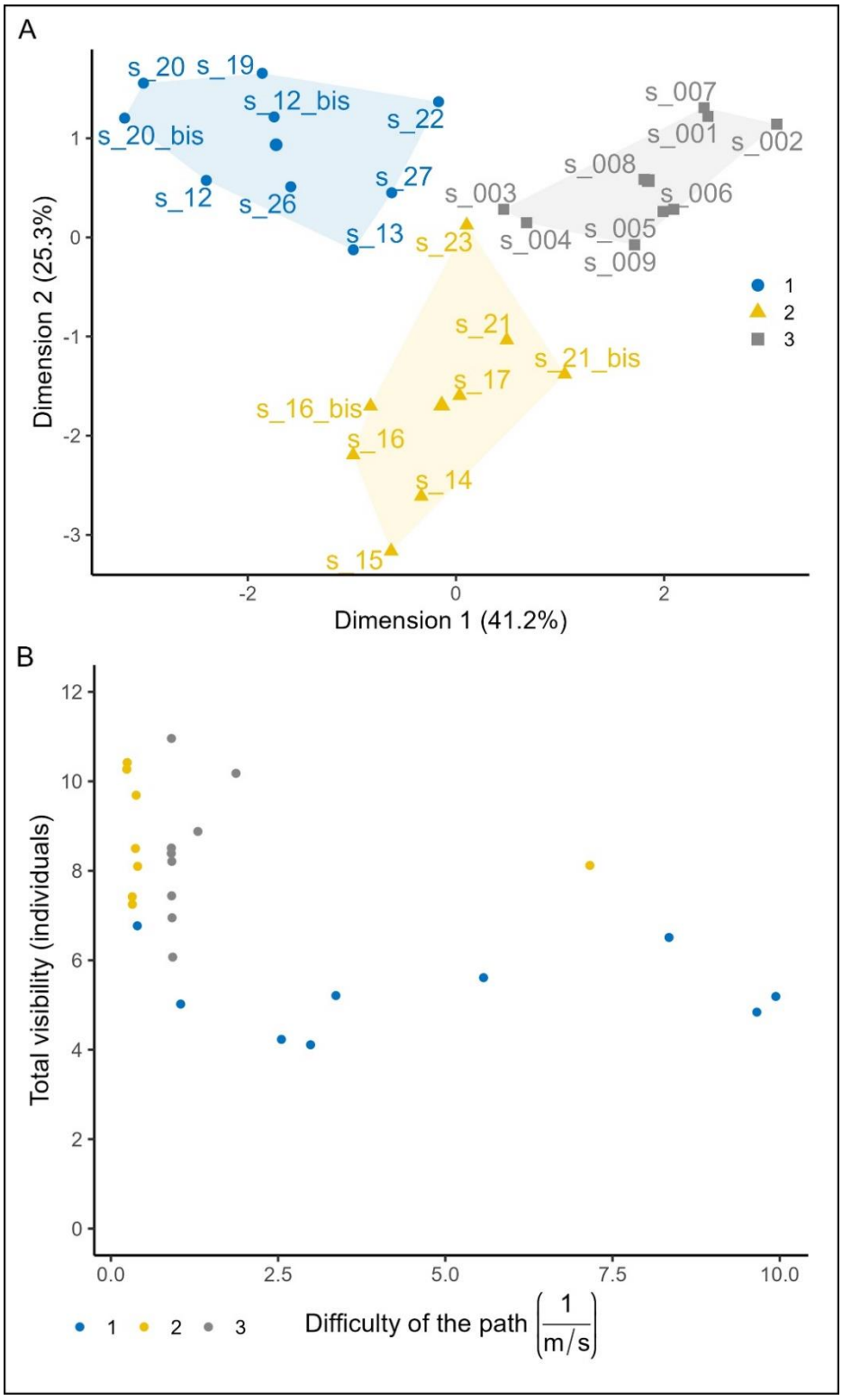


Figure 177. **A**. Distribution des clusters de la deuxième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Salín. **B**. En fonction de la visibilité totale et de la difficulté du chemin.

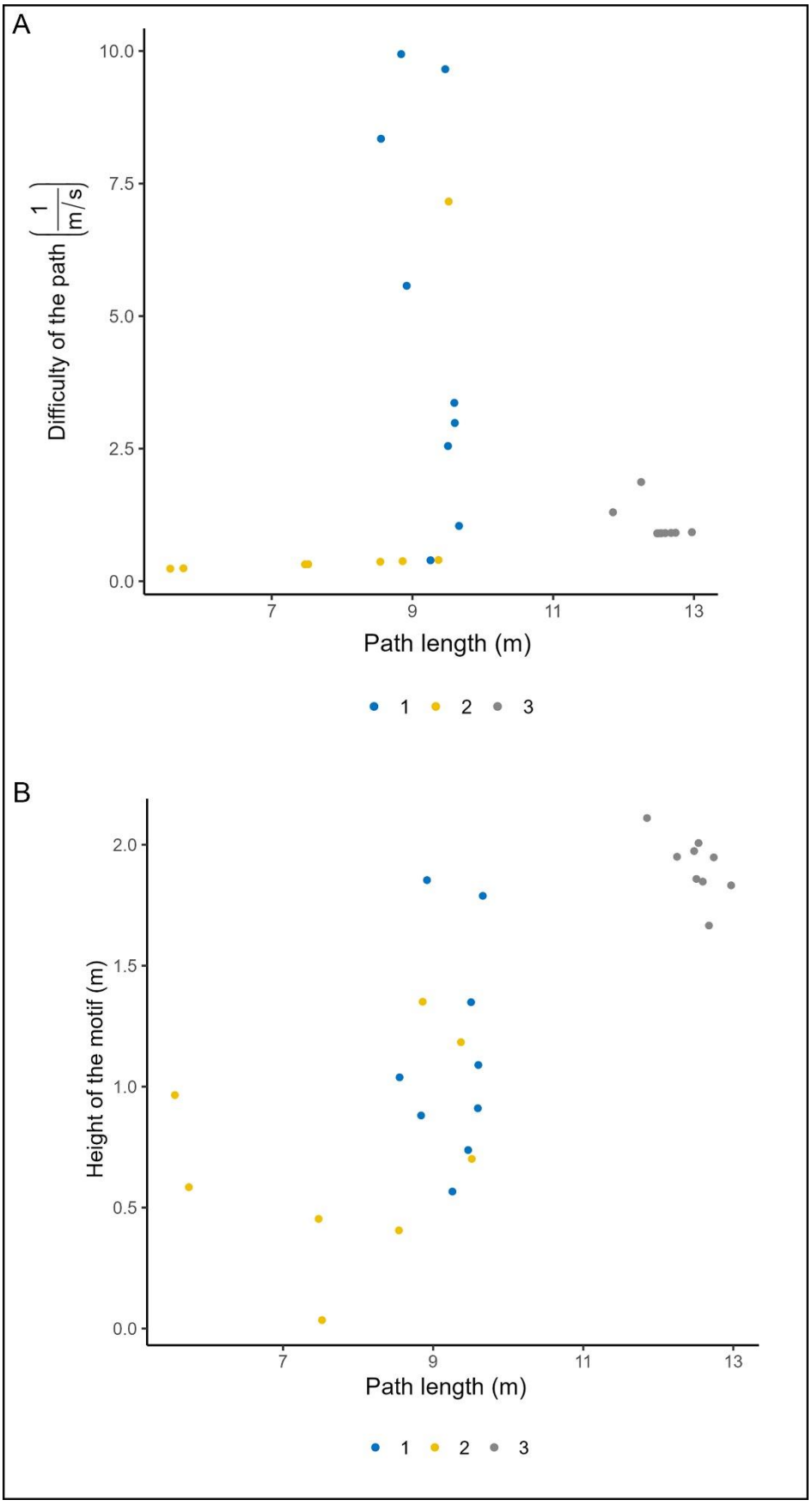


Figure 178. Distribution des clusters de la deuxième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Salín **A**. En fonction de la difficulté du chemin et de sa longueur. **B**. En fonction de la hauteur des motifs et de la longueur du chemin.

Cette seconde analyse présente également trois clusters, assez similaires à ceux de la première (Figure 177, A). Au cluster 1 sont venues s'ajouter deux mains noires, ainsi que les mains rouges 13 et 22 partageant avec les autres motifs de ce groupe leur longueur de chemin (Figure 178, A et Figure 179) et une visibilité relativement faible, entre 4 et 7 individus (Figure 177, B). Les mains de ce cluster sont assez réparties dans la cavité (Figure 179).

Le cluster 2 est caractérisé par des mains rouges avec une visibilité totale plus grande que le groupe précédent (Figure 177, B).

Enfin, le cluster 3 rassemble des mains rouges bien groupées dans l'espace (Figure 179), partageant une longueur du chemin, une visibilité et une hauteur particulièrement marquées (Figure 177, B et Figure 178, B), alliées à une faible difficulté d'accès (Figure 178, A).

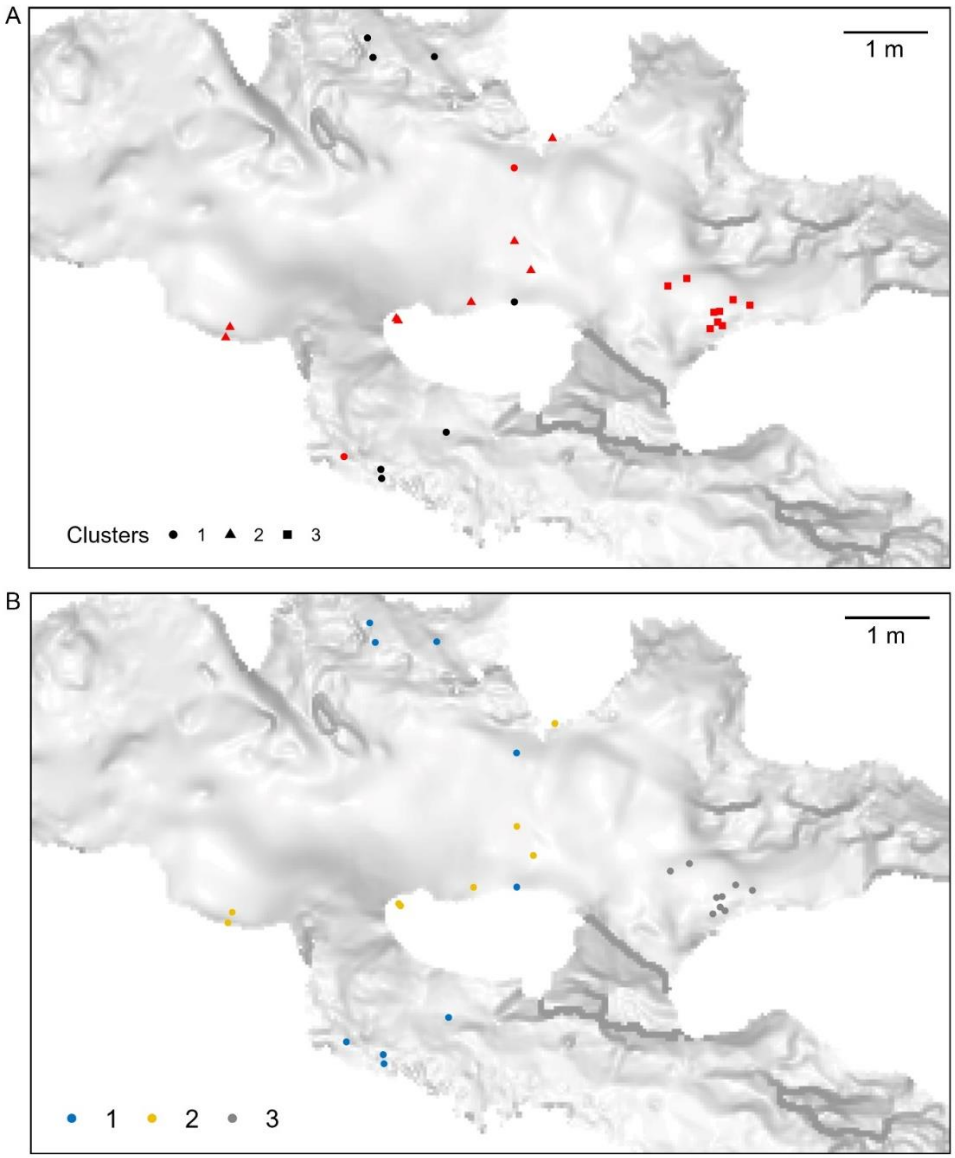


Figure 179. Distribution des clusters de la deuxième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Salín selon leurs coordonnées en x et y. **A**. Avec illustration des couleurs des mains paléolithiques. **B**. Avec utilisation des couleurs pour représenter les clusters.

5.3.3.3. Analyse au niveau micro-spatial

Voyons à présent les résultats de l'analyse des mains négatives de Fuente del Salín au niveau micro-spatial.

5.3.3.3.1. Position de l'artiste

Comme dans les autres cavités étudiées, la position de l'exécutant est assez variée à Fuente del Salín, avec cependant une majorité de mains effectuées *accroupi* et *élevé*, c'est-à-dire des positions plus incommodes (Figure 180).

On retrouve donc une situation similaire aux deux autres cavités, où il semble que le choix de la hauteur du motif, et donc de la position de celui qui pose sa main sur la paroi, est subordonné au choix des parois elles-mêmes, pour des raisons qui nous sont encore inconnues.

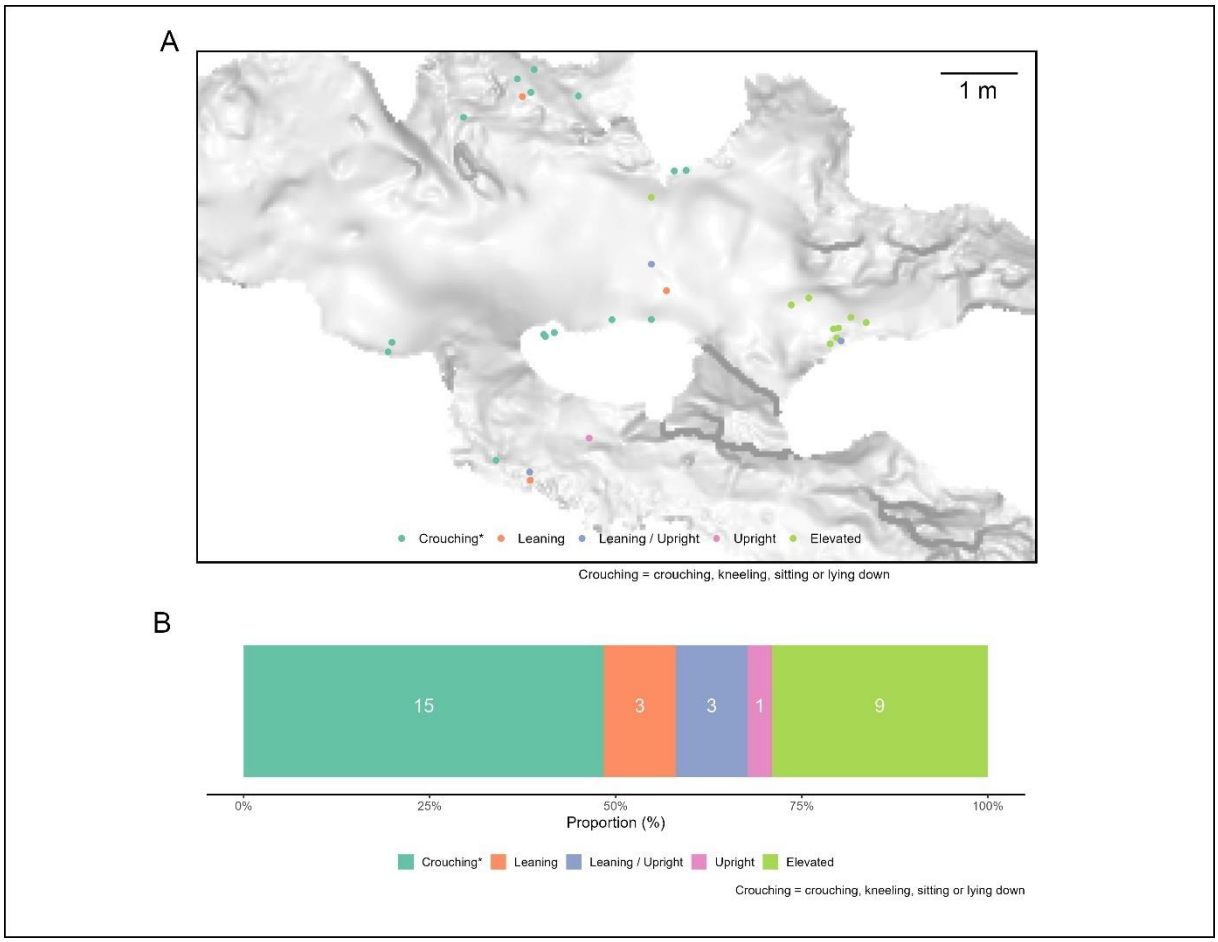


Figure 180. **A**. Dispersion des positions de l'exécutant des mains négatives de Fuente del Salín sur le plan de la cavité. **B**. Proportion de celles-ci.

5.3.3.3.2. Orientation

Enfin, la grande majorité des mains dont la latéralité a pu être attribuée se situe dans le spectre des positions naturelles, logiques par rapport à l'orientation du corps, dans ce cas entre 20h30 et 13h00 pour les mains gauches et entre 13h00 et 16h00 pour les mains droites (Figure 181).

On peut observer également pour toutes les mains dont l'orientation a pu être déterminée (26/31), une tendance davantage oblique que verticale : aucune main n'a été positionnée à 12h00.

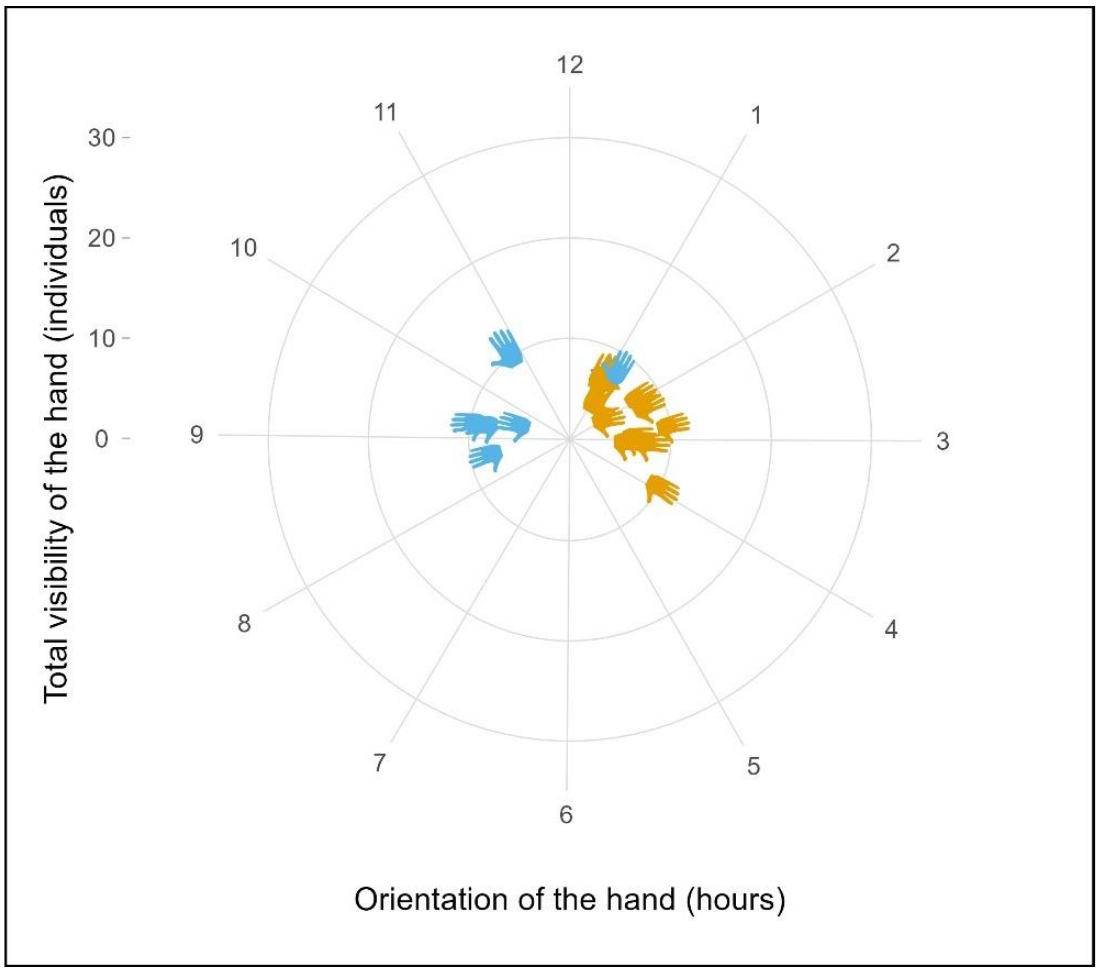


Figure 181. Orientation de toutes les mains négatives avec latéralité déterminable de Fuente del Salín en fonction de leur hauteur et de leur couleur.



DISCUSSION

6. Discussion

Pour procéder à l'approfondissement des résultats obtenus en termes d'interprétation, cette section de discussion sera séquencée de la façon suivante : j'effectuerai tout d'abord un rappel de la qualité des données disponibles pour chaque cavité, suivi par une brève évaluation de la pertinence de la méthode utilisée. Je passerai ensuite à une synthèse des résultats communs aux trois cavités, me permettant d'aborder l'hypothèse du caractère public du motif de la main négative. Les différentes dynamiques spatiales rencontrées lors de l'analyse des trois cavités seront ensuite approfondies, avec d'abord la question d'un espace de visibilité centrale, ensuite certains exemples singuliers et enfin la question des marqueurs topographiques. La spécificité des mains négatives, en comparaison avec les autres types de motifs en présence (animaux et signes) sera alors abordée, suivie par la conjecture d'une diachronie des motifs de mains entre eux. Je terminerai cette section, enfin, par la suggestion de réseaux culturels en lien avec les mains négatives aux doigts manquants. Tout au long de cette discussion, j'aborderai aussi ponctuellement l'adéquation des théories interprétatives préexistantes, présentées dans la section 2.1.4, aux résultats obtenus.

6.1. Qualité des données et pertinence de la méthode

Il est important de rappeler, avant de procéder à l'analyse critique des résultats, que les informations auxquelles j'ai eu accès, pour l'étude des trois cavités, sont inégales. Les reconstructions effectuées, et dès lors les résultats obtenus, sont donc à considérer à la lumière des sources disponibles (Tableau 23).

Tableau 23. Résumé des sources disponibles pour le travail d'analyse spatiale des trois cavités.

Information disponible	*El Castillo*	*Fuente del Trucho*	*Fuente del Salín*
Géomorphologie	Etude géomorphologique sans datations et changements majeurs dans la forme de la cavité	Pas d'étude géomorphologique	Pas d'étude géomorphologique

Contexte archéologique	Large contexte archéologique documenté dans le porche d'entrée, pas d'information pour l'intérieur de la cavité	Contexte archéologique bien documenté au pied des peintures	Contexte archéologique extérieur complexe et contexte intérieur en position secondaire et peu documenté
Sources historiques	Photographies anciennes	Pas de sources	Pas de sources
Récollection de données *in situ*	Accès au terrain	Pas d'accès au terrain au-delà d'une visite de reconnaissance	Pas d'accès au terrain au-delà d'une visite de reconnaissance
Sources géomatiques disponibles ou recueillies	- Modèle 3D sans texture de toute la cavité - Photogrammétrie du *Plafond des Mains* de haute qualité - Modèle LiDAR de l'entièreté des mains	- Modèle 3D texturisé de basse qualité de la zone ornée - Orthophotographies de plus haute qualité de l'entièreté du plafond de la cavité.	- Modèle 3D sans texture (avec des zones très segmentaires) d'une partie de la cavité - Modèle 3D texturisé de basse qualité de la zone ornée

Ainsi, la grotte d'El Castillo, pour laquelle j'ai pu effectuer un travail de terrain approfondi et qui offrait une documentation d'archives, m'a permis un niveau de détail dans la reconstruction qui n'a pas été possible dans les autres cavités. Cependant, c'est aussi celle qui a subi le plus de modifications anthropiques, dues à sa découverte précoce et son ouverture au tourisme, ainsi que de changements géomorphologiques, car il s'agit d'un réseau actif.

Fuente del Trucho, quant à elle, possède l'avantage de présenter un plafond presque entièrement orné, qui est rassurant quant à l'évolution de celui-ci depuis sa décoration (puisque la présence des motifs, constituant un *terminus ante quem* pour le plafond orné, atteste de sa forme inchangée). Elle a été épargnée par les modifications anthropiques d'aménagement touristique, mais le caractère mélangé des couches archéologiques de l'intérieur de la cavité reste une source

de frustration quant à l'estimation du niveau du sol, à propos duquel aucune couche stalagmitique ne fut cependant mentionnée lors des fouilles effectuées.

Pour Fuente del Salín, enfin, si un travail d'analyse géomorphologique, à venir, sera utile pour compléter ces sources, notamment à propos de l'effondrement du porche d'entrée, il faut aussi noter que l'absence de modifications anthropiques à des fins touristiques grâce à sa découverte récente et son accès difficile lui donne un avantage à ce niveau-là. De plus, cette cavité offre l'avantage de posséder un gisement archéologique intérieur qui fut précieux lors de l'estimation du niveau de sol, et qui n'indique *a priori* pas de croissance stalagmitique majeure dans la zone décorée.

Dans ces deux dernières cavités, il faut donc observer que le manque d'étude est partiellement pallié par une majeure stabilité géomorphologique.

Malgré ce degré d'incertitude variable, la méthode utilisée pour ce travail offre l'avantage de pouvoir modifier et réitérer les analyses en changeant des données ponctuelles, dans le cas où, par exemple, d'autres éléments viendraient enrichir nos connaissances sur l'évolution du contexte spatial des sites. De la même manière, la réalisation, dans les années à venir, de nouvelles expérimentations ou la découverte de données archéologiques encore inconnues[76] pourront être incluses ou modifiées dans l'analyse, en changeant simplement les données numériques considérées. En quelques mots, et comme cela a déjà été évoqué, l'analyse est transparente, vérifiable et reproductible.

Pour évaluer la pertinence des résultats et du processus d'analyse, j'ai procédé à son application au *Plafond des Mains* de la grotte d'El Castillo sous deux formes. Tout d'abord en utilisant le modèle 3D non modifié avec sa morphologie actuelle (avec escaliers, sol transformé, etc.). Ensuite, en utilisant le modèle avec la reconstruction de son état paléolithique, pour voir l'impact de celle-ci sur l'analyse spatiale. Les résultats confirment la pertinence du processus de reconstruction en montrant une différence significative dans le nombre estimé d'assistants (Figure 182) : ceux qui ont une visibilité entre 66 et 100% de l'ensemble du panneau décoré sont estimés à un maximum de 15 au Paléolithique, alors que dans l'analyse avec le modèle 3D dans son état actuel, ils ne sont que 11 (soit 26,66% de moins), à cause des barrières, des escaliers et d'autres modifications spatiales qui restreignent la visibilité.

[76] Par exemple, la découverte de nouvelles mains, ou des changements sur l'estimation de l'accessibilité, de portée de la lumière, de la position de l'exécutant ou encore de l'espace d'occupation d'un être humain.

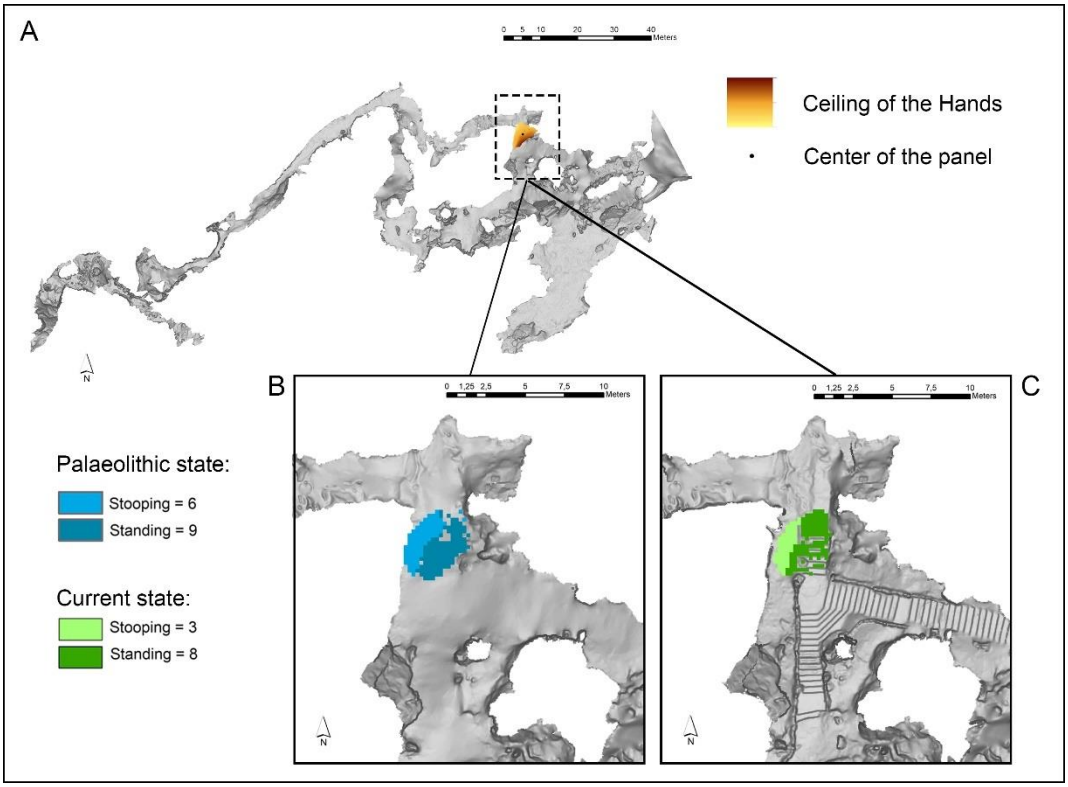


Figure 182. Comparaison de l'étude spatiale du *Plafond des Mains* avec et sans prise en compte de la reconstruction de l'espace. **A**. Carte de la cavité où est mis en évidence le *Plafond des Mains*. **B**. Visibilité du panneau (entre 66 et 100%) en fonction du sol reconstitué (période paléolithique). Il permet un visionnage par 15 personnes. **C**. Visibilité du panneau (entre 66 et 100%) basée sur le sol actuel (11 personnes).

Cela permet de conclure que cette méthode d'analyse, qui nécessite beaucoup de travail préalable et de réflexion critique, donne des résultats qui ne pourraient pas être obtenus avec les méthodes traditionnelles d'analyse spatiale. Avec les moyens dont nous disposons aujourd'hui, il me semble que nous ne pouvons plus nous contenter d'*estimer* comment étaient les espaces et de les décrire pour en tirer des conclusions, comme le notait déjà Sauvet (1993). Ainsi, dans une perspective transdisciplinaire, nous avons la possibilité d'utiliser les méthodes innovantes actuelles qui nous permettent d'aller plus loin dans la compréhension de ces sociétés.

6.2. Un motif public

Je l'ai dit, l'objectif de ce travail n'est pas l'édification de grandes théories générales sur l'organisation spatiale des mains négatives dans tout l'art paléolithique.

Ceci, car le *corpus* étudié ici, de trois cavités (avec cependant 167 motifs au total) ne le permet pas[77]. Néanmoins, les résultats obtenus permettent de procéder à la recherche de pistes de

[77] De plus, les tentatives généralisantes dans l'histoire de la discipline se sont trouvées fréquemment mises à mal par la complexité des données, ce qui doit en réalité être attendu, face à un territoire si large et 25.000 ans d'histoire.

développement pour des travaux futurs et à potentiellement pouvoir écarter certaines hypothèses sur le sujet. Pour ce faire, j'effectuerai ici une comparaison des résultats de l'analyse spatiale des trois grottes.

Dans l'ensemble, les résultats de l'étude spatiale d'El Castillo, Fuente del Trucho et Fuente del Salín peuvent être résumés comme suit (Tableau 24).

Tableau 24. Résumé des résultats de l'analyse spatiale des trois cavités.

	Résultats de l'analyse	*El Castillo*	*Fuente del Trucho*	*Fuente del Salín*
Macro	**Accessibilité**	Très accessible dans l'ensemble, avec quelques exceptions	Très accessible	Très accessible
	Dangerosité	Les mains ne sont pas situées dans des zones potentiellement dangereuses	Les mains ne sont pas situées dans des zones potentiellement dangereuses, mais il faut noter que la cavité n'en contient pas	Les mains ne sont pas situées dans des zones potentiellement dangereuses
	Visibilité	Très visible dans l'ensemble, avec quelques exceptions	Très visible	Très visible dans l'ensemble, mais dans un espace moins grand et avec quelques exceptions
	Intervisibilité	Un espace se démarque : particulièrement forte au niveau du *Plafond des Mains*	Un espace se démarque : particulièrement forte dans la zone du fond de la cavité	Un espace se démarque : particulièrement forte autour du foyer

Postuler la présence d'un système unique pour expliquer un phénomène aussi étendu serait donc sans doute bien simplificateur.

	Latéralité[78]	Mélange indépendant de l'emplacement avec majorité de mains gauches	Mélange indépendant de l'emplacement avec majorité de mains gauches	Mélange indépendant de l'emplacement avec majorité de mains gauches
	Âge des individus	Mélange indépendant de l'emplacement avec majorité de mains d'adultes	Mélange indépendant de l'emplacement avec majorité de mains d'adolescents et un grand nombre de mains d'enfants et d'adultes	Mélange indépendant de l'emplacement avec majorité de mains d'adultes
	Densité	Rassemblées dans un secteur délimité de la grotte, avec une zone de densité intense	Rassemblées dans un secteur délimité de la cavité (fond de l'abri), avec une zone de densité intense	Rassemblées dans un secteur délimité de la grotte (seulement proches de l'entrée) avec une zone de densité intense
Micro	**Position de l'artiste**	Mélange de toutes les positions	Mélange de toutes les positions	Mélange de toutes les positions
	Orientation	Positions commodes avec quelques exceptions	Positions commodes avec quelques exceptions	Positions commodes

Ces résultats permettent de réfuter l'hypothèse (vi) (pour ces trois cavités uniquement) :

(vi) L'âge, la latéralité ou l'état de complétude des doigts sont des facteurs qui peuvent induire une répartition différentielle des mains négatives.

[78] Il n'y a pas de différences significatives en matière de latéralité entre les grottes : El Castillo : mains gauches = 53/69 (76,8 %), Fuente del Trucho : mains gauches = 33/50 (66 %) et Fuente del Salín : mains gauches = 10/18 (55 %). Le test du khi carré (χ^2-Test) ne révèle aucune différence significative : $\chi^2 = 3{,}6986$, df = 2, p-value = 0,1573. Il n'y en a pas non plus si l'on combine les mains d'El Castillo et celles de Fuente del Salín pour les comparer à celles de Fuente del Trucho (qui ont des combinaisons de doigts différentes) : $\chi^2 = 0{,}35455$, df = 1, p-value = 0,5515.

Les données de latéralité, de position de l'artiste et des groupes d'âge en présence sont illustrées comme suit (Figure 183).

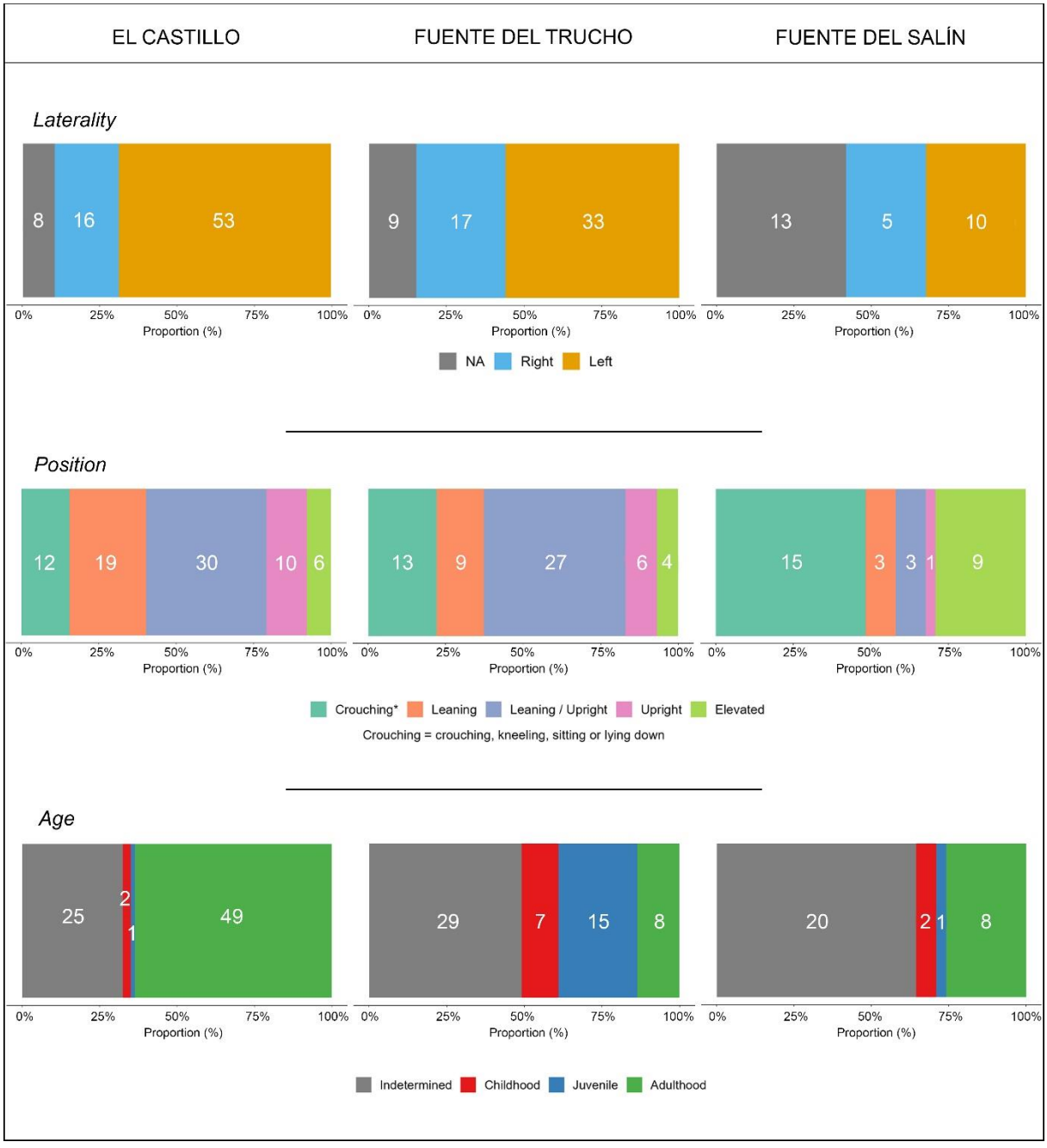


Figure 183. Comparaison des variables de latéralité, de position et d'âge de l'exécutant d'El Castillo, Fuente del Trucho et de Fuente del Salín.

Ces données me permettent de dégager des généralités par rapport au phénomène des mains négatives, ainsi que d'évaluer certaines hypothèses interprétatives des auteurs précédents, présentées dans la section 2.1.4.

Dans l'ensemble, j'observe que les mains négatives sont faciles d'accès, dans les trois cavités, à l'exception de trois exemplaires à El Castillo (deux après le passage rétréci dans la *Galerie des Mains* et l'exemplaire excentré de la *Galerie des Disques*). Ces exceptions ne présentent cependant pas de résultats d'accessibilité très élevés, en comparaison avec d'autres figures de la cavité, comme le cheval gravé du *Tréfonds* (voir section 6.4).

Toutes les mains négatives sans exception sont situées dans des zones qui ne sont pas dangereuses, sans à-pics ou nécessitant une escalade. Ce fait contraste avec l'observation réalisée par Clottes *et al.* (2005) pour la grotte de Cosquer, avec des exemplaires au-dessus du puits aujourd'hui ennoyé, impliquant un potentiel danger lors de sa réalisation.

Pour ce qui est de la visibilité, les trois grottes se rejoignent avec une tendance générale de grande visibilité des motifs, avec cependant une variation imputable aux dimensions des salles (comme à Fuente del Salín, aux galeries plus restreintes). Le minimum de visibilité simultanée est de 5 individus pour El Castillo, 11 pour Fuente del Trucho et 4 pour Fuente del Salín.

Par rapport aux généralités sur l'organisation des mains négatives, comme l'affirmation, avancée par Djindjian (2015), selon laquelle ces motifs seraient situés seulement près de l'entrée, force est de constater que l'exemple seul d'El Castillo vient la contredire, tous ses exemplaires étant situées dans des zones profondes, dans l'obscurité totale (entre 47 m et 167 m depuis l'entrée).

Cette homogénéité en termes d'accessibilité des mains négatives, ainsi que leur grande visibilité générale, qui n'est pas un fait systématique de l'art pariétal paléolithique, nous l'avons vu, mais le résultat d'un choix culturel de la part de ses auteurs, me semble particulièrement intéressante. Cela me permet d'aborder la question de la distinction qui a été proposée par un certain nombre d'auteurs entre espaces « publics » et « privés » (Laming-Emperaire, 1962; Sauvet & Sauvet, 1979; Raphaël, 1986; Vialou, 1986, 2009; Bradley, 1991, 1995; Foucher, 1991; de Beaune, 1995; Clottes, 1997; Baffier & Girard, 1998; Gamble, 1998; Lorblanchet, 2001; Lewis-Williams, 2002; Bahn, 2003; Villeneuve & Hayden, 2007; Utrilla & Martínez-Bea, 2008; Villeneuve, 2008; Garate, 2010; Pastoors & Weniger, 2011; Groenen, 2016, 2017; Ochoa Fraile, 2016; Bourdier et al., 2017; Ochoa & García-Diez, 2018; Jouteau, 2021; Intxaurbe et al., 2024).

On peut ici proposer une différence entre plusieurs cas de figure.

(i) Les *espaces publics*, qui permettent une large audience, avec deux types d'images possibles :
   a. Les *motifs publics*, dont l'objectif est d'être vus par un grand nombre de personnes à la fois. Par exemple, les grands aurochs de la *Salle des Taureaux* de Lascaux, ou les chevaux ponctués de Pech-Merle.
   b. Les *motifs privés*, situés dans ces espaces, mais aux caractéristiques techniques ne favorisant pas la visibilité, ou cachés par des reliefs, par exemple.

(ii) Les *espaces privés*, ne permettant la présence simultanée que d'un faible nombre d'individus. Les motifs situés dans ces espaces seront donc considérés systématiquement comme des *motifs privés*.

Sur base des données en présence, je postule que les mains négatives analysées pourraient en règle générale être caractérisées comme un motif public, avec cependant des exceptions, comme certains exemplaires à El Castillo et Fuente del Salín se démarquant par leur moindre visibilité, répondant peut-être à d'autres logiques de sens.

Les mains négatives analysées seraient donc à situer, sur base des données en présence, en majorité comme des *motifs publics* situés dans des *espaces publics*. Certains exemplaires, cependant, se démarquent, et seraient plutôt de l'ordre du *motif privé* situé dans un *espace public*, comme la main d'enfant dans un creux du relief d'El Castillo, par exemple, ne permettant qu'une assistance simultanée de 5 individus[79] et répondant peut-être à d'autres logiques de sens.

Tous ces éléments permettent donc d'adresser par l'affirmative les hypothèses (ii) et (iii) :

(ii) L'une des caractéristiques de l'emplacement des mains négatives est leur visibilité et la capacité d'accueil des espaces en question, c'est-à-dire la possibilité d'héberger un public.

(iii) Un autre critère considéré lors du choix des lieux les hébergeant est la facilité d'accès aux motifs.

[79] Il faut toutefois noter que le nombre de cinq, bien que contrastant par rapport aux valeurs très larges de visibilité obtenue pour les mains alentour, reste assez haut : il s'agit d'un groupe de plusieurs individus. Il pourrait dès lors être intéressant d'établir plusieurs types dans cette catégorie de *motif privé*, car ce cas de figure diffère grandement avec celui d'un motif visible par une seule personne à la fois, par exemple.

6.3. Différentes dynamiques spatiales

Je présenterai dans cette section les organisations de motifs rencontrées au cours de ce travail d'analyse spatiale, que ce soit de façon générale, avec la zone de visibilité centrale (retrouvée dans les trois cavités), de manière ponctuelle, avec les figures interagissant avec le relief ou entre elles, ou encore sur un mode plus exceptionnel, avec l'exemple des mains de la *Galerie des Mains* d'El Castillo.

6.3.1. Zone de visibilité centrale

En plus de l'observation de la visibilité générale des mains négatives, les analyses ont mis en avant certaines zones, dans les trois cavités étudiées, ayant fait l'objet d'une concentration particulièrement intense de mains négatives (Figure 184).

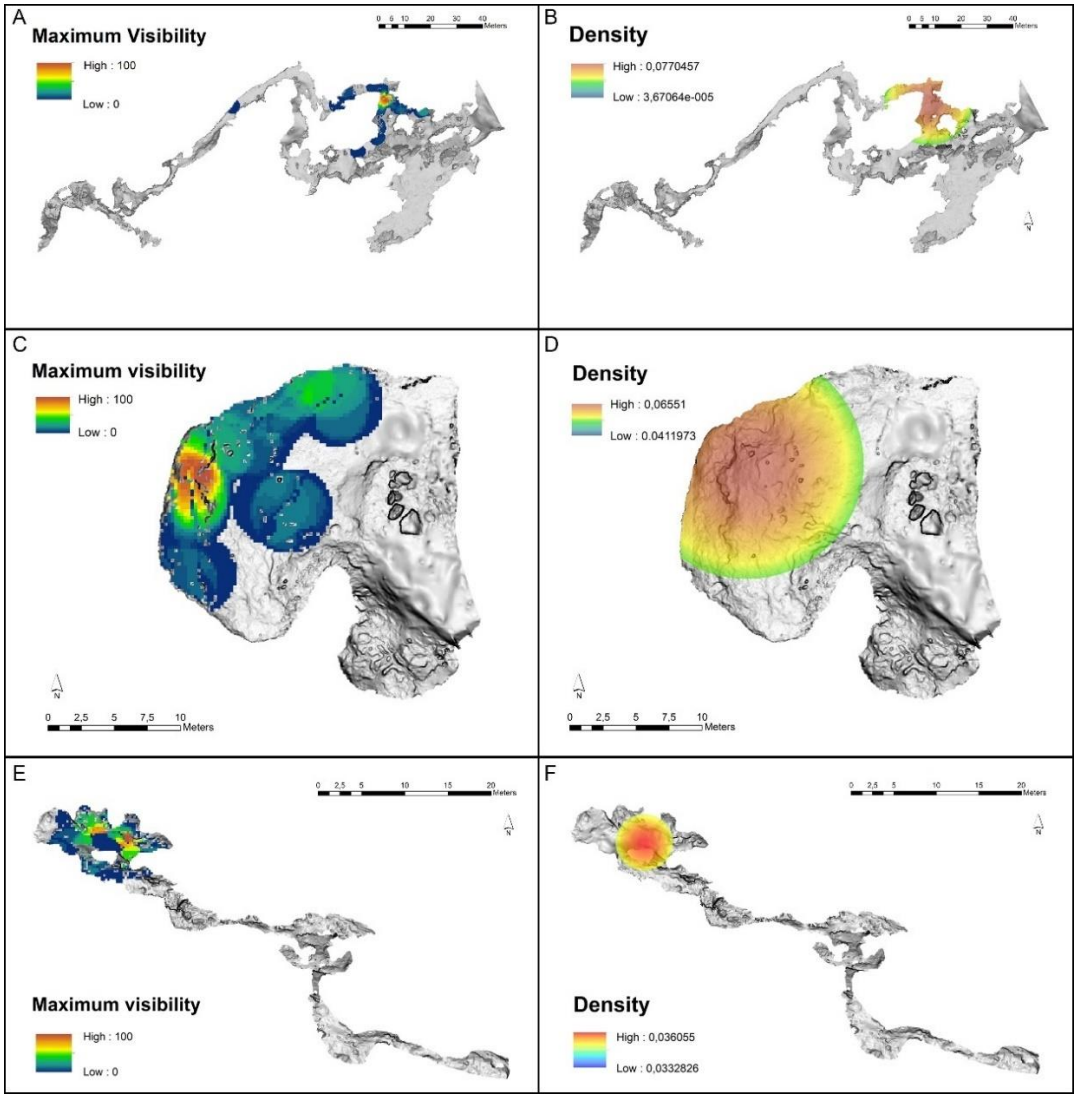


Figure 184. Positions d'où l'on peut observer le nombre le plus grand de mains négatives (maximum visibility) et densité des motifs de mains (density) dans les trois cavités observées. **A**. et **B**. El Castillo. **C**. et **D.** Fuente del Trucho. **E**. et **F**. Fuente del Salín.

Si le cas de la Fuente del Trucho ne me permet pas plus amples observations que le constat d'une densité vers le fond de l'abri, les grottes d'El Castillo et de Fuente del Salín permettent d'approfondir davantage ce point.

6.3.1.1. El Castillo

Pour la grotte d'El Castillo, c'est la zone du *Plafond des Mains* qui regroupe le plus grand nombre de motifs de pochoirs, nous l'avons vu. Pour avoir un aperçu plus concret de la taille d'une assistance potentielle pour ce secteur, j'ai appliqué à cette zone, en plus de l'application de l'analyse générale et de celle pour chaque main, une analyse spatiale considérant l'ensemble du panneau[80], relevé en photogrammétrie lors du travail de terrain. Je dispose donc pour cet espace, qui rassemble la plus grande concentration de mains négatives de la cavité, des données spécifiques et précieuses dans le cadre de cette étude. Ainsi, pour les mains analysées individuellement, dans cette zone, la moyenne de visibilité est de 18,95 personnes (écart-type de 5,67). Le motif de main avec la visibilité la plus faible (la main 17, PM2) permet à un groupe de 6,96 personnes de la voir, tandis que celui à la visibilité la plus grande (main 23, PM19) compte une assistance potentielle de 25,97 personnes. En ce qui concerne le panneau dans son ensemble, les résultats suggèrent que jusqu'à 31,03 personnes pourraient facilement se tenir debout ou s'accroupir et voir entre 33 % et 100 % des mains de cette zone. Si on étend la variable de visibilité à l'inclusion du public potentiel ayant entre 0 et 33 % (c'est-à-dire qu'une partie de l'assistance ne verrait au mieux qu'un tiers des mains du *Plafond*), on obtient la possibilité que 74,34 personnes soient présentes (Figure 185).

Par rapport à l'accessibilité, ce groupe de motifs possède des résultats assez similaires, au vu de son regroupement, avec une difficulté d'accès moyenne de 5,45 $\frac{1}{(m/s)}$ (écart-type de 2,09), au bout d'un cheminement moyen de 63,45 mètres dans la grotte (écart-type de 0,97).

[80] Plutôt que de donner aux SIG un seul point pour définir une figure, ce qui est adapté pour des motifs de petite taille comme les mains, Intxaurbe *et al.* (2022) ont proposé une méthode permettant de considérer l'ensemble de la surface d'une figure, sur base de son relevé photogrammétrique. Le script va ainsi créer sur cette surface une série de points et va calculer le pourcentage de visibilité de la figure, en fonction des positions du public définies plus haut (debout, accroupi, couché).

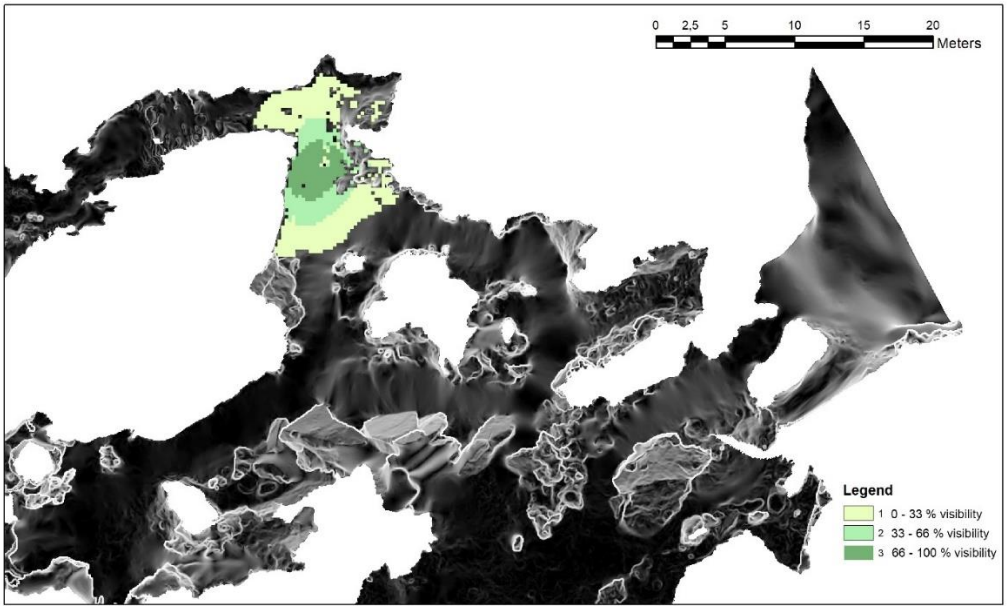


Figure 185. Visibilité des mains négatives du *Plafond des Mains* de la grotte d'El Castillo.

En d'autres mots, non seulement le *Plafond des Mains* comporte le nombre le plus élevé de motifs de pochoirs de la cavité, mais il offre aussi la possibilité pour une très large assistance de s'y regrouper. Je propose d'y voir un espace d'accueil, de large capacité, cette hypothèse étant renforcée par la continuité de l'importance de ce panneau tout au long du Paléolithique récent, au vu de la superposition des motifs en présence (Alcalde del Río et al., 1911; Garate, 2006; Ruiz-Redondo, 2010; Díaz-González & Garate, 2025). La même dynamique pourrait être suggérée dans le cas du *Panneau des Polychromes*, peut-être dans une moindre mesure, car cet espace, bien que présentant une visibilité moindre des mains et une accumulation moins importante de motifs, a aussi fait l'objet d'une réutilisation importante et permet l'accès à un large public, étant situé dans une large galerie.

6.3.1.2. Fuente del Trucho

Comme précisé plus haut, le cas de la grotte de Fuente del Trucho présente également une zone plus densément figurée (Figure 184, D). Cependant, le contraste moins fort entre les différentes zones ornées du plafond n'est pas suffisamment marqué pour y appliquer une étude comme celle du *Plafond des Mains*. Je me limiterai donc à signaler cette concentration, qui correspond également à une zone où la visibilité est particulièrement haute (Figure 184, C).

6.3.1.3. Fuente del Salín

Pour la grotte de Fuente del Salín, la question de la visibilité est également particulièrement interpellante. En effet, la configuration de la cavité est particulière, puisqu'elle présente une

zone privilégiée, proche de l'entrée, d'accès facile et particulièrement spacieuse par rapport au reste de la cavité. C'est justement là que fut découvert le niveau d'occupation avec le foyer central. Or, depuis cette salle, le visiteur peut observer un grand nombre de mains négatives. Pour déterminer si celles-ci ont été disposées intentionnellement de façon à pouvoir être vues depuis le foyer, j'ai procédé à une analyse quantitative supplémentaire. J'ai repris la base du calcul d'intervisibilité, en changeant la portée de la lumière. En effet, l'intervisibilité est calculée sur base d'une distance de 2,99 m depuis le motif, c'est-à-dire la portée estimée d'une torche. Cependant, les expérimentations de Medina Alcaide *et al.* (2021) suggèrent d'autres données pour un foyer, avec des données mesurées allant jusqu'à 4,5 m. En considérant ces données et plaçant un point sur le niveau de sol reconstitué, pour simuler le point de vue du foyer (Figure 186), j'ai calculé la lumière qui se dégageait depuis celui-ci, en considérant la présence des parois et une portée lumineuse de 4,5 m (Figure 187).

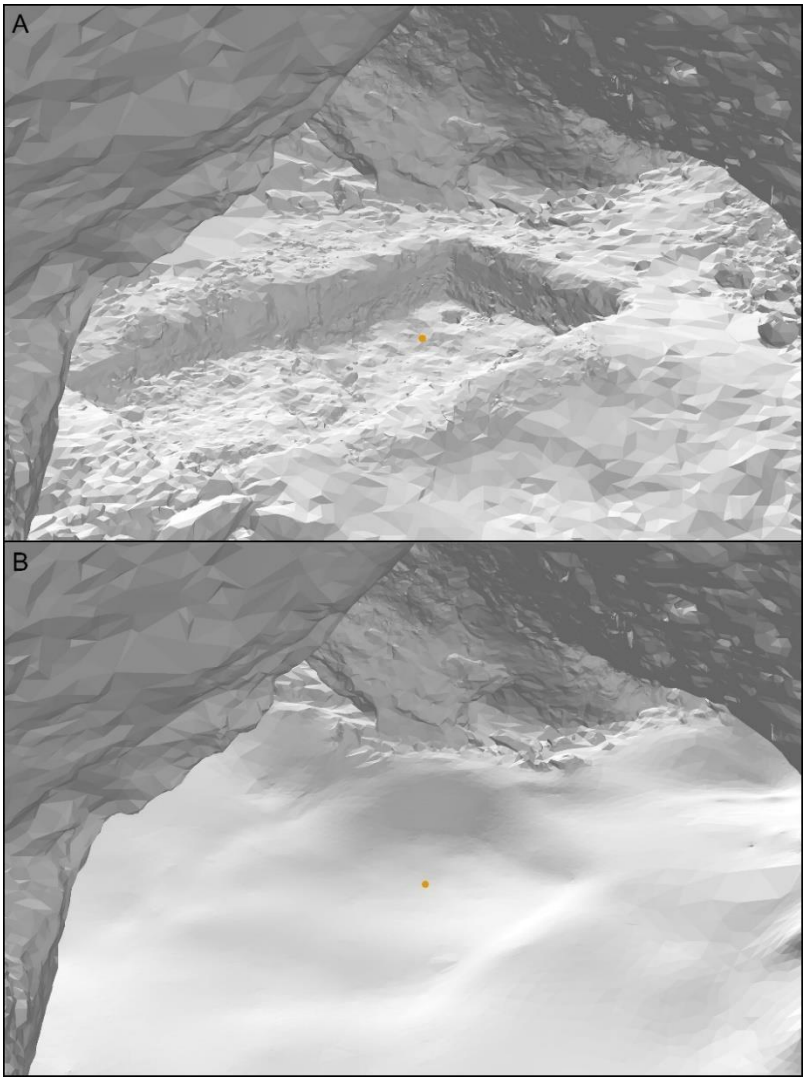


Figure 186. Captures d'écran du logiciel *ArcScene*®. **A**. Vue de la fouille effectuée, où le point orange situe la position du foyer selon les données archéologiques recueillies. **B**. Position du même point sur le sol paléolithique reconstitué.

Cette analyse a confirmé l'hypothèse de visibilité : depuis ce point, la grande majorité des mains négatives de la cavité sont visibles (81,25%), avec un total de 26 mains négatives sur 32. Tout se passe comme si ces mains avaient été placées selon le critère de visibilité en relation avec cet espace central du foyer. Un groupe de mains non-visibles se dégage, celles qui sont dans une zone un peu excentrée, avec les deux mains positives (Figure 187, B). Je postule donc l'organisation des mains de la cavité sous deux dynamiques différentes : la première, tout autour du foyer, et la seconde, dans un espace plus excentré, avec éventuellement une symbolique différente.

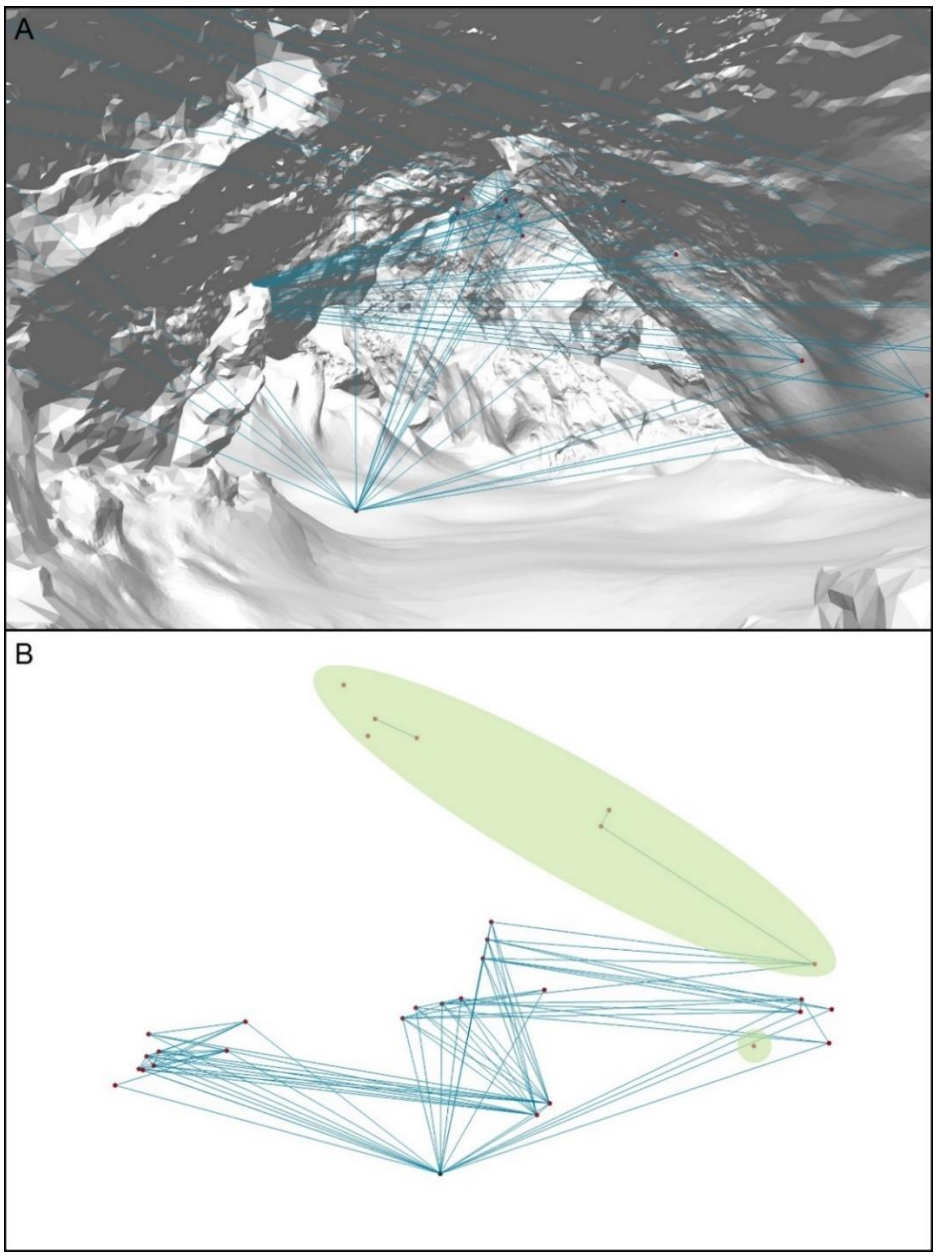


Figure 187. Captures d'écran du logiciel *ArcScene*®. **A**. Vue sous un autre angle des lignes de vision, avec les mains négatives indiquées par des points rouges. **B**. Vue des lignes sans le modèle, pour avoir un meilleur aperçu de leur distribution générale. On voit que depuis le foyer et la lumière qui s'en dégage, on peut observer une grande majorité des mains négatives de la cavité (23/31). Un groupe, souligné par une ellipse en vert, se dégage cependant, ainsi qu'un exemplaire unique, pourtant proche d'autres mains visibles.

Par ailleurs, l'observation des *Lines of Sight* sur le sol actuel montre que le calcul de la visibilité, sans la reconstruction du niveau paléolithique, donnerait des résultats différents (Figure 188), ce qui renforce l'importance de cette étape de la méthode.

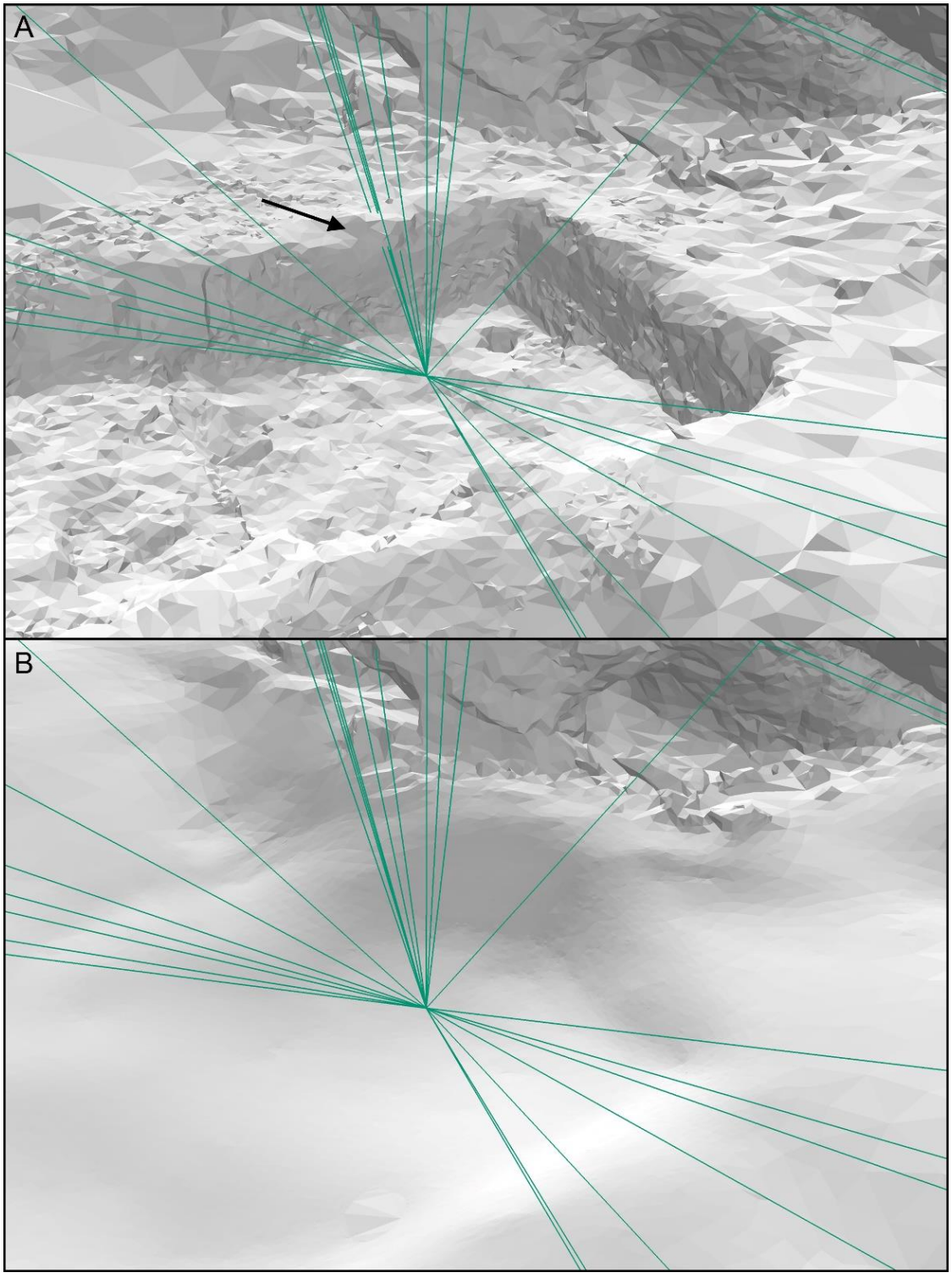


Figure 188. Captures d'écran du logiciel *ArcScene*®. **A**. Vue du point figurant les *Lines of Sight* depuis le foyer et entre les mains négatives de Fuente del Salín, à une portée de 4,5 m. On voit que sur le sol actuel, les résultats de l'étude de visibilité seraient différents, puisque certaines lignes de vision se trouvent entrecoupées (indiquées par la flèche noire). **B**. Mêmes lignes de vision sur le sol reconstitué.

6.3.1.4. En général

La forte accessibilité et visibilité des mains négatives, alliés à la large capacité d'accueil de certaines zones intensément ornées, comme le *Plafond des Mains* ou le *Panneau des Polychromes* à El Castillo, la zone de fond à Fuente del Trucho ou l'espace de la salle centrale avec le foyer à Fuente del Salín, invitent aussi à aborder l'hypothèse des sites d'agrégation ou *supersites* présentée par Conkey (1980) et reprise par Bahn (1984) et Utrilla (1994), entre autres auteurs. Ceux-ci citent entre autres la grotte d'El Castillo comme exemple de lieu qui aurait pu être utilisé pour de tels rassemblements de groupes sociaux, de manière épisodique, au long du Paléolithique récent. L'hypothèse que les mains négatives résultent d'un moment de rencontre entre groupes peut en effet être considérée : ces motifs étaient réalisés par différents membres du groupe et ils pouvaient être réalisés, dans ces espaces, en présence d'une assistance importante. Une pratique collective de décoration, pour des raisons symboliques, lors d'un rassemblement, par exemple dans le cadre d'un échange culturel entre groupes sociaux différents, est donc une possibilité, entre de nombreuses autres cependant. Il faut toutefois noter que si cette hypothèse semble envisageable, bien que hautement spéculative, pour le cas d'El Castillo, elle est moins défendable pour Fuente del Salín, par exemple, où les données archéologiques orientent plutôt vers une occupation courte durant le Gravettien, venant à l'encontre de l'idée de réunion épisodique (en plus des dimensions bien plus restreintes de le la cavité). Pour Fuente del Trucho, les informations parcellaires du matériel archéologique ne permettent pas de conjecturer.

Par rapport au travail de González García (1987, 1990, 2001) et son concept de panneaux actifs (influençant l'espace qui les entoure), sur lesquels seraient principalement (mais pas exclusivement) situées les mains, il est difficile de les évaluer à la lumière des résultats obtenus ici car l'utilisation du concept de *panneau* est délicate (comme s'y est confronté Leroi-Gourhan (1972) avant lui), et les notions d'*actif* ou *passif* sont en proie à la subjectivité. Les résultats en termes de visibilité — en particulier de ces panneaux de haute densité — viendraient cependant s'axer dans une direction similaire à ces observations, les mains négatives pouvant exercer la fonction d'*être vues* (et dès lors d'influencer l'espace qui les entoure[81]), avec quelques exceptions pouvant correspondre aux exemplaires présents sur les panneaux passifs.

[81] Ces notions étant complexes, il est possible que cette suggestion trahisse l'idée de *panneau actif* telle qu'elle est conçue par González García (1987, 1990, 2001). C'est là la difficulté de l'utilisation de catégories qui laissent large place à l'interprétation personnelle.

6.3.2. Exemples singuliers – interaction avec le support, jeux entre motifs et visibilité amoindrie

En plus de ces espaces particulièrement ornés, d'autres mains négatives sortent du lot, mises en avant par l'analyse au niveau micro-spatial. En effet, même si une grande majorité des pochoirs de main sont exécutés de manière commode, il y a des exceptions avec des positions plus complexes. Je propose ici d'étudier ces exemples et leurs implications au niveau symbolique.

A El Castillo, nous avons vu que l'analyse de l'orientation des mains 64 et 63 (Figure 112, p. 223) indiquait le choix d'une position inconfortable. Ceci en particulier pour la main 64, qu'il aurait été beaucoup plus facile d'exécuter en position verticale que dans cette position qui implique de mettre son coude dans une cheminée pour sa réalisation. Le choix d'une telle position pourrait donc relever de raisons symboliques. Si l'on pose l'hypothèse, par exemple, que ce n'était dans ce cas pas l'action de réaliser la main qui importait mais plutôt son résultat sur la paroi, on peut observer que cette main semble surgir d'une zone d'ombre, comme si elle descendait de la cheminée de karst dans laquelle elle est figurée[82]. Je propose de faire un parallèle ici avec l'hypothèse de Groenen au sujet de certaines figures animales, dans les grottes voisines de Las Monedas et La Pasiega, ou encore à Covalanas, qui semblent sortir d'endroits qui nous seraient inaccessibles : « Tout se passe donc comme si ce monde de l'invisible, matérialisé par les zones d'ombre, donnait accès à un plan différent de celui dans lequel nous nous mouvons » (Groenen, 2016, p. 222). Dans une même ligne d'idée, Le Quellec (2022) avance que l'art pariétal représente le mythe tellurique de *l'émergence primordiale* selon lequel les humains et les animaux sont sortis de la terre par la grotte. Ces suggestions, cependant, vont à l'encontre de propositions comme celles des travaux de (Lewis-Williams, 2002) puis de Clottes et Lewis-Williams (1996) qui suggèrent que c'était le geste qui était significatif, avec l'idée de l'union (ou la traversée) de la main avec la paroi, par la projection de pigment, ou encore la prise de possession d'un espace. Pour le cas qui nous occupe ici, la position alambiquée qu'implique l'orientation des mains défendrait davantage la première voie interprétative. Celles-ci détonnent en effet tout à fait avec le reste des mains, effectuées de façon commode, pour lesquelles des interprétations du type de la seconde sont plus pertinentes.

Malgré cette caractéristique commune au niveau de leur orientation, ces deux mains du *Carrefour* ont été réparties dans deux clusters différents dans l'analyse statistique : la main 64 dans le cluster 1 et la main 63 dans le cluster 2. Celles-ci ont des valeurs de difficulté d'accès

[82] Cette connexion avec des reliefs et d'éventuels jeux avec des zones d'ombres ou d'espaces inaccessibles pourrait aller dans le sens de la « recherche de zones non-éclairées » avancée par Groenen (2011, p. 66).

similaires et sont pourtant séparées. Ceci, car même si elles sont plus difficiles à atteindre que les autres mains négatives (mis à part celles de la *Galerie des Mains* et de la *Galerie des Disques*), la main 64 a des valeurs de visibilité et de hauteur trop élevées pour être regroupée avec les mains du groupe 2, alors que la main 63 a une visibilité et une hauteur plus faibles.



Figure 189. **A**. Situation de la main 9, qui serait une main d'enfant, sur le plan de la grotte **B**. Image générale de la zone, où la situation de la main 9 est encadrée. **C**. Détail de situation de la main 9 sur le modèle tridimensionnel. **D**. Détail de situation de la main 9 sur le modèle tridimensionnel texturisé. **D**. Photographie de la main 9.

Une autre main du *corpus* d'El Castillo se démarque aussi particulièrement, cette fois au niveau de son âge et de sa localisation sur la paroi : la main 9. Celle-ci a en effet une taille de main d'enfant, selon l'étude de Fernández-Navarro[83], et est située dans un recoin de la paroi, derrière un fin pan rocheux (Figure 189). Sa visibilité est dès lors plus réduite (Figure 190), avec la possibilité d'un public simultané de 5,85 individus au total, ce qui constitue la valeur la plus faible de la cavité. Cette conjonction de caractéristiques devait donc être relevée : face à la grande majorité de mains adultes de la cavité (deux mains d'enfants et un juvénile pour 49 adultes sur le total des mains déterminables), celle-ci fait partie des trois individus les plus jeunes, et sa situation n'est pas anodine. Contrairement à la main 64, cependant, cette main serait plutôt orientée vers la zone d'ombre de la paroi (les doigts pointant vers celle-ci) et la position de la main n'est pas inconfortable.

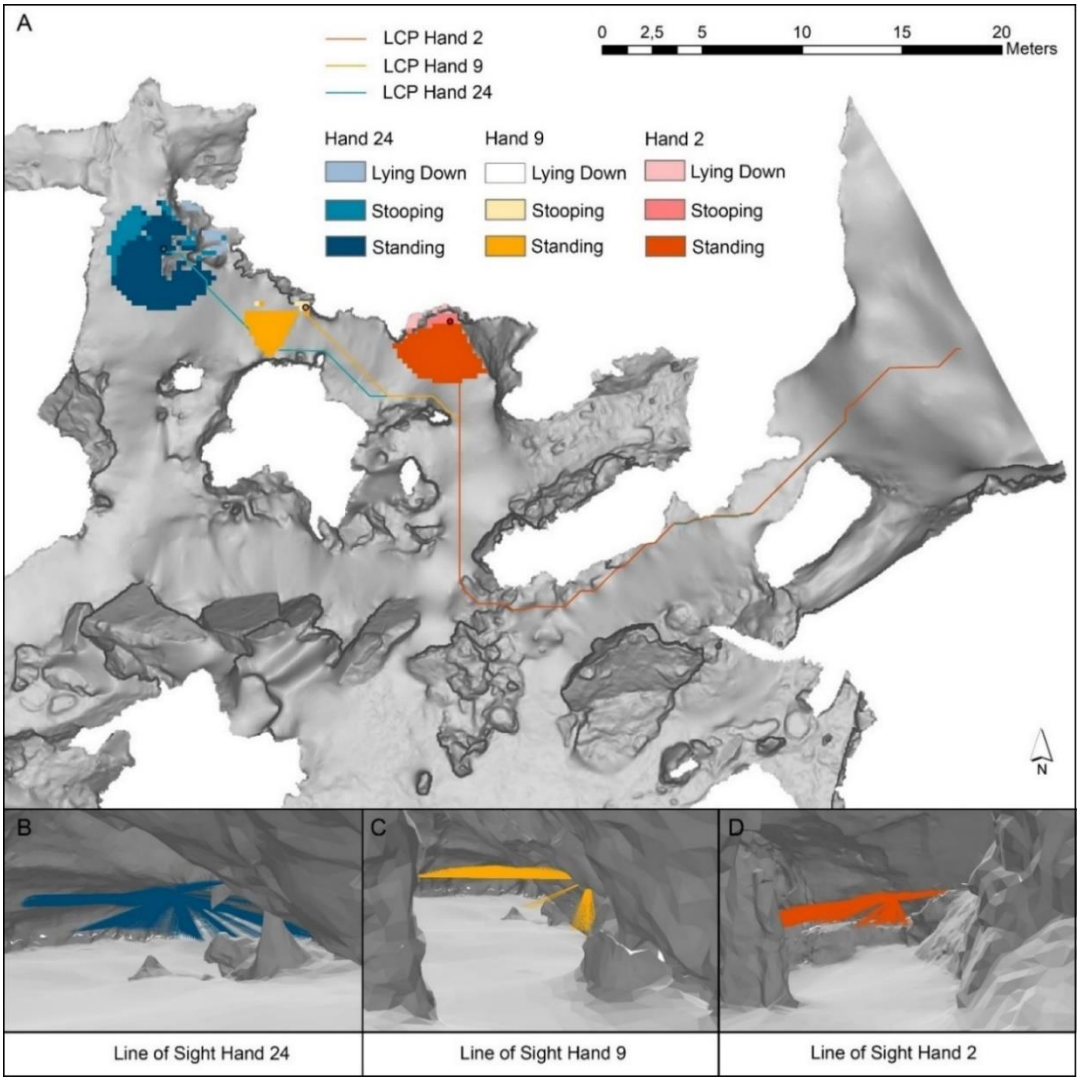


Figure 190. Illustration de la visibilité de trois mains négatives de la grotte d'El Castillo sur *ArcGIS*®. **A**. Visibilité des mains 24, 9 et 2 en fonction de la position du public. **B**., **C**. et **D**. *Line of Sight* des mêmes mains négatives.

