



HAL
open science

L'ichnologie préhistorique et les traces d'activités au sein des cavités ornées : les grottes de Fontanet (Ariège) et de Cussac (Dordogne).

Lysianna Ledoux

► To cite this version:

Lysianna Ledoux. L'ichnologie préhistorique et les traces d'activités au sein des cavités ornées : les grottes de Fontanet (Ariège) et de Cussac (Dordogne).. Archéologie et Préhistoire. Université de Bordeaux, 2019. Français. NNT : 2019BORD0010 . tel-03543360

HAL Id: tel-03543360

<https://theses.hal.science/tel-03543360>

Submitted on 26 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE PRÉSENTÉE
POUR OBTENIR LE GRADE DE
DOCTEUR DE
L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES ET ENVIRONNEMENTS
SPÉCIALITÉ PRÉHISTOIRE

Par Lysianna Ledoux

**L'ichnologie préhistorique et les traces d'activités
au sein des cavités ornées.**

Les grottes de Fontanet (Ariège) et de Cussac (Dordogne).

Sous la direction de : Jacques Jaubert, Gilles Berillon et Nathalie Fourment

Soutenue le 25 janvier 2019

Membres du jury :

Margaret Conkey
Kristian D'Août
Pablo Arias
Andreas Pastoors
Jacques Jaubert
Gilles Berillon
Nathalie Fourment

Professor Emerita, University of California
Lecturer, University of Liverpool
Profesor, Universidad de Cantabria
Priv.-Doz Dr. habil., Institut für Ur- und Frühgeschichte
Professeur, Université de Bordeaux – PACEA
Directeur de Recherche, CNRS, MNHN
CRA, DRAC, SRA Nouvelle Aquitaine

Rapporteur
Rapporteur
Président
Examineur
Directeur
Directeur
Co-directrice

Table des Matières

Remerciements.....	13
Introduction.....	19
Chapitre 1.....	21
1. <i>État de l'art et problématique</i> -----	25
1.1. Ichnologie -----	25
1.1.1. Définition-----	25
1.1.2. Origine et champs d'étude-----	25
1.1.2.1. L'ichnologie en grotte -----	27
1.1.2.2. Les empreintes en contexte de plein air-----	40
1.1.3. Pourquoi étudier les empreintes ? -----	40
1.1.3.1. Les informations biologiques-----	41
1.1.3.1.1. Quelle est l'espèce à l'origine de ces empreinte ?-----	41
1.1.3.1.2. Âge, stature, masse corporelle, sexe ?-----	42
1.1.3.2. Informations comportementales-----	43
1.1.3.2.1. Déplacements et activités -----	43
1.1.3.2.2. Équipement-----	44
1.1.4. Les méthodes d'études -----	44
1.1.4.1. L'utilisation de la 3D -----	45
1.1.4.2. Biométrie et morphométrie -----	46
1.1.4.3. L'expérimentation-----	48
1.1.4.4. L'approche morpho-classificatoire -----	50
1.1.5. Dater une empreinte -----	51
1.2. Problématique -----	53
2. Matériel et Méthodologie générale -----	57
2.1. Le corpus de site-----	57
2.1.1. Cussac -----	57
2.1.2. Fontanet -----	57
2.1.3. Les moulages du fonds Pales-----	57
2.2. Méthode -----	58
2.2.1. Le travail sur site/Terrain -----	58
2.2.1.1. La prospection -----	58
2.2.1.2. L'inventaire -----	59
2.2.1.3. La description-----	60
2.2.1.4. Caractérisation sédimentaire-----	63
2.2.1.4.1. Granulométrie -----	64
2.2.1.4.2. Taux d'humidité-----	64
2.2.1.5. L'enregistrement des empreintes -----	65
2.2.1.5.1. Photographies-----	65

2.2.1.5.2. L'enregistrement 3D-----	65
2.2.1.5.2.1. La photogrammétrie-----	65
2.2.1.5.2.2. Le scanner surfacique-----	66
2.2.2. L'analyse des empreintes-----	67
2.2.2.1. Le support 3D-----	67
2.2.2.2. Morphométrie des empreintes-----	68
Chapitre 2.....	71
1. La grotte de Cussac (Le Buisson-de-Cadouin, Dordogne-----	75
1.1. Contexte-----	75
1.1.1. Découverte et prise en charge-----	75
1.1.2. Datation-----	76
1.1.3. Contexte géomorphologique et géologique-----	77
1.2. Les Traces d'Activités (TrAcs)-----	79
1.2.1. Définition et méthodes d'inventaire-----	79
1.2.2. Description des traces d'activités-----	82
1.2.2.1. Les traces d'activités non humaines-----	82
1.2.2.2. Les traces d'activités humaines-----	84
1.3. Les empreintes-----	87
1.3.1. Descriptions des empreintes fossiles-----	88
1.3.1.1. Aval-----	89
1.3.1.2. Amont-----	115
1.4. Synthèse et interprétation-----	127
1.4.1. Un contexte particulier-----	127
1.4.2. Fréquentation-----	129
1.4.3. Comportement-----	130
1.4.4. La fonction du site-----	132
1.5. Perspectives-----	132
2. Les expérimentations-----	137
2.1. Problématique-----	137
2.1.1. Formation et conservation d'une empreinte-----	137
2.1.2. Questions et hypothèses à Cussac-----	138
2.1.2.1. Taphonomie-----	138
2.1.2.2. Le port de chaussant-----	139
2.1.2.2.1. Le port de chaussant au Paléolithique-----	140
2.1.2.2.1.1. Origine et indices archéologiques-----	140
2.1.2.2.1.2. Indices ostéologiques-----	143
2.1.2.2.1.3. Indices ichnologiques ?-----	144
2.2. Dispositif expérimental-----	144
2.2.1. Choix du sédiment expérimental-----	145

2.3. Le protocole expérimental -----	147
2.3.1. Matériel-----	147
2.3.1.1. Aspects logistiques-----	147
2.3.1.2. Les chaussants-----	148
2.3.1.3. Les effectifs-----	149
2.3.2. Méthode-----	149
2.3.2.1. Taphonomie-----	149
2.3.2.1.1. Surface de formation : argile brute et ennoiemment primaire-----	149
2.3.2.1.2. Ennoiemment secondaire-----	151
2.3.3. Enregistrement-----	151
2.3.4. Traitement-----	154
2.4. Résultats -----	154
2.4.1. Caractérisation sédimentaire-----	154
2.4.1.1. Granulométrie-----	154
2.4.1.2. Taux d'humidité-----	156
2.4.2. Le sédiment utilisé-----	157
2.4.2.1. Choix du sédiment-----	157
2.4.2.2. Supports de formation et charge sédimentaires-----	159
2.4.3. Description des empreintes-----	160
2.4.3.1. Taphonomie-----	160
2.4.3.1.1. Morphologie générale-----	160
2.4.3.1.2. Présence de l'empreinte des orteils-----	161
2.4.3.1.3. Topographie-----	168
2.4.3.1.4. Biométrie-----	169
2.4.3.1.5. Remobilisation-----	177
2.4.3.2. Le port de chaussant-----	181
2.4.3.2.1. Morphologie générale-----	181
2.4.3.2.2. Présence de l'empreinte des orteils-----	181
2.4.3.2.3. Biométrie-----	191
2.4.3.2.4. Profondeur-----	192
2.5. Conclusion et application au registre fossile -----	196
2.5.1. Morphologie et taphonomie de l'empreinte-----	196
2.5.1.1. Taphonomie-----	196
2.5.1.2. Le port de chaussant-----	197
2.5.2. Application au registre fossile-----	197
2.5.2.1. La taphonomie et le recouvrement des sols-----	197
2.5.2.2. L'influence du chaussant-----	198
2.5.2.3. Log-shape ratios-----	199
2.5.2.4. Port de chaussant à Cussac ?-----	202
2.5.3. Perspectives-----	203
Chapitre 3	205

1. Le fonds Pales -----	209
1.1. Niaux -----	210
1.2. Aldène -----	214
1.3. Fontanet -----	228
1.4. Bilan -----	228
2. Fontanet, réseau Wahl (Ornolac-Ussat-les-Bains, Ariège) -----	233
2.1. Contexte -----	233
2.1.1. Situation géographique-----	233
2.1.2. Historique des recherches et découverte-----	233
2.1.3. Datation-----	236
2.1.4. Description de la galerie préhistorique-----	236
2.2. La reprise de l'étude ichnologique -----	239
2.2.1. Les empreintes-----	241
2.2.1.1. Description des trois plages à empreintes-----	242
2.2.1.1.1. Zone entre l'entrée actuelle et galerie Méroc (plage 1)-----	242
2.2.1.1.1.1. Contexte du secteur constituant la plage 1-----	242
2.2.1.1.1.2. Description des empreintes-----	243
2.2.1.1.1.3. Bilan de l'inventaire de la plage 1-----	278
2.2.1.1.2. Zone avant le passage de « la boîte aux lettres » (plage 3)-----	281
2.2.1.1.2.1. Description des empreintes-----	281
2.2.1.1.2.2. Bilan de l'inventaire de la plage 3-----	289
2.2.1.1.3. Zone constituant la plage 2-----	289
2.2.1.1.3.1. Description des empreintes-----	289
2.2.1.1.3.2. Bilan de l'inventaire de la plage 2-----	294
2.2.2. Premières interprétations-----	295
2.2.2.1. Essai de détermination de la stature et de la masse corporelle-----	295
2.2.2.1.1. Stature-----	297
2.2.2.1.2. Masse-----	299
2.2.2.2. Bilan général-----	300
2.2.2.3. Le nombre d'individus-----	301
2.2.2.4. Les activités/comportements-----	303
2.2.3. Perspectives-----	307
 Chapitre 4	309
1. Discussion -----	313
1.1. Aspects méthodologiques -----	313
1.1.1. Un contexte particulier-----	313
1.1.2. L'apport de l'imagerie 3D-----	315
1.1.3. L'apport de l'expérimentation-----	319

1.1.3.1. Empreintes et contexte sédimentaire -----	321
1.1.3.2. Port de chaussant -----	322
1.1.4. Biométrie des empreintes -----	323
1.2. Contribution des empreintes à la compréhension de l'appropriation humaine du milieu souterrain au Paléolithique-----	326
1.2.1. Cussac et Fontanet : deux grottes, deux fonctions ? -----	326
1.2.1.1. Quels types de traces ? -----	326
1.2.1.2. L'appréhension de la grotte-----	327
1.2.1.3. Les auteurs des empreintes -----	327
1.2.2. Les activités et comportements dans la grotte -----	331
1.2.2.1. Cussac, le « sanctuaire » -----	331
1.2.2.2. Fontanet, espace symbolique et domestique ? -----	333
1.2.2.3. Les empreintes non humaines -----	337
2. Conclusion et perspectives -----	339
2.1. « Montre-moi ton pied et je te dirai qui tu es » (Pales, 1976) -----	339
2.2. Perspectives-----	340
Bibliographie.....	343
Annexes.....	365
Annexe 1.....	367
1. Taphonomie.....	367
1.1. Support argile (~60% d'humidité) et charge sédimentaire des ennoiements de 60g/L	367
1.2. Support argile (~60% d'humidité) et charge sédimentaire des ennoiements de 20g/L.	368
1.3. Support argile (~60% d'humidité) et charge sédimentaire des ennoiements de 40g/L.	371
1.4. Support argile de décantation et charge sédimentaire des ennoiements de 40g/L.	377
1.5. Support argile de décantation et charge sédimentaire des ennoiements de 80g/L.	378
1.6. Support argile de décantation et charge sédimentaire des ennoiements de 100g/L.	381
1.7. Support argile de décantation et charge sédimentaire des ennoiements de 60g/L.	385
1.8. Support argile de décantation et charge sédimentaire des ennoiements de 80g/L.	389

2. Le port de chaussant	391
2.1. Chaussant 1	391
2.1.1. Sans rembourrage	391
2.1.1.1. Support argile (environ 60% de teneur en eau)	391
2.1.1.2. Support argile de décantation	394
2.1.2. Avec rembourrage	397
2.1.2.1. Support argile (environ 60% de teneur en eau)	397
2.1.2.2. Support argile de décantation	400
2.2. Chaussant 2	403
2.2.1. Sans rembourrage	403
2.2.1.1. Support argile (environ 60% de teneur en eau)	403
2.2.1.2. Support argile de décantation	406
2.2.2. Avec rembourrage	409
2.2.2.1. Support argile (environ 60% de teneur en eau)	409
2.2.2.2. Support argile de décantation	412
 Annexe 2.....	 415
Table des figures.....	423
Table des tableaux.....	431

Remerciements

Parce qu'une thèse n'est jamais le fruit d'un travail individuel, je souhaite remercier ici toutes les personnes qui m'ont permis de concrétiser cette recherche et qui ont participé de près ou de loin à son bon déroulement.

Mes premiers remerciements sont pour mes directeurs Jacques Jaubert, Gilles Berillon et Nathalie Fourment. Jacques, je vous remercie de m'avoir donné l'opportunité de faire partie des équipes des grottes de Cussac et Bruniquel. Merci d'avoir porté ce projet de thèse et de m'avoir soutenu dans l'ensemble de mes démarches. Gilles, merci beaucoup d'avoir accepté de participer à ce projet, et pour votre aide essentielle lors des différentes étapes de cette thèse. Nathalie, je suis très heureuse d'avoir eu l'opportunité de rejoindre l'équipe TrAcs, merci pour ta confiance et ton aide.

Merci aux membres du jury, Magaret Conkey, Kristiaan D'Août, Andreas Pastoors et Pablo Arias d'avoir accepté de juger ce travail.

Je remercie l'ensemble du PCR Cussac avec qui j'ai fait mes premiers pas en ichnologie en contexte de grotte. Merci en particulier à Catherine Ferrier, Valérie Feruglio, Camille Bourdier, Jean-Christophe Portais, Stéphane Konik, Pascal Mora, Bruno Dutailly, Patrice Buraud et Olivier Ferullo. Un remerciement spécial aux deux autres membres de l'équipe TrAcs Frédéric Maksud et Marc Delluc. Fred, merci beaucoup pour tes conseils et ton aide aussi bien en ce qui concerne Cussac que Fontanet. Marc, merci d'avoir découvert cette grotte si particulière et d'avoir su la protéger. Je regrette sincèrement que tu ne sois plus là pour voir l'aboutissement de cette thèse.

