

Géomorphologie : relief, processus, environnement

vol. 29 - n°4 | 2023

Varia

Apports de la carte géomorphologique et des matrices de Harris dans l'analyse des aménagements anthropiques : application à la grotte de La Garma (Espagne)

Contributions of the geomorphological map and Harris matrices in the analysis of anthropic constructions: Application to the La Garma cave (Spain)

JULES KEMPER, JEAN-JACQUES DELANNOY, STÉPHANE JAILLET,
ROBERTO ONTAÑÓN-PEREDO ET PABLO ARIAS

p. 209-225

<https://doi.org/10.4000/w9x4>

Résumés

Français English

La découverte récente d'importants aménagements anthropiques dans des sites ornés (ex : grotte Chauvet, Nawarla Gabarnmang) ou non (ex : grotte de Bruniquel), réinterroge notre connaissance sur ces espaces souterrains et sur la manière dont ils ont été investis par les sociétés passées. La grotte de La Garma (Cantabrie, Espagne) constitue un cas d'étude exemplaire. On y relève plusieurs structures anthropiques directement associées à d'anciennes phases d'occupation et d'ornementation magdaléniennes. Cette cavité constitue de ce fait un site idéal pour développer des outils méthodologiques visant à identifier et à décomposer le palimpseste des nombreuses interventions humaines passées. L'accent est mis dans cet article sur la zone VII de la Galerie Inférieure, éloignée de près de 300 m de l'entrée paléolithique. L'utilisation conjointe de la cartographie anthropo-géomorphologique à haute résolution spatiale et des diagrammes de Harris a permis d'identifier plusieurs périodes d'aménagement de la grotte depuis le Paléolithique jusqu'à la période médiévale. La cartographie géomorphologique a permis d'identifier d'anciens aménagements parfois difficiles de lecture ; les diagrammes de Harris ont permis de décomposer dans le temps les enchaînements des gestes humains et de rendre compte

de leur répartition dans la grotte. Le croisement de ces deux approches permet de reconstituer l'évolution du paysage souterrain au temps de ses fréquentations passées et de souligner ses modifications anthropiques anciennes. Cette démarche méthodologique offre un nouveau regard sur cette cavité et sur l'engagement des sociétés passées au sein d'espaces souterrains parfois éloignés des zones d'entrée.

The recent discovery of major anthropogenic developments in sites that are either decorated (e.g. Chauvet cave, Nawarla Gabarnmang) or not (e.g. Bruniquel cave) is reexamining our knowledge of these underground sites and the way in which they were used by past societies. The La Garma cave (Cantabria, Spain) is an exemplary case study. It contains numerous anthropogenic structures associated with the early phases of occupation and ornamentation associated with the Magdalenian period. This makes the cave an ideal site for developing methodological tools aimed at identifying and breaking down the palimpsest of numerous past human interventions. The focus in this article is on zone VII of the Lower Gallery, almost 300 m from the Palaeolithic entrance. The combined use of anthropo-geomorphological mapping at high spatial resolution and Harris diagrams has enabled us to identify several periods of development in the cave, from the Palaeolithic to the medieval period.) Geomorphological mapping has made it possible to identify ancient features that are sometimes difficult to read, while Harris diagrams have enabled us to break down the sequence of human activities over time and account for their distribution in the cave. By combining these two approaches, it is possible to reconstruct the evolution of the underground landscape during the period of its past use, and to highlight the changes brought about by human activity in the past. This methodological approach offers a new perspective on this cave and on the involvement of past societies in underground spaces that are sometimes far removed from the entrance areas.

Entrées d'index

Mots-clés : Grotte, archéologie, anthropo-géomorphologie, images 3D, cartographie géomorphologique, diagramme de Harris, La Garma, Espagne

Keywords: Caves, archaeology, anthropo-geomorphology, 3D images, geomorphological mapping, Harris diagram, La Garma, Spain

Notes de la rédaction

Manuscrit reçu le 31 mars 2023, reçu sous forme révisée le 15 mars 2024, article définitivement accepté le 25 mars 2024

Texte intégral

Les recherches à La Garma ont été financées par le projet PID2020-112832RB-I00 (Ministère de Science et Innovation du Gouvernement espagnol) (MCIN/AEI/10.13039/501100011033), par le Gouvernement de la Cantabrie (projet Garma XXI-Investigación arqueológica, gestión y puesta en valor de la Zona Arqueológica de La Garma (Omoño, Ribamontán al Monte) et par l'octroi d'un soutien financier de l'Ecole Doctorale SIE de l'Université Savoie Mont Blanc.

1. Introduction

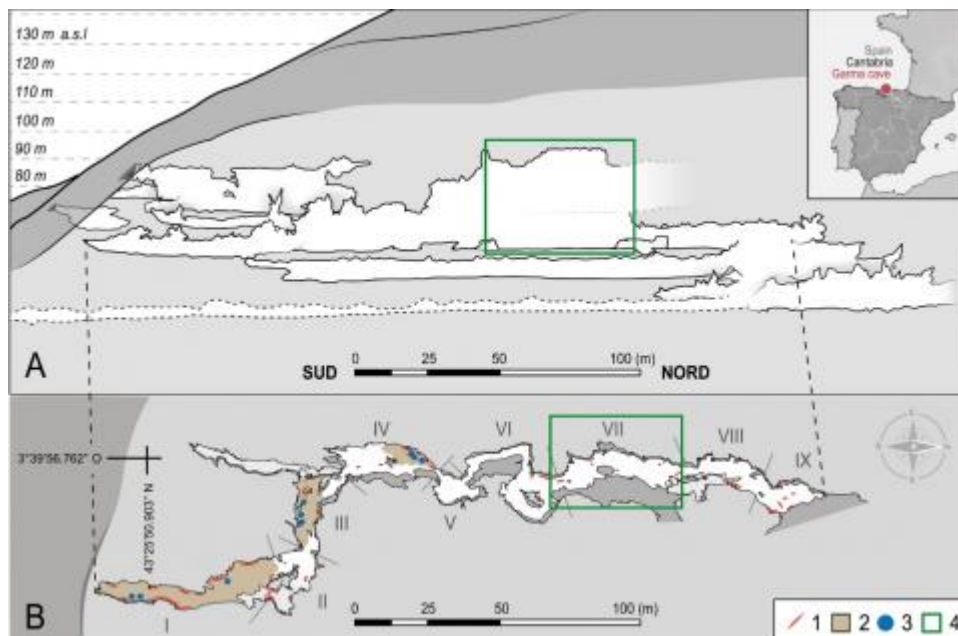
- ¹ De nombreux travaux récents soulignent le caractère aménagé de plusieurs sites archéologiques (Delannoy et al., 2012-2013-2017-2018 ; Jaubert et al., 2016 ; Verheyden et al., 2017 ; MacDonald et al., 2020). L'approche intégrée de ces sites, croisant les données géomorphologiques et archéologiques permet de définir des clés de compréhension des transformations et des aménagements réalisés par les sociétés anciennes dans ces espaces singuliers.
- ² Plusieurs sites souterrains (particulièrement ceux dont la conservation des sols permet l'étude d'une multiplicité d'archives) ont développé des approches mêlant analyse géomorphologique et archéologique : la grotte Chauvet-Pont-d'Arc (Delannoy et al., 2017a), la grotte de Bruniquel (Rouzaud et al., 1996 ; Rouzaud, 1996, 1997 ; Verheyden et al., 2017), la grotte de Cussac (Jaubert et al., 2018), Clogg's Cave (Delannoy et al., 2020b), etc. La cartographie joue un rôle prépondérant dans ces études. Dans les sites à haute valeur patrimoniale où les vestiges archéologiques se

retrouvent imbriqués avec le milieu naturel, cette approche topographique mettant l'accent sur la répartition et l'imbrication des entités paysagères peut avoir du sens pour comprendre l'évolution des espaces et de leur occupation (Delannoy, 1997 ; Delannoy et al., 2001, 2004, 2017b ; Debard et al., 2022). En ce sens, la cartographie géomorphologique développée à la grotte Chauvet-Pont-d'Arc a marqué un véritable tournant dans l'identification d'incohérence morphologiques susceptibles de révéler des aménagements anciens (Delannoy et al., 2013 ; Delannoy et Geneste, 2020). Sa résolution, jusque-là inédite, permet d'interroger la présence de chaque entité, sa relation avec les sols, sa temporalité, son origine, etc. (Delannoy et Geneste, 2020). Mais ce document de réflexion et d'inventaire reste limité pour dresser à la fois des liens au sein du volume général (obligeant à des coupes régulières) ou pour tisser des liens entre des éléments spatialement déconnectés les uns des autres. Comment réussir à tisser des liens entre différentes natures d'acte anthropique, d'autant plus qu'elles sont réparties dans le réseau souterrain sans connexion spatiale directe ? Autrement dit, comment mettre en relation une structure au sol avec une peinture visible sur une paroi à l'autre bout de la zone d'étude ? En ce sens, le diagramme de Harris, originellement pensé pour rendre compte des superpositions au sein de séquences stratigraphiques complexes (Harris, 1979 ; Harris et Gunn, 2018), est une méthode intéressante. Il permet de dresser des liens chronologiques fins et robustes (basés sur des superpositions) et de comparer des séquences chronologiques entre elles pour trouver des correspondances. Ce mode de représentation chronologique relatif standardisé a été rapidement utilisé dans d'autres disciplines pour décomposer des dépôts complexes (ex : l'étude des parois ornées : Chippindale et Taçon, 1993 ; Loubser, 1997 ; Chippindale et al., 2000 ; Russel, 2000 ; Romero et al., 2012 ; David et al., 2019 ; Carden et Miotti, 2020 ; Gunn et al., 2022). Il a par exemple été adapté par Monney et Jaillat (2019) à l'étude de la grotte aux Points pour comprendre les étapes de formation du paysage souterrain et y situer les fréquentations humaines et animales. L'extension de la logique du Harris à une échelle spatiale plus vaste (la grotte) et un passage de la coupe au volume (séquences chronologiques épars dans la galerie) a ouvert une nouvelle perspective d'étude de ces espaces. Le croisement des méthodes de la cartographie géomorphologique haute résolution et des diagrammes de Harris pourrait permettre de combiner la lecture et l'identification spatiale d'ensembles morphologiques (types structures anthropiques) et leur lecture chronologique fine en vue d'identifier des étapes communes (structuration, remobilisations, etc.) en différents secteurs d'une même cavité.

- 3 C'est dans le cadre de cette approche que s'inscrivent les travaux actuellement menés à la grotte de La Garma (Cantabrie, Espagne), classée au Patrimoine mondial de l'Unesco pour la richesse et la diversité de ses vestiges archéologiques et pariétaux. Cette cavité, située sur la colline éponyme, a été découverte en 1995 et est depuis au cœur des recherches archéologiques pilotées par la *Universidad de Cantabria* (Santander) (Arias et Ontañón, 2020). Formée de dix galeries étagées autrefois connectées au versant (fig. 1), la cavité a été fréquentée pendant une longue période de temps du Paléolithique Inférieur au Moyen-Âge (Arias et al., 2017 ; Arias et Ontañón, 2020 ; Cueto et al., 2020). La fermeture de la plupart des entrées vers la fin du Pléistocène (colluvions, effondrement, etc.) est à l'origine d'une très bonne préservation des vestiges archéologiques (panneaux ornés, objets d'art mobilier, empreintes de pieds, structures anthropiques, dépôts funéraires, etc.). Cette conservation, combinée à l'identification de plusieurs structures anthropiques, font de la grotte de La Garma un site d'étude privilégié. Dans cet article, nous axerons l'étude sur l'identification de modifications anthropiques et de leur cadre chronologique.

Fig. 1 - Coupe et carte générales du réseau de la grotte de La Garma.

Fig. 1 - General section and map of the La Garma cave system.



A : Coupe générale du réseau de La Garma. B : Carte générale de la Galerie Inférieure. 1. Parois ornées ; 2. Sols d'occupation ; 3. Structures anthropiques identifiées avant étude anthropo-géomorphologique ; 4. Zone d'étude (VII).

A: General section of the La Garma network. B: General map of the Lower Gallery. 1. Ornamented walls; 2. Occupation soils; 3. Anthropic structures identified before anthropo-geomorphological study; 4. Study area (VII).

4 La Galerie Inférieure (environ 300 m de longueur) a été intensément fréquentée avant sa fermeture naturelle (écroulement de son porche d'entrée). Pour les besoins de son étude, elle a été divisée en neuf zones allant de la paléoen-trée à son terminus (puits de ca. 20 m, donnant accès à la rivière souterraine). On y distingue deux phases d'ornementation (Gonzalez, 2003 ; Gonzalez et Moure, 2010 ; Collado et Garcia, 2021) : une première pré-magdalénienne (allant de l'Aurignacien au Solutréen, avec plusieurs figurations animales et mains négatives, dont certaines datées de 24 300 cal. BP) et une seconde magdalénienne, principalement localisée dans les zones I à IV. Cette dernière est particulièrement riche en vestiges archéologiques divers : sols d'occupation, ossements, art mobilier, empreintes mais également structures anthropiques en association avec des artefacts archéologiques (Ontañón, 2003 ; Arias et al., 2005, 2006, 2020). Enfin des fréquentations plus tardives, rapportées aux périodes médiévales sont à l'origine de nombreux charbons de bois au sol, de concrétions brisées et de plusieurs sépultures (Arias et al., 2011, 2012, 2017).

5 Cette différence de répartition et de nature des vestiges anthropiques actuellement reconnus dans la cavité, questionne notre propre capacité à déceler des gestes humains par les seules archives archéologiques. Une attention particulière est portée dans ce travail sur les aménagements anthropiques. Bien que les plus visibles aient été déjà identifiés (et pour certains étudiés) dans les secteurs I, III et IV de la cavité (Ontañón, 2003 ; Arias et al., 2005, 2006 ; Arias et Ontañón, 2020), de nombreux autres aménagements se répartissent sur la totalité de la Galerie Inférieure (concrétions brisées, accumulations localisées, etc.). Plus discrets dans le paysage souterrain ou plus complexes d'appréhension, ils ont été peu investis. Or ces témoins anthropiques constituent une entrée pertinente pour réinterroger les espaces de la grotte où peu d'objets archéologiques matériels ont été retrouvés. Ces déplacements d'objets naturels et leur mobilisation dans des structures anthropiques sont autant de vecteurs de (re)connaissance de fréquentations et de modalités d'occupations passées encore mal comprises. Compte tenu de la complexité géomorphologique de certaines structures anthropiques (mobilisation de blocs et de spéléothèmes brisés) et de leur imbrication avec des formes naturelles (sédiments, repousses stalagmitiques, scellement), une approche méthodologique particulière est nécessaire pour les aborder dans l'espace de la cavité et dans ses différentes temporalités. Cette approche est d'autant plus nécessaire que nombre de ces aménagements ont été altérés par des processus naturels et/ou par des actions anthropiques liées aux fréquentations souterraines ultérieures.

- 6 L'approche mise en place a pour objectif (i) d'identifier les différents types de structures anthropiques, (ii) de reconstituer les gestes humains et (iii) de les replacer dans le temps de la grotte et de ses fréquentations. Une des principales difficultés, en l'absence de datations, est de pouvoir associer leur agencement avec les fréquentations archéologiques déjà reconnues. Cette question se pose pour de nombreuses cavités à forte valeur patrimoniale et/ou classées où les prélèvements sont le plus souvent limités en vue de datations. Comme vu précédemment, ce travail a donc cherché à combiner la cartographie anthropo-géomorphologique (Delannoy et al., 2018, 2020a) et la construction des diagrammes d'Harris (Harris, 1979 ; Harris et Gunn, 2018 ; Monney et Jaillet, 2019). Par leur complémentarité, ces deux supports permettent de caractériser différents types d'aménagement, de définir leur agencement initial et le replacer dans le temps relatif des fréquentations humaines. La présentation de cette approche est l'objet de cet article. Elle est ici appliquée à la zone VII de la grotte de La Garma.
- 7 Après avoir exposé les raisons du choix du secteur d'étude, est présentée la méthode mise en place, puis les résultats obtenus (reconnaissance et chronologique relative des structures anthropiques).

Fig. 2 - Vue de la Zone VII de la Galerie Inférieure.

Fig. 2 - View of Zone VII of the Lower Gallery.