[83] Données transmises personnellement en 2024.

Ces exemples permettent d'adresser l'hypothèse (v) par l'affirmative :

(v) Certaines figures de mains ont été disposées en fonction de reliefs particuliers de la paroi, en relation avec ceux-ci.

Pour la grotte de Fuente del Trucho, la question de l'orientation des mains, comme mentionné plus haut, est un peu plus délicate, en raison du fait que la majorité des mains négatives sont situées sur le plafond de la cavité. Dans le cas des mains isolées, il est donc parfois délicat d'établir leur orientation. Il est possible, bien entendu, de s'orienter en fonction des animaux présents à certains endroits du plafond, mais leur contemporanéité avec les mains négatives n'est pas assurée. Notons cependant que dans le cas (fréquents ici) de nombreuses figures juxtaposées, leur orientation est calculée depuis un point de vue fixe, ce qui facilite au moins leur comparaison. Malgré ces difficultés, en représentant toutes les mains sur le cadran d'une horloge, certains aspects intéressants de leur disposition ont pu être mis en valeur.

Le cas de l'orientation de la main 6 est particulièrement relevant en relation avec la proximité de la main 7 (Figure 191). Les deux sont en effet disposées de façon opposée, semblant créer un motif recherché. Notons enfin que pour réaliser ces deux figures sans que chacune soit recouverte par la projection du pigment de l'autre, elles ont dû être effectuées soit en même temps (avec les deux mains apposées sur la paroi), soit par une projection très précise de la couleur.

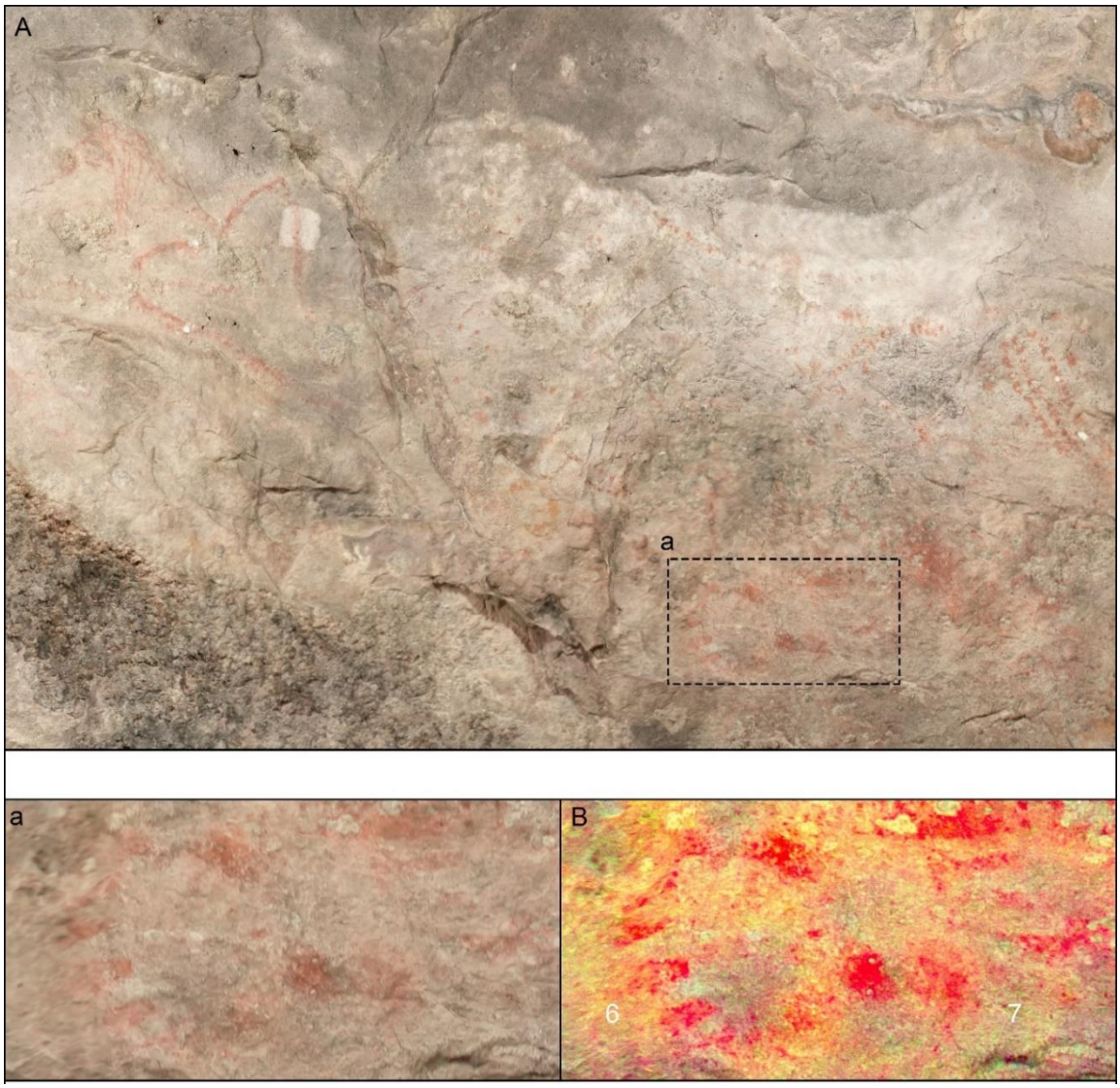


Figure 191. Situation des mains négatives 6 et 7 sur le plafond de Fuente del Trucho. **A**. Orthoimage de la situation générale, avec le cheval à gauche ayant dirigé le sens de lecture de l'orientation des mains dans cette zone. **a**) orthoimage du détail des mains 6 et 7. **B**. Même détail traité avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds*, modifiée pour mettre en valeur le pigment rouge.

La main 24 est située pour sa part sur la paroi subverticale plutôt que sur le plafond, ce qui, comme précisé plus haut, enlève le doute quant à son orientation. Cependant, son pauvre état de conservation limite les possibilités interprétatives la concernant, car la précision de son contour est faible (Figure 192).

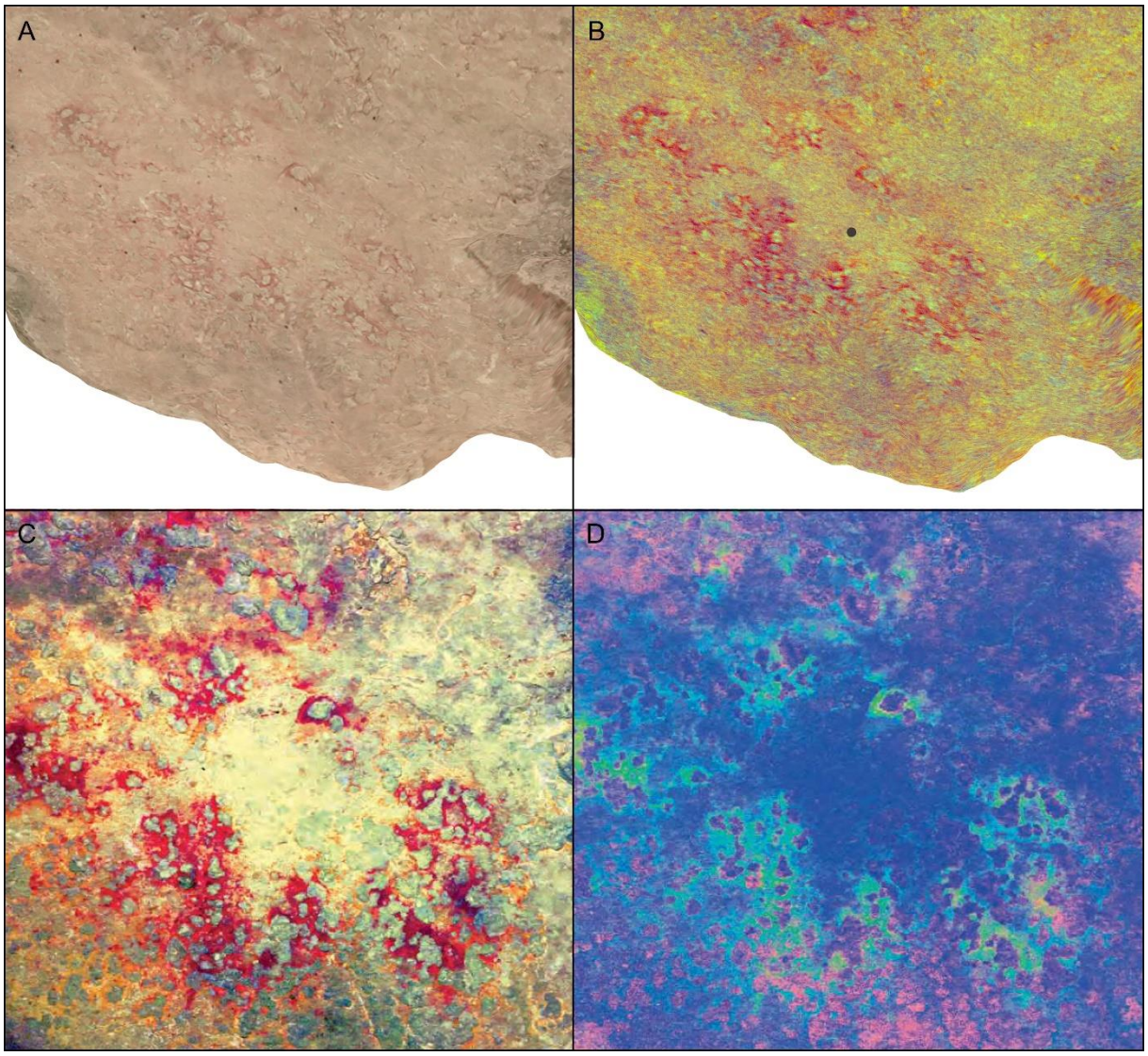


Figure 192. Main droite rouge 24 de Fuente del Trucho, orientée à 17h. **A**. Objet tridimensionnel texturisé. **B**. Objet tridimensionnel dont la texture a été traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds*, modifiée pour mettre en valeur le pigment rouge. **C**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds* (© Collado Giraldo (2018)). **D**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *btn_lre* (© Collado Giraldo (2018)).

La situation est assez similaire pour la main jaune 11 (Figure 193), dont la définition ne permet pas de tirer de plus amples conclusions, outre noter son orientation plus inconfortable que la moyenne (ce qui pourrait aussi être lié à la question de l'angle de vue choisi pour la déterminer).

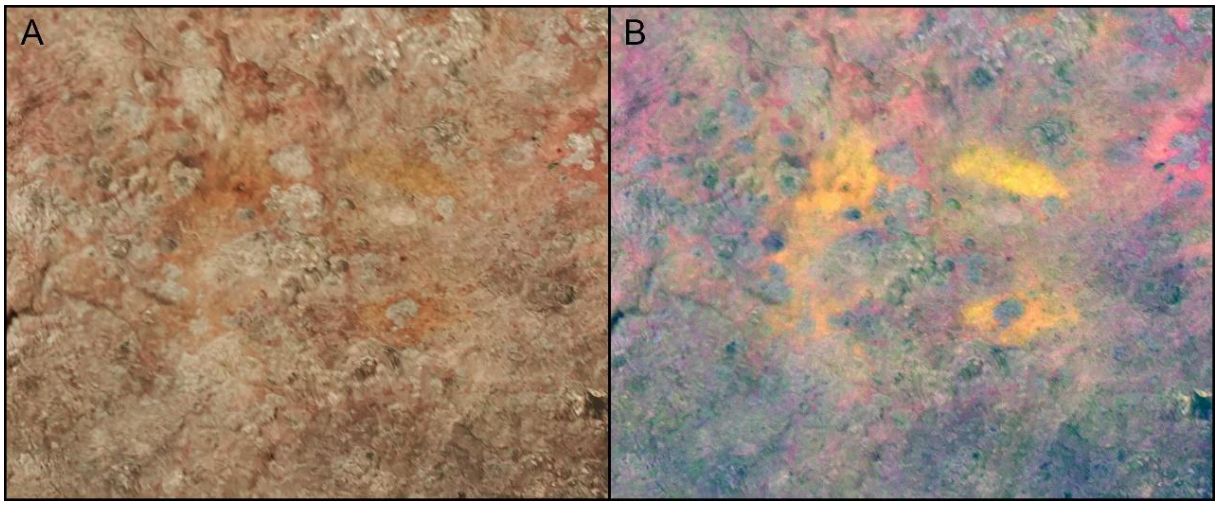


Figure 193. Main jaune 11 de Fuente del Trucho, orientée à 21h. **A**. Photographie sans traitement. **B**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *ybk*, modifiée pour mettre en valeur le pigment jaune.

Enfin, à la Fuente del Salín, il est possible de noter le regroupement de plusieurs exemplaires sur certaines parois, avec éventuellement une orientation un peu singulière, comme la main 2 (Figure 194), les deux mains horizontales 3 et 4 se suivant (Figure 195) et les mains 5 à 9 formant une véritable composition, paraissant avoir été disposées les unes en fonction des autres pour créer un ensemble (Figure 196).

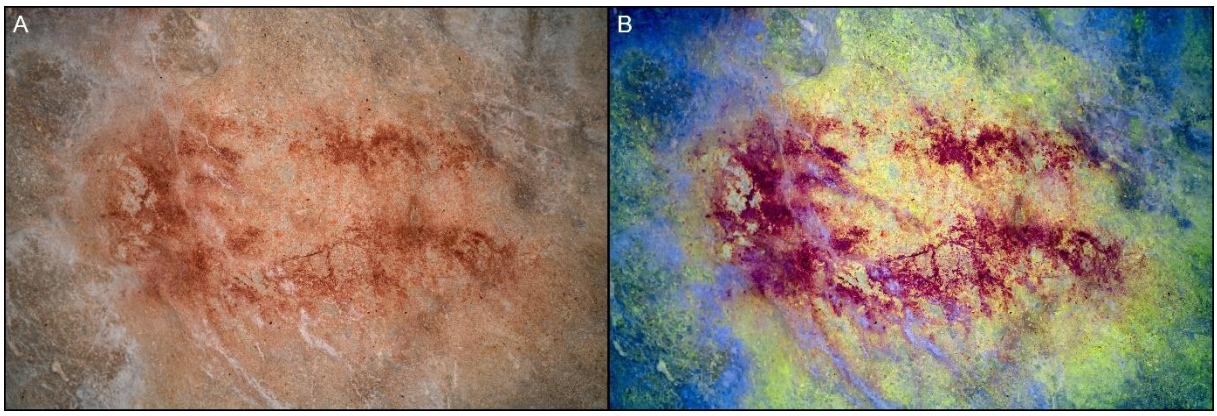


Figure 194. Main rouge 2 de Fuente del Salín, placée horizontalement, dont la position de l'avant-bras est bien visible (© *GIM Geomatics*). **A**. Photographie sans traitement. **B**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds*, modifiée pour mettre en valeur le pigment rouge.

Cet ensemble a été mis en avant par l'étude statistique, proposant un cluster pour ces motifs (Figure 196, A). De plus, l'étude paléodémographique de Fernández-Navarro[84] nous informe que les mains représentées dans le groupe des mains 5 à 9 sont deux mains d'enfants entourées de trois mains d'adultes (Figure 196, B).

[84] Données transmises personnellement en 2024.

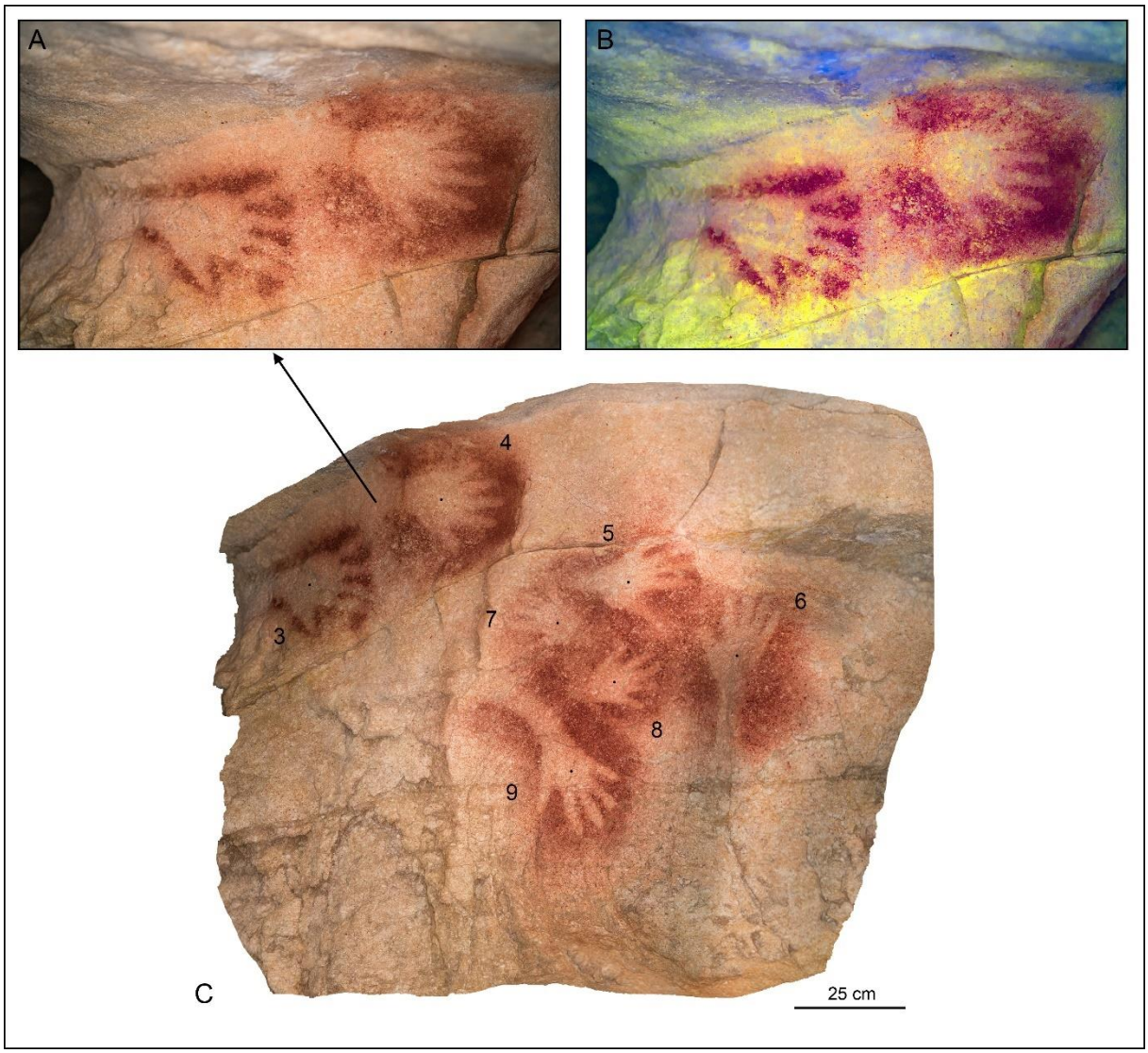


Figure 195. Mains rouges 3 et 4 de Fuente del Salín, disposées horizontalement entre l'arête du plafond et une fissure oblique (© *GIM Geomatics*). **A**. Photographie sans traitement. **B**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds*, modifiée pour mettre en valeur le pigment rouge. **C**. Orthoimage de la zone, présentant la situation des mains 3 et 4 sur un pan rocheux perpendiculaire à celui de la composition des mains 5 à 9.

Ces particularités, cependant, n'ont pas été mises en avant par l'étude spatiale au niveau de l'orientation des mains, car leur position n'est pas particulièrement inconfortable. Il serait dès lors intéressant de préciser encore la méthode à ce niveau, pour qu'elle puisse mettre en avant des exemples comme ceux cités ici, qui ont en effet une position particulière, sans qu'elle sorte cependant de la moyenne de confort général de la position.

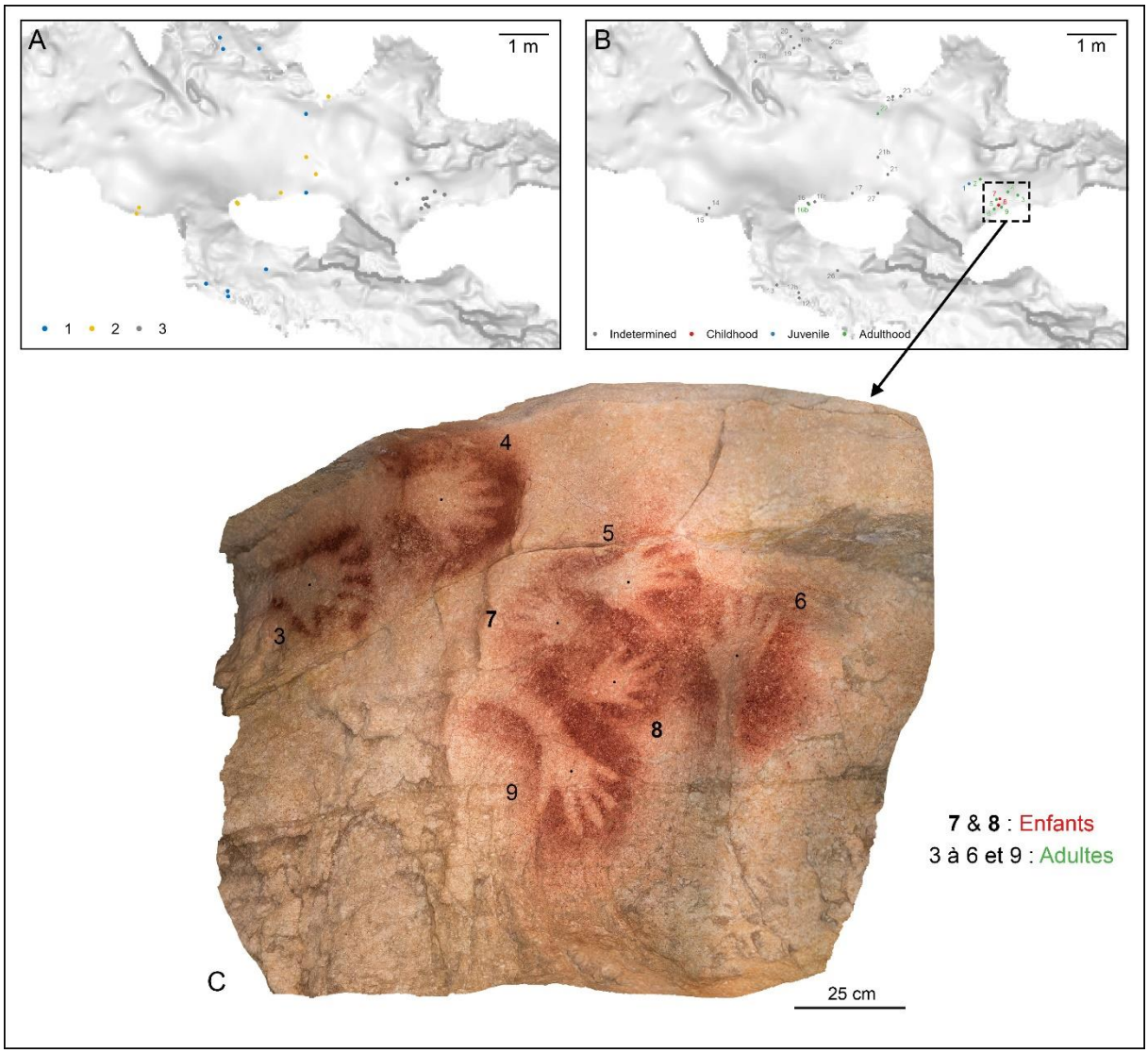


Figure 196. Composition de mains négatives à Fuente del Salín. **A**. Répartition des clusters sur le plan de la cavité, où le cluster 3, en gris, regroupe les mains en question. **B**. Répartition des âges des exécutants des pochoirs sur le plan. **C**. Orthoimage de la paroi où sont regroupés les motifs. Les mains 3 et 4 sont sur un plan rocheux perpendiculaire à celui des mains 5 à 9. Les motifs 7 et 8 ont été identifiés comme des pochoirs de mains d'enfants.

Toutes ces mains qui présentent des positions particulièrement ancrées au relief de la paroi ou en relation avec d'autres exemplaires pourraient dépendre d'autres dynamiques symboliques que celles rassemblées sur les zones densément ornées comme le *Plafond des Mains* d'El Castillo, où l'importance semble donnée à leur présence sur la paroi même, davantage que le jeu avec ses reliefs ou autres particularités morphologiques.

La position très variée des exécutants dans les trois cavités suggère, quant à elle, que la commodité d'exécution n'était pas le critère principal à l'heure de leur exécution : l'emplacement ou d'autres paramètres symboliques semblent être prévalents.

6.3.3. Marqueurs topographiques

La grande visibilité et accessibilité des mains négatives d'El Castillo invite à évaluer l'hypothèse, suggérée par plusieurs auteurs (Groenen, 1990, 2011, 2013; Foucher, 1991; Pigeaud, 2005; Collado Giraldo, 2018), selon laquelle ces motifs, ainsi que les disques, auraient pu fonctionner comme des marqueurs topographiques, comme une forme d'indicateurs spatiaux.

Si cette notion est définie comme un *motif guidant le visiteur depuis l'entrée vers un point précis*, les mains négatives devraient être situées dans les zones-clés (carrefours, etc.). Comme nous l'avons vu, ce n'est pas le cas à El Castillo, où elles sont absentes dans la première partie de la cavité. De plus, il n'y a pas de main négative indiquant de tourner à droite vers le *Panneau des Polychromes*, en venant de l'entrée (Figure 88, p. 191). Or, sans cette indication, si l'on continue tout droit, on évite les grands ensembles de mains de la cavité.

Pour évaluer cette hypothèse à l'aide des outils d'analyse spatiale, le *Least Cost Path* pour rejoindre le fond de la cavité fut calculé. De cette manière, il a été possible de vérifier si depuis l'entrée le visiteur de la grotte trouvait sur son chemin des mains négatives pour l'orienter. La portée d'une torche fut intégrée au calcul et ces données furent croisées avec la position des mains. Il est apparu que le chemin le plus court ne croisait en effet que 4 mains négatives sur 77 (Figure 198, A), se dirigeant directement vers la *Salle du Chaos*, en ignorant le *Bas-Côté* et le *Plafond des Mains*.

Si l'on entend donc le concept de marqueur topographique à la manière d'un jeu de piste, impliquant nécessairement des indications depuis l'entrée, les mains négatives d'El Castillo ne répondent pas à cette définition.

Cependant, il est intéressant de porter un regard critique sur ces résultats. En effet, le concept du *Least Cost Path* (LCP) peut être trompeur, car il ne donne que le chemin le plus facile à la décimale près, sans que nous puissions toujours nous rendre compte que prendre un chemin alternatif reviendrait pratiquement à la même difficulté. Or, nous avons vu que toutes les valeurs de la LCP pour atteindre les mains de la cavité étaient très faibles, et similaires. Par exemple, les mains 55 et 57 du *Plafond des Mains*, distantes de seulement deux mètres sur la même paroi, ont donné un LCP différent (difficulté de 8,04 et 8,23, respectivement) (Figure 197). Alors que l'une fait le tour par le *Bas-Côté* (en rouge dans la Figure 197), comme toutes les mains précédentes, la seconde prend la descente menant à la *Salle du Chaos* (en vert dans la Figure 197).

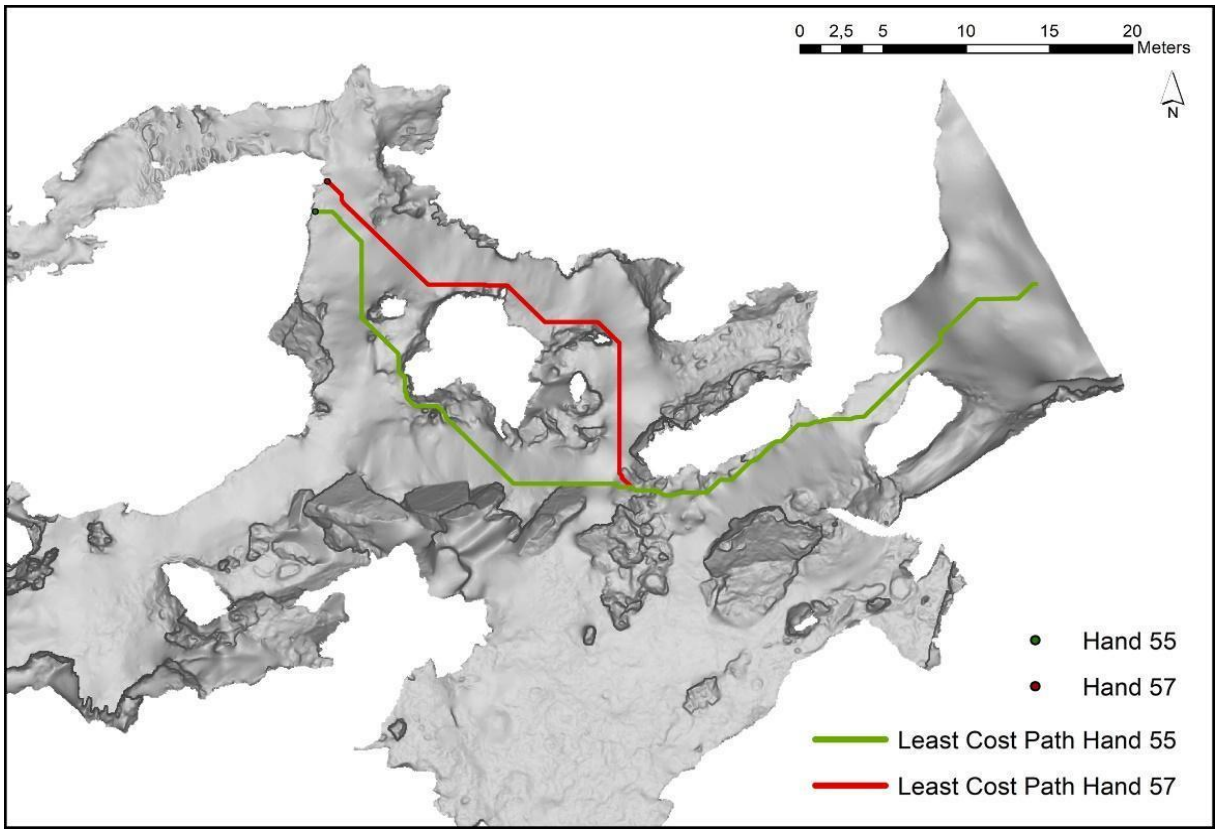


Figure 197. Comparaison du LCP des mains 55 et 57, toutes deux situées sur le même panneau, le *Plafond des Mains*, à 2 mètres de distance.

J'ai donc procédé au calcul du *Least Cost Path*, le calculant cette fois vers la main du fond de la *Galerie des Mains*, pour voir si cette alternative à difficulté d'accès similaire passait devant les mains. Pour ce second essai, il a croisé 67 mains négatives (Figure 198, B); une différence majeure. Au total, si l'on ajoute à ces deux chemins la zone qui les relie, on rencontre toutes les mains négatives de la cavité (Figure 198, C). En d'autres mots, les mains négatives sont toutes visibles depuis le chemin dans le rayon d'une torche, mais elles ne sont pas présentes depuis le début du parcours. Elles se trouvent sur le chemin d'une des galeries principales mais aucune main n'est présente au croisement pour indiquer de s'y engager.

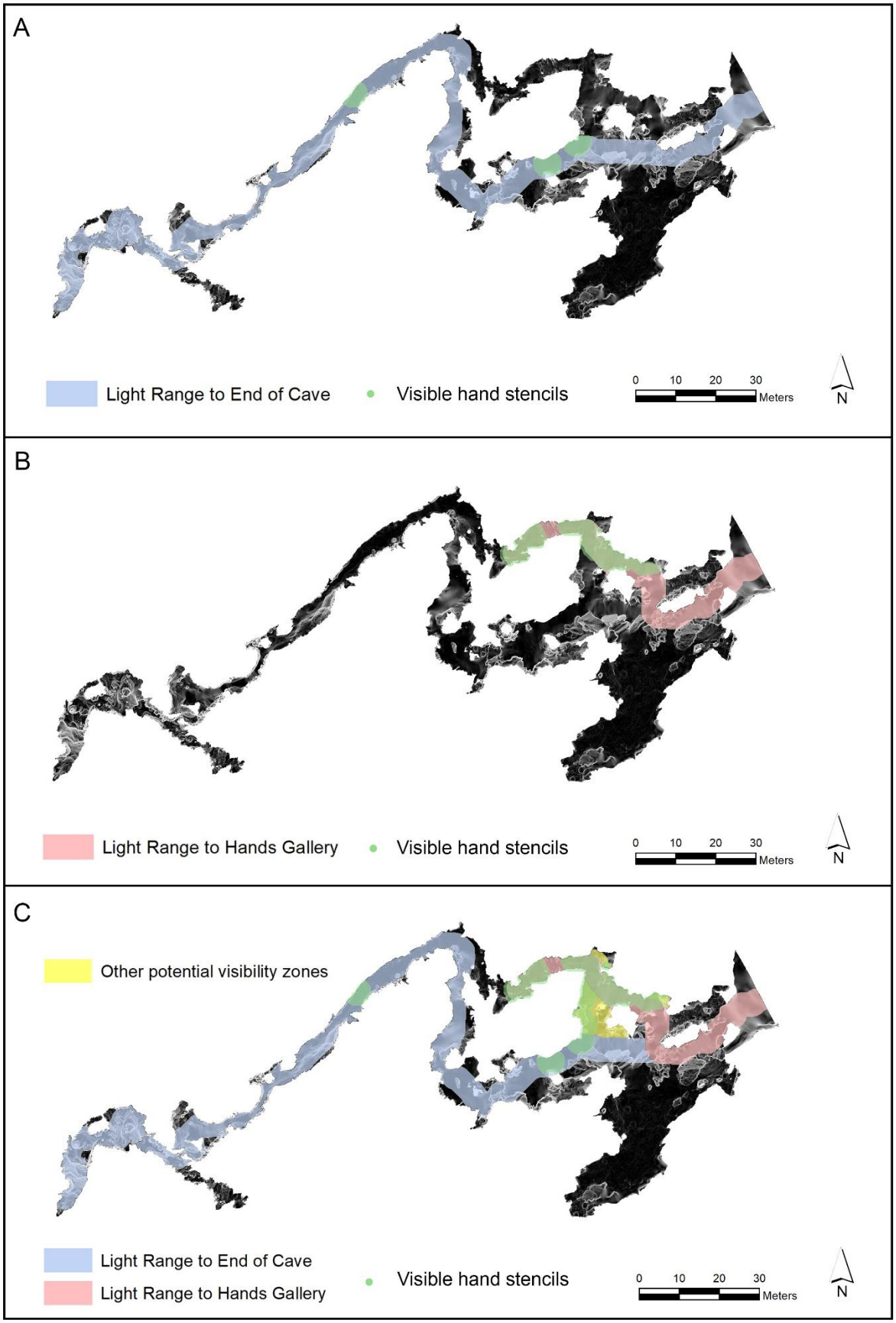


Figure 198. Recoupement entre le LCP et les mains négatives de la grotte dans le rayon d'action d'une torche (2,99 m). **A**. LCP jusqu'au bout de la grotte, croisant 4 mains négatives. **B**. LCP jusqu'à l'extrémité de la *Galerie des Mains*, croisant 67 mains négatives. **C**. Somme des deux LCP, complétée par la zone les reliant, permettant de rencontrer toutes les mains de la grotte.

Par ailleurs, une zone spécifique résonne particulièrement avec la notion de balise proposée par Groenen (2013) pour les mains négatives : la *Galerie des Mains*. Cet espace, situé à la suite du *Plafond des Mains*, témoigne d'une possibilité de visibilité plus restreinte, ainsi que d'un plus haut degré de difficulté d'accès, avec des zones davantage basses et un passage étroit. Ces caractéristiques l'ont amenée à être séparée par l'analyse de clusters et cette séparation semble pertinente.

La morphologie de ce couloir est aussi particulièrement intéressante, dans le cas de cette hypothèse d'indication d'un cheminement, car il présente un étranglement (voir section 5.1.1.2.11). Or, les mains négatives jalonnent les parois jusqu'à celui-ci, et, plutôt que de s'arrêter avant ce passage délicat, continuent de l'autre côté. Ceci pourrait être compatible avec une l'hypothèse selon laquelle ces motifs suggéreraient un itinéraire, indiquant dans ce cas de le traverser. La proximité directe de ces deux exemplaires, de l'autre côté du rétrécissement, et leurs caractéristiques similaires avec les autres semblent en effet pointer vers une composition commune[85].



Figure 199. Main et disques rouges sur le *Plafond des Mains* d'El Castillo.

Or, la présence de mains négatives de la *Galerie des Mains*, une fois passé le rétrécissement, se poursuit par deux autres exemplaires de mains, comme précisé plus haut. Après ceux-ci, en continuant à avancer dans la grotte, le visiteur rencontre la longue enfilade de disques de

[85] Pour accéder à ces mains sans passer par ce rétrécissement, il faudrait parcourir les galeries B, C et D, pour arriver au *Carrousel*, et se diriger à droite, vers une zone se rétrécissant, plutôt que d'aller vers la grande ouverture de la *Galerie des Disques*. Tout ce cheminement est vierge de mains négatives. L'hypothèse de la traversée de l'étranglement et du lien des deux mains situées de l'autre côté de celui-ci semble donc bien plus cohérente.

Galerie des Disques (Figure 200) qui jalonne l'unique couloir menant à la suite du réseau souterrain jusqu'à la dernière main négative de la cavité, à la fin de la *Galerie des Disques*. Cette structure topographique de disposition des motifs permet de suggérer que la longue succession de disques le long de ce chemin pourrait également participer à un possible balisage, puisqu'ils « marquent le chemin » entre les ensembles de mains, comme l'évoquait déjà Groenen (2013). Plutôt que des *guides* dans la cavité, les mains (et éventuellement aussi les disques) pourraient alors être considérées comme des figures qui marquent des espaces symboliques importants et suggèrent des liens entre les motifs, créant un ensemble qui, pour être apprécié, implique un cheminement[86].



Figure 200. Vue d'une partie de la longue ligne de disques de la *Galerie des Disques*

Ces éléments permettent d'adresser l'hypothèse (iv) :

(iv) Certaines mains négatives sont à mettre en lien avec des dynamiques de circulation dans la cavité, ayant une fonction signalisatrice.

En effet, on peut conclure que, par rapport au concept de "marqueur topographique", si nous restreignons la notion à un système de direction orientant le visiteur depuis l'entrée vers une certaine zone, de façon précise, les mains négatives d'El Castillo ne répondent pas à la définition. Si nous élargissons le concept à l'idée d'un motif qui, si nous le suivons, nous propose un cheminement dans la cavité reliant une série de motifs pour créer un ensemble

[86] En effet, il n'y a pas de risque de nous perdre ou de changer de direction dans un couloir comme celui de la *Galerie des Disques*. Cependant, certains motifs répétés comme cette série de disques pourrait suggérer une continuation de l'ensemble orné tout au long d'un espace défini dans la cavité.

graphique, c'est une hypothèse qui pourrait être envisageable, en particulier pour les exemplaires de la *Galerie des Mains*. Toutefois, le peu d'éléments disponibles pour défendre cette proposition interprétative ne permettent que de suggérer que ces motifs ne seraient pas incompatibles avec une fonction de la sorte, sans aller plus loin.

L'existence, enfin, de ces différentes dynamiques spatiales contribue à défendre une réponse affirmative à l'hypothèse (i) :

(i) Plusieurs systèmes parallèles d'organisation spatiale peuvent coexister, y compris au sein d'une même cavité.

6.4. Mains, animaux et signes

Un autre point important de cette analyse des mains négatives est la possibilité qu'elle offre de comparer leur dynamique spatiale avec celle des autres motifs pariétaux présents dans les cavités au Paléolithique récent, comme les animaux et les signes. Il va de soi que cette comparaison, pour être la plus systématique possible, nécessiterait une analyse des autres groupes de motifs par les mêmes procédés. Faute de pouvoir déterminer avec précision la localisation de tous les motifs de la cavité et d'appliquer une analyse spatiale exhaustive similaire à celle des mains[87], je peux cependant noter plusieurs points.

Tout d'abord, j'ai procédé à l'analyse spatiale de certains motifs animaliers, afin de mettre en perspective les résultats obtenus quant à la grande visibilité et accessibilité des mains négatives. Ceci, pour voir si celles-ci étaient partagées avec les autres représentations de la grotte et évaluer les chiffres obtenus à la lumière de la comparaison. Pour ce faire, j'ai sélectionné deux figures de la grotte d'El Castillo correspondant aux types de distribution des figures animales selon Intxaurbe *et al.* (2024), présentant des configurations spatiales spécifiques[88] : un cheval acéphale gravé sur le sol dans le *Tréfonds*, et une tête de bison, située dans un diverticule de la *Salle C*, la *Bauge des Ours* (Figure 201).

[87] Ce travail nécessiterait en effet un temps considérable, avec pas moins de 2,698 motifs recensés dans la cavité (Groenen & Groenen, 2025). Il me semble cependant qu'il serait tout à fait pertinent de s'atteler à ce type d'étude exhaustive, dans des travaux futurs.

[88] Ce travail, après une analyse spatiale similaire à celle qui fut entreprise ici, identifie pour l'art pariétal magdalénien quatre groupes de figures, sur base de leurs caractéristiques icono-topographiques. D'une part, des figures tendant à la visibilité et une facilité de lecture pour un potentiel public, complètes et détaillées, d'accès relativement facile. D'autre part, des figures qui semblent avoir été créées avec une intention différente, cachées ou difficilement visibles. Elles sont souvent difficiles à identifier, incomplètes et loin de l'entrée des cavités. Enfin, deux groupes caractérisés par leur technique, la gravure et le modelage dans de l'argile, avec des figures présentes en fond de grotte.

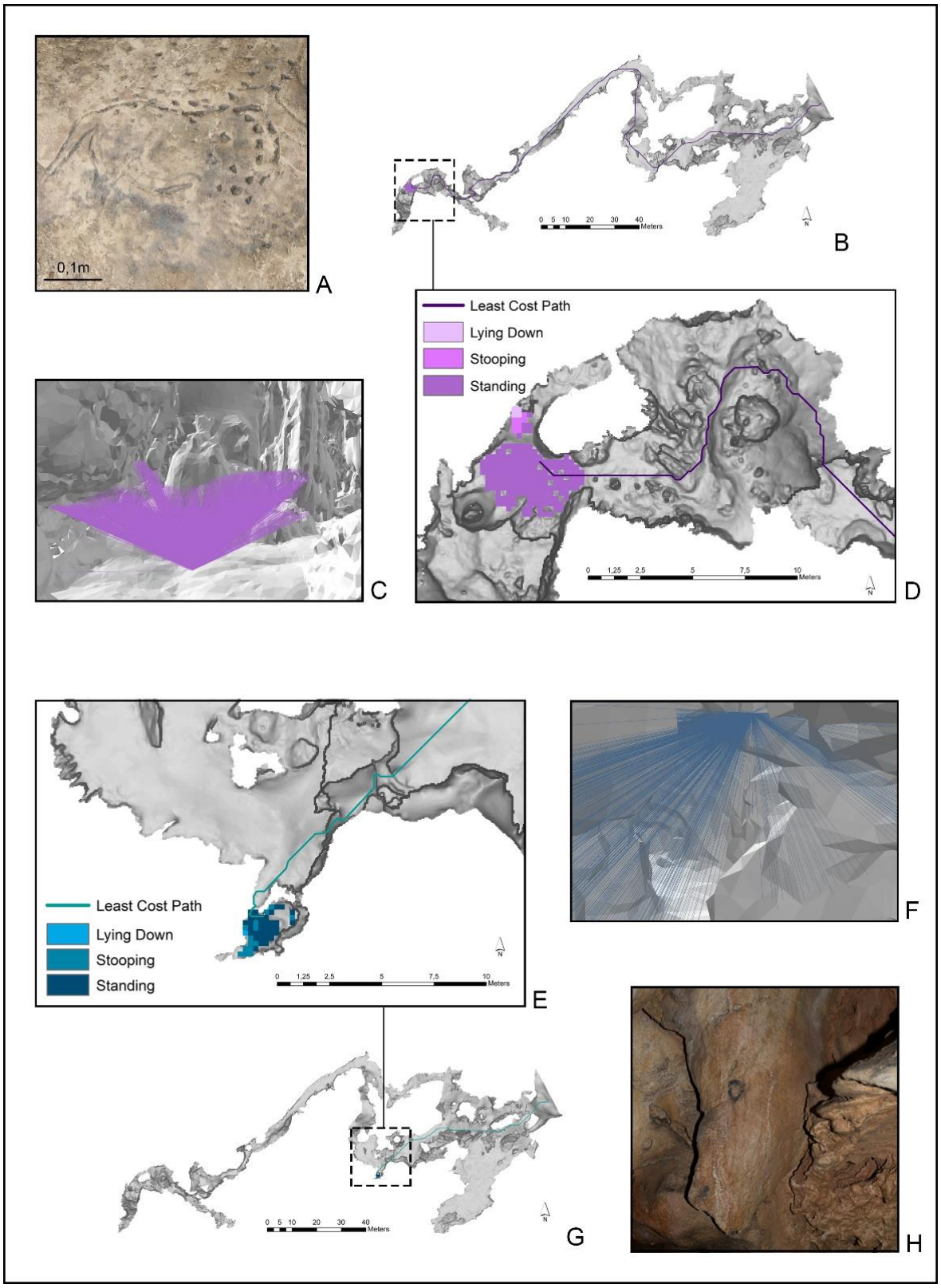


Figure 201. Comparaisons avec d'autres motifs. **A**. Cheval acéphale gravé sur le sol dans le *Tréfond*s. **B**. Carte de la grotte où sa situation est mise en évidence, montrant le LCP traversant la grotte pour y accéder. **C**. Détail de sa situation où l'on peut apprécier, en violet, les zones de visibilité du motif. **D**. Vue des *Lines of Sight* [lignes de visée] en violet correspondant aux zones de visibilité des trois positions (couché, debout, debout). **E**. Détail de la situation de la tête de bison située dans la *Bauge des Ours*, où l'on peut voir, en bleu, ses zones de visibilité restreintes. **F**. Vue des *Lines of Sight* en bleu correspondant aux zones de visibilité des trois positions. **G**. Carte de la cavité où son emplacement est souligné, avec son LCP. **H**. Tête de bison, utilisant une forme naturelle de la roche, avec son œil et son nez dessinés au pigment noir (© M. Groenen).

Les résultats de l'analyse spatiale de ces figures contrastent avec ceux recueillis pour les mains (Tableau 25). Le cheval a donné un taux d'accessibilité de 176,82, étant situé dans la zone la plus profonde de la cavité (276,55 mètres). Quant au bison, il se distingue en termes de visibilité, ne permettant que la présence d'un maximum de 3,85 observateurs. De plus, il est situé en dehors du chemin général de la cavité, nécessitant d'entrer dans ce diverticule en cul-de-sac.

Tableau 25. Détail de difficulté d'accès, de profondeur et de visibilité maximale de certains motifs de la grotte d'El Castillo.

Motif/Zone	**Difficulté** $(\frac{1}{m/s})$	**Profondeur** (m)	**Visibilité maximale** (individus)
Plafond des Mains (panneau entier)[89]	4,59	63,41	31,03
Main négative 77 (*Galerie des Disques*)	67,11	167,47	16,83
Cheval acéphale (*Tréfonds*)	**176,82**	**276,55**	15,63
Tête de Bison (*Bauge des Ours, Salle C)*	60,59	91,79	**3,85**

Évidemment, cette comparaison, sans doute anachronique, n'a pas pour but d'établir des conclusions générales par rapport aux représentations animales dans l'art paléolithique. En effet, les bisons présents sur le *Plafond des Mains*, par exemple, partageront leur haute visibilité, tout comme les signes de la *Galerie des Disques* partageront l'accessibilité de la main située dans cette zone. Cependant, elle me permet de mettre nos chiffres en perspective: l'homogénéité en termes d'accessibilité des mains négatives et leur haute visibilité générale n'est pas une caractéristique partagée par tout l'art pariétal paléolithique. Par exemple, le bison en argile d'Aizpitarte IV (Garate et al., 2018), réalisé dans un espace très réduit et difficile d'accès, ou la tête de cheval du Pergouset (Lorblanchet, 1997), réalisée « à l'aveugle » dénotent une logique spatiale différente. En d'autres termes, l'accessibilité et la visibilité des mains sont le résultat d'un choix délibéré de la part de leurs auteurs.

[89] Les données présentées sur cette ligne sont celles du *Plafond des Mains* considéré comme un tout, c'est-à-dire de la photogrammétrie de sa surface entière. La difficulté et la profondeur sont calculées depuis son centre et la visibilité maximale est celle du nombre d'individus pouvant voir simultanément entre 66 et 100% de sa surface.

D'autre part, à une échelle plus générale, encore pour la grotte d'El Castillo, il est également possible d'évaluer la distribution des figures sur le plan de la cavité, sur base de l'observation de Groenen & Groenen (2019) sur la localisation de plusieurs ensembles de motifs (Figure 202 et Figure 203). Ce travail situe d'une part les triangles arrondis, d'autre part les biches striées, troisièmement les quadrangulaires cloisonnés et enfin les figures jaunes. Il est ainsi intéressant d'observer que les schémas de distribution de ces groupes de motifs ne sont pas identiques : ils sont tous répartis dans des zones distinctes de la cavité. Les biches striées, attribuées grâce à leur parallèle dans l'art mobilier au Magdalénien inférieur cantabrique, sont par exemple rassemblées dans le *Diverticule de la Salle A* et la partie de la *Salle A* adjacente au *Toboggan*[90], à la différence des triangles arrondis ou des quadrangulaires cloisonnées, absents dans ces galeries.

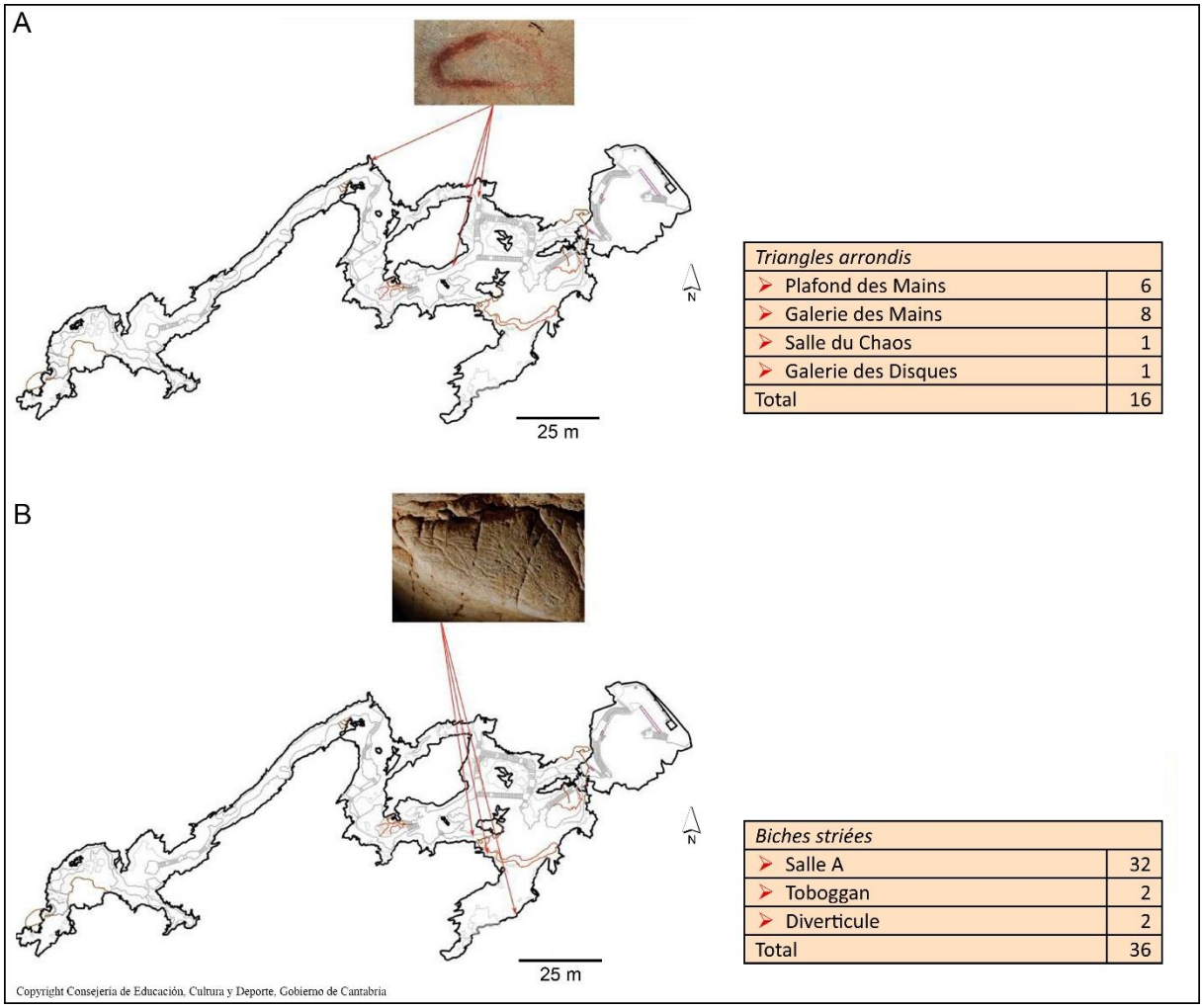


Figure 202. Distribution d'une série de motifs sur le plan de la cavité d'El Castillo d'après Groenen (2019). **A**. Triangles arrondis. **B**. Biches striées.

[90] Certaines figures du *Plafond des Mains* pourraient également potentiellement rejoindre ce groupe, mais je ne peux l'affirmer avec sécurité sans effectuer une étude plus poussée.

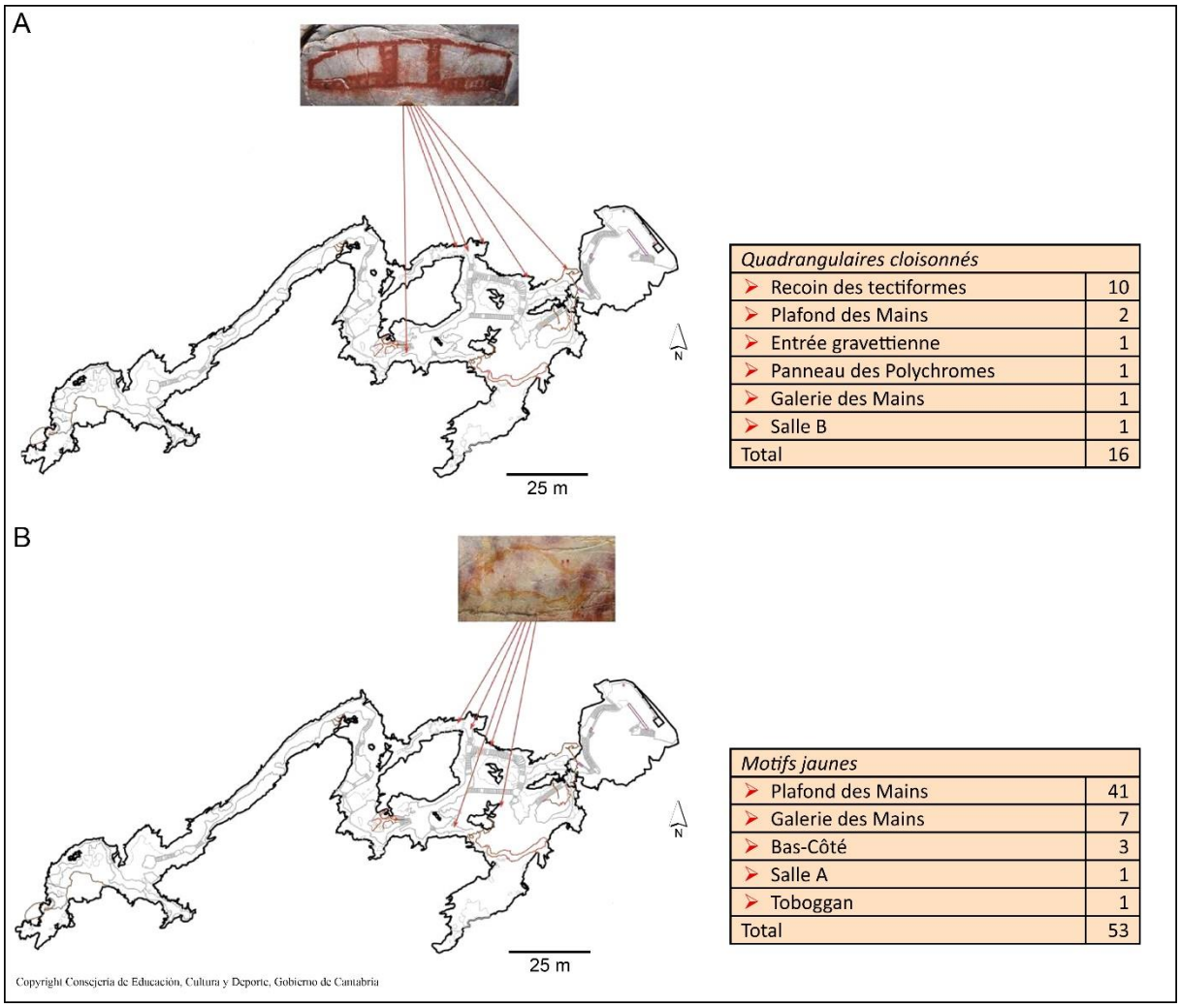


Figure 203. Distribution d'une série de motifs sur le plan de la cavité d'El Castillo d'après Groenen (2019). **A**. Quadrangulaires cloisonnés. **B**. Motifs jaunes.

Un autre exemple, celui de l'absence de tous ces groupes de motifs dans les secteurs profonds de la cavité, comme la *Salle Finale* ou le *Tréfonds*, pourtant également ornés par ailleurs, vient illustrer qu'il s'agit d'un choix : les groupes paléolithiques avaient la capacité d'atteindre et d'orner toutes les zones de la cavité, mais ils l'ont fait de façon différenciée. Ces choix diffèrent en fonction des motifs, et il semble que les logiques de choix observées pour les mains négatives ne soient donc pas communes à tous les motifs de la cavité, en termes d'accessibilité et de visibilité. A côté de ces facteurs, d'autres éléments, aujourd'hui encore inconnus, sont intervenus, pour justifier la sélection de certaines parois au détriment d'autres.

Par rapport aux parois ornées de façon intensive, de différents types de motifs, l'étude des superpositions du *Plafond des Mains* (Díaz-González & Garate, 2025) montre que les mains négatives sont toujours situées par-dessous, que ce soit par rapport aux figures jaunes (Figure 204), aux signes (Figure 205) ou aux gravures (Figure 206 et Figure 207).

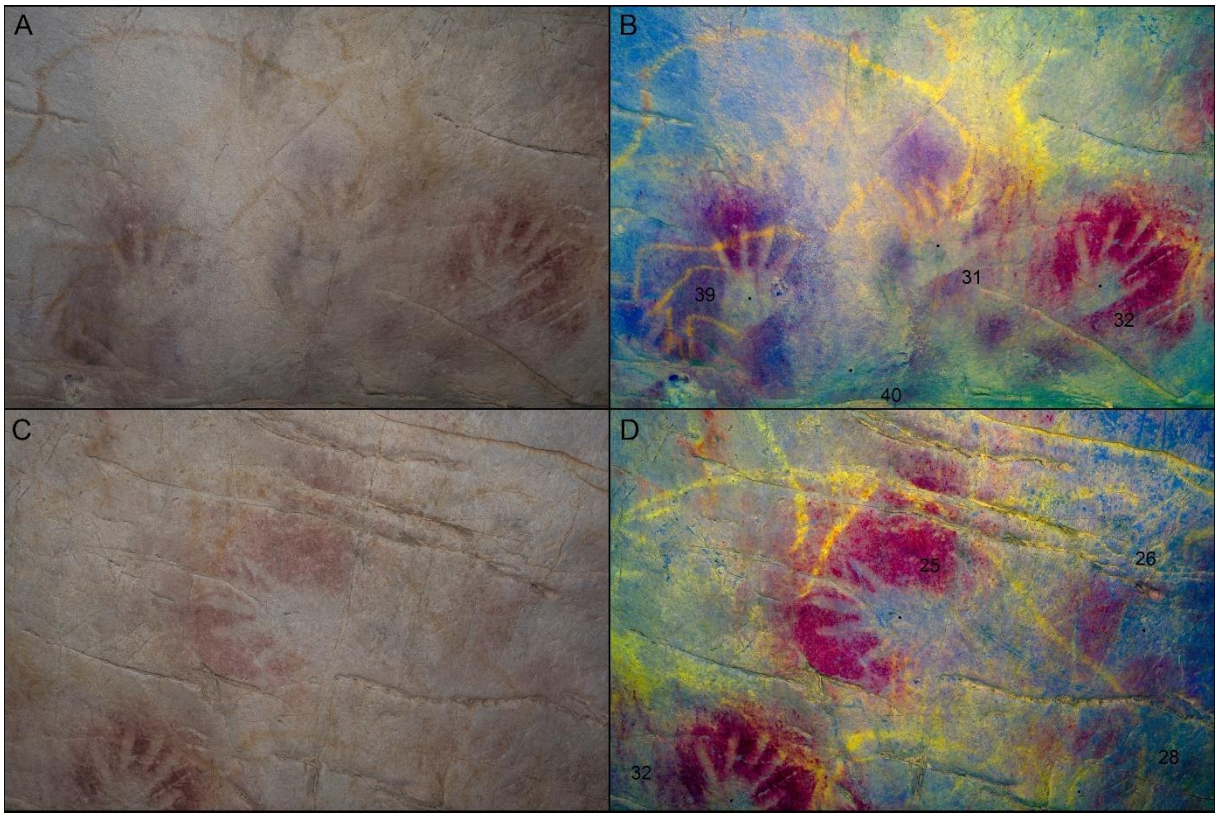


Figure 204. Détails du *Plafond des Mains* où on peut observer les bisons jaunes qui recouvrent les mains négatives 25, 26, 29, 32, 39 et 40. **A**. et **C**. Photographies sans traitement. **B**. **et C**. Photographies traitées avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds*.

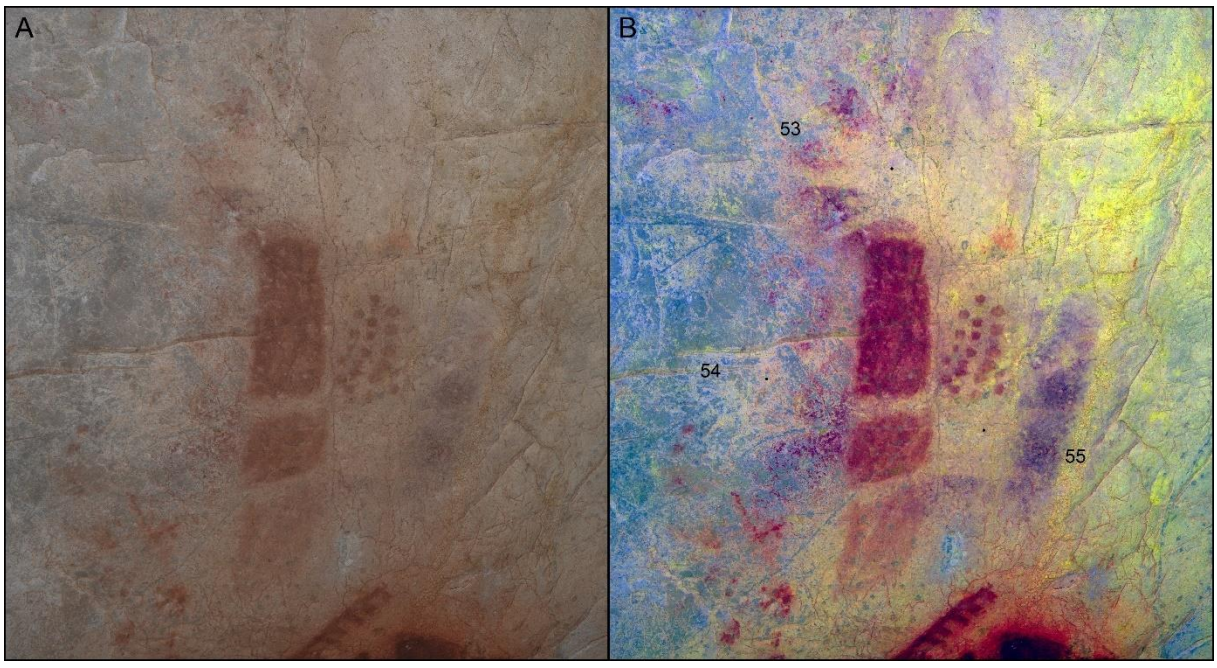


Figure 205. Détail du *Plafond des Mains* où on peut observer des signes quadrangulaires et des ponctuations qui recouvrent les négatifs ou halos des mains 53, 54 et 55. **A**. Photographie sans traitement. **B**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds*.

Cette observation, effectuée déjà par Breuil (1952) lors de l'établissement de sa *stratigraphie pariétale*, permet d'évaluer l'importance des mains négatives lors du choix de l'emplacement des autres motifs : celles-ci étant présentes avant ces derniers, elles peuvent avoir ou non été prises en compte. Plusieurs cas de figure étaient possibles : les mains pouvaient être évitées, recouvertes complètement ou simplement ignorées. Il semble que c'est ce dernier cas de figure qui a eu lieu pour les trois types de motifs observés ici : les figures sont tantôt juxtaposées aux mains, tantôt elles les recouvrent partiellement, tantôt elles sont situées sur des tronçons de paroi qui n'en comptent aucune. La présence des mains a peut-être influencé le choix des parois en général (par exemple par une importance symbolique d'espaces déjà ornés), mais on n'observe pas de constante dans le rapport à ces figures, ni de respect de celles-ci, dans l'optique d'une tentative d'éviter leur recouvrement, ou de les recouvrir à tout prix : elles semblent indépendantes.

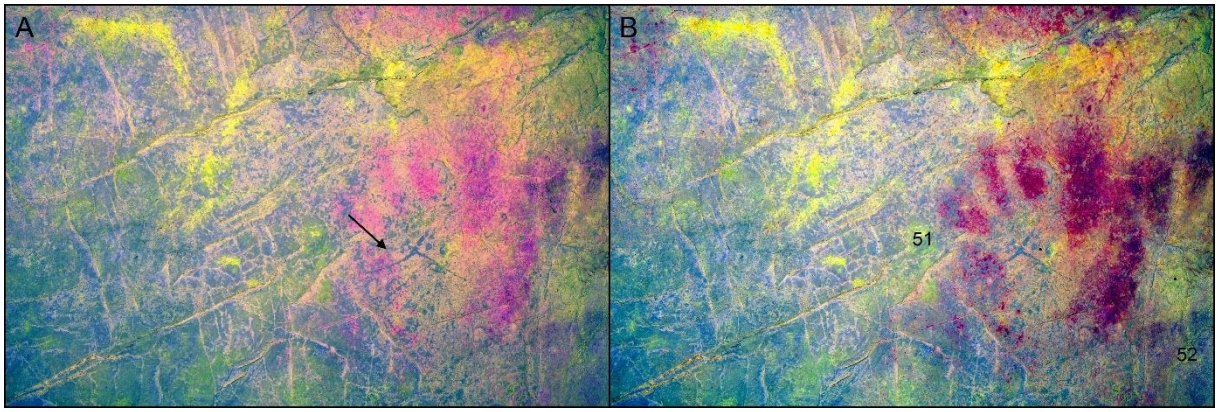


Figure 206. Détail du *Plafond des Mains* où on peut observer une tête de biche gravée superposée à la main négative 51. **A**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *ybk*. La flèche indique la tête de biche orientée vers la droite avec son cou, ses deux oreilles en *v*, son chanfrein et son œil. **B**. Même photographie, traitée cette fois dans la gamme de couleurs *lds* pour mettre en avant la couleur rouge et la forme des mains négatives 51 et 52.

De plus, si certains espaces, comme le *Plafond des Mains* ou le *Panneau des Polychromes*, avec de nombreuses mains, sont en effet abondamment ornés, d'autres, comme certaines parois du fond de la *Galerie des Mains* ou du *Carrefour*, ne présentent pas d'autres figures que les mains. La présence ou l'absence de mains négatives, à l'heure d'effectuer d'autres motifs postérieurs, ne semble donc pas avoir constitué un facteur déterminant. Tout se passe donc comme si ce furent les espaces mêmes, plutôt que les mains, qui orientèrent le choix du placement des motifs postérieurs aux mains négatives, leurs logiques de distribution différant de celles des mains.

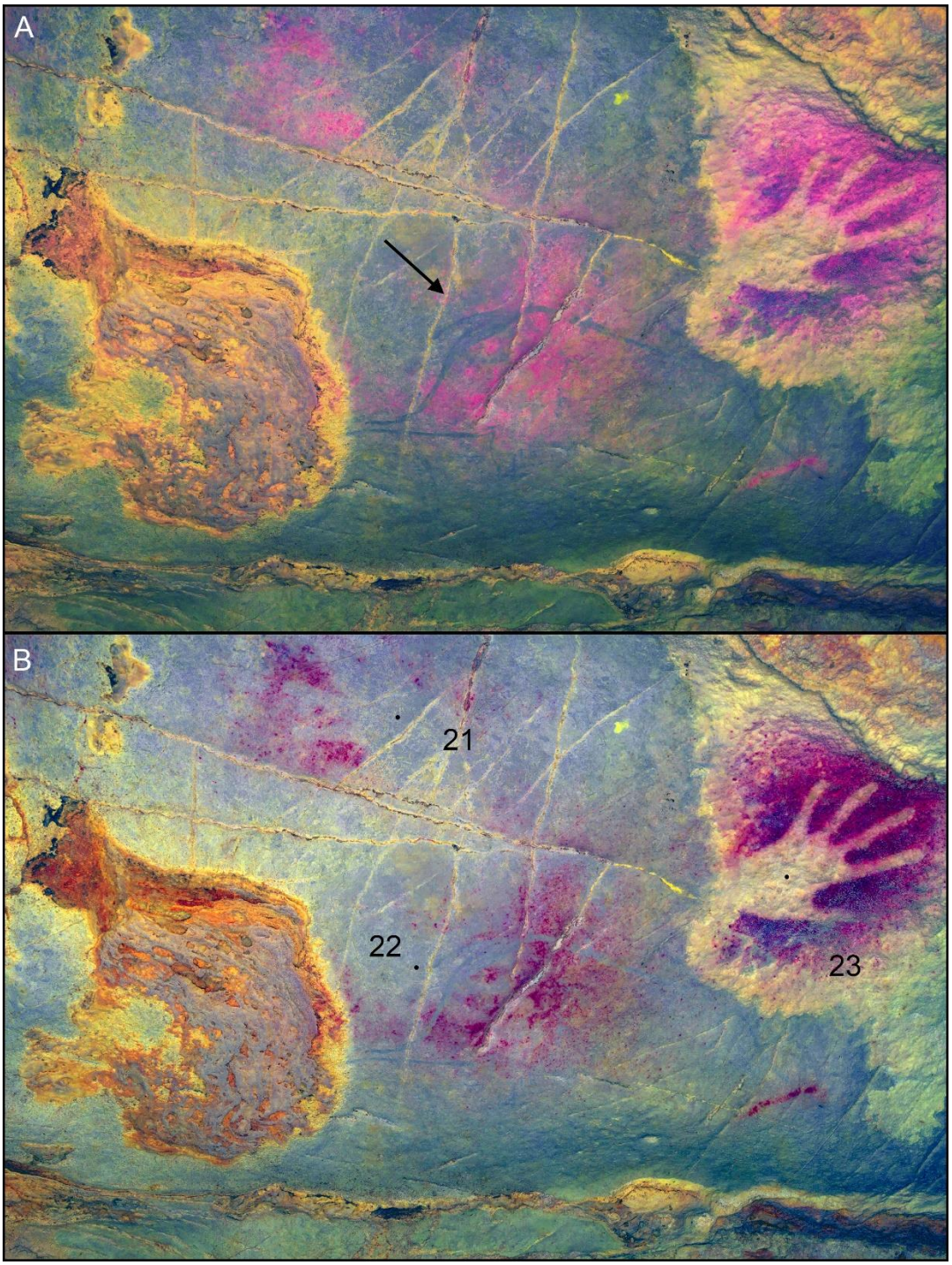


Figure 207. Détail du *Plafond des Mains* où on peut observer un animal indéterminé gravé qui recoupe la main négative 22. **A**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *ybk*. La flèche situe l'animal à la hauteur de son fessier, avec l'indication de sa queue. On peut également observer sa patte arrière et son garrot, avec un cou penché vers l'avant (vers la droite). Il semble être acéphale. **B**. Même photographie, traitée cette fois dans la gamme de couleurs *lds* pour mettre en avant la couleur rouge et la forme des mains négatives 21, 22 et 23 ainsi que le trait rouge sous la main 23.

Une comparaison de l'organisation spatiale des motifs animaliers et des signes avec celle des mains négatives est également possible à Fuente del Trucho, dont le *corpus* ne se limite pas aux mains négatives : la cavité fut aussi gravée sur certaines zones de sol et des animaux et signes furent peints sur son plafond. Or, contrairement à El Castillo où, nous l'avons vu, la chronologie

des motifs est difficile à établir (avec de nombreux épisodes de figuration diachroniques), les datations de Fuente del Trucho[91] semblent indiquer une relative homogénéité chronologique (Hoffmann et al., 2017, Tableau 26).

Tableau 26. Datations U-Th de Hoffmann et al. (2017) à Fuente del Trucho.

Sample	Panel/Motif	Motif (calcite overlay)	Minimum age (years)
FT-1[a]	III/10	Red hand stencil with partial representation of the fingers	25.110
FT-1b	III/10	Red hand stencil with partial representation of the fingers	26.050
FT-2b	III/10	Red hand stencil with partial representation of the fingers	25.200
FT-2c	III/10	Red hand stencil with partial representation of the fingers	25.720
FT-3	VI/5	Red dot and trefoil sign	23.950
FT-4[a]	VI/5	Red trefoil-shape	24.300
FT-4b	VI/5	Red trefoil-shape	24.550
FT-5	VII/12	Red zoomorph (elongated-muzzle horse)	29.160
FT-6	VII/54	Red dot set	25.770
FT-7	VII/54	Red dot set	31.170
FT-8	VII	Red hand stencil	26.400
FT-9	VII	Red hand stencil	26.730
FT-10	VII/60	Red hand stencil with forearm	26.240
FT-11	VII	Red hand stencil	27.370

Pour procéder à l'analyse spatiale des figures animales et des signes, je les ai localisés, comme pour les mains négatives, sur l'orthoimage du plafond (Figure 208, A) puis sur l'objet tridimensionnel texturisé (à résolution plus faible, cf. Figure 208, B).

Les figures sont distribuées sur toute la longueur du plafond (Figure 210 et Figure 211). Au niveau de leur distribution, par rapport aux mains négatives (Figure 209), elles sont situées proches de celles-ci, sans toutefois être entremêlées (comme les mains peuvent l'être entre elles). De plus, certains animaux et signes sont situés dans des zones vierges de mains négatives. Les signes trilobés, en revanche, sont systématiquement proches de représentations animales. Cette légère différence dans les logiques de localisation suggère une différenciation de fonction symbolique entre ces types de figures.

[91] Je ne reviendrai pas ici sur mes réserves quant à la datation U-Th, mais il faut constater que dans certains cas les datations obtenues par cette méthode sont plus cohérentes, en vue des différents ordres d'indices en présence. La Fuente del Trucho pourrait être un exemple pour lequel la calcite formée a bien constitué un système clos permettant dès lors des datations plus fiables que dans d'autres sites. La fourchette de dates obtenue, cependant, est assez large, ce qui pose des questions quant à l'ampleur chronologique du phénomène, ou, plus probablement, de la précision de la (méthode de) datation.