Grâce à cette thèse, j'ai eu la chance de mener une opération archéologique à Fontanet, je tiens donc à remercier tous ceux qui ont rendu ce projet possible. Dans un premier temps, je remercie sincèrement Luc Wahl de m'avoir fait confiance et de m'avoir accompagnée dans ma démarche. Cette cavité n'aurait pas pu trouver meilleur inventeur, merci d'avoir partagé avec moi quelques éléments de son histoire. Je remercie également la DRAC Occitanie pour m'avoir donné la possibilité de travailler à Fontanet, en particulier Yanik Le Guillou, Éric Mauduit et Didier Delhoume. Merci aux rapporteurs de ma demande Roberto Ontañon Peredo et Fiona Kildea pour leurs avis favorables et aux trois communes propriétaires, Tarascon-sur Ariège, Ornolac-Ussat-les-Bains et Ussat pour m'avoir donné leurs autorisations. Enfin, merci à Xavier Muth d'avoir accepté de me suivre dans cette aventure et à Guillaume Jamet.

Je remercie l'équipe du projet Bruniquel, en particulier Sophie Verheyden et Michel Soulier. Je n'ai finalement pas eu le temps d'intégrer Bruniquel dans ce travail mais compte bien rattraper le temps perdu à la prochaine campagne.

Différentes structures et personnalités m'ont accueilli et apporté leur aide au cours de cette thèse :

Je tiens à remercier le Musée National de Préhistoire, principalement Jean-Jacques Cleyet-Merle pour m'avoir donné accès au Fonds Pales. Merci à André Morala et Marie-Dominique Dehé pour m'avoir accompagnée durant mon travail sur les moulages et les archives.

Merci au Centre National de Préhistoire et à Geneviève Pinçon de m'avoir donné accès aux données concernant la Grotte de Cournazac. Merci à Elisa Boche pour son aide.

Je remercie également Michel Brenet et Frédéric Prodéo pour leurs conseils lors de mes expérimentations à la base archéologique de Campagne.

J'adresse mes remerciements au Pôle International de Préhistoire et à Gilles Muhlach-Chen, Catherine Roudet et Noël Coye pour m'avoir permis de participer à l'exposition « *Empreintes... Instantanés de vie* » et de présenter mon travail au grand public.

Merci à Diego Garate de m'avoir invité à visiter la grotte d'Atxurra et proposé de participer à son projet sur les grottes ornées cantabriques.

Merci enfin, à Andreas Pastoors et Tilman Lenssen-Erz pour leur invitation au colloque « Prehistoric human tracks » et leur intérêt pour mon travail.

Cette thèse a été réalisée à l'Université de Bordeaux, je remercie le LaScArBx (ANR-10-LBX-52) pour son soutien financier.

Merci également à l'école doctorale Sciences et environnements, à Frédéric Garabetian et Brigitte Bordes.

Je tiens aussi à remercier les membres de mon comité de suivi de thèse, François Marchal et Christopher Knüsel.

Je remercie, bien sûr, le laboratoire PACEA. Merci à la direction, d'abord Bruno Maureille puis Anne Delagnes, Christine Couture et Catherine Morel-Chevillet. Merci également aux gestionnaires Jean-François Caro, Nathalie Kellay et Graziella Chaminaud et à Régine Wortmann. Je tiens à remercier spécialement Éric Pubert, Véronique Laroulandie, Jean-Luc Guadelli, Myriam Boudadi-Maligne, William Rendu pour leurs conseils et leur écoute. Merci également à Alain Queffelec, David Cochard, Aleta Guadelli, Jean-Baptiste Mallye, Solange Rigaud, Sylvain Ducasse, Mathieu Langlais et Frédéric Santos.

Je remercie mes collègues doctorants, post-doctorants ou autre, spécialement Monica, Camille, Caroline M., Marion B., Miriam, Anthony, Alix, Valentin, Armance, Pauline, Aline, Miguel, Caroline P., Claire-Élise, M-C, Tiphaine, Sylvain, Luc, Aitor, Nicolas, Àfrica qui m'ont aidée à différents niveaux et pour différentes raisons tout au long de cette thèse.

Je tiens à remercier plus particulièrement Mickaël pour la confection des chaussons. Merci également à Éric, je suis ravie d'avoir fait partie de ton poulailler. Antoine, merci beaucoup pour ton soutien et ton optimisme rassurant. Enfin, merci Mathieu d'avoir participé activement à cette thèse en acceptant d'être mon cobaye et pour ton humour raté mais qui, étrangement, a rendu mes journées de travail plus agréables.

Je remercie aussi tous ceux qui m'ont suivie à distance durant ces 3 dernières années. Merci à Ana et Renzo Rosso pour leurs encouragements et leur accueil toujours chaleureux. Merci également à François, Max, Mathilde, Pierre, Sohee et Cyril. Un remerciement spécial à Cyrielle qui m'a accompagné virtuellement presque quotidiennement durant cette dernière année de thèse et qui a partagé avec moi les « joies » de cette étape.

Merci beaucoup à Pascal, Sabine et Cyril pour leur soutien et leurs encouragements bien antérieurs à ces années de thèse.

Merci à ma famille pour ses encouragements et son intérêt pour ce que je fais.

Ces trois années auraient été bien plus difficiles si je n'avais pas eu mes amis avec qui partager les bons comme les mauvais moments. Daniela, quelle chance d'avoir partagé un bureau avec sa meilleure amie, les derniers mois sans toi ont été bien mornes. Lucile, merci d'avoir toujours été présente et disponible malgré la distance. Antoine, je te jure que j'ai pris du plaisir même si ça ne se voit pas ! Vivement les retrouvailles au rythme des Stagnants et de leurs pieds plats.

Christophe, je te remercie pour ta présence, ton soutien permanent, ton aide et ta patience. Le reste est entre nous.

Mes derniers remerciements sont pour mes sœurs et mes parents dont le soutien compte plus que tout. Élodie, merci de toujours te soucier de tes petites sœurs et de ta patience envers nous. Audrey, petit bout de moi, merci de me comprendre mieux que moi-même.

Papa, c'est à toi que je dois cette nostalgie du passé, merci de me soutenir même si tout ça est parfois un peu abstrait pour toi. Maman, parce que tu es la seule qui sache comme le chemin fut rude. Merci de ne pas avoir abandonné. Cette thèse est pour vous.

Sauf mention contraire les figures sont de l'auteur

Introduction

La stabilité des grottes en fait des conservatoires naturels idéaux autorisant la pérennité de certains vestiges beaucoup plus vulnérables dans d'autres contextes. Le témoignage le plus représentatif et le plus étudié de la fréquentation humaine au Paléolithique est sans aucun doute l'Art pariétal, dont la volonté d'en comprendre les fondements et la portée enflamme les préhistoriens depuis près de deux siècles. Au-delà de cet art, existe pourtant un nombre important de traces, qui participent à la compréhension de la fréquentation humaine ou d'autres espèces d'une cavité. Les traces anthropiques correspondent à différents types de comportements ou d'activités souterraines et sont aussi variées que des mouchages de torche, des dépôts pariétaux ou au sol de matière colorante, des restes fauniques ou des objets abandonnés (industrie lithique, osseuse, lampe, etc.), des objets fichés, des bris de concrétion ou autres aménagements, des traces de frottements ou essuyages argileux en paroi, etc. Ces témoignages dont la prise en compte globale a été initiée par François Rouzaud à travers la paléospéléologie dans les années 70 (Rouzaud, 1978) font désormais l'objet d'études systématiques bien qu'inégales selon la catégorie de trace (Rouzaud, 1997a ; Geneste, 2005 ; Ontañón, 2003 ; Arias, 2009 ; Arias et al., 2011 ; Peyroux, 2012 ; Bégouën et al., 2009 ; Pastoors et Weniger, 2011 ; Jaubert et al., 2012 ; Medina-Alcaide et al., 2015, 2018 ; Jaubert et al., 2016 ; Ledoux et al., 2017).

Les empreintes font partie intégrante de ces vestiges et constituent notre principal objet d'étude. Lorsqu'elles sont prises en compte et protégées, quand la géomorphologie s'y prête, les empreintes représentent, en effet, une part non négligeable des vestiges identifiés en grotte. Celles-ci peuvent résulter de déplacements ou de stationnements dans la cavité voire, parfois, d'actes volontaires, les faisant rentrer dans la sphère du symbolique. Leur intérêt est triple puisqu'elles sont susceptibles de nous renseigner à la fois sur les comportements humains et les événements géomorphologiques propres à chaque cavité, et nous donnent l'image la plus directe du vivant des individus qui les ont fréquentées. Dans le domaine karstique, ces instants de vie passée ont connu leur apogée entre les années 70 et le début des années 2000 grâce, dans un premier temps, à la figure de Léon Pales puis de son successeur Michel-Alain Garcia. Désormais largement étudiées en contexte de plein air, les empreintes le sont beaucoup moins en grotte. Néanmoins, ces dernières années, un renouveau de l'intérêt des préhistoriens pour l'ichnologie en milieu souterrain s'est concrétisé à travers la reprise de l'étude des empreintes dans plusieurs grottes telles que Pech Merle, La Bâsura, Ojo Guareña ou encore l'Aldène (Ortega Martinez et al., 2014 ; Pastoors et al., 2017, 2015 ; Citton et al., 2017). Notre travail s'inscrit dans ces recherches et dans les problématiques actuelles autour des empreintes, aussi

bien en ce qui concerne la compréhension du contexte de formation et de conservation et leur influence sur la morphologie des empreintes qu'en ce qui concerne l'appréhension des comportements et profils des individus ayant fréquenté les grottes au cours du Paléolithique. Pour mener à bien cette étude, nous aborderons les empreintes sous différents aspects et à travers différentes approches inspirées des travaux ichnologiques réalisés en contexte de plein air.

Dans un premier temps, nous reviendrons sur l'histoire de la discipline et ses fondements. De cet état de l'art découleront les problématiques qui nous guideront tout au long de notre recherche. Une méthodologie générale sera aussi présentée dans cette partie.

Nous nous intéresserons ensuite au cas de la grotte de Cussac actuellement en cours d'étude et dont les empreintes sont à l'origine de ce projet. C'est également dans cette partie que nous présenterons notre travail expérimental directement inspiré des empreintes de cette grotte exceptionnelle.

Fort de l'expérience acquise lors de notre travail sur les empreintes de Cussac, nous avons souhaité élargir notre expertise sur d'autres empreintes retrouvées en contexte karstique. Nous nous sommes, dans un premier temps, tournés vers les moulages d'empreintes du fonds Pales issus principalement de 3 cavités : Niaux, Aldène et Fontanet. Cependant, nous avons très rapidement réalisé qu'il ne nous serait pas possible d'étudier ces empreintes en dehors de toute connaissance de leur contexte. Nous avons donc décidé de reprendre l'étude des empreintes de Fontanet dont les résultats préliminaires seront présentés dans cette troisième partie.

Au terme de cette étude, grâce au regard croisé sur ces deux cavités et notre approche expérimentale, nous serons à même de proposer de nouvelles interprétations sur l'évolution des empreintes en contexte karstique et leur apport dans la compréhension des modalités de fréquentation du milieu souterrain par l'Homme.

Chapitre 1

État de l'art et Problématique

1. État de l'art et problématique

1.1. Ichnologie

1.1.1. Définition

Le terme ichnologie vient du grec ikhnos signifiant « trace ». Il définit l'étude des traces laissées par les êtres vivants dans leur environnement. Généralement associée aux empreintes, cette discipline issue de la paléontologie (paléo-ichnologie) embrasse aujourd'hui la totalité des traces et indices animaux, des excréments aux poils en passant par les traces de dent ou encore les terriers, etc. Les végétaux sont de plus parfois inclus dans cette discipline (Duday et Garcia, 1986 ; Garcia, 1986 ; Chazel et Chazel, 2011). Le propos qui suit se concentre principalement sur les empreintes fossiles même si l'étude de ce type de vestige requiert inévitablement une connaissance des traces et comportements actuels.

1.1.2. Origine et champs d'étude

Probablement pratiquée dès la Préhistoire par les sociétés de chasseurs-cueilleurs à des fins premières cynégétiques et peut-être de protection contre les prédateurs, l'ichnologie constituerait donc l'une des plus anciennes disciplines de l'histoire de l'humanité. L'ichnologie ou paléo-ichnologie en tant que science n'apparaît cependant que bien plus tard, au début du XIX^{ème} siècle (1802), avec l'identification pour la première fois de traces appartenant à un animal disparu sur une plaque de grès (cinq empreintes tridactyles) dans une ferme du Massachusetts (South Hadley, est des États-Unis) et qui furent alors interprétées comme celles d'un oiseau géant biblique : « le corbeau de Noé ». Leur étude réalisée 40 ans plus tard par Edward Hitchcock (professeur de géologie et de théologie) les attribua à une nouvelle espèce, *Ornithoidichnites fulcoides* en raison de leur ressemblance avec la foulque d'Amérique (*Fulica americana*) (Hitchcock, 1841). Le terme *Ornithoidichnites* (traces d'oiseaux) fut donc le premier qualificatif des empreintes fossiles et fut créé et défini par ce dernier en 1836 dans sa publication sur l'inventaire de sa collection d'empreintes : « I include all the varieties of tracks under the term ornithichnites [...] and if it be convenient to speak of the subject as a distinct branch of knowledge, I should call it Ornithichnology » (Hitchcock, 1836). Plus tard, et parce que les empreintes de sa collection n'appartenaient pas exclusivement à celles d'oiseaux, il inventa le terme d'ichnolithe qui lui permit de classer les empreintes en ichno-genre et ichno-

espèce. En 1858, le terme ichnologie s'impose finalement avec sa publication « *Ichnology of New England* » (Hitchcock, 1858) (Figure 1).