Les structures VII-B et VII-C sont visibles à gauche de l'image, le long d'un plafond bas. L'écroulement nord est visible à l'arrière-plan. Certains blocs permettent l'accès à des niveaux karstiques sus-jacents. (Cliché S. Jaillet, 2021)

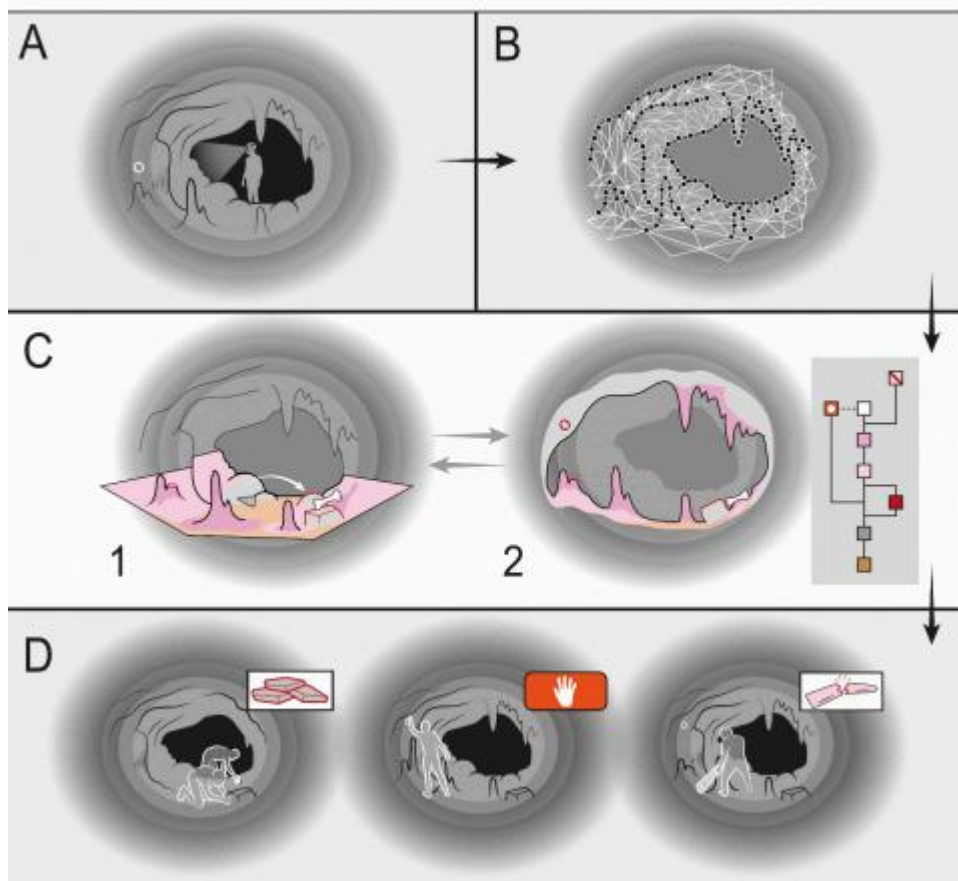
Structures VII-B and VII-C are visible on the left of the image, alongside a low ceiling. The northern collapse is visible in the background. Some blocks allow access to overlying karst levels. (Photo S. Jaillet, 2021).

2. Présentation du secteur d'étude : la zone VII de la Galerie Inférieure

8 La zone VII est un secteur important dans la compréhension de la Galerie Inférieure, que ce soit du point de vue de ses usages ou de ses fréquentations (fig. 1-3). Elle se situe sur un nœud topographique recoupant trois niveaux karstiques étagés. Plusieurs réajustements mécaniques de ses galeries ont créé des accès vers les galeries supérieures (amas de blocs permettant des escalades faciles) (fig. 2-3). Ces opportunités d'accès à différents niveaux de galerie font de la zone VII un carrefour entre différents volumes et différentes parties du réseau. Toutefois, en comparaison avec les secteurs proches de la paléoentrée, la zone VII contient peu de vestiges archéologiques : quelques spéléofacts et artefacts au sol (os de bison gravé, lampe à graisse en calcite, etc.), des traces de pigment sur les parois et de rares représentations graphiques. D'après Jaubert et al. (2016) et Verheyden et al. (2017), la définition de spéléofact correspond à un « *Spéléothème déplacé, extrait, débité, façonné ou simplement utilisé par l'Homme* ». Dans ce secteur il s'agit principalement de mains négatives (hématite). Elles sont attribuées au Gravettien par comparaison avec celles de la zone IX, calées dans le temps par la datation d'un voile de calcite sur entité graphique ($24,3 \text{ ka} \pm 0,33 \text{ cal. BP}$ par U/Th) (Gonzalez, 2003 ; Garate, 2008 ; Arias et Ontañon, 2008 ; Arias et al., 2014). De nombreux charbons de bois attestant de fréquentations médiévales ont été identifiés tout au long du cheminement (~700 apr. J-C). Compte tenu de l'évolution des accès dans la grotte, les humains contemporains de cette dernière période auraient accédé à la galerie *via* les niveaux supérieurs. Dans la même zone VII, ont été identifiées de nombreuses perturbations anthropiques des sols : spéléothèmes brisés au sol, déplacements et accumulations linéaires de blocs et de spéléothèmes contre les parois et dans des espaces bas de plafond, structures géométriques de spéléothèmes brisés le long du cheminement, etc. Une attention particulière a été portée à l'ensemble de ces « traces » d'actes anthropiques. Peuvent-elles être associées aux différentes phases de fréquentation en l'absence de datations ? Afin de répondre à ces questionnements, une double approche a été mobilisée. Dans un premier temps, une étude anthropo-géomorphologique a été conduite sur les différents aménagements de la zone VII afin de distinguer leur agencement, les matériaux mobilisés et les interactions avec les processus naturels (concrétionnement, ruissellement, soutirage, etc.). Les séquences issues de ces observations sont ensuite comparées à celles relevées près des vestiges archéologiques. Cette combinaison à la fois spatiale et temporelle a nourri la construction d'une méthodologie originale combinant cartographie et chronologie relative multi-échelle. Cette approche permet de croiser les données géomorphologiques et archéologiques dans une même chaîne de raisonnement en travaillant sur leur emboîtement spatial.

Fig. 3 - Cartographie anthropo-géomorphologique simplifiée de la Zone VII.

Fig. 3 - Simplified anthropo-geomorphological mapping of Zone VII.



A : Site d'étude ; B : Acquisition et modélisation 3D ; C : Documentation anthropo-géomorphologique ; D : Reconstitution archéo-spéléogénique. Le site d'étude (A) est dans un premier temps scanné en 3 dimensions afin de produire une base documentaire et topographique (B). La combinaison de la cartographie des sols (visant à identifier, inventorier, définir la répartition et l'origine des éléments dans l'espace de la galerie) et de chronologies relatives sur coupes (visant à faire des liens entre parois et sols et à identifier des séquences chronologiques récurrentes dans l'espace de la galerie) (C), permet d'identifier différents gestes humains dans la cavité et de les replacer chronologiquement les uns par rapport aux autres, tout en les intégrant à l'évolution naturelle du paysage (D). 1. Carte géomorphologique ; 2. Coupes et diagrammes de Harris.

Acquisition and 3D modelling; C: Anthro-geomorphological documentation; D: Archaeo-sepeleogenic reconstruction. The study site (A) is first scanned in 3 dimensions in order to produce a documentary and topographical base (B). The combination of ground mapping (to identify, inventory, define the distribution and origin of the elements in the gallery space) and relative chronologies on sections (to make links between walls and grounds and to identify recurrent chronological sequences in the gallery space) (C), makes it possible to identify different human gestures in the cavity and to place them chronologically in relation to one another, while integrating them into the natural evolution of the landscape (D). 1. Geomorphological map; 2. Harris sections and diagrams.

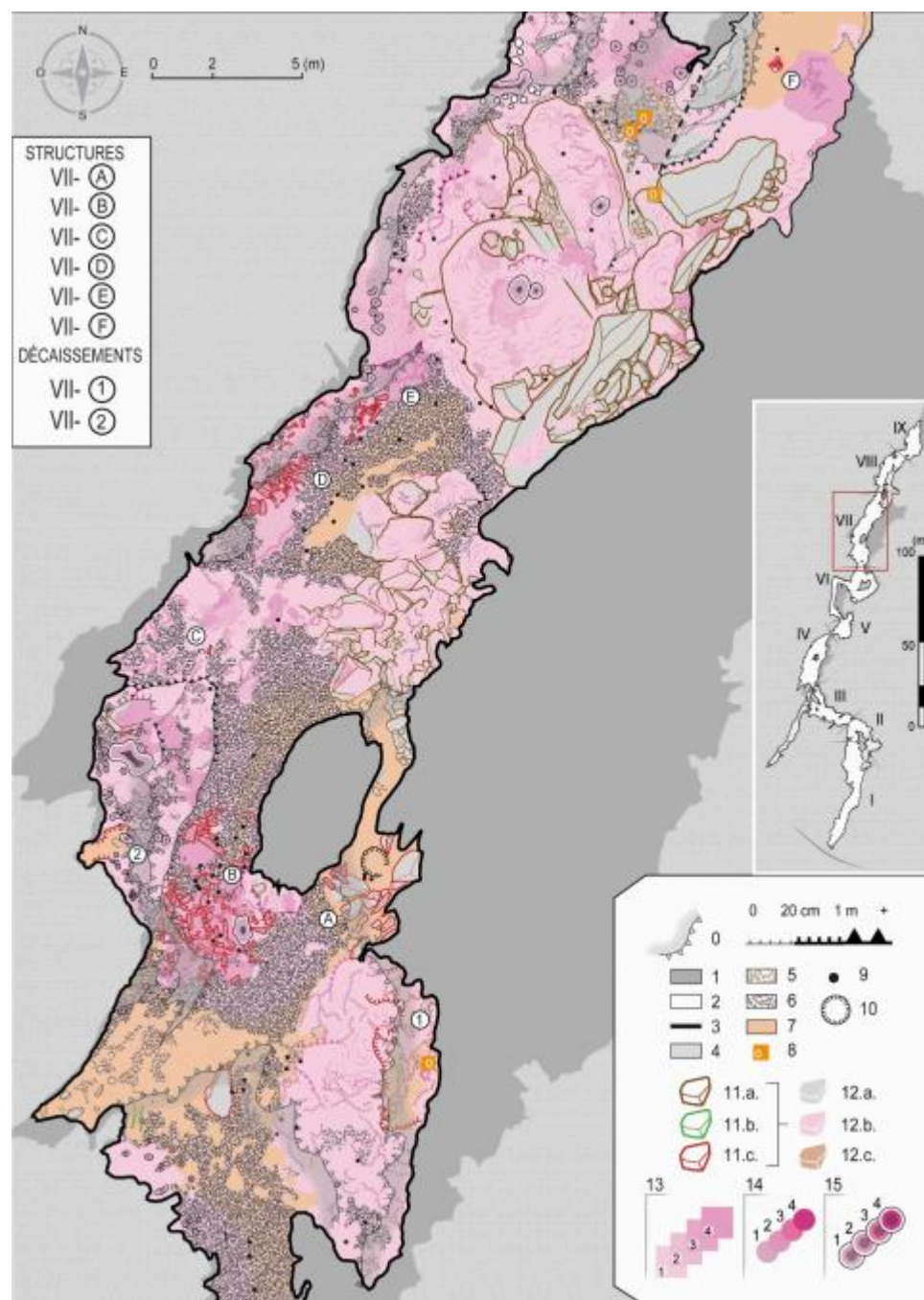
3. Méthodologie croisée : de la cartographie géomorphologique au diagramme de Harris

- 9 Le besoin de disposer d'une ressource topographique mêlant l'échelle générale de la galerie à l'échelle fine des spéléothèmes brisés et des aménagements anthropiques a conduit à mobiliser les méthodes de modélisation 3D. Dans cette démarche, l'intégralité de la Galerie Inférieure a été scannée en 2012 par l'entreprise *GIM Geomatics* (LiDAR courte portée *Faro Photon 120*). L'acquisition 3D sur l'ensemble de la grotte comptabilise 235 scènes de scan et un nuage général de plus de 440 millions de points.
- 10 Pour l'étude anthropo-géomorphologique de la zone VII, ces données ont été utilisées pour créer des MNT (Modèle Numérique de Terrain) à résolution centimétrique, utilisés comme supports de cartographie. Le logiciel *3DReshaper* a quant à lui permis la construction d'un modèle maillé multi-résolution (fig. 4). Ce modèle permet la soustraction d'éléments ou l'individualisation de blocs en vue de l'estimation de leurs propriétés (volume, poids, morphologie) ou de leur manipulation (ex : tester des

correspondances entre blocs et lieu d'origine supposée, imager un paléo-relief, etc.) (Jaillet et al., 2011, 2018, 2019 ; Genuite et al., 2021 ; Delannoy et al., 2020a). Certains dépôts particuliers (ex : les dépôts de matériaux contre des plafonds bas), nécessitant une résolution plus fine (agencement complexe de spéléothèmes, dépôt clastique centimétrique, etc.), ont été acquis par photogrammétrie. Les données photographiques (Appareil *Lumix G DMC-GX80K*), ont été traitées sur le logiciel *Agisoft Metashape*, puis intégrées au modèle général par un assemblage point à point sur le logiciel *Cloud Compare*.

Fig. 4 - Approche anthropo-géomorphologique : une approche intégrative des gestes humains.

Fig. 4 - Anthro-geomorphological approach: an integrative approach to human actions.



0. Limite de plafond bas ; 1. Surface totale projetée ; 2. Zone non cartographiée ; 3. Limite sol/paroi ; 4. Bedrock ; 5. Clastes calcaires ; 6. Clastes calcite ; 7. Argiles ; 8. Art pariétal ; 9. Charbon ; 10. Bauges d'ours ; 11. Transport (a. Gravitaire ; b. Fluviale ; c. Anthropique) ; 12. Nature lithologique (a. Calcaire ; b. Calcite ; c. Argiles) ; 13. Faciès Générationnels des planchers stalagmitiques ; 14. Faciès Générationnels des stalagmites ; 15. Faciès Générationnels des colonnes stalagmitiques. On distingue la nature des éléments (couleur de fond), leur temporalité (teinte de la couleur) et leur transport (contours). On relève ainsi en contours rouges les perturbations anthropiques. Celles-ci peuvent se résumer en quelques blocs déplacés ou en des enlèvements (bris de spéléothèmes, décaissements des sols ou des parois). Ces deux types de

gestes sont ici numérotés différemment.

0. Low ceiling limit; 1. Total projected area; 2. Unmapped area; 3. Ground/wall boundary; 4. Bedrock; 5. Limestone clasts; 6. Calcite clasts; 7. Clay; 8. Cave art; 9. Charcoal; 10. Bear log; 11. Transport (a. Gravity ; b. Fluvialite ; c. Anthropic) ; 12. Lithological nature (a. Limestone; b. Calcite; c. Clay); 13. Generational facies of the stalagmitic floors; 14. Generational facies of stalagmites; 15. Generational facies of stalagmitic columns. A distinction is made between the nature of the elements (background colour), their temporality (colour tone) and their transport (contours). Anthropogenic perturbations are shown in red contours. These can be summarised as a few displaced blocks or removals (breaking of speleothems, excavation of the ground or walls). These two types of action are numbered differently here.

11 La cartographie géomorphologique, nécessaire à l'identification et la compréhension des vestiges au sol (Delannoy et Geneste, 2020), a été acquise sur cette base documentaire 3D (MNT, ortho-images) (fig. 4). Il s'agit tout autant d'un document d'inventaire que de réflexion afin de comprendre chacune des morphologies présentes sous terre et les associer à des processus morphogéniques. La résolution centimétrique choisie pour le relevé général, inhabituelle pour ce genre de travaux, est liée à la problématique : au vu d'interroger les remobilisations anthropiques ainsi que les différentes modalités et types d'aménagements, chaque entité ou fragment doit être représentée et questionnable. Il s'agit ici de caractériser les déplacements d'éléments et leur imbrication (blocs, spéléothèmes, clastes). Raison pour laquelle la légende, basée sur celle de l'Atlas Chauvet (Delannoy et Geneste, 2020), a été adaptée aux questions de remobilisations fines : axe de croissance des spéléothèmes brisés en vue d'identifier des incohérences de positionnement ; statut des éléments au sol (scellés, cimentés, libres) en vue de contraindre leur position chronologique par rapport à des processus naturels ; représentation des plafonds bas pour visualiser les incohérences de dépôts, etc. (Kemper et al., 2024). Enfin cette cartographie géomorphologique fine, en précisant chacun des processus morphogéniques à l'origine des formes et dépôts dans la cavité, aborde également la question de leurs chronologies et propose des reconstitutions des dynamiques spatiales. Différentes « générations » de concrétionnement ont été identifiées dans la Galerie Inférieure en se basant sur leur faciès (couleur, épaisseur, longueur), leur état d'altération et leurs emboitements avec d'autres indices morphogéniques. Ces différentes « générations » sont appelées ici « Faciès Générationnel » (FG). Leur représentation cartographique permet de comprendre visuellement leur répartition, leur temporalité et leur imbrication avec d'autres éléments morphologiques (Delannoy et Geneste, 2020) : planchers stalagmitiques, spéléothèmes en place ou brisés, repousses, etc.