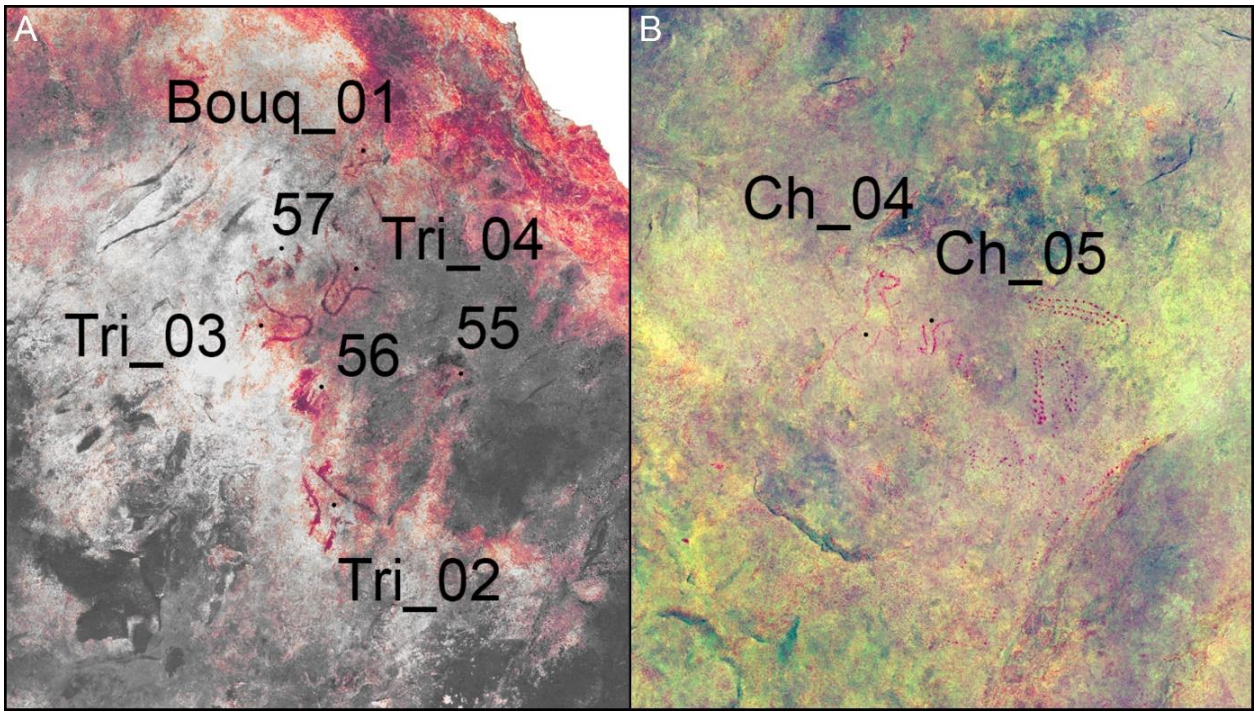


Figure 208. Processus de géolocalisation des motifs d'animaux et des signes sur le modèle tridimensionnel de Fuente del Trucho. **A**. Situation du bouquetin et des signes trilobés 2, 3 et 4 et des mains négatives 55, 56 et 57 sur l'orthoimage traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *yds*, modifiée pour mettre en valeur le pigment rouge. **B**. Situation des chevaux 4 et 5 sur l'orthoimage traitée dans la gamme de couleurs *lds*.

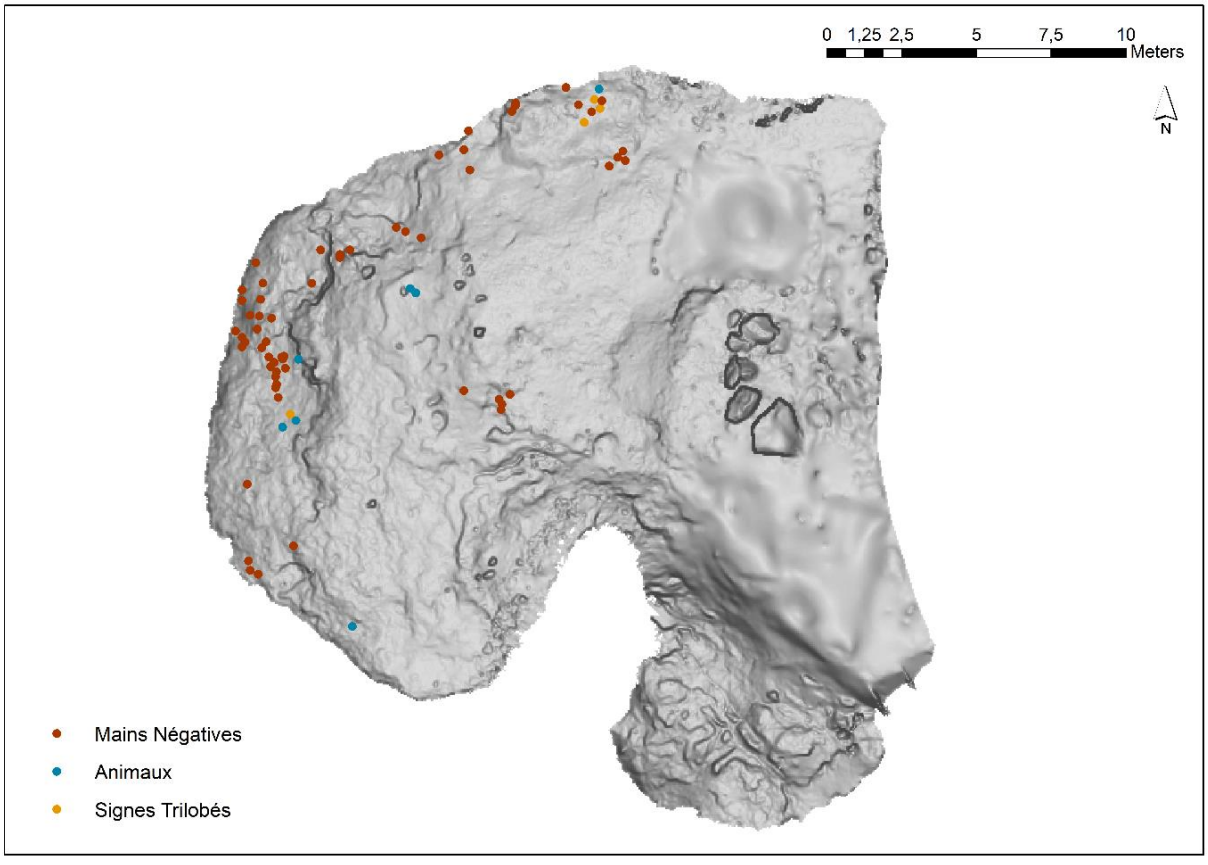


Figure 209. Comparaison de la position des figures de Fuente del Trucho



Figure 210. Situation des figures animales et des signes trilobés sur le plafond de Fuente del Trucho.

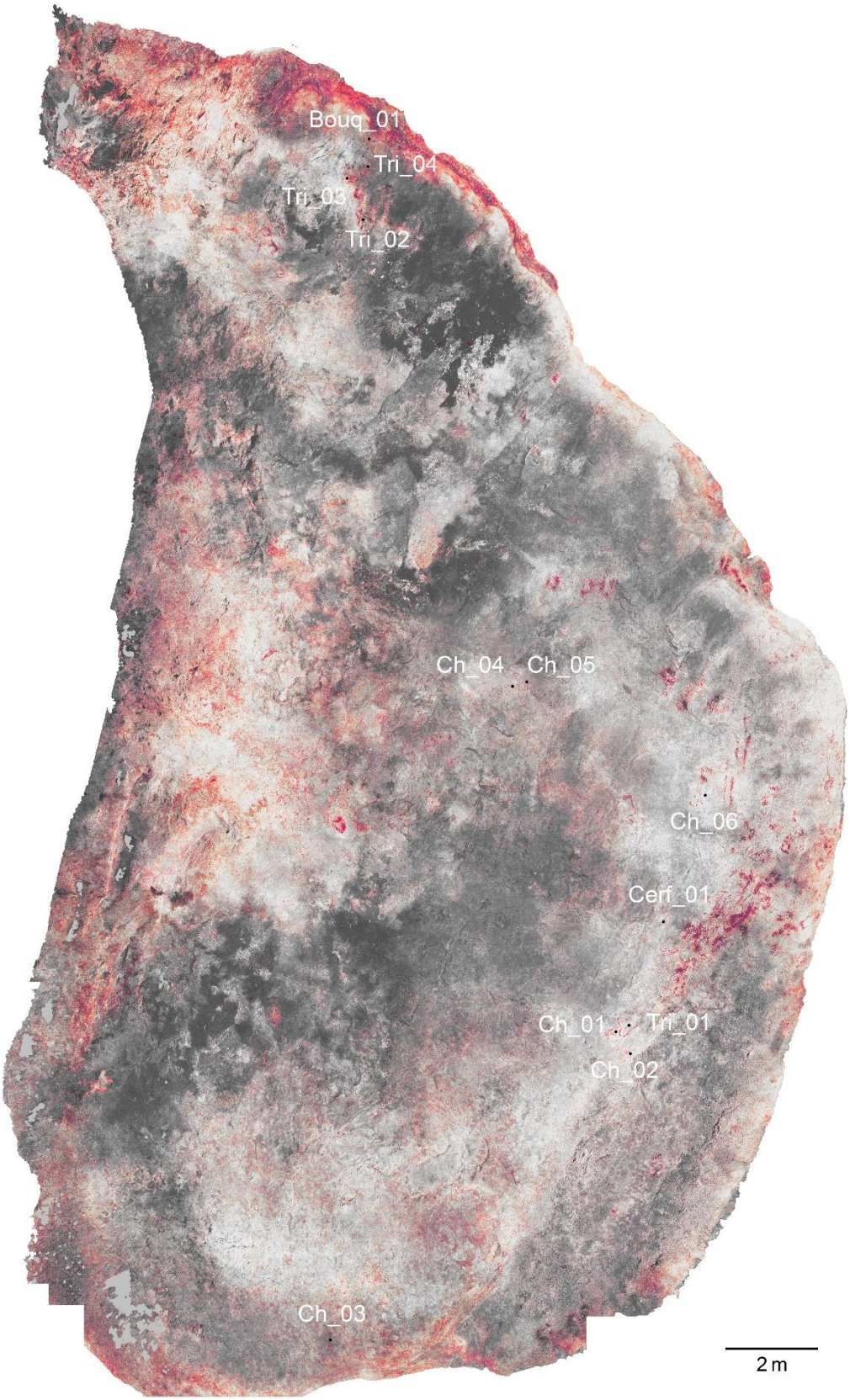


Figure 211. Situation des figures animales et des signes trilobés sur le plafond de Fuente del Trucho, image traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *yds*, et en éteignant la saturation des autres gammes de couleurs, pour mettre en valeur le pigment rouge.

Enfin, à Fuente del Salín, mises à part les mains négatives et positives, une seule autre représentation est connue à ce jour : un motif non-figuratif, situé dans une partie bien plus profonde du réseau que l'ensemble des mains. Sa localisation n'est pas encore définie avec précision, mais elle est prévue dans les travaux futurs, quand l'accès à la cavité sera à nouveau possible. Entre-temps, il est possible d'observer encore une fois que les mains négatives se distinguent dans leur organisation spatiale des autres types de motifs.

Dans ces trois cavités, donc, les éléments en présence tendent vers une réponse affirmative pour l'hypothèse (vii) :

(vii) Les mains négatives répondent à des critères de répartition spatiale différents de ceux régissant la distribution des animaux ou des signes.

6.5. Exécutants multiples, diachronie et fonction(s) des mains négatives

Dans l'ensemble, si je n'ai pas l'ambition d'établir les grandes règles de distribution du phénomène des mains négatives en général, comme précisé plus haut, les données récoltées dans le cadre de ce travail me permettent cependant de réfuter, pour les trois cavités analysées, l'hypothèse de la création de ces motifs par une seule personne. Au contraire, la présence de différents groupes d'âge indiquent la contribution de nombreux individus différents.

Cependant, la réalisation diachronique ou synchronique de ces actions ne peut être définie avec certitude. En effet, différents éléments suggèrent des interprétations contraires.

Ainsi, la présence de différentes compositions de pigments pour les peintures observées à Gargas et Tibiran (Clot et al., 1995; Foucher et al., 2007) ou à Maltravieso (Collado Giraldo & García Arranz, 2022), tout comme l'utilisation de couleurs différentes dans de nombreuses cavités (Gargas en présentant le plus) indiquent plutôt une réalisation diachronique des motifs[92], par différentes interventions, potentiellement au cours d'une période de temps longue, en ligne avec les suggestions des travaux de Foucher et al. (2007), Groenen (2011) et Collado Giraldo et García Arranz (2022).

Cependant, d'autres éléments suggèrent au contraire que plusieurs mains ont pu être réalisées durant un même épisode de décoration. Par exemple, les mains en miroir à Fuente del Trucho (et potentiellement les trois mains noires rassemblées) ou la composition de mains d'adultes et

[92] Il est bien entendu tout à fait possible qu'un même groupe utilise plusieurs couleurs, comme le démontre l'existence de nombreuses figures polychromes dans l'art pariétal paléolithique (e.g. Lascaux, Altamira, Font-de-Gaume, etc.). Cependant, la présence de différentes recettes de peinture pour une même couleur ouvre la possibilité que différentes couleurs puissent correspondre également à différents groupes.

d'enfants de Fuente del Salín (Figure 196, p. 337). Il en va de même pour la visibilité des nombreuses mains depuis le foyer de cette dernière cavité, ou pour celles de la *Galerie des Mains* d'El Castillo, dont le jalonnement le long du couloir pourrait être le reflet d'une conception holistique.

Dans ce cadre, de nombreuses propositions interprétatives sont possibles, comme celle des travaux de Gregg (2008) et Taçon *et al.* (2014) suggérant que les mains pouvaient être le résultat d'une volonté de laisser son empreinte personnelle. L'idée qu'elles soient le reflet d'une démarche d'appropriation d'un lieu, ou que c'était simplement l'action de les réaliser qui était significative en elle-même, proposées par des travaux de Clottes & Lewis-Williams (1996) sont aussi intéressantes. Ces hypothèses sont plausibles, mais nous n'avons actuellement que peu d'éléments pour les appuyer.

L'idée formulée dans les publications de Manhire (1998) et Guthrie (2005) d'une cérémonie de guérison ou d'initiation pourrait aussi être compatible avec les données en présence, particulièrement dans le cas de Fuente del Trucho avec ses nombreuses mains d'adolescents et d'enfants.

Ensuite, l'hypothèse de Leroi-Gourhan (1967) proposant que les mains aux doigts repliés pourraient représenter un symbole, ou celle avancée dans les travaux de Etxepare et Irurtzun (2021) suggérant un système de communication sont aussi à considérer. Celles-ci pourraient être adressées par le déchiffrage de chaque main individuellement, ou par petits groupes. La présence répétitive de certains motifs particuliers (qui dépassent l'échelle intra-site), comme les combinaisons *llll ou liii* pourrait, en effet, aller dans le sens d'un système codifié.

Enfin, l'hypothèse des mains comme répondant à la fonction d'une forme de balisage n'est pas écartée pour un cas précis, mais ne s'avère pas convaincante pour la grande majorité des motifs, comme discuté ci-dessus (section 6.3.3).

Cependant, il faut souligner que, malgré l'intérêt de ces théories interprétatives, nombreuses sont les significations possibles qui coexistent dans d'autres cultures. Les exemples de l'art rupestre aborigène australien le démontrent, avec notamment les dix exemples de fonctions de mains négatives (Moore 1977), ou l'existence de significations très différentes pour une même forme de main dans les langues des signes aborigènes (Green, 2021). Il est donc fort probable que les mains négatives paléolithiques soient en réalité le reflet de différentes traditions sociales juxtaposées, difficiles à démêler aujourd'hui.

C'est aussi l'impression que donne la présence des différentes dynamiques spatiales observées dans le cadre de ce travail, avec à la fois des zones abondamment ornées, les mains en groupe, remarquées déjà par plusieurs auteurs (Leroi-Gourhan, 1967, 1992; Barrière, 1977; Groenen, 1990, 2011, 2016; Delluc, 2006; Foucher et al., 2007; Clottes, 2008; Collado Giraldo, 2018) et à la fois la possible utilisation comme balisage topographique des exemplaires de la *Galerie des Mains*, ou encore l'espace du foyer tout entouré de mains de Fuente del Salín, auquel s'ajoute une zone ornée plus excentrée. La présence, par ailleurs, de mains semblant répondre à d'autres dynamiques, moins visibles et en relation avec les reliefs de la paroi, comme les mains 9, 63 et 64 d'El Castillo ou encore les mains 2, 3 ou 4 de Fuente del Salín, vient compléter ce palimpseste. Certains exemples se démarquent ainsi, paraissant indiquer une certaine liberté du phénomène. Plutôt qu'un système rigide et unique de localisation des mains, on observe un système général entrecoupé de quelques anomalies : des relations entre les motifs, des trios, des jeux avec la paroi. Ceux-ci pourraient être le reflet de la juxtaposition de plusieurs systèmes, ou celui d'une dynamique de placement aux règles fluides permettant l'expression d'enjeux plus ponctuels ou uniques.

6.6. Réseaux culturels

Enfin, les données particulières des mains aux doigts manquants de Fuente del Trucho permettent de proposer des hypothèses sur de potentiels réseaux d'échanges ou déplacements avec d'autres sites ornés.

En effet, la complexité du système de combinaisons de doigts que les mains présentent est d'un intérêt particulier. Les analyses statistiques, cependant, n'ont fait ressortir aucun modèle clair quant à leur organisation, pour ce qui est de leur latéralité, des groupes d'âge, des situations des mains, de leur visibilité, accessibilité, etc. Aucun patron d'agencement en lien avec les motifs ne fut observé, à l'exception du groupe de trois mains gauches noires (40, 41 et 42) rassemblées (Figure 212).

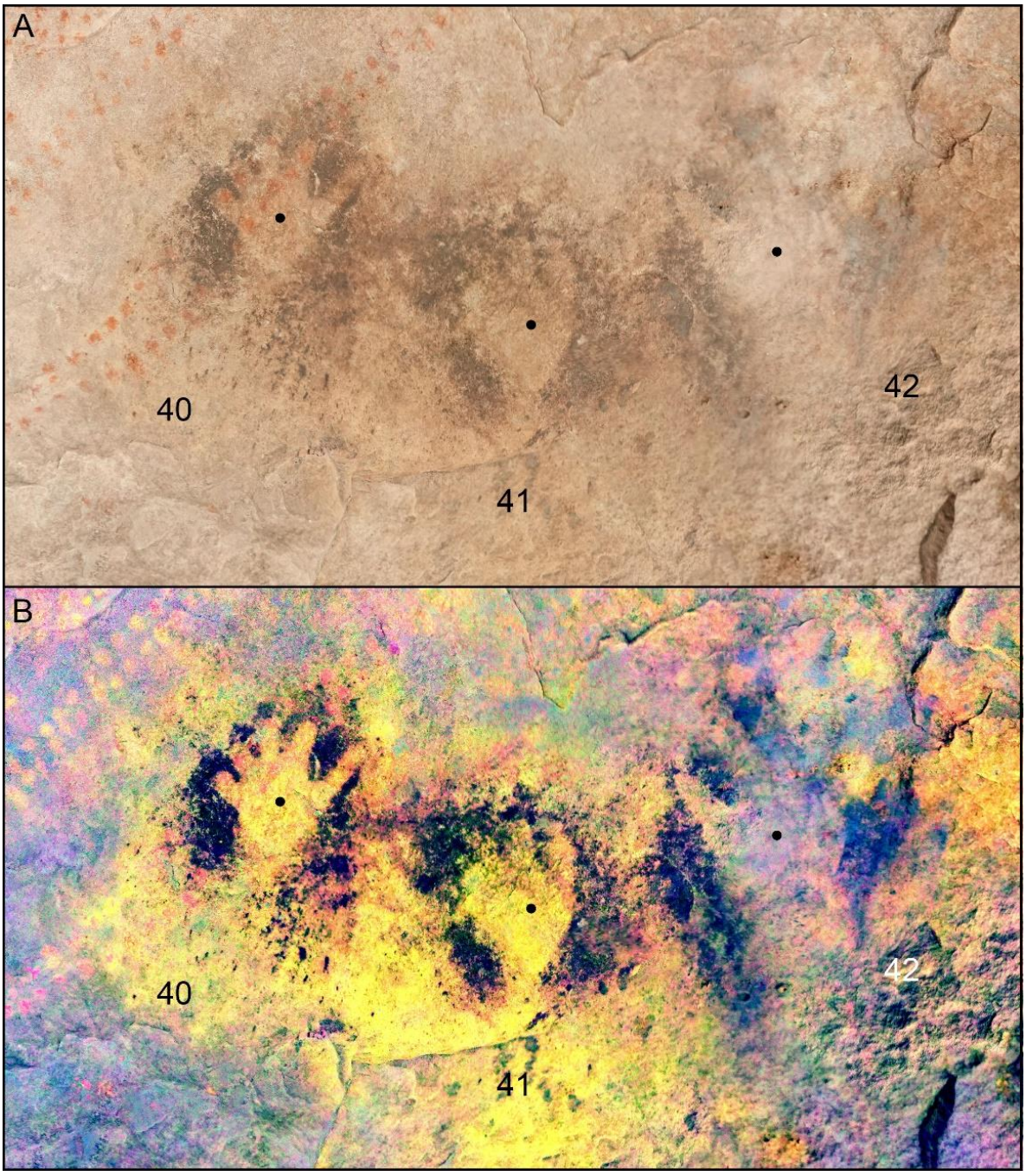


Figure 212. Mains 40, 41 et 42 de Fuente del Trucho. **A**. Photographie non-traitée. **B**. Image traitée avec le avec le plug-in *DStretch*® pour le programme *ImageJ*® en utilisant le spectre de couleur synthétique *ybk* pour rehausser la couleur noir.

Je formule l'hypothèse que ce groupe soit le résultat d'une action unique de figuration, c'est-à-dire de leur synchronie, au vu de leur homogénéité (technique, couleur noir, emplacement, combinaisons, état de conservation). Une analyse plus poussée, par exemple à travers la linguistique, de ces motifs permettrait peut-être d'ouvrir de nouvelles pistes de développement.



Figure 213. Mains négatives de la grotte de Gargas figurant différentes combinaisons de doigts (© Y. Rumeau).

J'observe cependant également une autre caractéristique très intéressante sur cet aspect des doigts manquants : il s'avère que, mis à part la main aux doigts complets (12 exemplaires), une autre combinaison se distingue, la combinaison *liiii*, c'est-à-dire avec le pouce complet et tous les autres doigts repliés (11 exemplaires, donc 31% du total de mains lisibles). Or, cette combinaison est également la plus représentée à la grotte de Gargas (Figure 213, Figure 215 et Figure 216), selon les travaux de Leroi-Gourhan (1967) et Groenen (1988), ceux-ci notant respectivement 44 et 52 exemplaires de cette figuration (Tableau 27) (c'est à dire 47% du total des mains lisibles dans les deux cas).



Figure 214. Mains négatives aux doigts manquants de la grotte de Cosquer (Bouches-du-Rhône) (© DRAC Paca - SRA/L. Vanrell).

Dans la grotte de Cosquer (Figure 214), plus loin vers l'est, cette combinaison fait également partie des 5 configurations représentées, mais avec moins de fréquence (4 exemplaires , c'est à dire 7,5% du total de mains lisibles).

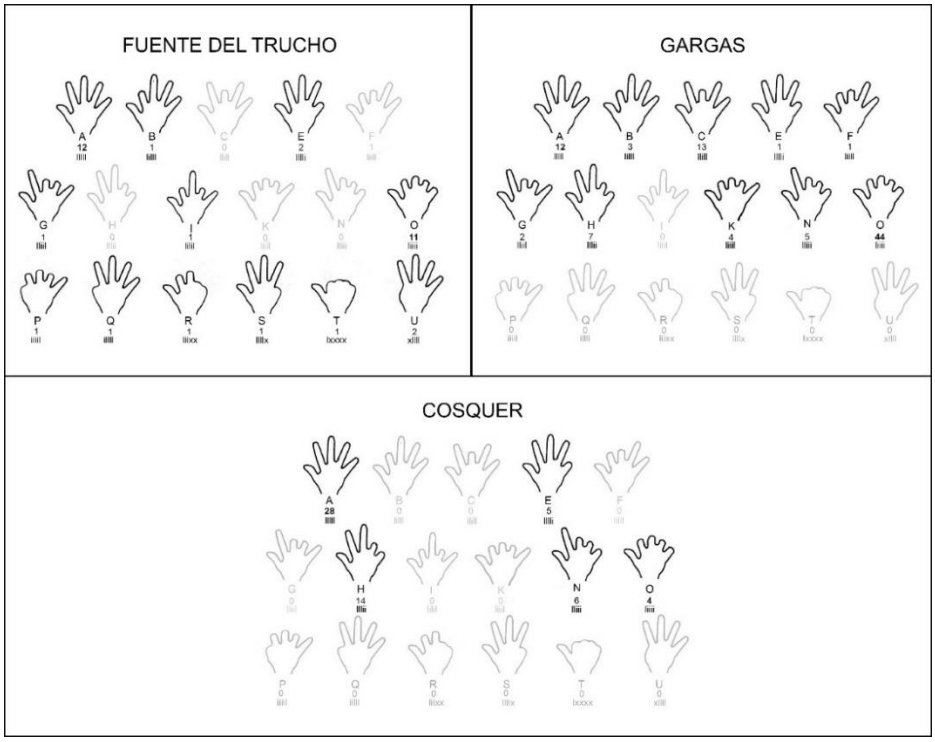


Figure 215. Représentation des combinaisons de doigts de Fuente del Trucho, Gargas et Cosquer selon cette étude, celle de Leroi-Gourhan (1967) et celle de Clottes *et al.* (2005).

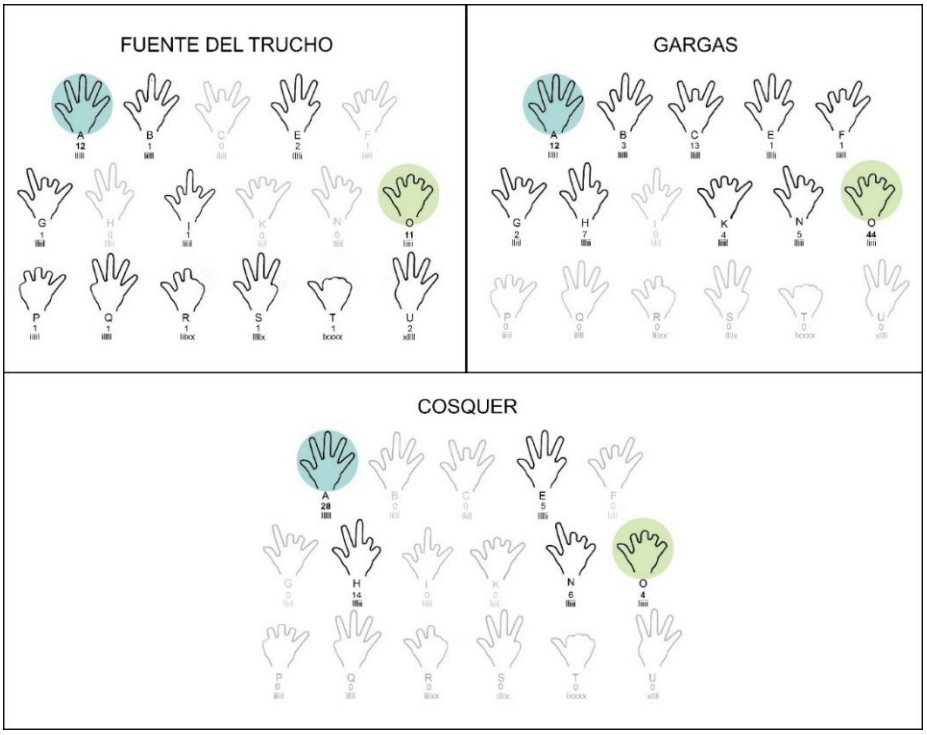


Figure 216. Représentation des combinaisons de doigts de Fuente del Trucho, Gargas et Cosquer. En bleu et vert sont soulignées les combinaisons communes aux trois cavités les plus fréquentes, avec le nombre d'exemplaires de chaque, selon cette étude, celle de Leroi-Gourhan (1967) et celle de Clottes *et al.* (2005).

La grotte de Gargas, constituant à ce jour la cavité au plus grand nombre de mains négatives paléolithiques (231 exemplaires selon Groenen (1990)), présente, en plus de mains négatives aux doigts manquants, des couleurs similaires à celles de Fuente del Trucho (rouge, noir et jaune, avec en outre du blanc) (Foucher et al., 2007), ainsi que des exemplaires de différentes tranches d'âge (en constitue la preuve la main de bébé citée dans la section 2.1.3). Elle a aussi servi de site d'occupation durant plusieurs périodes du Paléolithique récent, dont le Gravettien (Régnault, 1873; Breuil & Cheynier, 1958; Foucher et al., 2006, 2007, 2008, 2012).

Gargas et Fuente del Trucho sont séparées d'une centaine de kilomètres à vol d'oiseau, situées de part et d'autre des Pyrénées (Figure 217). La grotte de Cosquer, éloignée de 400 kilomètres à vol d'oiseau de Gargas, est aussi connue pour son *corpus* de mains négatives paléolithiques, cette fois uniquement rouges et noires, dont le total s'élève à 65 (Clottes et al., 2005).

Il faut noter que la grotte de Tibiran, située dans le voisinage de la grotte de Gargas, recueillant également des mains négatives aux doigts manquants, serait également à considérer dans le cadre de cette comparaison, mais l'état de détérioration de ses figures et la documentation très limitée de son catalogue (Groenen, 1990) ne me permet pas de l'établir avec sécurité.

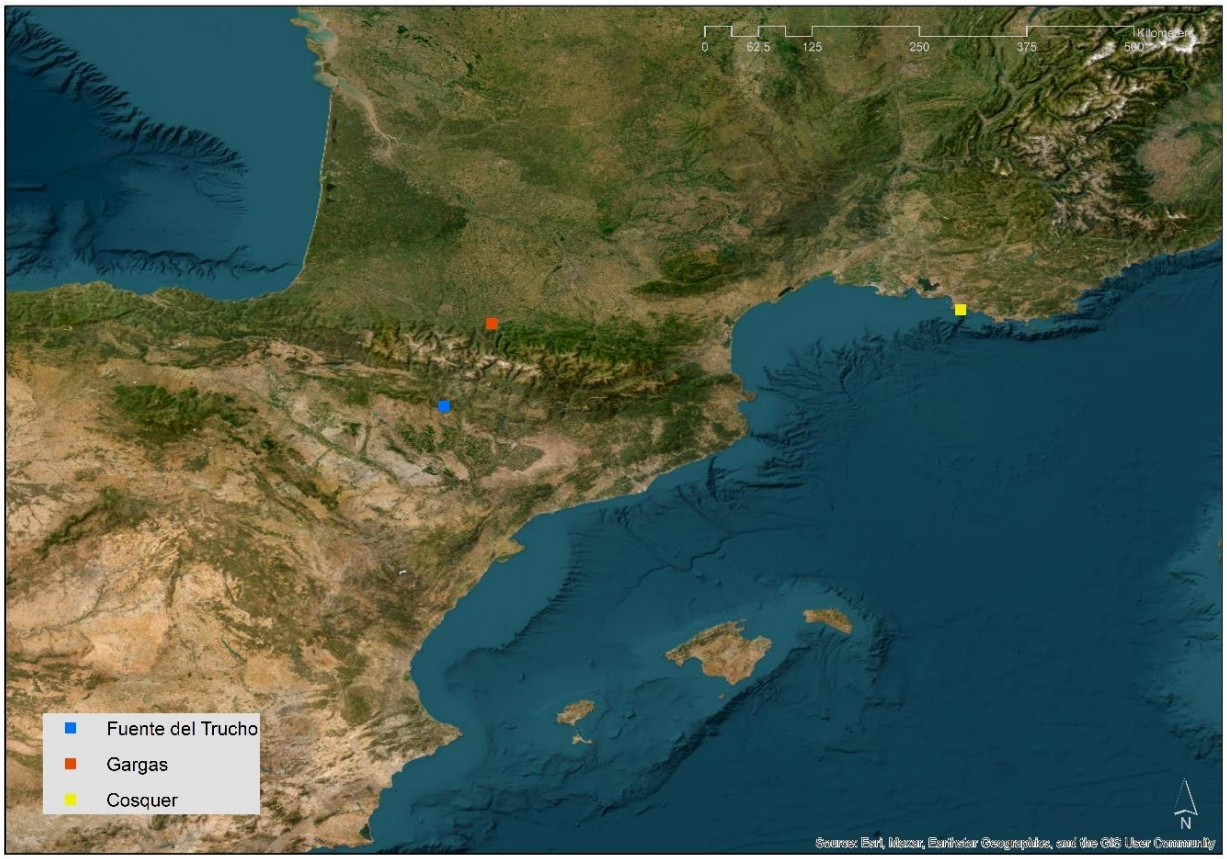


Figure 217. Situation géographique de Fuente del Trucho (en bleu) et Gargas (en rouge) de chaque côté des Pyrénées, à une distance à vol d'oiseau d'une centaine de kilomètres, ainsi que de Cosquer (en jaune), à 400 km à vol d'oiseau de Gargas vers l'est.

Face à cette similarité entre combinaisons digitales, j'ai observé le reste des combinaisons de doigts en présence, sur base des données des travaux de Leroi-Gourhan (1967), de Groenen (1990) et de Clottes *et al.* (2005).

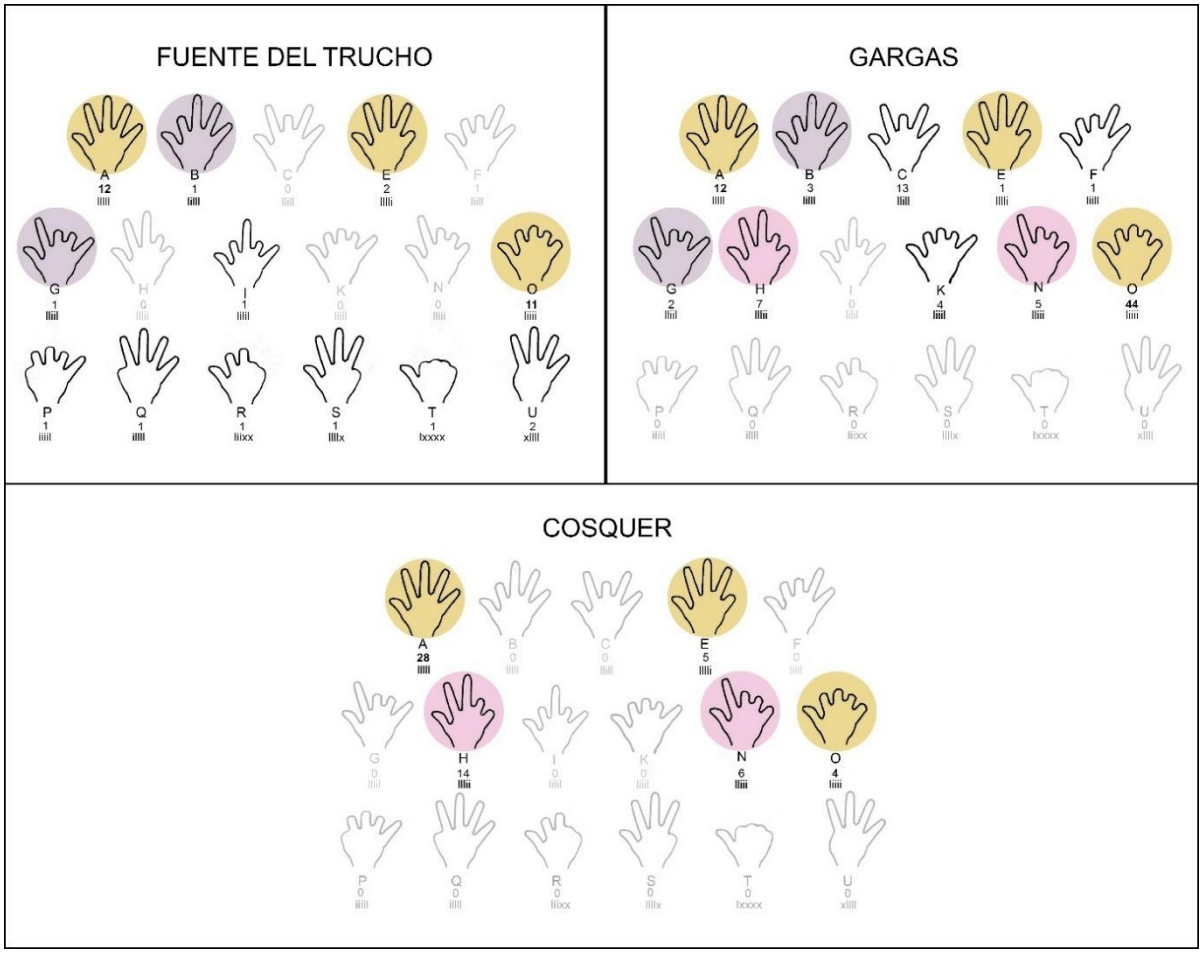


Figure 218. Représentation des combinaisons de doigts de Fuente del Trucho, Gargas et Cosquer. En jaune sont soulignées les combinaisons communes aux trois cavités, avec le nombre d'exemplaires de chaque, selon cette étude, celle de Leroi-Gourhan (1967) et celle de Clottes *et al.* (2005). En mauve sont présentées les combinaisons communes uniquement à Fuente del Trucho et Gargas. En rose sont soulignées les combinaisons communes à Gargas et Cosquer uniquement (il n'y a pas de mains partagées exclusivement par Fuente del Trucho et Cosquer à l'exclusion de Gargas).

A Gargas, si Groenen rapporte un total de vingt combinaisons[93], tandis que Leroi-Gourhan n'en note que dix, leur liste respective atteste la présence de seulement quatre combinaisons en commun avec le registre observé à Fuente del Trucho (Figure 218 et Tableau 27). Ainsi, Fuente del Trucho n'a qu'un tiers de ses combinaisons qui se retrouve à Gargas (4/12), et celles de

[93] Il faut noter que ces deux auteurs n'ont pas enregistré les mêmes combinaisons, Groenen ayant proposé un système plus précis que Leroi-Gourhan (mais décrit plutôt qu'imagé, avec des caractéristiques parfois complexes à intégrer dans la comparaison, comme les notions de « réduit à moins d'une phalange » ou « réduit à plus d'une phalange », qui pourraient être imputables à l'angle de soufflé ou aux conditions de conservation et qui me sont difficiles à illustrer sur base des données publiées, ne sachant pas exactement la forme dont il est question). Il serait intéressant de disposer du catalogue illustré pour pouvoir analyser et comparer avec davantage de détail les combinaisons en question.

Gargas sont retrouvées à deux cinquièmes seulement à Fuente del Trucho selon Leroi-Gourhan (4/10), et à un cinquième selon Groenen (4/20). Cosquer, pour sa part, partage avec Gargas l'entièreté de ses combinaisons (5/5), tandis qu'elle n'en partage que 3/5 avec Fuente del Trucho. La grotte Cosquer contient en effet un nombre plus limité de combinaisons (Clottes et al., 2005), avec un total de cinq. Il faut noter que l'une des combinaisons de la grotte Cosquer absente à Fuente del Trucho, les trois derniers doigts réduits à une phalange (*lllii*), est précisément de la deuxième combinaison la plus fréquente à Cosquer, après la main complète, avec 14 exemplaires (Tableau 27). La combinaison du pouce complet et des autres doigts repliés, quant à elle, est présente à Cosquer, mais à seulement quatre exemplaires (sur 53 mains déterminables au total).

Tableau 27. Tableau recensant les données de combinaisons de doigts observées à Fuente del Trucho, à Gargas et à Cosquer. J'y ai adapté mon système de codification pour pouvoir y insérer les données de Groenen, en ajoutant *i+*, symbolisant la présence d'un doigt à un peu plus d'une phalange, et *2*, représentant un doigt dont seulement deux phalanges sont présentes, c'est-à-dire auquel il ne manque que la phalangette (phalange distale) (cas qui n'existe donc pas pour le pouce, qui n'a que deux phalanges). En jaune sont mises en évidences les combinaisons que les trois sites ont en commun et en mauve ceux que seules Gargas et Fuente del Trucho ont en commun. En rose, les combinaisons que seules Gargas et Cosquer ont en commun.

Code	Fuente del Trucho	Gargas (Leroi-Gourhan, 1967)	Gargas (Groenen, 1990)	Cosquer (Clottes *et al.*, 2005)
lllll	**12**	**12**	**17**	**24**
lilll	**1**	**3**	**1**	0
llill	0	13	6	0
llli	**2**	**1**	**2**	**5**
liill	0	2	2	0
lliil	**1**	**2**	**2**	0
llii	0	**7**	**3**	**14**
lilil	1	0	0	0
liiil	0	4	3	0
lilii	0	0	1	0
lliii	0	**5**	**6**	**6**
liiii	**11**	**44**	**52**	**4**

iiiil	1	0	0	0
illll	1	0	0	0
liixx	1	0	0	0
llllx	1	0	0	0
lxxxx	1	0	0	0
xllll	2	0	0	0
llli+i+	0	0	6	0
liiix	0	0	2	0
ll2ll	0	0	1	0
llxll	0	0	1	0
lli+ix	0	0	1	0
llii2	0	0	1	0
ll2ii	0	0	1	0
l2lll	0	0	1	0
l2lil	0	0	1	0
Nombre total de combinaisons	12	10	20	5
Nombre total d'exemplaires dont la combinaison put être déterminée	35	93	110	53

Pour la grotte de Tibiran, Groenen (1990) présente un inventaire de 11 mains négatives, parmi lesquelles deux seulement sont affirmées avec sécurité : une main complète et une main de forme *liiii*[94].

[94] Il convient de souligner que la grotte d'Erberua possède une représentation de main négative aux doigts manquants dont la configuration semble également correspondre à la forme *liiii*. Cependant, l'accès difficile à cette cavité (entrée actuellement engloutie impliquant le passage par un siphon) ne facilite pas son étude (Larribau, 2013), et une analyse approfondie des configurations de doigts en présence est donc difficile sur base des publications existantes uniquement.

Sur base de ces données, je pose l'hypothèse que les groupes humains ayant représenté les mains négatives des grottes de Fuente del Trucho et de Gargas[95] faisaient l'objet d'un réseau de communication ou d'échanges[96] entre eux. Je propose d'envisager que ces mains négatives soient le fruit de pratiques symboliques communes, sous plusieurs formes possibles. Par exemple, avec un déplacement direct des groupes gravettiens, suggérée entre autres par les hypothèses des travaux de Kozłowski[97] (2015) quant à une potentielle diffusion des cultures gravettiennes (Figure 219), traversant d'innombrables frontières naturelles.

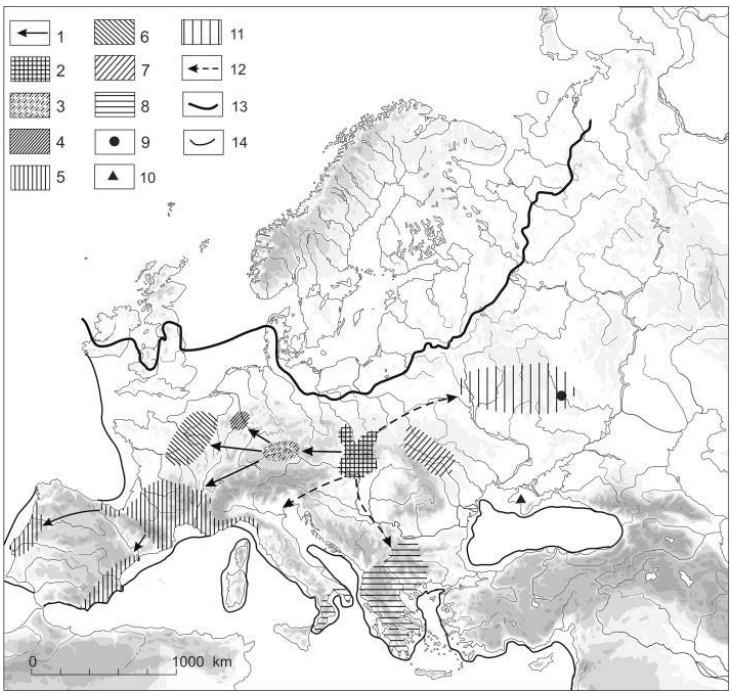


Figure 219. Carte des différents centres gravettiens selon Kozłowski (2015). **1**. Diffusion du Gravettien vers l'ouest. **2**. Pavlovien. **3**. Groupe du Haut Danube. **4**. Groupe du Rhin Moyen. **5**. Gravettien de l'ouest (Périgordien). **6**. Maisiérien/Périgordien. **7**. Groupe Dnester/Prut (Moldovien). **8**. Gravettien méditerranéen. **9**. Kostienki 8-Telmanskaya. **10**. Buran-Kaya. **11**. Kostienkien (Groupe Kostienki–Avdeyevo). **12**. Diffusion du Gravettien vers l'Est et le Sud au début du Dernier Maximum Glaciaire **13**. Couche de glace du Dernier Maximum Glaciaire. **14**. Ligne de côte.

[95] La grotte de Tibiran pourrait aussi potentiellement y être intégrée, mais il serait intéressant de compléter sa documentation pour pouvoir disposer de données plus précises la concernant. Par ailleurs, son *corpus* connu, plus faible, est moins propice à ce type de comparaisons.

[96] La potentielle connexion entre Gargas et Fuente del Trucho fut déjà évoquée par Utrilla et Montes (2007b). Ces autrices proposaient de voir cette traversée des Pyrénées comme une explication aux doigts manquants, liés à une perte réelle de segments de doigts. Pour ma part, je me range à l'hypothèse que les doigts manquants sont bien repliés (la perte de segments de doigts à cause du gel impacte d'abord les phalangettes, et se développe de façon homogène pour tous les doigts, comme déjà souligné par d'autres auteurs (Groenen, 2011)). Ce phénomène ne correspond donc pas aux exemples archéologiques présents à Fuente del Trucho et à Gargas, qui présentent de nombreux exemplaires avec la perte des phalangines et des phalangettes sur un ou plusieurs doigts, à l'exclusion des autres doigts, qui demeurent entiers. Selon moi, la traversée des Pyrénées était tout à fait envisageable pour ces groupes équipés et adaptés à leur environnement, sans que celle-ci implique de telles conséquences.

[97] Il faut noter, cependant, que ces études proposent une conception assez unitaire du technocomplexe gravettien, ou du moins de son origine, celui-ci étant pourtant très complexe et divisé en de nombreuses facettes dans les études de technologie lithique les plus récentes, comme le rappellent les travaux de De la Peña Alonso (2012). Ceci n'empêche pas, néanmoins, la possibilité d'échanges et de liens entre des populations gravettiennes partageant certaines traditions culturelles, esthétiques et technologiques.

Une autre possibilité est la pratique d'échanges dans ces sociétés (Mauss, 1925; Binford, 1980, 1982; Wiessner, 1982; Bahn, 1982; Conkey, 1984; Kozłowski, 2005; Djindjian, 2009; Fitzhugh et al., 2011; Grove, 2011, 2016; Sauvet, 2019; Clark et al., 2019; Delvigne et al., 2021). Il a en effet été observé, sur base du déplacement des matières premières notamment, que les groupes humains au Paléolithique récent avaient développé des réseaux sur des territoires considérables (Féblot-Augustins, 1999) (Tableau 28). En témoignent au Gravettien des sites tels que Isturitz (Figure 220, B) (Normand et al., 2012), ou Gargas même (Figure 220, A) (Foucher, 2006, 2012).

Tableau 28. Estimation de la mobilité propre des groupes et de l'étendue des réseaux relationnels au Paléolithique moyen et au Paléolithique récent selon Féblot-Augustins (1999). L : témoignage du lithique. P : Témoignage de la parure.

	PALÉOLITHIQUE MOYEN		
	Europe occidentale	Ouest de l'Europe centrale	Est de l'Europe centrale
Mobilité des groupes	100-120 km	110 km	100 km → 200-300 km (exceptionnel)
Réseaux relationnels	?	?	200-300 km (exceptionnel)
	PALÉOLITHIQUE SUPÉRIEUR		
	Europe occidentale	Ouest de l'Europe centrale	Est de l'Europe centrale
Mobilité des groupes	100-125 km (L)	160 km (L)	→ 200-250 km (L) (courant)
Réseaux relationnels	mode à 200 km (P) → 850 km (P)		• > 300 km... 450 km...700 km (L) • < 300 km (L) (probable) • → 450 km... 1400 km (P)

La diffusion des concepts culturels et des manières de représenter a également été établie, avec, en plus des mains négatives, les fameuses *vénus gravettiennes*, les pointes en ivoire décorées ou encore les gravures de cette période (Figure 220, C), avec la constitution de véritables territoires symboliques (Simonet, 2012; Rivero, 2015; Petrognani & Robert, 2019; Garate et al., 2020a). Des études récentes analysant les objets de parure et les sépultures gravettiennes ont également mis au jour des territoires culturels et symboliques particulièrement étendus durant cette période[98] (Baker et al., 2024; d'Errico et al., 2025).

[98] Baker *et al.* (2024) identifient neuf entités culturelles géographiquement distinctes en Europe durant le Gravettien, et d'Errico *et al.* (2025) observent la présence de réseaux symboliques plus étendus durant cette période qu'à l'Aurignacien.

Des lieux de rencontre ont également été suggérés, avec les hypothèses des *supersites*, constituant des espaces de rassemblement, d'échange et de partage (Conkey, 1980; Bahn, 1984; Utrilla, 1994).

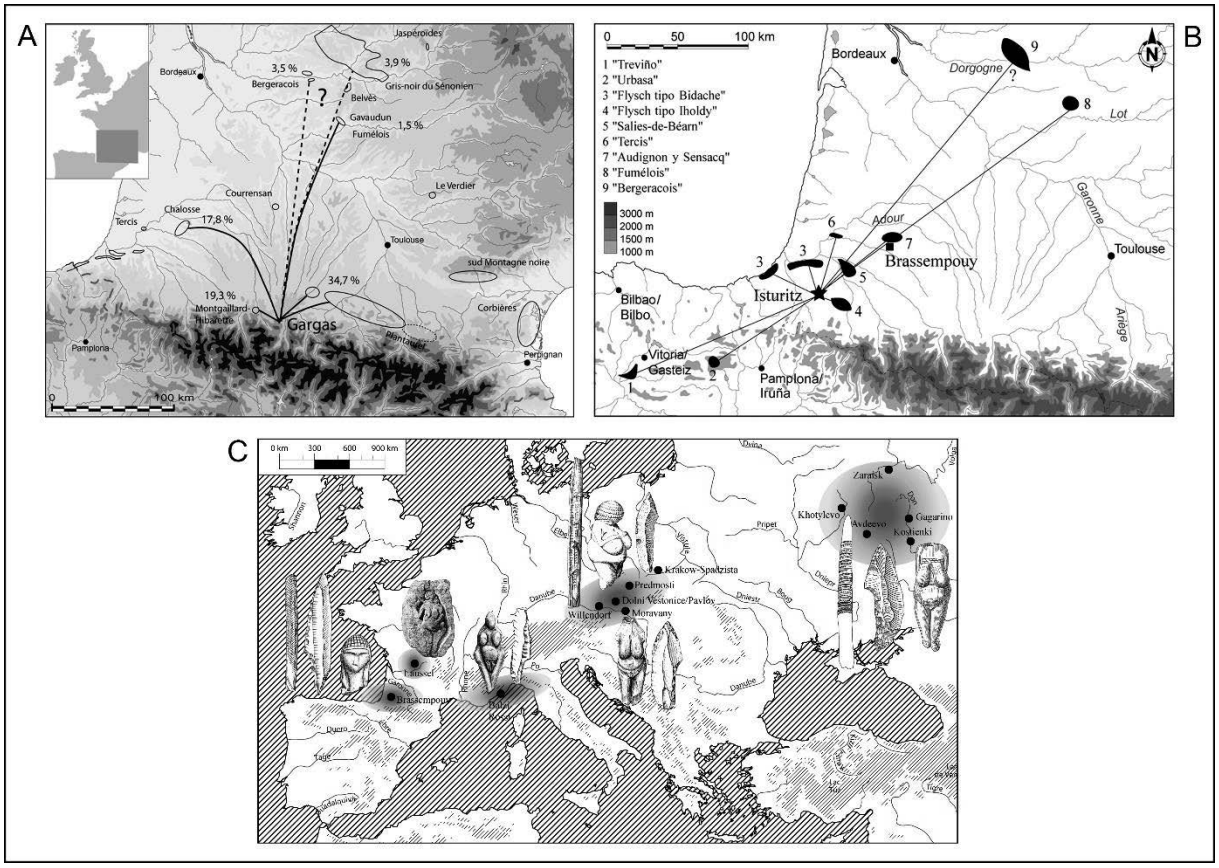


Figure 220. Illustrations des réseaux des populations gravettiennes. **A**. Provenance des différents types de silex des niveaux gravettiens de Isturitz selon Normand et al. (2012). **B**. Provenance des silex (outils) du niveau gravettien de Gargas (fouilles Cartailhac-Breuil) selon Foucher (2006). **C**. Unité symbolique du Gravettien européen autour des concepts de Vénus, de pointes à cran et de pointes en ivoire décorées selon Simonet (2012).

Le travail de Sánchez de la Torre et al. (2021) sur la provenance des matières premières de l'outillage lithique provenant des couches d'occupation de la cavité de Fuente del Trucho vient appuyer cette hypothèse. Ces travaux ont identifié plusieurs sources d'approvisionnement pour les cherts trouvés durant les différentes fouilles, par des analyses de texture, des analyses micropaléontologiques et des analyses pétrographiques, combinées avec l'application de méthodes géochimiques, de fluorescence X à dispersion d'énergie (ED-XRF) et de spectrométrie de masse à plasma inductif par ablation laser (LA-ICP-MS) (Figure 222). Pour le niveau gravettien *d,* situé dans la fouille extérieure, proche des gravures du sol (*External area*, Figure 221), les sources potentielles de provenance de trois types de cherts ont été identifiées, montrant un réseau d'approvisionnement assez large (Figure 223, Types 1, 2 et 4). Enfin, un dernier type de chert, Montgaillard (Figure 223, type 3), trouvé dans les niveaux

mélangés (dont la typologie des pièces présente des caractéristiques attribuables au Gravettien ou au Magdalénien) trouve son origine de l'autre côté des Pyrénées.

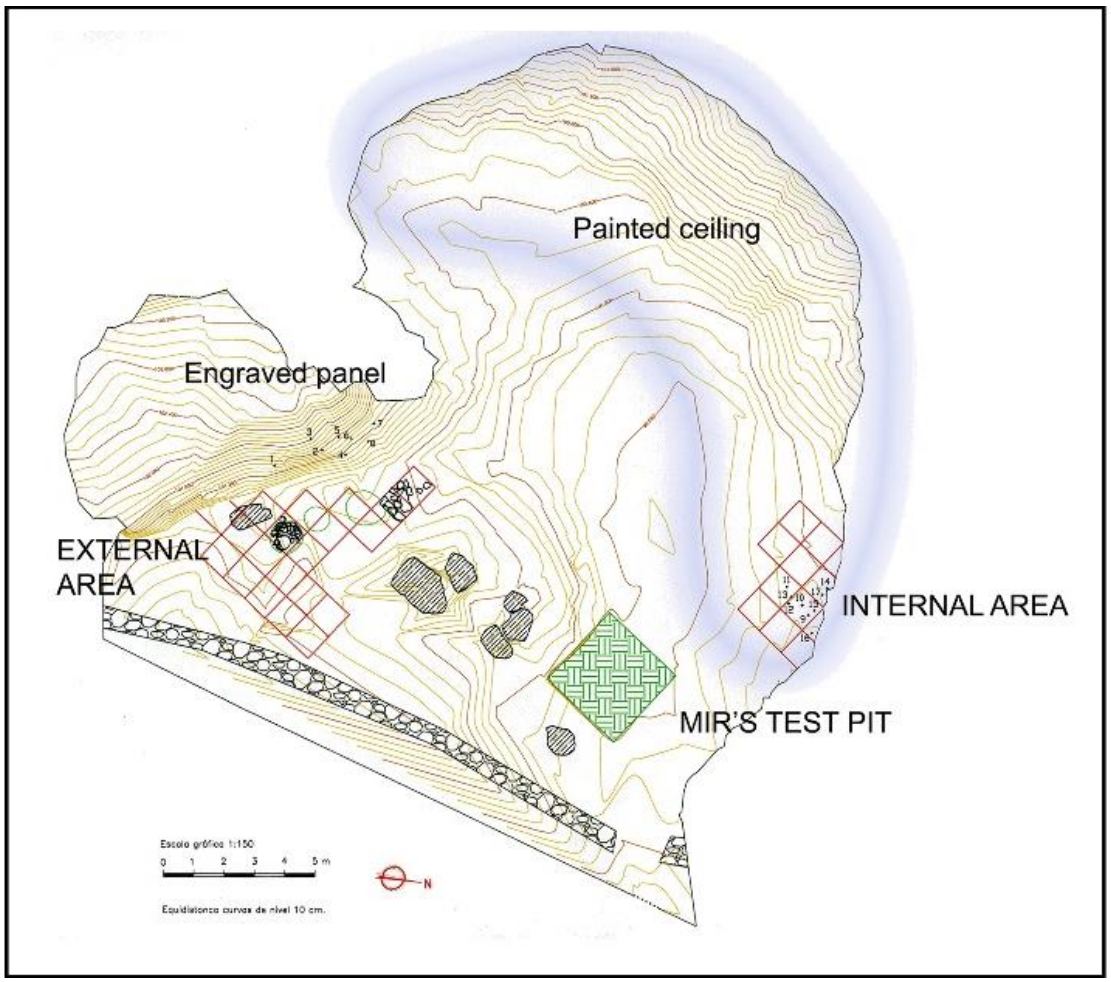


Figure 221. Localisation des différents secteurs fouillés de Fuente del Trucho, d'après Sánchez de la Torre et al. (2021). Le niveau gravettien *d* provient de la zone extérieure [external area], proche des panneaux gravés.

Ces travaux proposent également, au vu de la proximité de ces affleurements Montgaillard avec la grotte de Gargas, une possible relation d'échanges avec les groupes sociaux de celle-ci. Cette origine des matériaux sur le versant nord des Pyrénées, s'ils sont en effet à rattacher au Gravettien, donne dès lors une preuve matérielle à cette hypothèse de réseau d'échanges ou de traversée de cette chaîne de montagnes, qui n'aurait donc pas constitué un obstacle insurmontable pour les peuples de l'époque[99].

[99] Comme le rappellent les travaux de Foucher et al. (2016), le front glaciaire de la Garonne était situé autour de 26.000 BP à Barbazan, à 8 kilomètres au sud-est de la grotte de Gargas (Andrieu et al., 1988).

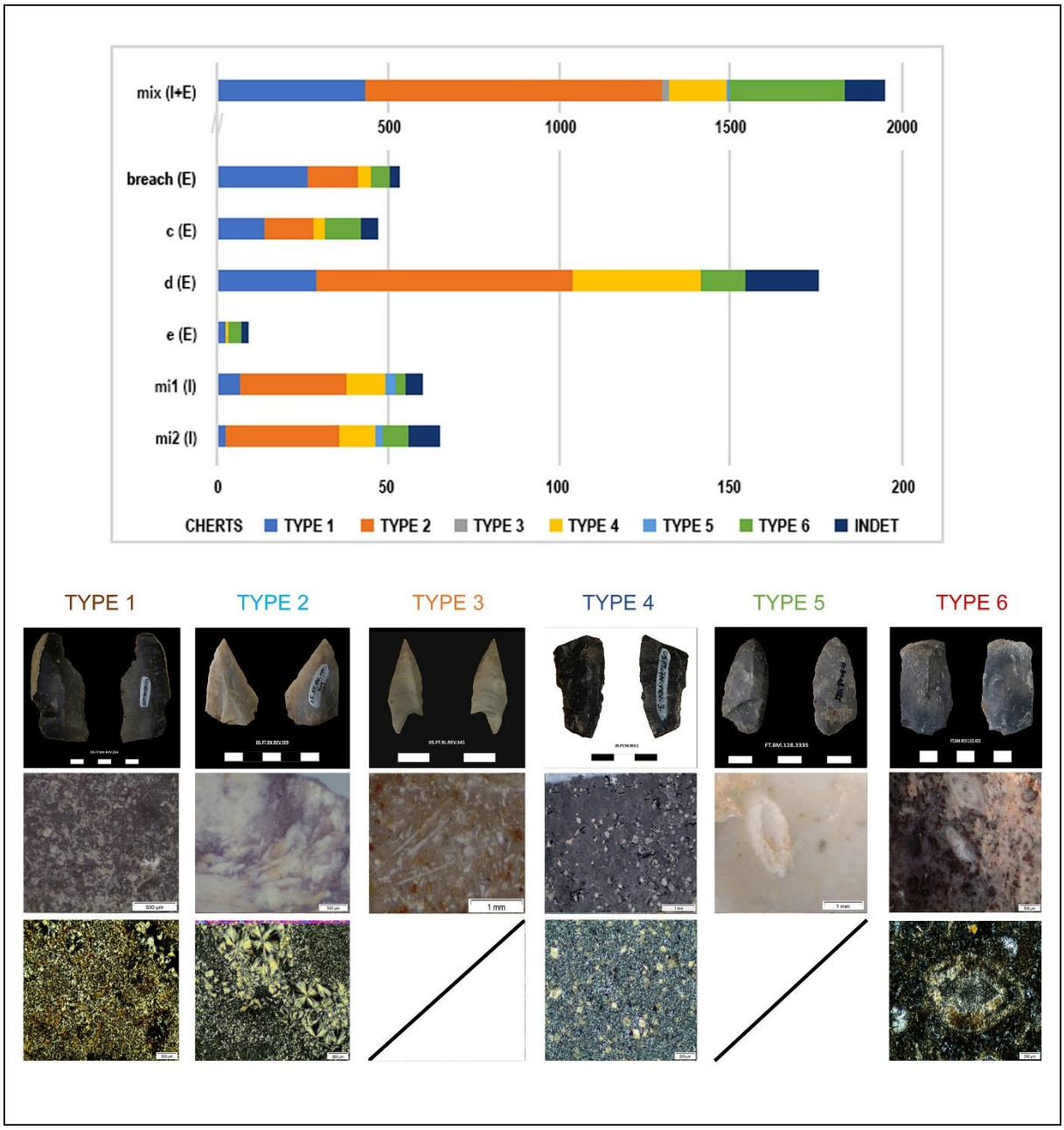


Figure 222. Identification des sources probables des matières premières de l'outillage lithique en chert des fouilles de Fuente del Trucho d'après Sánchez de la Torre et al. (2021).

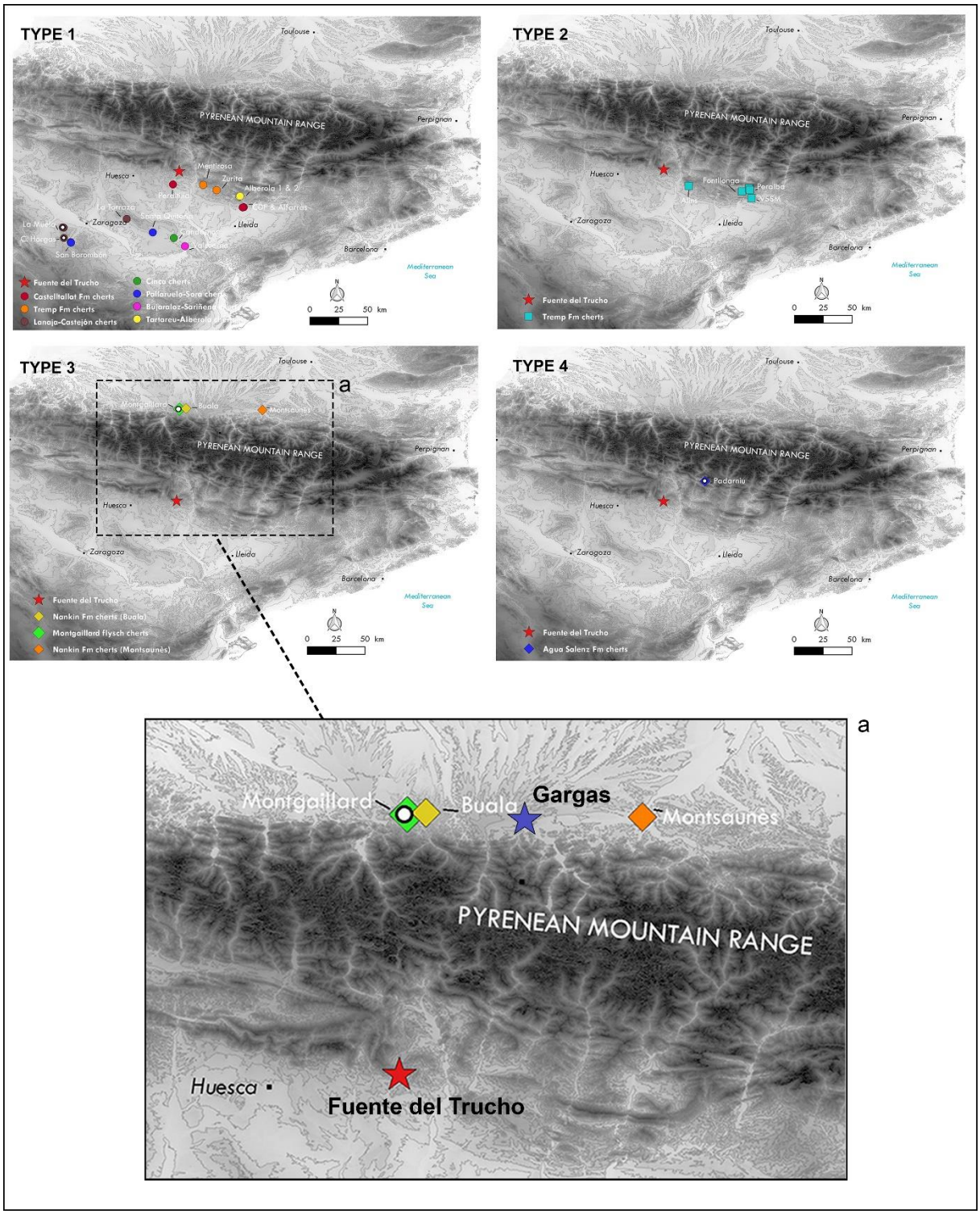


Figure 223. Situation géographique des sources probables des matières premières de l'outillage lithique en chert des fouilles de Fuente del Trucho d'après Sánchez de la Torre et al. (2021). L'origine des types 5 et 6 n'a pas été identifiée. **a**. Détail du Type 3, avec la localisation de la grotte de Gargas (étoile bleue) et de celle de Fuente del Trucho (étoile rouge).

Que ce soit à travers les échanges ou le déplacement direct des groupes, les similitudes significatives entre ces deux sites, à laquelle s'ajoute cette singulière combinaison de doigts *liiii* (sur les 768 possibilités de combinaisons existantes[100]), pointent en effet vers une communication et un partage culturel et symbolique important.

Tous ces éléments viennent ajouter des pierres à l'édifice de nos connaissances sur ce phénomène, qui s'avère bien plus complexe qu'il ne pouvait paraître au premier abord. L'examen d'autres cavités avec des techniques d'analyse similaires sera essentiel pour tenter de comprendre avec davantage de finesse les enjeux et les subtilités de ces figurations. De la même façon, les possibles connexions culturelles suggérées pour les grottes de Fuente del Trucho, Gargas et potentiellement Cosquer et Tibiran pourraient être enrichies par l'étude systématique de ces trois dernières et la création d'un *corpus* plus fourni, pour asseoir ou contester les conclusions développées ici.

6.7. Synthèse des résultats

En résumé, les résultats ont permis de répondre par l'affirmative aux hypothèses (i), (ii), (iii), (v) et (vii) pour les grottes étudiées ici :

(i) Plusieurs systèmes parallèles d'organisation spatiale peuvent coexister, y compris au sein d'une même cavité.

(ii) L'une des caractéristiques de l'emplacement des mains négatives est leur visibilité et la capacité d'accueil des espaces en question, c'est-à-dire la possibilité d'héberger un public.

(iii) Un autre critère considéré lors du choix des lieux les hébergeant est la facilité d'accès aux motifs.

(v) Certaines figures de mains ont été disposées en fonction de reliefs particuliers de la paroi, en relation avec ceux-ci.

(vii) Les mains négatives répondent à des critères de répartition spatiale différents de ceux régissant la distribution des animaux ou des signes.

[100] 768 correspond au nombre de combinaisons possibles : chaque doigt offre la possibilité de présenter soit aucune phalange, soit une, deux ou trois phalanges (à l'exception du pouce qui s'arrête à deux). Les possibilités sont donc de 3 x 4 x 4 x 4 x 4, c'est-à-dire 768.

Pour l'hypothèse (iv), nous proposons uniquement d'affirmer qu'elle n'est pas incompatible avec un cas en particulier, celui de la *Galerie des Mains* d'El Castillo:

> (iv) Certaines mains négatives sont à mettre en lien avec des dynamiques de circulation dans la cavité, ayant une fonction signalisatrice.

Enfin, l'hypothèse (vi) peut être réfutée pour les grottes analysées dans ce travail :

> (vi) L'âge, la latéralité ou l'état de complétude des doigts sont des facteurs qui peuvent induire une répartition différentielle des mains négatives.



CONCLUSION

7. Conclusion

Au cours de ces lignes, et durant les années que j'ai consacrées à ce travail de recherche, je me suis attelée à remplir les objectifs présentés dans la section 1.3. Il s'agissait de (i) faire le point sur la question des mains négatives par rapport à leur organisation spatiale, (ii) de mettre à l'épreuve une méthode novatrice pour leur étude et (iii) d'approfondir nos connaissances sur ce phénomène complexe.

(i) L'évaluation, aux prémisses de cette étude, de ce qui avait déjà été observé au sujet des mains négatives en regard avec leur organisation spatiale — somme toute encore **peu étudiées** dans cet aspect —, et la question de l'espace dans l'art pariétal en général m'a amenée à établir le **constat d'une faiblesse méthodologique** dans son étude, inhérente à la complexité du sujet. En effet, de nombreux travaux se sont penchés sur la question de l'organisation des motifs sur les parois des grottes mais leurs propositions se sont heurtées au problème de l'absence de caractérisation précise de l'espace souterrain, tant dans son état actuel que dans son état passé.

(ii) Pour pallier cet écueil, je me suis alors attelée à la **construction d'une méthode quantitative**, combinant plusieurs techniques digitales et systèmes d'analyse : la représentation tridimensionnelle, les *Systèmes d'Information Géographique* et les statistiques. Pour leur application, il m'a fallu procéder à la reconstitution des espaces souterrains tels qu'ils étaient au Paléolithique. En effet, pour approcher les espaces de création des motifs et comprendre les usages et pratiques possibles qui s'y sont déroulés, il est nécessaire de connaître leur situation originelle et leur évolution dans le temps, sous l'impact des phénomènes géomorphologiques et des potentielles modifications anthropiques que les grottes ont subies au fil des millénaires. Après avoir récolté ces données, j'ai pu façonner les modèles tridimensionnels des cavités pour représenter leur état paléolithique. Cette étape, cruciale, permet d'éviter la distorsion de l'analyse sur base de l'aspect actuel des espaces. Ceci fut démontré par l'étude du *Plafond des Mains* d'El Castillo, dont l'analyse a fourni des données de visibilité différentes en fonction des modèles utilisés (état paléolithique ou actuel). Par ailleurs, la représentation tridimensionnelle permet une meilleure illustration des espaces, ainsi que d'échapper à la catégorisation arbitraire de l'espace en zones, une approche très utilisée dans les recherches passées mais peu adaptée aux paysages souterrains. L'aspect exhaustif, systématique et quantitatif des données obtenues, au contraire, tend à objectiver la

représentation de l'espace et permet une comparaison entre cavités optimisée par rapport aux travaux précédents. Il faut noter également que, ayant opté pour une dynamique transparente de partage des données, suivant les principes FAIR de la science ouverte, cette méthode est ouverte à la vérification, à des collaborations et à des modifications futures. Il sera ainsi aisé d'y modifier les données utilisées pour les calculs de visibilité, d'occupation ou d'accessibilité, par exemple, en fonction des découvertes scientifiques à venir. De la même façon, les modèles tridimensionnels de chacune des trois cavités du *corpus* (modifications colorées et état paléolithique) sont disponibles aux chercheurs sur deux plateformes en ligne[101], et peuvent servir à d'autres études. L'étude des sources de la grotte d'El Castillo, avec la découverte de nouvelles archives en collaboration avec l'Institut Frobenius, tout comme son étude géomorphologique, pourront également être utiles aux travaux à venir et contribuer à enrichir notre connaissance de ce patrimoine.

(iii) Ce travail d'analyse m'a également permis de tirer une série de **conclusions sur le phénomène des mains négatives**, autant au regard particulier des trois grottes étudiées que d'un point de vue général, que je présenterai ici.

L'étude spatiale des mains négatives de El Castillo, Fuente del Trucho et Fuente del Salín a fourni des résultats quant à l'hypothèse de départ adressée au début de ce travail (section 1.2), qui proposait que ces motifs n'étaient pas distribués de manière aléatoire dans les réseaux souterrains et qu'il était possible d'y discerner des logiques de distribution.

Les résultats de l'étude spatiale me permettent en effet de confirmer l'interprétation communément admise selon laquelle la répartition des motifs répond à une décision et à un choix conscients des groupes qui les ont réalisés (Laming-Emperaire, 1962; Leroi-Gourhan, 1965; Sauvet, 1993; González García, 2001; Ochoa & García-Diez, 2018; Groenen & Groenen, 2019; Jouteau et al., 2020; Jouteau, 2021). Ceci, car les données récoltées ont mis en avant une discrimination des espaces : les mains négatives n'ont pas été distribuées au hasard dans les cavités et semblent avoir été au contraire rassemblées dans des zones particulières, celles-ci partageant des caractéristiques communes. Sur base des éléments étudiés, j'ai observé au niveau macro-spatial que la visibilité, la présence d'un espace d'accueil alentour, la facilité d'accès et l'absence de danger dans leur environnement direct semblent constituer des facteurs importants dans le choix de leur placement.

[101] https://sketchfab.com/olgaspaey et https://osf.io/e4py8.

Certaines zones sont particulièrement densément ornées, et celles-ci correspondent à des espaces d'accès particulièrement facile, à haute visibilité et potentiel de rassemblement. Ces résultats m'invitent à envisager la création ou l'utilisation de ces motifs par de grands groupes, et sont cohérents avec les résultats des études sur la taille des mains, qui suggèrent une diversité sociale. Je propose dès lors de considérer la main négative comme un motif que l'on pourrait qualifier de *public*.

Ce travail n'a cependant pas mis en avant de discrimination des zones de la cavité sur base de la latéralité, de la couleur, de l'âge des exécutants ou de la combinaison de doigts (dans le cas des mains négatives aux doigts manquants), contrairement à mon hypothèse de départ. Tous ces facteurs présentent en effet une forte variation qui ne semble pas pouvoir être associée à un type d'espace en particulier dans les trois grottes analysées.

Au niveau micro-spatial, une influence de la présence de certaines morphologies de la paroi a été observée uniquement dans quelques cas ponctuels (mains 9, 63 et 64 d'El Castillo, mains 3 et 4 de Fuente del Salín). La commodité de la position d'exécution, quant à elle, est très variable et semble ainsi secondaire pour déterminer le choix des parois, qui devaient répondre à d'autres critères.

Les données de l'analyse spatiale m'ont permis de proposer des hypothèses de fonction ou d'usage différencié des mains négatives dans les trois réseaux souterrains observés, avec la coexistence de différents systèmes spatiaux au sein d'une même cavité. J'ai observé trois types d'espaces pour la totalité des mains de ce *corpus* :

(i) D'abord, des lieux de haute visibilité et densité des motifs, cités ci-dessus, présents dans les trois grottes.

(ii) Ensuite, certaines mains négatives sortant de ce système général, avec des figures disposées en fonction de reliefs particuliers de la paroi (potentiel jeu avec les zones d'ombres, intégration dans des portions de paroi restreintes ou structurées par des fissures), ou des compositions de plusieurs mains.

(iii) Enfin, des motifs qui ne seraient pas incompatibles avec une potentielle fonction signalisatrice, comme un système de balises reliant différents motifs d'un même ensemble graphique, en lien avec des dynamiques de circulation dans la cavité (observé dans le cas de la *Galerie des Mains* à El Castillo).

Ces données démontrent la complexité de ce phénomène et suggèrent la présence d'usages ou de fonctions potentiellement différents, dans le cadre de similitudes générales, qui pourraient être le fait de la présence de différentes logiques symboliques.

Par rapport aux autres types de motifs, comme les animaux ou les signes, une analyse préliminaire (dans l'attente d'un travail comparatif plus systématique) indique que les mains négatives ne sont pas situées systématiquement au même endroit que les autres motifs. Au contraire, si les animaux peuvent se trouver, par exemple, dans des espaces plus difficiles d'accès, ou à la visibilité bien plus restreinte, ce n'est pas le cas pour les mains négatives. Si elles partagent certaines parois avec des animaux et des signes, leur organisation semble plus indifférente que corrélée. J'ai ainsi pu observer des systèmes de disposition, à la grotte d'El Castillo (triangles arrondis, biches striées, quadrangulaires cloisonnés, figures jaunes), répondant à des critères de répartition spatiale différents de ceux régissant la distribution des mains négatives. De la même façon, à Fuente del Trucho, les représentations d'animaux et les signes sont proches mais pas agglomérés de la même façon que les mains. Enfin, à Fuente del Salín, un motif non-figuratif unique très éloigné dans le réseau souterrain vient confirmer cette observation pour les cas étudiés.

Pour ce qui est de la question du nombre d'exécutants des mains négatives, la variabilité des groupes d'âge des pochoirs observés écartent l'hypothèse d'une action réalisée par un individu unique. Ces données pointent davantage vers un phénomène social collectif. Savoir, ensuite, si les mains ont été réalisées ponctuellement sur une longue période, ou au contraire de façon synchronique est une question plus complexe. Plusieurs arguments furent discutés à ce propos, sans que les résultats ne permettent d'y apporter une conclusion. Ainsi, la présence de différents « pots de peintures » pour une même couleur, selon la littérature existante, dans les grottes de Gargas ou Maltravieso, argumentent en faveur d'une diachronie des motifs. Cependant, la présence de compositions, comme celle de Fuente del Salín ou les trois mains noires de Fuente del Trucho, indiquerait plutôt une synchronie. La réalité est peut-être multiple, avec une réalisation, par exemple, des motifs par petits groupes au fil du temps.