Parallèlement aux études d'Hitchcock, en Europe, le révérend William Buckland réalise, en 1828, les premières études d'empreintes de vertébrés en comparant des empreintes retrouvées sur des grès du Permien en Écosse (Sarjeant, 1974) à celles de vertébrés actuels (tortues et crocodiles). On assiste alors aux prémices de l'ichnologie expérimentale (Buckland, 1828 ; Falkingham et al., 2016). De ces premières découvertes et études naît une nouvelle discipline qui permet de renseigner certains aspects que les seules données ostéologiques ne peuvent fournir. Les empreintes apparaissent alors comme des vestiges paléontologiques apportant des informations sur l'appartenance systématique des animaux fossiles et permettent aussi la découverte de nouvelles espèces. Elles fournissent également de précieux renseignements sur leur morphologie, leur locomotion et leur mode de vie. Enfin, elles peuvent aussi être utilisées afin de déterminer l'environnement dans lequel elles se sont déposées (Dutuit et Heyler, 1985 ; Garcia, 1986 ; Lockley et Meyer, 2000 ; Chazel et Chazel, 2011 ; Falkingham et al., 2016). Pourtant, après le décès d'Hitchcock en 1864, la discipline connaît un passage à vide, la recherche concentrant toute son attention sur les restes osseux (Gilette et Lockley, 1989 ; Falkingham et al., 2016). L'intérêt et la reconnaissance de ce type de vestiges reviendront en première ligne dans la deuxième moitié des années 1980 avec le développement de nouvelles méthodes d'études (début des études 3D, expérimentations, etc.) et rassemblent aujourd'hui un très large échantillon d'empreintes appartenant à une multitude d'espèces (disparues ou non), datant de toutes les périodes et évoluant dans des contextes variés.



Figure 1 : Empreintes d'Ornithodichnite gracillimus (Hitchcock, 1858).

1.1.2.1.L'ichnologie en grotte

Quelques années après les premières études de traces de dinosaures, un autre type d'empreintes agite cette fois la communauté scientifique des préhistoriens : les empreintes humaines retrouvées en contexte de grotte et plus particulièrement de grotte ornée.

L'ichnologie connaît ses prémices en Préhistoire au début du XX^{ème} siècle avec les découvertes des grottes ornées à empreintes de Niaux (1906, Ariège), du Tuc d'Audoubert (1912, Ariège), Pech-Merle (1922, Lot) et de Montespan (1923, Haute-Garonne) qui, rapidement, suscitent l'intérêt des préhistoriens pour la discipline. La première étude ichnologique complète a d'ailleurs été menée en 1927 à partir de ces trois dernières par le comte Henri Bégouën et Henri Vallois. Au cours de cette étude, les empreintes les mieux conservées sont moulées au plâtre puis décrites, mesurées, comparées et interprétées. On constate, en outre, un souci de conservation des sols avec notamment, dans la grotte du Tuc d'Audoubert, la création d' « *un sentier dont il est défendu de s'écarter, lors de la visite de la grotte* » (Bégouën et Vallois, 1928).

Cette première analyse conclut l'appartenance de la plupart des empreintes des trois grottes à des enfants ou adolescents, dont l'absence d'écartement du gros orteil les rapproche de ce qui est alors identifié comme « la race de Laugerie » (Hamy, 1874) par opposition à la « race de Cro-Magnon » (Quatrefages et Hamy, 1874) mais également à la « race de Chancelade » (Testut, 1889). Comme il est courant à cette époque, et dans la continuité des interprétations existantes pour le registre de l'art, le symbolisme des empreintes prime et est associé à des rituels ou cérémonies impliquant certaines catégories d'individus, souvent les futurs initiés (enfants ou adolescents) et les initiateurs (chamane, prêtresse, etc.) (Bégouën et Vallois, 1928 ; Lemozi, 1929). Bien que ces études pionnières frappent déjà par leur précision et la prise en compte du contexte de formation et de conservation des empreintes, elles ne s'intéressent qu'aux mieux conservées et les plus significatives et sont fortement marquées par la perception qu'ont alors les préhistoriens des cavités ornées.

À la suite de ces découvertes, les sols sont examinés avec plus d'attention et des empreintes sont décelées dans les grottes de Bédeilhac (1927), Aldène (1948) et Niaux (1949) sans être nécessairement étudiées. À la fin des années 50, une personnalité qui a marqué l'étude des empreintes préhistoriques fait son entrée dans la discipline. Il s'agit de l'anatomiste Léon Pales, dont « les premiers pas » en ichtnologie préhistorique se feront à la « grotta della Bàsura », cavité dans laquelle il mettra à profit sa connaissance de l'anatomie et de la biomécanique du pied dans l'interprétation des empreintes (Pales, 1960). Cette grotte située à Toirano (Ligurie, Italie) a en effet livré un certain nombre d'empreintes ursines (*Ursus spelaeus*) et humaines qu'il attribua alors à *Homo neanderthalensis*. Bien qu'annonciatrice des principes de base élaborés par le Dr. Pales pour l'étude des empreintes et la volonté de prendre en compte le contexte géomorphologique dans lequel les empreintes ont été formées (« le même pied, dans la même position, ne laisse pas la même trace sur le sable, ou dans la glaise, ou dans la boue. *Cette empreinte qui est, en fait, un moule en creux de la plante, est d'autant plus modifiée que le sol est plus fluide [...]*»), cette étude s'appuie toujours sur des moulages et photographies (en raison de problèmes d'accessibilité au site ?) (Pales, 1960).

La véritable avancée de l'ichtnologie « préhistorique » en contexte de grotte date des années 1970 avec les découvertes de plusieurs sites à empreintes : Ojo Guareña (Burgos, Espagne) en 1969, le réseau Clastres de Niaux (Ariège) en 1970 et la galerie préhistorique de la grotte de Fontanet (Ariège) en 1972. Durant cette période, l'étude des empreintes se systématisait tant en ce qui concerne les témoignages humains qu'animaux et l'ichtnologie est enfin considérée comme une discipline à part entière (Duday et Garcia, 1985 ; Garcia, 1986 ; Clottes, 1993). Le

docteur Léon Pales s'impose alors comme le spécialiste de la discipline avec les études successives de trois sites majeurs en ichnologie et évoqués ci-dessus : Niaux, l'Aldène et Fontanet. Le témoignage le plus significatif de cette période prolifique est son ouvrage *Les empreintes de pieds humains dans les cavernes : les empreintes du réseau nord de la caverne de Niaux (Ariège)* (Pales, 1976). Ce premier et unique volume devait initialement être suivi de ceux relatifs à l'Aldène et Fontanet, mais constitue encore aujourd'hui le seul ouvrage consacré exclusivement à la question des empreintes en grotte. Devenu une référence en ichnologie préhistorique, Léon Pales y pose les fondements de l'ichnologie en grotte, avec comme support les empreintes humaines du réseau nord de Niaux découvertes respectivement en 1906-1907 et 1949. Le réseau Clastres, quant à lui découvert en 1970, n'est pas inclus dans cette étude. En effet, les empreintes sont désormais perçues comme appartenant à un ensemble et intégrées dans l'étude globale de la cavité. La méthodologie adoptée par le Dr. Pales consiste, sur le terrain, à replacer les empreintes dans la cavité en plan (relevé général de la cavité puis relevé des secteurs à empreintes), les décrire et les photographier sous différents angles de vue et éclairages. Elles sont ensuite moulées par Michel-Alain Garcia par coulée d'élastomère de silicone après nettoyage du sol et consolidation à l'aide de silicates. Cette technique qui remplace les anciens moulages au plâtre a le triple avantage d'être plus fidèle, moins invasive et plus manipulable (le négatif obtenu est enroulable et léger) que ce dernier, facilitant l'étude des empreintes ex situ (Garcia, 1979) (Figure 2).

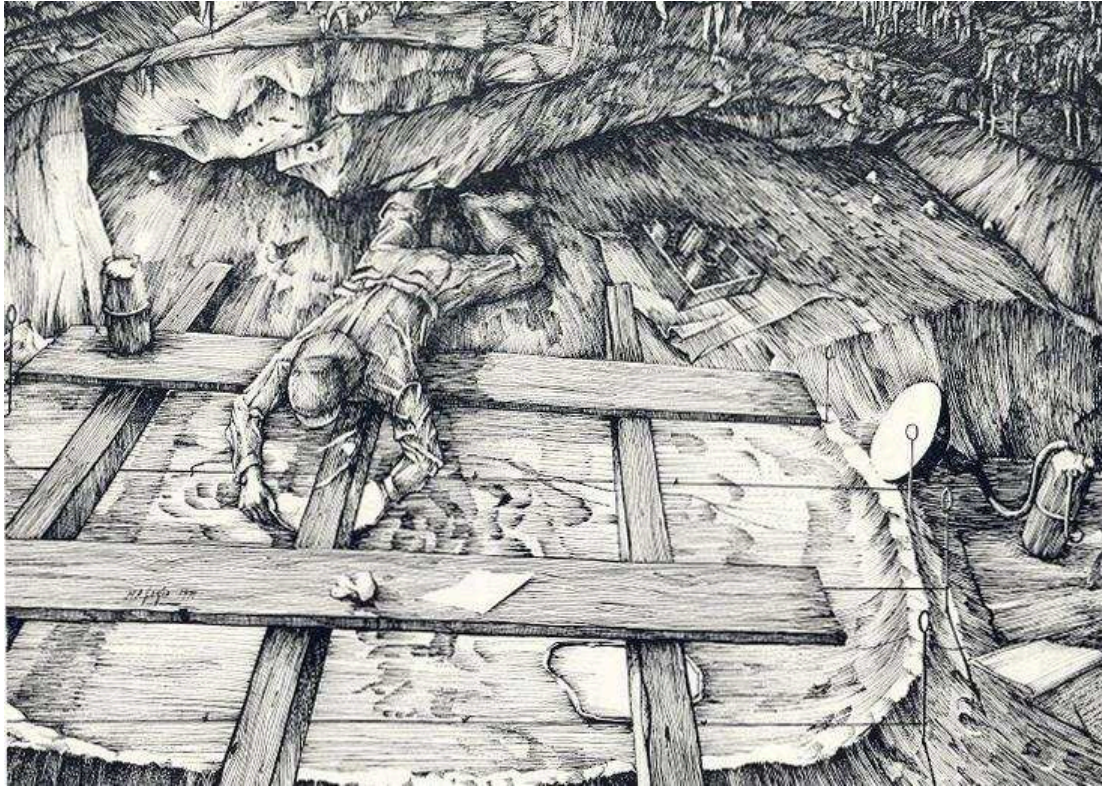


Figure 2 : Moulage des empreintes du diverticule de Niaux (dessin M.-A. Garcia (Pales, 1976)).

Dans le but d'uniformiser les méthodes et le vocabulaire utilisés en anatomie, il propose également la mise en place d'une nomenclature commune à tous pour les futures études en ichnologie préhistorique. Il redéfinit ainsi l'axe principal du pied (axe qui passe « en arrière, par le sommet du talon ou par le milieu de l'empreinte talonnière (appui postérieur) et en avant, par le milieu de l'interligne métatarso-phalangien (appui antérieur) »), permettant de déterminer la structure du pied (rapport entre l'axe principal et de la zone plantaire moyenne) et qui a l'avantage d'être élaboré à partir de repères visibles sur l'empreinte.

L'interprétation des empreintes dépendant, en outre, de facteurs aussi bien relatifs à l'auteur (classe d'âge, stature, masse, types d'appuis, activités, etc.) qu'à la géomorphologie du site (topographie, type de support, dépôts ultérieurs, etc.), plusieurs études expérimentales ont été réalisées. Celles-ci ont été réalisées in situ et en laboratoire afin de tester l'influence des différents types de supports sur la morphologie d'une empreinte. Sa démarche, profondément marquée par son passé d'anatomiste et ses études antérieures sur le pied humain, se focalise donc principalement sur la compréhension et l'interprétation de la biométrie et de la morphologie des empreintes, laissant quelque peu de côté les questions d'ordre comportemental et négligeant parfois le contexte général qui entoure les empreintes.

Bien qu'aujourd'hui il reste peu de traces publiées des études ichnologiques du Dr. Pales, les archives du fonds Pales conservées au Musée National de Préhistoire sont révélatrices de la productivité de ce dernier et attestent de la diversité de ses travaux concernant les populations passées. Parmi elles, une quantité significative de documents concerne ses travaux achevés et en cours portant sur les empreintes de plusieurs sites :

- une cinquantaine de moulages d'empreintes issues de plusieurs cavités (principalement Niaux, Aldène et Fontanet).
- des relevés manuels d'empreintes sur transparents et calques des grottes de Niaux, Aldène et Fontanet.
- des documents de travail présentant les caractéristiques des empreintes (données métriques et morphologiques) de ces dernières.
- les empreintes expérimentales de la grotte de Niaux réalisées sur support papier au mercurochrome et pour lesquelles il fit appel aux membres de sa famille.
- la documentation relative aux empreintes de la grotte de Tana della Basura.
- le manuscrit inédit de l'ouvrage consacré aux empreintes humaines de la grotte de l'Aldène, deuxième ouvrage du triptyque Niaux, Aldène, Fontanet.

Ces documents constituent donc une source précieuse d'informations et nous ont permis de comprendre le cheminement intellectuel de ce dernier dans leur étude. Bien que différente sous plusieurs aspects parce qu'actualisée, notre démarche s'inspire nécessairement de ces travaux précurseurs et déjà fortement novateurs en leur temps. Ces moulages ont d'ailleurs fait l'objet d'une attention particulière et certains ont été scannés et décrits au titre de matériel de comparaison dans le cadre de cette thèse. En outre, cela a également été l'occasion de constater le souhait de Léon Pales de réaliser plusieurs ouvrages sur les empreintes en grotte (Niaux, Aldène et Fontanet) et de découvrir son ouvrage achevé et hélas jamais publié consacré aux empreintes de l'Aldène dont la structure générale reprend celle de l'ouvrage portant sur les empreintes de Niaux. Notre travail sur les empreintes de Fontanet, sans avoir la prétention d'être à l'image de celui de Pales, s'inscrit donc dans sa lignée, bien que pensé et réalisé à partir des techniques et problématiques contemporaines.