12 Les structures, identifiées grâce au travail de cartographie, n'en restent pas moins déconnectés spatialement les unes des autres. D'où l'attention portée à créer des liens, parfois mêmes ténus, entre des structures *via* des similarités de construction ou des associations avec des dynamiques naturelles de la grotte (concrétionnement par exemple). C'est pour répondre à ce besoin que la cartographie a été complétée par des coupes géomorphologiques à différentes échelles, plus susceptibles de rendre de compte des enchaînements dans le volume et de faire le lien entre les éléments au sol et la paroi ou la voûte (fig. 4). Ces coupes sont relevées à partir de supports 3D (coupes du nuage de points de la galerie) et choisies d'après l'inventaire géomorphologique. Seules les zones comprenant une grande diversité d'enchaînements (séquence chronologique comprenant un grand nombre d'éléments) ou des enchaînements spécifiques (séquence chronologique comprenant un ou plusieurs éléments rares à l'échelle de la galerie) ont été retenues dans ce travail.

13 Les différentes coupes ont par la suite été traduites sous forme de diagramme de Harris (fig. 4). Ce diagramme, originellement pensé pour faciliter la lecture et la compréhension de stratigraphie complexe en contexte de fouilles archéologiques urbaines (Harris, 1979), a été adapté à d'autres situations de superposition comme les panneaux ornés (Loubser, 1997 ; Russel, 2000 ; Harris et Gunn, 2018 ; Carden et Miotti, 2020 ; Gunn et al., 2022) ou dans la reconstitution paléo-environnementale de divers milieux naturels (Kobyliński, 1993 ; Trócoli, 1993 ; Dye et Buck, 2015 ; Monney et Jaillet, 2019 ; Gorczyńska et al., 2023). La légende, adaptée à l'étude par Monney et Jaillet (2019) de la grotte aux Points d'Aiguèze, a été réadaptée ici selon deux critères : (i) prendre en compte les contextes morphologique et archéologique spécifiques de La

Garma, et (ii) pour étudier finement les remobilisations et les perturbations anthropiques (spéléothème brisé, spéléothème déposé, manuport, décaissement, dépôt structuré).

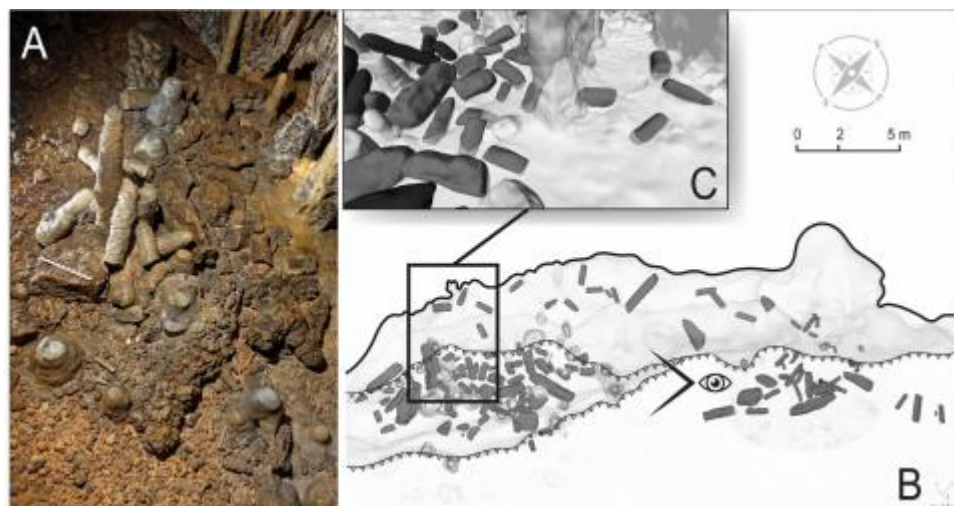
- 14 Le diagramme de Harris consiste à représenter graphiquement les liens de succession logiques entre différents éléments (aussi bien naturels qu'anthropiques) composant une coupe. La verticalité exprime le temps à la manière d'une séquence d'accumulation sédimentaire (fig. 4). Les éléments les plus anciens se situent à la base de la séquence et les plus récents en haut. Les liens verticaux entre éléments traduisent des superpositions. On distingue dans le diagramme les superpositions physiques (bloc recouvrant un plancher stalagmitique, concrétion scellant un dépôt sédimentaire, etc.) des superpositions logiques (en pointillés) permettant de placer un élément chronologiquement par rapport à un autre en l'absence de superposition physique (ex : une peinture paléolithique logiquement antérieure à un objet médiéval).
- 15 Les liens horizontaux entre les séquences (ou liens de contemporanéité) sont introduits dans un second temps pour identifier des groupes d'éléments présentant de fortes similarités. Dans le cas où cette hypothèse de contemporanéité est robuste (ex : phase de concrétionnement commune à plusieurs coupes, même dépôt d'écroulement se retrouvant sur plusieurs coupes, etc.), le lien est figuré en pointillés. Certains liens horizontaux, plus incertains, sont davantage à discuter et graphiquement différenciés (simple placement horizontal sans jonction). En effet, si par exemple des traces de pigment, physiquement identiques, peuvent être placées les unes à côtés des autres sans en être empêchées par des contraintes de superposition ; il n'en reste pas moins qu'il peut s'agir de gestes espacés dans le temps. Une discussion au cas par cas est donc indispensable pour chacun des éléments.
- 16 Cette méthode, alliant approche spatiale et chronologie relative, permet donc à la fois d'identifier et de comprendre l'agencement des structures anthropiques de la zone VII, et de tisser des liens chronologiques et spatiaux entre ces structures et leur environnement.

4. Identification des structures anthropiques par l'approche cartographique

- 17 Le travail de cartographie géomorphologique a été mené sur l'intégralité de la zone VII à une résolution centimétrique. Il permet un état des lieux des entités géomorphologiques en présence et des dynamiques spéléogéniques. Cette connaissance préalable permet d'identifier les incohérences qui s'écartent des logiques morphogéniques « naturelles ». L'identification d'incohérences morphologiques par la cartographie géomorphologique (disposition géométrique, provenance non conforme du matériel, vide sans lien avec des processus d'érosion et/ou sans dépôt associé, etc.) permet d'en interroger les causes ; notamment anthropiques (structures ou aménagements). C'est le cas des ensembles VII-E et VII-D visibles sur la Figure 3. L'ensemble VII-D (fig. 5), mobilise cinq spéléothèmes brisés disposés en arc de cercle sur une stalagmite en place.

Fig. 5 - Vue de la structure VII-D et modélisation 3D des spéléofacts qui la composent.

Fig. 5 - View of Structure VII-D and 3D modelling of existing speleofacts.



A : Photographie de la structure VII-D ; B : Vue en plan de la modélisation 3D de la structure VII-D ; C : Vue 3D en transparence de l'emboîtement des spéleofacts dans les planchers stalagmitiques actuels. Certains spéleofacts ne sont aujourd'hui discernables que par l'émergence d'une de leur face du scellement stalagmitique. Les faces ensevelies ont donc été réinterprétées sur le modèle 3D en se basant sur le profil cylindrique théorique des tronçons stalagmitiques (ici le sol est mis en transparence de manière à identifier les portions interprétées). À ce stade, il n'y a pas de chronologie proposée dans l'édification de cette structure.

A: Photograph of structure VII-D; B: Plan view of the 3D model of structure VII-D; C: Transparent 3D view of the interlocking speleofacts in the current stalagmitic floors. Some speleofacts are today only distinguishable by their upper surface emerging from later stalagmitic flows. The sealed faces have therefore been interpreted on the 3D model on the basis of their theoretical cylindrical profile (here the ground is made transparent in order to highlight the interpreted portions). At this stage, there is no proposed chronology for the construction of this structure.

18 Dans cet agencement géométrique, la position des concrétions cassées (sommet pointé vers le haut) n'est pas cohérente avec une chute d'origine naturelle. De la même manière, aucun socle cassé directement en lien avec ces stalagmites brisées ne permet d'expliquer leur position actuelle sans un transport depuis le lieu de leur bris. A proximité, les huit spéleothèmes empilés les uns sur les autres dans l'ensemble VII-E (fig. 6) présentent les mêmes incohérences de dépôt. Or ces deux accumulations, surmontent elles-mêmes d'autres spéleothèmes brisés de taille plus importante (fig. 5-6). La cartographie de ces spéleofacts sous-jacents souligne leur répartition linéaire le long de la paroi ouest, contre des colonnes stalagmitiques fermant un petit surplomb (fig. 5-6). La complémentarité spatiale des ensembles VII-E et VII-D (ensembles adjacents, de même orientation, tous deux de forme linéaire) semble aller dans le sens d'un dépôt similaire. Là encore, aucune connexion directe avec des bases de stalagmites brisées ne pourrait expliquer le dépôt dans sa globalité. Pourtant l'origine et l'organisation de ce dépôt ne peuvent pas être liée à des processus gravitaires depuis les parois, la majorité des spéleothèmes étant situé sous une corniche (fig. 5). De la même manière aucune circulation d'eau dans la Galerie Inférieure (perchée à plus de 20 m du réseau actif) ne soutient l'hypothèse de la remobilisation d'un matériel épars et son plaquage contre les parois. Ce faisceau d'éléments morphologiques, mis en évidence par la carte, permet donc d'envisager l'hypothèse d'une structuration anthropique contre le plafond bas. Hypothèse d'autant plus probable que c'est d'ores et déjà ce qui avait pu être constaté pour les aménagements paléolithiques des zones III et IV (Ontañón, 2003 ; Arias et Ontañón, 2020).

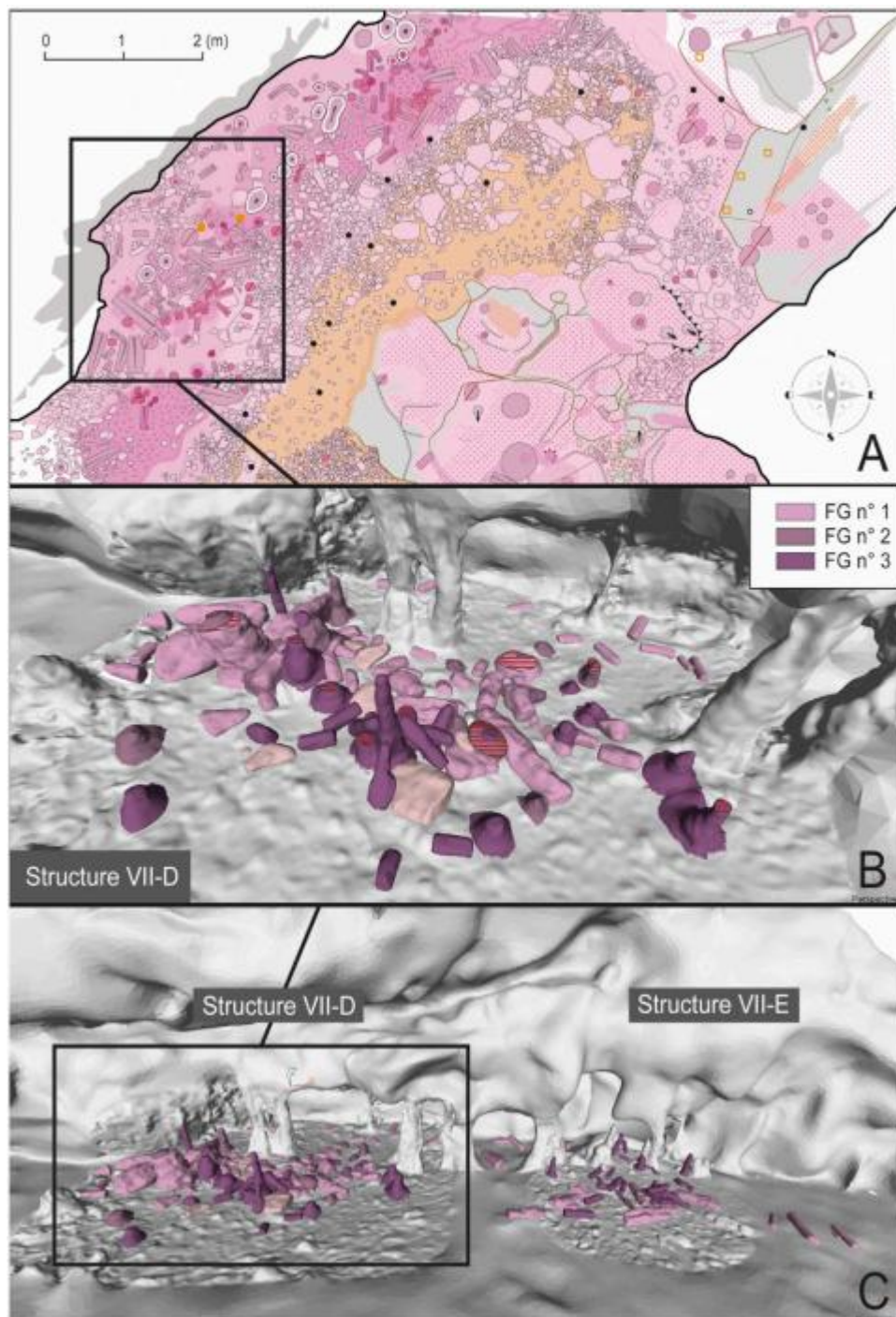
19 Plusieurs bases de concrétions brisées, à proximité des dépôts, sont susceptibles de correspondre à certains des tronçons brisés. Ainsi parmi le rideau de colonnes stalagmitiques fermant l'espace restreint du surplomb (fig. 6), des marques au sol et sur le plafond (faces brisées) témoignent de la disparition de deux colonnes. Ces enlèvements sont scellés par des traces de pigment (hématite) attribuables aux périodes de fréquentation paléolithiques (Arias et al., 2020). Au vu du diamètre et de la longueur de certains spéleofacts de la structure VII-D (partie inférieure), certains pourraient provenir de ces anciennes colonnes.

20 Plusieurs spéleothèmes brisés sont disposés de manière éparse sous le surplomb, à proximité des structures linéaires VII-E et VII-D (fig. 5). Comme le montre la

cartographie géomorphologique, aucune base de stalagmite brisée dans leur environnement proche ne permet d'expliquer leur présence dans cette niche latérale. L'hypothèse d'un transport anthropique semble là encore à privilégier. Ces spéléofacts allochtones sont aujourd'hui difficilement discernables car cimentés (voire presque scellés) par des encroûtements stalagmitiques postérieurs à leur dépôt. Cette tendance à l'invisibilisation d'une partie des spéléothèmes au sol par des processus morphologiques postérieurs, oblige à les replacer dans le contexte de leur dépôt, en distinguant plusieurs phases de concrétionnement (fig. 5). En dehors du fait de replacer ces spéléofacts dans le paysage de leur construction, la mise en évidence de différentes générations de spéléothèmes permet d'inscrire leur casse et leur dépôt dans le temps (dépôt de concrétion FGX, dépôt de concrétions FGX+1, etc.). Ces « générations » sont ici définies à partir de l'aspect et du faciès des concrétions (cf. la notion de « Faciès Générationnel » FG) ; permettant d'attribuer à chaque spéléofact un âge relatif. Sur la base de ce raisonnement, deux temps de construction ont pu être appréhendés pour la structure VIII-D (fig. 6). Les spéléofacts formant l'accumulation dressée en arc-de-cercle de l'ensemble VII-D font partie de faciès récents (FG n° 3) associés à plusieurs repousses brisées (FG n° 3) scellant le dépôt sous-jacent (FG n° 1). L'accumulation linéaire de spéléothèmes brisés (construction n° 1) est donc antérieure à l'érection de la structure cylindrique qui la coiffe (construction n° 2).

Fig. 6 - Analyse géomorphologique et chronologique des structures VII-D et VII-E.

Fig. 6 - Structure VII-D (Top) from detailed geomorphological soil mapping.



A : Cartographie géomorphologique haute résolution (se référer à la légende géomorphologique dans la Figure 4) ; B : Modélisation 3D colorisée de la structure VII-D en fonction des Faciès Générationnels ; C : Modélisation colorisée générale des structures VII-D et VII-E. Seuls les spéléofacts sont colorisés afin de ne discerner que les générations de structures. Les faces brisées sont représentées en hachures rouges.

A: High-resolution geomorphological mapping (refer to geomorphological legend on Figure 4); B: 3D colour modelling of structure VII-D according to generational facies; C: General color modelling of structures VII-D and VII-E. Only the speleofacts are colorised in order to discern only the generations of structures. In red hatching, the broken bases.

- 21 La même observation peut être faite sur l'ensemble VII-E où une accumulation de spéléofacts FG n° 3 et 2 surmonte un dépôt linéaire de spéléofacts FG n° 1 cimentés. Les structures VII-E et VII-D sont donc des structures polyphasées formées (i) d'un assemblage linéaire de spéléofacts sous un plafond bas de la galerie, et (ii) de deux structures d'accumulation ponctuelle de spéléofacts. Cette première segmentation temporelle, basée sur la cartographie géomorphologique détaillée, a été cartographiée en 3D avec trois gammes colorimétriques pour une meilleure visualisation au sein du volume du plafond bas. La figure conserve le même principe sémiologique que la carte géomorphologique, le faciès le plus ancien étant représenté avec la couleur la plus claire (voir FG n° 1 dans la Figure 6) et le plus récent avec la plus foncée (voir FG n° 3 dans la Figure 6).