Enfin, les données de Fuente del Trucho, avec ses mains négatives aux doigts manquants, m'ont permis de proposer des hypothèses concrètes quant à la présence de relations inter-sites entre cette cavité et la grotte de Gargas, de l'autre côté des Pyrénées, ainsi que potentiellement celle de Cosquer (plus à l'est), durant le Gravettien. Ceci, sur base d'une combinaison de doigts en particulier, la position *liiii* (pouce complet et 4 autres doigts réduits à une phalange), ainsi que d'autres éléments liés à l'origine des matières premières des couches archéologiques et la

diffusion de la culture gravettienne en général. J'ai également proposé de reprendre, pour El Castillo, l'hypothèse qu'il s'agisse d'un site d'agrégation (Conkey, 1980; Bahn, 1984; Utrilla, 1994) et que les mains négatives pourraient être la trace de moments de rassemblements entre différents groupes.

Perspectives futures

Ce travail, au-delà de ses contributions empiriques, méthodologiques et théoriques, ouvre aussi de nombreuses pistes pour d'autres recherches à venir.

La méthode, tout d'abord, pourra être modifiée et étendue, comme suggéré plus haut, avec des données nouvelles provenant des fouilles, expérimentations et autres analyses. Elle pourra ainsi être renforcée par d'autres types d'études au niveau micro-spatial, comme une mesure quantitative de la commodité de la position par exemple, ou encore une précision des données relatives à la surface d'occupation utilisée par un individu ou à la hauteur estimée pour l'exécution des motifs. De la même façon, statistiquement, il serait intéressant de pouvoir travailler sur les grottes de façon plus universelle, en standardisant les données pour les rendre moins dépendantes de l'envergure ou de la forme spécifique du site duquel elles proviennent.

Pour ce qui est des conclusions interprétatives, il serait précieux de pouvoir amplifier le *corpus*, en étendant l'application de cette méthode d'analyse à d'autres cavités, dans une même zone, ou sur une échelle géographique plus large, afin de voir si les mêmes dynamiques spatiales sont présentes. Ceci en incluant notamment d'autres sites avec des mains aux doigts manquants ou l'utilisation de couleurs différentes. Par exemple, la grotte de Gargas, où l'on trouve le plus grand nombre de mains négatives paléolithiques connu à ce jour (Foucher et al., 2007), celle de Tibiran et celle de Cosquer[102], mais aussi des cavités du sud de la Péninsule ibérique (comme Maltravieso, Palomas IV, etc.), ou la logique des doigts manquants semble différente.

Statistiquement, une augmentation du nombre de mains négatives et de cavités étudiées permettrait également d'asseoir les hypothèses interprétatives avec bien plus de force, que ce soit en déterminant la singularité de celles-ci, si elles ne sont pas partagées dans d'autres sites, ou leur caractère commun, dans le cas contraire.

[102] La question évoquée des relations intra-sites entre Fuente del Trucho, Gargas et Cosquer et serait bien entendu aussi enrichie par une analyse spatiale quantitative de ces deux dernières.

D'autre part, l'analyse spatiale systématique d'autres types de motifs serait enrichissante, avec une légère modification de la méthode[103], à la manière des travaux de Intxaurbe *et al.* (2024), par exemple de façon exhaustive dans la grotte d'El Castillo ou dans de nombreuses autres grottes où les mains négatives cohabitent avec ceux-ci. De cette manière, il serait possible d'avoir un aperçu des différentes structures spatiales existantes avec des données précises et comparables *via* un axe d'analyse commun.

L'élargissement de l'étude à d'autres chronologies serait également intéressante, non seulement à l'entièreté du Paléolithique récent, mais aussi à d'autres périodes (pré)historiques et à des échelles de lieux plus larges. En effet, la méthode proposée ici est applicable à de nombreux cas archéologiques, au-delà de toute frontière chronologique ou géographique. Chaque utilisation de la méthode implique aussi une consolidation de celle-ci par le travail de pairs et un élargissement des perspectives. La construction commune de ces nouveaux outils, sources d'espoir et de renouveau pour la discipline, pourra ainsi contribuer à faire progresser notre compréhension du comportement humain préhistorique et des pratiques symboliques. Si l'analyse de trois cavités m'a donné l'occasion de poser toutes ces nouvelles questions, et une série de nouvelles réponses, il est permis d'espérer que l'extension de ce type d'étude spatiale renforcera encore notre connaissance et notre compréhension de ce phénomène graphique et de l'art pariétal en général.

Je conclurai en affirmant que ce travail a concouru au renforcement de l'hypothèse de l'importance de l'étude spatiale de l'art pariétal paléolithique. Les mains négatives sont en effet le témoin de tout un système de communication visuelle étroitement lié à la culture et peut-être même à l'identité des groupes qui les ont créées. En cherchant à tracer les gestes et décisions derrière les lieux où ces empreintes ont été logées, on peut se rapprocher des dynamiques symboliques en jeu. Par là, de la conception même de l'espace de la cavité qui y était liée. Pas à pas, s'approcher du *sens*, en admettant que la *signification* reste à tout jamais inaccessible.

[103] Ces études seraient cependant contraintes par la difficulté d'établir la synchronie des figures. Une piste pour y remédier serait la voie de l'analyse stylistique, combinée à d'autres types d'études, comme les analyses de pigments ou les datations en général.



RÉSUMÉS

8. Résumés étendus

8.1. English

8.1.1. Introduction

Palaeolithic rock art (40,000–12,000 cal. BP in Western Europe) constitutes a major cultural legacy of prehistoric societies and therefore remains a primary source for their study. This research focuses on the spatial choices made by Palaeolithic communities in order to shed light on their symbolic and decorative practices. Beyond their artistic value, these symbolic expressions can inform us about the objectives and behaviours of prehistoric cave artists through the analysis of the locations and surfaces chosen for hand placement. More broadly, the spatial distribution of motifs within cave systems offers insights into the historical and social contexts of these groups, as well as their behaviours and underlying motivations.

The cave environment, being unique, complex, and inherently inhospitable to humans, lends itself particularly well to such analysis. Entering these spaces was a deliberate decision, because they are not spaces you happen to pass through by chance. The creation of motifs was evidently one of the primary objectives of such incursions, with some walls extensively decorated while others were deliberately left untouched despite their apparent suitability for artistic expression— a phenomenon documented by numerous scholars (e.g. Sauvet & Sauvet, 1979; Barrière, 1982; Vialou, 1986; Bégouën et al., 2009; Lorblanchet, 2010; Jouteau et al., 2020; Jouteau, 2021).

The analysis of decorative criteria, which may have varied over time and across different groups, thus constitutes a valuable source of information on the practical and symbolic worlds of these hunter-gatherer societies. However, in the history of cave art study, this research topic has predominantly focused on certain categories of motifs, particularly animal figures, which have been central to significant interpretative theories based on spatial distribution (Laming-Emperaire, 1962; Leroi-Gourhan, 1965; Raphaël, 1986). Hand stencils, by contrast, have not been subject to comprehensive studies regarding their spatial dispersion. When addressed, the debates have tended to focus on specific aspects such as their morphology (missing fingers), the gender or age of its creators, or the techniques employed.

Moreover, spatial studies within this field have historically faced significant technical constraints, particularly concerning the illustration of three-dimensional cave spaces and the

lack of quantitative methods for data collection and analysis (Spaey et al., 2024). The type of spatial information available to earlier researchers differed greatly from what is accessible today, both in terms of comprehensive *corpus* knowledge and the previous limitations of two-dimensional scientific communication.

In this dissertation, I propose to revisit the question of parietal art configuration by applying new analytical methodologies better suited to addressing these spatial and interpretative challenges.

8.1.2. Hypothesis

Based on the proposition that the study of the distribution of hand stencils within caves — that is, their organisation within the subterranean space — could shed light on the dynamics of the social groups who produced them, I put forward the following main hypothesis:

The distribution of hand stencils is intentional: their placement results from deliberate choices made by these societies, based on a series of criteria. It is therefore possible to determine general organisational rules governing the phenomenon of Late Palaeolithic hand stencils.

To this general statement, I add a series of secondary hypotheses:

(i) Multiple parallel systems of spatial organisation may coexist, including within the same cave.

(ii) A key characteristic of the placement of hand stencils is their visibility and the capacity of the spaces, i.e., their ability to accommodate an audience.

(iii) Another criterion in selecting locations for the motifs is the ease of access to them.

(iv) Some hand stencils are linked to circulation dynamics within the cave, serving a signalling function.

(v) Certain hand figures were arranged in relation to particular wall reliefs. The age, laterality, or completeness of the fingers may be factors leading to a differential spatial distribution of hand stencils.

(vi) Hand stencils follow spatial distribution criteria distinct from those governing the placement of animal figures or signs.

In this study, I propose to test these hypotheses, which will be addressed in the Discussion.

8.1.3. Objectives

The principal aim of this thesis is to enhance our understanding of Palaeolithic social groups through the study of the spatial organisation of hand stencils, as a form of artistic expression reflecting their symbolic thought. Analysing the distribution of these motifs within caves offers insight into the social practices underlying their placement. For example, the creation of a small engraved motif in a remote, hard-to-access space may follow different symbolic logics from that of a large polychrome bison near an entrance. Similarly, the way motifs interact with natural rock features or the capacity of spaces to accommodate observers may reveal social behaviours and traditions. Studying these complex subterranean environments requires a systematic approach and a reconstruction of Late Palaeolithic conditions. Therefore, this research proposes an innovative spatial analysis method to reveal the symbolic logics of the hunter-gatherer groups who produced these artworks.

8.1.4. State of the art

8.1.4.1. The hand stencil phenomenon

Hand stencils are a **widespread parietal motif** found across many cultures and continents, dating from the Early Upper Palaeolithic to this day (Cartailhac, 1906; Levy, 1948; Casteret, 1951; Breuil, 1952; Leroi-Gourhan, 1965; Leroi-Gourhan, 1967; Moore, 1977; Quinnell & McBryde, 1977; Walsh, 1979; Ballard et al., 1992; Arifin & Delanghe, 2004; Fage, 2010; Onetto & Podestá, 2011; Aubert et al., 2014; Le Quellec, 2016; Guichón & Re, 2020; Tsang et al., 2022, 2023). Focusing on Late Palaeolithic hand stencils in Western Europe, 653 examples have been recorded across France (55,9%), Spain (43,19%), Italy (0,77%), and Gibraltar (0,15%).

Chronologically, a **Gravettian attribution** is broadly accepted (Lorblanchet, 1995, 2010; González Sainz, 1999; Ripoll López et al., 1999; Fortea Pérez, 2005; Foucher et al., 2007; Jaubert, 2008; Petrognani, 2009; Feruglio et al., 2011; García-Diez & Garrido, 2012; Pettitt et al., 2015a; Groenen, 2016), despite some ongoing debates about Uranium/Thorium dating (Hoffmann et al., 2018a, 2018b; Aubert et al., 2018a; Pearce & Bonneau, 2018; White et al., 2020; Standish et al., 2025). Radiocarbon dates from Cosquer, Fuente del Salín, and Gorham's Cave (Delluc & Delluc, 1991; Valladas et al., 1992; Moure Romanillo & González Morales, 1992; Clottes et al., 1992b, 1992c, 1995; Girard et al., 1995; Lorblanchet et al., 1995; Airvaux et al., 2006; Pigeaud & Primault, 2007; González Sainz, 2005; Feruglio et al., 2011; Pike et al.,

2012; García-Diez et al., 2015; Hoffmann et al., 2017, 2018a; Simón-Vallejo et al., 2018) along with indirect datings and U/Th methods, generally support this timeframe.

In terms of **technique**, the pigments used to create the hand stencils include red (hematite and clays), black (charcoal or manganese oxide), yellow (goethite), white (talc and chlorite), and brown (clay) (Groenen, 1997). The dominant execution technique seems to be a pigment projection with the hand pressed against the surface acting as a stencil, as shown by the data of the experimentations carried out in the scope of this thesis (Fernández-Navarro et al., 2025b).

Formally, hand stencils show variations, notably the frequent absence of one or more fingers in some specimens. Among the 39 known sites, 14 present such **hands with missing fingers** (35.9%), with notable geographical patterns like the consistent absence of the pinky finger in southern Spanish sites. Debates regarding missing fingers have considered whether they represent actual amputation — either ritual (Cartailhac, 1906; Casteret, 1951; Breuil, 1952; Luquet, 1926; Levy, 1948; Janssens, 1957; Sahly, 1966; Verbrugge, 1970; Pradel, 1975; Barrière, 1976, 1977; Hooper, 1980; Nougier, 1984; Delluc & Delluc, 1991; Barrière & Suères, 1993; Lundborg, 2014; McCauley et al., 2018; Alonso, 2019) — or accidental loss due to frostbite or disease (Sahly, 1966; Janssens, 1957; Barrière, 1976, 1977; Nougier, 1984; Bahn & Vertut, 1997; Utrilla, 2005; Jandeaux, 1997; Barrière & Suères, 1993; Utrilla & Bea, 2015). Alternatively, Leroi-Gourhan (1965) proposed that the missing fingers are folded, an idea embraced by many subsequent authors.

Hand stencils in Palaeolithic cave art show considerable variability not only in formal traits, such as missing fingers, but also in overall size, reflecting the hand dimensions of the individual who created the stencil. Early research noted a wide range of **hand sizes**, from large adult hands to very small ones, including infant hands.

On basis of those observations, several biometric methods have been applied by various authors (e.g. Groenen, 1988; Manhire, 1998; Ripoll Ródpez et al., 1999; Guthrie, 2005; Chazine & Noury, 2006; Gunn, 2006; Snow, 2006, 2013; Bednarik, 2008; Pettitt et al., 2014; Mackie, 2015, 2018; Carden & Blanco, 2016; Rabazo-Rodríguez et al., 2017; Fernández-Navarro & Garate Maidagan, 2021; Fernández-Navarro, 2022, 2024, 2025a) to determine sex and age of the individuals that put their hands on the walls. Their results suggest demographic diversity with a predominance of female hands. Nonetheless, difficulties related to taphonomy and spraying orientation affect imprint size and complicate determinations, and some researchers question the reliability of sex and age identification (Gradin, 1981; Flood, 1987; Henneberg & Mathers, 1994; Gunn, 2006; Sierp & Henneberg, 2015). To overcome these pitfalls, researchers

are now looking to include other innovative methods, such as *Machine Learning* (Wang et al., 2010). (Wang et al., 2010).

In terms of **spatial distribution**, previous works observed that hand stencils are often located near cave entrances or anterior galleries (Leroi-Gourhan, 1965; Barrière, 1977; Delluc, 2006; Djindjian, 2015), sometimes arranged in groups or series (Leroi-Gourhan, 1967, 1992; Barrière, 1977; Groenen, 1990, 2011, 2016). In the Gargas cave, groupings and chains with increasing density are observed (Leroi-Gourhan, 1967), although there are contradictory opinions as to whether these constitute rhythmic or chromatic pattern (Barrière, 1977). For the same cavity, Groenen proposes distinct topographical ensembles (Groenen, 1990, 2019) and notes hands near access zones or difficult-to-reach areas, sometimes in niches or concavities (Groenen, 1990, 2011, 2013, 2016). Pettitt et al. (2014) emphasise tactile interaction with the cave surface in the El Castillo cave. González García highlights the frequent location of hand stencils on what he calls *active panels* (González García, 1987, 1990, 2001). Collado Giraldo (2012) offers an analysis of spatial zones in Maltravieso, linking visibility and social function. While those insights are interesting, they should be treated with caution, as they are based on information that is limited by the methods available at the time of the study (such as subjective categorisation and space description, along with the anachronic component of basing interpretation off the current cave aspect).

Hand stencils have also generated diverse **interpretative theories** primarily revolving around two aspects: *significant action* and *symbolic communication*.

Regarding *significant action*, Clottes and Lewis-Williams (1996) propose that hand stencils were part of a symbolic ritual aiming to connect with the beyond or a magical realm. They highlight the creation process where the hand, covered entirely in pigment, seemingly merges with the surrounding wall, symbolising a passage through the surface to another dimension (Drennan, 1937; Clottes & Lewis-Williams, 1996; Lewis-Williams, 2002; Clottes, 2008). This interpretation extends to notions of spatial marking as a symbol of power or possession, and even ritualistic amputation of fingers linked to shamanic initiations, supported by ethnographic parallels from South Africa (Drennan, 1937). Guthrie (2005), building on Manhire (1998), suggests that adult hand stencils could be linked to healing ceremonies, and those of younger individuals to initiations.

Concerning *symbol or communication*, Leroi-Gourhan (1965) classified these motifs within a structuralist framework, interpreting them as feminine signs associated with surrounding masculine signs (parallel lines or dots), and typically situated near central compositions. This

author viewed hand stencils — especially those missing fingers in Gargas — as a non-verbal communication system used by hunters for silent signalling (Leroi-Gourhan, 1967). This hypothesis was partly taken over by Etxepare and Irurtzun (2021), whose work suggests the possibility of the hand stencils representing an 'alternate' or 'non-primary' sign language. For his part, Rouillon (2006) proposed that the fingerless hands of Cosquer might represent a numerical system (based on the presence of handprints showing one to five raised fingers). Gregg (2008) and Taçon et al. (2014) hypothesised that handprints could serve as artists' signatures, inspired by Aboriginal practices recognising ancestral handprints (Basedow, 1925). Additionally, some researchers posit that certain motifs — such as hand stencils or dot patterns — functioned as spatial markers within the cave networks, potentially indicating paths, dangerous areas, or significant spaces (Groenen, 1990, 2011, 2013; Foucher, 1991; Clottes et al., 2005; Pigeaud, 2005; Collado Giraldo, 2018).

Given the diversity of these interpretations, we have to consider that hand stencils might reflect multiple cultural customs rather than a homogeneous phenomenon. Moore's (1977) ethnoarchaeological study of Australian Aboriginal stencils highlights the existence of at least ten distinct functions, underscoring the cultural variability that must be acknowledged, especially over such extensive temporal scales.

8.1.4.2. Space in cave art study

The decision of Palaeolithic peoples to select caves as locations for their artistic motifs is far from incidental, given the inherently hostile nature of these environments. Darkness, intense humidity, and physical dangers characteristic of many caves would generally discourage use of those spaces. Nevertheless, evidence shows a determined engagement with these subterranean spaces, involving significant preparation and adaptation. The considerable energy and resources devoted to this engagement underscore the importance of these sites and justify the analytical focus on spatial aspects of the dispersion of the motifs.

This observation raises fundamental questions: What defines a place? What scope does the concept of space encompass? Is it possible to define space, or at least to outline the range of concepts it entails? From Leroi-Gourhan's (1965) notion of the "participating cave" to Pigeaud's (2013) "organising cave," various scholars have offered perspectives on the significance of spatial analysis in prehistoric art.

Historically, the study of space has been marginal in rock art research, and there remains no consensus on what "space" precisely means. Researchers have encountered numerous

challenges, including the difficulty of representing three-dimensional space on two-dimensional surfaces (paper publications) interpretation by researchers, and the multifaceted nature of spatiality itself. Until recently, spatial representation relied on photography, plans, sections, and verbal descriptions, all subject to significant interpretive biases, and problematic when addressing complex environments such as caves.

Even the vocabulary employed to discuss spatial issues in rock art quickly reveals its limitations. Everyday terms such as *corridor*, *bottom*, or *gallery* inadequately capture the uniqueness of each cave's morphology, reflecting cultural biases incompatible with subterranean realities. Consequently, the term *space* is contested across many dimensions: from the mere location of a motif on a wall to perceptions of narrowness, visibility, acoustics, appropriation, and the structuring of the pictorial field.

This section aims to synthesise theoretical, methodological, and practical approaches to the analysis of space in Palaeolithic parietal art. It will incorporate insights from other disciplines such as philosophy and ethnoarchaeology to provide suitable tools for research into Palaeolithic rock art spatiality.

8.1.4.3. Theoretical insights

The study of Palaeolithic cave art has long suffered from the constraints of a singular intellectual framework. In response, this work advocates for an interdisciplinary expansion of perspectives on how prehistoric societies may have conceived and utilised space. In Western thought, space has traditionally been viewed as an absolute, empty container (Lefebvre, 1974), a notion stemming from Cartesian philosophy. However, alternative approaches stress the relativity of space, where perception and movement play central roles (Berthoz, 2005; Merleau-Ponty, 1945, 1964; Gibson, 1950; Fritz, 2020).

Within this view, space is not detached from the individual but is actively shaped by embodied experience. Scholars such as Hall (1959) and Sapir (1927) highlight the cultural specificity of spatial behaviours, suggesting that spatial practices function as a "silent language". Following this last work, those cultural aspects are handled "… in accordance with an elaborate and secret code that is written nowhere, known by none, and understood by all" (Sapir, 1927, p. 556). Archaeological applications of these ideas suggest that prehistoric individuals appropriated subterranean spaces through processes of exploration, familiarisation, and symbolic marking (Pigeaud, 2005; Groenen, 2013). Furthermore, Lefebvre's (1974) proposition that space is both a product and a producer of social actions is highly relevant to the placement and creation of

cave art, where space's characteristics intervene in the repartition of the motifs, in the general structure of the network, and in the shape of the walls.

The philosophical concept of *affordances* (Gibson, 1977) underscores how the physical properties of caves offered both opportunities and limitations for artistic expression. Additionally, the identification of spatial archetypes such as "the island" or "the cave" (Moles & Rohmer, 1998) points to the intentionality involved in accessing these spaces. The selection of specific locations for artwork, often in grand or challenging settings (e.g. Pech-Merle, Nerja), may reflect the symbolic or functional significance attributed to such environments.

These diverse theoretical approaches demonstrate the complexity of spatial conception and caution against imposing contemporary, WEIRD (Western, Educated, Industrialised, Rich, Democratic) spatial frameworks onto prehistoric contexts.

8.1.4.4. Comparative ethnological approach

A comparative ethnological approach can also offer valuable insights into Palaeolithic parietal art by highlighting the complex, socially embedded nature of spatial organisation and symbolic behaviour. I can, for example, underscore the diachronic and diatopic variability of spatial perceptions among human groups. Studies of Aboriginal Australian rock art (Domingo et al., 2020) reveal that accessibility does not straightforwardly correlate with public or sacred art, as demonstrated by the Doria Gudaluk site, where ceremonies take place both on-site and off-site depending on context. Similar differential spatial treatments are observed in other cultures, such as the Nukak of Amazonia (Politis, 2007), the Garifuna (Coelho, 1955), and various groups practising linguistic taboos to manage the ritual or mystical properties of space (Tobin, 1952; Franklin, 1972; Grimes & Maryott, 1994; Armstrong, 2011).

Ethnographic examples show that access to ritual spaces, knowledge, or imagery can be strictly controlled, reflecting social hierarchies, as seen in restricted religious sites worldwide (Tange & Kawazoe, 1965; Coelho, 1955; Heldman, 1992; Barker, 1998; Bharne & Krusche, 2014). The secrecy around the meaning of images, as discussed by Nash and Smiseth (2015), further supports this. Guy (2017) suggests that such inequalities may have existed in the Palaeolithic, where selective access to decorated caves could signal social stratification.

Ethnology also invites the rethinking of landscape as an active process (Thomas, 1993; Luig & Von Oppen, 1997) and suggests that the focus should shift from the static interpretation of rock art to the dynamic processes of creation and use (Taçon, 1990; Domingo et al., 2020; Witelson,

2023). Repeated use of specific sites may relate more to the sacredness of place than to the images themselves (Taçon, 1990; Domingo et al., 2020). Environmental conditions, such as hypoxia, may also have influenced behaviour and artistic choices (Kedar et al., 2021). Finally, while ethnography offers valuable frameworks, we need to be aware that its application must avoid anachronistic comparisons (Domingo et al., 2020).

8.1.4.5. SIG use regarding cave art

This study distinguishes itself by employing advanced spatial analysis technologies within the relatively underexplored field of decorated caves. The relevance of three-dimensional (3D) representation for parietal art research has been acknowledged for over fifteen years, with a notable increase over the past decade.

Techniques such as photogrammetry and laser scanning have been widely utilised to document cave interiors (Gonzalez-Aguilera et al., 2009; González-Aguilera et al., 2009; Angás et al., 2013, 2014; Martin-Beaumont et al., 2014; Xu et al., 2014; Angás & Bea, 2014; Galeazzi et al., 2014; Cassen et al., 2014; Plisson, 2015; Plisson & Zotkina, 2015; Alexander et al., 2015; Cortón Noya et al., 2015; Rivero et al., 2019b), monitor the conservation status of decorated areas (Lacanette & Malaurent, 2010), produce detailed surveys (Azéma et al., 2010; Fritz et al., 2010b; Domingo et al., 2013; Feruglio et al., 2013; Defrasne, 2014; Fuentes et al., 2019; Lesvignes et al., 2019; Barbuti et al., 2023), carry out virtual restorations (Fritz et al., 2010a; Beraldin et al., 2011; Azéma & Gély, 2014) and analyse the art in its spatial context (Güth, 2012; Sadier, 2013; Boche et al., 2014; Bourdier et al., 2015; Robert et al., 2016; Zotkina & Miklashevich, 2016).

Beyond mere visualisation, 3D technologies challenge traditional spatial categorizations by conceiving space as a continuous entity without subdivisions. Building upon these 3D models, *Geographic Information Systems* (GIS) offer powerful tools for spatial data measurement and analysis. Defined as systems that collect, store, process, analyse, and visualise georeferenced data layers, GIS enables superposition, comparison, and simulation of spatial data. These systems are increasingly prevalent, notably in landscape archaeology, for studies of visual and auditory fields, site distribution, and resource proximity (Wheatley & Gillings, 2000, 2002; Wheatley, 2004; Llobera, 2007, 2012; Magnin, 2013; Gillings, 2015, 2017; Dell'Unto et al., 2016; Landeschi et al., 2016; Wienhold & Robinson, 2017; Díaz-Andreu et al., 2017; Wernke et al., 2017; Landeschi, 2019; Dell'Unto & Landeschi, 2022).

While GIS has proven valuable in subterranean (Moyes, 2002; Herrmann, 2002; Nigro et al., 2003; Ortega Martínez, 2012, 2014; Albert, 2017; Landeschi et al., 2019; Louman, 2022; Intxaurbe et al., 2022) and rock shelter contexts (Bourdier et al., 2017), integrating GIS with 3D representations of caves remains challenging due to their originally two-dimensional design. Recent methodological advances by Intxaurbe et al. (2020, 2022) have begun addressing these challenges, focusing on accessibility, visibility, spatial capacity, and access conditions of decorated zones. The present research builds upon these precedents, combining GIS, 3D modelling, and statistical tools to advance beyond traditional, often subjective, descriptive methods.

8.1.5. Method

8.1.5.1. General structure

The approach adopted here integrates multiple tools — 3D capture, geomorphological analysis, archival research, *Geographic Information Systems*, and statistical methods — characterised by systematic, quantifiable, and reproducible processes aiming for greater objectivity than traditional approaches. The methodology follows stages including 3D model creation, localisation of graphic units, study of morphological changes since the Late Palaeolithic, virtual reconstruction of original cave conditions, spatial analysis using GIS, statistical evaluation, and interpretation.

A **three-scale framework** structures the analysis: global, macro, and micro.

(i) The *global scale* considers the cave in its broader geographic and environmental context (Monney, 2012; Genuite et al., 2018, 2022), though this scale is not the primary focus of this thesis.

(ii) The *macro scale* centres on the cave itself, addressing the position of the motifs in the general structure of the cave, spatial modification, accessibility, capacity for occupancy, and motif visibility. This theoretical framework sets the foundation for more detailed methodological elaboration in subsequent sections.

(iii) The third scale proposed is the *micro scale*, which focuses directly on the cave wall. This level allows for the examination of interactions between the figures and their support, as well as the relationships among the motifs themselves. It also addresses issues related to the artist's position, such as comfort and height, providing a more detailed understanding of the production context.

8.1.5.2. Documentation methods

The methodologies employed for data collection are essential to spatial analyses aimed at reconstructing the original morphology of caves during the creation of prehistoric motifs.

The initial phase involves **archival research**, including the study of *historical documentation*, *photographic records*, and *early cave plans*, which provide insight into recent modifications and the original state prior to anthropogenic alterations (Ochoa et al., 2017; Spaey et al., 2025). Photographic sources, despite potential distortions due to technical limitations and challenging lighting conditions, remain invaluable for visual assessments. Likewise, early topographic surveys offer crucial data on structural elements that may have since disappeared or been altered, especially in caves adapted for tourism.

Complementing these are *written and oral sources* — including excavation reports and guide testimonies — that contribute to locating otherwise obscure archaeological features, though their subjectivity necessitates cross-verification on-site. Direct inspection and photographic documentation within the cave serve to verify archival data and capture technical characteristics of motifs *in situ*, while also identifying subtle anthropogenic modifications that may hinder authentic spatial modelling.

A critical third component is the *geomorphological characterisation of the cavity*, accounting for natural and anthropogenic processes affecting cave morphology over time (Van Gundy & White, 2009; Delannoy et al., 2010; Sadier, 2013; Laureano et al., 2016; Genuite et al., 2018; Jaillet et al., 2024). This includes sedimentary, erosional, climatic, tectonic, and zoogenic influences (Audra et al., 2016; Barriquand et al., 2021). Geological analysis is pivotal to delineate the prehistoric spatial configuration by excluding post-creation alterations (Delannoy et al., 2012; Jouteau et al., 2019). This methodology follows established approaches used in caves like Santimamiñe and Atxurra (Aranburu et al., 2015; Arriolabengoa et al., 2018, 2020, Garate et al., 2020; Intxaurbe et al., 2023), involving allo-stratigraphic unit identification, stratigraphic sequencing, and mapping of morphological features (e.g. ceiling ridges, channels) to reconstruct relative chronologies and geomorphological evolution, utilising graphic software tools for detailed cartography.

The documentation techniques also include generating and geolocating three-dimensional models of cave interiors, essential for accurate spatial analysis of prehistoric motifs. The initial step involves laser scanning (lasergrammetry), which records millions of geolocated points through laser beams to reconstruct cave walls as dense point clouds, later triangulated into 3D

meshes (.obj files). These models provide millimetric precision of the cave's current state, though texture capture by the same device may lack detail and often requires complementary photogrammetry.

Subsequently, the precise geolocation of graphic units (e.g. hand stencil motifs) on the 3D model is undertaken via devices such as the 3D disto-clinometer (*DistoX2*) — a portable *Leica*® distance meter enhanced with Bluetooth-enabled clinometer functions — facilitating data collection in challenging cave environments (Almeida-Warren et al., 2021). Data is processed with dedicated software (*TopoDroid*, *VisualTopo*) before integration into GIS.

An alternative or complementary method is photogrammetry, which combines multiple unordered photographic images with computer vision algorithms (e.g. SIFT) to generate photorealistic, textured 3D models. This process requires careful image acquisition to optimise colour accuracy, lighting, and focus; followed by digital processing in *Agisoft Metashape*® to produce point clouds and textured meshes. Digital enhancements such as the plugin *DStretch*® in *ImageJ*® can be applied to the textures to facilitate the visualisation of motifs. Photogrammetric models are georeferenced by aligning identifiable points with the lasergrammetry data, allowing precise location of motifs within the cave.

For larger caves or areas requiring higher spatial resolution than lasergrammetry alone can provide, LiDAR scanning is employed to capture finer surface details where mesh triangles might otherwise be too coarse. Despite producing lower-quality textures than photogrammetry, LiDAR data combined with lasergrammetry, and photographic methods yields reliable 3D reconstructions.

8.1.5.3. 3D modelling

Blender® was used to modify 3D cave models, focusing on two main tasks: removing anthropogenic alterations (such as lowered floors, stairs, lighting, cables, over-excavated tunnels, barriers) and restoring ancient floor levels. This involved two processes: mesh *editing* to delete large segments, and *sculpting* for finer adjustments and floor level management.

The workflow consisted of first colouring segments requiring modification (saved in a separated 3D model for transparency of the process) then editing and sculpting the mesh according to the historical data collected. The final outputs included a coloured version showing modification areas, and the reconstructed model representing the cave's state during the Late Palaeolithic.

8.1.5.4. GIS

After precise 3D reconstruction and geolocation of cave figures, GIS analyses were performed to extract quantitative data on the spatial distribution of Palaeolithic motifs. In a workflow similar to Intxaurbe et al. (2021, 2022, 2024), I applied a general analysis of all hand motifs collectively, along with an individual analysis applied to each motif.

This study includes slope mapping (*Dangerousness*), kernel density analysis of hazardous zones (*GreaterDifficulties*), calculation of a main corridor path (*MainCorridor*), visibility corridors (*VisibleMainCorridor*), intervisibility between motifs, ideal observation points (*IdealPosition*), and clustering (*HeatMapDensity*). Statistical correlations between motif height and orientation were used to estimate execution feasibility.

Established measures of access difficulty (*Least Cost Path*) and visibility, differentiated by posture (standing, stooping, lying), were included, based on archaeological data (Holt, 2003; Shackelford, 2007; Cox et al., 2019) and estimations (Neufert, 1951; Pastoors et Weninger, 2011; Ruiz-Redondo, 2014), considering an average height of 159.9 cm. Artist positions were categorised by height relative to the ground and slope in five classes from lying down (<1 m) to elevated (>1.8 m).

8.1.5.5. Statistics

The statistical analysis of spatial data using *R* (R Core Team, 2024) and the *FactoMineR* package (Lê et al., 2008) allowed for the identification of spatial distribution dynamics within decorated caves through *Principal Component Analysis* (PCA), *Factorial Analysis of Mixed Data* (Pagès, 2004), and *Hierarchical Clustering on Principal Components*. PCA addressed continuous variables such as path length, while factorial analysis integrated quantitative and categorical variables, including hand laterality. Cluster analysis identified groups of observations with similar patterns. Only complete cases were used to avoid imputing missing values, ensuring methodological consistency across sites.

8.1.5.6. FAIR principles of open science

The research method emphasised transparency, recognising some aspects of interpretative nature in the reconstruction of prehistoric cave environments. Detailed documentation of each modelling step has been provided, although the quality of data did not allow the use of a large colour coding scale to indicate data reliability, as proposed by Aparicio and Figueiredo (2016).

Comprehensive documentation and open sharing of datasets, scripts (for GIS and R), and 3D models adhered to FAIR principles, ensuring data is Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable. Models were made available via platforms such as *Sketchfab* and the *Open Science Framework*, contributing to archaeological research, dissemination to the general public and cultural heritage conservation. Indeed, virtual accessibility to the caves reduces the need for physical visits, helping to preserve fragile sites.

Furthermore, the objective was to create a method that could be openly evaluated, critiqued, and enhanced, ensuring transparency and the collective advancement of archaeological understanding (Wilkinson et al., 2016).

Technical challenges related to the large file sizes of 3D models, exceeding the limits of common open-access platforms, highlights infrastructural limitations. Legal and ethical issues concerning data ownership and distribution remain unresolved, particularly regarding modified datasets and documentation images, with no clear standard governing the rights over digital heritage representations.

8.1.6. Materials

8.1.6.1. El Castillo

The El Castillo cave, located in Puente Viesgo on the northeastern slope of Mount Castillo, is a major archaeological site on the Cantabrian coast, spanning 790 metres (Cabrera Valdés, 1984). Listed as a UNESCO World Heritage site since 2008, its stratigraphy extends over eighteen metres, from the Early Palaeolithic to the Bronze Age. Discovered in 1903 by Alcalde del Río (1906), its rock art has since been studied by numerous scholars (Alcalde del Río, 1906; Alcalde del Río et al., 1911; Ripoll Perelló, 1956, 1971, 1972; González Echegaray, 1964, 1972; García Guinea & González Echegaray, 1966; González Echegaray & Moure Romanillo, 1970; González Morales & Moure Romanillo, 1984; González García, 1987, 1990, 2001; Moure Romanillo et al., 1996; Garate, 2006; Groenen, 2006, 2007a, 2007b, 2008b, 2008a, 2012, 2013, 2014; Mingo Álvarez, 2009; González Sainz, 2010; Ruiz-Redondo, 2010; Groenen et al., 2012; Pettitt et al., 2014, 2015; Ripoll et al., 2014; Groenen & Groenen, 2015, 2019, 2025; Rabazo-Rodríguez et al., 2017; Ripoll, Bayarri, et al., 2021, 2021; Díaz-González & Garate, 2025, Spaey et al., 2025). The cave underwent substantial alterations for tourism throughout the 20th century, significantly modifying its original morphology without scientific oversight.

El Castillo contains 2,563 graphic entities, including 541 figurative motifs (Groenen & Groenen, 2025) and 77 red hand stencils (Collado Giraldo, 2018). The cave also yielded rich portable art, such as striated scapulae typical of the Cantabrian Lower Magdalenian and pre-Magdalenian decorated objects, including a feline-engraved pebble (Barandiarán, 1972; Rivero et al., 2022). Debates remain regarding some potentially Aurignacian painted bones (Zilhão & d'Errico, 2003).

Chronological studies of its parietal have used involve radiocarbon (Valladas et al., 1992) and uranium-thorium dating (Pike et al., 2012; Hoffmann et al., 2018a), though precise timing of the latter remains elusive due to methodological limitations (Pearce & Bonneau, 2018; White et al., 2020). Researchers agree in general on the diachronic and multi-phased nature of the cave's artistic production, with different proposals for decor conception: three (González Echegaray, 1972), four (Alcalde del Río et al., 1911; Leroi-Gourhan, 1965), five (González García, 2001) or nine decoration phases (Breuil & Obermaier, 1935).

The El Castillo cave is an active cavity, still undergoing transformations today due to karstic processes. Since the Palaeolithic period, it has therefore experienced changes in its morphology. As part of this research, a comprehensive study of the karstic system of El Castillo cave was carried out in collaboration with Martin Arriolabengoa (EHU) and Iñaki Intxaurbe (EHU), culminating in the creation of a geomorphological map.

8.1.6.2. Fuente del Trucho

The Fuente del Trucho cavity is located in Asque-Colungo (Huesca), on the right bank of the Arpán River gorge, in the southern Pyrenees, within the Vero River valley (Utrilla et al., 2016). The site comprises a large SE-facing entrance giving access to two distinct sections: a well-lit rounded shelter and a deeper, darker cave chamber extending 24 metres. The decorated cave was discovered in 1978 during a survey of rock art in the Vero River area (Utrilla et al., 2016), followed by nine excavation campaigns (Baldellou & Mir, 1986; Mir, 1987; Mir & Salas, 2000; Montes et al., 2006; Utrilla et al., 2010, 2014, 2016). Archaeological findings include Middle and Upper Palaeolithic materials, ceramics, and evidence of medieval Muslim presence.

The parietal art consists of at least 59 hand stencils, primarily red, with some items in black and yellow. Many hands present missing phalanges, and the ceiling also contains 16 animal figures (horses, bears, cervids, an ibex) and a set of painted signs, including point series and trefoil motifs (Utrilla & Bea, 2022). Engraved figures add to the list, located in the better-lit shelter section (Ripoll et al., 2001; Utrilla et al., 2016).

Dating remains complex due to conflicting evidence. U/Th dating suggests an age of over 27,370 years for the hand stencils, consistent with comparisons indicating a Gravettian attribution (Hoffmann et al., 2017; Utrilla et al., 2016). Radiocarbon dates (14C AMS) from excavations yielded unexpected Upper Palaeolithic dates (19,060±80 and 22.460±150 BP) despite typological affinities with Middle Palaeolithic lithics (Mir & Salas, 2000). These discrepancies may stem from post-depositional disturbances or mixed contexts (Utrilla et al., 2016). Further dates, including TL (13,244±945 BP) and additional 14C (20,800±100 BP; 26,020±150 BP; 31,880±220 BP) confirm recurrent Upper Palaeolithic occupations (Utrilla et al., 2014b, 2016).

No detailed geomorphological study could be conducted within the framework of this research. However, the absence of major speleothem development and the global preservation of painted ceilings suggest minimal geological change since the Upper Palaeolithic.

Additionally, the cave remains closed to the general public, with access strictly limited to authorised research teams. This restricted access has protected the site from the types of alterations and adaptations to tourism such as in El Castillo.

8.1.6.3. Fuente del Salín

The Fuente del Salín cave is located in the lower basin of the Nansa River Valley, near the Tinamenor estuary, within the municipality of Val de San Vicente, Cantabria (Bohigas Roldán et al., 1985). The cave lies approximately 3 km from the current coastline (Barreiro, 2003; González Morales & Moure Romanillo, 2008; Zugasti et al., 2012) — and is situated at an altitude of around 12 metres above sea level (González Morales, 2022). Its geological context consists of river terraces characterised by clayey silts.

The cave's peculiar geomorphology includes an active underground water network with periodic siphoning floods (Alonso Gutiérrez, 2018; González Morales & Moure Romanillo, 2008). Archaeological research is therefore only possible when water levels are sufficiently low. The decorated level, however, is fossil and unaffected by flooding, preserving Gravettian hand stencils dispersed around a small central chamber.

The site was discovered in 1985 by members of the Sociedad de Actividades Espeleológicas de Cantabria (SAEC) and has since been the subject of multiple archaeological campaigns (Bohigas Roldán et al., 1985; SAEC, 1985; González Morales & Moure Romanillo, 2000, 2008). Excavations at Fuente del Salín revealed a significant Gravettian occupation layer

situated within the decorated section of the cave and near its entrance. Beneath an initial stratigraphic layer of dark clay and a thin stalagmitic crust, archaeologists uncovered a dense deposit containing numerous faunal remains, marine molluscs — particularly limpets, littorines, and trivias (Cuenca Solana, 2013) — as well as ichthyofauna, alongside osseous and lithic industries crafted from flint, quartzite, and schist (González Morales, 2016). Associated finds included pieces of haematite, a limestone block with pigment residues, and a wall fragment also bearing traces of colourant (Alonso Gutiérrez, 2018).

The parietal art consists of 33 hand stencils (9 black, 24 red) and two positive red hands, alongside a single abstract motif (González Morales & Moure Romanillo, 2008). A controversial radiocarbon date of 18.200 ± 70 BP from charcoal associated with one black hand suggests possible sample rejuvenation due to environmental contamination (González Morales & Moure Romanillo, 2008). The art and occupation are attributed to the Gravettian, constituting a rare case of hand stencils in direct association with a domestic space (González Morales, 2022).

Although a geomorphological study remains pending due to difficult working conditions, preliminary evidence supports the hypothesis of minimal environmental change since the Palaeolithic. The presumed original entrance is likely located just three metres from a now collapsed zone, and the state of the decorated surfaces remains stable, with archaeological layers reflecting the Gravettian floor conditions.

8.1.7. Results

8.1.7.1. El Castillo

The study of El Castillo Cave in Cantabria, Spain, required an initial step of reconstructing the cave's Palaeolithic state to enable accurate spatial analysis of the hand stencils within. This reconstruction proved particularly challenging due to the extensive and undocumented modifications carried out during the cave's adaptation for tourism, which severely limited the availability of original documentation. Early photographs were scarce, with the only significant published source being *Les Cavernes de la Région Cantabrique* (Alcalde et al., 1911). However, crucial additional material was located in the unpublished archives of the *Frobenius Institute*, which specialises in anthropological and historical visual documentation.

The Frobenius Institute's 1936 expedition to northern Spain, organised by the German ethnologist Leo Frobenius, involved five artists who created reproductions of prehistoric cave

art, including rare photographs of the interiors of caves such as El Castillo. A collaboration with the Institute led to the digitisation of over two hundred previously unpublished photographs, including a valuable series depicting the entrance and interior of El Castillo. These images now form the foundation of the graphical documentation for this research. Supplemented by additional geological, archaeological and spatial data, this material enabled a detailed reconstruction of the cave's Palaeolithic form.

The first key result was the precise geolocation of 77 hand stencils within a 3D model of the cave. The motifs are distributed throughout the cave but with two major concentrations: the *Panneau des Polychromes* and the *Plafond des Mains*, the latter being the richest area in terms of hand depictions. Additional isolated hands were identified in other areas, including the *Bas-Côté*, the *Carrefour*, the *Salle du Chaos*, the *Galerie des Mains*, and the *Galerie des Disques*. High-resolution photogrammetry, LiDAR capture and section-specific photography were also produced, improving future research possibilities.

Macro-spatial analysis of the cave's entire motif distribution revealed homogeneity in terms of accessibility. Most hand stencils are located in easily reachable areas, with low difficulty values (average 10.12 $\frac{1}{(m/s)}$) and moderate distances from the cave entrance (average 63.86 metres). Raster maps confirmed that hands cluster in zones of minimal movement cost and physical difficulty. Only the *Galerie des Mains* and the *Galerie des Disques* presented slightly higher but still low difficulty indices. Importantly, no hand motifs were found near hazardous areas (e.g. steep drops or unstable surfaces), confirming that their placement avoided spatial danger zones.

Visibility analysis indicated that the hand stencils are, on average, highly visible within the cave environment, with individual motifs observable by between 5 and 26 simultaneous viewers (average 16). However, visibility is not uniform. The *Plafond des Mains* stands out for both the number of motifs and their collective visibility, creating a visual focal point within the cave. In contrast, hands located in the *Panneau des Polychromes*, the *Carrefour*, and the *Galerie des Mains* exhibit lower visibility levels.

The study of intervisibility — how the hand motifs are visible in relation to one another — showed that only the *Plafond des Mains* has significant intervisibility, with multiple motifs visible from a single vantage point. Elsewhere, most hands are visually isolated, visible alongside very few or no other motifs.

Lateralisation analysis, based on the orientation of thumbs, identified the laterality of 69 out of 77 hand motifs, revealing a clear predominance of left hands (76.8%) (if we consider that the hand is placed with the palm on the wall). This pattern is consistently distributed across the various sections. The tendency for left-hand motifs could be connected to blowing techniques, where the right-handed individuals would naturally use their left hand for stencil creation while holding pigment in their dominant hand. However, the possibility that some hands were applied with the back of the hand facing the wall complicates this interpretation.

Morphometric analysis conducted by Fernández-Navarro suggests that all age groups are represented among the creators of the stencils. Although the majority of hands are attributed to adults, examples corresponding to adolescents and children were identified and found to be dispersed rather than clustered. This would indicate inclusivity of different age groups without any spatial segregation based on age.

Density analysis underscored the spatial significance of the *Plafond des Mains* and the *Panneau des Polychromes*, which together form the primary centres of artistic activity. These two zones, located relatively close to the cave entrance but in total darkness, are visually and spatially interconnected.

The hand stencils are also predominantly located along the right-hand side of the cave, as previously observed by Groenen & Groenen (2019), and none are found in the deepest parts of the cavity. The pattern indicates deliberate selection of specific areas for symbolic expression, balancing accessibility, visibility, and safety.

This comprehensive spatial study reveals that the distribution of hand stencils in El Castillo is not random but reflects a complex interplay of environmental constraints, cultural choices, and possibly social dynamics within Palaeolithic communities.

A Correspondence Factor Analysis (CFA) combined with Hierarchical Clustering on Principal Components (HCPC) was carried out to statistically analyse the spatial distribution of hand stencils in the El Castillo cave. In a first exploratory analysis using variables such as path difficulty, path length, motif height, total visibility, intervisibility, laterality, and transformed orientation angle, four groups were identified through HCPC. Further examination revealed that the sole factor separating clusters 3 and 4 was laterality, which acted independently of the other variables. Given the categorical nature and limited explanatory power of this variable, it was excluded from subsequent analyses to retain only quantitative variables.

A second HCPC, focusing on path difficulty, motif height, total visibility, intervisibility, and transformed orientation, resulted in a clearer structuring of the data. The first principal component was mainly influenced by path difficulty, motif height, and total visibility, while the second was dominated by path length. Hand orientation contributed minimally. The first dimension explained over 40% of variance, and the first three components cumulatively accounted for over 80%, justifying their use in further analysis. This clustering produced three distinct groups: Firstly, hands that are relatively harder to reach, those of the *Galerie des Mains* and of the *Galerie des Disques* (cluster 1). Secondly, hands that are not very high and are therefore less visible and can only see a few other hands (cluster 2). Finally, there is the last group of highly visible hands that are generally high (cluster 3).

At a micro-spatial level, the study examined the artist's position, revealing a broad diversity without area-specific patterns. Positions ranged from crouching to elevated, indicating that practical convenience was not prioritised, suggesting symbolic considerations in wall selection. The orientation analysis showed most hands were comfortably and naturally positioned, with left hands generally between -60º and 120º and right hands between -90º and 90º. However, exceptions were identified, such as hand 64, which required a physically awkward position with the elbow inside a chimney, and hand 63, oriented downwards on a sloping rock surface. These anomalies indicate that some positions were deliberately chosen despite their physical discomfort, potentially reflecting symbolic or ritual choices rather than ergonomics.

8.1.7.2. Fuente del Trucho

The reconstruction of the Palaeolithic state of the Fuente del Trucho cave faces significant limitations due to scarce and imprecise sources (Mir, 1987; Mir & Salas, 2000; Utrilla et al., 2016). The dating of archaeological levels is disputed, with conflicting interpretations regarding whether the excavated layers correspond to the Middle or Upper Palaeolithic (Utrilla et al., 2016). The soft nature of the cave floor complicates stratigraphic analysis, and no historical photographs or texts exist to aid reconstruction, unlike El Castillo cave.

In reconstructing the cave's morphology, the ceiling presented little difficulty due to the survival of parietal motifs acting as a *terminus ante quem* and the absence of tourism-related alterations. The cave floor, however, posed greater challenges. Due to unreliable stratigraphic data and potential sedimentary disturbances (e.g. cattle activity), no consistent stratigraphic profile could be established (Utrilla et al., 2016). As a result, the floor was not modified in the 3D model, apart from virtually refilling excavated areas to create a more uniform surface.

The *corpus* of hand stencils was expanded to 59 motifs, adding four new examples to Collado Giraldo et al.'s (2018) inventory, totalling 53 red, 3 black, and 3 yellow hand stencils. The precise geolocation of these stencils was achieved using high-resolution orthophotographs and a textured 3D model.

Macro-spatial analysis revealed low accessibility difficulty (mean 11.93 $\frac{1}{(m/s)}$); depth 21.12 m), with homogenous results across hand stencils, regardless of colour or handedness. The cave showed no zones of danger. Visibility analysis indicated high and relatively uniform visibility levels (mean c. 20 potential observers), surpassing those recorded at El Castillo. Visibility decreased towards the cave's rear, in accordance with its narrowing morphology. Intervisibility between hand stencils averaged 6.07 motifs, with denser clusters exhibiting higher intervisibility. No significant correlation emerged between accessibility, visibility, handedness, or hand colour.

The majority of hand stencils were left hands (33/59), with right hands (17) and indeterminate (9). Age estimations based on hand size showed balanced representation across age groups, though adolescents predominated (50%). No clear spatial clustering of age groups was detected. Twelve distinct finger configurations were identified, with the complete hand and the configuration with only the little finger extended being most common. Spatial distribution of finger configurations showed no significant pattern related to accessibility, visibility, handedness, or colour. The highest density of hand stencils was towards the cave's rear, potentially reflecting taphonomic preservation differences.

A Correspondence Factor Analysis (CFA) and Hierarchical Clustering on Principal Components (HCPC) were conducted on the hand stencils of Fuente del Trucho using the following variables: path difficulty, path length, motif height, overall visibility, intervisibility, laterality, and transformed orientation angle. The first analysis showed no clear separation between motifs on the individual factor map, with total visibility playing a key role in dimension 1 and orientation angle in dimension 2. Quantitative variables revealed an opposition between visibility and intervisibility, as well as between path difficulty and motif height. Categorical variables highlighted the importance of motif colour and, to a lesser extent, right-handedness.

The resulting HCPC identified five clusters: (i) cluster 1 comprised motifs with low orientation angles and low height, (ii) cluster 2 featured motifs with longer access paths and variable heights, (iii) cluster 3 grouped the yellow hands, (iv) cluster 4 contained motifs with short

access paths and low heights, while (v) cluster 5 consisted of black hand stencils. These results must be interpreted cautiously, as the orientation angle — potentially problematic for ceiling motifs — may have skewed the clustering.

A second analysis excluding the orientation angle also produced five clusters, with two clusters based solely on motif colour (yellow and black hands). The remaining clusters were differentiated by minor variations in access path length or difficulty, variables with minimal discriminating power, suggesting limited interpretative value.

A third analysis introduced finger configuration as an additional variable. Six clusters emerged: (i) cluster 1 (low motifs with longer paths), (ii) cluster 2 (high motifs with longer paths), (iii) cluster 3 (high motifs, short paths, low difficulty), (iv) cluster 4 (yellow and red hands with identical finger configuration: *llll*i), (v) cluster 5 (high-position hands, mostly with *liiii* configuration, including one black hand), and (vi) cluster 6 (two black hands grouped together despite differing finger shapes). Spatial analysis showed that clusters often reflected the narrowing shape of the cave, with some clusters (e.g. cluster 1) consistently located deeper inside.

Micro-spatial analysis of artist positioning indicated varied body postures, influenced by motif height and ceiling shape. Orientation analysis showed that most hands followed comfortable directions aligned with their laterality. Exceptions included left hands (yellow 11, red 6, red 24) positioned at awkward angles. One case (hands 6 and 7) suggests a mirrored composition.

8.1.7.3. Fuente del Salín

Similarly to the case of Fuente del Trucho, the reconstruction of Fuente del Salín's Palaeolithic state was limited by the absence of historical photographs or geomorphological studies. However, archaeological excavations (Moure Romanillo & González Morales, 1992; González Morales & Moure Romanillo, 2000, 2008; González Morales, 2016) provided crucial data by uncovering level 2, the Gravettian occupation linked to the cave's hand stencils. Stratigraphic data was integrated into a 3D model to reconstruct the original floor level, adjusting the ground by 30 cm to match the Gravettian occupation level using a system of virtual cubes. The entrance collapse was modelled based on the virtual reconstruction of the GIM Geomatics company.

The *corpus* of hand stencils was expanded beyond the 21 examples previously documented (Collado Giraldo, 2018) through unpublished findings by González Morales' team and additional observations in the frame of this work yielding a total of 31 hand stencils. These

were georeferenced within the 3D model using Agisoft Metashape® and ArcGIS®, following the numbering system of Collado (2018) supplemented with new identifiers.

Spatial analysis of the 31 hands included accessibility, visibility, intervisibility, laterality, estimated age of individuals, density, and multivariate analyses. The hand stencils were highly accessible, located near the entrance with low path difficulty values. Visibility was generally lower than in the two other cavities, with red hands typically more visible than black ones in this case. Intervisibility was inconsistent and left hands slightly predominated (10 left vs. 8 right), though many hands remained indeterminate.

Age assessments indicated a diversity of individuals, especially near the densest panel. The hands were concentrated in the cave's anterior section, with kernel density analyses revealing focalised clusters. Factorial Correspondence Analysis (FCA) and Hierarchical Cluster Analysis (HCA) identified three main clusters, influenced by path difficulty, intervisibility, colour, and laterality. A second analysis excluding laterality corroborated the first, also yielding three clusters defined by variables such as visibility, motif height, and path length.

Micro-spatial analysis highlighted diverse execution positions, with a prevalence of squatting or elevated postures. Motif orientation corresponded broadly to ergonomic norms, with a marked obliquity and absence of vertically positioned hands.

8.1.8. Discussion

8.1.8.1. Data quality and method relevance

The quality of data across the three caves — El Castillo, Fuente del Trucho, and Fuente del Salín — is uneven. El Castillo benefited from extensive fieldwork, archival documentation, and detailed reconstructions but has undergone significant anthropogenic and geomorphological alterations. Fuente del Trucho, for its part, shows minimal human interference and geomorphological changes but suffers from disturbed archaeological stratigraphy, complicating ground-level estimations. Fuente del Salín, though lacking geomorphological studies, remains largely unaltered due to its late discovery and difficult access, offering more reliable archaeological data for floor level estimation, also favoured by the excavation of Gravettian occupation levels next to the hand stencils. The two latter caves benefit from geomorphological stability which compensates for the scarcity of studies.

Despite these variabilities, the chosen methodology — based on 3D models and spatial analysis — proves robust due to its flexibility in incorporating new data or reconstructions.

Application of the method to El Castillo's *Plafond des Mains*, both in its current and reconstructed Palaeolithic states, revealed significant differences in estimated audience size: the Palaeolithic model allows for up to 15 spectators with optimal visibility, compared to only 11 in the present-day model — a 26.66% reduction caused by modern alterations. This demonstrates the method's capacity to produce insights unattainable with traditional spatial analysis approaches. As Sauvet (1993) argued, merely describing past spaces is no longer sufficient; contemporary transdisciplinary methodologies enable a deeper understanding of prehistoric societies.

The spatial analysis of hand stencils in the three studied caves — El Castillo, Fuente del Trucho, and Fuente del Salín — reveals a series of shared characteristics allowing for the refinement of certain interpretative hypotheses. The overall accessibility to the motifs is easy across the three sites, with minimal exceptions such as the three motifs in El Castillo positioned in less accessible areas. All hand stencils are located in non-hazardous zones, in contrast to instances such as Cosquer Cave, where some hand motifs are positioned in potentially dangerous areas (Clottes et al., 2005). The general visibility of the hand stencils is high in all three caves, albeit influenced by the spatial constraints of each cavity. Minimum simultaneous visibility was estimated at five individuals for El Castillo, eleven for Fuente del Trucho, and four for Fuente del Salín.

This spatial configuration challenges previous claims, such as Djindjian's (2015) assertion that hand stencils are exclusively located near cave entrances, as El Castillo's motifs are situated exclusively in deep, dark zones, between 47 and 167 metres from the entrance. The homogeneity in accessibility and visibility, which is not systematically observed in Palaeolithic parietal art, appears to reflect a deliberate cultural choice. This supports the broader interpretative framework distinguishing between 'public' and 'private' spaces and motifs (Laming-Emperaire, 1962; Sauvet & Sauvet, 1979; Raphaël, 1986; Vialou, 1986, 2009; Bradley, 1991, 1995; de Beaune, 1995; Clottes, 1997; Gamble, 1998; Lewis-Williams, 2002; Bahn, 2003; Garate, 2010; Ochoa & García-Diez, 2018; Jouteau et al., 2020; Jouteau, 2021).

Based on these observations, hand stencils in these contexts can be characterised predominantly as 'public motifs' placed in 'public spaces,' i.e., areas allowing for simultaneous viewing by larger groups. Some exceptions, such as certain hands at El Castillo and Fuente del Salín with reduced visibility, may instead represent 'private motifs' within 'public spaces,' suggesting alternative symbolic meanings. Thus, the data support the hypotheses that (ii) the location of

hand stencil motifs is influenced by their visibility and the capacity of the space to host a public, and (iii) accessibility is a significant factor in their spatial placement.

8.1.8.2. Different spatial dynamics

8.1.8.2.1. Central visibility zone

The spatial analyses conducted across the three studied caves reveal distinct organisational dynamics of hand stencils. A key finding is the identification of central zones of visibility where motifs are particularly concentrated. In El Castillo, the *Plafond des Mains* hosts the highest density of stencils. Spatial modelling based on photogrammetry and visibility analyses indicates that an audience of up to 31 individuals could simultaneously perceive between 33% and 100% of the motifs, and up to 74 individuals could be present when partial visibility (0-33%) is considered. The accessibility of this section is moderate, involving an average difficulty of 5.45 1/(m/s) over 63.45 metres. The enduring importance of this panel through the Upper Palaeolithic is supported by the superimposition of motifs (Alcalde del Río et al., 1911; Garate, 2006; Ruiz-Redondo, 2010; Díaz-González & Garate, 2025), suggesting its role as a large gathering area.

Fuente del Trucho similarly exhibits a concentrated zone of motifs towards the cavity's rear, though the distribution is more uniform, precluding a detailed spatial study comparable to El Castillo. Nevertheless, high visibility in this zone suggests intentional placement.

In Fuente del Salín, the spatial arrangement of hand stencils appears closely linked to the central fireplace area. Using intervisibility analysis with a simulated firelight range of 4,5 metres (Medina Alcaide et al., 2021), it was determined that 81.25% of the hand stencils (26 out of 32) are visible from the hearth's location. This suggests a deliberate positioning to ensure visibility from this focal point, likely indicating a socially significant space. A smaller group of non-visible hands, including positive handprints, occupies a peripheral area, perhaps reflecting a different symbolic function. The importance of reconstructing the Palaeolithic floor level was confirmed, as current ground level visibility calculations yielded divergent results.

These findings underline the existence of multiple spatial dynamics in Palaeolithic cave art: focal zones of high visibility suitable for larger audiences, and more marginal areas possibly related to different practices or meanings.

The high accessibility and visibility of hand stencils, combined with the substantial capacity of certain richly decorated zones — such as the *Plafond des Mains* and the *Panneau des*

Polychromes at El Castillo, the rear area at Fuente del Trucho, and the central room with the fireplace at Fuente del Salín — support the hypothesis of aggregation sites or "supersites" as proposed by Conkey (1980) and further developed by Bahn (1984) and Utrilla (1994). These locations, particularly El Castillo, may have hosted episodic gatherings of social groups throughout the Upper Palaeolithic, where the collective creation of hand stencils could have served symbolic functions, perhaps linked to cultural exchanges. However, this interpretation is less applicable to Fuente del Salín, where archaeological evidence suggests short-term Gravettian occupations incompatible with such gatherings. At Fuente del Trucho, insufficient archaeological data precludes definitive interpretations.

8.1.8.2.2. Singular examples

Micro-spatial analysis highlights singular examples of hand stencils that deviate from standard execution practices. At El Castillo, the orientation of hands 64 and 63 indicates uncomfortable execution positions, particularly hand 64, which appears to emerge from a shadowy karst chimney — potentially symbolising emergence from an invisible realm, echoing ideas from Groenen (2016) and Le Quellec (2022). This interpretation contrasts with theories by Lewis-Williams (2002) and Clottes & Lewis-Williams (1996), who emphasise the symbolic significance of the gesture itself. The atypical execution of hands 64 and 63 supports the former hypothesis, whereas the majority of hands, comfortably positioned, align better with the latter.

Despite shared characteristics, hands 64 and 63 were assigned to different statistical clusters due to varying visibility and elevation values. Another notable case is hand 9, identified as a child's hand, placed in a secluded wall niche with the lowest visibility in the cave, highlighting distinct symbolic or social dynamics.

At Fuente del Trucho, hand orientations are difficult to ascertain due to their placement on the ceiling. Nevertheless, certain hand pairs, such as hands 6 and 7, suggest deliberate compositional choices. At Fuente del Salín, clusters of hands (e.g. hands 5 to 9) form compositions with probable symbolic significance, combining child and adult hands, although these arrangements were not emphasised by spatial orientation analyses.

These examples collectively affirm the hypothesis that some hands were placed in deliberate relation to specific wall reliefs. The diversity of positions across the three caves indicates that execution comfort was not the primary criterion; rather, symbolic or locational factors predominated.

8.1.8.2.3. Topographic markers

The high visibility and accessibility of the hand stencils at El Castillo have led several authors (Groenen, 1990, 2011, 2013; Foucher, 1991; Pigeaud, 2005; Collado Giraldo, 2018) to suggest that these motifs, along with the discs, may have functioned as a form of topographical markers. However, the absence of hand stencils in the entrance area and at key decision points, such as the turn towards the *Panneau des Polychromes*, challenges the idea of a systematic directional marker from the cave's entrance. Spatial analysis using *Least Cost Path* models revealed that only 4 out of 77 hand stencils align with the most efficient route towards the cave's deeper sections. When recalculating the LCP towards the far end of the *Galerie des Mains*, however, 67 hand stencils were encountered, and by combining this route with its adjacent areas, all the hand stencils in the cave are eventually intersected. Thus, while these motifs are not present from the very start of the journey, they are visible within torchlight range throughout the network when going in the direction of the right part of the cavity.

The *Galerie des Mains*, characterised by restricted visibility and increased difficulty of access, is particularly resonant with the idea of a symbolic passage or threshold (Groenen, 2013). The continuity of hand stencils on both sides of a morphological narrowing supports the hypothesis that these motifs could suggest a route. The presence of discs, often spatially associated with the hands (Breuil, 1952; Leroi-Gourhan, 1965, 1967, 1992; Sauvet et al., 1977; Groenen, 1990; González García, 2001; Collado Giraldo, 2018), further strengthens this reading. The long succession of discs in the *Galerie des Disques*, following the last hand, could also participate in a potential symbolic pathway.

Therefore, while the strict definition of a topographical marker as a precise directional tool from the entrance is not supported, a broader understanding of motifs indicating a pathway within the cave can’t be excluded for some specific hand stencils, particularly in the *Galerie des Mains*. Nevertheless, the limited evidence available only allows this hypothesis to remain tentative. The coexistence of different spatial dynamics within the same cave environment ultimately supports the idea that multiple systems of spatial organisation can operate simultaneously (hypothesis i).

8.1.8.3. Animals and signs

The spatial analysis of hand stencils at El Castillo provides an opportunity to compare their spatial dynamics with those of other motifs present in Upper Palaeolithic caves, including animal figures and abstract signs. Although a systematic comparison would require equivalent

spatial analyses of all motif types, preliminary observations reveal notable contrasts. Spatial analysis of an engraved headless horse in the *Tréfonds* and a bison head in the *Bauge des Ours* highlights the greater accessibility and visibility of the hand stencils compared to these animal representations, which are often located in deeper, less accessible, or visually restricted zones (Intxaurbe et al., 2024). For instance, the headless horse, with an accessibility value of $176.816 \frac{1}{(m/s)}$ and situated at 276 metres depth, contrasts sharply with the highly accessible hand panels. As for the bison, it stands out in terms of visibility, only allowing the presence of a maximum of 4 observers. Moreover, it is located off the general path of the cave, requiring entrance into a dead-end diverticulum.

This pattern is not unique to El Castillo. Other examples, such as the clay bison of Aizpitarte IV (Garate et al., 2018) or the blind-executed horse head of Pergouset (Lorblanchet, 1997), also show that animal figures could be intentionally placed in marginal, difficult-to-access spaces. Conversely, the deliberate choice to position hand stencils in accessible and visible areas suggests a distinct spatial logic. Additionally, analysis of the distribution of motif groups (rounded triangles, striated hinds, quadrangular figures, yellow signs) within El Castillo (Groenen & Groenen, 2019) demonstrates that different motif types occupy distinct cave sections. Some deep areas, despite being decorated, lack certain motif types, reflecting deliberate choices in motif placement rather than topographical constraints.

Superimposition studies further reveal that hand stencils always underlie subsequent motifs such as yellow figures, signs, or engravings, without a consistent rule of avoidance or intentional covering. This suggests that the presence of hands did not significantly influence the placement of later figures, which seem to follow independent spatial logics. In other cases, such as Fuente del Trucho, where animal figures and signs accompany hand stencils, the motifs are spatially proximate but not intermixed, suggesting symbolic differentiation. Trilobed signs, however, consistently appear near animal figures, indicating possible associative relationships. At Fuente del Salín, hand stencils occupy distinct spatial zones compared to the only other known motif—a deeper-placed sign.

Across these sites, the observed spatial organisation supports hypothesis (vii): hand stencils follow spatial distribution criteria distinct from those governing animals or signs, pointing to deliberate, motif-specific spatial strategies in Palaeolithic cave art.

8.1.8.4. Multiple performers, diachrony and function(s) of hand stencils

The analysis of hand stencils in the three studied Palaeolithic caves refutes the hypothesis of their creation by a single individual during a unique event. Data on the presence of different age groups indicate indeed the involvement of multiple individuals. While it remains impossible to ascertain whether these actions occurred diachronically or synchronically, several factors suggest both possibilities. The use of different pigment compositions at sites such as Gargas, Tibiran, and Maltravieso (Clot et al., 1995; Foucher et al., 2007; Collado Giraldo & García Arranz, 2022) and the presence of varying colours point towards diachronic production, potentially over extended periods (Foucher et al., 2007; Groenen, 2011; Collado Giraldo & García Arranz, 2022). Conversely, mirrored hands at Fuente del Trucho and the combined presence of adult and child hands at Fuente del Salín suggest instances of synchronous creation.

The spatial analysis reveals heterogeneous dynamics: some zones are densely decorated with grouped hands (Leroi-Gourhan, 1967, 1992; Barrière, 1977; Groenen, 1990, 2011, 2016; Delluc, 2006; Foucher et al., 2007; Clottes, 2008; Collado Giraldo, 2018), while others, like the *Galerie des Mains* of El Castillo suggest possible use as landmarks. Additionally, more discrete hands, interacting with rock reliefs (e.g. hands 9, 63, 64 at El Castillo or hands 2, 3, 4 at Fuente del Salín), highlight the variability of the phenomenon. Rather than a rigid, uniform system, the distribution reflects a general pattern interspersed with anomalies — relationships between motifs, triads, and playful uses of wall surfaces — suggesting either multiple coexisting systems or fluid placement dynamics accommodating situational expressions. Comparative ethnographic data, such as the ten recorded functions of hand stencils in Aboriginal Australian rock art (Moore, 1977) or the diverse meanings of hand shapes in contemporary cultures (Green, 2021), underscore the likelihood of multiple overlapping social traditions underlying Palaeolithic hand stencils.

8.1.8.5. Cultural networks

The specific data from the incomplete-finger hand stencils at Fuente del Trucho allows for hypotheses about potential networks of exchange or mobility with other decorated sites. The complex system of finger combinations is of particular interest, though statistical analyses did not reveal any clear organisational patterns concerning hand laterality, age groups, hand positioning, visibility, or accessibility. No systematic arrangement related to motifs was observed, except for a cluster of three black left hands (hands 40, 41, 42) sharing similar features, suggesting a synchronous execution.

A notable feature is the frequent recurrence of the *liiii* combination — one extended thumb with four folded fingers — found in 31% of readable hands at Fuente del Trucho. This configuration is also the most common in Gargas Cave (47% according to Leroi-Gourhan, 1967 and Groenen, 1988) and is present, though less frequently, at Cosquer Cave (7.5%) (Clottes et al., 2005). These similarities are striking given the geographic separation: Gargas and Fuente del Trucho lie on opposite sides of the Pyrenees, approximately 100 km apart, while Cosquer is located 400 km east of Gargas (Foucher et al., 2007).

Despite some shared combinations, Fuente del Trucho exhibits a more limited set compared to Gargas. Only four of its twelve combinations overlap with Gargas, and Cosquer displays just five configurations in total (Clottes et al., 2005).

This pattern suggests potential symbolic practices shared between Gravettian groups across these sites, possibly reflecting direct movement of populations (Kozłowski, 2015) or social exchanges (Mauss, 1925; Binford, 1980; Wiessner, 1982; Bahn, 1982; Conkey, 1984). Evidence of raw material procurement, such as chert sourcing at Fuente del Trucho coming from the northern side of the Pyrenees, near Gargas, strengthens this hypothesis of cross-mountain interactions. Other works show large territorial networks were common during the Gravettian (Féblot-Augustins, 1999; Sánchez de la Torre et al., 2021). These symbolic exchanges align with broader Gravettian cultural patterns seen in portable art, Venus figurines, and decorated ivory (Simonet, 2012; Rivero, 2015; Garate et al., 2020). Hypotheses of aggregation sites or *supersites* (Conkey, 1980; Bahn, 1984) further contextualise these interactions. A comprehensive, systematic analysis of these caves is essential to refine our understanding of the complexity of these symbolic behaviours and the potential cultural connections between Fuente del Trucho, Gargas, and Cosquer.

8.1.9. Overview of results

In summary, results confirm hypotheses (i), (ii), (iii), (v), and (vii):

(i) Multiple parallel spatial organisation systems may coexist, including within the same cavity.

(ii) A key characteristic of the placement of hand stencils is their visibility and the capacity of the spaces, i.e., their ability to accommodate an audience.

(iii) Another criterion in selecting locations for the motifs is the ease of access to them.

(v) Certain hand figures were arranged in relation to particular wall reliefs.

(vii) Hand stencils follow spatial distribution criteria distinct from those governing the placement of animal figures or signs.

Regarding hypothesis (iv), it is only possible to affirm that it is not incompatible in a specific case, that of the *Galerie des Mains*:

(iv) Some hand stencils are linked to circulation dynamics within the cave, serving a signalling function.

Finally, hypothesis (vi) is refuted:

(vi) The age, laterality, or completeness of the fingers may be factors leading to a differential spatial distribution of hand stencils.

8.1.10. Conclusions

Over the course of these lines, and during the years dedicated to this research, I have endeavoured to fulfil the objectives set out in the beginning of the work. These were: (i) to provide an overview of the issue of hand stencils with regard to their spatial organisation, (ii) to test an innovative method for their study, and (iii) to deepen our understanding of this complex phenomenon.

(i) At the outset of this study, the evaluation of what had already been observed concerning hand stencils in relation to their spatial organisation — still a relatively underexplored aspect — and the question of space in parietal art in general, led me to identify a methodological weakness inherent to the complexity of the subject. Indeed, numerous studies have addressed the issue of motif organisation on cave walls, but their proposals have been hindered by the lack of precise characterisation of underground space, both in its current and past states.

(ii) To overcome this obstacle, I set about developing a quantitative method combining several digital techniques and analytical systems: three-dimensional representation, *Geographic Information Systems*, and statistics.

The application of this method required the reconstruction of subterranean spaces as they existed during the Palaeolithic. To approach the artistic creation spaces and understand the possible uses and practices that took place therein, it is necessary to know their original situation and their evolution over time, under the influence of geomorphological processes and potential anthropic modifications to which caves have been subjected over *millennia*. After gathering

this data, I was able to create three-dimensional models of the cavities restored to their Palaeolithic state. This crucial step prevents distortion in analysis based on the current appearance of the spaces, as I demonstrated with the example of the *Plafond des Mains* at El Castillo where visibility data differed depending on the model used (Palaeolithic *versus* present state). Moreover, the three-dimensional representation also provides better illustration of the spaces and avoids the arbitrary categorisation of space into zones — a practice widely used in previous research but poorly suited to subterranean landscapes. The exhaustive, systematic, and quantitative nature of the data obtained tends towards objectivity and allows for improved comparability between caves relative to earlier studies.

It is also worth noting that, following the *FAIR* principles of open science, this method is open to future collaborations and modifications. It will thus be straightforward to adjust the data used in the calculations of visibility, occupation, or accessibility to assist forthcoming scientific discoveries. Additionally, the three-dimensional models of the three caves in the *corpus* (colour-modified and Paleolithic state) are available to researchers on an online platform and can serve other studies. The study of sources for El Castillo cave, with the discovery of new archives in collaboration with the Frobenius Institute, as well as its geomorphological study, will also benefit future research and contribute to enriching our knowledge of this precious heritage.

(iii) This analytical work has also enabled me to draw a series of conclusions on the phenomenon of hand stencils in the three caves studied and more generally.

The spatial study of hand stencils at El Castillo, Fuente del Trucho, and Fuente del Salín has provided considerations in response to the initial hypothesis posed at the outset of this research, which proposed that these motifs were not distributed randomly within underground networks and that discernible distribution logics could be identified.

The spatial study results support the commonly accepted conclusion that motif distribution reflects conscious decisions and choices made by the groups that created them. Indeed, the data reveals spatial discrimination: hand stencils were not randomly scattered but appear to be gathered in specific areas sharing common characteristics. At the macro-spatial level, visibility, the presence of a surrounding gathering space, ease of access, and absence of danger in the immediate environment seem to be important factors influencing placement.

Some areas are particularly densely decorated, corresponding to spaces that are easy to access, highly visible, and suitable for gatherings. These results invite consideration of the creation or

use of these motifs by large groups, aligning with studies on hand size suggesting social diversity. I thus propose that the hand stencil motif might be considered a 'public' motif.

However, this work did not reveal spatial discrimination within caves based on laterality, colour, age of the executants, or finger combination (in cases of hand stencils with missing fingers), contrary to my initial hypothesis. These factors exhibit considerable variation that does not appear linked to particular spatial types in the caves analysed.

At the micro-spatial level, the presence of certain wall morphologies influenced the placement of some motifs (e.g. hands 9, 63, and 64 at El Castillo; hands 3 and 4 at Fuente del Salín). The convenience of execution position was highly variable and appears secondary to wall choice, which likely responded to other criteria.

The spatial analysis data allowed me to propose hypotheses concerning differentiated functions or uses of hand stencils within the three underground networks, revealing the coexistence of different spatial systems within the same cavity. I identified three types of spaces encompassing all hands in this *corpus*:

(i) locations of high visibility and motif density present in all three caves;

(ii) hand stencils outside this general system, placed according to specific wall reliefs (playing with shadow zones, integrated into limited or fissure-structured wall portions), or grouped in multi-hand compositions;

(iii) motifs that would not be incompatible with potential signalling functions, akin to marker systems related to circulation dynamics within the cave (observed only in the *Galerie des Mains* of El Castillo).

These findings demonstrate the complexity of the phenomenon and suggest the presence of potentially different uses or functions within a framework of general similarities, possibly reflecting different symbolic logics.

Regarding other motif types such as animals or signs, preliminary analysis (pending systematic comparative work) indicates that hand stencils are not systematically located alongside other motifs. For example, animals may appear in harder-to-access areas or places of very limited visibility, unlike hand stencils. Although hand stencils share some walls with animals and signs, their organisation appears more indifferent than correlated. For example, in El Castillo, four distinct spatial organisation systems (rounded triangles, striped does, partitioned quadrangulars, yellow figures) follow different spatial distribution criteria than hand stencils. Similarly, at

Fuente del Trucho, animal and sign representations cluster differently than hands, and at Fuente del Salín, a unique sign is located far from the hands in the underground network, confirming this observation.

Regarding the number of executants of hand stencils, variation in age groups and sex of the stencil-makers excludes the hypothesis of a single individual acting alone. This data points instead to a collective social phenomenon. Whether the hands were created intermittently over a long period or synchronously remains a more complex question, which I have addressed with several arguments without definitive conclusions. The presence of different paint recipes, according to existing literature, in caves such as Gargas or Maltravieso argue for a diachrony of motifs. However, compositions such as those at Fuente del Salín or the three united black hands at Fuente del Trucho suggest synchrony. The reality may be multiple or lie between these options, with motifs produced by small groups over time.

Finally, data from Fuente del Trucho, with its hand stencils missing fingers, allowed me to propose concrete hypotheses on inter-site relations between this cave and Gargas (on the other side of the Pyrenees) as well as potentially Cosquer (further east) during the Gravettian. This is based on a particular finger combination (position *liiii*: complete thumb and four other fingers reduced to a single phalanx), as well as other elements related to the origin of raw materials in archaeological layers and the spread of Gravettian culture generally. I also revisited, for El Castillo, the hypothesis that it was an aggregation site (suggested notably by Conkey, 1980; Bahn, 1984; Utrilla, 1994), with hand stencils representing moments of gathering between different groups.