Suite à son décès en 1988, les études sur les empreintes se multiplient grâce à l'appui de Michel-Alain Garcia, lequel apprit la discipline comme assistant du Dr. Pales. Suivant la démarche méthodologique mis en place par son maître, il étudia successivement les empreintes humaines conservées dans les grottes de Foissac (Aveyron), Pech-Merle (Lot) ou Niaux (Réseau Clastres, Ariège) et, plus récemment, Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche) (Clottes et Simonnet, 1972 ; Duday et Garcia, 1983 ; Garcia et Duday, 1983 ; Garcia et Rouzaud, 1985, 2001 ; Rouzaud, 1997a ;

Garcia et al., 1990 ; Garcia, 2001, 2005). Ces études s'inscrivent dans la continuité de son prédécesseur et ont permis de revoir les premières interprétations ichnologiques dans lesquelles le côté irrationnel et/ou symbolique des empreintes était privilégié en adéquation avec le contexte d'art pariétal. Avec les études de Michel-Alain Garcia, le geste est recherché avant sa signification, et cela à partir des caractéristiques de l'empreinte. La prise en compte de la dynamique et de la biomécanique s'avère importante, les empreintes d'un même individu pouvant varier en fonction des particularités de sa posture ou de sa marche. C'est ainsi que, pour la première fois en contexte karstique, et avec le concours d'Henri Duday on s'intéresse à la répartition des pressions plantaires et leurs variations dynamiques au cours du pas (baropodographie), approche utilisée traditionnellement en podologie et reprise ici à des fins d'interprétation des empreintes fossiles (Duday et Péruchon, 1985). Les empreintes animales quant à elles sont également examinées, même si, la plupart du temps, elles le sont par une approche descriptive et concernent souvent les ursidés, les canidés et, plus ponctuellement, les bouquetins ou hyènes (Garcia et Rouzaud, 1985, 2001 ; Garcia, 2005). L'étude inachevée des empreintes de la grotte de Chauvet – découverte en 1994 – constitue la dernière œuvre publiée des travaux de Michel-Alain Garcia et traite de façon générale des empreintes humaines et animales de la cavité dont il existe d'ailleurs quelques moulages (Garcia, 2005). À notre connaissance, les empreintes humaines de la cavité n'ont pour l'instant pas bénéficié d'autres études détaillées. Ces deux décennies d'effervescence s'achèvent à la suite du décès de Garcia (2008). La discipline marque alors un arrêt dans ses avancées, comme en témoignent les études ichnologiques et publications associées de plus en plus rares.

Les cinq dernières années ont néanmoins vu l'émergence d'un nouvel intérêt autour des empreintes retrouvées en contexte de grotte, allant de pair avec le développement de nouvelles techniques d'acquisition et de méthodes d'étude telles que la modélisation en 3 dimensions (Benito-Calvo et al., 2013 ; Ortega Martinez et al., 2014 ; Pastoors et al., 2015, 2017 ; Ledoux et Boudadi-Maligne, 2015). En effet, le développement des techniques 3D pour l'étude des sites ornés (Aujoulat et al., 2005 ; Azéma et al., 2010 ; Fritz et al., 2010 ; Pinçon et al., 2010 ; Pinçon et al., 2010 ; Robert et al., 2012 ; Feruglio et al., 2015) a favorisé l'émergence de quelques études ichnologiques sur certains sites comme Ojo Guareña (Ortega Martinez et al., 2014), Pech Merle (Pastoors et al., 2017), Cussac (Ledoux et al., 2017), Chauvet (Fosse et al., 2018) ou La Bâsura (Citton et al., 2017). Grâce à ces techniques, il est désormais possible d'obtenir une restitution précise et fiable de la réalité qui ne nécessite plus de confrontation directe avec le support, jusqu'ici obligatoire lors des relevés manuels et moulages. L'approche

morphométrique (Ortega Martinez et al., 2014 ; Citton et al., 2017) et l'approche taphonomique sont, de plus, favorisées selon les sites.

De façon plus large, plusieurs grottes ornées bien conservées telles Chauvet (Geneste, 2005 ; Le Guillou, 2005), Cussac (Jaubert N Aujoulat et al., 2012 ; Ledoux et al., 2017), Le Tuc d'Audoubert (Bégouën et al., 2009) et La Garma (Arias et al., 2011) ont bénéficié durant ces dernières années d'études multidisciplinaires prenant en compte toutes les traces d'activités humaines et animales. Bien que l'art reste au premier plan des recherches sur ce type de site, d'autres indices de fréquentation, plus discrets, sont aujourd'hui intégrés à ces études multidisciplinaires. Ces témoignages comportent des objets mobiliers (lithiques et osseux), des ossements, des dépôts charbonneux et de colorants (intentionnels ou non), des concrétions brisées ou déplacées, etc. Les empreintes font également parties de cet ensemble. En prenant en compte ces témoignages, l'objectif est de comprendre les cavités dans leur globalité et de créer des modèles de comportements humains en grotte (Le Guillou, 2005 ; Pastoors et Weniger, 2011 ; Medina-Alcaide et al., 2015, 2018 ; Ledoux et al., 2017). Ces études s'inscrivent dans la lignée de la paléospéléologie définie par François Rouzaud (Rouzaud, 1978, 1996, 1997a) comme « *l'étude globale de l'ensemble des traces laissées par les hommes et les animaux dans le monde souterrain* ». Son objectif était d'inventorier et d'enregistrer toutes les informations accessibles dans la cavité (anthropiques, géologiques, paléontologiques, etc.), de manière non invasive et en respectant l'environnement souterrain (Figure 3). C'est en suivant cette démarche que les empreintes de notre échantillon ont été identifiées, en particulier celles de Cussac dans laquelle une équipe spécifique est chargée de la prospection, l'inventaire et l'enregistrement de toutes les traces d'activité humaines et animales (TrAcs) de la cavité (Ledoux et al., 2017). Effectivement, l'empreinte s'inscrivant au sein d'un ensemble de traces, mais également et à plus large échelle, dans un milieu particulier et unique pour chaque série d'empreintes qui vont influencer son interprétation, il est donc essentiel de bien la contextualiser.

ACTION PHYSIQUE	SPÉLÉOLOGIE MODERNE	PALÉOSPÉLÉOLOGIE
- Traces de <i>progression</i>	Empreintes dynamiques de pied ou de main - glissements - chutes - bris de concrétions... Dissémination d'objets isolés (perdus ?) - mousquetons - pièces d'équipement : boutons...	- outils, silex, échantillons géologiques à présence actuellement inexplicée...
- Traces d' <i>arrêt</i> (brève station, «pause», reprise de souffle, expectative devant les difficultés, problèmes d'orientation, d'éclairage)	- purge de lampes (carbure). Piles. - emballages divers. Bris de concrétion sans objet pour le passage - traces fortuites : noir d'acétylène) - traces volontaires, repères, flèches...	- empreintes corporelles. - charbons. mouchages de torches... - éventualité de partie de dessin ou signes traduisant une recherche ou un problème(?) - repères (?) - mouchages de torches.
Traces d' <i>aménagement</i> : - modifications du site	- points d'amarres. - équipement de progression (pitons et «spits») - bivouacs et camps souterrains. - désobstructions. - signatures.	- foyers d'aménagement du sol (fosses, mises en place de protection). - tours de foyers, abris. - travaux de taille et de fabrication d'outils, cuisine : ossements... - partie des traces et signes : effets secondaires : - noircissement. - dessèchement. - art pariétal : peintures, gravures. - modelages et ornementation diverse sur objets mobiliers : (peinture, gravure...). sculptures.

Figure 3 : Classification des traces humaines en milieu souterrain, d'après (Rouzaud, 1978).

Aujourd'hui, nous connaissons une vingtaine de grottes préhistoriques, dans lesquelles la présence d'empreintes humaines est attestée sans que, toutefois, celles-ci aient été systématiquement étudiées. La recrudescence, ces dernières années, des études ichnologiques en contexte karstique est donc en adéquation avec cet intérêt grandissant pour les traces d'activités humaines, même les plus anecdotiques, des études en cavités ornées (Figure 4 et Tableau 1).

Sites	Dates	Types	Années d'études	Méthodes de relevé	Études	Références
Aldène (Aude, France)	8 200 ± 130 BP – 7 790 ± 60 BP	Pieds	Années 80	Moulages et relevés	Étude anthropologique	Pales (non publié)
			1990 - 2000	–	Chronologie (étude des superpositions)	(Ambert et al., 2000)
			Depuis 2017	Photogrammétrie	–	Galant P., Duday H. (en cours)
Chauvet-Pont-d'Arc (Ardèche, France)	≈ 33 000 BP - 24 500 BP	Pieds	Depuis les années 1990	Moulages, Photogrammétrie	Observations, inventaire	(Garcia, 2005)
Combarelles (Les) (Dordogne, France)	13 680 BP - 11 380 BP	Main	–	–	–	Comm.pers.
Cournazac (Dordogne, France)	–	Doigts	–	–	–	Comm.pers.
Cussac (Dordogne, France)	25 150 ± 210 BP - 25 120 ± 120 BP	Pieds, mains, genoux	En cours	Photogrammétrie, scanner surfacique manuel	Observations, inventaire, descriptions, morphométrie, expérimentations	(Ledoux et al., 2017)
Foissac (Aveyron, France)	4 000 – 4 700 BP	Pieds	1978 - 1983	Moulages	Mesures classiques	(Duday et Garcia, 1983)

Tableau 1 : Grottes à empreintes humaines (1/4).

Sites	Dates	Types	Années d'études	Méthodes de relevé	Études	Références
Fontanet (Ariège, France)	12 770 ± 42 BP	Pieds, mains	Années70	Moulages, relevés	Mesures classiques	Pales et Garcia (non publié)
			2014 - 2015	–	Observations, déductions	(Pastoors et al., 2015)
			2018	Photogrammétrie	Observations, inventaire, descriptions, morphométrie, expérimentations	(Ledoux, ce travail)
Lascaux (Dordogne, France)	–	Mains	–	Calques et Moulages	Descriptions, interprétations (empreintes disparues ?)	(Barrière et Sahly, 1964)
Montespan (Haute-Garonne, France)		Pieds	1927	–	Observations, mesures classiques	(Bégouën et Vallois, 1928)
Niaux (Ariège, France)	≈ 12 000 BP	Pieds	1970	Moulages	Étude anthropologique	(Pales, 1976)
			1990	–	Étude anthropologique	(Garcia et al., 1990)
			1990	–	Observation, mesures classiques	(Clottes, 2010)
			2015	–	Observations, déduction	(Pastoors et al., 2015)

Tableau 1 : Grottes à empreintes humaines (2/4).

Sites	Dates	Types	Années d'études	Méthodes de relevé	Études	Références
Pech Merle (Lot, France)	24 640 ± 390 cal BP	Pieds	1927	–	Observations, mesures classiques	(Bégouën et Vallois, 1928)
			1929	–	Observations, mesures classiques	(Lemozi, 1929)
			1985	Moulages	Observation et descriptions	(Duday et Garcia, 1983)
			2014 - 2016	Relevé 3D	Observations, déductions (analyse épistémologique)	(Pastoors et al., 2017)
Tuc d'Audoubert (Ariège, France)	13 870 BP	Pieds	1927	–	Observations, mesures classiques	(Bégouën et Vallois, 1928)
			2014 - 2015	–	Observations, déductions	(Pastoors et al., 2015)
Aitzbitarte (Pays Basque, Espagne)	–	Main	En cours	–	–	Garate, non publié

Tableau 1 : Grottes à empreintes humaines (3/4).

Sites	Dates	Types	Années d'études	Méthodes de relevé	Études	Références
Atxurra (Pays Basque, Espagne)	–	Main, pieds ?	En cours	–	–	Garate, non publié
Ojo Guareña (Burgos, Espagne)	15 600 BP	Pieds	2012	scanner laser 3D	Mesures classiques	(Ortega Martinez et al., 2014)
El Castillo (Cantabrie, Espagne)	34 058 ± 244 – 28 882 ± 391 calBP	Pieds	–	–	–	(Groenen, 2012)
La Bàsura (Ligurie, Italie)	12 340 BP	Pieds	1960	Moulages	Étude anthropologique	(Pales, 1960)
		Pieds	2014	Scanner laser 3D	Morphométrie	(Citton et al., 2017)
Vârtoș (Transylvanie, Roumanie)	63 700 ± 3 700 - 60 100 ± 7 300 Ka	Pieds	2005	–	Mesures Classiques	(Onac et al. 2005)

Tableau 1 : Grottes à empreintes humaines (4/4).