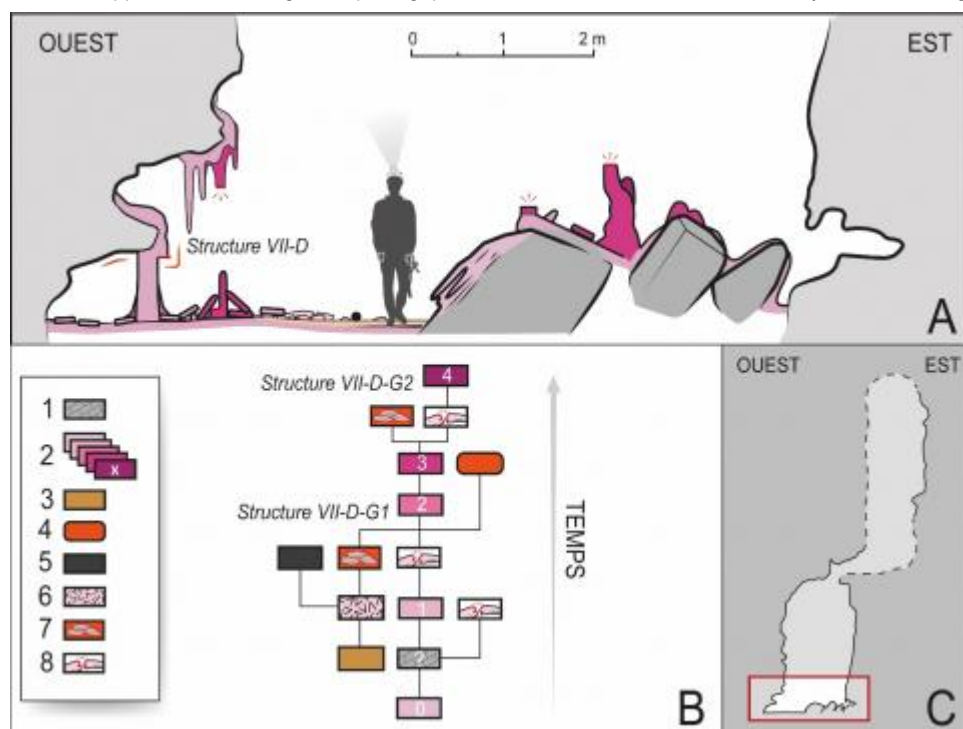
5. Compléter la carte *via* le diagramme de Harris

5.1. Complémentarité spatiale et chronologique : recherche des correspondances et des contraintes

- 22 Les différentes coupes synthétiques réalisées dans la galerie ont été converties en matrices de Harris pour visualiser des séquences chronologiques comparables. L'exercice a été ici centré sur la coupe située au droit de l'ensemble VII-D (fig. 7) : une première phase de construction (liée aux bris de colonnes et au dépôt des traces de pigment) est scellée par des stalagmites FG n° 2 et 3. Ces repousses ont été brisées plus tard pour alimenter une seconde phase de construction. Les liens *objet/provenance de l'objet* fournissent des arguments particulièrement solides pour lier entre eux des formes et des dépôts non contraints par une superposition physique stricte (ici des spéléofacts liés à des bases de spéléothèmes brisés). Mais l'organisation spatiale des dépôts (qu'elle soit interne à la structure ou à l'échelle de la galerie) permet également de dresser des hypothèses de contemporanéité de certaines constructions ou dépôts.
- 23 Ainsi, les constructions 1 et 2 des structures VII-D et VII-E se différencient non seulement par les l'âge relatif (FG) des éléments qui les composent et les scellent, mais aussi par leurs logiques spatiales. Alors que la construction n° 1 ferme un petit espace latéral ; la construction n° 2 est formée d'accumulations ponctuelles le long du cheminement principal de la galerie. Les similarités entre les structures n° 2 des structures VII-D et VII-E (spéléofacts FG n° 2 à 3, accumulations ponctuelles de tronçons de spéléothèmes, recherche d'une élévation du dépôt) ; ainsi que les similarités entre leurs séquences chronologiques (FG n° 1 – Structure – FG n° 2 et 3 – Structure) permet d'associer différentes structures au sein d'un même *geste* d'aménagement (fig. 8). Cette logique chronologique et spatiale permet donc d'étendre cette phase de construction n° 2 à des éléments spatialement déconnectés comme la structure VII-C. La même logique permet d'identifier d'autres structures attribuables à la phase de construction n° 2 dans la galerie (fig. 8). En considérant l'ensemble de ces structures de phase n° 2 dans la zone VII, il apparaît que cet aménagement ne suit pas la paroi (comme la construction n° 1), mais plutôt l'axe du cheminement principal.

Fig. 7 - Section géomorphologique n°18 (au niveau des structures VII-D) et transcription des formes et de leur enchaînement sous forme de matrice de Harris.

Fig. 7 - Geomorphological section n°18 (at the level of structures VII-D) and transcription of the forms and their sequence in the form of a Harris matrix.

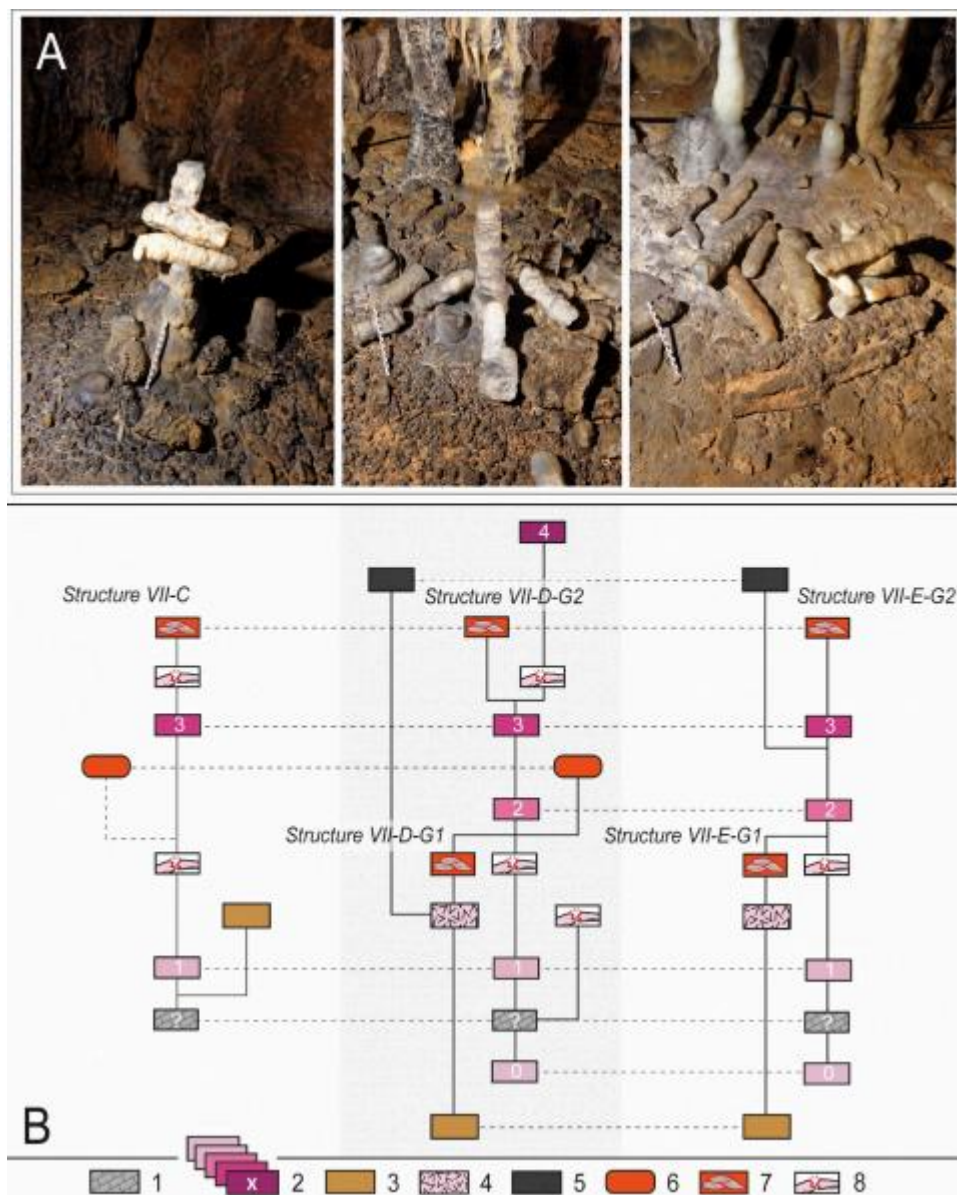


A : Coupe géomorphologique de la galerie au niveau des structures VII-B ; B : Transcription de la coupe géomorphologique en diagramme de Harris. 1. Eroulement ; 2. Faciès Générationnels (concrétions) ; 3. Argiles ; 4. Trace de pigment ; 5. Charbon ; 6. Clastes (calcite) ; 7. Structure anthropique ; 8. Bris de concrétion. Les gammes colorimétriques des concrétions permettent d'identifier les chronologies relatives reconstituées ici. En rouge sont portées les actions anthropiques (brisures notamment). Pour les autres couleurs se reporter à la carte géomorphologique (fig. 3). On distingue la première phase de construction de l'ensemble VII-D (VII-D-G1), de la deuxième (VII-D-G2), séparées par les faciès générationnels de concrétion 2 et 3.

A: Geomorphological section of the gallery at the level of structures VII-B; B: Transcription of the geomorphological section into a Harris diagram. 1. Collapse; 2. Generational facies (concretions); 3. Clay; 4. Pigment trace; 5. Coal; 6. Clasts (calcite); 7. Anthropogenic structure; 8. Concretion breakage. The colorimetric ranges of the concretions make it possible to identify the relative chronologies reconstructed here. The red color indicates anthropic actions (particularly breakages). For the other colors, please refer to the geomorphological map (fig. 3). A distinction is made between the first phase of construction of the VII-D complex (VII-D-G1) and the second (VII-D-G2), separated by the generational facies 2 and 3.

Fig. 8 : Vue des structures de phase n° 2 des ensembles VII-C, VII-D et VII-E et comparaison des similarités entre séquences de Harris.

Fig. 8: View of phase 2 structures of VII-C, VII-D and VII-E and comparison of similarities between Harris sequences.



A : Photographies des structures VII-C, VII-D, VII-E ; B : Diagrammes de Harris des secteurs comprenant chaque structure. 1. Ecoulement ; 2. Faciès Générationnels (calcite) ; 3. Argiles ; 4. Clastes (calcite) ; 5. Charbon ; 6. Trace pigment ; 7. Structure anthropique ; 8. Bris de concrétion. Les accumulations ponctuelles de la seconde phase d'aménagement, faites de concrétions holocènes et associées à des charbons de bois médiévaux, sont probablement à attribuer aux circulations médiévales. (Clichés S. Jaillet, 2021).

A: Photographs of structures VII-C, VII-D, VII-E; B: Harris diagrams of the sectors comprising each structure. 1. collapse; 2. generational facies (calcite); 3. clays; 4. Clasts (calcite); 5. Coal; 6. Trace pigment; 7. Anthropogenic structure; 8. Concretion breakage. The punctual accumulations of the second phase of development, made of Holocene concretions and associated with medieval charcoal, are probably to be attributed to medieval circulations. (Photo S. Jaillet, 2021).

24 Cette mise en correspondance des séquences chronologiques a été faite sur l'entièreté de la zone d'étude (zone VII). Elle permet de poser la chaîne de raisonnement mettant en relation les éléments les plus distants à la structure étudiée et de discuter des contraintes chronologiques (fig. 9).

25 Le cas de la structure VII-A est intéressant de ce point de vue car elle ne présente pas d'association directe avec les aménagements alentours, susceptibles de la contraindre chronologiquement (fig. 9). Cette structure est située dans un espace restreint derrière un bloc massif d'effondrement. Elle prend la forme d'un linéaire hétérogène composé de plusieurs blocs calcaires d'effondrement (en place) et de spéléofacts allochtones. L'ensemble semble fermer l'espace à plafond bas. En dehors de traces d'hématite, aucun lien spatial ne peut être tracé avec les autres gestes anthropiques. En outre aucun scellement postérieur ne permet de contraindre sa période de construction. En revanche l'un des spéléofacts qui la compose est scellé par une stalagmite FG n° 2. Cette repousse basculée témoigne d'un dépôt secondaire. Par ailleurs, aucun écoulement actuel ou passé dans ce secteur n'a pu entraîner sur place ce scellement FG n° 2 (absence de traces de concrétionnement sous ce bloc d'effondrement). Il apparaît donc

que cette stalagmite brisée a été scellée ailleurs par une repousse FG n° 2 avant sa réutilisation dans la construction VII-A. La mise en relation de cette succession chronologique avec les autres séquences du diagramme de Harris permet donc de caler relativement cette construction par rapport à la succession spéléogénique de la galerie : avant les dépôts de pigment, et après le faciès générationnel n° 2.

5.2. Construction du modèle chronologique général

- 26 Une fois les différentes séquences mises en commun et ajustées sur la base d'enchaînements similaires, de complémentarités spatiales ou d'attributions archéologiques préalables (relevés archéologiques et pariétaux (Ontañón, 2003 ; Gonzalez, 2003 ; Gonzalez et Moure, 2010 ; Rivero Vila, 2010 ; Arias et Ontañón, 2012 ; Pettitt et al., 2014-2016 ; Arias et Ontañón, 2020 ; Collado et Garcia, 2021)), un diagramme de Harris de l'ensemble de la zone d'étude peut être construit (fig. 9). La mise en commun et en cohérence des observations au sein de cette représentation fait ressortir plusieurs phases chronologiques à l'échelle de la zone d'étude (fig. 9A). Un travail basé sur le même principe méthodologique a été mené sur les zones III, IV, VIII et IX, de la Galerie Inférieure. Bien que l'ensemble de ce diagramme de Harris ne soit pas développé dans le cadre de cet article, il est à noter que la comparaison des secteurs entre eux a permis d'ajuster certains des enchaînements en zone VII (fig. 9B).
- 27 Concernant la zone VII de la Galerie Inférieure de la grotte de La Garma, la chronologie des événements naturels et anthropiques suivants peut être proposée :