8.1.10.1. Future perspectives

While these new insights are already valuable for understanding the phenomenon of hand stencils generally, they also open many avenues for future research.

The method can be modified, as suggested above, with new data from excavations, experiments, and other analyses. It may be enhanced by other micro-spatial studies, for example quantitatively measuring comfort of execution position or refining data such as individual occupation surface or estimated height of motif execution. Similarly, from a statistical perspective, it would be interesting to work more universally on caves by standardising data, thus reducing dependence on the scale or specific shape of the site from which data originate.

In terms of interpretative conclusions, it would be valuable to expand the *corpus* by applying this analysis method to other cavities within the same area or on a broader geographical scale, to determine whether similar spatial dynamics are present. This would include sites with hand stencils missing fingers or different colours. For example, the Gargas cave, which contains the greatest known number of Palaeolithic hand stencils to date (Foucher et al., 2007), or Cosquer, as well as caves in southern Iberian Peninsula (such as Maltravieso, Palomas IV, etc.) where the logic of missing fingers appears different.

Statistically, increasing the number of hand stencils and caves studied would also strengthen interpretative hypotheses, either confirming their uniqueness if not shared by other sites or their commonality otherwise.

Moreover, systematic spatial analysis of other motif types, with slight methodological modifications, as in the work of Intxaurbe *et al.* (2024), for example systematically for all the motifs in El Castillo or many other caves where hand stencils co-exist with other representations, would provide an overview of the various spatial structures with precise, comparable data via a common analytical framework.

Extending the study to other chronological periods would also be of interest, not only for the entirety of the Upper Paleolithic but also for other (pre)historic periods. Indeed, the proposed method is applicable to many archaeological cases beyond any chronological or geographical boundary. Each application also consolidates the method through peer work and broadens perspectives. The collaborative construction of these new tools, sources of hope and renewal for the discipline, can thus help advance understanding of prehistoric human behaviour and symbolic practices. While analysis of the three cavities has posed these new questions and answers, it is to be hoped that extending this approach will provide further discoveries and reinforce this important work.

8.2. Español

8.2.1. Introducción

El arte rupestre paleolítico (40.000–12.000 cal. BP en Europa occidental) representa un legado cultural fundamental de las sociedades prehistóricas y sigue siendo una fuente principal para su estudio. Esta investigación se centra en los criterios espaciales adoptados por las comunidades paleolíticas con el objetivo de esclarecer sus prácticas simbólicas y decorativas. Más allá de su valor artístico, estas expresiones simbólicas pueden informarnos sobre los objetivos y comportamientos de los artistas prehistóricos a través del análisis de los lugares y las superficies elegidas para su representación. En un sentido más amplio, el estudio de la distribución de los motivos dentro de las cavidades permite abordar las condiciones históricas y sociales de estos grupos, así como sus comportamientos y motivaciones profundas.

El espacio subterráneo, por su singularidad, complejidad y hostilidad intrínseca para el ser humano, resulta especialmente adecuado para este tipo de análisis. La entrada en estos lugares constituía una decisión deliberada, ya que no son sitios por los que uno transita fortuitamente. La creación de motivos fue sin duda uno de los principales objetivos de estas incursiones, con algunas paredes profusamente decoradas y otras mantenidas intactas a pesar de su aparente idoneidad para la representación artística, un fenómeno ya observado por numerosos autores (por ejemplo, Sauvet & Sauvet, 1979; Barrière, 1982; Vialou, 1986; Bégouën et al., 2009; Lorblanchet, 2010; Jouteau et al., 2020; Jouteau, 2021).

El análisis de estos criterios decorativos, que pudieron variar a lo largo del tiempo y entre diferentes grupos, constituye por tanto una fuente valiosa para comprender los mundos práctico y simbólico de estas sociedades de cazadores-recolectores. Sin embargo, esta línea de investigación se ha centrado predominantemente en ciertas categorías de motivos, especialmente las figuras animales, que han sido objeto de importantes teorías interpretativas basadas en su distribución espacial (Laming-Emperaire, 1962; Leroi-Gourhan, 1965; Raphaël, 1986). Las manos negativas, por el contrario, no han sido objeto de estudios exhaustivos en lo que respecta a su dispersión espacial. Cuando han sido abordadas, los debates se han centrado en aspectos concretos como su morfología (dedos ausentes), el género o la edad de sus ejecutores o las técnicas empleadas.

Además, los estudios espaciales en este ámbito se han enfrentado históricamente a limitaciones técnicas notables, en particular en lo relativo a la representación de los espacios tridimensionales y la ausencia de métodos cuantitativos para la recopilación y el análisis de

datos (Spaey et al., 2024). La naturaleza de la información espacial disponible para los investigadores de épocas anteriores difería enormemente de la que hoy podemos alcanzar, tanto en lo referente al conocimiento integral del *corpus* como a las limitaciones de la comunicación científica en dos dimensiones.

En esta tesis, propongo retomar la cuestión de la configuración del arte parietal aplicando nuevas metodologías analíticas más adecuadas para abordar estos desafíos espaciales e interpretativos.

8.2.2. Hipótesis

Partiendo de la propuesta de que el estudio de la dispersión de las manos negativas en las cavidades, es decir, su organización en el espacio subterráneo, podría arrojar luz sobre las dinámicas de los grupos sociales que las produjeron, planteo la siguiente hipótesis principal:

La distribución de las manos negativas es intencional: su emplazamiento es el resultado de decisiones deliberadas por parte de estas sociedades, basadas en una serie de criterios. Por tanto, es posible determinar reglas generales de disposición aplicables al fenómeno de las manos negativas del Paleolítico reciente en su conjunto.

A esta afirmación general añado una serie de hipótesis secundarias:

(i) Pueden coexistir varios sistemas paralelos de organización espacial, incluso dentro de una misma cavidad.
(ii) Una característica fundamental en la ubicación de las manos negativas es su visibilidad y la capacidad de los espacios elegidos para albergar al público potencial.
(iii) Otro criterio tenido en cuenta en la selección de los lugares es la facilidad de acceso a los motivos.
(iv) Algunas manos negativas están relacionadas con dinámicas de circulación dentro de la cavidad, desempeñando una función señalizadora.
(v) Algunas figuras de manos fueron situadas en función de relieves específicos de la pared, en relación con estos.
(vi) La edad, la lateralidad o el estado de completitud de los dedos pueden ser factores que induzcan una distribución espacial diferenciada de las manos negativas.
(vii) Las manos negativas obedecen a criterios de distribución espacial distintos de los que rigen la disposición de los animales o de los signos.

En este trabajo, propongo poner a prueba estas hipótesis, que serán retomadas en la Discusión.

8.2.3. Objetivos

El objetivo principal de esta tesis es profundizar en el conocimiento de los grupos sociales paleolíticos mediante el estudio de la organización espacial de las manos negativas, una forma de expresión artística que refleja su pensamiento simbólico. El análisis de la distribución de estos motivos en las cavidades permitirá esclarecer las prácticas sociales que guiaron su ubicación. Por ejemplo, la creación de un pequeño motivo grabado en un rincón de difícil acceso puede responder a lógicas simbólicas distintas de las de una gran representación policroma cerca de la entrada. Del mismo modo, la interacción con los relieves naturales o la capacidad de acogida de los espacios elegidos aportan indicios sobre los comportamientos y tradiciones sociales. El estudio de estos complejos espacios subterráneos exige un enfoque sistemático y una reconstrucción virtual del contexto del Paleolítico reciente. Esta investigación propone así un método innovador de análisis espacial para desvelar las lógicas simbólicas de los grupos de cazadores-recolectores que crearon estas representaciones.

8.2.4. Estado de la cuestión

8.2.4.1. El fenómeno de las manos negativas

Las manos negativas son un motivo parietal presente en numerosas culturas y continentes, desde el Paleolítico reciente hasta la actualidad (Cartailhac, 1906; Levy, 1948; Casteret, 1951; Breuil, 1952; Leroi-Gourhan, 1965; Leroi-Gourhan, 1967; Moore, 1977; Quinnell & McBryde, 1977; Walsh, 1979; Ballard et al., 1992; Arifin & Delanghe, 2004; Fage, 2010; Onetto & Podestá, 2011; Aubert et al., 2014; Le Quellec, 2016; Guichón & Re, 2020; Tsang et al., 2022, 2023). En Europa occidental, para el Paleolítico reciente, se han registrado 653 manos negativas distribuidas en Francia (55,9%), España (43,19%), Italia (0,77%) y Gibraltar (0,15%).

Cronológicamente, se acepta mayoritariamente una adscripción gravetiense (Lorblanchet, 1995, 2010; González Sainz, 1999; Ripoll López et al., 1999; Fortea Pérez, 2005; Foucher et al., 2007; Jaubert, 2008; Petrognani, 2009; Feruglio et al., 2011; García-Diez & Garrido, 2012; Pettitt et al., 2015a; Groenen, 2016), aunque persisten debates en torno a dataciones por Uranio/Torio (Hoffmann et al., 2018a, 2018b; Pearce & Bonneau, 2018; Aubert et al., 2018a; White et al., 2020; Standish et al., 2025). Se han obtenido fechas radiocarbónicas directas en Cosquer, Fuente del Salín y Gorham's Cave (Clottes et al., 1992b, 1995; González Morales & Moure Romanillo, 2008; Simón-Vallejo et al., 2018), junto con dataciones indirectas y por

métodos U/Th (Delluc & Delluc, 1991; Valladas et al., 1992; Moure Romanillo & González Morales, 1992; Clottes et al., 1992c; Girard et al., 1995; Lorblanchet et al., 1995; Airvaux et al., 2006; Pigeaud & Primault, 2007; Feruglio et al., 2011; González Sainz, 2005; Pike et al., 2012; García-Diez et al., 2015; Hoffmann et al., 2017, 2018a).

Técnicamente, los pigmentos empleados incluyen rojo (hematita y arcillas), negro (carbón u óxido de manganeso), amarillo (goethita), blanco (talco y clorita) y marrón (arcilla) (Groenen, 1997). La técnica predominante es la proyección de pigmento líquido con la mano apoyada como plantilla, confirmada experimentalmente mediante la pulverización con tubos y otras variantes, incluso con pigmento seco en ambientes subterráneos húmedos (Fernández-Navarro et al., 2025b).

Formalmente, las manos negativas presentan variaciones, sobre todo en la ausencia de dedos. De las 39 cuevas y abrigos conocidos, 14 presentan manos con **dedos ausentes** (35,9%), con patrones geográficos destacados, como la ausencia constante del meñique en sitios del sur de España. Las hipótesis sobre los dedos ausentes incluyen amputaciones reales, que sean rituales (Alonso, 2019; Breuil, 1952; Cartailhac, 1906; Casteret, 1951; Delluc & Delluc, 1991; Hooper, 1980; Levy, 1948; Lundborg, 2014; Luquet, 1926; McCauley et al., 2018; Pradel, 1975; Verbrugge, 1970) o accidentales, por congelación o enfermedades (Bahn & Vertut, 1997; Barrière, 1976, 1977; Barrière & Suères, 1993; Janssens, 1957; Nougier, 1984; Sahly, 1966; Utrilla, 2005; Utrilla & Bea, 2015; Jandeaux, 1997). Leroi-Gourhan (1965) propuso la hipótesis alternativa de dedos doblados, adoptada por varios autores posteriores.

Las manos negativas en el arte paleolítico presentan una considerable variabilidad, tanto en rasgos formales como en tamaño, reflejando las **dimensiones de la mano del autor**. Se identificó desde temprano la coexistencia de manos grandes y muy pequeñas, incluso infantiles (Sahly, 1966; Leroi-Gourhan, 1965; Clottes et al., 2005; Baffier & Girard, 2007; González Morales & Moure Romanillo, 2008; Utrilla et al., 2012; Ripoll López et al., 1999). Sobre base de estas observaciones, han sido aplicados métodos biométricos por varios autores (e.g. Groenen, 1988; Manhire, 1998; Ripoll Ropez et al., 1999; Guthrie, 2005; Chazine & Noury, 2006; Gunn, 2006; Snow, 2006, 2013; Bednarik, 2008; Pettitt et al., 2014; Mackie, 2015, 2018; Carden & Blanco, 2016; Rabazo-Rodríguez et al., 2017; Fernández-Navarro & Garate Maidagan, 2021; Fernández-Navarro, 2022, 2024, 2025a) para determinar sexo y edad, evidenciando diversidad demográfica con predominio femenino. No obstante, dificultades tafonómicas y la orientación del soplado afectan la precisión de los resultados, y algunos autores cuestionan la posibilidad de identificar con fiabilidad sexo y edad (Gradin, 1981; Flood, 1987;

Henneberg & Mathers, 1994; Gunn, 2006; Sierp & Henneberg, 2015). Sin embargo, el *Machine Learning* ofrece nuevas posibilidades en este sentido (Wang et al., 2010).

Respecto a la **distribución espacial**, las investigaciones anteriores constataron que las manos suelen situarse cerca de entradas o zonas anteriores (Leroi-Gourhan, 1965; Barrière, 1977; Delluc, 2006; Djindjian, 2015), a veces en grupos o series (Leroi-Gourhan, 1967, 1992; Barrière, 1977; Groenen, 1990, 2011, 2016). En la cueva de Gargas se observan agrupamientos y con número de manos creciente (Leroi-Gourhan, 1967), aunque existen opiniones contradictorias sobre patrones rítmicos o cromáticos (Barrière, 1977). Para la misma cavidad, Groenen propone conjuntos topográficos (Groenen, 1990, 2019) y destaca la presencia de manos en zonas de difícil acceso o nichos (Groenen, 1990, 2011, 2013, 2016). Pettitt et al. (2014) resaltan en la cueva de El Castillo la interacción táctil con la pared. González García destaca la frecuente ubicación de manos negativas en paneles que cualifica como *activos* (los cuales tendrían la función de influenciar su entorno directo) (González García, 1987, 1990, 2001). Collado Giraldo (2012) analiza zonas espaciales en Maltravieso, relacionando visibilidad y función social. Pese a estos avances, las conclusiones deben tomarse con cautela debido al limitado número de ejemplos (como la categorización y la descripción del espacio, que pueden ser subjetivas, junto con el componente anacrónico de trabajar sobre la base del aspecto actual de la cueva).

Las manos negativas, más allá de la identificación de su técnica o de los individuos que las crearon, han generado diversas **teorías interpretativas** centradas en dos ejes principales: la *acción significativa* y un tipo de *símbolo o comunicación*.

En cuanto a la *acción significativa*, Clottes y Lewis-Williams (1996) proponen que la mano negativa formaba parte de una acción simbólica ritual destinada a conectar con el más allá o un mundo mágico. Señalan que el proceso de creación implicaba cubrir totalmente la mano con pigmento, de modo que ésta parecía desaparecer en la pared, simbolizando un tránsito hacia otra dimensión (Clottes & Lewis-Williams, 1996; Lewis-Williams, 2002; Clottes, 2008). Esta interpretación se extiende a la idea de marcar espacios como símbolo de poder o posesión, y a rituales de amputación de falanges vinculados a iniciaciones chamánicas, apoyada en paralelos etnográficos sudafricanos (Drennan, 1937). Guthrie (2005), basándose en Manhire (1998), plantea que las manos negativas de adultos podrían estar relacionadas con ceremonias de curación, y las de jóvenes, con ceremonias de iniciación.

Respecto al *símbolo o comunicación*, Leroi-Gourhan (1967) integró las manos negativas en un sistema estructuralista, considerando que tenían carácter femenino, en contraste con signos

masculinos (líneas paralelas o puntos), y se situaban junto a composiciones centrales. Este autor consideraba las plantillas de manos -especialmente en aquellas en las que faltan dedos en Gargas- como un sistema de comunicación no verbal utilizado por los cazadores para realizar señales silenciosas (Leroi-Gourhan, 1967). Esta hipótesis fue retomada en parte por Etxepare e Irurtzun (2021), cuyos trabajos sugieren la posibilidad de que las plantillas de manos representen un lenguaje de signos alternativo. Por su parte, Rouillon (2006) sugirió que las manos mutiladas de la cueva de Cosquer podían representar un sistema numérico (basándose en configuraciones con uno a cinco dedos levantados). Gregg (2008) y Taçon *et al*. (2014) propusieron que podrían representar la firma de un artista, inspirado en prácticas aborígenes que reconocían las huellas ancestrales (Basedow, 1925). Otra teoría plantea que ciertos motivos, como las puntuaciones o las manos en negativo, pudieron haber funcionado como marcadores topográficos que señalaban segmentos específicos de la red subterránea: entradas, espacios de tránsito, puntos de articulación o espacios terminales (Groenen, 1990, 2011, 2013; Foucher, 1991; Clottes, 2005; Pigeaud, 2005; Collado Giraldo, 2018).

Frente a la diversidad de hipótesis, necesitamos considerar que las manos negativas podrían reflejar múltiples costumbres culturales y no un fenómeno homogéneo. El estudio etnoarqueológico de Moore (1977) sobre plantillas aborígenes australianas documenta al menos diez funciones diferentes, evidenciando la diversidad cultural que debe tenerse en cuenta, especialmente en escalas temporales tan amplias.

8.2.4.2. El espacio en el estudio del arte parietal

La decisión de las sociedades paleolíticas de elegir las cuevas para plasmar sus imágenes no es fortuita, ya que estos lugares son, por esencia, hostiles. A la oscuridad se suman la intensa humedad y los peligros físicos que presentan muchas cavidades, factores que podrían disuadir el paso por estos lugares. Sin embargo, se observa una voluntad clara de adentrarse en estos espacios subterráneos, con una preparación y adaptación considerables. La energía y recursos dedicados a ello subrayan la importancia de estos lugares y justifican el análisis espacial de la dispersión estos motivos.

Esta constatación plantea numerosas preguntas: ¿Qué es un lugar? ¿Hasta dónde llega el concepto de espacio? ¿Es posible definirlo o al menos ofrecer un panorama de los conceptos implicados? Desde la “cueva participante” de Leroi-Gourhan (1965) hasta la “cueva organizadora” de Pigeaud (2013), diversos investigadores han propuesto perspectivas sobre el análisis del espacio en el arte prehistórico.

Históricamente, el estudio del espacio ha sido poco considerado en el arte rupestre y no existe consenso sobre el significado preciso de "espacio". Los investigadores se han enfrentado a diversas dificultades, como la representación del espacio tridimensional en superficies bidimensionales (publicaciones papel), la subjetividad del investigador y las múltiples facetas de la noción espacial. Hasta hace poco, los medios disponibles para representar el espacio se limitaban a la fotografía, planos, secciones y descripciones verbales, con altos grados de subjetividad, especialmente problemáticos cuando se abordan entornos complejos como las cuevas.

Incluso el vocabulario utilizado para tratar la cuestión espacial muestra rápidamente sus limitaciones. Términos cotidianos como *corredor*, *fondo* o *galería* resultan inadecuados para describir la singularidad de cada cavidad, reflejando un marco cultural inapropiado para el mundo subterráneo. Por ello, el concepto de espacio se encuentra dividido en múltiples dimensiones: desde la ubicación de un motivo en la pared, hasta la percepción de estrechez, visibilidad, acústica, apropiación o la estructura del campo pictórico.

En esta sección del capítulo se propone realizar una síntesis de los enfoques teóricos, metodológicos y prácticos para el análisis del espacio en el arte parietal paleolítico, incorporando aportaciones de disciplinas como la filosofía y la etnoarqueología, para facilitar su aplicación con herramientas adecuadas en la investigación del arte rupestre.

8.2.4.3. Aportaciones teóricas

El estudio del arte rupestre paleolítico ha estado durante mucho tiempo limitado por un marco de pensamiento único. Por ello, este trabajo propone ampliar la visión mediante una aproximación interdisciplinar a la concepción y uso del espacio en las sociedades prehistóricas. En la tradición occidental, el espacio se ha concebido como un contenedor vacío y absoluto (Lefebvre, 1974), siguiendo el pensamiento cartesiano. No obstante, enfoques alternativos destacan la relatividad del espacio, donde la percepción corporal y el movimiento son aspectos fundamentales (Berthoz, 2005; Merleau-Ponty, 1945, 1964; Gibson, 1950; Fritz, 2020).

Desde esta perspectiva, el espacio no se entiende como algo independiente del sujeto, sino como una construcción que depende de la experiencia vivida. Hall (1959) y Sapir (1927) subrayan que los comportamientos espaciales son específicos de cada cultura, sugiriendo que las prácticas espaciales funcionan como un «lenguaje silencioso». Esos aspectos culturales se manejarían "… in accordance with an elaborate and secret code that is written nowhere, known by none, and understood by all" [«... de acuerdo con un código elaborado y secreto que no está

escrito en ninguna parte, que nadie conoce y que todos comprenden»] (Sapir, 1927, p. 556). Estas ideas aplicadas a la arqueología sugieren que los grupos prehistóricos se apropiaron de los espacios subterráneos a través de fases de exploración, familiarización y marcación simbólica (Pigeaud, 2005; Groenen, 2013). Igualmente, la propuesta de Lefebvre (1974), que concibe el espacio como a la vez producto y productor de acciones sociales, resulta pertinente para entender la distribución y creación del arte rupestre (donde las características del espacio intervienen en la repartición de los motivos, en la estructura general de la red y en la forma de las paredes).

El concepto de *affordances* de Gibson (1977) resalta cómo las características físicas de las cuevas ofrecían tanto oportunidades como restricciones para la expresión artística. Asimismo, la identificación de arquetipos espaciales como "la isla" o "la cueva" (Moles & Rohmer, 1998) apunta a la intencionalidad de acceder a estos espacios. La selección de lugares específicos para la ubicación de estas manifestaciones artísticas, a menudo en entornos grandiosos o desafiantes (por ejemplo, Pech-Merle o Nerja), puede reflejar el significado simbólico o funcional atribuido a dichos entornos.

Estos enfoques teóricos muestran la complejidad inherente a la concepción del espacio y advierten contra la proyección de marcos espaciales contemporáneos y WEIRD (Western, Educated, Industrialised, Rich, Democratic) sobre contextos prehistóricos.

8.2.4.4. Enfoque etnológico comparativo

Un enfoque etnológico comparado puede también enriquecer la interpretación del arte parietal paleolítico, destacando la complejidad social de las concepciones espaciales. Permite, por ejemplo, comprender la variabilidad diacrónica y diatópica en el uso y percepción del espacio. Los estudios sobre el arte rupestre aborigen australiano, como el de la región de Barunga, muestran que la accesibilidad no se relaciona de forma lineal con lo público o lo sagrado, como ilustra el caso de Doria Gudaluk (Domingo et al., 2020), donde las ceremonias se celebran tanto en el sitio decorado como fuera del mismo, dependiendo del contexto. Estas concepciones diferenciadas se observan también en otras culturas, como entre los Nukak amazónicos (Politis, 2007), los Garifunas (Coelho, 1955) y grupos que emplean tabúes lingüísticos en contextos rituales (Grimes & Maryott, 1994; Franklin, 1972; Tobin, 1952; Armstrong, 2011).

El control del acceso a los espacios rituales o al conocimiento asociado a las imágenes puede reflejar desigualdades sociales, como se observa en numerosos contextos religiosos (Bharne & Krusche, 2014; Tange & Kawazoe, 1965; Barker, 1998; Heldman, 1992). El secretismo en torno

al significado de las imágenes, tal y como comentan Nash y Smiseth (2015), va también en el sentido de estas observaciones. Guy (2017) propone que tales desigualdades también podrían haber existido en el Paleolítico, con un acceso selectivo a cuevas decoradas.

Asimismo, la etnología invita a repensar el paisaje como un proceso histórico (Luig & Von Oppen, 1997; Thomas, 1993) y a cambiar el foco desde la interpretación estática del arte hacia los procesos de creación y utilización (Witelson, 2023). El uso recurrente de determinados lugares podría deberse más a la importancia del sitio en sí que a las imágenes (Domingo et al., 2020; Taçon, 1990). Incluso las condiciones ambientales como la hipoxia podrían haber influido en la creación artística (Kedar et al., 2021). No obstante, aunque la etnografía ofrece marcos valiosos, debemos ser conscientes de que su aplicación debe evitar comparaciones anacrónicas (Domingo et al., 2020).

8.2.4.5. Uso de los SIG aplicados al arte parietal

Este trabajo se distingue por la aplicación de nuevas tecnologías para el análisis espacial en el estudio de las cuevas con arte rupestre, un ámbito aún poco explorado. La pertinencia de la representación tridimensional para el análisis del arte parietal se reconoció hace más de quince años, con un aumento significativo en la última década.

Técnicas como la fotogrametría y la lasergrametría han sido adoptadas para documentar los espacios (Gonzalez-Aguilera et al., 2009; González-Aguilera et al., 2009; Angás et al., 2013, 2014; Martin-Beaumont et al., 2014; Xu et al., 2014; Angás & Bea, 2014; Galeazzi et al., 2014; Cassen et al., 2014; Plisson, 2015; Plisson & Zotkina, 2015; Alexander et al., 2015; Cortón Noya et al., 2015; Rivero et al., 2019b), controlar el estado de conservación de las zonas decoradas (Lacanette & Malaurent, 2010), elaborar calcos (Azéma et al., 2010; Fritz et al., 2010b; Domingo et al., 2013; Feruglio et al., 2013; Defrasne, 2014; Fuentes et al., 2019; Lesvignes et al., 2019; Barbuti et al., 2023), llevar a cabo restauraciones virtuales (Fritz et al., 2010a; Beraldin et al., 2011; Azéma & Gély, 2014) y analizar los datos, el arte y su contexto espacial (Güth, 2012; Sadier, 2013; Boche et al., 2014; Bourdier et al., 2015; Robert et al., 2016; Zotkina & Miklashevich, 2016).

Más allá de la simple visualización, la tecnología 3D permite superar las categorizaciones tradicionales, entendiendo el espacio como un todo continuo sin subdivisiones. A partir de estos modelos tridimensionales, los *Sistemas de Información Geográfica* (SIG) ofrecen herramientas para la medición y el análisis de datos espaciales. Definidos como sistemas que permiten recopilar, almacenar, procesar, analizar y representar datos georreferenciados por capas, los

SIG facilitan la superposición, comparación y simulación de datos espaciales. Estos sistemas son ampliamente utilizados, especialmente en la arqueología del paisaje, para estudios de campos visuales y auditivos, distribución de sitios y proximidad a recursos (Wheatley & Gillings, 2000, 2002; Wheatley, 2004; Llobera, 2007, 2012; Magnin, 2013; Gillings, 2015, 2017; Dell'Unto et al., 2016; Landeschi et al., 2016; Wienhold & Robinson, 2017; Díaz-Andreu et al., 2017; Wernke et al., 2017; Landeschi, 2019; Dell'Unto & Landeschi, 2022).

Aunque los SIG han demostrado utilidad en contextos subterráneos (Moyes, 2002; Herrmann, 2002; Nigro et al., 2003; Ortega Martínez, 2012, 2014; Albert, 2017; Landeschi et al., 2019; Louman, 2022), y abrigos rocosos, la integración de SIG con representaciones 3D de cuevas presenta dificultades debido a su diseño inicial en dos dimensiones. Avances recientes de Intxaurbe et al. (2020, 2022) han comenzado a abordar estas dificultades, centrándose en la accesibilidad, visibilidad, capacidad espacial y condiciones de acceso de las zonas decoradas. Esta investigación se apoya en dichos precedentes, combinando SIG, modelado 3D y herramientas estadísticas para superar métodos tradicionales, a menudo subjetivos.

8.2.5. Método

El enfoque propuesto combina diversas herramientas — captura tridimensional, análisis geomorfológico, estudio archivístico, *Sistemas de Información Geográfica* y métodos estadísticos — caracterizándose por procesos sistemáticos, cuantificables y reproducibles que buscan mayor objetividad que los métodos tradicionales. La metodología incluye etapas como la creación del modelo 3D, localización de unidades gráficas, estudio de cambios morfológicos desde el Paleolítico reciente, reconstrucción virtual de la cavidad original, análisis espacial con SIG, evaluación estadística e interpretación.

El análisis se estructura en **tres escalas**: global, macro y micro.

(i) La *escala global* considera la cavidad en su contexto geográfico y ambiental (Monney, 2012; Genuite et al., 2018, 2022), aunque no será el foco principal de la tesis.

(ii) La *escala macro* se centra en la cavidad, abordando la posición de los motivos en la estructura general de la cueva, la selección de lugares, modificaciones espaciales, accesibilidad (por ejemplo, el camino de menor coste), función de los motivos, capacidad de ocupación y visibilidad de los motivos. Este marco teórico servirá de base para una exposición metodológica más detallada en las siguientes secciones.

(iii) La tercera escala propuesta es la *escala micro*, se centra en las paredes. Este nivel permite analizar la interacción entre las figuras y el soporte, así como las relaciones entre los propios motivos. También se abordan cuestiones relativas a la posición del artista, como la comodidad o la altura, aportando una comprensión más detallada del contexto de producción.

8.2.5.1. Métodos de documentación

Las metodologías empleadas para la recogida de datos son esenciales para los análisis espaciales destinados a reconstruir la morfología original de las cuevas durante la creación de los motivos prehistóricos.

La fase inicial consiste en el **trabajo de archivo**, estudiando *documentación histórica*, *fotografías* y *planos antiguos*, que aportan datos sobre las modificaciones recientes y el estado original previo a las alteraciones antropogénicas (Ochoa et al., 2017; Spaey et al., 2025). Las fuentes fotográficas, aunque con limitaciones por contrastes y condiciones de iluminación en el interior de la cueva, son fundamentales para la evaluación visual. De igual modo, los primeros levantamientos topográficos aportan información valiosa sobre elementos estructurales ya desaparecidos o modificados, especialmente en cavidades adaptadas al turismo.

Asimismo, las *fuentes escritas y orales* — informes de excavación, artículos y testimonios de guías — complementan esta información, ayudando a localizar vestigios difíciles de identificar, aunque su subjetividad requiere verificación *in situ*. La inspección directa y documentación fotográfica en la cavidad permiten contrastar y ampliar los datos archivísticos, además de detectar modificaciones antropogénicas discretas que pueden afectar la precisión del modelado espacial.

Un elemento crucial es la *caracterización geomorfológica de la cavidad*, que tiene en cuenta los procesos naturales y humanos que han modificado la morfología a lo largo del tiempo (Van Gundy & White, 2009; Delannoy et al., 2010; Sadier, 2013; Laureano et al., 2016; Genuite et al., 2018; Jaillet et al., 2024). Esto incluye procesos sedimentarios, erosivos, climáticos, tectónicos y zoógenos (Audra et al., 2016; Barriquand et al., 2021). El análisis geológico resulta esencial para definir el espacio disponible en época paleolítica, descartando alteraciones posteriores a la creación artística (Delannoy et al., 2012; Jouteau et al., 2019). La metodología sigue procedimientos aplicados en cavidades como Santimamiñe o Atxurra (Aranburu et al., 2015; Arriolabengoa et al., 2018, 2020, Garate et al., 2020; Intxaurbe et al., 2023), identificando unidades aloestratigráficas, estableciendo una estratigrafía relativa y cartografiando elementos morfológicos (crestas horizontales, canales en techos, etc.) para reconstruir cronologías

relativas y la evolución geomorfológica, empleando software gráfico para la elaboración cartográfica detallada.

La documentación técnica también incluye la generación y geolocalización de modelos tridimensionales de interiores de cavidades, fundamentales para un análisis espacial preciso de los motivos prehistóricos. El primer paso para ello es la lasergrametría, que registra millones de puntos geolocalizados mediante rayos láser, reconstruyendo las paredes de la cueva como nubes de puntos densas que luego se triangulan en mallas 3D (.obj). Estos modelos ofrecen una precisión milimétrica del estado actual, aunque la captura de texturas con el mismo dispositivo suele ser limitada, por lo que se complementa frecuentemente con fotogrametría.

A continuación, se realiza la geolocalización precisa de las unidades gráficas (por ejemplo, manos negativas) sobre el modelo 3D mediante dispositivos como el distancio-clinómetro 3D (*DistoX2*), un distanciómetro *Leica*® modificado con funciones de clinómetro y conexión Bluetooth, idóneo para entornos de difícil acceso (Almeida-Warren et al., 2021). Los datos se procesan con software específico (*TopoDroid*, *VisualTopo*) y se integran en los SIG.

Otra técnica complementaria es la fotogrametría, que combina múltiples imágenes fotográficas no ordenadas con algoritmos de visión artificial (como SIFT) para generar modelos 3D texturizados y fotorrealistas. Este proceso requiere un control riguroso en la calidad de las imágenes (color, iluminación, enfoque), seguido de procesamiento digital con Agisoft *Metashape*® para crear nubes de puntos y mallas texturizadas. Pueden aplicarse a las texturas herramientas de optimización digital como el plugin *DStretch*® de *ImageJ*® para facilitar la visualización de los motivos. La georreferenciación de los modelos fotogramétricos se realiza alineando puntos reconocibles con la nube de puntos láser, lo que permite ubicar con precisión los motivos en la cavidad.

En cavidades extensas o zonas que requieren mayor resolución espacial, se emplea el escáner LiDAR para captar detalles superficiales más finos donde la resolución de la lasergrametría puede ser insuficiente. Aunque la calidad de las texturas es inferior a la fotogrametría, la combinación de LiDAR con lasergrametría y fotografía aporta reconstrucciones 3D fiables.

8.2.5.2. Modelado 3D

Se utilizó *Blender*® para modificar los modelos 3D de la cueva, centrándose en dos tareas principales: eliminar alteraciones antropogénicas (como suelos rebajados, escaleras, iluminación, cables, túneles excavados, barreras) y restaurar los niveles antiguos del suelo. Esto

implicó dos procesos: *edición* de malla para eliminar segmentos grandes y errores de escaneo, y *esculpido* para ajustes más finos y manejo de los niveles de suelo.

El flujo de trabajo consistió primero en colorear los segmentos que requerían modificación (guardados en un modelo 3D separado para mayor transparencia del proceso), seguido por la edición y esculpido de la malla función de los datos recogidos. Los resultados finales incluyeron una versión coloreada que muestra las áreas modificadas y el modelo reconstruido que representa el estado de la cueva en el Paleolítico reciente.

8.2.5.3. SIG

Tras la reconstrucción 3D y la geolocalización precisa de las figuras, se realizaron análisis GIS para obtener datos cuantitativos sobre la distribución espacial de los motivos paleolíticos. Con un flujo de trabajo similar al de Intxaurbe et al. (2021, 2022, 2024), el script original se dividió en un script general que analiza todas las manos colectivamente y otro individual para cada motivo, mejorando la eficiencia y reduciendo errores computacionales.

Se añadieron análisis de mapas de inclinación (*Dangerousness*), densidad kernel de zonas peligrosas (*GreaterDifficulties*), cálculo del camino principal (*MainCorridor*), corredores de visibilidad (*VisibleMainCorridor*), intervisibilidad entre motivos, puntos ideales de observación (*IdealPosition*) y agrupamiento (*HeatMapDensity*). Se correlacionaron estadísticamente altura y orientación para estimar la facilidad de ejecución.

Se incluyeron medidas establecidas de dificultad de acceso (*Least Cost Path*) y visibilidad, diferenciadas por postura (de pie, agachado, tumbado), basadas en datos arqueológicos (Holt, 2003; Shackelford, 2007; Cox et al., 2019) y estimaciones (Neufert, 1951; Pastoors et Weninger, 2011; Ruiz-Redondo, 2014), considerando una altura media de 159,9 cm. Las posiciones de los artistas se categorizaron según la altura relativa al suelo y la pendiente en cinco clases, desde tumbado (<1 m) hasta elevado (>1,8 m).

8.2.5.4. Estadísticas

El análisis estadístico de los datos espaciales mediante *R* (R Core Team, 2024) y el paquete *FactoMineR* (Lê et al., 2008) permitió identificar dinámicas de distribución espacial en las cuevas decoradas mediante *Análisis de Componentes Principales* (ACP), *Análisis Factorial de Datos Mixtos* (Pagès, 2004) y *Agrupamientos Jerárquicos sobre Componentes Principales*. El ACP se aplicó a variables continuas, mientras que los análisis factoriales integraron variables cuantitativas y categóricas, como la lateralidad de las manos. El análisis de clusters identificó

grupos de observaciones con patrones similares. Se optó por trabajar únicamente con casos completos, evitando imputaciones difíciles de justificar en contextos arqueológicos.

8.2.5.5. Principios FAIR de la ciencia abierta

La metodología adoptó un enfoque de transparencia, consciente del carácter interpretativo de la reconstrucción de entornos paleolíticos. Se documentaron de forma detallada los procesos de modelado, aunque no fue viable aplicar una codificación de fiabilidad con diferentes colores como sugieren Aparicio y Figueiredo (2016). Las modificaciones se distinguieron mediante categorías cromáticas generales.

El trabajo siguió los principios FAIR, garantizando que los datos fueran Localizables, Accesibles, Interoperables y Reutilizables (Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable). Los modelos 3D y los scripts se compartieron en plataformas de acceso abierto como *Sketchfab* y *Open Science Framework*, favoreciendo la investigación arqueológica, la conservación del patrimonio y la difusión al público en general. De hecho, una de las grandes ventajas del acceso virtual es la reducción de la necesidad de visitas físicas en bienes de extrema fragilidad, contribuyendo así a una preservación más efectiva del patrimonio arqueológico en cuevas.

Además, el objetivo era crear un método que pudiera ser evaluado, criticado y mejorado abiertamente, garantizando la transparencia y el avance colectivo de la comprensión arqueológica (Wilkinson et al., 2016).

Las limitaciones técnicas relacionadas con el gran tamaño de los archivos de los modelos 3D, que superan los límites de las plataformas habituales de acceso abierto, destacaron las limitaciones infraestructurales. Asimismo, persisten incertidumbres legales sobre la titularidad y distribución de los datos digitales, especialmente en lo relativo a modelos modificados y fotografías de documentación, sin existir normas claras que regulen los derechos sobre estas representaciones digitales del patrimonio.

8.2.6. Materiales

8.2.6.1. El Castillo

La cueva de El Castillo, situada en Puente Viesgo, en la ladera noreste del monte Castillo, es uno de los yacimientos arqueológicos más relevantes de la costa cantábrica, con un desarrollo de 790 metros (Cabrera Valdés, 1984). Declarada Patrimonio Mundial de la UNESCO en 2008, su estratigrafía abarca más de dieciocho metros, desde el Paleolítico inicial hasta la Edad del

Bronce. Descubierta en 1903 por Alcalde del Río (1906), su arte parietal ha sido objeto de múltiples investigaciones (Alcalde del Río, 1906; Alcalde del Río et al., 1911; Ripoll Perelló, 1956, 1971, 1972; González Echegaray, 1964, 1972; García Guinea & González Echegaray, 1966; González Echegaray & Moure Romanillo, 1970; González Morales & Moure Romanillo, 1984; González García, 1987, 1990, 2001; Moure Romanillo et al., 1996; Garate, 2006; Groenen, 2006, 2007a, 2007b, 2008b, 2008a, 2012, 2013, 2014; Mingo Álvarez, 2009; González Sainz, 2010; Ruiz-Redondo, 2010; Groenen et al., 2012; Pettitt et al., 2014, 2015; Ripoll et al., 2014; Groenen & Groenen, 2015, 2019, 2025; Rabazo-Rodríguez et al., 2017; Ripoll, Bayarri, et al., 2021, 2021; Díaz-González & Garate, 2025, Spaey et al., 2025). A lo largo del siglo XX, la cavidad fue profundamente modificada para su explotación turística, alterando su morfología original sin control científico.

Actualmente se contabilizan 2.563 entidades gráficas, incluidas 541 figuras figurativas (Groenen & Groenen, 2025) y 77 manos negativas (Collado Giraldo, 2018). El yacimiento ha proporcionado además un importante conjunto de arte mueble, con omóplatos estriados magdalenienses y piezas premagdalenienses como un canto de cuarcita grabado con un felino (Barandiarán, 1972; Rivero et al., 2022). Existen también restos discutidos de arte mueble atribuibles al Auriñaciense (Zilhão & d'Errico, 2003).

Las dataciones por radiocarbono (Valladas et al., 1992) y Uranio-Torio (Pike et al., 2012; Hoffmann et al., 2018a) del arte no permiten por el momento su cronología precisa debido a limitaciones metodológicas (Pearce & Bonneau, 2018; White et al., 2020). Los investigadores coinciden en general en la diacronía y diversidad temporal de las fases artísticas, con propuestas diversas de fases de concepción: tres (González Echegaray, 1972), cuatro (Alcalde del Río et al., 1911; Leroi-Gourhan, 1965), cinco (González García, 2001) o nueve fases de decoración (Breuil & Obermaier, 1935).

La cueva de El Castillo es una cavidad activa, que aún hoy sigue experimentando transformaciones debidas a procesos kársticos. Desde la época paleolítica, ha sufrido, por tanto, cambios en su morfología. En el marco de este trabajo se llevó a cabo un estudio exhaustivo del sistema kárstico de la cueva de El Castillo en colaboración con Martin Arriolabengoa (EHU) e Iñaki Intxaurbe (EHU), ilustrado mediante la creación de un mapa geomorfológico.

8.2.6.2. Fuente del Trucho

La cavidad de Fuente del Trucho se encuentra en Asque-Colungo (Huesca), en la margen derecha de la garganta del río Arpán, en el Pirineo meridional, dentro del valle del río Vero (Utrilla et al., 2016). El yacimiento presenta una amplia entrada orientada al sureste que da acceso a dos sectores diferenciados: un abrigo y una cámara más profunda y oscura de 24 metros. Descubierta en 1978 durante las prospecciones de arte rupestre del Vero (Utrilla et al., 2016), la cueva ha sido objeto de nueve campañas de excavación (Baldellou & Mir, 1986; Mir, 1987; Mir & Salas, 2000; Montes et al., 2006; Utrilla et al., 2010, 2014, 2016), que revelaron materiales del Paleolítico medio y superior, cerámicas y evidencias de ocupación islámica medieval.

El arte parietal incluye al menos 59 manos en negativo, mayoritariamente rojas, pero también amarillas o negras. Muchas manos presentan falanges ausentes. El techo cuenta también 16 figuras animales (caballos, osos, cérvidos, un íbice) y signos pintados, entre ellos series de puntos y motivos trilobulados (Utrilla & Bea, 2022). Existen además figuras grabadas en el sector iluminado del refugio (Ripoll et al., 2001; Utrilla et al., 2016).

La cronología es compleja debido a la disparidad de datos. Las dataciones por U/Th sitúan las manos en una antigüedad superior a los 27.370 años, coherente con atribuciones gravetienses basadas en comparaciones estilísticas (Hoffmann et al., 2017; Utrilla et al., 2016). Las dataciones radiocarbónicas (AMS) de los niveles exteriores dieron fechas de 19.060±80 y 22.460±150 BP, a pesar de la presencia de industria atribuible tipológicamente al Paleolítico medio (Mir & Salas, 2000). Estas incoherencias podrían explicarse por la alteración post-deposicional o por contextos mezclados (Utrilla et al., 2016). Fechas adicionales mediante TL (13.244±945 BP) y radiocarbono (20.800±100 BP; 26.020±150 BP; 31.880±220 BP) refuerzan la hipótesis de presencia recurrente durante el Paleolítico reciente (Utrilla et al., 2014b, 2016).

No se ha realizado un estudio geomorfológico específico, pero la ausencia de espeleotemas y la conservación de los techos decorados sugieren una escasa actividad geológica desde el Paleolítico reciente. Las capas finas de calcita apenas han afectado las superficies pintadas (Utrilla et al., 2016; Hoffmann et al., 2017), y el acceso restringido ha contribuido a la preservación del conjunto.

No se ha podido llevar a cabo un estudio geomorfológico detallado de la cueva de Fuente del Trucho en el marco de este trabajo, a diferencia de lo realizado en El Castillo. Sin embargo, la

ausencia de un desarrollo importante de espeleotemas y la conservación global de los techos pintados sugieren un cambio geológico mínimo desde el Paleolítico Superior.

Además, la cueva permanece cerrada al público en general, con acceso estrictamente limitado a equipos de investigación autorizados. Este acceso restringido ha protegido el yacimiento de los tipos de alteraciones y adaptaciones al turismo como las observadas en El Castillo.

8.2.6.3. Fuente del Salín

La cueva de Fuente del Salín se sitúa en la cuenca baja del valle del Nansa, cerca del estuario de Tinamenor, en el municipio de Val de San Vicente, Cantabria (Bohigas Roldán et al., 1985). Se localiza a unos 3 km de la línea de costa actual (Barreiro, 2003; González Morales & Moure Romanillo, 2008; Zugasti et al., 2012), y a unos 12 metros sobre el nivel del mar (González Morales, 2022). El contexto geológico corresponde a terrazas fluviales con limos arcillosos.

La cavidad pertenece a un sistema kárstico activo con inundaciones periódicas (Alonso Gutiérrez, 2018; González Morales & Moure Romanillo, 2008). Por lo tanto, la investigación arqueológica sólo es posible cuando el nivel del agua es suficientemente bajo. La zona decorada pertenece a un nivel fósil al resguardo de las crecidas, permitiendo la conservación de un conjunto de manos negativas que se distribuyen en torno a una pequeña sala central.

Descubierta en 1985 por espeleólogos de la Sociedad de Actividades Espeleológicas de Cantabria (SAEC), la cueva ha sido objeto de diversas campañas de excavación y estudio (Bohigas Roldán et al., 1985; SAEC, 1985; González Morales & Moure Romanillo, 2000, 2008). Las excavaciones en Fuente del Salín sacaron a la luz un importante nivel de ocupación gravetiense, situado en la zona decorada de la cavidad y cerca de la entrada. Bajo una primera capa estratigráfica de arcilla oscura y una delgada costra estalagmítica, se halló un potente depósito con abundantes restos de mamíferos, moluscos marinos — principalmente lapas, litorinas y trivias (Cuenca Solana, 2013) — así como ictiofauna, industria ósea y lítica en sílex, cuarcita y esquisto (González Morales, 2016). También se descubrieron fragmentos de hematites, un bloque de caliza con restos de pigmento y un fragmento de pared igualmente pigmentado (Alonso Gutiérrez, 2018).

El arte parietal consta de 33 manos negativas (9 negras, 24 rojas) y dos manos positivas rojas, junto con un único motivo abstracto (González Morales & Moure Romanillo, 2008). Una datación por AMS en carbón asociado a una mano negra arrojó 18.200 ± 70 BP, aunque los autores sugieren posible rejuvenecimiento por contaminación orgánica (González Morales &

Moure Romanillo, 2008). El conjunto se atribuye al Gravetiense, constituyendo un raro caso de manos negativas en asociación directa con un espacio doméstico (González Morales, 2022).

Aunque aún no se ha realizado un estudio geomorfológico completo, los indicios actuales sugieren escasas modificaciones ambientales desde el Paleolítico. La entrada original se sitúa probablemente a unos tres metros de un actual derrumbe, mientras que las superficies decoradas se mantienen globalmente estables y los niveles arqueológicos reflejan las condiciones del suelo gravetiense.

8.2.7. Resultados

8.2.7.1. El Castillo

El análisis de la cueva de El Castillo en Cantabria requirió como paso previo una restitución precisa del estado paleolítico de la cavidad para poder realizar un estudio espacial riguroso de los motivos de manos negativas. Esta reconstrucción fue especialmente compleja debido a las amplias modificaciones sufridas por la cueva durante su acondicionamiento turístico, que carecieron de documentación técnica. Las fotografías antiguas disponibles eran escasas, destacando únicamente la obra *Les Cavernes de la Région Cantabrique* (Alcalde et al., 1911). No obstante, una búsqueda intensiva permitió localizar material inédito en el *Frobenius Institute*, especializado en archivos antropológicos y etnográficos.

En 1936, una expedición organizada por Leo Frobenius documentó varias cuevas del norte de España, incluyendo El Castillo, mediante dibujos y fotografías. La colaboración con el Instituto permitió digitalizar más de doscientas imágenes inéditas, algunas de las cuales muestran el interior y los accesos de El Castillo, y que hoy constituyen la base documental de este estudio. Esta información se complementó con datos arqueológicos, geoespaciales y fotogramétricos para la restitución del estado geomorfológico de la cavidad.

La primera fase de resultados permitió la geolocalización precisa de 77 motivos de manos negativas sobre un modelo 3D de la cueva. Los motivos se distribuyen por toda la cavidad, pero destacan dos concentraciones principales: el *Panneau des Polychromes* y el *Plafond des Mains*, siendo este último la zona con mayor número de representaciones. Motivos adicionales se localizaron en el *Bas-Côté*, el *Carrefour*, la *Salle du Chaos*, la *Galerie des Mains* y la *Galerie des Disques*. También se llevaron a cabo fotogrametrías de alta resolución, capturas LiDAR y documentación fotográfica detallada por sector para futuras investigaciones.

El análisis macroespacial mostró que la accesibilidad a los motivos es bastante homogénea y favorable, con bajos índices de dificultad (media de 10,12 1/(m/s)) y distancias moderadas a la entrada (media de 63,86 metros). Las manos se sitúan en zonas sin peligros de caídas ni obstáculos. Solo las *Galerie des Mains* y *Galerie des Disques* presentan valores algo superiores, pero siempre dentro de rangos bajos. Es importante destacar que no se encontraron motivos de manos cerca de zonas peligrosas (por ejemplo, caídas pronunciadas o superficies inestables).

El análisis de visibilidad reflejó que los motivos son, en general, muy visibles, con medias de 16 observadores simultáneos por motivo, aunque con variaciones importantes según la ubicación. El *Plafond des Mains* sobresale por su alta concentración y su destacada visibilidad, mientras que otras zonas como el *Panneau des Polychromes* y la *Galerie des Mains* presentan menor visibilidad en comparación.

La intervisibilidad entre las manos, es decir, la posibilidad de ver varios motivos desde una mano, es escasa salvo en el *Plafond des Mains*, donde se identificó un núcleo visual significativo. En el resto de las zonas, los motivos son visualmente aislados, sin comunicación visual entre sí.

El estudio de la lateralidad, basado en la orientación del pulgar, mostró una predominancia clara de manos izquierdas (76,8%) (si consideramos que la mano está colocada con la palma en la pared), distribuida homogéneamente en las diferentes áreas de la cueva. Este resultado podría estar relacionado con la mano dominante de los autores y las técnicas de soplado, donde los diestros tenderían a usar la mano izquierda para estampar el motivo y la derecha para sostener el recipiente de pigmento. No obstante, la posibilidad de la aplicación con el dorso de la mano hacia la pared complica esta interpretación.

El análisis morfométrico realizado por Fernández-Navarro (datos comunicados personalmente), sugiere la presencia de todas las categorías de edad entre los autores de las manos. Aunque la mayoría sean manos adultas, se localizaron algunos ejemplos de adolescentes y niños, siempre de forma dispersa y sin asociación espacial específica. Esto indicaría la inclusión de diferentes grupos de edad sin ninguna segregación espacial basada en la edad.

El análisis de densidad confirmó la importancia del *Plafond des Mains* y el *Panneau des Polychromes* como epicentros de la actividad artística. Ambos espacios, situados en la parte anterior de la cueva, ya en total oscuridad, destacan por su alta concentración y visibilidad, y se encuentran conectados espacialmente y visualmente.

Las plantillas de manos están situadas predominantemente a lo largo del lado derecho de la cueva, como ya observaron Groenen y Groenen (2019), y no se encuentra ninguna en las partes más profundas de la cavidad. El patrón de distribución indica una selección deliberada de áreas específicas para la expresión simbólica, equilibrando la accesibilidad, la visibilidad y la seguridad.

Este análisis espacial detallado revela que la ubicación de las manos negativas en El Castillo responde a una compleja interacción entre los condicionantes ambientales, decisiones culturales y posiblemente dinámicas sociales propias de las comunidades paleolíticas.

Se realizaron un Análisis Factorial de Correspondencias (AFC) junto con una Clasificación Jerárquica sobre Componentes Principales (CHCP) para analizar estadísticamente la distribución espacial de las manos negativas en la cueva de El Castillo. En un primer análisis exploratorio con variables como la dificultad del acceso, la longitud del camino, la altura del motivo, la visibilidad total, la intervisibilidad, la lateralidad y el ángulo de orientación transformado, se identificaron cuatro grupos mediante CHCP. Sin embargo, se observó que la separación entre los grupos 3 y 4 se basaba únicamente en la lateralidad, variable que actuaba de forma independiente respecto al resto. Por este motivo, se decidió excluirla, eliminando así la única variable categórica y trabajando exclusivamente con variables cuantitativas.

En un segundo análisis, utilizando la dificultad del acceso, la altura del motivo, la visibilidad total, la intervisibilidad y la orientación transformada, la HCPC permitió obtener una estructuración más clara de los datos. La primera dimensión principal estuvo determinada por la dificultad del acceso, la altura y la visibilidad, mientras que la segunda se explicó principalmente por la longitud del camino. La orientación apenas influyó en ninguna de las dos dimensiones. La primera dimensión explicó más del 40% de la varianza y las tres primeras dimensiones acumularon más del 80%, lo que justificó su uso para el análisis posterior. Se identificaron tres grupos: (i) en primer lugar, las manos que son relativamente más difíciles de alcanzar, las de la *Galerie des Mains* y la de la *Galerie des Disques* (Cluster 1), (ii) en segundo lugar, las manos que no están muy altas y, por tanto, son menos visibles y sólo pueden ver algunas otras manos (Clúster 2), (iii) finalmente, el último grupo de manos muy visibles que, en general, están altas (Clúster 3).

A nivel microespacial se analizó la posición del ejecutante, constatando una gran diversidad de posturas sin que sean conectadas a áreas específicas. Se identificaron posiciones agachadas, inclinadas, de pie y elevadas, lo que sugiere que la comodidad no fue prioritaria y que la elección de las superficies decoradas pudo responder a motivaciones simbólicas. En cuanto a

la orientación, la mayoría de los motivos se realizaron en posiciones cómodas, con manos izquierdas entre -60º y 120º y manos derechas entre -90º y 90º. No obstante, se identificaron excepciones notables como la mano 64, que obligó al ejecutante a introducir el codo en una chimenea, o la mano 63, orientada hacia abajo en una pendiente. Estas elecciones sugieren que, en ciertos casos, se priorizó la significación simbólica o ritual por encima de la ergonomía.

8.2.7.2. Fuente del Trucho

La reconstrucción del estado paleolítico de la cueva de Fuente del Trucho se enfrenta a importantes limitaciones debido a la escasez y falta de precisión de las fuentes disponibles (Mir, 1987; Mir y Salas, 2000; Utrilla et al., 2016). La datación de los niveles arqueológicos es objeto de debate, con interpretaciones contradictorias sobre si los niveles excavados corresponden al Paleolítico medio o superior (Utrilla et al., 2016). La naturaleza suelta del suelo de la cueva dificulta el análisis estratigráfico y, a diferencia de la cueva de El Castillo, no se dispone de fotografías antiguas ni textos históricos que faciliten la reconstrucción.

La reconstrucción de la morfología de la cavidad fue sencilla en cuanto al techo, conservado con abundantes motivos parietales actuando como un *terminus ante quem* y sin alteraciones turísticas. Sin embargo, el suelo presentó mayores dificultades debido a la falta de datos estratigráficos fiables y la posible alteración sedimentaria por el ganado. Ante estas incertidumbres, se optó por no modificar el suelo en la reconstrucción, salvo el rellenado virtual de las áreas excavadas para obtener una superficie más homogénea.

El *corpus* de manos negativas se amplió a un total de 59 motivos, añadiendo cuatro nuevas manos al inventario de Collado Giraldo et al. (2018), alcanzando un total de 53 manos rojas, 3 negras y 3 amarillas. Se realizó una geolocalización precisa de las manos mediante ortofotografías de alta resolución y un modelo tridimensional texturizado.

El análisis macroespacial mostró una baja dificultad de acceso (media de 11,93 $\frac{1}{(m/s)}$); profundidad de 21,12 m), con resultados homogéneos para todas las manos, sin diferencias relevantes en cuanto a color o lateralidad. La cueva no presenta zonas de peligro. El análisis de visibilidad reveló altos niveles de visibilidad (media cercana a 20 observadores potenciales), superiores a los registrados en El Castillo, y homogéneos en general, aunque decrecientes hacia el fondo de la cavidad. La intervisibilidad promedio entre manos fue de 6,07 motivos, concentrándose en las zonas más densamente decoradas. No se observó correlación significativa entre accesibilidad, visibilidad, lateralidad o color.

La mayoría de las manos son izquierdas (33 de 59), seguidas de derechas (17) e indeterminadas (9). La estimación de edad basada en el tamaño de las manos muestra una representación equilibrada de todos los grupos de edad, aunque predominan los adolescentes (50 %). No se identificaron agrupamientos espaciales claros por edades. Se identificaron 12 configuraciones digitales distintas, siendo la mano completa y la mano con solo el meñique extendido las más frecuentes. La distribución espacial de estas configuraciones no presenta vínculos claros con la accesibilidad, visibilidad, lateralidad o color. La mayor densidad de manos negativas se sitúa hacia el fondo de la cueva, posiblemente por cuestiones tafonómicas.

Se realizaron un Análisis Factorial de Correspondencias (AFC) y una Clasificación Jerárquica sobre Componentes Principales (CHCP) de las manos negativas de Fuente del Trucho, considerando las siguientes variables: dificultad del camino, longitud del camino, altura del motivo, visibilidad total, intervisibilidad, lateralidad y ángulo de orientación transformado. El primer análisis mostró ausencia de una clara separación entre los motivos, con un papel destacado de la visibilidad total en la Dimensión 1 y del ángulo de orientación en la Dimensión 2. Entre las variables cuantitativas, se observó una oposición entre visibilidad total e intervisibilidad, así como entre dificultad de acceso y altura del motivo. Las variables categóricas destacaron la importancia del color de las manos y, en menor medida, de la lateralidad derecha.

La CHCP identificó cinco clusters: el Cluster 1 se caracterizó por ángulos de orientación bajos y baja altura; el Cluster 2 por caminos largos y variabilidad en altura; el Cluster 3 agrupó las manos amarillas; el Cluster 4 se definió por caminos cortos y altura baja; y el Cluster 5 por las manos negras. Estos resultados deben interpretarse con cautela, ya que el ángulo de orientación puede haber condicionado de forma potencialmente problemática la clasificación para los motivos ubicados en el techo.

Un segundo análisis, eliminando el ángulo de orientación, también identificó cinco clusters, dos de ellos exclusivamente basados en el color de los motivos (amarillo y negro). Las diferencias entre los demás clusters se basan en variaciones mínimas de longitud del camino o dificultad, con escaso valor discriminante, lo que limita la solidez interpretativa.

En el tercer análisis se incorporó la variable de configuración digital. Se obtuvieron seis clusters: el Cluster 1 (motivos bajos con caminos largos), el Cluster 2 (motivos altos y caminos largos), el Cluster 3 (motivos altos, caminos cortos, baja dificultad), el Cluster 4 (una mano amarilla y una roja con la configuración *llll*i), el Cluster 5 (manos altas, mayoría con configuración *liiii*, incluyendo una mano negra) y el Cluster 6 (las dos manos negras restantes

unidas pese a su configuración distinta). El análisis espacial mostró que algunos clusters reflejan la morfología de la cueva, como el Cluster 1, siempre situado al fondo.

El análisis microespacial de la posición del artista evidenció posturas variadas, determinadas por la altura de los motivos y la forma del techo. En cuanto a la orientación, la mayoría de las manos sigue una dirección cómoda acorde a su lateralidad. Se identificaron algunas excepciones notables, como las manos izquierdas amarilla 11, roja 6 y roja 24, orientadas en ángulos incómodos. En un caso (manos 6 y 7) se observó una posible composición en espejo.

8.2.7.3. Fuente del Salín

A diferencia de El Castillo, la reconstrucción del estado paleolítico de Fuente del Salín se vio limitada por la falta de fotografías antiguas y de estudios geomorfológicos. No obstante, las excavaciones arqueológicas (Moure Romanillo & González Morales, 1992; González Morales & Moure Romanillo, 2000, 2008; González Morales, 2016) permitieron identificar el nivel 2, correspondiente a la ocupación gravetiense relacionada con las manos en negativo. La información estratigráfica fue incorporada en un modelo 3D, rebajando el suelo 30 cm para alcanzar la altura de ocupación mediante una serie de cubos virtuales. La reconstrucción de la entrada se basó en el trabajo de la empresa GIM Geomatics.

El *corpus* de manos negativas se amplió a partir de los 21 ejemplares documentados (Collado Giraldo, 2018) gracias a trabajos inéditos del equipo de González Morales, y observaciones en el marco de este trabajo, alcanzando un total de 31. Estas se geolocalizaron en el modelo tridimensional utilizando *Agisoft Metashape*® y *ArcGIS*®, siguiendo la numeración de Collado (2018) ampliada con nuevos números.

El análisis espacial de las 31 manos negativas incluyó la accesibilidad, visibilidad, intervisibilidad, lateralidad, estimación de edad, densidad y análisis multivariantes. Las manos mostraban una gran accesibilidad, situadas cerca de la entrada y con valores bajos de dificultad de acceso. La visibilidad era inferior a la de las otras dos cuevas, siendo aquí las manos rojas generalmente más visibles que las negras. La intervisibilidad no era sistemática y se observó una ligera predominancia de manos izquierdas (10 izquierdas frente a 8 derechas), aunque muchas permanecen indeterminadas.

Los estudios sobre la edad identificaron una diversidad de grupos, especialmente en el panel más denso. Las manos se concentraban en la zona anterior de la cavidad, destacando ciertas áreas mediante análisis de densidad *kernel*. Los Análisis Factorial de Correspondencias (AFC)

y Clasificación Jerárquica sobre Componentes Principales (CHCP) identificaron tres clústeres principales determinados por variables como la dificultad del acceso, la intervisibilidad, el color y la lateralidad. Un segundo análisis excluyendo la lateralidad confirmó esta estructura, también con tres grupos definidos por la visibilidad, altura y longitud del trayecto.

El análisis microespacial mostró posiciones variadas de ejecución, predominando posturas incómodas como cuclillas o elevadas. La orientación de los motivos seguía normas ergonómicas, con predominancia de posiciones oblicuas y ausencia de manos colocadas verticalmente.

8.2.8. Discusión

La calidad de los datos disponibles para El Castillo, Fuente del Trucho y Fuente del Salín es desigual. El Castillo permitió un trabajo de campo extenso y reconstrucciones detalladas gracias a la documentación archivística, pero ha sufrido alteraciones antrópicas y geomorfológicas significativas. Fuente del Trucho, por su parte, presenta un techo decorado casi intacto y libre de modificaciones humanas o cambios geomorfológicos, aunque las capas arqueológicas interiores están alteradas, dificultando la estimación del nivel del suelo. Fuente del Salín, sin estudios geomorfológicos por el momento, se mantiene sin alteraciones modernas gracias a su descubrimiento tardío y acceso complicado, ofreciendo un registro arqueológico más fiable para la estimación de los niveles de suelo, favorecidas por la excavación de los restos de ocupación gravetiense. En estas dos últimas cavidades, la estabilidad geomorfológica compensa en parte la falta de estudios específicos.

A pesar de estas desigualdades, la metodología empleada — basada en modelos 3D y análisis espacial — se muestra pertinente por su flexibilidad para integrar nuevos datos o reconstrucciones. La aplicación de esta metodología en el *Plafond des Mains* de El Castillo, tanto en su estado actual como en su reconstrucción paleolítica, reveló diferencias significativas en el número de espectadores estimado: hasta 15 personas con visibilidad óptima en el modelo paleolítico, frente a 11 en el modelo actual — una reducción del 26,66% debida a barreras y modificaciones modernas. Este resultado demuestra que esta metodología permite obtener conocimientos imposibles mediante enfoques tradicionales de análisis espacial. Como ya indicó Sauvet (1993), no basta con describir los espacios del pasado; los métodos innovadores actuales permiten avanzar hacia una comprensión más profunda de estas sociedades prehistóricas.

El análisis espacial de los motivos de manos negativas en las tres cavidades estudiadas — El Castillo, Fuente del Trucho y Fuente del Salín — revela una serie de características comunes

que permiten afinar ciertas hipótesis interpretativas. La accesibilidad general a los motivos es fácil en los tres sitios, con mínimas excepciones, como tres motivos en El Castillo situados en zonas menos accesibles. Todas las manos negativas se encuentran en áreas no peligrosas, en contraste con casos como la cueva de Cosquer, donde algunos motivos de manos se ubicaron en contextos potencialmente peligrosos (Clottes et al., 2005). La visibilidad de los paneles con manos negativas es generalmente alta en las tres cavidades, aunque influenciada por las dimensiones espaciales de cada cueva. La visibilidad mínima simultánea se estima en cinco personas para El Castillo, once para Fuente del Trucho y cuatro para Fuente del Salín.

Esta configuración espacial cuestiona afirmaciones previas, como la de Djindjian (2015), que sostenía que los motivos de manos se sitúan únicamente cerca de las entradas; el caso de El Castillo desmiente esta afirmación, pues todos sus ejemplares se localizan en zonas profundas y oscuras, entre 47 y 167 metros desde la entrada. La homogeneidad en la accesibilidad y la alta visibilidad de las manos negativas, que no es un rasgo sistemático del arte parietal paleolítico, parece responder a una elección cultural deliberada. Este patrón apoya la distinción teórica entre espacios «públicos» y «privados», así como entre motivos «públicos» y «privados», propuesta por varios autores (Laming-Emperaire, 1962; Sauvet & Sauvet, 1979; Raphaël, 1986; Vialou, 1986, 2009; Bradley, 1991, 1995; de Beaune, 1995; Clottes, 1997; Gamble, 1998; Lewis-Williams, 2002; Bahn, 2003; Garate, 2010; Ochoa & García-Diez, 2018; Jouteau et al., 2020; Jouteau, 2021).

A partir de estas observaciones, se puede caracterizar a las manos negativas, en la mayoría de los casos, como «motivos públicos» situados en «espacios públicos», es decir, lugares que permiten la observación simultánea por un número amplio de personas. Algunas excepciones, como ciertos motivos en El Castillo y Fuente del Salín con menor visibilidad, se pueden interpretar como «motivos privados» en «espacios públicos», lo que sugiere otras posibles lógicas simbólicas. Por lo tanto, los datos permiten afirmar las hipótesis (ii) de que la visibilidad y la capacidad de acogida son factores clave en la elección de los emplazamientos de las manos negativas, y (iii) que la facilidad de acceso es igualmente un criterio determinante.

8.2.8.1. Diferentes dinámicas espaciales

8.2.8.1.1. Zona de visibilidad central

Los análisis espaciales realizados en las tres cuevas estudiadas revelan dinámicas organizativas distintas en la distribución de las manos negativas. Un hallazgo fundamental es la identificación de zonas de visibilidad central donde se concentra un número elevado de motivos. En El

Castillo, el *Plafond des Mains* alberga la mayor densidad de manos negativas. Modelos espaciales basados en fotogrametría y análisis de visibilidad indican que hasta 31 personas podrían ver simultáneamente entre el 33% y el 100% de los motivos, mientras que hasta 74 personas podrían estar presentes si se incluye la visibilidad parcial (0-33%). La accesibilidad de este sector es moderada, con una dificultad media de 5,45 $\frac{1}{(m/s)}$ tras recorrer 63,45 metros. La superposición de motivos a lo largo del Paleolítico reciente (Alcalde del Río et al., 1911; Garate, 2006; Ruiz-Redondo, 2010; Díaz-González & Garate, 2025) refuerza la hipótesis de un espacio de acogida de gran capacidad.

Fuente del Trucho presenta igualmente una zona de mayor densidad hacia el fondo de la cueva, aunque el contraste con otras áreas no es lo bastante marcado para permitir un análisis detallado comparable al de El Castillo. No obstante, la alta visibilidad sugiere una disposición intencionada de los motivos.

En Fuente del Salín, la organización espacial de las manos negativas parece directamente vinculada al espacio central del hogar. Mediante un análisis de intervisibilidad basado en un alcance de luz de 4,5 metros (Medina Alcaide et al., 2021), se determinó que el 81,25% de las manos (26 de 32) son visibles desde el hogar. Esto sugiere una disposición deliberada para garantizar la visibilidad desde este punto central, con implicaciones sociales destacadas. Un grupo menor de manos no visibles, incluyendo manos positivas, se sitúa en un área periférica, lo que podría reflejar una función simbólica diferente. Además, la observación de las líneas de visión sobre el nivel actual del suelo confirma la importancia de la reconstrucción del nivel paleolítico, ya que los resultados difieren significativamente.

Estos datos evidencian la existencia de múltiples dinámicas espaciales en el arte parietal paleolítico: zonas centrales de alta visibilidad para un público amplio y áreas marginales potencialmente asociadas a otras prácticas o significados.

La notable accesibilidad y visibilidad de las manos negativas, junto con la capacidad de acogida de zonas intensamente decoradas — como el *Plafond des Mains* y el *Panneau des Polychromes* en El Castillo, la zona profunda de Fuente del Trucho o el espacio de la sala central con hogar en Fuente del Salín — respalda la hipótesis de los sitios de agregación o "supersites" formulada por Conkey (1980) y desarrollada por Bahn (1984) y Utrilla (1994). Estas localizaciones, particularmente El Castillo, pudieron haber albergado reuniones episódicas de grupos sociales durante el Paleolítico reciente, en las que la creación colectiva de manos pudo tener funciones simbólicas, posiblemente vinculadas a intercambios culturales. No obstante, esta hipótesis

resulta menos aplicable a Fuente del Salín, donde las evidencias arqueológicas apuntan a ocupaciones gravetienses de corta duración. En Fuente del Trucho, la escasez de datos arqueológicos impide establecer conclusiones interpretativas en este sentido.

8.2.8.1.2. Ejemplos singulares

El análisis microespacial resalta ejemplos singulares de manos que se desvían de la ejecución convencional. En El Castillo, la orientación de las manos 64 y 63 indica posiciones incómodas, especialmente la mano 64, que parece emerger de la sombra de una chimenea kárstica — una posible interacción simbólica a un tipo de mundo invisible, siguiendo las hipótesis de Groenen (2016) y Le Quellec (2022). Esta interpretación contrasta con los planteamientos de Lewis-Williams (2002) y Clottes y Lewis-Williams (1996), que atribuyen importancia al gesto mismo. Las manos 64 y 63 refuerzan la primera hipótesis, mientras que el resto de manos, ejecutadas de forma cómoda, encajan mejor en la segunda interpretación.

A pesar de compartir características, las manos 64 y 63 se agruparon en clústeres estadísticos diferentes debido a sus distintas visibilidades y alturas. Otro caso destacado es la mano 9, identificada como de un niño, ubicada en un rincón de visibilidad reducida, lo que sugiere dinámicas simbólicas o sociales particulares.

En Fuente del Trucho, la orientación de las manos resulta difícil de establecer por su ubicación en el techo. No obstante, ciertos pares, como las manos 6 y 7, sugieren una composición deliberada. En Fuente del Salín, se observa un agrupamiento compositivo de manos (manos 5 a 9) que combina manos infantiles y adultas, aunque estos aspectos no fueron destacados por los análisis espaciales de orientación.

Estos ejemplos permiten confirmar la hipótesis de que algunas manos fueron dispuestas en relación deliberada con los relieves de la pared. La variedad de posiciones en las tres cuevas sugiere que la comodidad no fue el criterio principal: la ubicación o consideraciones simbólicas parecen haber prevalecido.

8.2.8.1.3. Marcadores topográficos

La gran visibilidad y accesibilidad de las manos negativas en El Castillo ha llevado a varios autores (Groenen, 1990, 2011, 2013; Foucher, 1991; Pigeaud, 2005; Collado Giraldo, 2018) a proponer que estos motivos, junto con los discos, podrían haber funcionado como una forma de marcadores topográficos. Sin embargo, la ausencia de manos negativas en la zona de entrada y en los puntos clave de decisión, como el desvío hacia el *Panneau des Polychromes*, cuestiona

la idea de un sistema direccional claro desde el inicio del recorrido. El análisis espacial mediante modelos de *Least Cost Path* mostró que sólo 4 de las 77 manos negativas se encuentran en el camino más eficiente hacia las zonas profundas de la cavidad. No obstante, al recalcular el LCP hacia el fondo de la *Galerie des Mains*, se cruzaron 67 manos negativas, y al incluir las zonas intermedias, se recorren todas las manos negativas de la cueva. Por tanto, aunque estos motivos no están presentes desde el inicio del trayecto, son visibles en todo el recorrido dentro del alcance de una antorcha cuando uno se dirige hacia la parte derecha de la cavidad.

La *Galerie des Mains*, caracterizada por una visibilidad restringida y mayor dificultad de acceso, se ajusta especialmente a la noción de paso simbólico o umbral (Groenen, 2013). La continuidad de manos negativas a ambos lados de un estrechamiento morfológico refuerza la hipótesis de que estos motivos podrían sugerir un itinerario. La presencia de discos, frecuentemente asociados espacialmente a las manos (Breuil, 1952; Leroi-Gourhan, 1965, 1967, 1992; Sauvet et al., 1977; Groenen, 1990; González García, 2001; Collado Giraldo, 2018), apoya esta interpretación. La larga sucesión de discos en la *Galerie des Disques*, tras la última mano, podría igualmente participar en un posible balizamiento simbólico.

Así, aunque la definición estricta de marcador topográfico como sistema direccional preciso desde la entrada no se confirma, una interpretación más amplia que considere los motivos como indicativos de un recorrido dentro de la cueva no se puede excluir para algunas manos específicas, especialmente en la *Galerie des Mains*. Sin embargo, la escasez de evidencias limita esta propuesta a una sugerencia interpretativa. La coexistencia de diferentes dinámicas espaciales dentro de una misma cavidad respalda finalmente la hipótesis de que varios sistemas de organización espacial pudieron coexistir simultáneamente (hipótesis i).

8.2.8.2. Animales y signos

El análisis espacial de las manos negativas en El Castillo permite comparar su dinámica espacial con la de otros motivos presentes en las cavidades del Paleolítico reciente, como las figuras animales y los signos abstractos. Aunque una comparación sistemática requeriría aplicar los mismos métodos de análisis a todos los grupos de motivos, algunas observaciones preliminares revelan diferencias significativas. El análisis espacial de un caballo acéfalo grabado en el *Tréfonds* y de una cabeza de bisonte en la *Bauge des Ours* muestra que las manos negativas presentan una accesibilidad y visibilidad notablemente superiores a estas representaciones animales, situadas en zonas más profundas o de acceso limitado (Intxaurbe et al., 2024). Por ejemplo, el caballo, con un valor de accesibilidad de 176,816 $\frac{1}{(m/s)}$ y localizado a 276 metros

de profundidad, contrasta fuertemente con los paneles de manos mucho más accesibles. En cuanto al bisonte, destaca en términos de visibilidad, ya que sólo permite la presencia de un máximo de 4 observadores. Además, se encuentra fuera del recorrido general de la cueva, por lo que es necesario entrar en este divertículo sin salida.

Esta lógica no es exclusiva de El Castillo. Otros casos, como el bisonte modelado en arcilla de Aizpitarte IV (Garate et al., 2018) o la cabeza de caballo realizada «a ciegas» en Pergouset (Lorblanchet, 1997), demuestran que las figuras animales podían ser intencionadamente ubicadas en espacios marginales y de difícil acceso. En cambio, la elección deliberada de situar las manos negativas en zonas accesibles y visibles revela una lógica espacial diferenciada. Asimismo, el estudio de la distribución de distintos grupos de motivos en El Castillo (triángulos redondeados, ciervas estriadas, figuras cuadrangulares, signos amarillos) muestra que cada grupo ocupa sectores diferentes de la cavidad, y que algunos espacios profundos, aunque decorados, carecen de ciertos motivos (Groenen & Groenen, 2019), lo que confirma la existencia de decisiones selectivas en la ubicación de los motivos.

Los estudios de superposiciones confirman que las manos negativas siempre se encuentran debajo de figuras amarillas, signos o grabados, sin seguir una pauta clara de respeto o evitación. Esto sugiere que la presencia de manos no fue un factor determinante para la elección posterior de otras figuras, cuyas lógicas de ubicación parecen ser independientes. En Fuente del Trucho, donde las manos se combinan con figuras animales y signos, estos aparecen próximos pero no mezclados, lo que apunta a una diferenciación simbólica. Los signos trilobulados, por su parte, se encuentran siempre junto a animales, indicando posibles asociaciones. En Fuente del Salín, las manos negativas y positivas ocupan una zona distinta a la del único otro motivo documentado hasta ahora, un signo situado en una parte más profunda.

En conjunto, estos datos apoyan la hipótesis (vii): las manos negativas responden a criterios de distribución espacial diferentes de los que rigen la ubicación de los animales o los signos, reflejando estrategias espaciales deliberadas en el arte rupestre paleolítico.

8.2.8.3. Múltiples ejecutantes, diacronía y funciones de las manos negativas

El análisis de las manos negativas en las tres cavidades estudiadas permite rechazar la hipótesis de su creación por una sola persona en un único episodio. La presencia de diferentes grupos de edad indica en efecto la participación de múltiples individuos. No obstante, no es posible determinar con certeza si estas acciones se realizaron de forma diacrónica o sincrónica. La diversidad en la composición de los pigmentos observada en Gargas, Tibiran y Maltravieso

(Clot et al., 1995; Foucher et al., 2007; Collado Giraldo & García Arranz, 2022), junto con el uso de colores variados, sugiere producciones diacrónicas en intervenciones potencialmente espaciadas en el tiempo (Foucher et al., 2007; Groenen, 2011; Collado Giraldo & García Arranz, 2022). Sin embargo, otros indicios, como las manos en espejo de Fuente del Trucho o la composición de manos de adultos y niños en Fuente del Salín, apuntan a realizaciones sincrónicas.