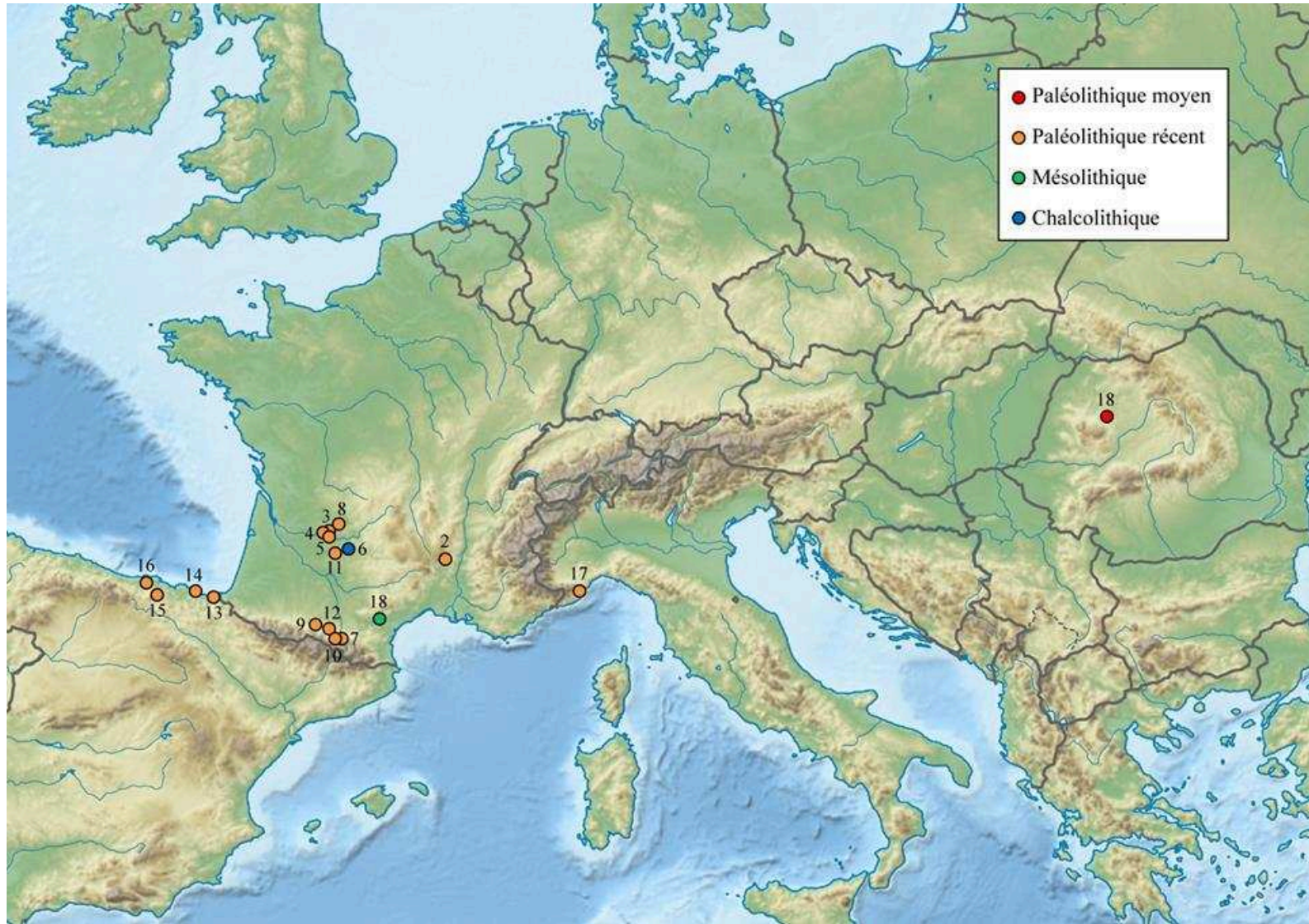


Figure 4 : Répartition spatiale des grottes à empreintes. 1 : Aldène, 2 : Chauvet-Pont-d'Arc, 3 : Combarelles, 4 : Cournazac, 5 : Cussac, 6 : Foissac, 7 : Fontanet, 8 : Lascaux : 9 : Montespan, 10 : Niaux, 11 : Pech Merle, 12 : Tuc-d'Audoubert, 13 : Aitzbitarte, 14 : Atxurra (datation des empreintes à vérifier), 15 : Ojo Guareña, 16 : El Castillo, 17 : La Bàsura, 18 : Vârtop.

1.1.2.2. Les empreintes en contexte de plein air

Parallèlement aux études ichnologiques souterraines, un champ d'investigation comparable, bien que portant souvent sur des périodes plus anciennes, est actuellement en cours de développement et concerne l'étude des empreintes ou pistes de pas des premiers Hominines. Celle-ci regroupe une variété d'empreintes et de thématiques beaucoup plus vaste que celle en grotte. Le site de plein air le plus emblématique de ce domaine est évidemment celui de Laetoli en Tanzanie (Leakey et Hay, 1979 ; Leakey et Harris, 1987) dont les études ichnologiques pionnières pour ce type de contexte n'ont cessé de se multiplier depuis sa découverte en 1977 (Hay et Leakey, 1982 ; Berge et al., 2006 ; Raichlen et al., 2010 ; M. R. Bennett et al., 2016b ; Masao et al., 2016). Outre Laetoli, on peut citer parmi une liste non exhaustive d'autres sites pléistocènes localisés sur tous les continents, ceux du Rift est-africain avec Koobi-Fora et Ileret au Kenya (Behrensmeyer et Laporte, 1981 ; Bennett et al., 2009), les sites européens de Roccamonfina en Italie (Mietto et al., 2003 ; Panarello et al., 2017a), Happisburgh en Angleterre (Ashton et al., 2014), Le Rozel dans le Cotentin (Cliquet, 2012), Willandra Lakes en Australie (Webb et al., 2006) pour ne citer que les plus connus. De nombreux ensembles d'âge holocène sont également étudiés comme les sites sud-américains de Cuatro Ciénegas au Mexique (Felstead et al., 2014), Monte Hermoso en Argentine (Aramayo, 2009), les empreintes découvertes sur le plateau tibétain (Zhang et Li, 2002), les sites européens de Formby en Angleterre (Burns, 2014), les empreintes de l'île danoise de Lolland, etc. Bien que les questions abordées relatives à ces ensembles ne relèvent pas directement de notre sujet, ces travaux ont cependant permis le développement d'outils performants de relevé, de quantification et d'analyse des empreintes (Berge et al., 2006 ; Pataky et Goulermas, 2008 ; M. R. Bennett et al., 2016b), mais aussi la création d'approches, dérivées de l'analyse de mouvement, permettant de tester par l'expérimentation des hypothèses fonctionnelles (D'Août et al., 2010 ; Crompton et al., 2012 ; Hatala et al., 2013). L'ichnologie en grotte ornée pourrait très avantageusement profiter de ces développements.

1.1.3. Pourquoi étudier les empreintes ?

Les empreintes sont la représentation directe du vivant d'un individu. Elles sont le marqueur et la preuve d'un passage humain ou non humain dans un lieu. Dans le cas des grottes, elles nous permettent, au même titre que l'art, les restes fossiles et les objets lithiques, de reconstituer les

allers et venues des êtres vivants dans la cavité, leur profil biologique, leurs activités, mais aussi les différentes occupations qui peuvent s'étaler sur de plus ou moins longues périodes. Témoignage de gestes volontaires ou non, les empreintes préhistoriques se caractérisent par des segments de corps complets (pieds, mains, genoux, etc.) ou partiels (doigts, orteils, talons, etc.) dont l'impression et la conservation à travers le temps dépend fortement du contexte environnant. Nous n'évoquerons pas ici la branche naturaliste de l'ichnologie qui concerne les traces d'animaux actuels et limiterons notre propos aux empreintes fossiles humaines même si, dans certains cas, il sera nécessaire de mentionner les sciences forensiques, domaine auquel certaines études ichnologiques empruntent quelques aspects méthodologiques.

Ce qui suit est une liste non exhaustive des catégories d'information pouvant être mis en évidence à partir des empreintes :

1.1.3.1. Les informations biologiques

1.1.3.1.1. Quelle est l'espèce à l'origine de ces empreintes ?

L'interprétation d'une empreinte passe, dans un premier temps, par la reconnaissance de son auteur. Les empreintes dont il est question ici ne sont pas simplement le fait de l'Homme moderne mais peuvent appartenir à des espèces variées, hominidés ou non. Dans le cas des grottes, les empreintes le plus communément retrouvées sont le fait de l'Homme, de l'ours, des canidés, de l'hyène ou plus rarement du bouquetin (Garcia, 1986, 2005). Les empreintes de ces espèces, qui a priori n'ont aucun lien les unes avec les autres peuvent pourtant parfois prêter à confusion.

Effectivement, la détermination est souvent aisée lorsqu'il s'agit d'une empreinte complète, présentant des éléments caractéristiques d'une espèce et marquée dans un sédiment la modelant parfaitement et qui n'a pas trop souffert des ravages du temps. En revanche, cela s'avère plus complexe dans le cas d'empreintes partielles ou dont la morphologie a pu être modifiée à la suite de différents agents taphonomiques (sédimentation, inondation, superposition, érosion, etc.). C'est, par exemple, le cas dans la grotte de Cussac où hommes et ours ont fréquentés les mêmes secteurs et dans laquelle, en plus des superpositions d'empreintes appartenant aux deux genres, de nombreuses plages sont recouvertes d'argile de décantation relative aux inondations successives de la cavité (Ledoux et al., 2017). De la même manière, comment interpréter une empreinte circulaire dont la morphologie et la taille pourrait correspondre à une portion d'un élément anatomique propre à différentes espèces ? La difficulté se pose également dans le cas

d'espèces ou de sous-espèces aux empreintes morphologiquement très proches comme les grands canidés (Garcia, 2005 ; Ledoux et Boudadi-Maligne, 2015) ou les ours. Leur reconnaissance pouvant s'avérer capitale voire décisive dans le cadre de problématiques à finalité chronologique ou archéozoologique par exemple dans le cas de la domestication. La réponse à ces questions se trouve dans l'acquisition de compétences en détermination et passe inévitablement par la création d'un référentiel d'empreintes inventoriées et étudiées sur différents types de sites mais aussi d'empreintes issues d'un travail expérimental qui, à notre sens, est la seule approche permettant d'appréhender les formes à l'interprétation difficile.

1.1.3.1.2. Âge, stature, masse corporelle, sexe ?

La détermination de critères précis tels l'âge, le sexe ou la stature d'un individu à partir de ses seules empreintes de pied ou de main génèrent invariablement quelques difficultés. Un certain nombre d'études ichnologiques se propose pourtant d'établir des profils biologiques dont la précision peut parfois surprendre (Ashton et al., 2014 ; Masao et al., 2016 ; Pastoors et al., 2015, 2017 ; Citton et al., 2017 ; Dingwall et al., 2013; Nelson et al., 2017 ; Altamura et al., 2018). La pertinence de ces résultats est, de plus, difficile à soutenir si l'on prend en compte les différents paramètres qui peuvent influencer l'interprétation d'une empreinte, que ceux-ci soient intrinsèques ou extrinsèques à son auteur. En effet, la plupart des études d'empreintes humaines se basent sur des travaux réalisés sur des échantillons (souvent des empreintes de pied) appartenant à différents types de populations actuelles et largement utilisés en science « forensique » (Moudgil et al., 2008 ; Kanchan et al., 2008, 2010 ; Sen et al., 2011 ; Pawar et Dadhich, 2012 ; Paulis, 2015 ; Ishak et al., 2012). Si ces études peuvent être applicables, sous certaines réserves, à des populations définies et connues, leur transposition semble nécessiter de la prudence dans le cas de populations préhistoriques pour lesquelles nous ne maîtrisons pas tous les facteurs d'influence de la morphologie du corps. Dans la mesure où les données morphométriques du corps peuvent varier selon l'ethnie, le régime alimentaire, les activités ou encore l'environnement (Ruff, 2002, 2010 ; Bennett et Morse, 2014 ; Galeta et al., 2014), quel modèle appliquer sur des populations exemptes de référentiel ? La majorité de ces études sont, de plus, réalisées à partir de données prises directement sur le pied ou la main et dans des environnements contrôlés. Si l'on ajoute aux facteurs influençant la morphométrie d'une empreinte propre à l'individu, des facteurs extérieurs, directement en lien avec le contexte de

formation de l’empreinte, la possibilité d’obtenir un profil précis et fiable devient alors beaucoup plus restreinte.

En d’autres termes, la détermination de certains caractères biologiques comme la stature et la masse corporelle d’un individu à partir d’empreintes fossiles est tout à fait possible, mais en gardant à l’esprit que celle-ci repose sur la comparaison d’empreintes issues de populations actuelles, ayant évolué dans différent contextes, qui ne sont pas forcément représentatives de la population fossile étudiée, en particulier lorsqu’il s’agit d’empreintes des premiers hominidés.

1.1.3.2. Informations comportementales

1.1.3.2.1. Déplacements et activités

L’étude des pistes d’empreintes permet de répondre à des questions d’ordre biomécanique qui sont des problématiques récurrentes sur les sites ichnologiques, quel que soit l’espèce concernée (Gilette et Lockley, 1989 ; Bennett et Morse, 2014). La mise en évidence du mode de locomotion passe par la connaissance de la morphologie du pied et de la distance du pas, déterminée à partir des empreintes d’une même piste, elle-même intimement liée à la vitesse à laquelle un individu se déplace (marche, course, saut, etc.) et à ses caractéristiques biologiques (stature et masse corporelle) (Thulborn et Wade, 1989 ; Alexander, 1984, 1976, 2006 ; Bennett et al., 2009 ; Dingwall et al., 2013; Masao et al., 2016). Les pistes d’empreintes sont donc un témoignage idéal lorsqu’il s’agit de comprendre le mode de locomotion, les mouvements et déplacements d’un individu, en particulier lorsqu’il s’agit d’espèces éteintes (premiers hominidés, dinosaures, etc.). Dans certains cas, elles permettent également de mettre en évidence des activités et comportements spécifiques (Bustos et al., 2018).

Lorsqu’elles sont retrouvées en contexte karstique, les empreintes font parties d’un ensemble qui regroupe différentes traces reflétant les passages et activités des individus ayant fréquenté ou occupé la cavité. L’interprétation première des empreintes se voit donc affinée par leur mise en relation avec les traces visibles sur les parois, les spéléothèmes, les objets perdus, déposés, etc. Ces traces sont souvent discrètes et les repérer nécessite la mise en place d’une prospection minutieuse, organisée, systématique et non invasive. Plusieurs cavités telles que Chauvet, Le Tuc d’Audoubert ou Cussac bénéficient déjà de ce type d’approche (Garcia, 2005 ; Le Guillou, 2005 ; Ledoux et al., 2017 ; Bégouën, et al., 2007 ; Bégouën et al., 2009). La mise en évidence de ces traces et leur association nous permet de suivre les déplacements des individus dans la

cavité, leur équipement et activités et permettent ainsi la création de modèles de comportement et, plus généralement une meilleure compréhension de la fonction d'un site.

1.1.3.2.2. Équipement

La plupart du temps, l'évocation d'une empreinte préhistorique est souvent associée à la vision d'une empreinte du pied nu. La majorité des empreintes connues appartiennent, en effet, à des pieds nus, qu'elles aient été découvertes en plein air ou en grotte. Cependant, la question du port de chaussant a déjà été soulevée dans certaines grottes (Clottes, 1975 ; Groenen, 2012). C'est le cas pour Fontanet où l'hypothèse d'un pied chaussé avait été évoquée pour une des empreintes de la galerie (Clottes, 1975). Récemment, plusieurs observations de l'empreinte en question tendent à contredire cette hypothèse (Pastoors et al., 2015). Cela doit cependant encore être vérifié par le biais d'une étude plus aboutie. La question se pose également dans le cas de la grotte de Cussac. Outre les chaussants, des impressions d'objets peuvent être retrouvées à proximité des empreintes : on pense notamment aux impressions circulaires retrouvées associées à certaines empreintes du site de Willandra Lake (Australie) et qui pourraient correspondre à un bâton aidant à la marche (Webb et al., 2006) ou encore aux multiples impressions indéterminées retrouvées en grotte et dont l'interprétation est difficile, faute de référentiel (Lemozi, 1929 ; Duday et Garcia, 1983 ; Garcia et Duday, 1983 ; Bégouën et al., 2009 ; Ledoux et al., 2017).