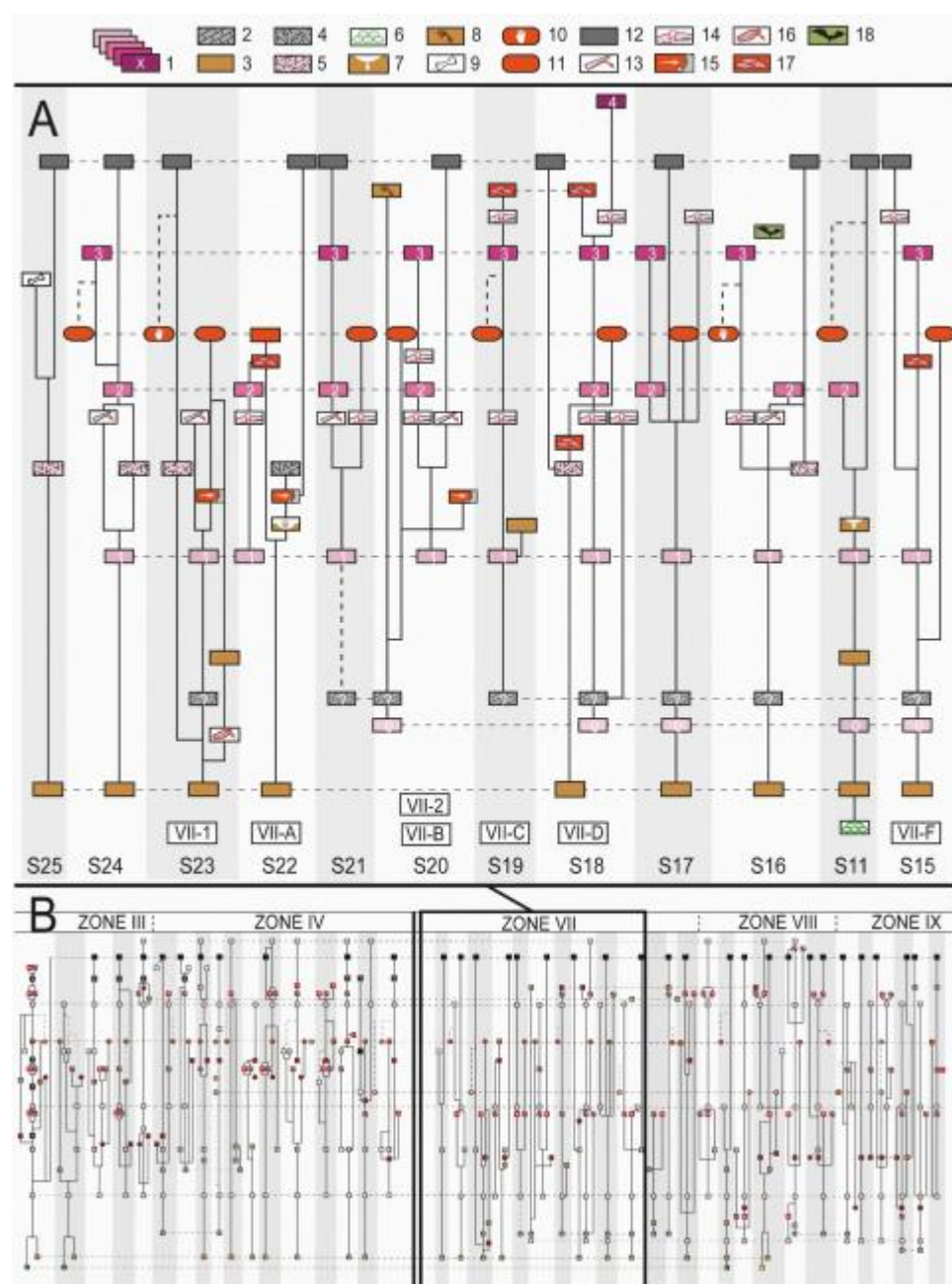
- Phase de remplissage sédimentaire en lien avec un très ancien fonctionnement hydrologique de la galerie (dépôt de galets et d'argiles). Ce fonctionnement se rapporte à des temps très éloignés, quand la Galerie Inférieure fonctionnait en grotte-tunnel entre différents niveaux de poljés (c'est-à-dire dans une géographie et un fonctionnement différent de l'actuel et des temps pléistocènes).
- Phase très ancienne de concrétionnement (FG n° 0). Cette génération a été visiblement remobilisée lors de la chute de plusieurs blocs tombés du plafond (cf. phase 3).
- Plusieurs décrochements ont affecté la paroi orientale du secteur VII. En l'état actuel des recherches, il est délicat d'établir s'il s'agit d'un seul événement ou d'un palimpseste d'écroulements décalés dans le temps.
- Nouvelle phase ancienne de concrétionnement (FG n° 1). Elle scelle les dépôts d'écroulement de la phase 3. Il n'est toutefois pas à exclure qu'elle puisse comprendre certaines concrétions FG n° 0, au vu de la difficulté de distinction des Faciès Générationnels n° 0 et 1 sans superpositions directes.
- Dépôt de clastes de calcite dont l'origine reste à discuter.
- Phase de casse et de remobilisation de spéléothèmes brisés pour la construction n° 1 des ensemble VII-E et VII-D. Aux vues des similarités chronologiques mises en évidence par le diagramme de Harris, il est possible de dresser un parallèle entre ces casses et la structure VII-B (constituée de spéléothèmes FG n° 1 brisés, agencés au sol et indirectement associés à des traces de pigment au plafond).
- Nouvelle phase de concrétionnement (FG n° 2) scellant les structures VII-B et VII-D.
- Construction de la structure VII-A à partir de spéléothèmes préalablement scellés par des repousses FG n° 2. Si la structure VII-F peut en théorie être placée à la même hauteur sur le diagramme de Harris, le faible nombre de contraintes rend sa position incertaine. Son scellement par des concrétions FG n° 3 la place en revanche avant le concrétionnement Tardiglaciaire/Holocène.
- Traces de pigment (hématite) sur les aménagements précédents (structures des phases 6 et 8 et concrétionnement phase 7). Bien qu'il soit nécessaire de

disposer d'autres contraintes chronologique (notamment datations absolues), on peut émettre l'hypothèse d'une certaine contemporanéité d'avec les figurations pariétales à proximité (moins négatives).

- Phase de concrétionnement Tardiglaciaire/Holocène (FG n° 3) scellant les structures VII-E et VII-D.
- Phase de casse et de dépôt de spéléothèmes associée à la construction de la génération 2 des ensembles VII-E et VII-D. Ces structures sont étroitement associées à des charbons de bois attribués aux fréquentations médiévales de la galerie par Arias et al. (2017) (charbons sur et sous les spéléofacts concernés).
- Phase de concrétionnement subactuelle (FG n° 4).

Fig. 9 - Diagramme de Harris détaillé de la Zone VII de la galerie Inférieure de la grotte de La Garma.

Fig. 9 - Detailed Harris diagram of Zone VII of the Lower Gallery of La Garma Cave.



A : Diagramme de Harris combinant chaque séquence chronologique de la zone VII ; B : Contextualisation du diagramme de Harris de la zone VII au sein du modèle de chronologie relative réalisé sur toute la grotte. 1. Faciès Générationnels (concrétions) ; 2. Ecoulement ; 3. Argiles ; 4. Clastes (calcaire) ; 5. Clastes (calcite) ; 6. Galets ; 7. Soutirage ; 8. Argile de piétinement ; 9. Ossement ; 10. Entité pariétale ; 11. Trace de pigment ; 12. Charbon ; 13. Spéléofact déplacé ; 14. Bris de concrétion ; 15. Décaissement ; 16. Déplacement de bloc ; 17. Structure anthropique ; 18. Biocorrosion. Chaque objet (rectangulaire au sol, ovale en paroi) correspond à une observation de terrain. L'organisation de ces séquences selon un axe longitudinale (le déroulé de la galerie) permet d'identifier des similitudes à la fois temporelles et spatiales. La même méthodologie a été

menée dans les zones III, IV, VIII et IX afin de multiplier les séquences et donc à la fois les liens et les contraintes entre élément. L'alternance de bandes grises et blanches permet de distinguer les séquences chronologiques.

A: Harris diagram combining each chronological sequence in zone VII; B: Contextualisation of the zone VII Harris diagram within the relative chronology model produced for the entire cave. 1. Generational facies (concretions); 2. Collapse; 3. Clays; 4. Clasts (limestone); 5. Clasts (calcite); 6. Pebbles; 7. Racking; 8. Trampling clay; 9. Bone ; 10. Parietal entity; 11. Trace of pigment; 12. Charcoal; 13. Displaced speleofact; 14. Broken concretion; 15. Excavation; 16. Block displacement; 17. Anthropogenic structure; 18. Biocorrosion. Each object (rectangular on the ground, oval on the wall) corresponds to a field observation. The organisation of these sequences along a longitudinal axis (the course of the gallery) makes it possible to identify both temporal and spatial similarities. The same methodology was used in zones III, IV, VIII and IX in order to multiply the sequences and thus both the links and the constraints between elements. The alternating grey and white bands distinguish the chronological sequences.

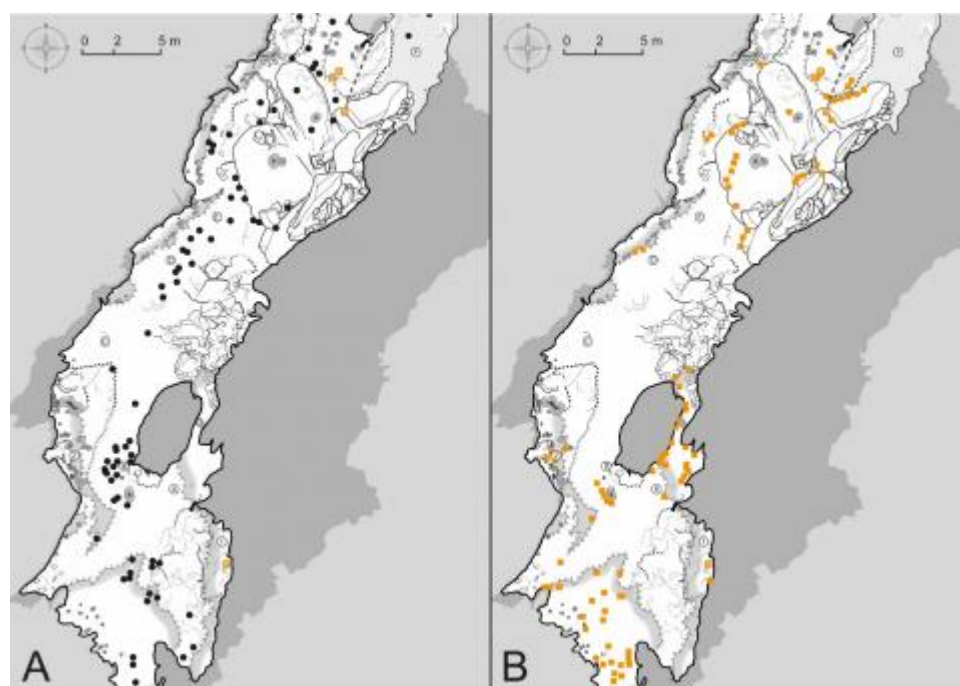
- 28 La complémentarité des informations issues de la cartographie géomorphologique et du diagramme de Harris permet de différencier trois périodes d'aménagement (phases 6, 8 et 11 ci-dessus) (fig. 9). Deux d'entre-elles se situent durant le Pléistocène et sont séparées par une génération de concrétionnement. Il est possible d'attribuer la dernière phase aux fréquentations médiévales sur la base des dates ¹⁴C obtenues par Arias et al. (2017, 2020).

6. Discussion

- 29 Ces aménagements s'organisent dans un volume et un paysage souterrain relativement similaires à l'actuel et assurément postérieurs aux écroulements de la galerie. Ils se replacent donc dans des contextes topographiques de progression comparable, et donc rappelons-le, à un carrefour entre le fond de la Galerie Inférieure et les galeries supérieures. Ce faisant, ces aménagements posent la question de l'évolution des paléocheminements au cours du temps. Les contraintes et logiques de cheminements étaient-elles les mêmes aux différentes périodes de fréquentation de la grotte ? La présence des aménagements dans le passage de la galerie est-elle liée ou a-t-elle créé des modifications de cheminement dans la grotte ?

- 30 Les logiques spatiales semblent en effet différentes selon les générations d'aménagement : (i) fermeture d'espaces latéraux restreints au Paléolithique ; (ii) structures ponctuelles dans l'axe de cheminement pour la période médiévale. Un parallèle peut d'ailleurs être fait entre cette logique d'aménagement et la répartition de plusieurs traces dans la galerie. Les traces d'hématite (associées aux fréquentations paléolithiques) sont surreprésentées dans les espaces latéraux étroits, tandis que les charbons de bois (associés aux fréquentations médiévales) suivent un axe linéaire le long du cheminement principal dans la galerie (fig. 10). Bien que la nature des traces et leur condition de dépôt permettent en partie de comprendre cette répartition inversée (traces d'ocre plus facilement laissées dans des zones étroites du fait du frottement de vêtements ou de l'obligation de toucher les parois), elle poursuit l'observation d'une logique d'exploration et d'occupation des espaces latéraux bas au Paléolithique, et de circulation dans l'axe des galeries au Moyen-Âge.

- 31 L'utilisation combinée de la cartographie géomorphologique et du diagramme de Harris permet ici d'identifier différentes phases d'aménagements dans l'espace de la grotte et de les inscrire dans une dynamique spéléogénique et anthropologique de la grotte. Les informations issues de cette démarche méthodologique s'inscrivent dans une chronologie volontairement relative de l'histoire de la grotte avec des biais dont nous avons pleinement conscience. Ainsi le codage graphique de Harris oblige à représenter de manière similaire des temporalités différentes ; sans distinction de leur durée. Une période de concrétionnement y est représentée de la même manière qu'un acte graphique. Il convient donc de garder à l'esprit qu'il s'agit là d'une séquence d'enchaînement et non d'une frise chrono-systémique (Bergeret et al., 2015 ; Delannoy et Geneste, 2020). Ce travail permet néanmoins d'amorcer ce genre de synthèse en mettant en relation l'histoire spéléogénique, ichnologique et anthropique dans la construction du paysage souterrain.

Fig. 10 : Répartition des traces archéologiques dans la Zone VII.**Fig. 10: Distribution of archaeological traces in Zone VII.**

La surface totale de la galerie est représentée en gris. L'emprise des sols est représentée en blanc. A : Répartition des charbons de bois ; B : Répartition des traces d'hématite sur les parois. Les mains négatives sont représentées indifféremment sur les deux cartes.

The total surface of the gallery is shown in grey. The floor area is shown in white. A: Distribution of charcoal; B: Distribution of hematite traces on the walls. Negative hands are represented equally on both maps.

- 32 À noter également que des incertitudes de positionnement subsistent dans le diagramme de Harris final ; soit en fonction du faible nombre de contraintes chronologiques pour l'un des éléments d'une séquence, soit par rapport à la nature même de l'élément (laquelle peut induire en erreur). Ainsi, si l'hématite scellant les structures pléistocène peut potentiellement se rapporter à la période d'ornementation pré-magdalénienne de ce secteur (si l'on se rapporte aux mains négatives), elle peut tout aussi bien être liée à des fréquentations plus récentes (magdaléniennes) ayant également eu recours à l'utilisation d'hématite dans des zones moins éloignées de la Galerie Inférieure (zones I, II, III, IV). Ces marges d'erreur peuvent être réduites en multipliant le nombre de séquences dans le reste de la cavité, pour rajouter des contraintes et compléter la chronologie générale par des enchaînements chrono-stratigraphiques inédits. Néanmoins, en fournissant un cadre chronologique relatif robuste à l'échelle de la galerie entière, ce type de méthode reste particulièrement bien adapté à des sites sensibles où les contraintes de conservation empêchent une entrée massive par la datation absolue *via* des échantillonnages exhaustifs. La compréhension de l'emboîtement des formes et de leur répartition dans une chronologie relative permet de cibler des endroits pertinents pour prélever des échantillons en vue de leur datation et caler dans le temps les aménagements passés.

7. Conclusion

- 33 Les grottes ont cette faculté de préserver sur du temps long les différentes traces des gestes humains (art pariétal, vestiges lithiques, éclairages, aménagements, structures anthropiques, etc.). Leur préservation permet de questionner les modes d'appropriation passée du milieu souterrain ainsi que leur relation à la fois dans le temps et dans l'espace. La grotte de La Garma (Cantabrique, Espagne) est à ce titre exceptionnelle. Elle présente une palette très riche de témoins (art pariétal, art mobilier, vestiges lithiques, structures anthropiques, aménagement, sépulture, vestiges paléontologiques, etc.), très bien conservés et couvrant une large échelle temporelle (du Pléistocène

moyen au Moyen-Âge). L'étude des structures anthropiques est de plus en plus au cœur des travaux archéologiques car elles sont l'expression d'un important investissement humain tant dans l'appropriation de lieux souterrains que dans leur transformation (déplacement de blocs, de concrétions brisées, etc.). Leur analyse mobilise les champs de la géomorphologie et de l'archéologie afin de reconstituer leur construction, leur architecture et leur place dans les espaces investis par les sociétés passées. Ce travail s'inscrit dans cette dynamique de recherche. Dans ce cadre, la grotte de La Garma, avec plus de vingt structures actuellement répertoriées, connues et étudiées, constitue un terrain de recherche privilégié. Cet article s'est concentré sur l'un des niveaux de cette cavité : la Galerie Inférieure où différentes générations de structures ont pu être distinguées. Les travaux en cours visent à replacer ces aménagements du milieu souterrain dans les différentes phases de fréquentation. Si les datations absolues constituent *in fine* un support indispensable pour inscrire ces structures dans les temps de la grotte, l'accent a été volontairement mis ici sur la construction d'une chronologie relative des événements naturels et anthropiques qui ont marqué la grotte. La construction de cette chronologie relative pensée à l'échelle de l'ensemble de la galerie est un préalable indispensable dans un site protégé et classé. Tout acte de prélèvements en vue d'analyse, dont les datations, se doit d'être pleinement justifié pour aller au-delà du seul prélèvement. C'est autour de cette éthique qu'a été pensée la méthode anthropo-géomorphologique présentée dans ce travail.

34 La mobilisation et le recoupement des informations issues de la cartographie géomorphologique exhaustive et des diagrammes de Harris ont permis de poser dans le temps et l'espace de la grotte les différentes séquences d'événements qui ont construit le paysage souterrain de La Garma. Cette démarche a pour intérêt de créer des liens chronologiques, auparavant absents voire non investis, entre des témoins de gestes humains spatialement déconnectés. Cet intérêt est d'autant plus important pour les vestiges anthropiques non-datables (pigment minéraux, absence de dépôts de calcite ou de matière organique, etc.). La méthode proposée permet de les réinscrire spatialement et temporellement dans l'histoire de la grotte. L'ensemble de cette démarche vise *in fine* à une meilleure compréhension des différentes formes d'investissement du monde souterrain par les sociétés passées et d'interroger leur sens dans les espaces des grottes.