El análisis espacial confirma esta diversidad de dinámicas: algunas zonas muestran una gran concentración de manos agrupadas (Leroi-Gourhan, 1967, 1992; Barrière, 1977; Groenen, 1990, 2011, 2016; Delluc, 2006; Foucher et al., 2007; Clottes, 2008; Collado Giraldo, 2018), mientras que otras, como el corredor de la *Galerie des Mains* en El Castillo, no permiten descartar un posible uso como marcadores espaciales. Asimismo, otras manos más discretas, relacionadas con los relieves de la roca (manos 9, 63 y 64 en El Castillo o manos 2, 3 y 4 en Fuente del Salín), destacan la variabilidad del fenómeno. Antes que un sistema rígido y uniforme, la distribución de las manos negativas muestra un patrón general intercalado con anomalías — relaciones entre motivos, tríos o juegos con la pared — posiblemente reflejo de la superposición de sistemas o de una dinámica espacial flexible que permitía expresiones más puntuales o únicas.

8.2.8.4. Redes culturales

Los datos específicos de las manos con dedos incompletos de Fuente del Trucho permiten formular hipótesis sobre posibles redes de intercambio o movilidad con otros sitios decorados. El sistema complejo de combinaciones digitales resulta especialmente relevante, aunque los análisis estadísticos no revelaron patrones claros en cuanto a lateralidad, grupos de edad, disposición, visibilidad o accesibilidad de las manos. Solo se identificó un grupo de tres manos izquierdas negras (n.º 40, 41 y 42) con características homogéneas, posiblemente fruto de una acción sincrónica (Leroi-Gourhan, 1967; Groenen, 1988).

Destaca la alta frecuencia de la combinación *liiii* (pulgar extendido con los demás dedos replegados), presente en un 31% de las manos legibles en Fuente del Trucho. Esta configuración es también la más común en la cueva de Gargas (47%) (Leroi-Gourhan, 1967; Groenen, 1988) y aparece, aunque de forma menos frecuente, en Cosquer (7,5%) (Clottes et al., 2005). La semejanza es notable a pesar de la separación geográfica: Gargas y Fuente del Trucho están a unos 100 km en lados opuestos de los Pirineos, mientras que Cosquer se encuentra a 400 km al este (Foucher et al., 2007).

Sin embargo, Fuente del Trucho muestra un repertorio más restringido en comparación con Gargas. Solo cuatro de sus doce combinaciones coinciden con las de Gargas. Cosquer, por su parte, presenta únicamente cinco configuraciones (Clottes et al., 2005).

Este patrón sugiere prácticas simbólicas comunes entre los grupos gravetienses de estas cuevas, posiblemente derivadas de desplazamientos poblacionales (Kozłowski, 2015) o de intercambios sociales (Mauss, 1925; Binford, 1980; Wiessner, 1982; Bahn, 1982; Conkey, 1984). Las evidencias de obtención de materias primas, como el aprovisionamiento de chert en Fuente del Trucho, procedente de la vertiente norte de los Pirineos, cerca de Gargas, refuerzan esta hipótesis de interacciones a ambas vertientes del Pirineo. Otros trabajos muestran que las amplias redes territoriales eran comunes durante el Gravetiense (Féblot-Augustins, 1999; Sánchez de la Torre et al., 2021). Estas dinámicas simbólicas se inscriben en los patrones culturales gravetienses más amplios, como las figuras de Venus, los objetos decorados en marfil o las representaciones gráficas (Simonet, 2012; Rivero, 2015; Garate et al., 2020). Las hipótesis sobre lugares de encuentro o *supersites* (Conkey, 1980; Bahn, 1984) aportan contexto adicional a estas relaciones. Un análisis sistemático de estas cavidades resulta esencial para profundizar en la complejidad y las posibles conexiones culturales entre Fuente del Trucho, Gargas y Cosquer.

8.2.9. Resumen de los resultados

En resumen ; los resultados confirman las hipótesis (i), (ii), (iii), (v) y (vii):

(i) Pueden coexistir varios sistemas paralelos de organización espacial, incluso dentro de una misma cavidad.

(ii) Una característica fundamental en la ubicación de las manos negativas es su visibilidad y la capacidad del espacio para albergar al público potencial.

(iii) Otro criterio tenido en cuenta en la selección de los lugares es la facilidad de acceso a los motivos.

(v) Algunas figuras de manos fueron situadas en función de relieves específicos de la pared, en relación con estos.

(vii) Las manos negativas responden a criterios de distribución espacial diferentes de los que rigen la distribución de animales o signos.

Respecto a la hipótesis (iv), únicamente se puede afirmar que no es incompatible en un caso particular, el de la *Galerie des Mains*:

> (iv) Algunas manos negativas están relacionadas con dinámicas de circulación dentro de la cavidad, desempeñando una función señalizadora

Finalmente, la hipótesis (vi) queda refutada:

> (vi) La edad, la lateralidad o el estado de completitud de los dedos pueden ser factores que induzcan una distribución espacial diferenciada de las manos negativas.

8.2.10. Conclusion

A lo largo de estas líneas y durante los años dedicados a esta investigación, me he esforzado por cumplir los objetivos planteados al principio de este trabajo. Estos fueron: (i) realizar un estado de la cuestión de las manos negativas respecto a su organización espacial, (ii) probar un método innovador para su estudio y (iii) profundizar en el conocimiento de este fenómeno complejo.

(i) Al inicio de este estudio, la evaluación de lo ya observado sobre las manos negativas en relación con su organización espacial — un aspecto todavía relativamente poco explorado — y la cuestión del espacio en el arte parietal en general, me llevó a identificar una debilidad metodológica inherente a la complejidad del tema. En efecto, numerosos estudios han abordado la organización de los motivos en las paredes de las cuevas, pero sus propuestas se han visto obstaculizadas por la falta de caracterización precisa del espacio subterráneo, tanto en su estado actual como en su estado antiguo.

(ii) Para superar este obstáculo, me propuse desarrollar un método cuantitativo que combinase varias técnicas digitales y sistemas analíticos: representación tridimensional, *Sistemas de Información Geográfica* y estadística.

La aplicación de este método requirió la reconstrucción de los espacios subterráneos tal como existían durante el Paleolítico. Para acercarse a los espacios de creación artística y comprender los posibles usos y prácticas que tuvieron lugar en ellos, es necesario conocer su situación original y su evolución a lo largo del tiempo, bajo la influencia de procesos geomorfológicos y posibles modificaciones antrópicas a las que las cuevas han estado sometidas durante milenios. Tras recopilar estos datos, pude crear modelos tridimensionales de las cavidades restauradas a su estado paleolítico. Este paso crucial evita distorsiones en el análisis basado en la apariencia actual de los espacios, como demostré con el ejemplo del *Plafond des Mains* de El Castillo,

donde los datos de visibilidad diferían según el modelo utilizado (estado paleolítico frente a estado actual). Además, la representación tridimensional ofrece una mejor ilustración de los espacios y evita la categorización arbitraria del espacio en zonas, práctica ampliamente utilizada en investigaciones previas pero poco adecuada para paisajes subterráneos. La naturaleza exhaustiva, sistemática y cuantitativa de los datos obtenidos tiende a la objetividad y permite una mejor comparabilidad entre cuevas respecto a estudios anteriores.

Cabe destacar que, siguiendo los principios FAIR de la ciencia abierta, este método está abierto a futuras colaboraciones y modificaciones. Será por tanto sencillo ajustar los datos usados en los cálculos de visibilidad, ocupación o accesibilidad a la luz de descubrimientos científicos futuros. De igual modo, los modelos tridimensionales de las tres cuevas del *corpus* (estado actual modificado en color y estado paleolítico) están disponibles para los investigadores en una plataforma en línea y pueden servir a otros estudios. El estudio de las fuentes históricas de la cueva de El Castillo, con el descubrimiento de nuevos archivos en colaboración con el *Frobenius Institute*, así como su estudio geomorfológico, también beneficiarán futuras investigaciones y contribuirán a enriquecer nuestro conocimiento de este preciado patrimonio.

(iii) Este trabajo analítico también me ha permitido extraer una serie de conclusiones sobre el fenómeno de las manos negativas en las tres cuevas estudiadas y más generalmente.

El estudio espacial de las manos negativas en El Castillo, Fuente del Trucho y Fuente del Salín ha proporcionado elementos en respuesta a la hipótesis inicial planteada al inicio de esta investigación, que proponía que estos motivos no estaban distribuidos al azar dentro de las redes subterráneas y que podían identificarse lógicas de distribución discernibles.

Los resultados del estudio espacial apoyan la conclusión comúnmente aceptada de que la distribución de los motivos refleja decisiones y elecciones conscientes hechas por los grupos que los crearon. En efecto, los datos revelan discriminación espacial: las manos negativas no estaban dispersas aleatoriamente sino que parecen reunirse en áreas específicas que comparten características comunes.

A escala macro, la visibilidad, la presencia de un espacio de reunión circundante, la facilidad de acceso y la ausencia de peligro en el entorno inmediato parecen ser factores importantes que influyen en su ubicación.

Algunas zonas están particularmente densamente decoradas, correspondiendo a espacios de fácil acceso, gran visibilidad y adecuados para reuniones. Estos resultados invitan a considerar la creación o uso de estos motivos por grupos numerosos, en línea con estudios sobre el tamaño

de las manos que sugieren diversidad social. Propongo así que el motivo de la mano negativa podría considerarse un motivo 'público'.

Sin embargo, este trabajo no reveló discriminación espacial en las cuevas basada en la lateralidad, el color, la edad de los ejecutantes o la combinación de dedos (en casos de manos negativas con dedos ausentes), contrariamente a mi hipótesis inicial. Estos factores presentan una gran variación que no parece estar vinculada a tipos espaciales particulares en las cuevas analizadas.

A escala micro, la presencia de ciertas morfologías de pared influyó en la colocación de algunos motivos (p.ej., manos 9, 63 y 64 en El Castillo; manos 3 y 4 en Fuente del Salín). La comodidad de la posición de ejecución fue muy variable y parece secundaria a la elección de la pared, que probablemente respondió a otros criterios.

Los datos del análisis espacial me permitieron proponer hipótesis sobre funciones o usos diferenciados de las manos negativas dentro de las tres redes subterráneas, revelando la coexistencia de diferentes sistemas espaciales dentro de una misma cavidad. Identifiqué tres tipos de espacios que engloban todas las manos de este *corpus*:

(i) lugares de alta visibilidad y densidad de motivos presentes en las tres cuevas;

(ii) manos negativas fuera de este sistema general, colocadas según relieves específicos de pared (jugando con zonas de sombra, integradas en partes limitadas o con estructuras de fisuras), o agrupadas en composiciones.

(iii) motivos que no serían incompatibles con potenciales funciones de señalización, semejantes a sistemas de marcación vinculados a la dinámica de circulación dentro de la cueva (observados solo en la *Galerie des Mains* de El Castillo).

Estos datos muestran la complejidad del fenómeno y sugieren la presencia de posibles usos o funciones diferentes dentro de un marco de similitudes generales, posiblemente reflejando lógicas simbólicas diversas.

Respecto a otros tipos de motivos como animales o signos, el análisis preliminar (pendiente de un trabajo comparativo sistemático) indica que las manos negativas no se localizan sistemáticamente junto a otros motivos. Por ejemplo, los animales pueden aparecer en zonas más difíciles de acceder o lugares de visibilidad muy limitada, a diferencia de las manos negativas. Aunque las manos comparten algunas paredes con animales y signos, su organización parece más indiferente que correlacionada. Por ejemplo, en El Castillo, cuatro

sistemas de organización espacial distintos (triángulos redondeados, ciervos rayados, cuadrángulos particionados, figuras amarillas) siguen criterios de distribución espacial diferentes a los de las manos negativas. De forma similar, en Fuente del Trucho, las representaciones de animales y signos se agrupan de forma distinta a las manos, y en Fuente del Salín un único signo se localiza lejos de las manos en la red subterránea, confirmando esta observación.

Respecto al número de ejecutantes de las manos negativas, la variación en grupos de edad y sexo de los creadores de esténciles excluye la hipótesis de un único individuo actuando solo. Estos datos apuntan al contrario a un fenómeno social colectivo. Si las manos se crearon de forma intermitente durante un largo período o de manera sincrónica sigue siendo una cuestión más compleja, que he abordado con varios argumentos sin conclusiones definitivas. La presencia de diferentes recetas de pintura en cuevas como Gargas o Maltravieso abogan por una diacronía de los motivos. Sin embargo, composiciones como las de Fuente del Salín o las tres manos negras de Fuente del Trucho sugieren sincronicidad. La realidad puede ser múltiple o situarse entre estas opciones, con motivos producidos por pequeños grupos a lo largo del tiempo.

Finalmente, los datos de Fuente del Trucho, con sus manos negativas con dedos ausentes, me permitieron proponer hipótesis concretas sobre relaciones intersitio entre esta cueva y Gargas (al otro lado de los Pirineos) así como potencialmente Cosquer (más al este) durante el Gravetiense. Esto se basa en una combinación particular de dedos (posición *liiii*: pulgar completo y cuatro dedos restantes reducidos a una única falange), así como otros elementos relacionados con el origen de materias primas en capas arqueológicas y la difusión general de la cultura gravetiense. También revisé, para El Castillo, la hipótesis de que fue un sitio de agregación (sugerida notablemente por Conkey, 1980; Bahn, 1984; Utrilla, 1994), con manos negativas representando momentos de encuentro entre distintos grupos.

8.2.10.1. Perspectivas futuras

Aunque estos nuevos conocimientos ya son valiosos para entender el fenómeno de las manos negativas en general, también abren muchas vías para futuras investigaciones.

El método puede modificarse, como se sugirió anteriormente, con nuevos datos procedentes de excavaciones, experimentos y otros análisis. Puede mejorarse mediante otros estudios microespaciales, por ejemplo, midiendo cuantitativamente la comodidad de la posición de ejecución o afinando datos como la superficie de ocupación individual o la altura estimada de

ejecución del motivo. De igual modo, desde una perspectiva estadística, sería interesante trabajar de forma más universal en cuevas, estandarizando datos y reduciendo así la dependencia de la escala o forma específica del sitio de procedencia.

En cuanto a conclusiones interpretativas, sería valioso ampliar el *corpus* aplicando este método de análisis a otras cavidades en la misma área o en un ámbito geográfico más amplio, para determinar si existen dinámicas espaciales similares. Esto incluiría sitios con manos negativas con dedos ausentes o que utilizan colores distintos. Por ejemplo, la cueva de Gargas, que contiene el mayor número conocido de manos negativas paleolíticas hasta la fecha (Foucher et al., 2007), o Cosquer, así como cuevas del sur de la península ibérica (como Maltravieso, Palomas IV, etc.), donde la lógica de los dedos ausentes parece diferente.

Desde un punto de vista estadístico, aumentar el número de manos negativas y cuevas estudiadas también fortalecería las hipótesis interpretativas, bien confirmando su singularidad si no se comparte con otros sitios, o su carácter común en caso contrario.

Además, el análisis espacial sistemático de otros tipos de motivos, con ligeras modificaciones metodológicas, como en el trabajo de Intxaurbe et al. (2024), por ejemplo sistemáticamente en todos los motivos de El Castillo o en muchas otras cuevas donde conviven manos negativas con otras representaciones, permitiría tener una visión global de las diversas estructuras espaciales con datos precisos y comparables mediante un marco analítico común.

Ampliar el estudio a otros períodos cronológicos también sería de interés, no solo para la totalidad del Paleolítico reciente sino para otros períodos (pre)históricos. De hecho, el método propuesto es aplicable a muchos casos arqueológicos más allá de cualquier frontera cronológica o geográfica. Cada aplicación también consolida el método a través del trabajo colectivo y amplía las perspectivas. La construcción colaborativa de estas nuevas herramientas, fuentes de esperanza y renovación para la disciplina, puede ayudar así a avanzar en el conocimiento del comportamiento humano prehistórico y las prácticas simbólicas. Si bien el análisis de tres cavidades ha planteado estas nuevas cuestiones y respuestas, cabe esperar que la extensión de este enfoque proporcione nuevos descubrimientos y refuerce esta importante labor.



BIBLIOGRAPHIE

9. Bibliographie

Absolon, K. (1935). Ein Anhängsel aus einem fossilen Menschenzahn. *Zeitschrift für Rassenkunde*, *1*, 317.

Airvaux, J., Aujoulat, N., Baratin, J.-F., Beauval, C., & Henry-Gambier, D. (2006). Découverte d'un réseau karstique orné au lieu-dit Les Garennes, commune de Vilhonneur, Charente. *Préhistoire du Sud-Ouest*, *13*, 25-35.

Albert, G. (2017). Aspects of Cave Data Use in a GIS. In S. Karabulut & M. Cengiz Cinku (Éds.), *Cave Investigation*. InTech. https://doi.org/10.5772/intechopen.68833

Alcalde del Río, H. (1906). *Las pinturas y grabados de las cavernas prehistóricas de la provincia de Santander (Altamira-Covalanas-Hornos de la Peña-Castillo)*. Blanchard y Arce.

Alcalde del Río, H., Breuil, H., & Sierra, L. (1911). *Les cavernes de la région cantabrique (Espagne)* (Vol. 1-2). A. Chêne.

Alexander, C., Pinz, A., & Reinbacher, C. (2015). Multi-scale 3D rock-art recording. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, *2*(2-3), 181-195. https://doi.org/10.1016/J.DAACH.2015.02.003

Allaire, J., Yihui, X., Dervieux, C., McPherson, J., Luraschi, J., Ushey, K., & Atkins, A. (2024). rmarkdown: Dynamic Documents for r. In *https://github.com/rstudio/rmarkdown*.

Almagro Basch, M. (1976). Los omóplatos decorados de la cueva de « El Castillo », Puente Viesgo (Santander). In *Trabajos de Prehistoria*. Museo Arqueológico nacional.

Almeida-Warren, K., Braun, D. R., & Carvalho, S. (2021). The DistoX2: A methodological solution to archaeological mapping in poorly accessible environments. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *35*, 102688. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102688

Alonso Gutiérrez, S. (2018). *Análisis y caracterización de los pigmentos de la cueva de la Fuente del Salín (Muñorrodero, Cantabria): una aproximación desde la arqueología experimental*. Universidad de Cantabria.

Alzate-Casallas, G., Sánchez-Carro, M. A., Barbieri, A., & González-Morales, M. R. (2025). Was fire use a cultural trait of the Gravettian? New micro-archaeological data from Fuente

del Salín cave (Val de San Vicente, Cantabria). *Archaeological and Anthropological Sciences*, *17*(1), 10. https://doi.org/10.1007/s12520-024-02126-x

Andrieu, V., Hubschman, J., Jalut, G., & Hérail, G. (1988). Chronologie de la déglaciation des Pyrénées françaises. Dynamique de sédimentation et contenu pollinique des paléolacs ; application à l'interprétation du retrait glaciaire. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire*, *25*(2-3), 55-67.

Angás, J., & Bea, M. (2014). Documentación geométrica de la cueva con arte paleolítico de la Fuente del Trucho (Asque-Colungo, Huesca). In M. S. Corchón & M. Menéndez (Éds.), *Cien años de arte rupestre paleolítico* (p. 209-219). Universidad Salamanca.

Angás, J., Bea, M., & Royo Guillén, J. (2013). Documentación geométrica mediante Láser Escáner 3D del arte rupestre de la cuenca del Matarraña (Teruel). *Cuadernos de Arte Rupestre*, *6*, 91-101.

Angás, J., Le Guillou, Y., & Mauduit, É. (2014). Vers une normalisation de la documentation 3D de parois ornées : les grottes de Niaux (Ariège) et de Roucadour (Lot). *Karstologia*, *63*, 21-34.

Aparicio Resco, P., & Figueiredo, C. (2016). El grado de evidencia histórico-arqueológica de las reconstrucciones virtuales: Hacia una escala de representación gráfica. *Revista Otarq: Otras arqueologías*, *1*, 235-247.

Aranburu, A., Arriolabengoa, M., Iriarte, E., Giralt, S., Yusta, I., Martínez-Pillado, V., del Val, M., Moreno, J., & Jiménez-Sánchez, M. (2015). Karst landscape evolution in the littoral area of the Bay of Biscay (north Iberian Peninsula). *Quaternary International*, *364*, 217-230. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.09.025

Arias Cabal, P., González Sainz, C., Moure Romanillo, A., & Ontañon Peredo, R. (1996). L'art pariétal paléolithique du complexe archéologique de la Garma (Omoño, Cantabria, Espagne). Approche préliminaire. In *International Newsletter on Rock Art* (Vol. 14, p. 1-4).

Arias, P. (2009). Rites in the dark? An evaluation of the current evidence for ritual areas at Magdalenian cave sites. *World Archaeology*, *41*(2), 262-294. https://doi.org/10.1080/00438240902843964

Arias, P., Laval, E., Menu, M., Sainz, C. G., & Ontañón, R. (2011). Les colorants dans l'art pariétal et mobilier paléolithique de La Garma (Cantabrie, Espagne). *L'Anthropologie*, *115*(3-4), 425-445. https://doi.org/10.1016/j.anthro.2011.05.005

Arifin, K., & Delanghe, P. (2004). *Rock Art in West Papua*. Unesco Pub.

Armstrong, W. E. (2011). *Rossel Island: an ethnological study*. Cambridge University Press.

Arriolabengoa, M., Intxaurbe Alberdi, I., Bilbao Malavé, I., Aranburu Artano, A., Ríos Garaizar, J., Medina-Alcaide, M. Á., Rivero, O., Líbano, I., & Gárate Maidagán, D. (2018a). Geomorfología de la cueva Atxurra-Armiña (Berriatua, Bizkaia). In *Geomorfología del Antropoceno. Efectos del cambio global sobre los procesos geomorfológicos* (p. 95-98). Sociedad Española de Geomorfología.

Arriolabengoa, M., Intxaurbe, I., Medina-Alcaide, M. Á., Rivero, O., Rios-Garaizar, J., Líbano, I., Bilbao, P., Aranburu, A., Cheng, H., Edwards, R. L., & Garate, D. (2020). From cave geomorphology to Palaeolithic human behaviour: speleogenesis, palaeoenvironmental changes and archaeological insight in the Atxurra-Armiña cave (northern Iberian Peninsula). *Journal of Quaternary Science*, *35*(6), 841-853. https://doi.org/10.1002/jqs.3225

Arriolabengoa, M., Iriarte, E., Aranburu, A., Yusta, I., Arnold, L. J., Demuro, M., & Arrizabalaga, A. (2018b). Reconstructing the sedimentary history of Lezetxiki II cave (Basque Country, northern Iberian Peninsula) using micromorphological analysis. *Sedimentary Geology*, *372*, 96-111. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.05.006

Aschoff, J. (1985). On the perception of time during prolonged temporal isolation. *Human Neurobiology*, *4*(1), 41-52.

Aschoff, J. (1988). Circadian Rhythms in Man. In J. A. Hobson (Éd.), *States of Brain and Mind* (p. 21-22). Birkhäuser Boston. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-6771-8_8

Aubert, M., Brumm, A., & Huntley, J. (2018a). Early dates for 'Neanderthal cave art' may be wrong. *Journal of Human Evolution*, *125*, 215-217. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2018.08.004

Aubert, M., Brumm, A., Ramli, M., Sutikna, T., Saptomo, E. W., Hakim, B., Morwood, M. J., van den Bergh, G. D., Kinsley, L., & Dosseto, A. (2014). Pleistocene cave art from Sulawesi, Indonesia. *Nature*, *514*(7521), 223-227.

Aubert, M., Setiawan, P., Oktaviana, A. A., Brumm, A., Sulistyarto, P. H., Saptomo, E. W., Istiawan, B., Ma'rifat, T. A., Wahyuono, V. N., & Atmoko, F. T. (2018b). Palaeolithic cave art in Borneo. *Nature*, *564*(7735), 254-257.

Audra, P., Barriquand, L., Bigot, J.-Y., Cailhol, D., Caillaud, H., Vanara, N., Nobecourt, J.-C., Madonia, G., Vattano, M., & Renda, M. (2016). L'impact méconnu des chauves-souris et du guano dans l'évolution morphologique tardive des cavernes. *Karstologia*, *68*, 1-20.

Audra, P., De Waele, J., Bentaleb, I., Chroňáková, A., Vaclav, K., D'Angeli, I., Carbone, C., Madonia, G., Vattano, M., Scopelliti, G., Cailhol, D., Vanara, N., Temovski, M., Bigot, J.-Y., Nobécourt, J.-C., Galli, E., Rull, F., & Sanz Arranz, A. (2019). Guano-related phosphate-rich minerals in European caves. *International Journal of Speleology*, *48*, 75-105. https://doi.org/10.5038/1827-806X.48.1.2252

Azéma, M. (2009). *L'art des cavernes en action: Tome 1: les animaux modèles. Aspect, locomotion, comportement*. Éditions Errance.

Azéma, M. (2010). *L'art des cavernes en action: Tome 2: Les animaux figurés. Animation et mouvement, l'illusion de la vie*. Éditions Errance.

Azéma, M., & Gély, B. (2014). Restitution 3D d'une grotte ornée : La Baume-Latrone. *Dossiers d'Archéologie*, *Jan/Fev*(October), 28-31.

Azéma, M., Gély, B., Prudhomme, F., & ATM D Société ATMD. (2010). Relevé 3D de gravures fines paléolithiques dans l'abri du Colombier (gorges de l'Ardèche). *In Situ*, *13*. https://doi.org/10.4000/insitu.6723

Bache, S. M., & Wickham, H. (s. d.). magrittr: A Forward-Pipe Operator for r. In *https://CRAN.R-project.org/package=magrittr*.

Baffier, D., Bertin, E., Girard, M., & Guillamet, E. (2024). *La Grande Grotte d'Arcy-sur-Cure (Yonne)*. Editions Universitaires de Dijon.

Baffier, D., & Girard, M. (1998). *Les cavernes d'Arcy-sur-Cure*. La Maison des Roches.

Baffier, D., & Girard, M. (2007). La Grande Grotte d'Arcy-sur-Cure. *Dossiers d'Archéologie*, 74-85.

Bahn, P. (1984). *Pyrenean Prehistory. A Palaeoeconomic Survey of the French Sites*. Aris & Phillips.

Bahn, P. G. (1982). Inter-site and inter-regional links during the upper palaeolithic: the pyrenean evidence. *Oxford Journal of Archaeology*, *1*(3), 247-268. https://doi.org/10.1111/j.1468-0092.1982.tb00313.x

Bahn, P. G. (2003). Location, location : What can the positioning of cave and rock art reveal about Ice Age motivations? In A. Pastoors & G. C. Weniger (Éds.), *Höhlenkunst und Raum : Archäologische und architektonische Perspektiven* (p. 11-20). Neanderthal Museum.

Baker, J., Rigaud, S., Pereira, D., Courtenay, L. A., & d'Errico, F. (2024). Evidence from personal ornaments suggest nine distinct cultural groups between 34,000 and 24,000 years ago in Europe. *Nature Human Behaviour*, *8*(3), 431-444. https://doi.org/10.1038/s41562-023-01803-6

Balbín, R. de, & Moure, J. A. (1980). Pinturas y grabados de la cueva de Tito Bustillo (Asturias): El Conjunto I. *Trabajos de Prehistoria*, *37*(1969), 365-382.

Baldellou, V. (1991). Memoria de las actuaciones de 1988 y 1989 en la zona del río Vero (Huesca). In J. I. Royo Guillén & J. L. Acín Fanlo (Éds.), *Arqueología aragonesa 1988-1989* (p. 13-18). Diputación General de Aragón, Departamento de Educación y Cultura.

Baldellou, V. (1994). Memoria de la actuación de 1991 en la zona del rio Vero (Huesca). In *Arqueología aragonesa 1991*. Diputación General de Aragón, Departamento de Educación y Cultura.

Baldellou, V., & Mir, A. (1986). Informe sobre la excavación de la cueva de la Fuente del Trucho (Asque-Colungo, Huesca). *Arqueología Aragonesa*, *1984*, 9-10.

Ballard, C. H., McDonald, J., & Haskovec, I. P. (1992). *State of the Art: Regional Rock Art Studies in Australia and Melanesia*.

Barandiarán, I. (1972). *Arte mueble del Paleolítico cantábrico*. Departamentos de Prehistoria y Arqueología, e Historia de la Antigüedad de la Universidad de Zaragoza.

Barbuti, P., Fuentes, O., Konik, S., & Pinçon, G. (2023). Le relevé interdisciplinaire d'art pariétal paléolithique en trois dimensions: intérêt, méthode et premiers résultats. *Humanités numériques*, *7*.

Barker, M. (1998). Beyond the veil of the temple: The high priestly origins of the apocalypses. *Scottish journal of theology*, *51*(1), 1-21.

Barrière, C. (1976). *L'art pariétal de la grotte de Gargas* (Vol. 1-2). B.A.R.

Barrière, C. (1977). A propos des mains de Gargas. *Bulletin de la Société préhistorique française*, *74*, 226-228.

Barrière, C. (1982). *L'Art Pariétal de Rouffignac. La grotte aux cent mammouths*. Picard.

Barrière, C., & Suères, M. (1993). Les mains de Gargas. *Dossiers d'Archéologie*, *178*, 46-55.

Barriquand, L., Bigot, J.-Y., Audra, P., Cailhol, D., Gauchon, C., Heresanu, V., Jaillet, S., & Vanara, N. (2021). Caves and bats: Morphological impacts and archaeological implications. The Azé Prehistoric Cave (Saône-et-Loire, France). *Geomorphology*, *388*, 1-12. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107785

Basedow, H. (1925). *The Australian Aboriginal*. FW Preece.

Bednarik, R. G. (2008). Children as pleistocene artists. *Rock Art*, *25*(2), 173-182.

Bégouën, R., Clottes, J., Feruglio, V., & Pastoors, A. (2014). *La Caverne des Trois-Frères, Anthologie d'un exceptionnel sanctuaire préhistorique*. Somogy.

Bégouën, R., Fritz, C., Tosello, G., Clottes, J., Pastoors, A., Faist, F., Bourges, F., Fosse, P., Lacombe, S., & Langlais, M. (2009). *Le sanctuaire secret des Bisons*. Somogy.

Beltrán, A., & Baldellou, V. (1981). Avance al estudio de las cuevas pintadas del barranco de Villacantal. *Altamira Symposium*, 131-139.

Beltrán Martínez, A. (1993). *Arte Prehistórico en Aragón*. CAI.

Beraldin, J. A., Picard, M., Bandiera, A., Valzano, V., & Negro, F. (2011). Best practices for the 3D documentation of the Grotta dei Cervi of Porto Badisco, Italy. In J. A. Beraldin, G. S. Cheok, M. B. McCarthy, U. Neuschaefer-Rube, A. M. Baskurt, I. E. McDowall, & M. Dolinsky (Éds.), *Proceedings of SPIE: The International Society for Optical Engineering: Three-Dimensional Imaging, Interaction, and Measurement* (Vol. 7863, p. 78640J). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.871211

Bernaldo de Quirós, F., Maillo-Fernández, J.-M., Castaños, P., & Neira, A. (2015). The Gravettian of El Castillo revisited (Cantabria, Spain). *Quaternary International*, *359-360*, 462-478. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.07.060

Bernaldo de Quirós, F., Maíllo-Fernández, J.-M., & Neira, A. (2010). La Cueva del Castillo: perspectivas desde el siglo XXI. In X. Mangado Llach (Éd.), *El Paleolítico superior peninsular. Novedades del siglo XXI* (Vol. 1, p. 292-310). Monografíes del SERP.

Berthoz, A. (2005). Espace perçu, espace vécu, espace conçu. In A. Berthoz & R. Recht (Éds.), *Les Espaces de l'homme* (p. 125-160). Odile Jacob.

Bharne, V., & Krusche, K. (2014). *Rediscovering the Hindu temple: the sacred architecture and urbanism of India*. Cambridge Scholars Publishing.

Bibikov, S. N. (1975). Un Orchestre à l'âge de la pierre: quand le mammouth fournissait les premiers instruments de musique. *Courrier de l'UNESCO*, *28*, 28-31.

Binford, L. R. (1980). Willow Smoke and Dogs' Tails: Hunter-Gatherer Settlement Systems and Archaeological Site Formation. *American Antiquity*, *45*(1), 4-20. https://doi.org/10.2307/279653

Binford, L. R. (1982). The archaeology of place. *Journal of anthropological archaeology*, *1*(1), 5-31.

Boche, É., Jaillet, S., Sadier, B., Cretin, C., Ployon, E., Robert, E., Delannoy, J.-J., & Geneste, J.-M. (2014). De l'art pariétal à ses contextes : bilan des applications pour l'enregistrement, l'intégration et l'analyse des informations spatiales. In P. Paillet (Éd.), *Les arts de la Préhistoire : micro-analyses, mises en contextes et conservation Actes du colloque « Micro-analyses et datations de l'art préhistorique dans son contexte archéologique », MADAPCA, Paris, 16-18 novembre 2011* (p. 145-152). Paleo.

Boche, É., Monney, J., Ployon, E., Sadier, B., Delannoy, J.-J., Geneste, J.-M., & Jaillet, S. (2012). Le SIG comme outil fédérateur de la recherche interdisciplinaire. Application à la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Vallon-Pont-d'Arc, Ardèche, France). *Archeologie e Calcolatoria*, *Supplemento 3*, 97-112.

Bohigas Roldán, R., & Sarabia Rogina, P. (1988). Dernières découvertes d'art paléolithique dans la région cantabrique : La Fuente del Salín à Muñorrodero. *L'Anthropologie*, *92*(1), 133-136.

Bohigas Roldán, R., Sarabia Rogina, P., Brígido Gabiola, B., & Ibáñez Mier, L. (1985). Informe sobre el santuario rupestre paleolítico de la Fuente del Salín (Muñorrodero, Val de San Vicente, Cantabria). *Boletín Cántabro de Espeleología*, *6*, 81-98.

Bosinski, G., & Schiller, P. (1998). Représentations féminines dans la Grotte du Planchard (Vallon Pont d'Arc, Ardèche) et les figures féminines du type Gönnersdorf dans l'art pariétal. *Bulletin de la Société Préhistorique de l'Ariège*, *53*, 99-140.

Bourdier, C., Fuentes, O., & Pinçon, G. (2015). Contribution of 3D technologies to the analysis of form in late palaeolithic rock carvings: The case of the Roc-aux-Sorciers rock-shelter (Angles-sur-l'Anglin, France). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, *2*(2-3), 140-154. https://doi.org/10.1016/J.DAACH.2015.05.001

Bourdier, C., Fuentes, O., Pinçon, G., & Baleux, F. (2017). Methodological contribution to the integrated study of European Palaeolithic rock art: The issue of the audience and the perceptibility of Roc-aux-Sorciers rock art (Angles-sur-l'Anglin, France). *Quaternary International*, *430*, 114-129. https://doi.org/10.1016/J.QUAINT.2016.12.009

Bradley, R. (1991). Rock Art and the Perception of Landscape. *Cambridge Archaeological Journal*, *1*(1), 77-101. https://doi.org/10.1017/S0959774300000263

Bradley, R. (1995). Making sense of prehistoric rock art. *British archaeology (York)*, *9*(9), 8-9.

Breuil, H. (1952). *Quatre cents siècles d'art pariétal: les cavernes ornées de l'âge du renne*. Centre d'études et de documentation préhistoriques.

Breuil, H., & Cheynier, A. (1958). *Les fouilles de Breuil et Cartailhac dans la grotte de Gargas en 1911 et 1913*. Edouard Privat.

Breuil, H., & Lantier, R. (1950). *The men of the old stone age*. Harrap.

Breuil, H., & Obermaier, H. (1912). *Les premiers travaux de l'Institut de Paléontologie Humaine*. Masson et Cie.

Breuil, H., & Obermaier, H. (1935). *The Cave of Altamira at Santillana del Mar, Spain*. Tipografía de Archivos.

Brouwer Burg, M. (2017). It must be right, GIS told me so! Questioning the infallibility of GIS as a methodological tool. *Journal of Archaeological Science*, *84*, 115-120. https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.05.010

Bruxelles, L., Jarry, M., Bigot, J.-Y., Bon, F., Cailhol, D., Dandurand, G., & Pallier, C. (2016). La biocorrosion, un nouveau paramètre à prendre en compte pour interpréter la répartition des œuvres pariétales: l'exemple de la grotte du Mas d'Azil en Ariège. *Karstologia*, *68*, 21-30.

Brůžek, J., Lázničková-Galetová, M., Galeta, P., & Maestracci, J. (2013). Handprints in Parietal art: Interpretive Possibilities and Limits from the Perspective of Forensic Anthropology. *Palethnologie*, *5*. https://doi.org/10.4000/palethnologie.4625

Buisson, D. (1990). Les flûtes paléolithiques d'Isturitz (Pyrénées-Atlantiques). *Bulletin de la Société préhistorique française*, 420-433.

Cabrera Valdés, V. (1984). *El yacimiento de La Cueva de « El Castillo » (Puente Viesgo, Santander)*. Consejo superior de Investigaciones científicas.

Cabrera Valdés, V., Bernaldo de Quirós, F., Maillo Fernández, J. M., Pike-Tay, A., & Garralda, M. D. (2005). Excavaciones en El Castillo: Veinte años de reflexiones. In J. A. Lasheras Corruchaga & R. Montes Barquín (Éds.), *Neandertales cantábricos. Estado de la cuestión. Monografías Museo de Altamira* (Vol. 20, p. 505-526). Museo Nacional y Centro de Investigación de Altamira.

Cabrera Valdés, V., Bernaldo de Quirós, F., Maillo Fernández, J. M., Valladas, H., & Lloret Martínez de la Riva, M. (2002). El Auriñaciense arcaico en El Castillo (Cantabria) : descripción tecnológica y objetivos de la producción. *Espacio Tiempo y Forma. Serie I, Prehistoria y Arqueología*, *15*, 67-86. https://doi.org/10.5944/etfi.15.2002.4738

Cabrera Valdés, V., & Ceballos Del Moral, J. M. (2005). La cueva del Castillo. In J. A. Lasheras Corruchaga & J. G. Echegaray (Éds.), *El significado del arte paleolítico* (p. 63-75). Ministerio de Cultura.

Cabrera Valdés, V., Maillo-Fernández, J.-M., Lloret, M., & Bernaldo de Quirós, F. (2001). La transition vers le Paléolithique supérieur dans la grotte du Castillo (Cantabrie, Espagne) : La couche 18. *L'Anthropologie*, *105*(4), 505-532. https://doi.org/10.1016/S0003-5521(01)80050-9

Cabrera Valdés, V., Pike-Tay, A., & Bernaldo de Quirós, F. (2004). Trends in Middle Paleolithic settlement in Cantabrian Spain: The Late Mousterian at Castillo Cave. *Settlement Dynamics of the Middle Palaeolithic and Middle Stone Age*, *2*, 437-460.

Cailhol, D., Bon, F., Bigot, J.-Y., Bruxelles, L., Gregory, D., Jarry, M., Pallier, C., & Vanara, N. (2021). *Influences de la corrosion de condensation et de la corrosion biogénique sur les parois et les dépôts de grotte, l'exemple de la grotte du Mas d'Azil (Ariège, France)*. *71*, 7-28.

Cameron, A., & van den Brand, T. (2024). geomtextpath: Curved Text in “ggplot2”. In *https://CRAN.R-project.org/package=geomtextpath*.

Capitan, L., & Breuil, H. (1915). Nouvelles grottes ornées de la Valle de la Beune. *L´Anthropologie*, *1*, 505-518.

Carden, N., & Blanco, R. (2016). Measurements and Replications of Hand Stencils: a Methodological Approach for the Estimation of the Individuals’ Age and Sex. In *Paleoart and Materiality* (p. 129-146). Archaeopress Publishing Ltd. https://doi.org/10.2307/j.ctvxrq0ks.12

Carlson, M. (2018). *Performance: A critical introduction* (3rd éd.). Routledge.

Cartailhac, E., & Breuil, H. (1906). *Peintures et gravures murales des cavernes paléolithiques. La Caverne d’Altamira à Santillane près de Santander*. Imprimerie de Monaco.

Cassen, S., Lescop, L., Grimaud, V., & Robin, G. (2014). Complementarity of acquisition techniques for the documentation of Neolithic engravings: lasergrammetric and photographic recording in Gavrinis passage tomb (Brittany, France). *Journal of Archaeological Science*, *45*(1), 126-140. https://doi.org/10.1016/J.JAS.2014.02.019

Casteret, N. (1930). Les Mains-fantômes de Gargas. *Revue de Comminges*, *44*, 110-116.

Chalmin, E., Menu, M., & Altuna, J. (2002). Les matières picturales de la grotte d’Ekain (Pays Basque). *Munibe*, *54*, 35-51.

Chauvet, J.-M., Brunel Deschamps, E., & Hillaire, C. (1995). *La grotte Chauvet à Vallon Pont d’Arc*. Seuil.

Chazine, J.-M., & Noury, A. (2006). Sexual determination of hand stencils on the main panel of the Gua Masri II cave (east-Kalimantan/Borneo - Indonesia). In *International Newsletter On Rock Art* (Vol. 44, p. 21-26).

Clark, G. A., Michael Barton, C., & Straus, L. G. (2019). Landscapes, climate change & forager mobility in the Upper Paleolithic of northern Spain. *Quaternary International*, *515*, 176-187. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.04.037

Clot, A., Menu, M., & Walter, P. (1995). Manière de peindre des mains à Gargas et à Tibiran (Hautes-Pyrénées). *L’Anthropologie*, *2/3*, 221-235.

Clottes, J. (1993). Contexte archéologique interne. In N. Aujoulat, C. Barrière, R. Bégouën, J.-M. Bouvier, J. Clottes, M. Crémadès, M. Dauvois, V. Féruglio, J. Gaussen, M.

Lorblanchet, Y. Martin, F. Rouzaud, D. Sacchi, & G. Sauvet (Éds.), *L'art pariétal paléolithique. Techniques et méthodes d'étude. Textes réunis par le GRAPP* (p. 49-58). Comité des travaux historiques et scientifiques (CTHS).

Clottes, J. (1997). Art of the light and art of the depths. *Beyond art: Pleistocene image and symbol*, *23*, 203-216.

Clottes, J. (2008). *L'art des cavernes*. Phaidon.

Clottes, J. (2010). *Les cavernes de Niaux. Art préhistorique en Ariège-Pyrénées*. Errance.

Clottes, J. (2011). *Pourquoi l'art préhistorique ?* Gallimard.

Clottes, J., Aujoulat, N., Baffier, D., Debard, E., Delannoy, J.-J., Ferrier, C., Feruglio, V., Fritz, C., Fosse, P., & Garcia, M.-A. (2001). *La Grotte Chauvet, l'art des origines*. Éditions du Seuil.

Clottes, J., Beltrán, A., Courtin, J., & Cosquer, H. (1992a). La Grotte Cosquer (Cap Morgiou, Marseille). *Bulletin de la Société préhistorique française*, *89*(4), 98-128. https://doi.org/10.3406/bspf.1992.10536

Clottes, J., & Courtin, J. (1994). *La grotte Cosquer. Peintures et Gravures de la Caverne Engloutie*. Seuil.

Clottes, J., Courtin, J., & Valladas, H. (1995). Nouvelles dates directes pour la grotte Cosquer. *INORA: International Newsletter on Rock Art*, *15*, 2-4.

Clottes, J., Courtin, J., Valladas, H., Cachier, H., Mercier, N., & Arnold, M. (1992b). La grotte Cosquer datée. *Bulletin de la Société préhistorique française*, *89*(8), 230-234. https://doi.org/10.3406/bspf.1992.9527

Clottes, J., Courtin, J., & Vanrell, L. (2005). *Cosquer redécouvert*. Seuil.

Clottes, J., Garner, M., & Maury, G. (1994). Bisons magdaléniens des cavernes ariégeoises. *Bulletin de la Société préhistorique de l'Ariège*, *49*, 15-49.

Clottes, J., & Lewis-Williams, D. (1996). *Les chamanes de la préhistoire : transe et magie dans les grottes ornées*. Seuil.

Clottes, J., Menu, M., & Walter, P. (1990). La préparation des peintures magdaléniennes des cavernes ariégeoises. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 170-192.

Clottes, J., Valladas, H., Cachier, H., & Arnold, M. (1992c). Des dates pour Niaux et Gargas. *Bulletin de la Société préhistorique française*, *89*(9), 270-274. https://doi.org/10.3406/bspf.1992.9532

Coelho, R. G. (1955). *The Black Carib of Honduras, a Study in Acculturation*. Northwestern University.

Collado Giraldo, H. (2012). Análisis de las representaciones paleolíticas de la Cueva de Maltravieso a partir de su distribución topográfica. In J. Clottes (Éd.), *L'art pléistocène dans le monde. Actes du Congrès IFRAO, Tarascon-sur- Ariège, septembre 2010: Symposium Signes, symboles, mythes et idéologie…* (p. 1883-1897). Société préhistorique Ariège-Pyrénées.

Collado Giraldo, H. (2018). *Handpas. Manos del pasado; Catálogo de representaciones de manos en el arte rupestre paleolítico de la península ibérica*. J. Extremadura.

Collado Giraldo, H., Bea, M., Ramos-Muñoz, J., Cantalejo, P., Dominguez-Bella, S., Bello, J. R., Angás, J., Miranda, J., Gracia Prieto, F. J., Fernández-Sánchez, D., Aranda, A., Luque, A., García Arranz, J. J., & Aguilar, J. C. (2019). Un nuevo grupo de manos paleolíticas pintadas en el sur de la Península Ibérica. La cueva de Las Estrellas (Castellar de la Frontera, Cádiz). *Zephyrvs*, *83*(0), 15. https://doi.org/10.14201/zephyrus2019831538

Collado Giraldo, H., Fernández-Sánchez, D., Ramos Muñoz, J., Vila, E., Luque, A., Domínguez-Bella, S., Duarte, J., Caballero, M., Bea, M., Angás, J., García Arranz, J., Carrascal, J., Mira, H., & Escalona, S. (2020). Nuevos motivos de manos paleolíticas en la Cueva de las Palomas IV de Facinas (Tarifa, Cádiz). *Almoraima. Revista de Estudios Campogibraltareños*, *52*, 131-141.

Collado Giraldo, H., & García Arranz, J. J. (Éds.). (2022). *Arte rupestre paleolítico en la cueva de Maltravieso (Cáceres, España). Vol. I*. Junta de Extremadura.

Collectif. (1984). *L'Art des Cavernes : Atlas des grottes ornées paléolithiques françaises*. Imprimerie Nationale.

Conard, N. J., Malina, M., & Münzel, S. C. (2009). New flutes document the earliest musical tradition in southwestern Germany. *Nature*, *460*(7256), 737-740. https://doi.org/10.1038/nature08169

Conkey, M. (1997). Beyond Art and Between the Caves. In M. Conkey, O. Soffer, D. Stratmann, & N. G. Jablonski (Éds.), *Beyond Art : Pleistocene Image and Symbol* (p. 343-367). California Academy of Sciences.

Conkey, M. W. (1980). The Identification of Prehistoric Hunter-Gatherer Aggregation Sites: The Case of Altamira. *Current Anthropology*, *21*(5), 609-630.

Conkey, M. W. (1984). To find ourselves: Art and social geography of prehistoric hunter gatherers. In M. Shire (Éd.), *Past and present in hunter gatherer studies* (p. 253-276). Routledge.

Corchón Rodríguez, M. S., Garate, D., González-Aguilera, D., Muñoz Nieto, Á. L., Gómez-Lahoz, J., & Sabas Herrero, J. (2011). Nouveaux regards sur la Grotte de La Peña (San Román de Candamo, Asturies, Espagne). *L'Anthropologie*, *115*(3-4), 384-424. https://doi.org/10.1016/j.anthro.2011.05.006

Corchón Rodríguez, M. S., Garate, D., Valladas, H., Pons-Branchu, E., Rivero, O., Hernando Álvarez, C., & Ortega Martínez, P. (2013). La cueva de La Peña (San Román, Candamo). Estudio integral del arte parietal paleolítico (2009-2012). *Excavaciones arqueológicas en Asturias 2007-2012*, 15-26.

Corchón Rodriguez, S. (1986). *El arte mueble paleolítico cantábrico: contexto y análisis interno* (Vol. 16). Centro de Investigación y Museo de Altamira, Monografías.

Cortón Noya, N., López García, Á. L., & Carrera Ramírez, F. (2015). Combining photogrammetry and photographic enhancement techniques for the recording of megalithic art in north-west Iberia. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, *2*(2-3), 89-101. https://doi.org/10.1016/J.DAACH.2015.02.004

Cox, S. L., Ruff, C. B., Maier, R. M., & Mathieson, I. (2019). Genetic contributions to variation in human stature in prehistoric Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(43), 21484-21492.

Crémades, M., & Bonissent, D. (1993). La représentation des variations saisonnières dans l'art pariétal paléolithique. Application au groupe des Cervidés et limites de la méthode. *Paleo*, *5*, 319-331.

Cuenca Solana, D. (2013). *Utilización de instrumentos de concha para la realización de actividades productivas en las formaciones económico-sociales de cazadores-*

recolectores-pescadores y primeras sociedades tribales de la fachada atlántica europea. Universidad de Cantabria. https://doi.org/https://doi.org/10.14201/zephyrus20137295111

Cuenca Solana, D., Gutiérrez Zugasti, I., Ruiz Redondo, A., Gonzalez Morales, M. R., Setién, J., Ruiz Martinez, E., Palacio Pérez, E., de Las Heras Martin, C., Prada Freixedo, A., & Lasheras Corruchaga, J. A. (2016). Painting Altamira Cave? Shell tools for ochre-processing in the Upper Palaeolithic in northern Iberia. *Journal of Archaeological Science*, *74*, 135-151.

Dauvois, M. (1994). Les témoins sonores paléolithiques extérieur et souterrain. In M. Otte (Éd.), *Sons originels - Préhistoire de la Musique. Etudes et recherches archéologiques. Actes du colloque de musicologie. Décembre 1992* (Vol. 61, p. 11-35). ERAUL.

Dauvois, M. (1996). Les lithophones naturels des grottes ornées paléolithiques. In J.-P. Mohen (Éd.), *La vie préhistorique* (Vol. 24, p. 412-415). Faton.

Dauvois, M. (2005). Homo musicus palaeolithicus et palaeoacustica. *Munibe*, *57*, 225-241.

de Balbín Behrmann, R., & González, J. J. A. (2009). Les colorants de l'art paléolithique dans les grottes et en plein air. *L'Anthropologie*, *113*(3-4), 559-601.

de Balbín Behrmann, R., González, J. J. A., Pereda, M. Á. G., & Romanillo, A. M. (2002). Recherches dans le massif d'Ardines: nouvelles galeries ornées de la grotte de Tito Bustillo. *L'Anthropologie*, *106*(4), 565-602.

De Balbin-Behrmann, R. (1989). L'art de la grotte de Tito Bustillo (Ribadesella, Espagne). Une vision de synthèse. *L'Anthropologie*, *93*, 435-462.

de Beaune, S. (1987a). Données expérimentales. In S. de Beaune (Éd.), *Lampes et godets au Paléolithique* (Vol. 1, Numéro 1, p. 101-131). Editions du CNRS.

de Beaune, S. (1987b). *Lampes et godets au Paléolithique* (Vol. 1, Numéro 1). Editions du CNRS.

de Beaune, S. (1989). Essai d'une classification typologique des galets et plaquettes utilisés au Paléolithique. *Gallia préhistoire*, *31*(1), 27-64.

de Beaune, S. (1995). *Les Hommes au temps de Lascaux. 40 000-10 000 avant J.-C.* Hachette.

de Beaune, S. (2000). Les techniques d'éclairage paléolithiques: un bilan/Paleolithic lighting technics: an overview. *Paleo*, *12*(1), 19-27.

de Beaune, S. A. (2002). A pigment-processing slab from La Crozo de Gentillo (or La Grotte de Combe-Cullier, Commune de Lacave (Lot). *Bulletin of Primitive Technology*, *25*, 62-64.

De la Peña Alonso, P. (2012). A propósito del Gravetiense…El paso de cultura a tecnocomplejo: un caso ejemplar de pervivencia particularista. *Complutum*, *23*(1). https://doi.org/10.5209/rev_CMPL.2012.v23.n1.39530

Defrasne, C. (2014). Digital image enhancement for recording rupestrian engravings: applications to an alpine rockshelter. *Journal of Archaeological Science*, *50*, 31-38. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.06.010

Delannoy, J.-J., Geneste, J.-M., David, B., Katherine, M., & Gunn, R. G. (2012). Apports de la géomorphologie dans l'aménagement et la construction sociale de sites préhistoriques. Exemples de la grotte Chauvet-Pont-d'Arc (France) et de Nawarla Gabarnmang (Australie). *Paleo*, *23*, 85-104.

Delannoy, J.-J., Sadier, B., Jaillet, S., Ployon, E., & Geneste, J.-M. (2010). Reconstitution de l'entrée préhistorique de la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche, France): les apports de l'analyse géomorphologique et de la modélisation 3D. *Karstologia*, *56*. https://doi.org/10.3406/karst.2010.2679

Delluc, B., & Delluc, G. (1973). Quelques figurations paléolithiques inédites des environs des Eyzies (Dordogne) : Grottes Archambeau, du Roc et de La Mouthe. *Gallia préhistoire*, *16*(1), 201-209. https://doi.org/10.3406/galip.1973.1444

Delluc, B., & Delluc, G. (1979a). L'accès aux parois. In A. Leroi-Gourhan & J. Allain (Éds.), *Lascaux Inconnu* (p. 175-184). Editions du CNRS.

Delluc, B., & Delluc, G. (1979b). L'éclairage. In A. Leroi-Gourhan & J. Allain (Éds.), *Lascaux Inconnu* (p. 121-142). Editions du CNRS.

Delluc, B., & Delluc, G. (1991). *L'art pariétal archaïque en Aquitaine*. Editions du CNRS.

Delluc, B., Delluc, G., & Galinat, B. (1983). La Croze à Gontran, grotte ornée aux Eyzies-de Tayac (Dordogne). *Ars Praehistorica*, *2*, 13-48.

Delluc, G. (2006). *Le Sexe au Temps des Cro-Magnons*. Pilote 24.

Dell'Unto, N., & Landeschi, G. (2022). *Archaeological 3D GIS*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003034131

Dell'Unto, N., Landeschi, G., Leander Touati, A.-M., Dellepiane, M., Callieri, M., & Ferdani, D. (2016). Experiencing ancient buildings from a 3D GIS perspective: a case drawn from the Swedish Pompeii Project. *Journal of Archaeological Method and Theory*, *23*, 73-94.

Delvigne, V., Lafarge, A., Fernandes, P., Pesesse, D., Angevin, R., Bindon, P., Langlais, M., Piboule, M., Queffelec, A., & Tuffery, C. (2021). Quels territoires en préhistoire? Une analyse par réseaux de lieux pour penser l'espace au Paléolithique supérieur. *Bulletin de la Société préhistorique française*, *118*(S), 27-69.

d'Errico, F., Baker, J., Pereira, D., Álvarez-Fernández, E., Lázničková-Galetová, M., & Rigaud, S. (2025). Multivariate analyses of Aurignacian and Gravettian personal ornaments support cultural continuity in the Early Upper Palaeolithic. *PLOS One*, *20*(6), e0323148. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323148

d'Errico, F., Dayet Bouillot, L., García-Diez, M., Pitarch Martí, A., Garrido Pimentel, D., & Zilhão, J. (2016). The technology of the earliest European cave paintings: El Castillo Cave, Spain. *Journal of Archaeological Science*, *70*(January), 48-65. https://doi.org/10.1016/j.jas.2016.03.007

Díaz-Andreu, M., Atiénzar, G. G., Benito, C. G., & Mattioli, T. (2017). Do You Hear What I See? Analyzing Visibility and Audibility in the Rock Art Landscape of the Alicante Mountains of Spain. *Journal of Anthropological Research*, *73*(2), 181-213. https://doi.org/10.1086/692103

Diaz-Andreu, M., & Mattioli, T. (2018). Rock Art, music and acoustics: a global overview. In *The Oxford Handbook of the Archaeology and Anthropology of Rock Art*. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190607357.013.8

Díaz-González, L. M., & Garate, D. (2025). Revisiting palaeolithic rock art. Reading the graphic overlapping in terms of reuse behaviours in the Frieze of the Hands from the El Castillo cave (Cantabria, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, *62*, 105048. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2025.105048

Djindjian, F. (2003). L'Art paléolithique dans son système culturel. II. De la variabilité des bestiaires représentés dans l'art pariétal et mobilier paléolithique. In M. Otte (Éd.), *La Spiritualité, Actes du colloque de la commission 8 de l'U.I.S.P.P., 10-12 décembre 2003, Liège* (Vol. 106, p. 127-152). ERAUL.

Djindjian, F. (2009). Le concept de territoires pour les chasseurs cueilleurs du Paléolithique supérieur européen. In F. Djindjian, J. Kozlowski, & N. Bicho (Éds.), *Le concept de territoires dans le Paléolithique supérieur européen. Actes du XVe Congrès mondial (Lisbonne, 4–9 septembre 2006)* (Vol. 1938, p. 3-25). BAR International Series.

Djindjian, F. (2015). Analyse spatiale des associations d'espèces animales dans l'art pariétal franco-cantabrique : une révision des modèles de M. Raphaël, A. Laming-Emperaire et A. Leroi-Gourhan. In H. Collado Giraldo & J. J. García Arranz (Éds.), *Proceedings of the XIX International Rock Art Conference IFRAO: Symbols in the Landscape: Rock Art and its Context* (p. 1499-1515). Arkeos.

Domingo, I., Smith, C., Jackson, G., & Roman, D. (2020). Hidden Sites, Hidden Images, Hidden Meanings: Does the Location and Visibility of Motifsand Sites Correlate to Restricted or Open Access? *Journal of Archaeological Method and Theory*, *27*(3), 699-722. https://doi.org/10.1007/s10816-020-09465-8

Domingo, I., Villaverde, V., López-Montalvo, E., Lerma, J. L., & Cabrelles, M. (2013). Latest developments in rock art recording: towards an integral documentation of Levantine rock art sites combining 2D and 3D recording techniques. *Journal of Archaeological Science*, *40*(4), 1879-1889.

Drennan, M. R. (1937). Finger mutilations in the Bushman. *Bantu Studies*, *11*(1), 247-249. https://doi.org/10.1080/02561751.1937.9676052

Dubourg, C. (1994). Les expressions de la saisonnalité dans les arts paléolithiques: les arts sur support lithique du Bassin d'Aquitaine. *Bulletin de la Société préhistorique de l'Ariège*, *49*, 145-189.

Etxepare, R., & Irurtzun, A. (2021). Gravettian hand stencils as sign language formatives. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *376*(1824). https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0205

Fage, L.-H. (2010). L'art rupestre de Bornéo. Présentation et nouvelles observations sur quelques mains peu communes. *Préhistoire, Art et Sociétés: Bulletin de la Société Préhistorique de l'Ariège*, *65*, 164-165.

Fages, G., & Mourer-Chauviré, C. (1983). La flûte en os d'oiseau de la grotte sépulcrale de Veyreau (Aveyron) et inventaire des flûtes préhistoriques d'Europe. In F. Poplin (Éd.), *La*

faune et l'homme préhistorique. Dix études en hommage à Jean Bouchud (Vol. 16, p. 95-103). Société Préhistorique Française.

Fazenda, B., Scarre, C., Till, R., Pasalodos, R. J., Guerra, M. R., Tejedor, C., Peredo, R. O., Watson, A., Wyatt, S., Benito, C. G., Drinkall, H., & Foulds, F. (2017). Cave acoustics in prehistory: Exploring the association of Palaeolithic visual motifs and acoustic response. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *142*(3), 1332-1349. https://doi.org/10.1121/1.4998721

Féblot-Augustins, J. (1999). La mobilité des groupes paléolithiques. *Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris*, *11*(3), 219-260. https://doi.org/10.3406/bmsap.1999.2551

Fernández-Lombera, J. A. (2003). Proporción y Autoría Arte Mueble Paleolítico. Figuras de los Omóplatos de « El Castillo » (Puente Viesgo, Cantabria, España). In *Munibe*. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

Fernández-Navarro, V., Camarós, E., & Garate, D. (2022). Visualizing childhood in Upper Palaeolithic societies: Experimental and archaeological approach to artists' age estimation through cave art hand stencils. *Journal of Archaeological Science*, *140*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.jas.2022.105574

Fernández-Navarro, V., Fidalgo Casares, D., García Martínez, D., & Garate, D. (2025a). Decoding Palaeolithic Hand Stencils: Age and Sex Identification Through Geometric Morphometrics. *Journal of Archaeological Method and Theory*, *32*(1), 24. https://doi.org/10.1007/s10816-025-09693-w

Fernández-Navarro, V., & Garate Maidagan, D. (2021). ¿Quién pinta aquí? Aproximación a la paleodemografía de los artistas del Paleolítico Superior. In *Monografías Arqueológicas. De la mano de la Prehistoria. Homenaje a Pilar Utrilla Miranda* (Vol. 57, p. 199-222). Prensas de la Universidad de Zaragoza.

Fernández-Navarro, V., Godinho, R. M., Martínez, D., & Garate, D. (2024). Exploring the utility of Geometric Morphometrics to analyse prehistoric hand stencils. *Scientific Reports*, *14*. https://doi.org/10.1038/s41598-024-56889-3

Fernández-Navarro, V., Spaey, O., & Torres Riesgo, A. (2025b). Tekné or Telos? Chaîne opératoire of Upper Palaeolithic blown hand représentations. In C. Mathias, C. Viallet, &

L. Bourguignon (Éds.), *Living Archaeology: Unveiling the Past through Experimental Archaeology. Proceedings of the 6th CONEXP*. Sidestone Press.

Feruglio, V. (2006). De la faune au bestiaire – La grotte Chauvet–Pont-d'Arc, aux origines de l'art pariétal paléolithique. *Comptes Rendus Palevol*, *5*(1-2), 213-222. https://doi.org/10.1016/J.CRPV.2005.09.003

Feruglio, V., Aujoulat, N., & Jaubert, J. (2011). L'art pariétal gravettien, ce qu'il révèle de la société en complément de la culture matérielle. In N. Goutas, L. Klaric, D. Pesesse, & P. Guillermin (Éds.), *À la recherche des identités gravettiennes : actualités, questionnements et perspectives. Actes de la table ronde d'Aix-en-Provence, 6-8 octobre 2008* (p. 243-255).

Feruglio, V., Dutailly, B., Ballade, M., Bourdier, C., Ferrier, C., Konik, S., Lacanette, D., Mora, P., Vergnieux, R., & Jaubert, J. (2013). Un outil de relevés 3D partagé en ligne: premières applications pour l'art et la taphonomie des parois ornées de la grotte de Cussac (ArTaPOC/programme LaScArBx). In R. Vergnieux & C. Delevoie (Éds.), *Virtual retrospect* (Vol. 6, p. 49-54). Ausonius.

Feruglio, V., Jaubert, J., & Lorblanchet, M. (2007). Deux sanctuaires ornés en Quercy : le réseau de Combe Nègre à Frayssinet-le-Gélat (Lot). In R. Desbrosses & A. Thevenin (Éds.), *Arts et cultures de la préhistoire, Hommage à Henri Delporte, Documents préhistoriques* (Vol. 24, p. 71-82). CTHS.

Fitzhugh, B., Phillips, S. C., & Gjesfjeld, E. (2011). Modelling hunter-gatherer information networks: an archaeological case study from the Kuril islands. In R. Whallon, W. Lovis, & R. Hitchcock (Éds.), *The Role of Information in Hunter-Gatherer Band Adaptations* (p. 85-111). University of California.

Flood, J. (1987). Rock art of the Koolburra plateau. *Rock Art Research*, *4*(2), 91-126.

Fortea Pérez, J. (1994). Los santuarios exteriores en el Paleolítico cantábrico. *Complutum*, *5*, 203-220.

Fortea Pérez, J. (2005). La plus ancienne production artistique du Paléolithique ibérique. *Actas del Simposio Pitture paleolitiche nelle Prealpi venete: Grotta di Fumane e Riparo Dalmieri*, 89-99.

Foucher, P. (1991). Art et Espace pariétal au Paléolithique supérieur. In J. Cuisenier (Éd.), *Matière et Figure* (p. 85-96). La Documentation française.

Foucher, P. (2006). Gargas et l'Atlantique: les relations transpyrénéennes au cours du Gravettien. *Munibe*, *57*(2), 131-147.

Foucher, P. (2012). Synthèse chrono-culturelle sur le Gravettien des Pyrénées: constat et réflexions sur la stabilité régionale des traditions techniques. In C. de las Heras, J. A. Lasheras, Á. Arrizabalaga, & M. de la Rasilla (Éds.), *Pensando el Gravetiense: nuevos datos para la región cantábrica en su contexto peninsular y pirenaico* (Vol. 23, p. 142-159). Museo Nacional y Centro de Investigación de Altamira.

Foucher, P., Foucher, C., Ferrier, C., Couchoud, I., & Vercoutère, C. (2006). La grotte de Gargas (Aventignan, Hautes-Pyrénées) : nouvelles perspectives de recherche et premiers résultats sur les occupations gravettiennes. In J. Jaubert, J.-G. Bordes, & I. Ortega (Éds.), *Les sociétés paléolithiques d'un grand Sud-Ouest : nouveaux gisements, nouvelles méthodes, nouveaux résultats* (p. 301-324). Société préhistorique française.

Foucher, P., Foucher, C., & Rumeau, Y. (2007). *La grotte de Gargas. Un siècle de découvertes*. Communauté de communes du canton de Saint-Laurent de Neste.

Foucher, P., San Juan Foucher, C., Vercoutere, C., Ferrier, C., Seronie-Vivien, M.-R., de la Peña, P., Fernandes, P., Servelle, C., & Colonge, D. (2016). Raw material procurement and use at Gargas Cave (Hautes-Pyrénées, France): a Pyrenean-foothill economy during the Gravettian period. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, *67*, 253-268. https://doi.org/10.21630/maa.2016.67.mis10

Foucher, P., San Juan-Foucher, C., Henry-Gambier, D., Vercoutère, C., & Ferrier, C. (2012). Découverte de la mandibule d'un jeune enfant dans un niveau gravettien de la grotte de Gargas (Hautes-Pyrénées, France). *Paleo*, *23*(December), 232-336.

Foucher, P., San Juan-Foucher, C., & Oberlin, C. (2008). Les niveaux d'occupation gravettiens de Gargas (Hautes-Pyrénées): Nouvelles données chronostratigraphiques. In N. Goutas, L. Klaric, D. Pesesse, & P. Guillermin (Éds.), *À la recherche des identités gravettiennes : actualités, questionnements et perspectives* (p. 373-385). Société préhistorique française.

Franklin, K. J. (1972). A ritual pandanus language of New Guinea. *Oceania*, *43*(1), 66-76.

Franklin, K. J., & Stefaniw, R. (1992). The'pandanus languages' of the Southern Highlands Province, Papua New Guinea-a further report. In *Culture change, language change: Case studies from Melanesia*. Pacific Linguistics.

Freeman, L. G., & González Echegaray, J. (2001). *La grotte d'Altamira*. La Maison des Roches.

Fritz, C. (2020). *Pour une Anthropologie de l'Art paléolithique. Gestes, techniques, images.* Université de Toulouse.

Fritz, C., Tosello, G., Azéma, M., Moreau, O., Perazio, G., & Péral, J. (2010a). Restauration virtuelle de l'art pariétal paléolithique : le cas de la grotte de Marsoulas. *In Situ*, *13*. https://doi.org/10.4000/insitu.6774

Fritz, C., Tosello, G., Perazio, G., Péral, J., & Guichard, L. (2010b). Technologie 3D et relevé d'art pariétal : une application inédite dans la grotte de Marsoulas. *In Situ*, *13*, 1-9. https://doi.org/10.4000/insitu.6745

Fuentes, O., Lepelé, J., & Pinçon, G. (2019). Transferts méthodologiques 3D appliqués à l'étude de l'art paléolithique: une nouvelle dimension pour les relevés d'art préhistorique. *In Situ*, *39*.

Galeazzi, F., Moyes, H., & Aldenderfer, M. (2014). 3D Documentation in Archaeology: Recording Las Cuevas Site, Chiquibul Reserve, Belize. In G. Earl, T. Sly, A. Chrysanthi, P. Murrieta-Flores, C. Papadopoulos, I. Romanowska, & D. Wheatley (Éds.), *Archaeology in the Digital Era Volume II: e-Papers from the 40th Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology* (p. 350-362). Amsterdam University Press.

Gamble, C. (1998). Palaeolithic society and the release from proximity: A network approach to intimate relations. *World Archaeology*, *29*(3), 426-449. https://doi.org/10.1080/00438243.1998.9980389

Garate, D. (2006). Nuevos datos en torno al inicio del arte parietal cantábrico: la aportación de un caballo inédito en el « panel de las manos » de la cueva del Castillo (Puente Viesgo, Cantabria). *Sautuola: Revista del Instituto de Prehistoria y Arqueología Sautuola*, *33*(12), 351-358.

Garate, D. (2010). *Las ciervas punteadas en las cuevas del paleolítico: una expresión pictórica propia de la cornisa Cantábrica* (Munibe). Aranzadi Zientzia Elkartea.

Garate, D. (2017). Los primeros artistas de Bizkaia. Las cuevas decoradas durante el paleolítico. In *Kobie Serie Anejos* (Vol. 15, p. 134). Diputación de Bizkaia.

Garate, D., Arriolabengoa, M., Intxaurbe, I., Salazar, S., Torres, A., Cheng, H., & Pérez-Mejías, C. (2025). Cave art resilience: An interdisciplinary proposal for monitoring the state of

conservation in Santimamiñe, Lumentxa, and Altxerri heritage sites (northern Iberian peninsula). *Archaeometry*. https://doi.org/10.1111/arcm.13072

Garate, D., Laval, É., & Menu, M. (2004). Étude de la matière colorante de la grotte d'Arenaza (Galdames, Pays Basque, Espagne). *L'Anthropologie*, *108*(2), 251-289. https://doi.org/10.1016/j.anthro.2004.06.001

Garate, D., Rivero, O., Intxaurbe Alberdi, I., & Díaz-González, L. (2021). Back to the wall: an approach to the reuse of symbolic underground spaces during the Late Upper Palaeolithic on the Bay of Biscay seaboard. *Bulletin de la Société préhistorique française*, *17*, 173-194.

Garate, D., Rivero, O., Rios-Garaizar, J., Arriolabengoa, M., Intxaurbe, I., & Salazar, S. (2020a). Redefining shared symbolic networks during the Gravettian in Western Europe: New data from the rock art findings in Aitzbitarte caves (Northern Spain). *PLoS ONE*, *15*, 1-30. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240481

Garate, D., Rivero, O., Rios-Garaizar, J., Arriolabengoa, M., Medina-Alcaide, M. Á., Ruiz-López, J. F., Intxaurbe, I., Salazar, S., & Líbano, I. (2020b). The cave of Atxurra: A new major Magdalenian rock art sanctuary in Northern Spain. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *29*, 102120. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.102120

Garate, D., Rivero, O., Rios-Garaizar, J., Intxaurbe, I., & Salazar, S. (2020c). Modelled clay animals in Aitzbitarte IV Cave: A unique Palaeolithic rock art site in the Cantabrian Region. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *31*, 102270. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102270

Garate, D., Rivero, O., Rios-Garaizar, J., & Ugarte Elkartea, F. (2018). Du nouveau à Aitzbitarte (Pays Basque): l'Alcôve des Bison sur Argile / New finds at Aitzbitarte (Basque Country): the clay Bison Alcove. *INORA: International Newsletter on Rock Art*, *80*, 8-11.

García Guinea, M. Á., & González Echegaray, J. (1966). Découverte de nouvelles représentations d'art rupestre dans la grotte d'El Castillo. *Bulletin de la Société préhistorique de l'Ariège*, *21*, 29-34.

García-Diez, M., & Garrido, D. (2012). La cronología de las manos en el arte Paleolítico. In C. de las Heras, J. A. Lasheras, Á. Arrizabalga, & M. de la Rasila (Éds.), *Pensando el Gravetiense: nuevos datos para la Región Cantábrica, en su contexto peninsular y pirenaico* (Vol. 23, p. 492-500). Museo Nacional y Centro de Investigación de Altamira.

García-Diez, M., Garrido, D., Hoffmann, D. L., Pettitt, P. B., Pike, A. W. G., & Zilhão, J. (2015). The chronology of hand stencils in European Palaeolithic rock art: Implications of new u-series results from el Castillo cave (Cantabria, Spain). *Journal of Anthropological Sciences*, *93*, 135-152. https://doi.org/10.4436/jass.93004

Gély, B. (2001). La salle du Cierge. In J. Clottes (Éd.), *La grotte Chauvet, l'art des origines* (p. 87). Seuil.

Gély, B., & Azéma, M. (2005). Approche des représentations de mammouths de la grotte Chauvet. *Bulletin de la Société préhistorique française*, *102*(1), 183-188. https://doi.org/10.3406/bspf.2005.13350

Gély, B., Boulon, J., & Soubigou, G. (Éds.). (2019). *Monuments historiques : les grottes ornées d'Ardèche*. DRAC Auvergne-Rhône-Alpes.

Gély, B., & Porte, J.-L. (1996). Les gravures paléolithiques de la grotte des Deux-Ouvertures à Saint-Martin-d'Ardèche. *Bulletin de la Société préhistorique de l'Ariège*, *51*, 81-98.

Genuite, K., Delannoy, J.-J., & Jaillet, S. (2018). Reconstitution des paléogéographies karstiques par l'approche cartographique 3D : Application au Pont d'Arc et à la Combe d'Arc (Ardèche, France). *Karstologia*, *67*, 1-10.

Genuite, K., Pinçon, G., Delannoy, J.-J., Fuentes, O., Jaillet, S., Tisnérat-Laborde, N., & Valladas, H. (2023). 3D landscape evolution reconstruction of the Magdalenian Roc-aux-Sorciers site (Vienne, France). *Journal of Archaeological Science: Reports*, *48*, 103892.

Genuite, K., Voinchet, P., Delannoy, J.-J., Bahain, J.-J., Monney, J., Arnaud, J., Bruxelles, L., Moncel, M.-H., Philippe, A., Pons-Branchu, E., Revil, A., Richard, M., & Jaillet, S. (2022). Middle and Late Pleistocene evolution of the Ardèche Valley archaeological landscapes (France). *Quaternary Science Reviews*, *297*, 107812. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107812

Gero, J. (1996). Archaeological practice and gendered encounters with field data. In R. Wright (Éd.), *Gender and archaeology* (p. 251-280). University of Pennsylvania Press.

Gibson, J. J. (1950). *The perception of the visual world.* Houghton Mifflin.

Gillings, M. (2015). Mapping invisibility: GIS approaches to the analysis of hiding and seclusion. *Journal of Archaeological Science*, *62*, 1-14. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.06.015

Gillings, M. (2017). Mapping liminality: Critical frameworks for the GIS-based modelling of visibility. *Journal of Archaeological Science*, *84*, 121-128. https://doi.org/10.1016/J.JAS.2017.05.004

Girard, M., Baffier, D., Valladas, H., & Hedges, R. (1995). Dates 14C à la Grande Grotte d'Arcy-sur-Cure (Yonne, France). *INORA: International Newsletter on Rock Art*, *12*, 1-2.

Glory, A. (1964a). La grotte de Rocadour (Lot). *Bulletin de la Société préhistorique française*, *61*(7), 166-169.

Glory, A. (1964b). L'énigme de l'art quaternaire peut-elle être résolue par la théorie du culte des Ongones? *Revue des Sciences religieuses*, *38*(4), 337-388.

Glory, A., Vaultier, M., & dos Santos, F. (1965). La grotte ornée d'Escoural (Portugal). *Bulletin de la Société préhistorique française*, *62*(1), 110-117.

González Echegaray, J. (1964). Nuevos grabados y pinturas en las cuevas del Monte del Castillo. *Zephyrus*, *15*, 27-35.

González Echegaray, J. (1972). Notas para el estudio cronológico del arte rupestre de la Cueva del Castillo. In M. Amalgro Basch & M. García Guinea (Éds.), *Santander Symposium - Actas del Symposium Internacional de Arte Prehistórico* (p. 409-422). Patronato de las Cuevas Prehistóricas de la Provincia de Santander.

González Echegaray, J., & Moure Romanillo, J. A. (1970). Figuras rupestres inéditas en la cueva del Castillo (Puente Viesgo, Santander). *Boletín del Seminario Arte y Arqueología de Valladolid*, *36*, 441-446.

González García, R. (1987). Organisation, distribution and typology of the cave art of Monte del Castillo, Spain. *Rock Art Research*, *4*, 127-136.

González García, R. (1990). Notas sobre la organización y ubicación del arte paleolítico en las cuevas del monte del Castillo (Puente Viesgo). *Zephyrus*, *43*, 53-60.

González García, R. (2001). *Art et espace dans les grottes paléolithiques cantabriques*. Jérôme Millon.

González Morales, M. R. (2016). *Memoria preliminar de la actuación arqueológica en la cueva de Fuente del Salín (Muñorrodero, Cantabria). Campaña de 2016.*

González Morales, M. R. (2022). Fuente del Salín. El arte en la vida cotidiana. In T. Luzuén Fernández & M. Cruz Berrocal (Éds.), *Ventanas a la prehistoria* (p. 52-55). Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria.

González Morales, M. R., & Moure Romanillo, J. A. (1984). Las cuevas de Monte Castillo, un conjunto prehistórico excepcional. *Revista de arqueología*, *4*(41), 30-40.

González Morales, M. R., & Moure Romanillo, J. A. (2000). Excavaciones y documentación del arte rupestre de la cueva de la Fuente del Salín: Muñorrodero, Val de San Vicente. In R. Peredo Ontañón (Éd.), *Actuaciones arqueológicas en Cantabria: 1984-1999* (p. 149-150). Consejería de Cultura, Turismo y Deporte.

González Morales, M. R., & Moure Romanillo, J. A. (2008). Excavaciones y estudio de arte rupestre en la cueva de la Fuente del Salín (Muñorrodero, Val de San Vicente). Campaña de 2000. In R. Ontañón Peredo (Éd.), *Actuaciones arqueológicas en Cantabria, 2000-2003* (p. 19-82). Consejería de Cultura, Turismo y Deporte del Gobierno de Cantabria.

González Sainz, C. (1999). Algunos problemas actuales en la ordenación cronológica del arte paleolítico en Cantabria. *I Encuentro de Historia de Cantabria: Actas del encuentro celebrado en Santander los días 16 a 19 de diciembre de 1996*, 149-166.