1.1.4. Les méthodes d'études

Comme mentionné précédemment, la spécialité qui a exploré la plus grande diversité de problématiques ichnologiques est probablement la paléontologie, en particulier celle concernant les empreintes et pistes de dinosaures. De ces études découle toute une panoplie de techniques et méthodes qui ont été utilisées et continuent de l'être dans l'étude des empreintes humaines. De nombreux travaux ont déjà été réalisés sur les empreintes des premiers hominidés et ne cessent de se développer depuis la dernière décennie. Cette croissance va de pair avec le développement et le perfectionnement de nouvelles méthodes d'études dont la plupart ont pour principal objectif de mettre en évidence le profil biologique des auteurs des empreintes : espèces, stature, masse, âge, etc. (Crompton et al., 2012 ; Masao et al., 2016 ; Day et Wickens,

1980 ; Bennett et al., 2009 ; Ashton et al., 2014 ; Dingwall et al., 2013 ; Raichlen et al., 2010). Cette dynamique commence également à apparaître en ce qui concerne l'ichnologie en grotte avec la parution de plusieurs travaux sur le sujet (Pastoors et al., 2015, 2017 ; Ledoux et al., 2017 ; Citton et al., 2017).

1.1.4.1.L'utilisation de la 3D

Dès les débuts de l'ichnologie, les empreintes sont moulées, probablement dans un souci de pérennisation et d'étude à distance du site puisque le moulage représente une copie directe et en trois dimensions des empreintes à étudier. Comme les empreintes de dinosaures, les empreintes retrouvées en grotte sont donc systématiquement moulées d'abord au plâtre (Bégouën et Vallois, 1928 ; Barrière et Sahly, 1964), puis par coulée d'élastomère de silicone moins destructif et à la manipulation plus aisée que le plâtre (Garcia, 1979, 2005 ; Clottes, 1993). Ces moulages sont complétés par des relevés manuels rendant compte de la topographie de la zone et des caractéristiques du sol, et de photographies prises sous différents angles et éclairages.

Comme évoqué précédemment, en grotte, les relevés surfaciques tridimensionnels remplacent désormais les méthodes classiques (mesures directes, carroyage, moulages, etc.). Cependant, c'est d'abord en plein air – parallèlement sur les empreintes humaines et de dinosaures – que la modélisation 3D a été utilisée dans l'étude des empreintes et s'est ensuite considérablement développée depuis la fin des années 90 (Leakey et Harris, 1987 ; Lockley et Meyer, 2000 ; Breithaupt et al., 2001, 2004 ; Falkingham et al., 2016). Deux techniques sont utilisées selon les équipes et les sites : la photogrammétrie et le scanner tridimensionnel (González et al., 2006 ; Bennett et al., 2009, 2013 ; Raichlen et al., 2010 ; Ashton et al., 2014 ; Ortega Martinez et al., 2014 ; Masao et al., 2016 ; Citton et al., 2017 ; Ledoux et al., 2017 ; Pastoors et al., 2017). Ces deux approches présentent chacune des avantages et inconvénients. Par exemple, bien qu'en termes logistiques la photogrammétrie soit sans doute plus pratique que le scanner, le post-traitement des images est en revanche souvent plus long. La précision et la qualité des modèles ne sera, cependant, pas forcément influencée par la méthode choisie mais par le modèle du matériel utilisé. Pour la photogrammétrie, la qualité des photos est, en outre, essentielle. La méthode est finalement choisie en fonction, du site étudié et de ses problématiques.

Dans le cas des grottes ornées qui sont souvent soumises à une politique de conservation stricte, la modélisation 3D va permettre de préserver les parois et les sols dans leur intégralité. Chaque empreinte peut être aisément individualisée et isolée de son support ou, au contraire, être étudiée d'une façon plus large : relation avec d'autres, étude des superpositions, remise en contexte dans l'environnement naturel, comparaison avec des empreintes issues d'autres sites. Leurs mesures sont également réalisées avec d'avantage d'objectivité, et l'orthogonalité est respectée. Cette utilisation de la 3D peut également s'avérer indispensable pour donner une dynamique précise à la fréquentation du milieu souterrain par les hommes et les animaux (Ortega Martinez et al., 2014 ; Citton et al., 2017 ; Ledoux et al., 2017 ; Pastoors et al., 2017).

Outre ces aspects, la modélisation 3D permet également de simuler la mécanique de la marche à partir des empreintes. Cela est notamment utilisé à partir des empreintes des premiers hominidés soulevant des questions autour de la bipédie auxquelles les seuls fossiles osseux ne peuvent pas répondre (Crompton et al., 2012).

Cette utilisation de plus en plus récurrente de la 3D en ichnologie a également encouragé la création d'outils et de logiciels spécialement conçus pour répondre aux problématiques concernant les empreintes. Le logiciel Dig Trace créé par l'Université de Bournemouth est un bel exemple de cette volonté d'utilisation d'outils dédiés aux empreintes et accessible à tous. Ce logiciel libre et réalisé en collaboration avec les sciences forensiques permet d'analyser des données 3D issues aussi bien d'empreintes fossiles de tous types de vertébrés que d'empreintes actuelles retrouvées en contexte de scène de crime. (Bennett et Budka, 2019). Le logiciel développé par Pataky et collaborateurs dérivé de la « Statistical parametric mapping » (SPM) et appliqué à des images de pedobarographie (analyse des pressions plantaires), est un autre exemple d'outil utilisé dans les études ichnologiques actuelles (Pataky Caravaggi et al., 2008 ; Pataky Goulermas et al., 2008 ; Pataky et Goulermas, 2008). Cette approche est développée dans la sous partie suivante. Celui-ci, est encore une fois, une preuve de la dynamique actuelle autour de la question des empreintes et de la volonté de partage entre les différents acteurs de cette discipline en plein essor

1.1.4.2. Biométrie et morphométrie

Au fil du temps, plusieurs spécialistes ont développé des méthodes d'étude qui, bien qu'ayant le même objectif final, ne sont pas homogènes dans leur mise en œuvre. Ainsi, il n'existe pas

de protocole standardisé lorsqu'il s'agit d'étudier une empreinte. Les mesures les plus couramment utilisées en ichnologie sont issues des sciences forensiques ou de la podologie. Beaucoup d'entre elles reposent sur un axe longitudinal partant du pternion (sommet du talon) et passant par le centre des deuxième et troisième orteils (Pales, 1976), par le centre des premier et second orteils (Robbins, 1985) ou encore par le sommet du second orteil (Reel et al., 2012), ce dernier point variant selon les auteurs. Pour la largeur, les mesures des largeurs maximales des appuis antérieur, médial et postérieur sont le plus communément utilisées. La conservation des empreintes fossiles n'étant pas toujours idéale (empreinte incomplète, déformée, élargie par le type de substrat, etc.), chaque spécialiste va donc choisir la méthode la plus adaptée au type d'empreinte qu'il rencontre. C'est à partir de ces mesures que les informations biologiques (stature, masse corporelle, etc.) et biomécaniques (locomotion, posture, vitesse) seront déterminées. Il existe une multitude d'études, la plupart issues des sciences forensiques, qui proposent différentes méthodes pour répondre à ces questions. Nous ne les évoquerons pas toutes ici, mais celles-ci sont souvent basées sur des rapports de proportionnalité déterminés à partir de mesures réalisées sur des populations spécifiques. Par exemple, la stature sera calculée à partir de la longueur du pied grâce au rapport longueur pied / stature déterminé chez une population choisie en fonction de l'échantillon fossile étudié (Robbins, 1986 ; Krishan, 2008a, 2008b ; Atamturk et Duyar, 2008 ; Kanchan et al., 2008 ; Pawar et Dadhish, 2012 ; Dingwall et al., 2013, Masao et al., 2016 ; Citton et al., 2017).

Bien que ces études semblent tout à fait applicables à des populations actuelles, la question reste d'évaluer la pertinence du choix de la population utilisée comme référentiel sur un échantillon d'empreintes fossiles donné (Bennett et Morse, 2014).

Outre ces méthodes « classiques », une technique s'est considérablement développée en ichnologie durant la dernière décennie : la morphométrie géométrique (Berge et al., 2006 ; Bennett et al., 2009 ; Ledoux et Boudadi Maligne, 2015 ; Lallensack et al., 2016 ; Nelson et al., 2017). Cette méthode testée pour la première fois en ichnologie humaine sur les sites de Laetoli et Illeret (Berge et al., 2006 ; Bennett et al., 2009) a pour objectif d'analyser les coordonnées de points de repères homologues, préalablement définis sur un objet, ici une empreinte, afin de rendre compte des variations et des changements de leur forme et ainsi observer les différences morphologiques d'empreintes appartenant à plusieurs individus ou plus largement plusieurs populations. Une autre méthode, basée sur la totalité de la surface plantaire du pied est actuellement largement utilisée dans l'étude des pistes anciennes : la "pedobarographic Statistical Parametric Mapping" (pSPM). Cette méthode a pour but de

comparer statistiquement la morphologie des empreintes réalisées par différentes espèces à des périodes différentes par le calcul d'une empreinte moyenne (sans effet de taille) à partir de la totalité des empreintes d'une piste ; elle permet in fine de tester des hypothèses locomotrices concernant la marche bipède et son évolution (Pataky Caravaggi et al., 2008 ; Pataky Goulermas et al., 2008 ; Pataky et Goulermas, 2008 ; Crompton et al., 2012).

1.1.4.3.L'expérimentation

L'expérimentation est une étape presque inévitable en ichnologie, quel que soit le type d'empreinte. Comme nous l'avons noté précédemment, l'ichnologie expérimentale commence quasiment simultanément avec les premières études d'empreintes d'animaux éteints au XIX^{ème} siècle. Elles sont le fait du révérend W. Buckland (Buckland, 1828) et de E. Hitchcock (Hitchcock, 1836, 1858) qui, faute d'avoir leur objet d'étude à disposition choisissent de comparer leurs empreintes fossiles avec celles d'animaux contemporains à l'anatomie du pied similaire, l'objectif premier étant d'identifier l'espèce responsable d'une empreinte. Un peu plus tard, la comparaison d'une piste d'empreintes composées de trois doigts avec des moulages d'empreintes de grands oiseaux (émeu, nandou et casoar) permet de constater que les empreintes d'un même animal peuvent subir des changements morphologiques en fonction du mode de progression de ce dernier (Sollas, 1879). Par la suite, et grâce à la grande diversité des sites à empreintes de dinosaures, ces études comparatives vont se multiplier et se tourner vers une approche plus taphonomique. De nouveaux facteurs comme la topographie, le contexte de formation, la nature et la plasticité du sédiment sont pris en compte (McKee, 1947 ; Peabody, 1959 ; Heyler et Lessertisseur, 1963 ; Brand, 1996 ; Milàn, 2006 ; Milàn et Bromley, 2007) (Figure 5). Grâce à la multiplication des expérimentations, certaines empreintes seront réinterprétées (Padian et Olsen, 1984 ; McKeever et Haubold, 1996 ; Gatesy et al., 1999). Ces problématiques ont cependant été moins étudiées du côté des empreintes humaines, bien que ces dix dernières années aient vu l'émergence de plusieurs publications sur la question (Berge et al., 2006 ; Marty et al., 2009 ; Bennett et al., 2013 ; Morse et al., 2013 ; Bennett et Morse, 2014 ; Roach et al., 2016 ; Hatala et al., 2018 ; Wiseman et De Groote, 2018). Les premières expérimentations réalisées à partir d'empreintes humaines sont dues à Léon Pales, qui y consacre un passage dans son ouvrage relatif aux empreintes de Niaux (Pales, 1976). Son but était alors d'observer les variations d'un même pied en fonction de son support et de sa dynamique et d'en déduire les causes d'erreur. Pour cela, il utilise un échantillon composé

d'adultes et d'enfants, à qui il fait réaliser des empreintes statiques et dynamiques, d'abord au mercurochrome, puis en contexte souterrain sur des sols aux propriétés sédimentaires et mécaniques variées (sable, argile et sol mixte). Ce travail précurseur en ce qui concerne les empreintes humaines ne connaît, à notre connaissance, pas d'équivalent dans le domaine karstique. Les expérimentations qui suivent sont fortement liées aux problématiques biomécaniques posées sur les empreintes des premiers hominés (Day et Wickens, 1980 ; Berge et al., 2006). Celles-ci sont basées sur la comparaison d'empreintes fossiles et d'empreintes expérimentales actuelles d'Homme moderne et / ou de grand singe dans le but de mettre en évidence les caractères morphologiques et dynamiques des empreintes fossiles et leur lien avec la bipédie. Ce type d'expérimentation s'est par la suite développé, sa mise en œuvre étant encouragée par les méthodes d'enregistrement des pressions plantaires et l'utilisation de nouvelles techniques de modélisation comme la pSPM (Pataky Caravaggi et al., 2008 ; Pataky Goulermas et al., 2008 ; Pataky et Goulermas, 2008 ; Crompton et al., 2012). Le sédiment de formation des empreintes et ses caractéristiques (type, taux d'humidité, plasticité, etc.) est par ailleurs toujours considéré dans ces expérimentations (D'Août et al., 2010 ; Bennett et al., 2013 ; Hatala et al., 2018) et la taphonomie de l'empreinte est traitée dans quelques études (Marty et al., 2009 ; Morse et al., 2013 ; Bennett et Morse, 2014 ; Wiseman et De Groote, 2018 ; Zimmer et al., 2018) même si elle est souvent sous-estimée dans les études relatives aux empreintes humaines. Ainsi, les variations morphologiques des empreintes sont étudiées à l'échelle du site ou du gisement mais également à l'échelle de la piste, des variations sédimentaires et taphonomiques pouvant exister au sein d'une même piste (Marty et al., 2009 ; Morse et al., 2013). La morphologie des empreintes juste après leur formation et leur évolution dans le temps au sein de contextes très spécifiques commence également à être étudiée par le biais de travaux expérimentaux (Marty et al., 2009 ; Hatala et al., 2018). L'intérêt pour ces problématiques liées à l'influence du contexte de formation et de conservation sur la forme d'une empreinte, est actuellement en pleine croissance. Les études les concernant devraient donc se multiplier dans les années à venir, d'autant plus que chaque site présente ses propres caractéristiques sédimentaires et environnementales. À notre sens, il semble aujourd'hui incontournable qu'une étude ichnologique passe par un travail expérimental préalable, les empreintes étant le résultat de l'association de paramètres complexes aussi bien liés aux individus responsables des empreintes qu'au contexte dans lequel celles-ci sont créées et vont évoluer. Ces travaux expérimentaux ont donc pour vocation de précéder les études biomécaniques et biométriques pour une meilleure fiabilité des résultats, le but étant d'intégrer

dans l'analyse les paramètres pouvant impacter la morphologie et la biométrie d'une empreinte telle qu'elle nous apparait aujourd'hui.