35 Cette démarche intégrée combinant archéologie et géomorphologie, constitue un développement méthodologique intéressant pour l'étude d'autres sites souterrains fréquentés depuis et sur de longues périodes de temps.

*Auteur correspondant. Tél : +33 (0)4 79 75 87 84, jules.kemper@univ-smb.fr (J. Kemper)

Bibliographie

Arias P., Ontañón R., Alvarez E., Teresa M., Chauvin A., Conte I., Cueto M., Gonzalez J-E., Ibanez J-J., Tapia J., Teira L-C. (2005) - La estructura Magdalenense de La Garma A: aproximacion a la organizacion espacial de un habitat paleolitico. In Bicho N., Rodríguez Corchón M.S. (Eds.) : Actas do IV Congresso de Arqueologia Peninsular (Faro, 14 a 19 de Setembro de 2004), 123–141.

Arias P., Ontañón R., Alvarez E., Cueto M., Elorza M., Garcia-Monco C., Güth A., Iriarte M-J., Teira L-C., Zurro D. (2006) - Magdalenian floors in the Lower Gallery of La Garma, a preliminary report, In Gaudzinski-Windheuser S., Jöris O., Sensburg M., Street M., Turner E. (Eds.) : Site-Internal spatial organization of hunter-gatherer societies: the studies from the European Palaeolithic and Mesolithic, Actas de Congress, 15th U. I. S. P. P., 31–51.

DOI : 10.13140/2.1.5113.1844

DOI : 10.13140/2.1.5113.1844

Arias P., Ontañón R., Alvarez E., Cueto M., Elorza M., Garcia C., Güth A., Iriarte M-J., Teira L-C., Zurro D. (2011) - Magdalenian floors in the Lower Gallery of La Garma. In Gaudzinski-Windheuser S., Jöris O., Sensburg M., Street M., Turner E. (Eds.) : Site-internal spatial organization of hunter-gatherer societies : case studies from the european palaeolithic and mesolithic, 31–51.

DOI : 10.13140/2.1.5113.1844

DOI : 10.13140/2.1.5113.1844

Arias P., Ontañón R. (2012) - La Garma (Spain) : Long-term human activity in a karst system. In Bergsvik K-A., Skeates R. (Eds.) : *Caves in Context : the cultural significance of caves and rockshelters in Europe*, Oxbow Books, 101–117.

Arias P., Ontañón R., Gutierrez E., Hierro J-A., Etxeberria F., Herrasti L., Uzquiano P. (2017) - Hidden in the depths, far from people: funerary activities in the Lower Gallery of La Garma and the use of natural caves as burial places in early medieval Cantabria, northern Spain, In Bergsvik K.A., Dowd M. (Eds.) : *Caves and Ritual in Medieval Europe, AD-500-1500*. Oxbow Books, 133–151.

DOI : 10.2307/j.ctvh1dnwt.12

DOI : 10.2307/j.ctvh1dnwt.12

Arias P., Ontañón R. (2020) - La Garma : un sitio excepcional, una metodología diferente, In Carrretero Pérez A. (Eds.) : *Actualidad de la investigación arqueológica en España (2018-2019)*. Conferencias Impartidas en el Museo Arqueológico Nacional, Ministerio de Cultura y Deporte, Madrid, 1, 45–64.

Bergeret A. Marcelpoil E-G., Delannoy J-J., Piazza-Morel D. (2015) - L'outil-frise : dispositif d'étude interdisciplinaire du changement territorial, Favoriser l'interdisciplinarité par un outil de visualisation du changement territorial. *EspacesTemps.net*, 24 p.

Carden N., Miotti L. (2020) – Unravelling rock art palimpsests through superimpositions : the definition of painting episodes in Los Toldos (southern Patagonia) as a baseline for chronology. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 30, 16 p.

DOI : 10.1016/j.jasrep.2020.102265

Chippindale C., Taçon P-S-C. (1993) – Two old painted panels from Kakadu : variation and sequence in Arnhem Land rock art. In *Time and space : dating and spatial considerations in Rock Art Research*, Australian Rock Art Research Association, 32–56.

Chippindale C., De Jongh J., Flood J., Rufolo S. (2000) - Stratigraphy, Harris matrices & relative dating of Australian rock-art. *Antiquity*, 74 (284), 285–286.

DOI : 10.1017/S0003598X00059275

DOI : 10.1017/S0003598X00059275

Collado H., Garcia J-J. (2021) - Cueva de La Garma (Omoño, Cantabria). In *HANDPAS : Manos del pasado. Catálogo de representaciones de manos en el arte rupestre paleolítico de la península ibérica*, 231–278.

Cueto M., Camaros E., Cataños P-M., Ontañón R., Arias P. (2020) - Highlighting the role of carnivores as a multifunctional resource among the Middle Madgalenian: the Case of the Lower Gallery of La Garma (Cantabria, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 30, 10 p.

DOI : 10.1016/j.jasrep.2020.102221

DOI : 10.1016/j.jasrep.2020.102221

David B., Delannoy J-J., Petchey F., Gunn R., Huntley J., Veth P., Genuite K., Skelly R., Mialanes J., Harper S., Ouzman S., Balangarra Aboriginal Corporation, Heaney P., Wong V. (2019) - Dating painting events through by-products of ochre processing : Boroloka 1 Rockshelter, Kimberley, Australia. *Australian Archaeology*, 85 (1), 57–94.

DOI : 10.1080/03122417.2019.1603263

DOI : 10.1080/03122417.2019.1603263

Debard E., Ferrier C., Kervazo B. (2016) - La grotte Chauvet-Pont-d'Arc : évolution morphosédimentaire de l'entrée. Implication sur les occupations et la conservation des vestiges. *Quaternaire*, 27 (1), 3–14.

DOI : 10.4000/quaternaire.7480

DOI : 10.4000/quaternaire.7480

DOI : 10.4000/quaternaire.7480

Delannoy J-J. (1997) – Recherches géomorphologiques sur les massifs karstiques du Vercors et de la transversale de Ronda (Andalousie) : les apports morphogéniques du karst. Thèse de doctorat en Géographie, Université de Grenoble 1, 707 p.

Delannoy J-J, Debard E., Ferrier C., Kervazo B., Perrette Y. (2001) - La cartographie morphologique souterraine : apports aux reconstitutions paléogéographiques et paléoenvironnementales. Application à la grotte Chauvet (Ardèche -France). *Quaternaire*, 12 (4), 235–248.

DOI : 10.3406/quate.2001.1696

DOI : 10.3406/quate.2001.1696

Delannoy J.J., Perrette Y., Debard E., Ferrier C., Kervazo B., Perroux A-S., Jaillet S., Quinif Y. (2004) - Intérêt de l'approche morphogénique pour la compréhension globale d'une grotte à haute valeur patrimoniale : la grotte Chauvet (Ardèche, France). *Karstologia*, 44, 25–42.

DOI : 10.3406/karst.2004.2552

DOI : 10.3406/karst.2004.2552

Delannoy J-J., Geneste J-M., Jaillet S., Boche E., Sadier B. (2012) - Les aménagements et structures anthropiques de la grotte Chauvet-Pont-d'Arc. Apport d'une approche intégrative géomorpho-archéologique. In Delannoy J-J., Jaillet S., Saider B. (Eds.) Collection EDYTEM, Cahiers de Géographie, Karsts, Paysages et Préhistoire, 13 (1), 42–62.

DOI : 10.3406/edyte.2012.1204

DOI : 10.3406/edyte.2012.1204

Delannoy J-J., David B., Geneste J-M., Katherine M., Barker B., Whear R-L., Gunn R-G. (2013) - The social construction of caves and rockshelters: Chauvet cave (France) and Nawarla Gabarnmang (Australia). *Antiquity*, 87 (335), 12–29.

DOI : 10.1017/S0003598X00048596

DOI : 10.1017/S0003598X00048596

Delannoy J-J., David B., Geneste J-M., Gunn R-G., Katherine M. (2017a) - Engineers of the Arnhem Land plateau: evidence for the origins and transformation of sheltered spaces at Nawarla Gabarnmang. In David B. et al. (Eds.) : *The archaeology of Rock Art in Western Arnhem Land, Northern Australia*, Australian National University, 47 p.

DOI : 10.22459/TA47.11.2017.10

DOI : 10.22459/TA47.11.2017.10

Delannoy J-J., David B., Gunn R., Geneste J-M., Jaillet S. (2017b) - Archaeomorphological mapping: rock art and the architecture of the place. In David B. (Eds.) : *The Oxford handbook of Archaeology and Anthropology of Rock Art*, Oxford University Press.

DOI : 10.1093/oxfordhb/9780190607357.013.46

DOI : 10.1093/oxfordhb/9780190607357.013.46

Delannoy J-J. (2018) - Le karst souterrain et ses temporalités : vecteur de dialogues interdisciplinaires. Les apports de Richard Maire et discussion autour des notions d'instant, d'archive, de mémoire et d'indicateur. In Jaillet S., Gauchon C. (Eds.) *Karst 2018 : 40 ans de l'association française de Karstologie ; Hommage à Richard Maire*, *Karstologia Mémoires*, 20, AFK, 31–51.

Delannoy J-J., David B., Gunn R-G., Geneste J-M., Jaillet S. (2018) - Archaeomorphological mapping: rock art and the architecture of place. In David B., McNiven I. (Eds.) : *The Oxford Handbook of the Archaeology and Anthropology of Rock Art*, 833–856.

DOI : 10.1093/oxfordhb/9780190607357.013.46

DOI : 10.1093/oxfordhb/9780190607357.013.46

Delannoy J-J., David B., Genuite K., Gunn R., Finch D., Ouzman S., Green H., Veth P., Harper S., Balanggarra Aboriginal Corporation, Kelly J.R. (2020a) - Investigating the Anthropic Construction of Rock Art -Sites through Archaeomorphology: the Case of Boroloka, Kimberley, Australia. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 27, 631–669.

DOI : 10.1007/s10816-020-09477-4

Delannoy J-J., David B., Fresløv J., Mullett R., GunaiKurnai Land and Waters Aboriginal Corporation, Green H., Berthet J., Petchey F., Arnold L-J., Wood R., McDowell M., Crouch J., Mialanes J., Ash J., Wong V. (2020b) - Geomorphological context and formation history of Cloggs Cave : What was the cave like when people inhabited it ? *Journal of Archaeological Science: Reports*, 33.

DOI : 10.1016/j.jasrep.2020.102461

DOI : 10.1016/j.jasrep.2020.102461

Delannoy J-J., Geneste J-M. (2020) - Atlas de la Grotte Chauvet-Pont-d'Arc. Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, Documents d'archéologie française, 111 (1), 384 p.

DOI : 10.4000/books.editionsmsmh.49690

DOI : 10.4000/books.editionsmsmh.49690

Dye T.S., Buck C.E. (2015) - Archaeological sequence diagrams and Bayesian chronological models. *Journal of Archaeological Science*, 63, 84–93.

DOI : 10.1016/j.jas.2015.08.008

DOI : 10.1016/j.jas.2015.08.008

DOI : 10.1016/j.jas.2015.08.008

Genuite K., Delannoy J-J., David B., Unghangho A., Balanggarra Aboriginal Corporation, Cazes G., Fulop R., Fink D., Codilean A., Ouzman S., Veth P., Harper S., Green H., Finch D., Urwin C. (2021) - Determining the origin and changing shape of landscape-scale rock formations with three-dimensional modelling: the Boroloka rock shelters, Kimberley region, Australia. *Geoarchaeology*, 36 (4), 662–680.

DOI : 10.1002/gea.21863

Gonzalez C. (2003) - El conjunto parietal paleolítico de la Galería Inferior de La Garma (Cantabria). Avance de su organización interna. In De Balbín R., Bueno Ramírez P. (Eds.) : *El Arte Prehistórico desde los inicios del siglo XXI. Primer Symposium Internacional de Arte*

Prehistórico de Ribadesella (Octubre, 2002), Asociación Cultural Amigos de Ribadesella, 201–222

Gonzalez C., Moure A. (2010) - La Garma. In *Las Cuevas con art paleolitico en Cantabria*, Asociacion Cantabra para la Defensa del Patrimonio Subterraneo, 242–250

Gorczyńska A., Stéphan P., Paillet Y., Nicolas C., Penaud A., David O., Vidal M., Le Gall B. (2023) - Holocene evolution of coastal dunes in western France: regional reconstruction from archaeological and historical data. *Aeolian Research*, 60, 100851.

DOI : 10.1016/j.aeolia.2022.100851

DOI : 10.1016/j.aeolia.2022.100851

DOI : 10.1016/j.aeolia.2022.100851

Gunn R-G., David B., Delannoy J-J., Smith B., Unghangho A., Waina I., Balanggarra Aboriginal Corporation, Douglas L., Myers C., Heaney P., Ouzman S., Veth P., Harper S. (2022) - Superpositions and superimpositions in rock art studies: reading the rock face at Pundawar Manbur, Kimberley, northwest Australia. *Journal of Anthropological Archaeology*, 67, 23 p.

DOI : 10.1016/j.jaa.2022.101442

DOI : 10.1016/j.jaa.2022.101442

Harris E-C. (1979) - *Principles of archaeological stratigraphy*. London, Academic Press, 136 p.

Harris E-C., Gunn R-G. (2018) - The use of Harris matrices in rock art research. In David B., McNiven I. (Eds.) : *The Oxford Handbook of the Archaeology and Anthropology of Rock Art*, 911–926.

DOI : 10.1093/oxfordhb/9780190607357.013.18

DOI : 10.1093/oxfordhb/9780190607357.013.18

Jaillet S., Sadier B., Arnaud J., Azéma M., Boche E., Cailhol D., Filipponi M., Le Roux P., Varrel E. (2011) - Topographie, représentation et analyse morphologique 3D de drains, de conduits et de parois du karst. In Jaillet S., Ployon E., Villemain T. (Eds.) : *Collection EDYTEM, Cahiers de Géographie, Images et Modèles 3D en Milieux Naturels*, 12 (1), 119–130.

DOI : 10.3406/edyte.2011.1184

DOI : 10.3406/edyte.2011.1184

Jaillet S., Delannoy J-J., Monney J., Sadier B. (2018) – 3D Modelling in Rock Art Research: terrestrial laser scanning, photogrammetry and the Time factor. In David B., McNiven I. (Eds.) : *The Oxford Handbook of the Archaeology and Anthropology of Rock Art*, 811-832.

DOI : 10.1093/oxfordhb/9780190607357.013.45

DOI : 10.1093/oxfordhb/9780190607357.013.45

Jaillet S., Delannoy J-J., Genuite K., Hobléa F., Monney J. (2019) - L'image topographique du karst et des grottes : représentations 2D et technologies 3D, entre réalité et imaginaire. *Géomorphologie, Relief, Processus, Environnement*, 25 (3), 191–205.

DOI : 10.4000/geomorphologie.13488

DOI : 10.4000/geomorphologie.13488

Jaubert J., Verheyden S., Genty D., Soulier M., Cheng H., Blamart D., Burlet C., Camus H., Delaby S., Deldicque D., Edwards L-R., Ferrier C., Lacrampe-Cuyaubère F., Lévêque F., Maksud F., Mora P., Muth X., Régner E., Rouzaud J-N., Santos F. (2016) - Early Neanderthal constructions deep in Bruniquel cave in southwestern France. *Nature*, 534, 111–114.

DOI : 10.4000/nda.5152

DOI : 10.4000/nda.5152

Jaubert J., Ferrier C., Feruglio V., Fourment N., Bourdier C., Konik S., Villotte S. (2018) - La grotte de Cussac (Dordogne) : étude pluri et interdisciplinaire d'un sanctuaire orné et sépulcral d'âge gravettien. *Les nouvelles de l'archéologie*, 154, 16–24

DOI : 10.1038/nature18291

DOI : 10.1038/nature18291

Kemper J., Delannoy J-J., Jaillet S., Ontañón-Perdeo R., Arias P. (2024) - La grotte de La Garma (Cantabrie, Espagne) : identification, structuration et spatialization des aménagements souterrains depuis le Paléolithique *ArcheoSciences*, 47 (1), 105–120.

Kobyliński Z. (1993) - Polish medieval excavations and the Harris Matrix: applications and developments. In Harris C.E., Brown M.R., Brown G.J. (Eds.): *Practices of Archaeological Stratigraphy*, Academic Press, 57–67.

DOI : 10.1016/B978-0-12-326445-9.50010-1

DOI : 10.1016/B978-0-12-326445-9.50010-1

Loubser J-H-N. (1997) - The use of Harris diagrams in recording, conservation and interpreting rock paintings. *International Newsletter on Rock Art*, 18, 14–21.

MacDonald B., Chatters J-C., Reinhardt E-G., Devos F., Meacham S., Rissolo D., Rock B., Le Maillot C., Stalla D., Marino M-D., Lo E., Erreguerena P-L. (2020) - Paleoindian ochre mines in the submerged caves of the Yucatan Peninsula, Quitana Roo, Mexico. *Science Advances*, 6, 1–13.