González Sainz, C. (2005). *La Galería Inferior de La Garma y otras cuevas decoradas del centro de la región Cantábrica. Su incidencia en el conocimiento de la actividad gráfica paleolítica: cronología y comportamientos*. Universidad de Cantabria, Departamento de Ciencias Históricas.

González Sainz, C. (2010). La cueva de El Castillo. In Asociación Cántabra para la Defensa del Patrimonio Subterráneo (ACDPS) (Éd.), *Las cuevas con arte paleolítico en Cantabria*. Cantabria en Imagen.

Gonzalez-Aguilera, D., Muñoz, A. L., Lahoz, J. G., Herrero, J. S., Corchón, M. S., & García, E. (2009). Recording and modeling paleolithic caves through laser scanning. *Proceedings of the International Conference on Advanced Geographic Information Systems and Web Services, GEOWS 2009*, 19-26. https://doi.org/10.1109/GEOWS.2009.7

González-Aguilera, D., Muñoz-Nieto, A., Gómez-Lahoz, J., Herrero-Pascual, J., & Gutierrez-Alonso, G. (2009). 3D Digital Surveying and Modelling of Cave Geometry: Application to Paleolithic Rock Art. *Sensors*, *9*, 1108-1127. https://doi.org/10.3390/s90201108

Gradin, C. (1981). Las pinturas de la Cueva Grande (Arroyo Feo), Área Río Pinturas, Provincia de Santa Cruz. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*, *14*(2), 241-265.

GRAPP. (1993). *L'art pariétal paléolithique. Techniques et méthodes d'étude. Textes réunis pas le GRAPP*. Comité des travaux historiques et scientifiques.

Green, J. (2021). Mothers, Mountain Devils, and Pointing to Eternity: The « Horns » Handshape in Australian Indigenous Sign Languages. *Sign Language Studies*, *22*(1), 5-41. https://doi.org/10.1353/sls.2021.0013

Gregg, J. M. (2008). Ancients inspire modern memory. *Nature Nanotechnology*, *3*(7), 380-381. https://doi.org/10.1038/nnano.2008.192

Grimes, C. E., & Maryott, K. R. (1994). Named speech registers in Austronesian languages. *Language contact and change in the Austronesian world*, 275-319.

Groenen, M. (1988). Les représentations de mains négatives dans les grottes de Gargas et de Tibiran. *Bulletin de la Société royale belge d'Anthropologie et de Préhistoire*, *99*, 81-113.

Groenen, M. (1990). Quelques problèmes à propos des mains négatives dans les grottes paléolithiques. *Annales d'Histoire de l'Art et d'Archéologie*, *12*, 7-29.

Groenen, M. (1991). Présence de matières colorantes dans l'Europe paléolithique. *Anthropologie et Préhistoire*, *102*, 9-28.

Groenen, M. (1997). *Ombre et lumière dans l'art des grottes.* ULB, Centre de Recherches et d'Études technologiques des Arts plastiques.

Groenen, M. (2004). *Les grottes ornées paléolithiques :du dispositif pariétal à l'espace sanctuarisé*.

Groenen, M. (2006). La grotte d'El Castillo (Puente Viesgo, Cantabrie, Espagne). In Collectif (Éd.), *L'archéologie à l'Université Libre de Bruxelles (2001-2005). Matériaux pour une histoire des milieux et des pratiques humaines* (Vol. 1, p. 153-161). CRÉA.

Groenen, M. (2007a). Principios de lectura del arte parietal en las cuevas decoradas del Monte del Castillo. In J. M. Maíllo Fernández & E. Baquedano (Éds.), *Miscelánea en Homenaje a Victoria Cabrera* (Vol. 2, p. 42-53). Museo Arqueológico Regional.

Groenen, M. (2007b). Voir l'image préhistorique : premiers travaux dans la grotte ornée d'El Castillo (Cantabrie, Espagne). In J. Évin (Éd.), *Un siècle de construction du discours scientifique en préhistoire, vol. III. « ... aux conceptions d'aujourd'hui ». Actes du*

Congrès du Centenaire de la Société préhistorique française (Avignon, 21-25 septembre 2004): Vol. III (p. 307-321). Société préhistorique française.

Groenen, M. (2008a). La imagen en el arte de las cuevas del Monte del Castillo. In *Espacio, tiempo y forma. Prehistoria y arqueologia, Homenaje al profesor Eduardo Ripoll Perelló* (Vol. 1, p. 105-112).

Groenen, M. (2008b). Numérisation 3D de la grotte d'El Castillo (Puente Viesgo). In R. Vergnieux & C. Delvoie (Éds.), *Actes Du Colloque Virtual Retrospect 2007*.

Groenen, M. (2011). Images de mains de la préhistoire. *La part de l'œil - Revue de pensée des arts plastiques*, *25-26*, 56-69.

Groenen, M. (2012). Recorrido por la cueva de El Castillo. En busca de la mirada del Paleolítico. In I. Escobar & B. Rodríguez Alvarez (Éds.), *Arte sin artistas. Una mirada al Paleolítico* (p. 372-393). Museo Arqueológico de la Comunidad de Madrid.

Groenen, M. (2013). De l'espace spéléologique à l'espace vécu : l'exemple des grottes du Mont Castillo (Cantabrie, Espagne). *Préhistoire, Art et Sociétés. Bulletin de la Société Préhistorique Ariège-Pyrénées*, *68*, 73-95.

Groenen, M. (2014). Présences humaines dans la grotte ornée d'El Castillo (Cantabrie, Espagne) : dépôts, prélèvements et traces de passage. In P. Paillet (Éd.), *Les arts de la préhistoire : micro-analyses, mises en contexte et conservation. Actes du Colloque « Micro-analyses et datations de l'art préhistorique dans son contexte archéologique ». MADAPCA (Paris, 16-18 novembre 2011)* (p. 195-210). Paleo.

Groenen, M. (2016). *L'art des grottes ornées du Paléolithique supérieur. Voyages dans les espaces-limites*. Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique.

Groenen, M. (2017). Le rôle de la lumière dans l'art des grottes au Paléolithique supérieur. In C. Beaufort & M. Lebré (Éds.), *Ambivalence de la lumière* (p. 231-249). Presses universitaires de Pau et des Pays de l'Adour.

Groenen, M., & Groenen, M. C. (2015). Les traces noires de la grotte d'El Castillo (Cantabrie, Espagne). *International Newsletter on Rock Art (INORA)*, *72*, 1-6.

Groenen, M., & Groenen, M. C. (2019). Modes of space appropriation in the decorated caves of El Castillo and La Pasiega (Puente Viesgo, Cantabria, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, *28*, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.102055

Groenen, M., & Groenen, M.-C. (2025). *La grotte ornée d'El Castillo. Un sanctuaire exceptionnel de la préhistoire*. Archaeopress. https://doi.org/10.32028/9781803279275

Groenen, M., Groenen, M.-C., Ceballos Del Moral, J. M., & González Echegaray, J. (2012). Bilan de sept années de recherches dans la grotte ornée d'El Castillo (Cantabrie, Espagne). In J. Clottes (Éd.), *L'art pléistocène dans le monde / Pleistocene art of the world / Arte pleistoceno en el mundo, Actes du Congrès IFRAO, Tarascon-sur- Ariège, septembre 2010, Symposium « Art pléistocène en Europe »* (p. 145-163). Bulletin de la Société Préhistorique Ariège-Pyrénées.

Grove, M. (2011). A spatio-temporal kernel method for mapping changes in prehistoric land-use patterns. *Archaeometry*, *53*(5), 1012-1030. https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2010.00578.x

Grove, M. (2016). Population density, mobility, and cultural transmission. *Journal of Archaeological Science*, *74*, 75-84. https://doi.org/10.1016/j.jas.2016.09.002

Guichón, F., & Re, A. (2020). Hunter-gatherer land use strategies and hand stencils in Southern Patagonia: a comparative analysis of the Strobel Plateau and Cardiel Lake (Argentina). *Revista Cuadernos de Arte Prehistorico*, *Especial*, 121-152.

Guillaume, P. (1979). *La psychologie de la forme*. Flammarion.

Gunn, R. G. (2006). Hand Sizes in Rock Art: Interpreting the Measurements of Hand Stencils and Prints. *Rock Art Research*, *23*(1), 97-112.

Güth, A. (2012). Using 3D scanning in the investigation of Upper Palaeolithic engravings: First results of a pilot study. *Journal of Archaeological Science*, *39*(10), 3105-3114. https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.04.029

Guthrie, R. D. (2005). *The Nature of Paleolithic Art*. University of Chicago Press.

Gutiérrez Zugasti, I., Cuenca Solana, D., González Morales, M. R., & García Moreno, A. (2012). El aprovechamiento de moluscos y otros recursos litorales durante el Gravetiense en la región cantábrica: análisis arqueomalacológico de la cueva de la Fuente del Salín (Muñorrodero, Cantabria). In *Pensando el Gravetiense: nuevos datos para la región cantábrica en su contexto peninsular y pirenaico* (Vol. 23, p. 416-428). Museo Nacional y Centro de Investigación de Altamira.

Guy, E. (2017). *Ce que l'art préhistorique dit de nos origines*. Flammarion.

Hall, E. T. (1959). *The silent language*. Doubleday & Company.

Hall, E. T., Birdwhistell, R. L., Bock, B., Bohannan, P., Diebold Jr, A. R., Durbin, M., Edmonson, M. S., Fischer, J. L., Hymes, D., & Kimball, S. T. (1968). Proxemics. *Current anthropology*, *9*(2/3), 83-108.

Heldman, M. E. (1992). Architectural symbolism, sacred geography and the Ethiopian Church. *Journal of Religion in Africa*, 222-241.

Henneberg, M. J., & Mathers, K. (1994). Reconstruction of body height, age and sex from handprints. *South African Journal of Science*, *90*, 493-496.

Henrich, J. (2020). *The WEIRDest People in the World: How the West Became Psychologically Peculiar and Particularly Prosperous*. Allen Lane.

Henry-Gambier, D., Beauval, C., Airvaux, J., Aujoulat, N., Baratin, J. F., & Buisson-Catil, J. (2007). New hominid remains associated with gravettian parietal art (Les Garennes, Vilhonneur, France). *Journal of Human Evolution*, *53*(6), 747-750. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2007.07.003

Herrmann, N. (2002). GIS applied to bioarchaeology: An example from the Río Talgua Caves in Northeast Honduras. *Journal of Cave and Karst Studies*, *64*(1), 17-22.

Hoblea, F., Delannoy, J.-J., Jaillet, S., Ployon, E., & Sadier, B. (2014). Digital tools for managing and promoting karst geosites in Southeast France. *Geoheritage*, *6*, 113-127.

Hoffmann, D. L., Standish, C. D., García-Diez, M., Pettitt, P., Milton, J. A., Zilhão, J., Alcolea-González, J. J., Cantalejo-Duarte, P., Collado, H., de Balbín, R., Lorblanchet, M., Ramos-Muñoz, J., Weniger, G.-Ch., & Pike, A. W. G. (2018a). U-Th dating of carbonate crusts reveals Neandertal origin of Iberian cave art. *Science*, *359*(6378), 912-915. https://doi.org/10.1126/science.aap7778

Hoffmann, D. L., Standish, C. D., Pike, A. W. G., García-Diez, M., Pettitt, P. B., Angelucci, D. E., Villaverde, V., Zapata, J., Milton, J. A., Alcolea-González, J., Cantalejo-Duarte, P., Collado, H., de Balbín, R., Lorblanchet, M., Ramos-Muñoz, J., Weniger, G.-C., & Zilhão, J. (2018b). Dates for Neanderthal art and symbolic behaviour are reliable. *Nature Ecology & Evolution*, *2*(7), 1044-1045. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0598-z

Hoffmann, D. L., Utrilla, P., Bea, M., Pike, A. W. G., García-Diez, M., Zilhão, J., & Domingo, R. (2017). U-series dating of Palaeolithic rock art at Fuente del Trucho (Aragón, Spain). *Quaternary International*, *432*, 50-58. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.11.111

Holt, B. M. (2003). Mobility in Upper Paleolithic and Mesolithic Europe: evidence from the lower limb. *American Journal of Physical Anthropology*, *122*(3), 200-215.

Intxaurbe Alberdi, I., Arriolabengoa, M., Garate, D., Cheng, H., & Pérez-Mejías, C. (2023). Virtual reconstruction of the Palaeolithic landscape in Santimamine cave (Bizkaia, Spain). *Journal of Archaeological Science Reports*, *52*, 1-15. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.104219

Intxaurbe, I., Arriolabengoa, M., Medina-Alcaide, M. Á., Rivero, O., Rios-Garaizar, J., Salazar, S., Líbano, I., & Garate, D. (2021). Quantifying accessibility to Palaeolithic rock art: Methodological proposal for the study of human transit in Atxurra Cave (Northern Spain). *Journal of Archaeological Science*, *125*(7), 1-11. https://doi.org/10.1016/j.jas.2020.105271

Intxaurbe, I., Garate, D., & Arriolabengoa, M. (2024). Drawing in the depths: spatial organization patterns related to Magdalenian cave art. *Archaeological and Anthropological Sciences*, *16*(7), 1-24. https://doi.org/10.1007/s12520-024-02007-3

Intxaurbe, I., Garate, D., Arriolabengoa, M., & Medina-Alcaide, M. Á. (2022). Application of Line of Sight and Potential Audience Analysis to Unravel the Spatial Organization of Palaeolithic Cave Art. *Journal of Archaeological Method and Theory*, *29*, 1158-1189. https://doi.org/10.1007/s10816-022-09552-y

Intxaurbe, I., Rivero, O., Medina-Alcaide, M. Á., Arriolabengoa, M., Rios-Garaizar, J., Salazar, S., Ruiz-López, J. F., Ortega Martínez, P., & Garate, D. (2020). Hidden images in Atxurra Cave (Northern Spain): A new proposal for visibility analyses of Palaeolithic rock art in subterranean environments. *Quaternary International*, *566-567*(February), 163-170. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.027

Irurtzun, A. (2025). Negative priors and inferences from absence of evidence in cognitive and linguistic archaeology: Epistemically sound and scientifically strategic. *Behavioral and Brain Sciences*, *48*, 36-38. https://doi.org/10.1017/S0140525X24000864

Jaillet, S. (2016). La topographie et la cartographie en grotte. L'apport récent des technologies 3D. *Journée de spéléologie scientifique 2016*, 1p.

Jaillet, S., Delannoy, J.-J., Monney, J., & Sadier, B. (2017). 3-D modelling in rock art research: Terrestrial laser scanning, photogrammetry, and the time factor. In B. David & I. J. McNiven (Éds.), *The Oxford handbook of the archaeology and anthropology of rock art811* (p. 811-831). Oxford University Press.

Jaillet, S., Kemper, J., Génuite, K., & Delannoy, J.-J. (2024). Une analyse 4D (3D + temps) de l'entrée de la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche, France). *ArchéoSciences*, *48-1*, 51-62. https://doi.org/10.4000/12w37

Jaillet, S., Sadier, B., Perazio, G., & Delannoy, J.-J. (2014). Une brève histoire de la 3D en grotte. *Karstologia*, *63*, 3-20.

Jaubert, J. (2008). L'« art » pariétal gravettien en France : éléments pour un bilan chronologique. *Paleo*, *20*, 205-237. http://journals.openedition.org/paleo/1635

Jouteau, A. (2021). *Grottes ornées paléolithiques : espaces naturels, espaces culturels, art et déterminisme. L'apport des modélisations, l'exemple de Lascaux et de Cussac*. Université de Bordeaux.

Jouteau, A., Feruglio, V., Bourdier, C., Camus, H., Ferrier, C., Santos, F., & Jaubert, J. (2019). Choosing rock art locations: Geological parameters and social behaviours. The example of Cussac Cave (Dordogne, France). *Journal of Archaeological Science*, *105*, 81-96. https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.03.008

Jouteau, A., Feruglio, V., Lacanette, D., Carré, S., Noé, N., & Jaubert, J. (2020). Understanding the perception and appropriation of space in palaeolithic decorated caves : New methods and tools, with the examples of Cussac and Lascaux caves. *Rock Art Research*, *37*(2), 137-154.

Kassambara, A., & Mundt, F. (2020). factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. In *https://CRAN.R-project.org/package=factoextra*.

Kay, M. (2024a). ggdist: Visualizations of Distributions and Uncertainty. In *https://doi.org/10.5281/zenodo.3879620*.

Kay, M. (2024b). ggdist: Visualizations of Distributions and Uncertainty in the Grammar of Graphics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *30*(1), 414-424. https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3327195

Kedar, Y., Kedar, G., & Barkai, R. (2021). Hypoxia in Paleolithic decorated caves: the use of artificial light in deep caves reduces oxygen concentration and induces altered states of consciousness. *Time and Mind*, *14*(2), 181-216. https://doi.org/10.1080/1751696X.2021.1903177

Kemper, J., Delannoy, J.-J., Jaillet, S., Ontañon-Peredo, R., & Arias, P. (2023a). Apports de la carte géomorphologique et des matrices de Harris dans l'analyse des aménagements anthropiques : application à la grotte de La Garma (Espagne). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, *29*(4). https://doi.org/10.4000/w9x4

Kemper, J., Delannoy, J.-J., Jaillet, S., Ontañon-Peredo, R., & Arias, P. (2023b). La grotte de La Garma (Cantabrie, Espagne) : identification, structuration et spatialisation des aménagements souterrains depuis le Paléolithique. *ArchéoSciences*, *47-1*, 109-124. https://doi.org/10.4000/archeosciences.11847

Kozłowski, J. (2005). La notion du territoire dans le Paléolithique. In D. Vialou, J. Renault-Miskovsky, & M. Patou-Mathis (Éds.), *Comportements des hommes du Paléolithique moyen et supérieur en Europe: territoires et milieux (Actes du Colloque du G.D.R. 1945 du CNRS, Paris, 8-10 janvier 2003)* (Vol. 111, p. 101-106). ERAUL.

Kozłowski, J. K. (2015). The origin of the Gravettian. *Quaternary International*, *359-360*, 3-18. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.03.025

Krasser, R. (2024). explore: Simplifies Exploratory Data Analysis. In *https://CRAN.R-project.org/package=explore*.

Kreuz, R., & Roberts, R. M. (2017). *Getting through: The pleasures and perils of cross-cultural communication*. MIT Press.

Lacanette, D., & Malaurent, P. (2010). La 3D au service de la conservation des grottes ornées, l'exemple de Lascaux et du simulateur Lascaux. *In Situ*, *13*, 1-12. https://doi.org/10.4000/insitu.6793

Laming-Emperaire, A. (1962). *La signification de l'art rupestre paléolithique. Méthodes et applications*. Picard.

Landeschi, G. (2019). Rethinking GIS, three-dimensionality and space perception in archaeology. *World Archaeology*, *51*(1), 17-32. https://doi.org/10.1080/00438243.2018.1463171

Landeschi, G., Apel, J., Lundström, V., Storå, J., Lindgren, S., & Dell'Unto, N. (2019). Re-enacting the sequence: combined digital methods to study a prehistoric cave. *Archaeological and Anthropological Sciences*, *11*(6), 2805-2819. https://doi.org/10.1007/s12520-018-0724-5

Landeschi, G., Dell'Unto, N., Lundqvist, K., Ferdani, D., Campanaro, D. M., & Touati, A.-M. L. (2016). 3D-GIS as a platform for visual analysis: Investigating a Pompeian house. *Journal of Archaeological Science*, *65*, 103-113.

Lanzarote Guiral, J. M. (2011). La stratigraphie d'une vie consacrée à la préhistoire. L'abbé Hugo Obermaier, sa chaire de l'Institut de paléontologie humaine et les fouilles du Castillo. In H. de Lumley & A. Hurel (Éds.), *Cent ans de Préhistoire. L'Institut de Paléontologie Humaine* (p. 65-82). CNRS Editions.

Larribau, J.-D. (2013). *La grotte d'Erberua. Art pariétal préhistorique du Pays Basque (Isturitz, Oxocelhaya, Erberua)*. L'auteur.

Laureano, F. V, Karmann, I., Granger, D. E., Auler, A. S., Almeida, R. P., Cruz, F. W., Stricks, N. M., & Novello, V. F. (2016). Two million years of river and cave aggradation in NE Brazil: Implications for speleogenesis and landscape evolution. *Geomorphology*, *273*, 63-77.

Le Fillâtre, V., Robert, E., Petrognani, S., Lesvignes, E., Cretin, C., & Muth, X. (2021). Mapping the walls: High-resolution cartography applied to the analysis of prehistoric cave art in the Grotte du Mammouth (Domme, Dordogne, France). *Journal of Archaeological Science*, *127*, 105332. https://doi.org/10.1016/J.JAS.2021.105332

Le Guillou, Y. (2005). Circulations humaines et occupation de l'espace souterrain à la grotte Chauvet-Pont-d'Arc. *Bulletin de la Société préhistorique française*, *102*(1), 117-134.

Le Quellec, J.-L. (2016). Recent Work on Saharan rock art (2010-2014). In P. Bahn, N. Franklin, M. Strecker, & E. Devlet (Éds.), *Rock Art Studies: News of the World V* (p. 55-74). Archaeopress Publishing Ltd. https://doi.org/10.2307/j.ctvxrq0fv.9

Le Quellec, J.-L. (2022). *La Caverne originelle. Art, mythes et premières humanités*. La Découverte.

Le Quellec, J.-L., Duquesnoy, F., & Defrasne, C. (2015). Digital image enhancement with DStretch®: Is complexity always necessary for efficiency? *Digital Applications in*

Archaeology and Cultural Heritage, *2*(2-3), 55-67. https://doi.org/10.1016/j.daach.2015.01.003

Le Quellec, J.-L., Fauvelle-Aymar, F.-X., & Bon, F. (2009). *Vols de vaches à Christol Cave: histoire critique d'une image rupestre d'Afrique du Sud* (Vol. 2). Publications de la Sorbonne.

Le Quellec, J.-L., Harman, J., Defrasne, C., & Duquesnoy, F. (2013). DStretch® et l'amélioration des images numériques: applications à l'archéologie des images rupestres. *Les Cahiers de l'AARS*, *16*, 177-198.

Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR : An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, *25*(1), 1-18. https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01

Lefèbvre, H. (1974). *La production de l'espace* (Editions Anthropos).

Leroi-Gourhan, A. (1958a). La fonction des signes dans les sanctuaires paléolithiques. *Bulletin de la Société préhistorique de France*, *55*(5), 307-321. https://doi.org/10.3406/bspf.1958.3664

Leroi-Gourhan, A. (1958b). Répartition et groupement des animaux dans l'art pariétal paléolithique. *Bulletin de la Société préhistorique de France*, *55*(9), 515-528. https://doi.org/10.3406/bspf.1958.3692

Leroi-Gourhan, A. (1965). *Préhistoire de l'art occidental*. L. Mazenod.

Leroi-Gourhan, A. (1967). Les mains de Gargas. Essai pour une étude d'ensemble. *Bulletin de la Société préhistorique française. Études et travaux*, *64*(1), 107-122. https://doi.org/10.3406/bspf.1967.4105

Leroi-Gourhan, A. (1972). Considérations sur l'organisation spatiales des figures animales dans l'art pariétal paléolithique. In M. García Guinea & M. Almagro Basch (Éds.), *Santander Symposium - Actas del Symposium Internacional de Arte Prehistórico* (p. 281-308). Patronato de las Cuevas Prehistóricas de la Provincia de Santander.

Leroi-Gourhan, A. (1980). Résumé des cours et travaux. *Annuaire du Collège de France*, *81*, 453-467.

Leroi-Gourhan, A. (1992). *L'art pariétal: Langage de la préhistoire*. Jérôme Millon.

Lesvignes, E., Robert, E., Valentin, B., Ballinger, M., Bénard, A., Bellanger, F., Bouet, B., Bougnères, F., Cantin, A., Costa, L., Dardignac, C., David, S., Dubreucq, P., Guéret, C.,

Guy, E., de Miranda, I., Romero-Godofredo, V., Sagory, T., Thiry, M., … Zotkina, L. (2019). Using digital techniques to document prehistoric rock art: first approaches on the engraved panels of the Paris Basin shelters. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, *15*, 1-10. https://doi.org/10.1016/J.DAACH.2019.E00122

Lewis-Williams, D. (1990). Documentation, analysis and interpretation: dilemmas in rock art research. *The South African Archaeological Bulletin*, *45*(152), 126-136.

Lewis-Williams, D. (2002). The Mind in the Cave: Consciousness and the Origins of Art. In *Cambridge Archaeological Journal* (Numéro 2). Thames and Hudson. https://doi.org/10.1017/S0959774303000155

Llobera, M. (2007). Reconstructing visual landscapes. *World Archaeology*, *39*, 51-69. https://doi.org/10.1080/00438240601136496

Llobera, M. (2012). Life on a Pixel: Challenges in the Development of Digital Methods Within an « Interpretive » Landscape Archaeology Framework. *J Archaeol Method Theory*, *19*, 495-509. https://doi.org/10.1007/s10816-012-9139-2

Lomranz, J. (1976). Cultural Variations in Personal Space. *The Journal of Social Psychology*, *99*(1), 21-27. https://doi.org/10.1080/00224545.1976.9924743

Lorblanchet, M. (1980). Peindre sur les parois des grottes. *Dossiers de l'Archéologie*, *46*, 33-39.

Lorblanchet, M. (1991). Spitting Images: Replicating the Spotted Horses of Pech Merle. *Archaeology*, *44*(6), 26-31.

Lorblanchet, M. (1993). Pochoir et soufflé. In *L'art pariétal paléolithique. Techniques et méthodes d'étude* (p. 257-260). Editions du CTHS.

Lorblanchet, M. (1995). *Les Grottes Ornées de la Préhistoire. Nouveaux Regards*. Errance.

Lorblanchet, M. (1997). Saint-Géry - Grotte de Pergouset. *ADLFI*, 1-4. https://doi.org/10.4000/adlfi.11031

Lorblanchet, M. (2001). *La grotte ornée de Pergouset Saint-Géry, Lot : un sanctuaire secret paléolithique*. Maison des Sciences de l'Homme.

Lorblanchet, M. (2010). *Art Pariétal, grottes ornées du Quercy*. Editions du Rouergue.

Lorblanchet, M., Cachier, H., & Valladas, H. (1995). Datation des chevaux ponctués du Pech-Merle. *INORA: International Newsletter on Rock Art*, *12*, 2-3.

Louman, L. (2022). *Approche géomatique des dynamiques d'ornementation des grottes ornées de Marsoulas et Chauvet*. Cergy-Paris Université.

Lüdecke, D., Patil, I., Ben-Shachar, M., Wiernik, B., Waggoner, P., & Makowski, D. (2021). see: An R Package for Visualizing Statistical Models. *Journal of Open Source Software*, *6*(64), 3393. https://doi.org/10.21105/joss.03393

Luig, U., & Von Oppen, A. (1997). Landscape in Africa: Process and vision. An introductory essay. *Paideuma*, *43*, 7-45.

Luquet, G. H. (1926). *L'Art et la Religion des Hommes Fossiles*. Masson.

Mackie, M. (2015). Estimating age and sex: Paleodemographic identification using rock art hand sprays, an application in Johnson County, Wyoming. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *3*, 333-341. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.06.023

Mackie, M. (2018). *Determining the Age and Sex of Hand Spray Artists, Johnson County, Wyoming*. https://www.researchgate.net/publication/323368502

Magnin, L. A. (2013). ¿Dónde Pintar? Un análisis comparativo mediante IG como aproximación a las decisiones humanas. *Magallania*, *41*(1), 193-210.

Malvesin-Fabre, G., Nougier, L.-R., & Robert, R. (1954). *Gargas*. Edouard Privat.

Man-Estier, E., Deneuve, E., Paillet, P., Loiseau, L., & Cretin, C. (2015). Du nouveau aux Combarelles I (Les Eyzies-de-Tayac, Dordogne, France). *Paleo*, *26*, 201-214. https://doi.org/10.4000/paleo.2987

Manhire, A. (1998). The Role of Hand Prints in the Rock Art of the South-Western Cape. *The South African Archaeological Bulletin*, *53*(168), 98-108.

Manning, J. T., Scutt, D., Wilson, J., & Lewis-Jones, D. I. (1998). The ratio of 2nd to 4th digit length: A predictor of sperm numbers and concentrations of testosterone, luteinizing hormone and oestrogen. *Human Reproduction*, *13*(11), 3000-3004. https://doi.org/10.1093/humrep/13.11.3000

Martin-Beaumont, N., Vigears, D., Pierrot-Deseilligny, M., Robert, E., Egels, Y., Plassard, J., & Plassard, F. (2014). La photogrammétriea haute résolution en grotte ornée: numérisation des gravures de Rouffignac (Dordogne, France) et de Blanchard (Indre, France). *Paleo*, 93-101.

Mather, C. (2003). Shrines and the Domestication of Landscape. *Journal of Anthropological Research*, *59*(1), 23-45. http://www.jstor.org/stable/3631443

Mauss, M. (1925). Essai sur le don. Forme et raison de l'échange dans les sociétés archaïques. *L'Année sociologique*, *1*, 30-186.

Medina-Alcaide, M. Á., Cristo, A., Romero, A., & Sanchidrián, J. L. (2012). Otro punto de luz. Iluminación estática en los 'santuarios' paleolíticos: el ejemplo de la Cueva de Nerja (Málaga, España). In J. Clottes (Éd.), *L'art pléistocène dans le monde. Actes du Congrès IFRAO, Tarascon-sur- Ariège, septembre 2010: Symposium Signes, symboles, mythes et idéologie…* (p. 105-121). Société préhistorique Ariège-Pyrénées.

Medina-Alcaide, M. Á., Garate, D., Intxaurbe, I., Sanchidrián, J. L., Rivero, O., Ferrier, C., Mesa, M. D., Pereña, J., & Líbano, I. (2021). The conquest of the dark spaces: An experimental approach to lighting systems in Paleolithic caves. *PLoS ONE*, *16*, 1-30. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250497

Medina-Alcaide, M. Á., Garate, D., Ruiz-Redondo, A., & Sanchidrián, J. L. (2018a). Beyond art: The internal archaeological context in Paleolithic decorated caves. *Journal of Anthropological Archaeology*, *49*, 114-128. https://doi.org/10.1016/j.jaa.2017.12.005

Medina-Alcaide, M. Á., Garate, D., & Sanchidrián, J. L. (2015). Marcando el camino: hacia una explicación multifuncional de las evidencias parietales en cueva. In H. Collado Giraldo & J. García Arranz (Éds.), *Proceedings of the XIX International Rock Art Conference IFRAO: Symbols in the Landscape: Rock Art and its Context* (Vol. 37, Numéro Symbols in the Landscape: Rock Art and its Context. Proceedings of the XIX International Rock Art Conference IFRAO 2015 (Cáceres, Spain, 31 August-4 September 2015), p. 499-503). Arkeos.

Medina-Alcaide, M. Á., Garate, D., & Sanchidrián, J. L. (2018b). Painted in red: In search of alternative explanations for European Palaeolithic cave art. *Quaternary International*, *491*, 65-77. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.08.043

Medina-Alcaide, M. Á., Vandevelde, S., Quiles, A., Pons-Branchu, E., Intxaurbe, I., Sanchidrián, J. L., Valladas, H., Deldicque, D., Ferrier, C., Rodríguez, E., & Garate, D. (2023). 35,000 years of recurrent visits inside Nerja cave (Andalusia, Spain) based on charcoals and soot micro-layers analyses. *Scientific Reports*, *13*(1), 5901. https://doi.org/10.1038/s41598-023-32544-1

Mellet, E., Salagnon, M., Majkić, A., Cremona, S., Joliot, M., Jobard, G., Mazoyer, B., Mazoyer, N. T., & D'Errico, F. (2019). Neuroimaging supports the representational nature of the earliest human engravings. *Royal Society Open Science*, *6*(7), 1-12. https://doi.org/10.1098/rsos.190086

Menéndez-Marsh, F., Al-Rawi, M., Fonte, J., Dias, R., Gonçalves, L. J., Seco, L. G., Hipólito, J., Machado, J. P., Medina, J., Moreira, J., Do Pereiro, T., Vázquez, M., & Neves, A. (2023). Geographic Information Systems in Archaeology: A Systematic Review. *Journal of Computer Applications in Archaeology*, *6*(1). https://doi.org/10.5334/jcaa.104

Merleau-Ponty, M. (1945). Phénoménologie de la perception. In *Paris: Bibliothèque des idées*. Gallimard.

Merleau-Ponty, M. (1964). *L'oeil et l'esprit*. Gallimard.

Mingo Álvarez, A. (2009). Los signos ovales paleolíticos de la cueva de El Castillo. *SPAL*, *18*, 29-40.

Mir, A. (1987). Memoria de la quinta campaña de excavaciones en el yacimiento de la Cueva de la Fuente del Trucho. Asque-Colungo (Huesca). *Arqueología Aragonesa* , *1985*, 19-21.

Mir, A., & Salas, R. (2000). La cueva de la Fuente del Trucho y su industria lítica arcaizante del Pleniglacial superior (Colungo, Huesca). *Bolskan*, *17*, 9-32.

Miyagawa, S., Lesure, C., & Nóbrega, V. A. (2018). Cross-Modality Information Transfer: A Hypothesis about the Relationship among Prehistoric Cave Paintings, Symbolic Thinking, and the Emergence of Language. *Frontiers in Psychology*, *9*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00115

Moles, A. A., & Rohmer, E. (1998). *Psychosociologie de l'espace* (V. Schwach, Éd.). L'Harmattan.

Monney, J. (2012). Et si d'un paysage l'on contait passé. Tissu de sens et grottes ornées le long des gorges de l'Ardèche. *Collection EDYTEM. Cahiers de géographie*, *13*(1), 21-42. https://doi.org/10.3406/edyte.2012.1203

Montes, L., Miranda, M. del P. U. P., & Bea, M. (2006). Trabajos recientes en yacimientos musterienses de Aragón: una revisión de la transición Paleolítico Medio/Superior en el Valle del Ebro. *Zona arqueológica*, *7*, 215-232.

Montes-Barquín, R., Lasheras Corruchaga, J. A., de las Heras Martín, C., Rasines del Río, P., & Fatás Monforte, P. (2004). « Los aerógrafos » de la cueva de Altamira. In E. Baquedano Pérez & S. Rubio Jara (Éds.), *Miscelánea en homenaje a Emiliano Aguirre. Arqueología* (p. 321-327). Comunidad de Madrid, Museo Arqueológico Regional.

Moore, D. R. (1977). The hand stencil as symbol. In P. J. Ucko (Éd.), *Form in Indigenous Art* (p. 318-324). Australian Institute for Aboriginal Studies.

Moure Romanillo, A., González Morales, M., & González Sainz, C. (1985). Las pinturas paleolíticas de la cueva de La Fuente del Salín (Muñorrodero, Cantabria). *Ars Praehistorica*, *3-4*, 13-23.

Moure Romanillo, A., & González Morales, M. R. (1992). Datation C14 d'une zone décorée de la grotte Fuente del Salín en Espagne. *International Newsletter on Rock Art*, *3*, 1-2.

Moure Romanillo, A., González Sainz, C., Bernaldo de Quirós, F., & Cabrera Valdés, V. (1996). Dataciones absolutas de pigmentos en cuevas cantábricas: Altamira, El Castillo, Chimeneas y Las Monedas. In A. Moure Romanillo (Éd.), *El Hombre Fósil 80 años después* (p. 295-314). Universidad de Cantabria.

Moyes, H. (2002). The use of GIS in the spatial analysis of an archaeological cave site. *Journal of Cave and Karst Studies*, *64*(1), 9-16.

Müller, K., & Wickham, H. (2023). tibble: Simple Data Frames. In *https://CRAN.R-project.org/package=tibble.*

Nash, G., & Smiseth, M.-T. (2015). Art and intimacy within the prehistoric landscapes of Norway: How hunter/fisher/gatherers organised their ritual and political worlds through art. In H. Stebergløkken, R. Berge, E. Lindgaard, & H. Vangen Stuedal (Éds.), *Ritual Landscapes and Borders Within Rock Art Research: Papers in Honour of Professor Kalle Sognnes* (p. 31-45). Archaeopress.

Nelson, E., Manning, J., & Sinclair, A. (2006). News Using the length of the 2 nd to 4 th digit ratio (2D:4D) to sex cave art hand stencils: factors to consider . *Before Farming*, *2006*(1), 1-7. https://doi.org/10.3828/bfarm.2006.1.6

Neufert, E. (1951). *Bauentwurfslehre. Grundlagen, Normen und Vorschriften über Anlage, Bau, Gestaltung, Raumbedarf und Raumbeziehungen. Maße für Gebäude, Räume, Einrichtungen und Geräte mit dem Menschen als Maß und Ziel*. Vieweg Verlag.

Neuwirth, E. (2022). RColorBrewer: ColorBrewer Palettes. In *https://CRAN.R-project.org/package=RColorBrewer*.

Nigro, J. D., Ungar, P. S., de Ruiter, D. J., & Berger, L. R. (2003). Developing a Geographic Information System (GIS) for Mapping and Analysing Fossil Deposits at Swartkrans, Gauteng Province, South Africa. *Journal of Archaeological Science*, *30*(3), 317-324. https://doi.org/https://doi.org/10.1006/jasc.2002.0839

Normand, C., Goutas, N., Lacarrière, J., & Simonet, A. (2012). El Gravetiense de la cueva de Isturitz: nuevas investigaciones, nuevos datos. In C. de las Heras, J. A. Lasheras, Á. Arrizabalaga, & M. de la Rasilla (Éds.), *Pensando el Gravetiense: nuevos datos para la región cantábrica en su contexto peninsular y pirenaico* (Vol. 23, p. 161-183). Museo Nacional y Centro de Investigación de Altamira.

Nougier, L.-R. (1984). *Premiers éveils de l'homme. Art, magie et sexualité dans la préhistoire*. Lieu commun.

Nowell, A., & Van Gelder, L. (2020). Entanglements: the Role of Finger Flutings in the Study of the Lived Lives of Upper Paleolithic Peoples. *Journal of Archaeological Method and Theory*. https://doi.org/10.1007/s10816-020-09468-5

Obermaier, H. (1916). *El hombre fósil* (Numéro 9). Museo nacional de ciencias naturales.

Ochoa, B., & García-Diez, M. (2018). The use of cave art through graphic space, visibility and cave transit: A new methodology. *Journal of Anthropological Archaeology*, *49*, 129-145. https://doi.org/10.1016/J.JAA.2017.12.008

Ochoa, B., Garrido-Pimentel, D., & García-Diez, M. (2017). Looking through past records: The use of historical documents in cave art spatial studies and its application to La Pasiega (Puente Viesgo, Cantabria, Spain). *Quaternary International*, *430*, 130-140. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.05.003

Ochoa Fraile, B. (2016). *Espacio gráfico, visibilidad y tránsito cavernario: el uso de las cavidades con arte paleolítico en la Región Cantábrica.* Universidad del País Vasco.

Olivares, M., Castro, K., Corchón Rodríguez, M. S., Garate, D., Murelaga, X., Sarmiento, A., & Etxebarria, N. (2014). Estudio mediante instrumentación no invasiva y portátil de pinturas rupestres paleolíticas: el caso de la cueva de la Peña de San Román de Candamo (Asturias, España). In M. S. Corchón Rodríguez & M. Menéndez (Éds.), *Cien años de arte*

rupestre paleolítico. Centenario del descubrimiento de la Cueva de la Peña de Candamo (1914-2014) (p. 245-254). Universidad de Salamanca.

Onetto, M., & Podestá, M. M. (2011). Cueva de las Manos: An outstanding example of a rock art site in South America. *Adoranten*, 67.

Ooms, J. (2024). magick: Advanced Graphics and Image-Processing in r. In *https://CRAN.R-project.org/package=magick.*

Ortega Martínez, P. (2012). Ensayo metodológico de las aplicaciones de visibilidad que los SIG aportan al estudio del arte paleolítico. In J. Cascalheira & C. Gonçalves (Éds.), *Actas das IV Jornadas de Jovens em Investigação Arqueológica - JIA 2011: Vol. I* (p. 67-73). Universidade do Algarve.

Ortega Martínez, P. (2014). Visibility: a new outlook to the study of Palaeolithic Art. Preliminary research. In A. García, J. García, A. Maximiano, & J. Ríos-Garaizar (Éds.), *Debating Spatial Archaeology : proceedings of the International Worshop on Landscape and Spatial Analysis in Archaeology* (p. 259-266). Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria.

Pagès, J. (2004). Analyse factorielle de données mixtes. *Revue de Statistique Appliquée*, *52*(4), 93-111.

Pastoors, A., & Weniger, G.-C. (2011). Cave Art in Context: Methods for the Analysis of the Spatial Organization of Cave Sites. *Journal of Archaeological Research*, *19*, 377-400. https://doi.org/10.1007/s10814-011-9050-5

Pearce, D. G., & Bonneau, A. (2018). Trouble on the dating scene. *Nature Ecology & Evolution*, *2*(6), 925-926. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0540-4

Pedersen, T. L. (2024a). ggforce: Accelerating "ggplot2". In *https://CRAN.R-project.org/package=ggforce*.

Pedersen, T. L. (2024b). patchwork: The Composer of Plots. In *https://CRAN.R-project.org/package=patchwork*.

Pepe, C., Clottes, J., Menu, M., & Walter, P. (1991). Le liant des peintures paléolithiques ariégeoises. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre*, *312*(8), 929-934.

Petrognani, S. (2009). *De Chauvet à Lascaux. Approche critique des ensembles ornés anté-magdaléniens franco-ibériques*. Université Paris I Panthéon-Sorbonne.

Petrognani, S., & Robert, E. (2019). Symbolic territories in pre-Magdalenian art? *Quaternary International*, *503*, 210-220. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.08.036

Pettitt, P., Arias, P., García-Diez, M., Hoffmann, D. L., Maximiano Castillejo, A., Ontañon-Peredo, R., Pike, A. W. G., & Zilhão, J. (2015a). Are hand stencils in European cave art older than we think? An evaluation of the existing data and their potential implications. In *Prehistoric art as prehistoric culture : studies in honour of Professor Rodrigo de Balbín-Behrmann* (p. 31-43). Archaeopress.

Pettitt, P., Castillejo, A., Arias, P., Ontañón Peredo, R., & Harrison, R. (2014). New views on old hands: the context of stencils in El Castillo and La Garma caves (Cantabria, Spain). *Antiquity*, *88*(339), 47-63. https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0003598X00050213

Pettitt, P., Maximiano Castillejo, A., Ontañon-Peredo, R., & Harrison, R. (2015b). New research on the hand stencils of La Garma and El Castillo caves (Cantabria). *Actuaciones arqueológicas en Cantabria 2004-2011*, *September*, 92-95.

Pigeaud, R. (2004). Dialogue avec la paroi: cas des représentations paléolithiques de la Grotte ornée Mayenne-Sciences (Thorigné-en-Charnie, Mayenne). In M. Lejeune (Éd.), *L'art pariétal paléolithique dans son contexte naturel, Actes du colloque 8.2., 14e Congrès de l'UISPP, Liège, 2-8 septembre 2001* (p. 21-43). Université de Liège.

Pigeaud, R. (2005). Un art de traces ? Spontanéités et préméditations sur les parois des grottes ornées paléolithiques. In D. Vialou, J. Renault-Miskowsky, & M. Patou-Mathis (Éds.), *Comportements des hommes du Paléolithique moyen et supérieur en Europe : territoires et milieux. Actes du Colloque du G.D.R. 1945 du CNRS, Paris, 8-10 janvier 2003* (p. 177-191). ERAUL.

Pigeaud, R. (2013). Derrière la paroi : Portrait-robot de l'artiste paléolithique. In M. Groenen (Éd.), *Expressions esthétiques et comportements techniques au Paléolithique - UISPP* (p. 87-93). BAR.

Pigeaud, R., & Primault, J. (2006). La grotte ornée du Moulin de Laguenay (Lissac-sur-Couze, Corrèze). *Préhistoire du Sud-Ouest*, *13*(1), 37-48. http://www.quercy.net/institutions/prehistoire_quercinoise/

Pigeaud, R., & Primault, J. (2007). Une première date pour la grotte ornée du Moulin de Laguenay (Lissac-sur-Couze, Corrèze). *Préhistoire du Sud-Ouest*, *14*, 161-162.

Pigeaud, R., Rodet, J., Devièse, T., Dufayet, C., Trébohan-Chauve, E., Betton, J.-P., & Bonic, P. (2006). Palaeolithic cave art in West France: an exceptional discovery: the Margot Cave (Mayenne). *Antiquity*, *80*, 81-92.

Pike, A. W. G., Hoffmann, D. L., García-Diez, M., Pettitt, P., Alcolea, J., De Balbín, R., González-Sainz, C., De Las Heras, C., Lasheras, J. A., Montes, R., & Zilhão, J. (2012). U-series dating of paleolithic art in 11 caves in Spain. *Science*, *336*(6087), 1409-1413. https://doi.org/10.1126/science.1219957

Pike, A. W. G., Hoffmann, D. L., Pettitt, P. B., García Diez, M., & Zilhão, J. (2017). Dating Palaeolithic cave art: Why U–Th is the way to go. *Quaternary International*, *432*(February), 41-49. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.013

Plagnes, V., Causse, C., Fontugne, M., Valladas, H., Chazine, J.-M., & Fage, L.-H. (2003). Cross dating (Th/U- 14C) of calcite covering prehistoric paintings in Borneo. *Quaternary Research*, *60*(2), 172-179. https://doi.org/10.1016/S0033-5894(03)00064-4

Plassard, F. (2005). *Les grottes ornées de Combarelles, Font-de Gaume, Bernifal et Rouffignac. Contexte archéologique, thèmes et style des représentations*. Université Bordeaux 1.

Plisson, H. (2015). Digital photography and traceology, from 2D to 3D. *Traces in the history: Dedicated to 75 anniversary of Viacheslav E. Shchelinsky*, 216-231.

Plisson, H., & Zotkina, L. V. (2015). From 2D to 3D at macro- and microscopic scale in rock art studies. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, *2*(2-3), 102-119. https://doi.org/10.1016/j.daach.2015.06.002

Politis, G. (2007). *Nukak: ethnoarchaeology of an Amazonian people*. Left Coast Press.

Quine, W. V. O. (1960). *Word and object: An inquiry into the linguistic mechanisms of objective reference.* John Wiley.

Quinnell, M. C., & McBryde, I. (1977). *Aboriginal rock art in Carnarvon Gorge, south central Queensland*.

R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.

Rabazo-Rodríguez, A. M., Modesto-Mata, M., Bermejo, L., & García-Díez, M. (2017). New data on the sexual dimorphism of the hand stencils in El Castillo Cave (Cantabria, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, *14*(March), 374-381. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.06.022

Raphaël, M. (1986). *Trois essais sur la signification de l'art pariétal paléolithique*. Kronos.

Raux, P. (2018). *La grotte du Bison, Meyrals, Dordogne, du nouveau et des tectiformes*.

Régnault, F. (1873). Fouilles dans la grotte de Gargas. *Congrès Scientifique de France*, 176-181.

Reimer, P. J., Austin, W. E. N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas, I., Heaton, T. J., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., Manning, S. W., Muscheler, R., … Talamo, S. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, *62*(4), 725-757. https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41

Reznikoff, I. (1987). Sur la dimension sonore des grottes à peintures du Paléolithique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, *304*, 53-156.

Reznikoff, I., & Dauvois, M. (1988). La dimension sonore des grottes ornées. *Bulletin de la Société préhistorique française*, *85*(8), 238-246.

Ripoll López, S., & Muñoz Ibañez, F. J. (2019). Las representaciones infantiles de manos en el yacimiento de la Fuente del Trucho (Asque–Colungo, Huesca). *III Congrés Internacional d'Història dels Pirineus. Actes i comunicacions*, 693-798.

Ripoll López, S., Ripoll Perelló, E., Collado Giraldo, H., Mas Cornellá, M., Jordá Pardo, J., & Laboratorio de Estudios Paleolíticos. (1999). Maltravieso. El Santuario Extremeño de las Manos. Memoria 1. *Trabajos de Prehistoria*, *56*, 59-84.

Ripoll Perelló, E. (1956). Nota acerca de algunas nuevas figuras rupestres de las cuevas de El Castillo y La Pasiega (Puente Viesgo, Santander). *Actas del IV Congreso Internacional de Ciencias Prehistóricas y Protohistóricas (Madrid 1954)*, 301-310.

Ripoll Perelló, E. (1971). Una figura de « hombre-bisonte » de la cueva del Castillo. *Empúries: revista de món clàssic i antiguitat tardana*, *33*, 93-110.

Ripoll Perelló, E. (1972). Un palimpsesto rupestre de la cueva del Castillo (Puente Viesgo, Cantabria). In M. García Guinea & M. Almagro Basch (Éds.), *Santander Symposium - Actas del Symposium Internacional de Arte Prehistórico* (p. 457-464). Patronato de las Cuevas prehistóricas de Santander.

Ripoll, S., Baldellou, V., Muñoz, F. J., & Ayuso, P. (2001). La Fuente del Trucho (Asque-Colungo, Huesca). *Bolskan*, *18*, 211-224.

Ripoll, S., Baldellou, V., Muñoz, F. J., & Ayuso, P. (2005). La Fuente del Trucho (Asque-Colungo, Huesca, Espagne). *INORA: International Newsletter on Rock Art*, *42*, 8-11.

Ripoll, S., Bayarri, V., Castillo López, E., Latova-Fernández Luna, J., & Muñoz Ibáñez, F. J. (2021a). Una propuesta cronológica para la Cueva de El Castillo (Puente Viesgo, Cantabria), basada en su estratigrafía iconográfica. *BSAA arqueología*, 149-176. https://doi.org/10.24197/ba.0.2020.149-176

Ripoll, S., Bayarri, V., Muñoz, F. J., Ortega, R., Castillo, E., Latova, J., Herrera, J., Moreno-Salinas, D., & Martín, I. (2021b). Hands Stencils in El Castillo Cave (Puente Viesgo, Cantabria, Spain). An Interdisciplinary Study. *Proceedings of the Prehistoric Society*, *87*, 51-71. https://doi.org/10.1017/ppr.2021.11

Ripoll, S., Bayarri, V., Muñoz-Ibáñez, J. L., Gutiérrez, R., & Pecci, H. (2014). El arte rupestre de la cueva del Castillo (Puente Viesgo, Cantabria): unas reflexiones metodológicas y una propuesta cronológica. *Cien años de arte rupestre paleolítico: centenario del descubrimiento de la cueva de la Peña de Candamo (1914-2014)*, 155-169.

Rivero, O. (2015). *Art mobilier des chasseurs magdaléniens à la façade atlantique*. ERAUL.

Rivero, O., Garate, D., Salazar, S., & Intxaurbe, I. (2019a). The Cantabrian Lower Magdalenian striated hinds on scapulae: Towards a new definition of a graphic morphotype. *Quaternary International*, *506*, 69-79. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.01.037

Rivero, O., Ruiz-López, J. F., Intxaurbe, I., Salazar, S., & Garate, D. (2019b). On the limits of 3D capture: A new method to approach the photogrammetric recording of palaeolithic thin incised engravings in Atxurra Cave (northern Spain). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, *14*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00106

Rivero, O., Salazar, S., Mateo-Pellitero, A. M., Bustos, P. G., Garate, D., & Rios-Garaizar, J. (2022). To be or not to be: reassessing the origins of portable art in the Cantabrian Region

(Northern Spain). *Archaeological and Anthropological Sciences*, *14*(1), 18. https://doi.org/10.1007/s12520-021-01488-w

Robert, E. (2007). L'utilisation des reliefs pariétaux dans la réalisation des signes au Paléolithique supérieur. *L'Anthropologie*, *111*, 467-500. https://doi.org/10.1016/j.anthro.2007.07.004

Robert, E. (2012). Signes, parois, espaces. Modalités d'expression dans le Paléolithique supérieur ouest-européen. In J. Clottes (Éd.), *L'art pléistocène dans le monde. Actes du Congrès IFRAO, Tarascon-sur-Ariège, septembre 2010 : Symposium Signes, symboles, mythes et idéologie…* (p. 1941-1958). Société préhistorique Ariège-Pyrénées.

Robert, E. (2016). Le rôle du support dans la construction des images au sein de l'art paléolithique européen. In M. Groenen & M.-C. Groenen (Éds.), *Styles, techniques and graphic expression in rock art* (p. 174-195). BAR.

Robert, E. (2017). The role of the cave in the expression of prehistoric societies. *Quaternary International*, *432*, 59-65. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.11.083

Robert, E., Petrognani, S., & Lesvignes, E. (2016). Applications of digital photography in the study of Paleolithic cave art. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *10*, 847-858. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.07.026

Robert, E., Vigears, D., Melard, N., Paillet, P., Vialou, D., & Egels, Y. (2012). L'apport de la 3D dans l'art préhistorique: analyse et restitution del images et de leurs supports, exemples croisés des sites de Blanchard (La Garenne) et la Marche. *Archeologia e Calcolatori*, *3*, 339-354.

Rouillon, A. (2006). Au Gravettien, dans la grotte Cosquer (Marseille, Bouches-du-Rhône), l'Homme a-t-il compté sur ses doigts ? *L'Anthropologie*, *110*(4), 500-509. https://doi.org/10.1016/j.anthro.2006.07.003

Rouzaud, F. (1978). *La Paleospéléologie. L'homme et le milieu souterrain pyrénéen au Paléolithique supérieur*. Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales.

Ruiz-Redondo, A. (2010). Una nueva revisión del Panel de las Manos de la cueva de El Castillo (Puente Viesgo, Cantabria). *Munibe*, *61*, 17-27.

Ruiz-Redondo, A. (2014). *Entre el Cantábrico y los Pirineos: El conjunto de Altxerri en el contexto de la actividad gráfica magdaleniense.* Universidad de Cantabria.

Sadier, B. (2013). *3D et géomorphologie karstique: La grotte Chauvet et les cavités des Gorges de l'Ardèche*. Université de Grenoble.

SAEC. (1985). Avance de los trabajos en Muñorrodero. *Boletín cántabro de espeleología*, *6*, 99-104.

Sahly, A. (1966). *Le problème des mains mutilées dans l'art préhistorique*. Université de Toulouse.

Sakamoto, T., Pettitt, P., & Ontañon-Peredo, R. (2020). Upper Palaeolithic Installation Art: Topography, Distortion, Animation and Participation in the Production and Experience of Cantabrian Cave Art. *Cambridge Archaeological Journal*, *30*(4), 665-688. https://doi.org/10.1017/S0959774320000153

Sala, P., Bella, P., Postawa, T., Wróblewski, W., & Gradziński, M. (2023). Corrosion of carbonate speleothems by bat guano. *Sedimentary Geology*, *454*, 1-17. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2023.106454

Sánchez de la Torre, M., Utrilla, P., Montes, L., Domingo, R., Le Bourdonnec, F., & Gratuze, B. (2021). Characterizing the lithic raw materials from Fuente del Trucho (Asque-Colungo, Huesca): New data about Palaeolithic human mobility in north-east Iberia. *Archaeometry*, *63*(2), 247-265. https://doi.org/10.1111/arcm.12612

Sapir, E. (1927). The unconscious patterning of behavior in society. In C. M. Child, K. Koffka, J. E. Anderson, J. B. Watson, E. Sapir, W. I. Thomas, M. E. Kenworthy, F. L. Wells, & W. A. White (Éds.), *The unconscious: A symposium* (p. 114-142). Alfred A. Knopf. https://doi.org/10.1037/13401-006

Sauvet, G. (1993). La composition et l'espace orné. In N. Aujoulat, C. Barrière, R. Bégouën, J.-M. Bouvier, J. Clottes, M. Crémadès, M. Dauvois, V. Féruglio, J. Gaussen, M. Lorblanchet, Y. Martin, F. Rouzaud, D. Sacchi, & G. Sauvet (Éds.), *L'art pariétal paléolithique. Techniques et méthodes d'étude. Textes réunis pas le GRAPP* (p. 297-309). Comité des travaux historiques et scientifiques.

Sauvet, G. (2015). A la recherche du temps perdu. Méthodes de datations en art préhistorique. L'exemple des sites aurignaciens. *Palethnologie*, *7*, 210-225.

Sauvet, G. (2019). The lifeworld of hunter-gatherers and the concepts of territory. *Quaternary International*, *503*, 191-199.

Sauvet, G., & Sauvet, S. (1979). Fonction sémiologique de l'art pariétal animalier franco-cantabrique. *Bulletin de la Société préhistorique française*, *76*(10), 340-354. https://doi.org/10.3406/bspf.1979.5161

Sauvet, G., Sauvet, S., & Wlodarczyk, A. (1977). Essai de sémiologie préhistorique (Pour une théorie des premiers signes graphiques de l'homme). *Bulletin de la Société préhistorique française. Études et travaux*, *74*(2), 545-558. https://doi.org/10.3406/bspf.1977.8467

Sauvet, G., & Tosello, G. (1998). Le mythe paléolithique de la caverne. In G. Sauvet & F. Sacco (Éds.), *Le propre de l'homme - Psychanalyse et préhistoire* (p. 55-90). Delachaux et Niestlé.

Sepúlveda, M., Cabello, G., & Valenzuela R., D. (2016). Rock Art in Chile (2010-2014). In P. Bahn, N. Franklin, M. Strecker, & E. Devlet (Éds.), *Rock Art Studies: News of the World V* (p. 349-365). Archaeopress Publishing Ltd. https://doi.org/10.2307/j.ctvxrq0fv.32

Shackelford, L. L. (2007). Regional variation in the postcranial robusticity of Late Upper Paleolithic humans. *American journal of physical anthropology*, *133*(1), 655-668.

Sierp, I., & Henneberg, M. (2015). The Difficulty of Sexing Skeletons from Unknown Populations. *Journal of Anthropology*, *2015*, 1-13. https://doi.org/10.1155/2015/908535

Siffre, M. (1963). *Hors du temps: l'expérience du 16 juillet 1962 au fond du gouffre de Scarasson par celui qui l'a vécue*. FeniXX.

Simonet, A. (2012). Indices de contacts eurasiatiques au temps des Vénus gravettiennes. In M. Otte & F. Le Brun-Ricalens (Éds.), *Modes de contacts et de déplacements au Paléolithique eurasiatique* (Vol. 140, p. 603-622). ERAUL.

Simón-Vallejo, M. D., Cortés-Sánchez, M., Finlayson, G., Giles-Pacheco, F., Rodríguez-Vidal, J., Calle Román, L., Guillamet, E., & Finlayson, C. (2018). Hands in the dark: Palaeolithic rock art in Gorham's Cave (Gibraltar). *SPAL*, *27*(2), 15-28. https://doi.org/10.12795/spal.2018i27.14

Slowikowski, K. (2024). ggrepel: Automatically Position Non-Overlapping Text Labels with "ggplot2". In *https://CRAN.R-project.org/package=ggrepel*.

Snow, D. R. (2006). Sexual dimorphism in Upper Palaeolithic hand stencils. *Antiquity*, *80*(308), 390-404. https://doi.org/10.1017/S0003598X00093704

Snow, D. R. (2013). Sexual Dimorphism in European Upper Paleolithic Cave Art. *American Antiquity*, *78*(4), 746-761. https://doi.org/10.7183/0002-7316.78.4.746

Spaey, O., Arriolabengoa, M., Intxaurbe, I., Salazar, S., Torres, A., Irurtzun, A., & Garate, D. (2025). From archival historiography to 3D modelling: An accurate reconstruction of the Palaeolithic landscape in El Castillo Cave to explore the spatial dynamics of hand stencil dispersion. *Journal of Archaeological Science*, *177*, 106189. https://doi.org/10.1016/j.jas.2025.106189

Spaey, O., Garate, D., & Irurtzun, A. (2024). Space Analysis in Palaeolithic Cave Art: Towards a Multidisciplinary and Integrated Approach. *Journal of Archaeological Method and Theory*, *31*, 1803-1842. https://doi.org/10.1007/s10816-024-09655-8

Standish, C. D., Giraldo, H. C., Pettitt, P., Gómez, J. C. A., Milton, J. A., Diez, M. G., Hoffmann, D. L., Zilhão, J., & Pike, A. W. G. (2022). Encuadre cronológico: dataciones U/Th en la cueva de Maltravieso. *Arte rupestre paleolítico en la cueva de Maltravieso (Cáceres, España)*, 133-169.

Standish, C. D., Pettitt, P., Collado, H., Aguilar, J. C., Milton, J. A., García-Diez, M., Hoffmann, D. L., Zilhão, J., & Pike, A. W. G. (2025). The age of hand stencils in Maltravieso cave (Extremadura, Spain) established by U-Th dating, and its implications for the early development of art. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *61*, 104891. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2024.104891

Stone, A. J. (1995). *Images from the underworld: Naj Tunich and the tradition of Maya cave painting*. University of Texas Press.

Taçon, P. S. C. (1990). The power of place: cross-cultural responses to natural and cultural landscapes of stone and earth. In J. Vastokas (Éd.), *Perspectives of Canadian landscape: native traditions*. Robarts Centre for Canadian Studies.

Taçon, P. S. C., Tan, N. H., O'Connor, S., Xueping, J., Gang, L., Curnoe, D., Bulbeck, D., Hakim, B., Sumantri, I., Than, H., Sokrithy, I., Chia, S., Khun-Neay, K., & Kong, S. (2014). The global implications of the early surviving rock art of greater Southeast Asia. *Antiquity*, *88*(342), 1050-1064. https://doi.org/10.1017/S0003598X00115315

Tange, K., & Kawazoe, N. (1965). *Ise, prototype of Japanese architecture*. MIT Press (MA).

Thomas, J. (1993). The politics of vision and the archaeologies of landscape. In B. Bender (Éd.), *Landscape: politics and perspectives* (p. 19-48). Routledge.

Till, R. (2019). Sound Archaeology: A Study of the Acoustics of Three World Heritage Sites, Spanish Prehistoric Painted Caves, Stonehenge, and Paphos Theatre. *Acoustics*, *1*(3), 661-692. https://doi.org/10.3390/acoustics1030039

Tobin, J. E. (1952). Land tenure in the Marshall Islands. *Atoll Research Bulletin*.

Torres, A., Medina-Alcaide, M. Á., Intxaurbe, I., Rivero, O., Rios-Garaizar, J., Arriolabengoa, M., Ruiz-López, J. F., & Garate, D. (2024). Scientific virtual reality as a research tool in prehistoric archaeology: the case of Atxurra cave (northern Spain). *Virtual Archaeology Review*, *15*(31), 1-15.

Torres Riesgo, A. J., Ruiz Trujillo, A., Rodriguez Castro, E., Gomar Barea, A. M., Intxaurbe Alberdi, I., Spaey, O., Fernández-Navarro, V., Ramírez Ortíz, A., Arriolabengoa Zubizarreta, M., Sanchidrián Torti, J. L., Santos da Rosa, N., Medina Alcaide, M. Á., López Rodríguez, A., & Garate Maidagan, D. (2024). La Montera del Torero: un nuevo sitio de arte rupestre en Andalucía (Los Barrios, Cádiz). In M. García-Bustos & O. Rivero (Éds.), *Arte, simbolismo y sociedad en la Prehistoria. Nuevos descubrimientos, interpretaciones y métodos* (p. 61-65). Universidad de Salamanca.

Tsang, R., Katuk, S., May, S. K., Taçon, P. S. C., Ricaut, F., & Leavesley, M. G. (2023). Hand stencils and communal history: A case study from Auwim, East Sepik, Papua New Guinea. *Archaeology in Oceania*, *58*(1), 115-130. https://doi.org/10.1002/arco.5287

Tsang, R., Pleiber, W., Kariwiga, J., Plutniak, S., Forestier, H., Taçon, P. S. C., Ricaut, F.-X., & Leavesley, M. G. (2022). Rock art and long-distance prehistoric exchange behavior: a case study from Auwim, East Sepik, Papua New Guinea. *The Journal of Island and Coastal Archaeology*, *17*(3), 432-444.

Utrilla, P. (1994). Campamentos-base, cazaderos y santuarios. Algunos ejemplos del paleolítico peninsular. In J. A. Lasheras (Éd.), *Homenaje al Dr. Joaquín González Echegaray* (p. 97-113). Ministerio de Cultura.

Utrilla, P. (2005). El Arte Rupestre en Aragón. 100 Años después de Calapatá. In M. S. Hernández Pérez & J. A. Soler Díaz (Éds.), *Actas del Congreso de Arte Rupestre en la España Mediterránea. Alicante, 25-28 de octubre de 2004* (p. 341-378). Diputación Provincial de Alicante, Instituto Alicantino de Cultura Juan Gil-Albert, Caja de Ahorros del Mediterráneo.

Utrilla, P., Baldellou Martínez, V., Bea Martínez, M., Montes Ramírez, L., & Viñas i Vallverdú, R. (2014a). La cueva de la Fuente del Trucho (Asque-Colungo, Huesca). In R. Sala Ramos (Éd.), *Los cazadores recolectores del Pleistoceno y del Holoceno en Iberia y el Estrecho de Gibraltar: Estado actual del conocimiento del registro arqueológico* (p. 171-178). Universidad de Burgos y Fundación Atapuerca.

Utrilla, P., Baldellou, V., Bea, M., Montes, L., & Domingo, R. (2014b). La Fuente del Trucho. Ocupación, estilo y cronología. In M. S. Corchón & M. Menéndez (Éds.), *Cien años de arte rupestre paleolítico* (Numéro January, p. 119-132). Universidad Salamanca.

Utrilla, P., Baldellou, V., Bea, M., & Viñas, R. (2012). La cueva de la Fuente del Trucho (Asque-Colungo, Huesca). Una cueva mayor del arte gravetiense. In C. de las Heras, J. A. Lasheras, Á. Arrizabalaga, & M. de la Rasilla (Éds.), *Pensando el Gravetiense: nuevos datos para la región cantábrica en su contexto peninsular y pirenaico* (Vol. 23, p. 553-564). Museo Nacional y Centro de Investigación de Altamira.

Utrilla, P., & Bea, M. (2015). Fuente del Trucho, Huesca (Spain): Reading interaction in Palaeolithic art. In P. Bueno-Ramírez & P. G. Bahn (Éds.), *Prehistoric Art as Prehistoric Culture. Studies in Honour of Professor Rodrigo de Balbín-Behrmann* (p. 69-77). Archaeopress.

Utrilla, P., & Bea, M. (2022). Fuente del Trucho, grotte: Asque-Colungo, Huesca. In A. Averbouh, V. Feruglio, F. Plassard, & G. Sauvet (Éds.), *Bouquetins et Pyrénées: II Inventaire des représentations du Paléolithique pyrénéen* (p. 194-197). Presses Universitaires de Provence.

Utrilla, P., Bea, M., & Angás, J. (2015). La cueva de la Fuente del Trucho: un arte para ser visto. In H. Collado & J. J. García Arranz (Éds.), *Symbols in the Landscape: Rock Art and its Context, XIX International Rock Art Conference, ARKEOS* (Vol. 37, p. 1359-1366).

Utrilla, P., & Martínez-Bea, M. (2008). Sanctuaires rupestres comme marqueurs d'identité territoriale: sites d'agrégation et animaux «sacrés». *Préhistoire, Art et Sociétés: Bulletin de la Société Préhistorique Ariège-Pyrénées*, *63*, 109-133.

Utrilla, P., & Montes, L. (2007). El Paleolítico superior al sur de los Pirineos. Contactos entre fronteras. In N. Cazals, J. E. González Urquijo, & X. Terradas (Éds.), *Fronteras Naturales y Fronteras Culturales en los Pririneos Prehistóricos* (p. 205-223).

Utrilla, P., Montes, L., Bea, M., Domingo Martínez, R., & Angás, J. (2016). Fuente del Trucho: diez años de trabajos arqueológicos (2005-2015). In J. I. Lorenzo Lizalde & J. M. Rodanés Vicente (Éds.), *I Congreso CAPA, Arqueología patrimonio aragonés* (p. 35-45). Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y en Ciencias de Aragón.

Utrilla, P., Montes, L., Mazo, C., Alday, A., Rodanés, J., Blasco, F., Domingo, R., & Bea, M. (2010). El Paleolítico superior en la Cuenca del Ebro a principios del siglo XXI. Revisión y novedades. In X. Mangado (Éd.), *El Paleolítico superior peninsular. Novedades del siglo XXI. Homenaje a Javier Fortea* (p. 23-62). SERP.

Valladas, H., Cachier, H., Maurice, P., Bernaldo de Quirost, F., Clottes, J., Cabrera Valdés, V., Uzquiano, P., & Arnold, M. (1992). Direct radiocarbon dates for prehistoric paintings at the Altamira, El Castillo and Niaux caves. *Nature*, *357*(6373), 68-70. https://doi.org/10.1038/357068a0

Valladas, H., Quiles, A., Delqué-Kolic, E., Kaltnecker, E., Moreau, C., Pons-Branchu, E., Vanrell, L., Olive, M., & Delestre, X. (2017). Radiocarbon Dating of the Decorated Cosquer Cave (France). *Radiocarbon*, *59*, 1-13. https://doi.org/10.1017/RDC.2016.87

Van Gundy, J. J., & White, W. B. (2009). Sediment flushing in Mystic Cave, West Virginia, USA, in response to the 1985 Potomac Valley flood. *International Journal of Speleology*, *38*(2), 2.

Vandiver, P. (1983). *Paleolithic pigments and processing* [Master Science Thesis]. Massachusetts Institute of Technology.

Vaquero Turcios, J. (1995). *Maestros Subterráneos*. Celeste.

Verbrugge, A. R. (1970). La controverse des mains préhistoriques. *Anthropos*, *65*, 257-264. https://about.jstor.org/terms

Verbrugge, A. R. (1977). *Le symbole de la main dans la Préhistoire*. Verbrugge.

Vialou, D. (1986). *L'art des grottes en Ariège magdalénienne*. Editions du Centre national de la recherche scientifique.

Vialou, D. (2005). Territoires: sédentarités et mobilités. In D. Vialou, J. Renault-Miskovsky, & M. Patou- Mathis (Éds.), *Comportements des hommes du Paléolithique moyen et supérieur en Europe: territoires et milieux* (Vol. 111, p. 75-86). ERAUL.

Vialou, D. (2009). Dispositifs pariétaux. In M. Otte (Éd.), *La préhistoire* (p. 212-215). de Boeck.

Villeneuve, S. N. (2008). *Looking at caves from the bottom-up: a visual and contextual analysis of four Paleolithic painted caves in Southwest France (Dordogne)*. University of Victoria.

Villeneuve, S. N., & Hayden, B. (2007). Nouvelle approche de l'analyse du contexte des figurations pariétales. In S. A. de Beaune (Éd.), *Chasseurs-Cueilleurs* (p. 151-159). Ed. du Centre National de la Recherche Scientifique.

Viré, A. (1908). La Crozo de Gentillo ou Grotte de « Combe Cullier », commune de Lacave (Lot). *l'Anthropologie*, *19*(1-2), 409-424.

Waller, S. J. (1993a). Sound and rock art. *Nature*, *363*(6429), 501-501.

Waller, S. J. (1993b). Sound reflection as an explanation for the content and context of rock art. *Rock Art Research*, *10*(2), 91-101.

Walsh, G. L. (1979). Mutilated hands or signal stencils? A consideration of irregular hand stencils from central Queensland. *Australian Archaeology*, *9*(1), 33-41.

Wang, J. Z., Ge, W., Snow, D. R., Mitra, P., & Giles, C. L. (2010). Determining the sexual identities of prehistoric cave artists using digitized handprints: A machine learning approach. *MM'10 - Proceedings of the ACM Multimedia 2010 International Conference*, 1325-1332. https://doi.org/10.1145/1873951.1874214

Wernke, S., Kohut, L., & Traslaviña, A. (2017). A GIS of affordances: Movement and visibility at a planned colonial town in highland Peru. *Journal of Archaeological Science*, *84*, 22-39. https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.06.004

Wheatley, D. (2004). Making space for an archaeology of place. *Internet Archaeology*, *15*. https://doi.org/10.11141/ia.15.10

Wheatley, D., & Gillings, M. (2000). Vision, Perception and GIS: some notes on the development of enriched approaches to the study of archaeological visibility. *Nato Asi Series a Life Sciences*, *321*, 1-27.

Wheatley, D., & Gillings, M. (2002). *Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Applications of GIS.* Taylor & Francis.

White, R. (1993). *Préhistoire*. Edition Sud-Ouest.

White, R., Bosinski, G., Bourrillon, R., Clottes, J., Conkey, M. W., Rodriguez, S. C., Cortés-Sánchez, M., de la Rasilla Vives, M., Delluc, B., Delluc, G., Feruglio, V., Floss, H., Foucher, P., Fritz, C., Fuentes, O., Garate, D., González Gómez, J., González-Morales, M. R., González-Pumariega Solis, M., … Willis, M. D. (2020). Still no archaeological evidence that Neanderthals created Iberian cave art. *Journal of Human Evolution*, *144*, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2019.102640

Wickham, H. (2016). *Ggplot2: Elegrant graphics for data analysis*. Springer. https://ggplot2.tidyverse.org.

Wickham, H. (2023a). forcats: Tools for Working with Categorical Variables (Factors). In *https://CRAN.R-project.org/package=forcats*.

Wickham, H. (2023b). stringr: Simple, Consistent Wrappers for Common String Operations. In *https://CRAN.R-project.org/package=stringr*.

Wickham, H., Hester, J., & Bryan, J. (2024a). readr: Read Rectangular Text Data. In *https://CRAN.R-project.org/package=readr*.

Wickham, H., Pedersen, T. L., & Seidel, D. (2023). scales: Scale Functions for Visualization. In *https://CRAN.R-project.org/package=scales*.

Wickham, H., Vaughan, D., & Girlich, M. (2024b). tidyr: Tidy Messy Data. In *https://CRAN.R-project.org/package=tidyr*.

Wienhold, M. L., & Robinson, D. W. (2017). Gis in rock art studies. *The Oxford Handbook of the Archaeology and Anthropology of Rock Art*. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190607357.013.12

Wiessner, P. (1982). Beyond Willow Smoke and Dogs' Tails: A Comment on Binford's Analysis of Hunter-Gatherer Settlement Systems. *American Antiquity*, *47*(1), 171-178. https://doi.org/10.2307/280065

Wisher, I., Pettitt, P., & Kentridge, R. (2023a). The deep past in the virtual present: developing an interdisciplinary approach towards understanding the psychological foundations of palaeolithic cave art. *Scientific Reports*, *13*(1), 19009. https://doi.org/10.1038/s41598-023-46320-8

Wisher, I., Pettitt, P., & Kentridge, R. (2023b). Conversations with Caves: The Role of Pareidolia in the Upper Palaeolithic Figurative Art of Las Monedas and La Pasiega

(Cantabria, Spain). *Cambridge Archaeological Journal*, 1-24. https://doi.org/10.1017/S0959774323000288

Witelson, D. M. (2023). Performance theory: a growing interest in rock art research. *Time and Mind*, 1-29. https://doi.org/10.1080/1751696X.2023.2185539

Xiao, N. (2024). ggsci: Scientific Journal and Sci-Fi Themed Color Palettes for "ggplot2". In *https://CRAN.R-project.org/package=ggsci*.

Xie, Y., Allaire, J. J., & Grolemund, G. (2018). R Markdown: The Definitive Guide. In *https://bookdown.org/yihui/rmarkdown*.

Xie, Y., Dervieux, C., & Riederer, E. (2020). R markdown cookbook. Chapman and Hall/CRC. In *https://bookdown.org/yihui/rmarkdown-cookbook.*

Xu, S., Sirieix, C., & Marache, A. (2014). Modélisation géostatistique 3D des données de tomographie de résistivité électrique pour reconstituer le promontoire calcaire de Lascaux. *Conference: 9ème colloque GEOFCAN, Paris*, 1-4.

Yu, G. (2023). ggimage: Use Image in "ggplot2". In *https://CRAN.R-project.org/package=ggimage*.

Zilhão, J., & d'Errico, F. (2003). The chronology of the Aurignacian and Transitional technocomplexes. Where do we stand? In J. Zilhão & F. d'Errico (Éds.), *The Chronology of the Aurignacian and of the transitional technocomplexes. Dating, Stratigraphies, Cultural Implications. Symposium 6.1 of the XIVth Congress of the UISPP.* (p. 313-348). Université de Liège.

Zorzi, F. (1964). Palaeolithic discoveries in the grotta Paglicci. *Antiquity*, *38*(149), 38-44.

Zotkina, L. V., & Miklashevich, E. A. (2016). Traceological analysis of the minusinsk style petroglyphs at the Oglakhty VI rock art site (Khakasia). *Vestnik NSU*, *15*(5), 31-43.