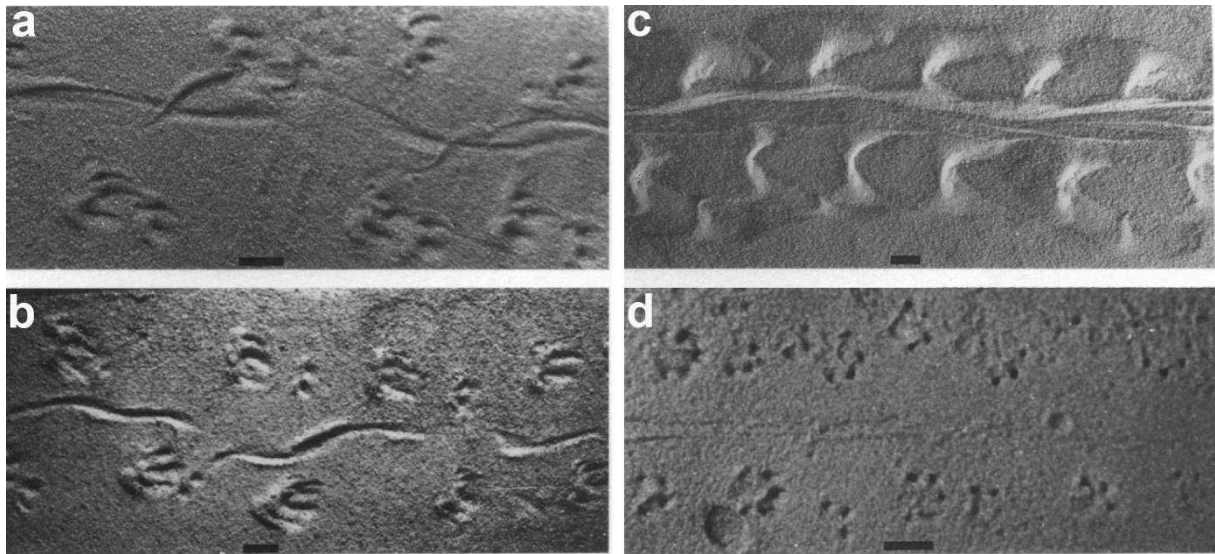


Figure 5 : Exemples de pistes expérimentales de Salamandre réalisées dans différents substrats *d'après* Brand (1996) : a : sable subaquatique, b : boue subaquatique, c : sable sec, d : sable humide.

1.1.4.4.L'approche morpho-classificatoire

Une nouvelle approche épistémologique participe également à cette dynamique : l'approche morpho-classificatoire. Celle-ci est basée sur l'expérience et les connaissances de pistage des dernières sociétés de chasseurs-cueilleurs, ici les bushmen de Namibie. Le but est de trouver une interprétation alternative aux empreintes retrouvées en contexte archéologique et complémentaire des méthodes d'études occidentales habituelles (morphométrie). L'interprétation des empreintes par les pisteurs bushmen repose ainsi sur une connaissance approfondie de leur environnement, acquise depuis l'enfance et transmise de génération en génération, mais également des caractéristiques et comportements des individus (animaux ou humains) qu'ils pistent (Liebenberg, 1990 ; Pastoors et al, 2015, 2017). Cette approche a déjà été testée et comparée aux méthodes occidentales dans les grottes du Pech Merle, du Tuc d'Audoubert, de Niaux, de l'Aldène et de Fontanet, dans lesquelles plusieurs empreintes ont été réinterprétées (Pastoors et al, 2015, 2017).

1.1.5. Dater une empreinte

Dater une empreinte est une opération problématique qui repose principalement sur des éléments extrinsèques relatifs au contexte général auquel elle est associée. Effectivement, mis à part lorsqu'il s'agit d'une empreinte appartenant à une espèce disparue, rien ne nous assure a priori qu'une empreinte est préhistorique. La datation d'une empreinte de pied appartenant à l'Homme moderne est donc impossible sur la seule base de ses caractéristiques anatomiques. De la même façon, et bien que cela ait longtemps été perçu comme une preuve d'ancienneté, le fait qu'une empreinte soit celle d'un pied nu n'est pas un critère de datation fiable. En effet, des empreintes de pieds nus en grotte sont connues pour des périodes bien plus récentes, telles que celles laissées par les guides de la grotte de Niaux (Duday et Garcia, 1986). A contrario, la question du port de chaussant se pose sur certaines empreintes préhistoriques comme à Fontanet et à Cussac.

Pour replacer une empreinte dans le temps, il faut donc d'abord la replacer dans son contexte. L'empreinte appartient à un environnement qui, lorsqu'il est étudié et compris, fournit des informations essentielles pour sa bonne interprétation.

Une première possibilité consiste à s'intéresser au support de l'empreinte et aux différents sédiments qui ont pu l'a recouvrir. En datant les sédiments sous et sur l'empreinte comme autant de terminus ante et post quem, il est possible d'obtenir l'intervalle de temps au cours duquel l'empreinte a été réalisée (Zhang et Li, 2002 ; Renne et al., 2005 ; Brown et al., 2006 ; Bennett et al., 2009 ; Westaway et al., 2016). Cela a notamment été possible pour des ensembles de plein air tels que les sites kenyans de Koobi Fora ($\approx 1,5$ Ma) et Illeret ($\approx 1,4$ Ma) dont les datations ont été réalisées à partir de niveaux de cendres volcaniques déposées sur et sous les empreintes (Bennett et al., 2009 ; Bennett et Morse, 2014) ou le site français du Rozel dont les sables dunaires encaissants successifs s'inscrivent dans une fourchette autour de $80\,000 \pm 10$ BP (Mercier et al., 2017).

Ce type de datation est plus complexe à obtenir en milieu souterrain. La connaissance de l'âge des dépôts présents sur une empreinte pourrait éventuellement permettre de la situer dans le temps mais les datations des dépôts sédimentaires en grotte sont rarement absolues et quand bien même elles le seraient, l'information serait la même : à savoir l'antériorité, de l'empreinte sur tel ou tel dépôt. Cela est également valable pour le concrétionnement qui, même s'il fournit une datation absolue, ne permet pas d'être précis quant à l'âge de l'empreinte qu'il recouvre. En revanche, la connaissance de l'âge précis de la fermeture d'une cavité est a priori un bon

indicateur d'ancienneté des empreintes : Chauvet-Pont d'Arc en est un excellent exemple (Delannoy et al., 2010).

Outre les éléments relevant du contexte géologique de la cavité, certains témoignages en lien avec ses occupations peuvent parfois être directement associés aux empreintes. Les superpositions permettent par exemple la mise en place d'une chronologie relative : une empreinte recoupée par une seconde la précède – logiquement – dans le temps. Cependant, aucun élément ne permet de la dater précisément, le recoupement ayant pu s'effectuer aussi bien sur un temps long (un millénaire) que bien plus court (5 minutes). Néanmoins, la superposition postérieure d'une empreinte appartenant à un animal disparu sur une empreinte humaine ou animale atteste de l'ancienneté de celle-ci. Cela est notamment le cas dans la grotte de l'Aldène, où l'empreinte d'une hyène est superposée à une empreinte de pied humain (Ambert et al., 2000).

Des indices de présences humaines, tels des mouchages de torches clairement associés à des pistes, constituent un cas nettement plus fiable, mais également plus rare. C'est, par exemple, le cas à Chauvet où les empreintes d'un enfant sont clairement associées à des mouchages de torche datés de $26\,980 \pm 410/420$ BP (Clottes, 1993 ; Duday et Garcia, 1985 ; Barth et Prud'homme, 2005) ou encore à l'Aldène dans laquelle des datations ont été réalisées à partir d'éléments de torche jetés au sol et de frottement sur les parois (Ambert et al., 2000, 2001). Certains vestiges, comme l'art ou les artefacts (osseux et lithique), pourront fournir quelques indications quant à la période présumée de la formation d'une empreinte. Cependant, si les galeries préhistoriques sont restées accessibles jusqu'à des périodes récentes, la fiabilité d'une telle datation pose question. Dans certaines grottes, au contraire, la connaissance de la période de fermeture du réseau ou l'extrême concordance de toutes les manifestations, archéologiques, graphiques ou sépulcrales, facilite l'interprétation des empreintes. Ainsi, à Cussac, les empreintes humaines et les vestiges associés semblent bien tous appartenir au Gravettien moyen (Jaubert et al., 2017 ; Ledoux et al., 2017). À Fontanet, en revanche, même s'il est tentant de vouloir associer les empreintes aux vestiges magdaléniens, leur présence à l'écart de ceux-ci ne permet pas de les attribuer strictement à cette période, mais de façon plus générale au Paléolithique récent (Vialou, 1986).

1.2. Problématique

Ce retour sur l'histoire de cette discipline, relativement encore méconnue en archéologie, nous permet de mettre en lumière le potentiel de l'ichnologie dans la compréhension des populations passées et la nécessité de développer et d'unifier les méthodes d'étude pour une meilleure application à la grande diversité des sites à empreintes.

Comme nous l'avons évoqué, la plupart des études existantes découlent des observations réalisées sur les empreintes retrouvées en contexte de plein air, celles réalisées en contexte karstique étant moins nombreuses. Grâce à la dynamique actuelle mise en place depuis quelques années par des chercheurs aux spécialités diverses, l'ichnologie a désormais à sa portée des outils développés spécialement pour répondre aux besoins des études des empreintes fossiles. **Notre thèse s'inscrit dans cette dynamique et a pour vocation de contribuer à la recherche autour des empreintes à travers le registre karstique et de participer au renouvellement de la discipline en Préhistoire.**

Afin de répondre à ce double objectif, nous proposons ici de réaliser deux études de cas qui correspondent aux empreintes retrouvées dans les grottes ornées de Cussac et Fontanet, respectivement situées en Dordogne et en Ariège. Elles sont datées pour la première du Gravettien moyen, et pour la seconde du Magdalénien moyen. Au-delà de ces considérations spatio-temporelles, nous nous intéresserons ici aux questions relatives à la formation et la conservation des empreintes en grotte, mais également à l'apport des empreintes dans la compréhension de l'appréhension du milieu souterrain par les Hommes du Paléolithique, et plus généralement de la fonction des grottes. Ces deux cavités diffèrent en effet autant d'un point de vue ichnologique que contextuel. Elles se rejoignent, en revanche, sur certaines questions spécifiques notamment comportementales. Leur étude est inédite, même si, pour Fontanet, une étude n'ayant malheureusement jamais aboutie avait été amorcée du temps de Léon Pales.

Les questions qui guideront notre réflexion seront donc les suivantes :

Quelles sont les approches à adopter sur le terrain pour le relevé des empreintes ? Comment adapter les méthodes disponibles au contexte karstique ?

Quel est l'apport de l'imagerie 3D et des expérimentations au registre souterrain ? Quelles sont leurs limites ?

Chapitre 1

Dans quelle mesure les empreintes contribuent-elles à la réflexion concernant l'appréhension du milieu souterrain par les Homme ? La fonction d'un site ?

Quels sont les types de comportements et/ou d'activités mis en évidence par les empreintes et les traces d'activités associées ?

Matériel et Méthodologie générale

2. Matériel et Méthodologie générale

2.1. Le corpus de site

Nous présentons ici, très succinctement, les deux sites étudiés au cours de ce travail doctoral. Une présentation plus détaillée de chaque site est réalisée au début de chaque chapitre les concernant.

2.1.1. Cussac

Les empreintes de la grotte de Cussac sont à l'origine de ce projet. La grotte étant toujours en cours d'étude, la majorité des empreintes présentées dans ce manuscrit ont été découvertes avant et tout au long de la thèse, au cours de plusieurs interventions dans la cavité. L'évolution de notre projet a donc été fortement dépendante de notre progression dans la cavité et des découvertes en résultant. Les empreintes représentées à Cussac sont variées : pieds, doigts, paumes, glissades, etc. Elles sont localisées dans différents secteurs de la cavité.

2.1.2. Fontanet

Une soixantaine d'empreintes sont présentées et étudiées ici. Celles-ci ont été inventoriées au cours de la première mission de terrain marquant la reprise de l'étude ichnologique de Fontanet qui s'est déroulée en janvier 2018. Cette mission, retardée à cause de problèmes d'accessibilité à la cavité, confère à notre étude un caractère préliminaire. Les empreintes dont il est question ici appartiennent à 3 secteurs différents dans la cavité et sont principalement des empreintes de pieds, et dans une moindre mesure, de mains.

2.1.3. Les moulages du fonds Pales

Les moulages du fonds Pales sont actuellement conservés au Musée National de Préhistoire des Eyzies-de-Tayac et appartiennent principalement à 3 cavités (Fontanet, Niaux et Aldène). Ces moulages réalisés par Michel-Alain Garcia ont fait l'objet d'un inventaire lors de plusieurs

missions au MNP. Ils constituent un fonds documentaire original et peu exploité. Nous donnons ici un aperçu de son contenu.