DOI : 10.1126/sciadv.abai219

DOI : 10.1126/sciadv.abai219

Monney J., Jaillet S. (2019) - Phases de fréquentation humaines, ornementation pariétale et processus naturels : mise en place d'un cadre chronologique pour la grotte aux Points d'Aiguëze. *Karstologia*, 73, 49–62.

Ontañón R. (2003) - Sols et structures d'habitat au Paléolithique supérieur, nouvelles données depuis les Cantabres : la Galerie Inférieure de La Garma (Cantabrie, Espagne). *L'Anthropologie*, 107, 333–363.

DOI : 10.1016/S0003-5521(03)00037-2

DOI : 10.1016/S0003-5521(03)00037-2

Pettitt P., Maximiano A., Arias P., Ontañón R., Harrison R. (2014) - New views on old hands : the context of stencils in El Castillo and La Garma caves (Cantabrian, Spain). *Antiquity*, 88 (339), 47–63.

DOI : 10.1017/S0003598X00050213

DOI : 10.1017/S0003598X00050213

Pettitt P., Maximiano A., Arias P., Ontañón R., Harrison R. (2016) - New research on the hand stencils of La Garma and El Castillo caves (Cantabria), In Sanz G. (Eds.) : *Actuaciones arqueológicas en Cantabria 2004-2011*, 92–95.

Rivero Vila O. (2010) - La movilidad de los grupos humanos en el Magdaleniense de la Region Cantabrica y los Pirineos : una vision a través del arte, Universidad de Salamanca.

Romero A., Cristo A., Medina A., Sanchidrian J-L. (2012) - Datacion del contexto arqueologico y frecuentacion pleistocena en la Cueva de Nerja (Malaga, España). In Clottes J. (Eds.) : *L'Art pléistocène dans le monde*, Actes du Congrès IFRAO, Symposium « Datation et taphonomie de l'art pléistocène », 18 p.

Rouzaud F., Soulier M., Lignereux Y. (1996) - La grotte de Bruniquel. *Spelunca*, 60, 21–34.

Rouzaud F. (1996) - La paléospéléologie : une méthode d'étude des grottes préhistoriques et paléontologiques. *Pyrénées préhistoriques : arts et sociétés*, Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, Paris, 143–148.

Rouzaud F. (1997) - La paléospéléologie ou l'approche globale des documents anthropiques et paléontologiques conservés dans le karst profond. *Quaternaire*, 8 (2-3), 257–265.

DOI : 10.3406/quate.1997.1578

DOI : 10.3406/quate.1997.1578

Russel T. (2000) - The application of the Harris matrix to San rock art at Main Caves North, Kwaazulu-Natal. *South African Archaeological Bulletin*, 55, 60–70.

DOI : 10.2307/3888893

Trócoli I.G. (1993) - The contribution of the Harris Matrix to the development of Catalan archaeology, In Harris C.E., Brown M.R., Brown G.J. (Eds.): *Practices of Archaeological Stratigraphy*, Academic Press, 47–56.

DOI : 10.1016/B978-0-12-326445-9.50009-5

DOI : 10.1016/B978-0-12-326445-9.50009-5

Verheyden S., Jaubert J., Genty D., Soulier M., Burlet C., Camus H., Cheng H., Delaby S., Deldicque D., Edwards L-R., Fage L-H., Ferrier C., Lacrampe-Cuyaubère F., Leblanc J., Lévêque F., Lézin C., Maksud F., Mora P., Muth X., Pelissié T., Régnier E., Rouzaud J-N., Santos F., Soulier D. (2017) - Grotte de Bruniquel (Tarn-et-Garonne, France) : éléments de datation complémentaires. *Karstologia*, 70, 1–14.

Annexe

Abridged English version

A number of recent studies have highlighted the anthropogenic arrangement of several archaeological sites (Delannoy et al., 2012, 2013, 2017, 2018; Jaubert et al., 2016; Verheyden et al., 2017; MacDonald et al., 2020), particularly in underground environments. An integrated approach to these sites, combining geomorphological and archaeological data, provides keys to understanding the transformations and developments carried out by ancient societies in these unique spaces. The geomorphological mapping that was developed at the Chauvet-Pont-d'Arc cave as a component of its interdisciplinary research has established the foundations for a high-resolution spatial analysis that integrates human and palaeontological archives with natural processes and changing underground landscapes (Delannoy and Geneste, 2020). It has also shown its value in identifying artificial structures that are currently invisible in the underground environment (sealing, remobilization, etc.) (Delannoy et al., 2013, Delannoy and Geneste, 2020). The approach of identifying morphological incoherences enables to make visible human actions that would not have been visible at first glance. Although geomorphological mapping considers

the interlocking aspects of forms and incorporates a temporal aspect, it is not sufficient in itself to establish links between different spatially disconnected chronological sequences in the same gallery. The Harris diagram, originally developed to account for superimpositions within complex stratigraphic sequences (Harris, 1979; Harris and Gunn, 2018) and adapted for speleogenic and archaeological study by Monney and Jaillet (2019), seems to meet this need. The combination of high-resolution geomorphological mapping methods and Harris diagrams could make it possible to combine the spatial reading and identification of morphological units (like anthropogenic structures) and their detailed chronological reading in order to identify common phases (structuring, remobilization, etc.) in different sectors of the same cave. The work currently being carried out at La Garma cave (Cantabria, Spain), a UNESCO World Heritage Site for the richness and diversity of its archaeological and parietal remains, is part of this approach.

The cave of La Garma (Cantabria, Spain) is particularly interesting for studying these development issues. The entrances to this stepped karstic system were gradually closed off during the Pleistocene (collapses, obstruction by slopes, or calcite deposits), resulting in very good conservation conditions (Ontañón, 2003; Arias and Ontañón, 2020). The Lower Gallery (fig. 1), which was particularly frequented in prehistoric times, has preserved a wide range of remains from the Upper Palaeolithic to the medieval period: paintings, in situ occupation floors, movable art objects, charcoal, burials, footprints and artificial structures (Ontañón, 2003; Arias et al., 2017; Arias and Ontañón, 2020; Cueto et al., 2020). La Garma gives us access to soil that has remained essentially untouched since the Palaeolithic period, associated with a number of anthropogenic structures that have already been identified and documented (Ontañón, 2003; Arias et al., 2005, 2006, 2020; Kemper et al., 2024). These structures, associated with the last period of Palaeolithic frequentation of the gallery, already demonstrate several developments phases and logics (ritual, habitat) (Arias and Ontañón, 2020). Other structures, more discreet in the landscape or more complex to apprehend, have not yet been investigated or may not have been identified. However, these are relevant entry points for re-interpreting the spaces in the cave, which are marked by a heterogeneous distribution of remains (on the floor or on the floor). The deep sectors, for example, have not preserved traces of occupation floors as complete as in the entrance sectors (Ontañón, 2003). Traces of pre-Magdalenian occupation (present in small numbers throughout the gallery) can be distinguished from traces of Magdalenian occupation (very numerous and rich, but confined to the first sectors of the cave) (Gonzalez, 2003; Gonzalez and Moure, 2010; Arias and Ontañón, 2020; Collado and Garcia, 2021). However, these deep sectors are also marked by broken concretions and contain a number of scattered deposits suggesting human activity (Arias and Ontañón, 2020). The displacement of natural objects and their remobilization in man-made structures can help us to (re)understand past use and frequentation. The complexity of certain structures (mobilization of boulders, broken speleothems), their imbrication with natural forms (sediments, concretions) and their alteration, deliberate or otherwise, by subsequent use require an anthropo-geomorphological approach. This study focused on zone VII of the Lower Gallery (fig. 1–2). This is a deep area, relatively poor in archaeological remains, but where several strange deposits have been identified. Its status as a subterranean 'crossroads' between the Lower Gallery and entrances to higher levels makes it a particularly interesting place to look at how the subterranean space was appropriated over time.

The work involved three main phases (fig. 3). Firstly, a 3D acquisition of the cave was carried out by GIM Geomatics in 2012 (short-range LiDAR scanner), enabling the creation of a cloud of 440 millions points. This cloud, supplemented by photogrammetric acquisitions from time to time, was used to: (i) build digital mesh models for each block (volume, weight, morphology, repositioning, paleo-relief reconstruction); (ii) generate Digital Terrain Models (DTMs) for the mapping survey. The geomorphological mapping of the soils was carried out at centimeter resolution over all the soils in zone VII, because the aim here is to characterize the movements of each element and their interlocking (blocks, speleothems, clasts). For this reason, the legend, based on that of the Chauvet Atlas (Delannoy and Geneste, 2020), has been adapted to the issues of fine remobilization: axis of growth of broken speleothems in order to identify incoherencies in positioning; status of elements on the ground (sealed, cemented, free) in order to constrain their chronological position in relation to natural processes; representation of low ceilings to visualize incoherencies in deposits, etc. (Kemper et al., 2024). Finally, the map distinguishes between different generational facies (GF): "generations" of concretion identified on the basis of their facies, their state of alteration, and their interlocking with other morphogenic indices. Their cartographic representation provides a visual understanding of their distribution, temporality and interlocking with other morphological elements (Delannoy and Geneste, 2020): stalagmitic floors, in situ or broken speleothems, regrowth, etc. To complete the map, various cross-sections were made in different sectors with rich successions. They were converted into Harris diagrams using the legend developed by Monney and Jaillet (2019). However, this legend was adapted according to two criteria: (i) to consider the specific morphological and archaeological contexts of La Garma and (ii) to study remobilizations and anthropogenic disturbances in detail (broken speleothem, deposited speleothem, manuport, displacement, structured deposit). The construction of the diagram focuses on: (i) the superposition links (vertical) within the sequences (whether these links are physical or logical), and (ii) the contemporaneity links between sequences. This method, which combines space and relative chronology, makes it possible both to identify and understand the arrangement of artificial structures in Zone VII, and to weave chronological and spatial links between these structures and their environment.

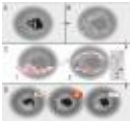
Geomorphological mapping (fig. 4) has identified several morphological inconsistencies. Deposit VII-D, for example, consists of several broken speleothems laid vertically, in an arc, against a stalagmite (fig. 5). Apart from this geometric organization, their orientation does not correspond to a natural fall, and no broken base in the direct surroundings of the speleothems could explain their current position. The same observation can be made for group VII-E. The two structures are themselves resting on linear deposits of broken speleothems, partly hidden by stalagmitic seals. This organization does not correspond to any morphogenic dynamics identified in the gallery (either present or past). It is, therefore, clearly a man-made deposit. Some of the concretions forming this lower group appears to come from adjacent broken columns (diameter, size, appearance). However, their orientation and organization do not seem to correspond to a natural break. The identification of generational facies (GF) makes it possible to distinguish (fig. 6) (i) a linear construction composed of speleothems GF#1, (ii) sealed by regrowths GF#2-3, (iii) themselves broken to serve in the construction of the vertical structure. This is, therefore, a polyphase structure made up of two successive constructions (fig. 7). By comparing chronological sequences on the Harris diagram, we can associate several deposits with these construction phases 1 and 2 (fig. 8). Their spatial logic always seems to be the same: closure of lateral spaces for construction phase 1; small vertical structures regularly arranged along the path for construction phase 2. The last of these, associated with charcoal attributed by Arias et al. (2017) to medieval use, can be related to historical periods. Structure VII-A appears to be intermediate: in particular, it is composed of an GF#2 concretion, necessarily later than construction 1, but it is sealed by pigment deposits that are probably Palaeolithic (fig. 9).

The geomorphological documentation shows that the landscape has not changed very significantly since human occupation of Zone VII began. The topographical contexts of progression are, therefore, comparable. However, the spatial logic differs according to the period of construction. This logic (the closure of restricted lateral spaces in the Palaeolithic period and punctual structuring along the axis of the path in the medieval period) is reflected in the comparison between the traces of pigment on the walls/ceilings and the traces of charcoal on the ground. In total, there were three phases of development (two of which were Pleistocene), separated by phases of concretion (fig. 9). It is, therefore, possible that some of these structures may be pre-Magdalenian (the last phase of Palaeolithic occupation of the gallery) and therefore mark earlier phases of construction. It should be noted, however, that some positioning uncertainties remain on the general Harris diagram. For example, the traces of pigment, reasonably contemporary with the adjacent negative hands (attributed to the Gravettian period by Gonzalez (2003), Arias et Ontañón (2020), could well have been deposited at a more recent period (Magdalenian occupations also left numerous traces of hematite in the first sectors of the cave). Nevertheless, the creation of this general chronological model makes it possible to provide a robust framework at the scale of the entire gallery and to guide sampling strategies. By understanding how the forms fit together and how they are distributed in a relative chronology, it is possible to target relevant locations for taking samples with a view to dating them.

The same work was carried out in several areas of the Lower Gallery of the La Garma cave (zones III, IV, VII, VIII and IX) (fig. 9). It has revealed the significant human investment that went into making the underground space their own and transforming it (moving blocks, broken concretions, etc.) at different times. With more than twenty structures now identified and under study, La Garma appears to be a prime research area for tackling these issues. The aim of the work currently under way is to place these underground structures in the context of the different phases of occupation. While absolute dating is ultimately an essential tool for placing these structures in the context of the cave's history, the emphasis here has been deliberately placed on building a relative chronology of the natural and man-made events that have marked the cave. The construction of this relative chronology on the scale of the entire gallery is an essential prerequisite for a protected and listed site. Any act of taking samples for analysis, including dating, must be fully justified if it is to go beyond mere sampling. The anthropo-geomorphological method presented in this work is based on this ethic.

Table des illustrations

Titre	Fig. 1 - Coupe et carte générales du réseau de la grotte de La Garma. <i>Fig. 1 - General section and map of the La Garma cave system.</i>
Légende	A : Coupe générale du réseau de La Garma. B : Carte générale de la Galerie Inférieure. 1. Parois ornées ; 2. Sols d'occupation ; 3. Structures anthropiques identifiées avant étude anthropo-géomorphologique ; 4. Zone d'étude (VII). <i>A: General section of the La Garma network. B: General map of the Lower Gallery. 1. Ornamented walls; 2. Occupation soils; 3. Anthropoc structures identified before anthropo-geomorphological study; 4. Study area (VII).</i>
URL	http://journals.openedition.org/geomorphologie/docannexe/image/18109/img-1.jpg
Fichier	image/jpeg, 212k

	Titre	Fig. 2 - Vue de la Zone VII de la Galerie Inférieure. <i>Fig. 2 - View of Zone VII of the Lower Gallery.</i>
	Légende	Les structures VII-B et VII-C sont visibles à gauche de l'image, le long d'un plafond bas. L'écroulement nord est visible à l'arrière-plan. Certains blocs permettent l'accès à des niveaux karstiques sus-jacents. (Cliché S. Jaillet, 2021) <i>Structures VII-B and VII-C are visible on the left of the image, alongside a low ceiling. The northern collapse is visible in the background. Some blocks allow access to overlying karst levels. (Photo S. Jaillet, 2021).</i>
	URL	http://journals.openedition.org/geomorphologie/docannexe/image/18109/img-2.jpg
	Fichier	image/jpeg, 1,1M
	Titre	Fig. 3 - Cartographie anthropo-géomorphologique simplifiée de la Zone VII. <i>Fig. 3 - Simplified anthropo-geomorphological mapping of Zone VII.</i>
	Légende	A : Site d'étude ; B : Acquisition et modélisation 3D ; C : Documentation anthropo-géomorphologique ; D : Reconstitution archéo-spéléogénique. Le site d'étude (A) est dans un premier temps scanné en 3 dimensions afin de produire une base documentaire et topographique (B). La combinaison de la cartographie des sols (visant à identifier, inventorier, définir la répartition et l'origine des éléments dans l'espace de la galerie) et de chronologies relatives sur coupes (visant à faire des liens entre parois et sols et à identifier des séquences chronologiques récurrentes dans l'espace de la galerie) (C), permet d'identifier différents gestes humains dans la cavité et de les replacer chronologiquement les uns par rapport aux autres, tout en les intégrant à l'évolution naturelle du paysage (D). 1. Carte géomorphologique ; 2. Coupes et digrammes de Harris. <i>Acquisition and 3D modelling; C: Anthropo-geomorphological documentation; D: Archaeo-sepeleogenic reconstruction. The study site (A) is first scanned in 3 dimensions in order to produce a documentary and topographical base (B). The combination of ground mapping (to identify, inventory, define the distribution and origin of the elements in the gallery space) and relative chronologies on sections (to make links between walls and grounds and to identify recurrent chronological sequences in the gallery space) (C), makes it possible to identify different human gestures in the cavity and to place them chronologically in relation to one another, while integrating them into the natural evolution of the landscape (D). 1. Geomorphological map; 2. Harris sections and diagrams.</i>
	URL	http://journals.openedition.org/geomorphologie/docannexe/image/18109/img-3.jpg
	Fichier	image/jpeg, 284k
	Titre	Fig. 4 - Approche anthropo-géomorphologique : une approche intégrative des gestes humains. <i>Fig. 4 - Anthropo-geomorphological approach: an integrative approach to human actions.</i>
	Légende	0. Limite de plafond bas ; 1. Surface totale projetée ; 2. Zone non cartographiée ; 3. Limite sol/paroi ; 4. Bedrock ; 5. Clastes calcaires ; 6. Clastes calcite ; 7. Argiles ; 8. Art pariétal ; 9. Charbon ; 10. Bauge d'ours ; 11. Transport (a. Gravitaire ; b. Fluviale ; c. Anthropique) ; 12. Nature lithologique (a. Calcaire ; b. Calcite ; c. Argiles) ; 13. Faciès Générationnels des planchers stalagmitiques ; 14. Faciès Générationnels des stalagmites ; 15. Faciès Générationnels des colonnes stalagmitiques. On distingue la nature des éléments (couleur de fond), leur temporalité (teinte de la couleur) et leur transport (contours). On relève ainsi en contours rouges les perturbations anthropiques. Celles-ci peuvent se résumer en quelques blocs déplacés ou en des enlèvements (bris de spéléothèmes, décaissements des sols ou des parois). Ces deux types de gestes sont ici numérotés différemment. <i>0. Low ceiling limit; 1. Total projected area; 2. Unmapped area; 3. Ground/wall boundary; 4. Bedrock; 5. Limestone clasts; 6. Calcite clasts; 7. Clay; 8. Cave art; 9. Charcoal; 10. Bear log; 11. Transport (a. Gravity; b. Fluvial; c. Anthropogenic); 12. Lithological nature (a. Limestone; b. Calcite; c. Clay); 13. Generational facies of the stalagmitic floors; 14. Generational facies of stalagmites; 15. Generational facies of stalagmitic columns. A distinction is made between the nature of the elements (background colour), their temporality (colour tone) and their transport (contours). Anthropogenic perturbations are shown in red contours. These can be summarised as a few displaced blocks or removals (breaking of speleothems, excavation of the ground or walls). These two types of action are numbered differently here.</i>
	URL	http://journals.openedition.org/geomorphologie/docannexe/image/18109/img-4.jpg
	Fichier	image/jpeg, 737k