LISTE DES FIGURES

10. Liste des figures

Figure 1. Répartition du *corpus* de mains négatives du Paléolithique récent en Europe occidentale (chaque icône représente la présence d'au moins une main négative dans la grotte ou l'abri en question). **1**. Altamira, **2**. Archambeau, **3**. Arcy-sur-Cure (Grande Grotte), **4**. Ardales, **5**. Bernifal, **6**. Beyssac, **7**. Bison, **8**. El Castillo, **9**. Chauvet, **10**. Combarelles, **11**. Combe-Nègre I, **12**. Cosquer, **13**. El Cudón, **14**. Gouffre d'Emilie, **15**. Erberua, **16**. Las Estrellas, **17**. Les Fieux, **18**. Font de Gaume, **19**. Fuente del Salín, **20**. Fuente del Trucho, **21**. Gargas, **22**. La Garma, **23**. Gorham, **24**. Labattut, **25**. Las Palomas IV, **26**. Maltravieso, **27**. Margot, **28**. Les Merveilles, **29**. La Montera del Torero, **30**. Moulin de Laguenay, **31**. Paglicci, **32**. Pech-Merle, **33**. Abri du Poisson, **34**. Roc de Vézac, **35**. Roucadour, **36**. Tibiran, **37**. Tito Bustillo, **38**. Les Trois-Frères et **39**. Vilhonneur. 24

Figure 2. Os d'oiseaux (possibles aérographes) de la grotte d'Altamira dans lesquels furent détectées des traces de pigment rouge. 32

Figure 3. Résultats finaux de chaque technique du processus expérimental (Fernández-Navarro et al., 2025b). 35

Figure 4. Détail du halo des techniques convaincantes, selon notre processus expérimental (Fernández-Navarro et al., 2025b). **A**. Aérographe (effet venturi) (technique L). **B**. Projection buccale directe (technique N). **C**. Projection de pigments secs, 1 tube sur mur humide (technique K). **D.** Projection de pigments secs, 1 tube sur mur sec (technique M). 36

Figure 5. Main négative de la grotte de Fuente del Salín (Cantabrie) (© *GIM Geomatics*) dont l'application semble différente de ses congénères. Celle-ci pourrait en effet avoir été réalisée par application de pigment par tamponnage frotté plutôt que par projection (Moure Romanillo et al., 1985). 37

Figure 6. Plaquette en grès et hématite de Combe Cullier (Lot) d'après White (1993). 38

Figure 7. Procédure de réalisation d'une main négative effectuée à l'air libre durant la campagne d'expérimentation, capturée au moment où la main ayant servi de pochoir est de la même couleur que la paroi colorée alentour. 45

Figure 8. Structure de la grotte des Trois-Frères selon Leroi-Gourhan (1965). 49

Figure 9. *Disposition idéale d'un sanctuaire paléolithique* selon Leroi-Gourhan (1965). 54

Figure 10. Coordonnées cartésiennes de l'espace. 55

Figure 11. Grotte de Nerja (Málaga, Spain), Salle du Cataclysme (© A. J. Torres Riesgo). On peut se représenter les dimensions de la salle grâce à la présence des chercheurs vêtus de jaune. 59

Figure 12. Distribution des mains négatives sur base du plan de la cavité. 67
Figure 13. Répartition géographique du *corpus* en fonction de la distribution des mains sur le plan de la cavité. 67
Figure 14. Distribution des mains négatives par rapport au cheminement dans la cavité. 69
Figure 15. Répartition géographique du *corpus* en fonction de la distribution des mains négatives par rapport au cheminement dans la cavité. 70
Figure 16. Comparaison entre le plan et des images 3D de la grotte d'El Castillo (Cantabrie, Espagne) (© Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno de Cantabria), où s'illustre bien la plus grande proximité entre notre expérience dans la visite d'une cavité et la visite tridimensionnelle de celle-ci (C), par rapport à l'illustration classique de son plan (A). **A**. Plan. **B**. Vue de l'objet 3D en perspective zénithale. **C**. Vue depuis l'intérieur de l'objet 3D (ici en deux dimensions, mais disponible en ligne sous forme d'objet 3D). 73
Figure 17. Organigramme des tâches proposées dans ce paradigme de recherche intégrative. 74
Figure 18. Grotte d'Etxeberri (Pyrénées-Atlantiques, France), Reconstruction graphique d'une corniche avec un cheval noir et des taches rouges, une zone à haut risque (© D. Garate & M. Medina-Alcaide). 77
Figure 19. Structures dans le secteur IV de la grotte de La Garma (Cantabrie, Espagne) (© P. Saura). 78
Figure 20. Utilisation expérimentale de torches dans la grotte laboratoire d'Isuntza (Lekeitio, Espagne) par l'équipe de Pregraphity (© A. J. Torres Riesgo). 81
Figure 21. Photographie de l'état du *Plafond des Polychromes* d'Altamira en 1936, où l'on peut observer que le sol n'avait pas encore été rabaissé à cet endroit (© *Frobenius Institute*). 86
Figure 22. Croquis sur photographies du processus de documentation des modifications anthropiques observées dans la grotte d'El Castillo. **A.** Zone du *Carrefour*. **B.** *Salle A*. **C.** Zone entre la S*alle A* et la *Galerie des Disques*. **D.** *Galerie des Disques*. 88
Figure 23. Utilisation de l'appareil *DISTOX2* pour la géolocalisation des figures de mains négatives. **A**. Photo de l'appareil en utilisation. **B**. Capture d'écran du logiciel *TopoDroid* où l'on peut distinguer la position des mains 71, 72, 73 et 76 de la *Galerie des Mains* d'El Castillo depuis un point de base zéro. 91
Figure 24. Capture d'écran du logiciel *VisualTopo* où l'on peut voir un exemple de coordonnées relatives d'une série d'unités graphiques et leur situation en coupe et en projection. 92
Figure 25. Captures d'écran du processus de géolocalisation du modèle photogrammétrique du *Plafond des Mains* de la grotte d'El Castillo à l'aide du logiciel *Metashape*® d'*Agisoft*® et du logiciel *SCENE LT*® de *Faro*®. Les reliefs spécifiques permettant une identification précise

sont retrouvés sur le logiciel *SCENE LT*® (à droite), qui fournit des coordonnées, ensuite insérées par la création de points de référence sur *Metashape*®. 94
Figure 26. Captures d'écran du processus de géolocalisation des mains de la grotte de Fuente del Salín à l'aide du logiciel *Metashape*® d'*Agisoft*®. **A**. Localisation des mains négatives à l'aide de la texture. **B**. Distribution des coordonnées sur le modèle 3D général de zone ornée. 95
Figure 27. Rendu à travers le programme *Blender*® de la reconstruction de l'état paléolithique de la grotte d'El Castillo, où on peut voir à gauche l'insertion de la zone du *Carrefour*, capturée par LiDAR, dans le modèle général modifié (en blanc), avec au fond le *Plafond des Mains*, capturé par photogrammétrie. 96
Figure 28. Documentation du processus de modification du modèle 3D via *Blender*® sur la base des notes recueillies dans la grotte d'El Castillo, suite à l'analyse géomorphologique. **A**. Capture d'écran où les éléments ajoutés par modification anthropiques ont été sélectionnés en bleu**.** **B**. Photographie de la zone sélectionnée en pointillés, où sont annotés en orange différents éléments : **a**. Ajouts modernes de « faux » spéléothèmes. **b**. Détail du niveau présumé du sol paléolithique identifié lors de l'analyse géomorphologique. 97
Figure 29. Modification du modèle 3D de la *Galerie des Disques* de la grotte d'El Castillo *via* le logiciel *Blender*® sur la base des informations recueillies dans la grotte. **A.** Zones colorées à modifier. **B**. Zones modifiées colorées. **C.** État de la grotte au Paléolithique selon les informations collectées. **D.** Photographie de l'état actuel de la cavité. 98
Figure 30. Illustration du processus de sélection de sol dans la grotte de Fuente del Trucho. **A**. Entièreté du modèle 3D avec le sol sélectionné en orange. **B**. Vue détaillée d'un tronçon de la grotte avec le sol sélectionné. 99
Figure 31. Exemple de sélection des plafonds intermédiaires (en mauve) dans la *Galerie des Disques* de la grotte d'El Castillo (vue aérienne). 100
Figure 32. Exemples de cartes de l'analyse spatiale illustrant des *bugs* dûs à la lourdeur du processus, dans la grotte d'El Castillo. **A**. Carte des pentes de la cavité. **B**. Même carte des pentes, où la partie proche de l'entrée n'a pas été bien gérée par le programme. **b)** Détail de la partie défaillante, *pixellisée*. **C**. Carte des *Hauteurs* de la cavité. **D**. Même carte, où les flèches indiquent des zones défaillantes. **E**. Shapefile de la grotte en 3D. **F**. Même fichier, avec des zones n'ayant pas été bien restituées lors de sa création. **a)** Détail de ces zones déficientes. 102
Figure 33. Exemple de résultats de l'analyse spatiale obtenus avec les SIG pour Fuente del Salín. **A**. Fichier raster du sol d'une partie de la grotte, sur lequel sont positionnés différents shapefiles : les mains négatives de la cavité, la position estimée de l'exécutant pour la main 18,

le *Least Cost Path* vers celle-ci et ses zones de visibilité en fonction des positions du public (couché, accroupi ou debout). **B**. Tableau des attributs de l'entièreté des mains obtenu par l'analyse générale de celles-ci. 107
Figure 34. Exemples des propositions de représentations spatiales dépassant la 2D présentées par Sauvet (1993). **A**. Vue en élévation de la grotte de La Pasiega (Cantabrie, Espagne) (d'après González García, 1987). **B**. Perspective axonométrique de La Croze-à-Gontrand (Dordogne, France) (d'après Delluc et al., 1983). 115
Figure 35. **A**. Exemple d'une faille de géolocalisation d'une main négative de la grotte d'El Castillo, qui apparaît derrière la paroi à cause d'un manque de précision de sa géolocalisation sur le modèle 3D. **B**. Exemple d'une modification de la localisation d'une main négative de la grotte de Fuente del Salín. **a**. Position de main 01 avant modification, située derrière la paroi. **b**. Position de la même main après modification de ses coordonnées de 5 cm sur l'axe *y* et 5 cm sur l'axe *z* nécessaire pour la faire passer de l'autre côté de la paroi. **C**. Illustration de l'application de l'analyse à une main située derrière la paroi. En mauve, on peut observer les *Lines of Sight*, déployées en dehors du modèle. 119
Figure 36. Capture d'écran du logiciel *Agisoft Metashape*® où l'on peut observer cinq mains négatives « flottant » dans l'objet 3D, suite à une erreur de manipulation des données recueillies avec le *DistoX2* lors de leur traitement avec le logiciel *Visual Topo*. 121
Figure 37. Captures d'écran de *Blender*® où on peut observer que le programme n'arrive pas à visualiser correctement le fichier 3D, la photogrammétrie du *Plafond des Mains* d'El Castillo, à cause de ses coordonnées trop longues. **A**. Le modèle apparaît dans sa forme générale mais de façon fragmentée. **B**. Le modèle est complètement démantibulé. 122
Figure 38. Capture d'écran du programme *CloudCompare* qui propose une soustraction des coordonnées en *x* et en *y* pour pouvoir gérer le modèle sans problème. Lors de l'enregistrement, le programme offre la possibilité de remettre automatiquement les coordonnées d'origine. 123
Figure 39. Captures d'écran des modèles tridimensionnels colorés, qui illustrent les modifications effectuées lors du remodelage vers l'état paléolithique. **A**. El Castillo, *Galerie E*. **B**. Fuente del Trucho, entrée. **C**. Fuente del Salín, vue du secteur le plus densément décoré avec le foyer excavé. 125
Figure 40. QR Codes permettant d'accéder aux plateformes en ligne de stockage de données de ce travail, https://sketchfab.com/olgaspaey et https://osf.io/e4py8. 126
Figure 41. **A**. Carte du sud-est de l'Europe où est indiquée la position de la grotte d'El Castillo (source: https://ec.europa.eu/eurostat/). **B**. Vue aérienne des environs, avec la colline du Mont Castillo au premier plan (source: Google Earth). **C**. Carte de la grotte d'El Castillo avec

indication des secteurs traditionnels (carte de base de *GIM Geomatics*, © *Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno de Cantabria*)..... 136
Figure 42. **A**. Porche d'entrée de la grotte d'El Castillo dans son état actuel (2024), où l'on peut distinguer sur la gauche la puissante stratigraphie du gisement archéologique. **a)** Photo d'archive (© *Diario Montañés*) des fouilles de 1910-1914 de la même zone, au début des travaux d'excavation. La ligne en pointillés indique le niveau de sol le plus haut, précédant les fouilles..... 137
Figure 43. Vue du *Plafond des Mains* de la grotte d'El Castillo. 139
Figure 44. Exemples de biches striées gravées sur omoplates de la grotte d'El Castillo. **A**. Relevé d'après Rivero et al. (2019). **B**. Relevé d'après Fernandez-Lombera (2003), figure 44. **C**. Relevé d'après Fernandez-Lombera (2003), figure 81. **D**. Relevé d'après Breuil & Obermaier (1912). **E**. El Castillo (relevé d'après Rivero et al., 2019). **F**. El Castillo (© Museo de Arqueología Nacional, Consejería de Cultura y Deporte). **G**. Relevé et photo d'après Fernandez-Lombera (2003), figure 91. 140
Figure 45. Galet gravé figurant un possible félin provenant du gisement archéologique de la grotte d'El Castillo. Relevé d'après Rivero et al. (2022). 141
Figure 46. Carte géomorphologique de la grotte d'El Castillo (auteurs : M. Arriolabengoa, O. Spaey, I. Intxaurbe & D. Garate. Base topographique : *GIM Geomatics*). 142
Figure 47. **A**. Carte du sud-est de l'Europe où est indiquée la position de la grotte de Fuente del Trucho (source : https://ec.europa.eu/eurostat/). **B**. Vue aérienne des environs (source: Google Earth). **C**: Carte de la grotte-abri de Fuente del Trucho..... 143
Figure 48. Vue de l'entrée de Fuente del Trucho. La cavité se développe à partir de la zone de rétrécissement située dans la grande zone d'ombre de la photo. 144
Figure 49. Localisation des sondages archéologiques et des zones ornées de Fuente del Trucho (image modifiée d'après Utrilla *et al.* (2014)). **A**. Plan du sol avec situation des fouilles de Mir (1979-1986) en vert, celles d'Utrilla et Montes (2005), dans les zones au pied des gravures et au pied des peintures et en bleu celles d'Utrilla *et al.* (2014 et 2016) au pied des gravures. **B**. Plafond orné avec la localisation des peintures. 145
Figure 50. Mains négatives rouges aux doigts manquants de Fuente del Trucho. 146
Figure 51. Zone de sol ornée de Fuente del Trucho, dans un secteur séparé de celui des figurations peintes du plafond. 147
Figure 52. Chevaux, lignes des points et signe trilobé peints en rouge sur le plafond de la grotte de Fuente del Trucho. Photographie traitée avec le plug-in *DStretch*® pour le programme *ImageJ*® en utilisant le spectre de couleur synthétique *lre* pour rehausser la couleur rouge. 147

Figure 53. **A**. Carte du sud-est de l'Europe où est indiquée la position de la grotte de Fuente del Salín (source : https://ec.europa.eu/eurostat/). **B**. Vue aérienne des environs (source : Google Earth). **C**. Carte de la grotte de Fuente del Salín. 151
Figure 54. Entrée actuelle de la grotte de Fuente del Salín. **A**. Entrée sèche, en août 2024. **B**. Entrée où l'on peut voir que le conduit d'entrée est entièrement sous eau, en juillet 2025… 152
Figure 55. Vue du sol dans la zone ornée, composé en surface d'une couche de sédiments fins et sableux. 152
Figure 56. Vue du sondage archéologique de la salle ornée, recouvert par une bâche de protection. On peut distinguer plusieurs mains négatives sur les parois alentour. 153
Figure 57. Vue de l'entrée paléolithique présumée, aujourd'hui bouchée par un éboulement. 153
Figure 58. Topographie de la grotte de Fuente del Salín avec indication de la zone de fouilles, d'une partie des motifs et de l'entrée originale présumée, d'après Moure Romanillo et González Morales (2008). 154
Figure 59. Motif rouge abstrait situé sur une colonne dans une partie profonde de la grotte de Fuente del Salín. 156
Figure 60. Motif rouge abstrait situé sur une colonne dans une partie profonde de la grotte de Fuente del Salín. Capture LiDAR de différents points de vue (© M. González Morales). ... 156
Figure 61. Exemple de traces de pigment rouge « frotté » dans les environs du motif abstrait. 157
Figure 62. Autres traces de pigment rouge « frotté » dans les environs du motif abstrait, accompagnées de deux lignes rouges frottées. 157
Figure 63. Photographie du Mont Castillo prise lors de la campagne de 1936 (© Frobenius Institute). La flèche indique l'entrée de la grotte d'El Castillo. 164
Figure 64. **A.** Photographie de l'état actuel de l'entrée de la cavité, où la flèche indique la seconde entrée actuellement fermée. **B.** et **C.** Captures du logiciel *SCENE LT*® où la flèche indique la même zone, et où l'on distingue les détails du dessin du remplissage artificiel. **D.** Capture *Blender*® (vue zénithale) du modèle 3D en processus de modification, avec la recréation des axes de la structure générale du tunnel obturé (en orange). **E.** Capture *Blender*® (vue zénithale) de la suite du processus, avec le remplissage des parois sans modelage (en orange). **F.** Capture *Blender*® (vue zénithale) du tunnel d'entrée reconstruit et modelé (en orange). **G.** Capture *Blender*® où la flèche indique l'entrée reconstituée, vue depuis le haut de la *Salle A* 166

Figure 65. Croisement de données par rapport à la troisième entrée de la grotte d'El Castillo. **A**. Photographie ancienne de l'entrée lors de la campagne de fouilles de 1913 (d'après Lanzarote Guiral, 2011 © *Institut de Paléontologie Humaine*). La flèche blanche indique l'entrée moustérienne. **B**. Photo actuelle avec une flèche indiquant l'emplacement de l'entrée aujourd'hui fermée. **C**. Indication des niveaux de fouille selon Bernaldo de Quirós et al. (2015). Le niveau 14 correspond à un niveau gravettien (29.600 ± 180 BP non calibré et 33.938 ± 282 BP calibré), appelé *Aurignacien beta* dans la fouille d'Obermaier (Bernaldo de Quirós et al., 2010) et le niveau 20 au Moustérien (43.300 ± 3800 BP) (Cabrera Valdés et al., 2004). **D**. Relevé stratigraphique de la fouille d'El Castillo dessiné par Hugo Obermaier à la fin de la campagne de 1912 (d'après Lanzarote Guiral, 2011 © *Institut de Paléontologie Humaine*). **a)** Entrée moustérienne, située dans le *Moustérien a*. **b)** Niveau *Aurignacien beta* correspondant au niveau 14 du Gravettien d'après Bernaldo de Quirós et al. (2010). **E**. Capture *Blender*® du modèle 3D où la flèche indique la fin de la *Galerie gravettienne*, qui était probablement connectée à l'entrée du Moustérien. **F**. Capture *Blender*® du modèle 3D sous un autre angle, où la flèche blanche, indiquant la même zone, montre que la galerie du Gravettien mène à la hauteur de son entrée sur les images d'archives. 168

Figure 66. **A.** Photographie de la *Galerie gravettienne* en 1936 (© *Frobenius Institute*). **B.** Photographie de l'état actuel de la même zone, où l'on peut observer d'importantes modifications du sol. **C.** Photographie d'une autre partie de la *Galerie gravettienne* en 1936 (© *Frobenius Institute*). **D.** Capture du logiciel *SCENE LT*® de la même zone où l'on peut également observer des modifications au niveau du sol. 169

Figure 67. Photographie de la *Salle A* depuis l'entrée de la cavité en 1936 (© *Frobenius Institute*). 170

Figure 68. **A**. Photographie d'un faux plafond de coulée stalagmitique dans le fond du *Diverticule de la Salle A*, identifié par l'analyse géomorphologique. **B**. Capture *Blender*® du processus de modification des éléments d'ajouts anthropiques liés à l'adaptation au tourisme. En orange, sélection d'une partie des éléments à modifier. **C**. Capture *Blender*® de la même zone vue d'en haut où ces éléments ont été supprimés. **D**. Capture *Blender*® de la même zone reconstruite par des polygones avant modelage. **E**. Capture *Blender*® où est sélectionnée en orange une structure de lumières à supprimer. **F**. Même zone après modification. **G**. Vue d'un segment de la *Salle A* avec mise en couleur des éléments à modifier. 171

Figure 69. **A**. Photographie ancienne de la zone devant le *Panneau des Polychromes* de 1936 (© *Frobenius Institute*) **B**. Photographie actuelle du même endroit, montrant le nettoyage du sol et les modifications anthropiques (escaliers et spéléothèmes ajoutés artificiellement).

C. Photographie (plan plus large) du même endroit des *Cavernes de la Région Cantabrique* (1911). **D**. Autre photographie de la même zone de l'expédition du *Frobenius Institute* de 1936. Photographie d'une vue du même endroit, en vision inverse, avec le *Panneau des Polychromes* dans le dos, en direction de la *Salle A*, des *Cavernes de la Région Cantabrique* (1911). **E**. Photographie actuelle du même endroit. On peut y observer par comparaison les modifications effectuées au niveau du sol et les apports de structures pour l'implémentation de lumière artificielle. 172

Figure 70. **A.** et **B.** Photographies du *Plafond des Mains* tel qu'il était en 1936 (© *Frobenius Institute*). **C.** Capture *Blender*® du modèle 3D de la cavité avec, en bleu, les zones à modifier. **D.** Note de terrain montrant, en orange, le niveau ancien du sol identifié lors de l'analyse géomorphologique, ainsi que des structures artificielles à supprimer. 173

Figure 71. **A.** Photographie d'une vue du *Carrefour* depuis le *Plafond des Mains* en 1936 (© *Frobenius Institute*). **B.** Photographie actuelle de la même zone où l'on peut observer par comparaison les nombreux changements ayant eu cours. **C.** Vue plus rapprochée du carrefour durant l'expédition du *Frobenius Institute* de 1936. **D.** Vue actuelle de la même zone, où se distingue particulièrement la fragmentation et la perte d'éléments de la cascade stalagmitique, qui par ailleurs fut utilisée comme support pour plusieurs gravures paléolithiques. **E.** Fusion des deux images antérieures pour illustrer au mieux les changements spatiaux. 174

Figure 72. **A.** Vue de la *Salle du Chaos* où les flèches indiquent des blocs de plafond effondrés antérieurement à la modification anthropique de la cavité durant le 20ème siècle, identifiés par l'analyse géomorphologique. **B.** Capture du logiciel *SCENE LT* d'une vue depuis le haut de la *Salle du Chaos*. La flèche indique une sphère placée lors du processus de scan. **C.** Vue du même endroit dans le logiciel *Blender*® où la flèche indique ladite sphère (en bleu). **D.**, **E.** et **F.** Notes de terrain des ajouts anthropiques à modifier dans la *Salle du Chaos*. 175

Figure 73. *Toboggan*, panneau des signes campaniformes. Les flèches indiquent des vestiges d'anciens sols de la cavité identifiés par l'analyse géomorphologique. 176

Figure 74. **A**. Photographie de la *Salle B* en 1936 (© *Frobenius Institute*). **B.** Photographie actuelle de la même zone. 178

Figure 75. *Salle B*. **A**. Photographie du tunnel entre la *Salle B* et la *Salle C* en 1936 (© *Frobenius Institute*). **B**. Photographie de l'état actuel de la même zone, avec repère sur la hauteur du sol ancien. **C**. Photographie d'un détail du côté gauche du tunnel entre la *Salle B* et la *Salle C* en 1936 (© *Frobenius Institute*). **D**. Photographie d'un détail du côté droit de ce tunnel, à droite de l'escalier passant par-dessus le tunnel sur la droite, visible en B. 179

Figure 76. Notes de terrain relatives aux modifications anthropiques modernes dans la *Salle C*. 180
Figure 77. **A**. *Salle D*, les flèches indiquent les structures anthropiques historiques pour l'aménagement de la grotte au tourisme, identifiés par l'analyse géomorphologique. **B.** et **D.** Détail de quelques exemples de structures anthropiques telles qu'elles apparaissent dans le modèle tridimensionnel. **C.** et **E.** Mêmes structures identifiées en bleu pour modification. . 181
Figure 78. Modification du modèle 3D via le logiciel *Blender*® en fonction des informations recueillies dans la grotte. **A.** Photographie de l'état actuel du passage entre la *Salle D* et la *Galerie des Disques*. **B**. Photographie du même endroit des *Cavernes de la Région Cantabrique* (1911), avant les modifications anthropiques. **C**. Zones colorées à modifier. **a)** Sphère laissée par le processus de balayage laser. **b)** Colonne mal formée pendant le processus de maillage du balayage. **c)** Construction moderne dissimulant un système d'éclairage. **d)** Escaliers. **e)** Câbles semi-enterrés. **f)** Sphère laissée par le processus de balayage laser. **g)** Construction moderne dissimulant un système d'éclairage. **D**. État de la grotte au Paléolithique d'après les informations recueillies. 182
Figure 79. Situation d'un cheval rouge de la *Galerie des Mains* situé proche du sol. Le carré en pointillés (**a**) situe et détaille la figure (relevé : O. Spaey, d'après la photo de Laborie). 183
Figure 80. Croisement d'informations pour la détermination du niveau du sol de la *Galerie des Mains*. **A.** *Galerie des Mains*, plancher stalagmitique actuel avec des gours, actifs et en formation, identifiés par l'analyse géomorphologique. **B.** Stratigraphie du terrain où la flèche blanche indique un premier niveau constitué par une importante formation de spéléothèmes, probablement Holocène. **C.** Photographie d'une zone ornée de mains négatives proches du sol, où est soulignée une zone de la paroi proche du sol où se trouvent des traces de pigment rouge. **D**. Détail des traces de pigment rouge sur le mur, au niveau du sol, indiquant une élévation du niveau de celui-ci. **a)** Sol de coulée stalagmitique. **b)** Pigment rouge, que l'on peut mieux apprécier dans le rectangle où il a été traité avec le plug-in *DStretch*® pour le programme *ImageJ*® en utilisant le spectre de couleur synthétique *yrd* pour rehausser la couleur rouge. **E.** Photographie du même endroit avec une ligne au niveau présumé du sol paléolithique. **F.** Capture *Blender*® où l'on peut voir un cube de 10 cm utilisé comme échelle pour sculpter le modèle 3D. 184
Figure 81. **A.** Photographie de la *Galerie des Disques* en 1936 (© *Frobenius Institute*). Le sol de cette zone, modifié, est aujourd'hui totalement plat. **B.** *Galerie des Disques*, sillons subhorizontaux formés pendant la période où la rivière était active à l'intérieur de la grotte, identifiés par l'analyse géomorphologique. 185

Figure 82. **A.** Photographie du passage entre la *Salle D* et la *Galerie des Disques* en 1911 (© *Les Cavernes de la Région Cantabrique*). **B.** Photo actuelle de la même zone. Les flèches indiquent les éléments de changement. **C.** Photographie de la *Galerie des Disques* en 1911 (© *Les Cavernes de la Région Cantabrique*). **D.** Photo actuelle de la même zone. On observe dans cette zone que le sol n'a pas subi de grands changements dans ce tronçon. 186
Figure 83. **A.** Capture *Blender*® d'une vue de la *Galerie des* Disques où les éléments à modifier ont été mis en couleur..... 186
Figure 84. *Galerie des Disques.* **A**. Note de terrain identifiant des éléments d'apport anthropique. **B**. Capture *Blender*® où les éléments en question furent mis en couleur. **C**. Capture *Blender*® de l'état du modèle après modelage. **D**. Capture *Blender*® de l'état du modèle après l'application d'un effet *smooth* pour adoucir les angles des zones modifiées. 187
Figure 85. **A.** Photographie ancienne de la colonne dite *Pied d'éléphant* située entre la *Galerie des Disques* et la *Salle Finale* (© *Les Cavernes de la Région Cantabrique,* 1911) On voit que sa base est proche du sol, mais en suspension dans l'air. **B.** Photographie du même endroit en 1936 (© *Frobenius Institute*) **C.** Photographie actuelle du même endroit, où l'on peut observer que le sol paraît légèrement plus bas, probablement en raison des travaux du 20ème siècle pour l'ouverture touristique de la grotte. **D.** Photographie de la *Salle Finale* en 1911 (© *Les Cavernes de la Région Cantabrique*). La flèche indique des concrétions aujourd'hui manquantes. **E.** Vue actuelle de la même zone où les flèches indiquent une concrétion endommagée et des structures artificielles d'illuminations. **F.** et **G.** Notes de terrain mettant en évidence, en orange, les structures artificielles. 188
Figure 86. *Tréfonds*, vue des surfaces de sol gravées (délimitées par des bandes de marquage rouges et blanches), qui attestent que le sol est égal à son état au Paléolithique dans ces zones. Autour, cependant, se situent diverses fouilles « sauvages », repérables à la couleur plus claire du sol à ces endroits. 189
Figure 87. Cheval entier du *Tréfonds*, gravé sur le sol. **A**. Photographie. **B**. Relevé (O. Spaey). Deux séries de tracés parallèles lui sont directement juxtaposées. 190
Figure 88. Localisation des mains négatives sur le modèle 3D de la grotte d'El Castillo. 191
Figure 89. Captures d'écran du processus de géolocalisation des mains situées sur le *Plafond des Mains* de la grotte d'El Castillo à l'aide du logiciel *Metashape*® d'*Agisoft*®. **A**. Traitement du modèle photogrammétrique. **B**. Localisation des mains négatives à l'aide de la texture obtenue et ensuite traitée avec le plug-in *DStretch*® pour le programme *ImageJ*® en utilisant le spectre de couleur synthétique *yds*. **C**. Distribution des coordonnées obtenues avec *DISTOX2* et la photogrammétrie dans le modèle 3D général de la cavité. 192

Figure 90. Orthophotographie obtenue à partir du modèle photogrammétrique du *Plafond des Mains*. 193
Figure 91. Orthophotographie obtenue à partir du modèle photogrammétrique du *Plafond des Mains*, traité avec le avec le plug-in *DStretch*® pour le programme *ImageJ*® en utilisant le spectre de couleur synthétique *yds* pour rehausser la couleur rouge, avec indication de la numérotation des 44 mains présentes dans cet espace. 193
Figure 92. **A**. Histogramme de la difficulté d'accès aux motifs. **B**. Histogramme de la longueur du chemin depuis l'entrée de la cavité. Les deux présentent des valeurs assez condensées entre elles, correspondant à un accès aisé aux mains négatives. 203
Figure 93. Valeurs de difficulté d'accès (**A**) et de longueur du chemin depuis l'entrée de la cavité (**B**) pour toutes les mains négatives de la grotte d'El Castillo. Les lignes noires en pointillé représentent la moyenne et la médiane de l'ensemble. 203
Figure 94. **A**. Plan illustrant la difficulté d'accès dans la grotte, en fonction de la progression à l'intérieur de la cavité. **B**. Plan montrant les niveaux de difficulté d'accès en fonction de la pente du sol. 204
Figure 95. Illustration des zones les plus escarpées de la grotte d'El Castillo en lien avec les représentations de mains. On peut observer que ces espaces ne présentent pas d'escarpements qui pourraient présenter un danger pour les artistes ou l'assistance. 205
Figure 96. Visibilité totale (*y*) pour chaque main négative (*x*). Les couleurs représentent la zone catégorisée dans laquelle ils se trouvent. La moyenne et la médiane sont superposées du fait de leur forte proximité. Y sont ajoutées les valeurs de visibilité de deux motifs supplémentaires, un cheval acéphale et une tête de bison qui seront présentées dans la section 6.4. 206
Figure 97. Histogramme de la visibilité totale des mains négatives de la grotte d'El Castillo. 207
Figure 98. Visibilité des mains négatives de la grotte d'El Castillo. Chaque ligne colorée représente la visibilité moyenne de chaque zone. Les lignes noires en pointillé représentent la moyenne et la médiane de toutes les mains de la grotte. 207
Figure 99. Carte illustrant les principales zones de visibilité en fonction du nombre de mains négatives perceptibles. 208
Figure 100. **A.** Nombre de mains négatives visibles depuis une main négative en particulier (*y*) pour chaque main négative (*x*). Les couleurs représentent la zone catégorisée dans laquelle elles se trouvent. **B.** Histogramme de la distribution du nombre de mains visibles. 209
Figure 101. Visibilité des mains négatives entre elles dans les limites du diamètre d'une torche, selon les données de Medina Alcaide *et al.* (2021). 210

Figure 102. **A**. Proportion de mains gauches, droites et indéterminées dans la grotte d'El Castillo. **B**. Répartition de la latéralité sur le plan de la cavité. **C**. Latéralité des mains négatives (gauche, droite ou indéterminée) en fonction de la zone dans laquelle elles se situent. 211
Figure 103. **A**. Proportion des catégories d'âge d'El Castillo selon Fernández-Navarro (données transmises personnellement en 2024). **B**. Distribution des catégories d'âge des mains négatives par zone. **C**. Dispersion de celles-ci sur le plan de la cavité. 213
Figure 104. Carte de densité des motifs dans la grotte, obtenue par analyse *Kernel*, montrant la dispersion et le regroupement des mains négatives. 214
Figure 105. **A.** *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de la grotte d'El Castillo considérant les variables suivantes : la *difficulté du chemin*, la *longueur du chemin*, la *hauteur du motif*, la *visibilité totale*, *l'intervisibilité*, la *latéralité*, et l'*angle d'orientation transformé.* **B.** Répartition des clusters créés en fonction de la *longueur* et de la *difficulté du chemin*. On voit que le cluster 1 se distingue par rapport à ces variables. **C.** Distribution des mains négatives dans les clusters 2, 3 et 4 en fonction de la hauteur des motifs (*x*) et la visibilité totale (*y*). On voit que les clusters 3 et 4 sont rassemblés de façon assez homogène. 215
Figure 106. Graphiques de la seconde *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de la grotte d'El Castillo. **A.** Carte factorielle individuelle **B.** Graphique des variables. **C.** Graphique des variables quantitatives. **D.** Diagramme d'éboulis. 217
Figure 107. Contribution des variables dans la dimension 1 (**A**) et 2 (**B**) de la seconde *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de la grotte d'El Castillo. 218
Figure 108. Seconde *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de la grotte d'El Castillo. **A**. Analyse en clusters. **B**. Proportion de mains dans les clusters par zone. 218
Figure 109. **A.** Répartition des clusters créés par la seconde *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de la grotte d'El Castillo en fonction de la *longueur* et de la *difficulté du chemin*. On voit que le cluster 1 se distingue par rapport à ces variables. **B.** Répartition des clusters 2 et 3 créés par la seconde *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de la grotte d'El Castillo en fonction de la *visibilité totale* et de la *hauteur du motif.* 219
Figure 110. **A**. Dispersion des positions de l'exécutant des mains négatives d'El Castillo sur le plan de la cavité. **B**. Proportion de celles-ci. **C**. Dispersion en fonction des zones définies. 221

Figure 111. Orientation de toutes les mains négatives avec latéralité déterminable de la grotte d'El Castillo en fonction de leur visibilité. 222
Figure 112. **A**. Situation des pochoirs 63 et 64 sur la grotte (suivant la numérotation de Collado Giraldo (2018)). **B**. Relevé pariétal de la main 64 (auteur : S. Salazar). **C**. Image générale de la zone, où la situation de la main 63 est encadrée et une flèche indique la main 63. **D**. Détail de la main 64. **E**. Orientation de tous les pochoirs déterminables de la grotte, avec la main 64 mise en évidence. **F**. Relevé pariétal de la main 63 (auteur : S. Salazar). 223
Figure 113. **A**. Photographie de l'entrée de la grotte/abri de Fuente del Trucho. **B**. Vue du même endroit dans l'objet tridimensionnel texturisé. **a)** Fouilles intérieures d'Utrilla *et al.* (2016). **b)** Fouilles de Mir & Salas (2000). **C**. Vue du même secteur dans le modèle sans texture. .. 226
Figure 114. Stratigraphie des fouilles de Mir & Salas (2000) 227
Figure 115. Captures d'écran du logiciel *Blender*® illustrant le processus de restitution du sol de la cavité dans les zones fouillées. **A**. État actuel. **B**. État paléolithique suggéré. 229
Figure 116. Localisation des mains négatives additionnelles localisées dans le cadre de ce travail, situées sur le plafond de Fuente del Trucho. **A**. Orthoimage. **B**. Orthoimage traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds*, modifiée pour mettre en valeur le pigment rouge. 230
Figure 117. Localisation des mains négatives sur le modèle 3D de la grotte de Fuente del Trucho. 231
Figure 118. Vue d'une portion du modèle tridimensionnel logiciel *ArcScene*® (paroi du fond et plafond) de Fuente del Trucho avec la situation des mains négatives de la zone en orange. 232
Figure 119. Numérotation des mains négatives sur une orthoimage composée de différentes tesselles, ici réunies, du plafond de la grotte de Fuente del Trucho. 233
Figure 120. Numérotation des mains négatives sur une orthoimage du plafond de la grotte de Fuente del Trucho, traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *yds*, modifiée pour mettre en valeur le pigment rouge. 234
Figure 121. Exemples du code créé pour l'illustration des combinaisons de doigts des mains négatives de Fuente del Trucho. 235
Figure 122. Graphiques illustrant les données d'accessibilité des mains négatives de Fuente del Trucho. **A**. Histogramme de la difficulté d'accès aux motifs. **B**. Histogramme de la longueur du chemin depuis l'entrée de la cavité. Les deux présentent des valeurs assez condensées entre elles, correspondant à un accès aisé aux mains négatives. **C**. Valeurs de longueur du chemin depuis l'entrée de la cavité pour chaque main négative, en fonction de la couleur et de la

latéralité. **D**. Valeurs de difficulté du chemin pour chaque main négative. **E**. Valeurs de la difficulté du chemin par rapport à sa longueur depuis l'entrée, en fonction de la couleur et de la latéralité des mains négatives. On peut observer que les trois mains noires et les trois mains jaunes se rejoignent par couleur, présentant des caractéristiques similaires pour les deux variables. 244
Figure 123. Illustration des données de l'analyse spatiale relatives à l'accessibilité des mains négatives de Fuente del Trucho. **A**. Plan illustrant la difficulté d'accès dans la grotte, en fonction de la progression à l'intérieur de la cavité, avec le LCP des mains négatives. **B**. Plan montrant les niveaux de difficulté d'accès en fonction de la pente du sol. **C.** Illustration de la dangerosité du sol. On peut observer que celui-ci présente un très faible taux d'escarpement. 245
Figure 124. Vue latérale du modèle tridimensionnel de Fuente del Trucho où l'on peut observer que la cavité se rétrécit dans le fond. 246
Figure 125. Vue de l'intérieur du modèle texturisé, depuis l'entrée de la cavité vers l'intérieur. 247
Figure 126. **A**. Histogramme de la visibilité totale des mains négatives de Fuente del Trucho. **B**. Expression de la visibilité totale par types de position. 247
Figure 127. **A**. Recoupement entre le LCP pour aller au fond de la cavité et les mains négatives de la grotte dans le rayon d'action d'une torche (2,99 m). **B.** Carte illustrant les principales zones de visibilité en fonction du nombre de mains négatives perceptibles. **C**. Relation entre la visibilité totale et la longueur du chemin pour les mains négatives de Fuente del Trucho. **D**. Visibilité de chaque main négative de la cavité. 248
Figure 128. **A.** Nombre de mains négatives visibles depuis une main négative en particulier (*y*) pour chaque main négative (*x*). **B.** Visibilité des mains négatives entre elles dans les limites du diamètre d'une torche, selon les données de Medina Alcaide *et al.* (2021). **C**. Histogramme de la distribution du nombre de mains visibles. 249
Figure 129. **A**. Répartition de mains gauches, droites et indéterminées sur le plan de la cavité de Fuente del Trucho. **B**. Proportion de celles-ci. 250
Figure 130. **A**. et **B**. Dispersion des catégories d'âge de Fuente del Trucho sur le plan de la cavité avec leur numérotation. **C**. Proportion celles-ci. 251
Figure 131. Nombre d'exemplaires des différentes combinaisons de doigts des mains négatives de la Fuente del Trucho. 252
Figure 132. Situation des mains 51, 52 et 53, regroupées, qui partagent la même combinaison de doigts *liiii*, sur le plan de la cavité. **A**. Illustration des combinaisons et de leur couleur. **B**. Numérotation de celles-ci. 254

Figure 133. **A**. Rapport entre la position des doigts des mains négatives de Fuente del Trucho et leur hauteur, leur latéralité et leur couleur. 255
Figure 134. **A**. Rapport entre la position des doigts des mains négatives de Fuente del Trucho et leur difficulté d'accès, leur latéralité et leur couleur. **B**. Même graphique en fonction de la longueur du chemin. 256
Figure 135. **A**. Rapport entre la position des doigts des mains négatives de Fuente del Trucho et leur visibilité totale, leur latéralité et leur couleur. **B**. Même graphique en fonction de leur intervisibilité..... 257
Figure 136. Distribution des mains négatives sur le plafond de la cavité en fonction de **A**. leur combinaison de doigts et leur couleur et **B**. leur latéralité. 258
Figure 137. Carte de densité des motifs dans la grotte, montrant la dispersion et le regroupement des mains négatives de Fuente del Trucho. **A**. Densité générale sur le plan de la cavité. **B**. Analyse *Kernel*, montrant les sous-groupes de plus grande densité. 259
Figure 138. Graphiques de la première *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho. **A.** Carte factorielle individuelle **B.** Diagramme d'éboulis. **C**. Graphique des variables. **D.** Graphique des variables quantitatives. **E.** Graphique des catégories. 260
Figure 139. **A**. Première *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho considérant les variables suivantes : la *difficulté du chemin,* la *longueur du chemin*, la *hauteur du motif,* la *visibilité totale*, l'*intervisibilité*, la *latéralité* et l'*angle d'orientation transformé*. **B**. Distribution des mains négatives dans les clusters en fonction de la *longueur du chemin* (*x*) et la *hauteur des motifs* (*y*). 261
Figure 140. Illustration de l'importance de la variable d'angle d'orientation transformé sur les clusters de la première *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho fonction des variables de hauteur des motifs. **A**. Clusters 1 à 5 avec illustration des couleurs des mains **B**. Clusters 1, 2 et 3 avec illustration de leur latéralité. 263
Figure 141. Graphique illustrant les clusters de la deuxième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho considérant les variables suivantes : la *difficulté du chemin*, la *longueur du chemin*, la *hauteur du motif*, la *visibilité totale*, l'*intervisibilité* et la *latéralité*..... 264
Figure 142. Clusters de la troisième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho prenant en compte les combinaisons de doigts. . 265

Figure 143. **A**. Répartition des clusters 1, 2 et 4 de la troisième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho prenant en compte les combinaisons de doigts, en fonction de la hauteur des motifs et de la longueur du chemin. **B**. Répartition des six clusters en fonction de la visibilité totale et de la longueur du chemin. . 266
Figure 144. **A**. Répartition des clusters 2, 3, 4 et 6 de la troisième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho prenant en compte les combinaisons de doigts, en fonction de l'intervisibilité et de la longueur du chemin. **B**. Répartition des 6 clusters en fonction de la hauteur des mains et de la difficulté du chemin. 267
Figure 145. **A**. Graphique illustrant les clusters de la troisième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Trucho considérant les variables suivantes : la *difficulté du chemin,* la *longueur du chemin*, la *hauteur du motif,* la *visibilité totale*, l'*intervisibilité*, la *latéralité* et les *positions des doigts.* **B**. Représentation des mêmes clusters selon les coordonnées en *x* et *y* des mains négatives..... 268
Figure 146. **A**. et **B**. Dispersion des positions de l'exécutant des mains négatives de Fuente del Trucho sur le plan de la cavité, avec leur numérotation. **C**. Proportion de celles-ci. 269
Figure 147. Orientation de toutes les mains négatives avec latéralité déterminable de Fuente del Trucho en fonction de leur visibilité. 270
Figure 148. Orientation de toutes les mains négatives avec latéralité déterminable de Fuente del Trucho. **A**. Avec leur couleur en fonction de leur hauteur. **B**. En fonction de leur visibilité. Les deux mains gauches rouges 6 et 24 se démarquent par leur position incommode pour l'exécutant, tout comme la main gauche jaune 11. 271
Figure 149. Illustration de la mise à niveau du sol de Fuente del Salín sur base de la hauteur du niveau stratigraphique K6 correspondant à la base de la couche d'occupation gravettienne. 273
Figure 150. Processus de reconstitution du sol paléolithique de Fuente del Salín dans *Blender*®. **A**. Vue de l'intérieur de la cavité. **a)** Bloc de 30 cm utilisé comme échelle pour le nivellement du sol. **B**. Vue zénithale d'en-dessous du modèle avec le même bloc en **a)**. **C**. Vue des blocs situés dans la fouille, dans les couches L6 et K6. **D**. Vue latérale de la situation du niveau K6 pris comme base. **E**. Même vue que **C** avec le sol remodelé. **F**. Même vue que **E** sans les blocs. 274
Figure 151. Captures d'écran du logiciel *Blender*® qui détaillent l'ajout de l'ouverture du tunnel d'entrée supposé, aujourd'hui écroulé (travail de reconstruction de la bouche d'entrée de *GIM Geomatics*). **A**. Vue latérale du modèle de l'état de la grotte actuellement, où l'on voit que la sortie, indiquée par une flèche, est obturée. **B**. Même vue latérale du modèle où un segment

de tunnel d'entrée (également indiqué par une flèche) a été ajouté. **C**. Vue de face de l'entrée obturée dans le modèle actuel. **D**. Vue de face de l'entrée reconstituée. 275
Figure 152. Mains négatives noires 12 et 12bis de Fuente del Salín 276
Figure 153. Mains 16, 16bis et 16ter de Fuente del Salín. La flèche indique le doigt supplémentaire qui pourrait appartenir à une autre main. **A**. Photographie non modifiée. **B**. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *lds*..... 277
Figure 154. Localisation des mains 20, 19bis et 20bis de la grotte de Fuente del Salín. **A**. Photographie non modifiée. **B**. Relevé (V. Bayarri). 278
Figure 155. Localisation de la mains 21bis de la grotte de Fuente del Salín. **A**. Photographie non modifiée. **B**. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *yrd*. 279
Figure 156. Détail de la main 24 de Fuente del Salín. **A**. Photographie non modifiée. **B**. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *lds*..... 280
Figure 157. Localisation des mains 23 et 24 de la grotte de Fuente del Salín. **A**. Photographie non modifiée. **B**. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *lds*..... 281
Figure 158. Localisation de la main 25 de la grotte de Fuente del Salín**.** 281
Figure 159. Détail de la main 25 de la grotte de Fuente del Salín. **A**. Photographie non modifiée. **B**. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *lds*..... 282
Figure 160. Localisation de la main négative noire 26, de la main négative rouge 29 et des mains positives rouges 10 et 11 de la grotte de Fuente del Salín. **A**. Mains 10, 11, 26 et 29. Photographie non modifiée. **B**. Même ensemble que A. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *lds* **C**. Main noire 26. Photographie non modifiée. D. Mains 26. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *ybk*. **E**. Main rouge 29. Photographie non modifiée. **F**. Main rouge 29. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *lds*. 283
Figure 161. **A**. Détail de la main négative noire 27 de la grotte de Fuente del Salín. Photographie non modifiée. **B**. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *ybk*. **C**. Localisation sur la paroi. 284

Figure 162. **A**. Détail de la main négative noire 28 de la grotte de Fuente del Salín. Photographie non modifiée. **B**. Photographie traitée avec le plugin *DStretch*® du logiciel *ImageJ*®, dans l'espace colorimétrique *ybk*, avec une modification de la tonalité des couleurs, pour mettre en valeur le pigment noir. 285
Figure 163. Localisation des mains négatives sur le modèle 3D de la grotte de Fuente del Salín. 286
Figure 164. Processus de localisation des mains négatives de Fuente del Salín. **A**. Capture d'écran du logiciel *Agisoft Metashape*®. **B**. Capture d'écran du logiciel *ArcGIS*®..... 287
Figure 165. Résultats de l'analyse spatiale concernant l'accessibilité des mains négatives de Fuente del Salín. **A**. Plan illustrant la difficulté d'accès dans la grotte, en fonction de la progression à l'intérieur de la cavité, avec le LCP jusqu'à chaque main négative. **B**. Même plan, avec le LCP jusqu'au fond de la grotte. **C**. Plan montrant les niveaux de difficulté d'accès en fonction de la pente du sol. **D**. Illustration du faible escarpement du sol. 292
Figure 166. **A**. Valeurs de longueur du chemin depuis l'entrée de la cavité pour toutes les mains de la cavité. **B**. Valeurs en fonction de la difficulté du chemin. 293
Figure 167. Résultats de l'analyse spatiale concernant la visibilité des mains négatives de Fuente del Salín. **A**. Carte illustrant les principales zones de visibilité en fonction du nombre de mains négatives perceptibles. **B**. Recoupement entre le LCP pour aller au fond de la cavité et les mains négatives de la grotte dans le rayon d'action d'une torche (2,99 m). **C**. Relation entre la visibilité totale et la longueur du chemin. 295
Figure 168. Résultats de l'analyse spatiale concernant la visibilité des mains négatives de Fuente del Salín. **A**. Histogramme de la visibilité totale des mains négatives de Fuente del Salín. **B**. Expression de la visibilité totale de chaque main. 296
Figure 169. Nombre de mains négatives de Fuente del Salín visibles depuis une main négative en particulier (*y*) pour chaque main négative (*x*). **B.** Visibilité des mains négatives entre elles dans les limites du diamètre d'une torche, selon les données de Medina Alcaide et al. (2021). **C**. Histogramme de la distribution du nombre de mains visibles. 297
Figure 170. **A**. Répartition de mains gauches, droites et indéterminées sur le plan de la cavité de Fuente del Salín. **B**. Proportion de la latéralité. 298
Figure 171. **A**. Dispersion des catégories d'âge de Fuente del Salín sur le plan de la cavité. **B**. Proportion de celles-ci. 299
Figure 172. Carte de densité des motifs dans la grotte, montrant la dispersion et le regroupement des mains négatives. **A**. Densité générale sur le plan de la cavité. **B**. Analyse *Kernel*, montrant les sous-groupes de plus grande densité. 300

Figure 173. Graphiques de la première *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Salín. **A.** Carte factorielle individuelle **B.** Graphique des variables. **C**. Diagramme d'éboulis. **D**. Graphique des variables quantitatives. **E.** Contribution des variables à la dimension 1. **F.** Contribution des variables à la dimension 2. 301
Figure 174. Répartition des clusters de la première *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Salín entre eux. 302
Figure 175. Distribution des clusters de la première *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Salín. **A**. En fonction de l'*intervisibilité*, de la *difficulté du chemin* et des *couleurs*. **B**. En fonction de la *hauteur des motifs*, de la *difficulté du chemin* et des *couleurs*..... 303
Figure 176. Graphiques de la deuxième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Salín. **A.** Carte factorielle individuelle **B.** Graphique des catégories. **C**. Graphique des variables. **D.** Graphique des variables quantitatives. **E.** Diagramme d'éboulis. 304
Figure 177. **A**. Distribution des clusters de la deuxième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Salín. **B**. En fonction de la visibilité totale et de la difficulté du chemin. 305
Figure 178. Distribution des clusters de la deuxième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Salín **A**. En fonction de la difficulté du chemin et de sa longueur. **B**. En fonction de la hauteur des motifs et de la longueur du chemin. 306
Figure 179. Distribution des clusters de la deuxième *Classification Hiérarchique sur Composantes Principales* des mains négatives de Fuente del Salín selon leurs coordonnées en x et y. **A**. Avec illustration des couleurs des mains paléolithiques. **B**. Avec utilisation des couleurs pour représenter les clusters..... 307
Figure 180. **A**. Dispersion des positions de l'exécutant des mains négatives de Fuente del Salín sur le plan de la cavité. **B**. Proportion de celles-ci. 308
Figure 181. Orientation de toutes les mains négatives avec latéralité déterminable de Fuente del Salín en fonction de leur hauteur et de leur couleur..... 309
Figure 182. Comparaison de l'étude spatiale du *Plafond des Mains* avec et sans prise en compte de la reconstruction de l'espace. **A**. Carte de la cavité où est mis en évidence le *Plafond des Mains*. **B**. Visibilité du panneau (entre 66 et 100%) en fonction du sol reconstitué (période

paléolithique). Il permet un visionnage par 15 personnes. **C**. Visibilité du panneau (entre 66 et 100%) basée sur le sol actuel (11 personnes). 316
Figure 183. Comparaison des variables de latéralité, de position et d'âge de l'exécutant d'El Castillo, Fuente del Trucho et de Fuente del Salín. 319
Figure 184. Positions d'où l'on peut observer le nombre le plus grand de mains négatives (maximum visibility) et densité des motifs de mains (density) dans les trois cavités observées. **A**. et **B**. El Castillo. **C**. et **D.** Fuente del Trucho. **E**. et **F**. Fuente del Salín. 322
Figure 185. Visibilité des mains négatives du *Plafond des Mains* de la grotte d'El Castillo. 324
Figure 186. Captures d'écran du logiciel *ArcScene*®. **A**. Vue de la fouille effectuée, où le point orange situe la position du foyer selon les données archéologiques recueillies. **B**. Position du même point sur le sol paléolithique reconstitué. 325
Figure 187. Captures d'écran du logiciel *ArcScene*®. **A**. Vue sous un autre angle des lignes de vision, avec les mains négatives indiquées par des points rouges. **B**. Vue des lignes sans le modèle, pour avoir un meilleur aperçu de leur distribution générale. On voit que depuis le foyer et la lumière qui s'en dégage, on peut observer une grande majorité des mains négatives de la cavité (23/31). Un groupe, souligné par une ellipse en vert, se dégage cependant, ainsi qu'un exemplaire unique, pourtant proche d'autres mains visibles. 326
Figure 188. Captures d'écran du logiciel *ArcScene*®. **A**. Vue du point figurant les *Lines of Sight* depuis le foyer et entre les mains négatives de Fuente del Salín, à une portée de 4,5 m. On voit que sur le sol actuel, les résultats de l'étude de visibilité seraient différents, puisque certaines lignes de vision se trouvent entrecoupées (indiquées par la flèche noire). **B**. Mêmes lignes de vision sur le sol reconstitué. 327
Figure 189. **A**. Situation de la main 9, qui serait une main d'enfant, sur le plan de la grotte **B**. Image générale de la zone, où la situation de la main 9 est encadrée. **C**. Détail de situation de la main 9 sur le modèle tridimensionnel. **D**. Détail de situation de la main 9 sur le modèle tridimensionnel texturisé. **D**. Photographie de la main 9. 330
Figure 190. Illustration de la visibilité de trois mains négatives de la grotte d'El Castillo sur *ArcGIS*®. **A**. Visibilité des mains 24, 9 et 2 en fonction de la position du public. **B**., **C**. et **D**. *Line of Sight* des mêmes mains négatives. 331
Figure 191. Situation des mains négatives 6 et 7 sur le plafond de Fuente del Trucho. **A**. Orthoimage de la situation générale, avec le cheval à gauche ayant dirigé le sens de lecture de l'orientation des mains dans cette zone. **a**) orthoimage du détail des mains 6 et 7. **B**. Même détail traité avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds*, modifiée pour mettre en valeur le pigment rouge. 333

Figure 192. Main droite rouge 24 de Fuente del Trucho, orientée à 17h. **A**. Objet tridimensionnel texturisé. **B**. Objet tridimensionnel dont la texture a été traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds*, modifiée pour mettre en valeur le pigment rouge. **C**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds* (© Collado Giraldo (2018)). **D**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *btn_lre* (© Collado Giraldo (2018)). 334
Figure 193. Main jaune 11 de Fuente del Trucho, orientée à 21h. **A**. Photographie sans traitement. **B**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *ybk*, modifiée pour mettre en valeur le pigment jaune. 335
Figure 194. Main rouge 2 de Fuente del Salín, placée horizontalement, dont la position de l'avant-bras est bien visible (© *GIM Geomatics*). **A**. Photographie sans traitement. **B**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds*, modifiée pour mettre en valeur le pigment rouge. 335
Figure 195. Mains rouges 3 et 4 de Fuente del Salín, disposées horizontalement entre l'arête du plafond et une fissure oblique (© *GIM Geomatics*). **A**. Photographie sans traitement. **B**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds*, modifiée pour mettre en valeur le pigment rouge. **C**. Orthoimage de la zone, présentant la situation des mains 3 et 4 sur un pan rocheux perpendiculaire à celui de la composition des mains 5 à 9. 336
Figure 196. Composition de mains négatives à Fuente del Salín. **A**. Répartition des clusters sur le plan de la cavité, où le cluster 3, en gris, regroupe les mains en question. **B**. Répartition des âges des exécutants des pochoirs sur le plan. **C**. Orthoimage de la paroi où sont regroupés les motifs. Les mains 3 et 4 sont sur un plan rocheux perpendiculaire à celui des mains 5 à 9. Les motifs 7 et 8 ont été identifiés comme des pochoirs de mains d'enfants. 337
Figure 197. Comparaison du LCP des mains 55 et 57, toutes deux situées sur le même panneau, le *Plafond des Mains*, à 2 mètres de distance. 339
Figure 198. Recoupement entre le LCP et les mains négatives de la grotte dans le rayon d'action d'une torche (2,99 m). **A**. LCP jusqu'au bout de la grotte, croisant 4 mains négatives. **B**. LCP jusqu'à l'extrémité de la *Galerie des Mains*, croisant 67 mains négatives. **C**. Somme des deux LCP, complétée par la zone les reliant, permettant de rencontrer toutes les mains de la grotte. 340
Figure 199. Main et disques rouges sur le *Plafond des Mains* d'El Castillo. 341
Figure 200. Vue d'une partie de la longue ligne de disques de la *Galerie des Disques* 342

Figure 201. Comparaisons avec d'autres motifs. **A**. Cheval acéphale gravé sur le sol dans le *Tréfond*s. **B**. Carte de la grotte où sa situation est mise en évidence, montrant le LCP traversant la grotte pour y accéder. **C**. Détail de sa situation où l'on peut apprécier, en violet, les zones de visibilité du motif. **D**. Vue des *Lines of Sight* [lignes de visée] en violet correspondant aux zones de visibilité des trois positions (couché, debout, debout). **E**. Détail de la situation de la tête de bison située dans la *Bauge des Ours*, où l'on peut voir, en bleu, ses zones de visibilité restreintes. **F**. Vue des *Lines of Sight* en bleu correspondant aux zones de visibilité des trois positions. **G**. Carte de la cavité où son emplacement est souligné, avec son LCP. **H**. Tête de bison, utilisant une forme naturelle de la roche, avec son œil et son nez dessinés au pigment noir (© M. Groenen). 344
Figure 202. Distribution d'une série de motifs sur le plan de la cavité d'El Castillo d'après Groenen (2019). **A**. Triangles arrondis. **B**. Biches striées. 346
Figure 203. Distribution d'une série de motifs sur le plan de la cavité d'El Castillo d'après Groenen (2019). **A**. Quadrangulaires cloisonnés. **B**. Motifs jaunes. 347
Figure 204. Détails du *Plafond des Mains* où on peut observer les bisons jaunes qui recouvrent les mains négatives 25, 26, 29, 32, 39 et 40. **A**. et **C**. Photographies sans traitement. **B**. **et C**. Photographies traitées avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds*. 348
Figure 205. Détail du *Plafond des Mains* où on peut observer des signes quadrangulaires et des ponctuations qui recouvrent les négatifs ou halos des mains 53, 54 et 55. **A**. Photographie sans traitement. **B**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *lds*. 348
Figure 206. Détail du *Plafond des Mains* où on peut observer une tête de biche gravée superposée à la main négative 51. **A**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *ybk*. La flèche indique la tête de biche orientée vers la droite avec son cou, ses deux oreilles en *v*, son chanfrein et son œil. **B**. Même photographie, traitée cette fois dans la gamme de couleurs *lds* pour mettre en avant la couleur rouge et la forme des mains négatives 51 et 52. 349
Figure 207. Détail du *Plafond des Mains* où on peut observer un animal indéterminé gravé qui recoupe la main négative 22. **A**. Photographie traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *ybk*. La flèche situe l'animal à la hauteur de son fessier, avec l'indication de sa queue. On peut également observer sa patte arrière et son garrot, avec un cou penché vers l'avant (vers la droite). Il semble être acéphale. **B**. Même photographie,

traitée cette fois dans la gamme de couleurs *lds* pour mettre en avant la couleur rouge et la forme des mains négatives 21, 22 et 23 ainsi que le trait rouge sous la main 23. 350
Figure 208. Processus de géolocalisation des motifs d'animaux et des signes sur le modèle tridimensionnel de Fuente del Trucho. **A**. Situation du bouquetin et des signes trilobés 2, 3 et 4 et des mains négatives 55, 56 et 57 sur l'orthoimage traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *yds*, modifiée pour mettre en valeur le pigment rouge. **B**. Situation des chevaux 4 et 5 sur l'orthoimage traitée dans la gamme de couleurs *lds*. 352
Figure 209. Comparaison de la position des figures de Fuente del Trucho 352
Figure 210. Situation des figures animales et des signes trilobés sur le plafond de Fuente del Trucho. 353
Figure 211. Situation des figures animales et des signes trilobés sur le plafond de Fuente del Trucho, image traitée avec le programme *ImageJ*®, avec le plugin *DStretch*®, dans la gamme de couleurs *yds*, et en éteignant la saturation des autres gammes de couleurs, pour mettre en valeur le pigment rouge. 354
Figure 212. Mains 40, 41 et 42 de Fuente del Trucho. **A**. Photographie non-traitée. **B**. Image traitée avec le avec le plug-in *DStretch*® pour le programme *ImageJ*® en utilisant le spectre de couleur synthétique *ybk* pour rehausser la couleur noir. 358
Figure 213. Mains négatives de la grotte de Gargas figurant différentes combinaisons de doigts (© Y. Rumeau). 359
Figure 214. Mains négatives aux doigts manquants de la grotte de Cosquer (Bouches-du-Rhône) (© DRAC Paca - SRA/L. Vanrell). 359
Figure 215. Représentation des combinaisons de doigts de Fuente del Trucho, Gargas et Cosquer selon cette étude, celle de Leroi-Gourhan (1967) et celle de Clottes *et al.* (2005).. 360
Figure 216. Représentation des combinaisons de doigts de Fuente del Trucho, Gargas et Cosquer. En bleu et vert sont soulignées les combinaisons communes aux trois cavités les plus fréquentes, avec le nombre d'exemplaires de chaque, selon cette étude, celle de Leroi-Gourhan (1967) et celle de Clottes *et al.* (2005). 360
Figure 217. Situation géographique de Fuente del Trucho (en bleu) et Gargas (en rouge) de chaque côté des Pyrénées, à une distance à vol d'oiseau d'une centaine de kilomètres, ainsi que de Cosquer (en jaune), à 400 km à vol d'oiseau de Gargas vers l'est. 361
Figure 218. Représentation des combinaisons de doigts de Fuente del Trucho, Gargas et Cosquer. En jaune sont soulignées les combinaisons communes aux trois cavités, avec le nombre d'exemplaires de chaque, selon cette étude, celle de Leroi-Gourhan (1967) et celle de

Clottes *et al.* (2005). En mauve sont présentées les combinaisons communes uniquement à Fuente del Trucho et Gargas. En rose sont soulignées les combinaisons communes à Gargas et Cosquer uniquement (il n'y a pas de mains partagées exclusivement par Fuente del Trucho et Cosquer à l'exclusion de Gargas)..... 362
Figure 219. Carte des différents centres gravettiens selon Kozłowski (2015). **1**. Diffusion du Gravettien vers l'ouest. **2**. Pavlovien. **3**. Groupe du Haut Danube. **4**. Groupe du Rhin Moyen. **5**. Gravettien de l'ouest (Périgordien). **6**. Maisiérien/Périgordien. **7**. Groupe Dnester/Prut (Moldovien). **8**. Gravettien méditerranéen. **9**. Kostienki 8-Telmanskaya. **10**. Buran-Kaya. **11**. Kostienkien (Groupe Kostienki–Avdeyevo). **12**. Diffusion du Gravettien vers l'Est et le Sud au début du Dernier Maximum Glaciaire **13**. Couche de glace du Dernier Maximum Glaciaire. **14**. Ligne de côte. 365
Figure 220. Illustrations des réseaux des populations gravettiennes. **A**. Provenance des différents types de silex des niveaux gravettiens de Isturitz selon Normand et al. (2012). **B**. Provenance des silex (outils) du niveau gravettien de Gargas (fouilles Cartailhac-Breuil) selon Foucher (2006). **C**. Unité symbolique du Gravettien européen autour des concepts de Vénus, de pointes à cran et de pointes en ivoire décorées selon Simonet (2012). 367
Figure 221. Localisation des différents secteurs fouillés de Fuente del Trucho, d'après Sánchez de la Torre et al. (2021). Le niveau gravettien *d* provient de la zone extérieure [external area], proche des panneaux gravés. 368
Figure 222. Identification des sources probables des matières premières de l'outillage lithique en chert des fouilles de Fuente del Trucho d'après Sánchez de la Torre et al. (2021)..... 369
Figure 223. Situation géographique des sources probables des matières premières de l'outillage lithique en chert des fouilles de Fuente del Trucho d'après Sánchez de la Torre et al. (2021). L'origine des types 5 et 6 n'a pas été identifiée. **a**. Détail du Type 3, avec la localisation de la grotte de Gargas (étoile bleue) et de celle de Fuente del Trucho (étoile rouge). 370



ANNEXES

11. Annexes

11.1. Coordonnées des mains négatives du *corpus*

11.1.1. El Castillo

Tableau 29. Codes de numérotation et coordonnées géographiques des 77 mains négatives de la grotte d'El Castillo[104].

Zone de la cavité	**Unité graphique**		**Coord. *x* (m)**	**Coord. *y* (m)**	**Coord. *z* (m)**
	Numérotation de Collado Giraldo (2018)	Numérotation de Groenen & Groenen (2025)			
Polychromes	Main_01	PP29	421641,014	4793724,823	182,617
Polychromes	Main_02	PP35	421640,504	4793724,773	182,647
Polychromes	Main_03	PP38	421640,184	4793725,033	182,377
Polychromes	Main_04	PP39	421640,084	4793725,163	182,177
Polychromes	Main_05	PP53	421640,004	4793724,713	182,557
Polychromes	Main_06	PP54	421639,714	4793724,753	182,387
Polychromes	Main_07	PP60	421639,464	4793724,913	182,137
Polychromes	Main_08	PP62	421638,874	4793724,333	182,377
Bas-côté	Main_09	BC1	421633,323	4793725,607	180,29
Bas-côté	Main_10	BC6	421631,973	4793725,987	179,88

[104] Il convient de noter que certaines des mains négatives ont été remises en question après une analyse visuelle minutieuse. Il s'agit des mains 42 et 47. Les unités graphiques sont présentées en suivant la numérotation adoptée par Collado *et al.* (2018), car il s'agissait de l'étude la plus récente de ce type de représentations dans la grotte lors de la réalisation de ce travail. En parallèle sont indiqués les numéros de l'étude de Groenen & Groenen (2025) récemment publiés.

Bas-côté	Main_11	BC19	421631,533	4793725,717	180,2
Bas-côté	Main_12	BC25	421630,173	4793725,647	179,97
Bas-côté	Main_13	BC26	421629,903	4793725,677	179,98
Bas-côté	Main_14	BC32	421628,558	4793727,573	179,808
Bas-côté	Main_15	BC36	421628,248	4793727,493	179,588
Plafond des Mains	Main_16	PM1	421628,134	4793729,867	177,218
Plafond des Mains	Main_17	PM2	421628,047	4793729,691	177,36
Plafond des Mains	Main_18	PM3	421628,035	4793729,622	177,414
Plafond des Mains	Main_19	PM4	421627,908	4793729,702	177,343
Plafond des Mains	Main_20	PM6	421627,352	4793729,733	177,406
Plafond des Mains	Main_21	PM10	421626,984	4793729,521	177,547
Plafond des Mains	Main_22	PM8	421626,94	4793729,731	177,363
Plafond des Mains	Main_23	PM19	421625,886	4793728,134	177,873
Plafond des Mains	Main_24	PM18	421626,167	4793728,442	177,782
Plafond des Mains	Main_25	PM31	421625,476	4793728,524	177,614

Plafond des Mains	Main_26	PM27	421625,855	4793728,709	177,642
Plafond des Mains	Main_27	PM11	421626,595	4793729,241	177,607
Plafond des Mains	Main_28	PM30	421625,705	4793728,904	177,468
Plafond des Mains	Main_29	PM29	421626,011	4793729,079	177,483
Plafond des Mains	Main_30	PM12	421626,27	4793729,253	177,454
Plafond des Mains	Main_31	PM44	421624,88	4793728,541	177,477
Plafond des Mains	Main_32	PM43	421625,113	4793728,715	177,426
Plafond des Mains	Main_33	PM42BIS	421625,138	4793728,842	177,363
Plafond des Mains	Main_34	PM42BIS	421625,277	4793728,899	177,357
Plafond des Mains	Main_35	PM14	421626,126	4793729,349	177,347
Plafond des Mains	Main_36	PM13	421626,279	4793729,592	177,272
Plafond des Mains	Main_37	PM48	421624,082	4793728,442	177,334
Plafond des Mains	Main_38	PM47	421624,27	4793728,539	177,366

Plafond des Mains	Main_39	PM46	421624,529	4793728,51	177,446
Plafond des Mains	Main_40	PM45	421624,64	4793728,711	177,347
Plafond des Mains	Main_41	PM59	421623,782	4793728,373	177,201
Plafond des Mains	Main_42	PM60	421623,855	4793728,588	177,136
Plafond des Mains	Main_43	PM63	421625,085	4793729,525	177,117
Plafond des Mains	Main_44	PM85	421624,323	4793729,29	177,003
Plafond des Mains	Main_45	PM96	421623,924	4793729,166	176,91
Plafond des Mains	Main_46	PM140	421623,591	4793727,056	177,57
Plafond des Mains	Main_47	PM160	421622,879	4793726,385	176,947
Plafond des Mains	Main_48	PM132	421623,417	4793727,214	177,253
Plafond des Mains	Main_49	PM134	421623,311	4793727,336	177,157
Plafond des Mains	Main_50	PM127	421623,634	4793727,742	177,276
Plafond des Mains	Main_51	PM137	421623,043	4793727,508	176,99

Plafond des Mains	Main_52	PM139	421623,097	4793727,667	176,984
Plafond des Mains	Main_53	PM255	421622,9	4793727,73	176,864
Plafond des Mains	Main_54	PM257	421622,689	4793727,703	176,769
Plafond des Mains	Main_55	PM253	421622,732	4793727,917	176,753
Plafond des Mains	Main_56	PM241	421622,526	4793728,533	176,49
Plafond des Mains	Main_57	PM211	421623,462	4793729,764	176,639
Plafond des Mains	Main_58	PM180	421623,909	4793731,283	176,488
Plafond des Mains	Main_59	PM177	421623,933	4793731,657	176,419
Carrefour	Main_60	CF6	421622,57	4793724,944	177,421
Carrefour	Main_61	CF7	421622,56	4793724,964	177,141
Carrefour	Main_62	CF13	421622,12	4793724,224	177,251
Carrefour	Main_63	CF48	421622,11	4793718,444	180,751
Carrefour	Main_64	CF51	421622,55	4793717,374	180,481
Carrefour	Main_65	CF55	421622,26	4793717,124	180,251
Chaos	Main_66	CH21	421627,465	4793718,078	179,401
Chaos	Main_67	CH22	421627,295	4793717,878	179,361

Chaos	Main_68	CH68	421614,645	4793708,348	179,811
Galerie des Mains	Main_69	/	421621,692	4793733,682	176,391
Galerie des Mains	Main_70	/	421621,142	4793734,202	175,991
Galerie des Mains	Main_71	/	421611,116	4793729,87	175,248
Galerie des Mains	Main_72	/	421607,146	4793729,26	175,028
Galerie des Mains	Main_73	/	421609,726	4793731,75	175,208
Galerie des Mains	Main_74	/	421606,774	4793724,709	175,093
Galerie des Mains	Main_75	/	421606,034	4793726,279	174,903
Galerie des Mains	Main_76	/	421609,976	4793731,92	175,308
Galerie des Disques	Main_77	GD384	421565,931	4793724,847	176,653

11.1.3. Fuente del Trucho

Tableau 30. Coordonnées géographiques des mains négatives de la cavité de Fuente del Trucho.

Unité graphique Numérotation de Collado Giraldo (2018) complétée	**Coord. *x*** **(m)**	**Coord. *y*** **(m)**	**Coord. *z*** **(m)**
Trucho_01	750 625,013306	4 675 614,832092	625,510193
Trucho_02	750 624,748657	4 675 614,963257	625,427917
Trucho_03	750 624,687317	4 675 615,279602	625,489460
Trucho_05	750 625,683899	4 675 620,735474	626,118774
Trucho_06	750 625,595703	4 675 621,064087	626,117065
Trucho_07	750 625,629883	4 675 621,171631	626,132019
Trucho_08	750 625,596863	4 675 621,430176	626,109741
Trucho_09	750 625,622009	4 675 621,599060	626,124817
Trucho_10	750 625,550476	4 675 621,908081	626,136250
Trucho_11	750 625,431580	4 675 621,768066	626,070740
Trucho_12	750 625,925354	4 675 621,717102	626,238892
Trucho_13	750 625,876404	4 675 622,117188	626,280823
Trucho_14	750 625,795715	4 675 622,083191	626,243530
Trucho_15	750 625,837036	4 675 622,022095	626,227925
Trucho_16	750 625,370544	4 675 622,085571	626,099080
Trucho_17	750 625,274902	4 675 622,597229	626,210083
Trucho_18	750 624,985535	4 675 623,018616	626,095886

Trucho_19	750 625,135437	4 675 622,398193	626,045308
Trucho_20	750 625,055786	4 675 623,459595	626,112793
Trucho_21	750 625,096375	4 675 624,018005	626,115173
Trucho_22	750 625,168640	4 675 624,555725	626,091187
Trucho_23	750 625,458313	4 675 626,291077	623,388428
Trucho_24	750 624,255432	4 675 625,801270	622,956238
Trucho_25	750 624,468323	4 675 625,826130	623,977356
Trucho_26	750 624,477844	4 675 625,772053	624,329956
Trucho_27	750 624,937012	4 675 625,862507	625,240784
Trucho_28	750 626,196533	4 675 625,812642	615,784668
Trucho_29	750 626,809143	4 675 626,212646	624,552490
Trucho_30	750 628,075806	4 675 625,934814	625,661560
Trucho_31	750 627,749634	4 675 626,024678	625,511169
Trucho_32	750 627,742432	4 675 626,060181	625,412476
Trucho_33	750 627,101074	4 675 626,130757	625,664124
Trucho_35	750 629,630005	4 675 625,465596	626,415833
Trucho_36	750 629,939697	4 675 625,380696	626,276672
Trucho_37	750 630,463257	4 675 625,249104	626,068481
Trucho_38	750 631,062195	4 675 624,588379	628,837708
Trucho_39	750 631,889893	4 675 624,916218	620,968628
Trucho_40	750 633,071106	4 675 624,485310	620,673157
Trucho_41	750 633,166626	4 675 624,441609	620,512451

Trucho_42	750 633,134888	4 675 624,455750	620,331482
Trucho_43	750 633,431885	4 675 624,443257	620,838013
Trucho_44	750 631,890076	4 675 624,623738	629,015930
Trucho_45	750 632,093811	4 675 624,961853	628,336182
Trucho_46	750 632,042908	4 675 623,922119	629,643391
Trucho_47	750 635,309326	4 675 623,924011	631,090107
Trucho_48	750 633,496765	4 675 624,321787	630,290049
Trucho_49	750 633,619690	4 675 624,249817	630,490417
Trucho_50	750 633,622009	4 675 624,157114	630,567576
Trucho_51	750 636,753723	4 675 624,559204	628,466492
Trucho_52	750 637,034485	4 675 624,519653	628,760620
Trucho_53	750 637,215515	4 675 624,484802	628,965393
Trucho_54	750 637,291626	4 675 624,433655	628,648132
Trucho_55	750 635,724670	4 675 624,498494	630,516602
Trucho_56	750 636,167969	4 675 624,552144	630,278320
Trucho_57	750 636,504822	4 675 624,425312	630,642639
Trucho_58	750 624,473267	4 675 625,898152	622,428467
Trucho_59	750 624,570984	4 675 625,953003	622,579346
Trucho_60	750 624,474670	4 675 625,907429	622,743896
Trucho_61	750 624,741272	4 675 625,990498	623,478333

11.1.4. Fuente del Salín

Tableau 31. Coordonnées géographiques des mains négatives de Fuente del Salín[105].

Unité graphique		**Panneau**	**Coord. *x* (m)**	**Coord. *y* (m)**	**Coord. *z* (m)**
Numérotation de Collado Giraldo (2018) complétée	Numérotation de González Morales				
Salín_01	M08.2	*1*	100,759365	102,062076	24,127025
Salín_02	M08	*1*	101,056441	102,179516	24,008980
Salín_03	M01	*2*	102,039517	101,761142	23,896461
Salín_04	M02	*2*	101,778186	101,846958	23,980446
Salín_05	M05	*2*	101,479501	101,650005	23,943506
Salín_06	M07	*2*	101,422181	101,394857	24,014549
Salín_07	M03	*2*	101,566282	101,664882	23,848236
Salín_08	M06	*2*	101,536824	101,500529	23,854424
Salín_09	M04	*2*	101,611510	101,443586	23,714645
Salín_12	M28	*4*	96,292965	99,060719	25,356827
Salín_12bis	M27	*4*	96,280455	99,202289	25,616287
Salín_13	M20	*4*	95,706083	99,401345	25,271393
Salín_14	M11	*5*	93,925314	101,421047	24,276802
Salín_15	M23	*5*	93,858119	101,258010	23,967918
Salín_16	M09	*6*	96,521187	101,555393	23,514992
Salín_16bis	M10	*6*	96,550250	101,521681	23,257507
Salín_16ter	M24	*6*	96,702758	101,587841	23,063362

[105] Les unités graphiques sont présentées en suivant la numérotation adoptée par Collado Giraldo (2018), complétée par les numéros proposés pour les nouveaux exemplaires. Les numéros du travail de l'équipe de M. González Morales (UC) sont indiqués en parallèle.

Salín_17	M16	*7*	97,689473	101,810072	22,904678
Salín_18	/	*7*	95,148381	105,270275	23,794167
Salín_19	/	*8*	96,156263	105,624756	23,909805
Salín_19bis	M18	*8*	96,301532	105,699380	23,853912
Salín_20	M17	*8*	96,070523	105,928698	23,879158
Salín_20bis	M19	*9*	97,115586	105,636326	23,781570
Salín_21	M15	*9*	98,621964	102,305138	23,471107
Salín_21bis	/	*9*	98,364769	102,757983	23,672386
Salín_22	M14	*10*	98,360733	103,902811	24,254478
Salín_23	M22	*11*	98,958455	104,361756	23,244763
Salín_24	M21	*11*	98,756280	104,353809	23,278409
Salín_25	/	*8*	96,357822	106,086925	23,664391
Salín_26	M25	*3*	97,300009	99,781512	26,369156
Salín_27	M26	*9*	98,363666	101,813378	23,000092

11.2. Modèles 3D et scripts

Les modèles 3D et les scripts (Python pour les SIG et R pour les statistiques) sont disponibles sur les plateformes en ligne suivantes :

https://sketchfab.com/olgaspaey et https://osf.io/e4py8

https://sketchfab.com/olgaspaey

osf.io/e4py8