	Titre Fig. 5 - Vue de la structure VII-D et modélisation 3D des spéléofacts qui la composent. Fig. 5 - View of Structure VII-D and 3D modelling of existing speleofacts. Légende A : Photographie de la structure VII-D ; B : Vue en plan de la modélisation 3D de la structure VII-D ; C : Vue 3D en transparence de l'emboîtement des spéléofacts dans les planchers stalagmitiques actuels. Certains spéléofacts ne sont aujourd'hui discernables que par l'émergence d'une de leur face du scellement stalagmitique. Les faces ensevelies ont donc été réinterprétées sur le modèle 3D en se basant sur le profil cylindrique théorique des tronçons stalagmitiques (ici le sol est mis en transparence de manière à identifier les portions interprétées). À ce stade, il n'y a pas de chronologie proposée dans l'édification de cette structure. <i>A: Photograph of structure VII-D; B: Plan view of the 3D model of structure VII-D; C: Transparent 3D view of the interlocking speleofacts in the current stalagmitic floors. Some speleofacts are today only distinguishable by their upper surface emerging from later stalagmitic flows. The sealed faces have therefore been interpreted on the 3D model on the basis of their theoretical cylindrical profile (here the ground is made transparent in order to highlight the interpreted portions). At this stage, there is no proposed chronology for the construction of this structure.</i> URL http://journals.openedition.org/geomorphologie/docannexe/image/18109/img-5.jpg Fichier image/jpeg, 430k
	Titre Fig. 6 - Analyse géomorphologique et chronologique des structures VII-D et VII-E. Fig. 6 - Structure VII-D (Top) from detailed geomorphological soil mapping. Légende A : Cartographie géomorphologique haute résolution (se référer à la légende géomorphologique dans la Figure 4) ; B : Modélisation 3D colorisée de la structure VII-D en fonction des Faciès Générationnels ; C : Modélisation colorisée générale des structures VII-D et VII-E. Seuls les spéléofacts sont colorisés afin de ne discerner que les générations de structures. Les faces brisées sont représentées en hachures rouges. <i>A: High-resolution geomorphological mapping (refer to geomorphological legend on Figure 4); B: 3D colour modelling of structure VII-D according to generational facies; C: General color modelling of structures VII-D and VII-E. Only the speleofacts are colorised in order to discern only the generations of structures. In red hatching, the broken bases.</i> URL http://journals.openedition.org/geomorphologie/docannexe/image/18109/img-6.jpg Fichier image/jpeg, 642k
	Titre Fig. 7 - Section géomorphologique n°18 (au niveau des structures VII-D) et transcription des formes et de leur enchaînement sous forme de matrice de Harris. Fig. 7 - Geomorphological section n°18 (at the level of structures VII-D) and transcription of the forms and their sequence in the form of a Harris matrix. Légende A : Coupe géomorphologique de la galerie au niveau des structures VII-B ; B : Transcription de la coupe géomorphologique en diagramme de Harris. 1. Ecoulement ; 2. Faciès Générationnels (concrétions) ; 3. Argiles ; 4. Trace de pigment ; 5. Charbon ; 6. Clastes (calcite) ; 7. Structure anthropique ; 8. Bris de concrétion. Les gammes colorimétriques des concrétions permettent d'identifier les chronologies relatives reconstituées ici. En rouge sont portées les actions anthropiques (brisures notamment). Pour les autres couleurs se reporter à la carte géomorphologique (fig. 3). On distingue la première phase de construction de l'ensemble VII-D (VII-D-G1), de la deuxième (VII-D-G2), séparées par les faciès générationnels de concrétion 2 et 3. <i>A: Geomorphological section of the gallery at the level of structures VII-B; B: Transcription of the geomorphological section into a Harris diagram. 1. Collapse; 2. Generational facies (concretions); 3. Clay; 4. Pigment trace; 5. Coal; 6. Clasts (calcite); 7. Anthropogenic structure; 8. Concretion breakage. The colorimetric ranges of the concretions make it possible to identify the relative chronologies reconstructed here. The red color indicates anthropic actions (particularly breakages). For the other colors, please refer to the geomorphological map (fig. 3). A distinction is made between the first phase of construction of the VII-D complex (VII-D-G1) and the second (VII-D-G2), separated by the generational facies 2 and 3.</i> URL http://journals.openedition.org/geomorphologie/docannexe/image/18109/img-7.jpg Fichier image/jpeg, 207k

**Titre**

Fig. 8 : Vue des structures de phase n° 2 des ensembles VII-C, VII-D et VII-E et comparaison des similarités entre séquences de Harris.*Fig. 8: View of phase 2 structures of VII-C, VII-D and VII-E and comparison of similarities between Harris sequences.*

Légende

A : Photographies des structures VII-C, VII-D, VII-E ; B : Diagrammes de Harris des secteurs comprenant chaque structure. 1. Ecoulement ; 2. Faciès Générationnels (calcite) ; 3. Argiles ; 4. Clastes (calcite) ; 5. Charbon ; 6. Trace pigment ; 7. Structure anthropique ; 8. Bris de concrétion. Les accumulations ponctuelles de la seconde phase d'aménagement, faites de concrétions holocènes et associées à des charbons de bois médiévaux, sont probablement à attribuer aux circulations médiévales. (Clichés S. Jaillet, 2021).*A: Photographs of structures VII-C, VII-D, VII-E; B: Harris diagrams of the sectors comprising each structure. 1. collapse; 2. generational facies (calcite); 3. clays; 4. Clasts (calcite); 5. Coal; 6. Trace pigment; 7. Anthropogenic structure; 8. Concretion breakage. The punctual accumulations of the second phase of development, made of Holocene concretions and associated with medieval charcoal, are probably to be attributed to medieval circulations. (Photo S. Jaillet, 2021).*

URL

<http://journals.openedition.org/geomorphologie/docannexe/image/18109/img-8.jpg>

Fichier

image/jpeg, 748k

Titre

Fig. 9 - Diagramme de Harris détaillé de la Zone VII de la galerie Inférieure de la grotte de La Garma.*Fig. 9 - Detailed Harris diagram of Zone VII of the Lower Gallery of La Garma Cave.*

**Légende**

A : Diagramme de Harris combinant chaque séquence chronologique de la zone VII ; B : Contextualisation du diagramme de Harris de la zone VII au sein du modèle de chronologie relative réalisé sur toute la grotte. 1. Faciès Générationnels (concrétions) ; 2. Ecoulement ; 3. Argiles ; 4. Clastes (calcaire) ; 5. Clastes (calcite) ; 6. Galets ; 7. Soutirage ; 8. Argile de piétinement ; 9. Ossement ; 10. Entité pariétale ; 11. Trace de pigment ; 12. Charbon ; 13. Spéléofact déplacé ; 14. Bris de concrétion ; 15. Décaissement ; 16. Déplacement de bloc ; 17. Structure anthropique ; 18. Biocorrosion. Chaque objet (rectangulaire au sol, ovale en paroi) correspond à une observation de terrain. L'organisation de ces séquences selon un axe longitudinale (le déroulé de la galerie) permet d'identifier des similitudes à la fois temporelles et spatiales. La même méthodologie a été menée dans les zones III, IV, VIII et IX afin de multiplier les séquences et donc à la fois les liens et les contraintes entre élément. L'alternance de bandes grises et blanches permet de distinguer les séquences chronologiques.*A: Harris diagram combining each chronological sequence in zone VII; B: Contextualisation of the zone VII Harris diagram within the relative chronology model produced for the entire cave. 1. Generational facies (concretions); 2. Collapse; 3. Clays; 4. Clasts (limestone); 5. Clasts (calcite); 6. Pebbles; 7. Racking; 8. Trampling clay; 9. Bone; 10. Parietal entity; 11. Trace of pigment; 12. Charcoal; 13. Displaced speleofact; 14. Broken concretion; 15. Excavation; 16. Block displacement; 17. Anthropogenic structure; 18. Biocorrosion. Each object (rectangular on the ground, oval on the wall) corresponds to a field observation. The organisation of these sequences along a longitudinal axis (the course of the gallery) makes it possible to identify both temporal and spatial similarities. The same methodology was used in zones III, IV, VIII and IX in order to multiply the sequences and thus both the links and the constraints between elements. The alternating grey and white bands distinguish the chronological sequences.*

URL

<http://journals.openedition.org/geomorphologie/docannexe/image/18109/img-9.jpg>

Fichier

image/jpeg, 584k

Titre

Fig. 10 : Répartition des traces archéologiques dans la Zone VII.*Fig. 10: Distribution of archaeological traces in Zone VII.*

**Légende**

La surface totale de la galerie est représentée en gris. L'emprise des sols est représentée en blanc. A : Répartition des charbons de bois ; B : Répartition des traces d'hématite sur les parois. Les mains négatives sont représentées indifféremment sur les deux cartes.*The total surface of the gallery is shown in grey. The floor area is shown in white. A: Distribution of charcoal; B: Distribution of hematite traces on the walls. Negative hands are represented equally on both maps.*

URL

<http://journals.openedition.org/geomorphologie/docannexe/image/18109/img-10.jpg>

Fichier

image/jpeg, 327k

Pour citer cet article

Référence papier

Jules Kemper, Jean-Jacques Delannoy, Stéphane Jaillet, Roberto Ontañon-Peredo et Pablo Arias, « 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*, vol. 29 - n°4 | 2023, 209-225.

Référence électronique

Jules Kemper, Jean-Jacques Delannoy, Stéphane Jaillet, Roberto Ontañon-Peredo et Pablo Arias, « 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* [En ligne], vol. 29 - n°4 | 2023, mis en ligne le 25 avril 2024, consulté le 08 avril 2025. URL : <http://journals.openedition.org/geomorphologie/18109> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/w9x4>

Auteurs

Jules Kemper

Laboratoire EDYTEM, UMR 5204 CNRS, Université Savoie Mont Blanc, Pôle Montagne, 73376 Le Bourget-du-Lac Cedex, France.

Jean-Jacques Delannoy

Laboratoire EDYTEM, UMR 5204 CNRS, Université Savoie Mont Blanc, Pôle Montagne, 73376 Le Bourget-du-Lac Cedex, France. Institut Universitaire de France (IUF), 103 bd Saint Michel, 75005 Paris 5, France.

Articles du même auteur

Peintures pariétales schématiques et fréquentations anciennes en milieu escarpé. Étude géomorphologique des abris Perret (Vaucluse-France) [Texte intégral]

Schematic rock art and ancient use of steep terrain. Geomorphological study of the Perret shelters (Vaucluse-France)

Paru dans *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, Articles sous presse

Contexte géomorphologique du site archéologique de Chuchuwayha (Colombie Britannique, Canada). Apports de l'analyse sédimentologique [Texte intégral]

Geomorphological context of Chuchuwayha's archaeological site (British Columbia, Canada). What sedimentological analysis adds to the understanding of the site

Paru dans *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 29-1 | 2023

Morphogenèse des espaces ornés de plein-air en milieu tropical humide : analyse archéo-géomorphologique des sites d'art rupestre précolombiens de Trois Rivières (Guadeloupe, Petites Antilles) [Texte intégral]

Morphogenetic processes on open-air rock art sites in tropical context: archaeo-geomorphological analysis of the pre-Columbian rock art sites of Trois-Rivières (Guadeloupe, French West Indies)

Paru dans *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 28 - n° 1 | 2022

Hommage collectif à Jean Nicod (1923-2021) [Texte intégral]

Paru dans *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 27 - n° 4 | 2021

L'image topographique du karst et des grottes : représentations 2D et technologies 3D, entre réalité et imaginaire [Texte intégral]

Karst and cave topographic images: 2D representations and 3D technologies, between reality and imagination

Paru dans *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 25 - n° 3 | 2019

Le Pont d'Arc et la grotte des Châtaigniers (Gorges de l'Ardèche, France), indicateurs des processus du recoupement du méandre de la Combe d'Arc [Texte intégral]

The Pont d'Arc karst and the Châtaigniers cave, indicators of the age and processes of the meander shortcut formation

Paru dans *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 25 – n° 1 | 2019

Tous les textes...

Stéphane Jaillet

Laboratoire EDYTEM, UMR 5204 CNRS, Université Savoie Mont Blanc, Pôle Montagne, 73376 Le Bourget-du-Lac Cedex, France.

Articles du même auteur

De la glace souterraine au-delà des limites de la cryosphère. Fonctionnement glaciologique et usages de la Grande Glacière du Parmelan (massif des Bornes, France) [Texte intégral]

Underground ice beyond the limits of the cryosphere. Glaciological functioning and uses of the Grande Glacière du Parmelan (Bornes massif, France)

Paru dans *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 30 - n° 3 | 2024

Modélisation 3D par imagerie LIDAR et analyse structurale de la Salle du Dôme des Grottes de Han-sur-Lesse (Belgique, Ardenne) [Texte intégral]

3D mapping of the "Salle de Dôme" in the Han-sur-Lesse Cave (Belgium, Ardennes) for a structural analysis

Paru dans *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 26 - n° 4 | 2020

L'image topographique du karst et des grottes : représentations 2D et technologies 3D, entre réalité et imaginaire [Texte intégral]

Karst and cave topographic images: 2D representations and 3D technologies, between reality and imagination

Paru dans *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 25 - n° 3 | 2019

Le Pont d'Arc et la grotte des Châtaigniers (Gorges de l'Ardèche, France), indicateurs des processus du recoupement du méandre de la Combe d'Arc [Texte intégral]

The Pont d'Arc karst and the Châtaigniers cave, indicators of the age and processes of the meander shortcut formation

Paru dans *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 25 – n° 1 | 2019

La dépression glacio-karstique du Mariet (Bauges occidentales, France) : un marqueur de l'englacement würmien des Alpes françaises du Nord [Texte intégral]

The glacio-karstic depression of Mariet (Bauges occidentales, France): a marker of the würmian glaciation in the Northern French Alps

Paru dans *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 24 – n° 2 | 2018

Une analyse 3D de l'endokarst : applications lasergramétriques sur l'aven d'Ornac (Ardèche, France) [Texte intégral]

A 3D analysis of underground karst: lasergrammetry applications in Ornac's cave (Ardèche, France)

Paru dans *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 17 - n° 4 | 2011

Tous les textes...

Roberto Ontañón-Peredo

Universidad de Cantabria, MUPAC, Centro de Investigación, Calle Ruiz de Alda, 19, 39009 Santander, Cantabria, Espagne.

Pablo Arias

Universidad de Cantabria, IIIPC (Instituto Internacional de Investigaciones Prehistóricas de Cantabria), Av. de los Castros, s/n, 39005 Santander, Cantabria, Espagne.

Droits d'auteur

Le texte et les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés), sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.