2.2. Méthode

Cette sous-partie concerne la méthodologie générale pour laquelle nous avons opté dans le cadre de ce travail doctoral. En effet, notre thèse comprend plusieurs études qui, bien qu'elles aient une base méthodologique commune, présentent chacune des particularités relatives au sujet d'étude. Nous reviendrons plus en détails sur la méthodologie adoptée pour chaque étude dans les parties les concernant (Figure 12).

2.2.1. Le travail sur site/Terrain

Les grottes, et en particulier les grottes ornées répondent actuellement à des conditions et méthodes de travail spécifiques. Ces dernières sont guidées par la politique de conservation mise en place pour chacun de ces lieux fragiles. Les sols sont probablement les éléments les plus vulnérables et leur préservation représente un défi pour toute personne travaillant en grotte ornée. En effet, bien que la préservation de la totalité des sols d'une grotte soit impossible, l'impact des cheminements humains peut cependant être minimisé, dès la découverte de la cavité, par le balisage et l'emprunt de chemins qui resteront inchangés durant le temps de l'étude et par la restriction de passages dans les zones très vulnérables. De cette première étape commune à toutes les disciplines découlent les choix méthodologiques qui seront fait par la suite et qui seront propres à chaque site. En ce qui concerne ce travail, notre démarche dans chacun des sites étudiés a plus ou moins été la même.

2.2.1.1. La prospection

La prospection est une étape inévitable lorsqu'on s'intéresse aux empreintes d'une cavité. En effet, les empreintes peuvent parfois être, au premier regard, complètement invisibles. La multiplication d'éclairages et de regards est donc un élément indispensable afin de maximiser les chances de repérer une empreinte. Cela est d'autant plus important que l'accessibilité à

certaines empreintes est souvent restreinte du fait de la topographie des lieux et/ou de leur distance par rapport au cheminement balisé. En ce qui concerne Cussac, la prospection suit la galerie et le cheminement balisé. À Fontanet, la première mission avait pour objectif un état des lieux général. Dans ce cadre, une première prospection a eu lieu dans l'ensemble de la portion de la galerie concernée mais celle-ci devra être précisée et réalisée zone par zone dans le futur.

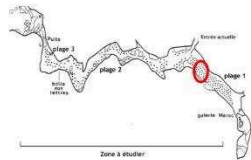
2.2.1.2.L'inventaire

Une fois découvertes, les empreintes sont numérotées selon le système de numérotation adopté sur le site. Pour Cussac, les empreintes font parties d'un ensemble de traces d'activité (TrAc) et sont numérotées en suivant la numérotation des TrAcs (TrAc n°1, TrAc n°2, etc.), c'est pourquoi leurs numéros ne se suivent pas systématiquement. À Fontanet, dans la mesure où la portion de la galerie étudiée ne comporte quasiment que des empreintes, la numérotation ne se réfère qu'à elles (Fon-1, Fon-2, etc.) (Figure 6). Pour le fonds Pales, nous avons gardé la numérotation alphabétique du MNP.

Empreintes Fontanet	
N° : Fon-1	Date : 10/01/2018
Type : pied	Secteur :
Support : argile sableuse	<input checked="" type="checkbox"/> Complète <input type="checkbox"/> Partielle
Origine : <input checked="" type="checkbox"/> Anthropique <input type="checkbox"/> Animale	Morphométrie : Longueur : 22,9 cm ; 22,4 Largeur : AP : 9,2 cm ; M : 6,4 cm ; T : 5,6 cm N° photo :
Latéralisation : gauche	

Observations :

Empreinte de pied gauche complète descendant en direction de l'aval. Elle se situe à environ 70 cm de la paroi pour une hauteur sous plafond d'environ 1,27 m. Empreinte posée bien à plat avec la partie distale qui a le plus marqué. Les orteils sont tous présents mais difficiles à lire du fait de résidus de sédiments à l'intérieur. Ils semblent être cependant, quelque peu recroquevillés sur eux même ce qui est peut-être dû au fait que le pied est dans le sens de la descente. On peut imaginer que l'individu recroqueville les orteils pour ne pas glisser. L'ensemble du contour du pied est visible même si le talon n'a pas la forme arrondie attendue et qu'il est plus prononcé sur le bord médial. Un bourrelet important de sédiment est présent à l'avant du pied peut-être encore dû à la descente un peu glissante. Pour le reste c'est plutôt le sédiment qui a craqué sous la pression. Le bord latéral a cependant poussé un peu de matière vers l'extérieur.



TRAC Grotte de Cussac		Code site	N° entité 166
Légende Empreinte de pied		Date terrain 22/01/2013	
N° feuille topo 4/5	Paroi <input type="radio"/> D <input type="radio"/> G <input checked="" type="radio"/> S <input type="radio"/> V <input type="radio"/> B <input type="radio"/> P	H/sol cm	
N° Secteur Méandre 5 A2/S XV		Prélèvement envisageable <input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non	
Type d'objet <input type="checkbox"/> Trace peinte <input type="checkbox"/> Empreinte objet <input type="checkbox"/> Essuyage <input type="checkbox"/> Mouchage <input type="checkbox"/> Vestige osseur humain <input type="checkbox"/> Grotfades <input type="checkbox"/> Dépôt noir <input type="checkbox"/> Objet lithique <input type="checkbox"/> Object osseur / bois <input type="checkbox"/> Pail <input type="checkbox"/> Dépôt carbonneux au sol <input type="checkbox"/> Objet fiché <input type="checkbox"/> Empreinte animale <input type="checkbox"/> Dépôt carbonneux sur paroi <input type="checkbox"/> Dépôt de concrétions <input type="checkbox"/> Cheminement animal <input type="checkbox"/> Dépôt pigment <input type="checkbox"/> Spéléothème déposé <input type="checkbox"/> Vestige osseur animal <input type="checkbox"/> Cheminement <input type="checkbox"/> Accumulation spéléothèmes <input type="checkbox"/> Bauges <input checked="" type="checkbox"/> Empreinte de pied <input type="checkbox"/> Accumulation blocs <input type="checkbox"/> Autre... <input type="checkbox"/> Empreinte de main <input type="checkbox"/> Bris de concrétions			
Autre type			
Origine <input checked="" type="checkbox"/> Anthropique <input type="checkbox"/> Autre... <input type="checkbox"/> Animal <input type="checkbox"/> Indéterminé			
Couleur			
Forme <input type="checkbox"/> Ambiguïté Av/TrAC <input type="checkbox"/> Ambiguïté N° EG			
Orientation Inclinasion Distance m de vers			
Support <input type="radio"/> Encaissant <input type="radio"/> Draperie <input type="radio"/> Morphométrie <input checked="" type="radio"/> Argile <input type="radio"/> Sédiment <input type="radio"/> Largeur / Diamètre cm <input type="radio"/> Plancher <input type="radio"/> Bloc <input type="radio"/> Longueur 20/28 cm <input type="radio"/> Stalagmite <input type="radio"/> Stalactite <input type="radio"/> Epaisseur 1,5 cm <input type="radio"/> Encroûtement carbonaté			
N° photo Date 24/01/2013 Auteur fiche NF, FM, LL			

Observation(s)
 Sous et en bas de la passerelle descendant du panneau du pont d'argile, on remarque une empreinte de pied gauche qui est très nettement visible. Le volume du bourrelet latéral gauche indique un appui dans une argile très plastique. La pointe du pied est en direction de l'aval à 40° de l'axe de la galerie.

Figure 6 : Types de fiches utilisées dans le cadre de l'inventaire de Fontanet et Cussac.

2.2.1.3.La description

Les empreintes sont ensuite décrites et mesurées sur place quand elles sont accessibles. Notre échantillon est majoritairement composé d'empreintes de segments de pieds et, de façon plus rare, de mains (paumes, doigts). Des empreintes indéterminées font aussi partie de notre inventaire (genoux ? talons ? autre ?) ainsi que des traces de glissades. La terminologie utilisée pour latéraliser les empreintes est basée sur la position anatomique de référence quelque que soit le type d'empreinte (Figure 7)

- 1- Partie distale
- 2- Partie moyenne
- 3- Partie proximale
- 4- Bord médial
- 5- Bord latéral

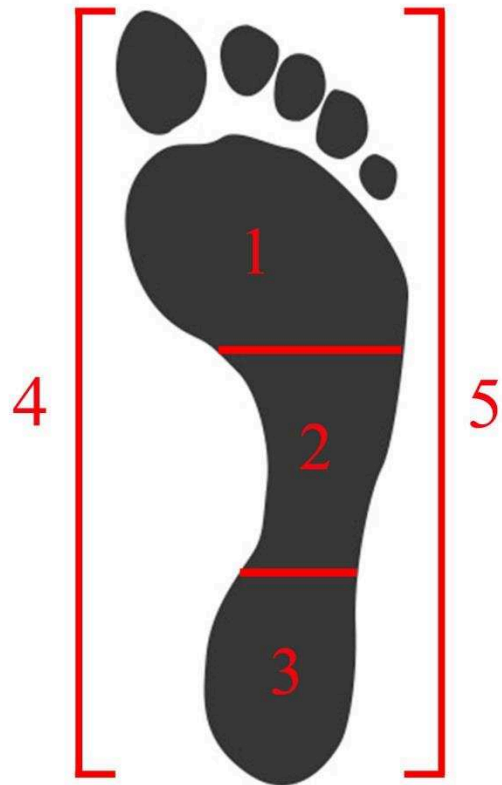


Figure 7 : Terminologie utilisée pour la latéralisation des empreintes.

Certains termes sont, en outre, régulièrement employés lors de nos descriptions.

Nous parlons d'**empreinte complète** lorsque l'ensemble du contour de la zone anatomique concernée est présent. A contrario, une **empreinte partielle** est une empreinte sur laquelle certains éléments sont absents.

Une **empreinte superficielle** est une empreinte en surface, très peu marquée ou peu profonde. Le terme **bourrelet** est, en outre, très souvent utilisé pour décrire un gonflement ou une accumulation du support de formation sur le contour ou une partie du contour d'une empreinte.

Bien qu'une empreinte soit toujours le résultat d'un mouvement dynamique, nous utilisons le terme d'**empreinte dynamique** lorsque celle-ci est issue d'un déplacement ou d'un mouvement continu résultant d'une suite d'appuis. Une **empreinte statique** est ici définie comme une empreinte issue d'une position statique, c'est-à-dire tenue en l'état quelques instants au moins (personne se tenant debout, par exemple), ne faisant pas partie d'un mouvement continu ou interrompant un mouvement continu.

En l'absence de modèle précis et complet existant dans la littérature, nous avons établi une série de mesures linéaires autour de l'empreinte inspirés de différents travaux (e.g. Bennett et Morse, 2014) et tentant de représenter au mieux la morphologie du pied. Au total, et quand cela était possible, 7 mesures ont été prises sur l'empreinte de pied nu (Figure 8) :

- 1- **Longueur 1** : longueur maximale entre le point le plus distal de l'hallux et le plus proximal postérieurement.
- 2- **Longueur 2** : longueur maximale entre le point le plus distal du deuxième orteil et le plus proximal postérieurement.
- 3- **Longueur 3** : longueur maximale entre le point le plus distal de la plante et le plus plus proximal postérieurement.
- 4- **Largeur orteils** : largeur maximale entre le point le plus médial de l'hallux et le point le plus latéral du 5^{ème} orteil.
- 5- **Largeur distale** : largeur maximale entre les points les plus médial et latéral de la partie distale de la plante.
- 6- **Largeur moyenne** : largeur minimale de la plante au niveau de la partie moyenne du pied.
- 7- **Largeur proximale** : largeur maximale entre les points les plus médial et latéral de la partie proximale du pied (talon).

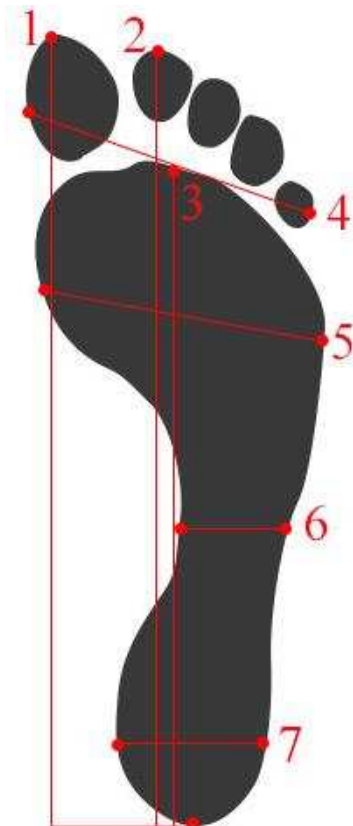


Figure 8 : Mesures prises sur les empreintes de pieds.

La même logique a été suivie pour les mesures des mains. Au total, et quand cela était possible, 3 mesures ont été prises sur l'empreinte de main (Figure 9) :

- 1- **Longueur** : longueur maximale entre le point le plus distal du majeur et le point le plus proximal de la paume.
- 2- **Largeur 1** : largeur maximale entre les points les plus distaux du pouce et de l'auriculaire.
- 3- **Largeur 2** : largeur maximale prise extérieurement au niveau de la base du pouce et de l'auriculaire.

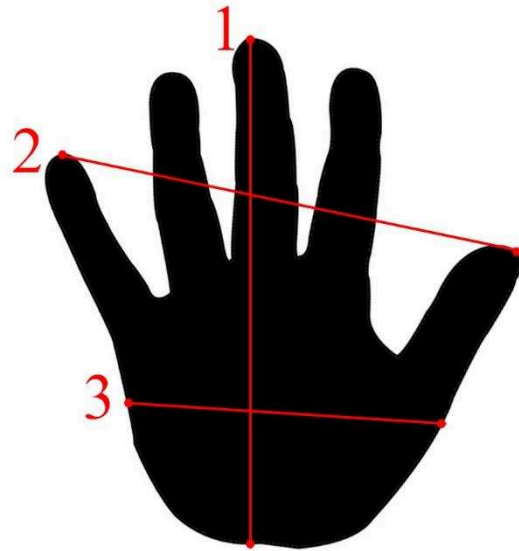


Figure 9 : Mesures prises sur les empreintes de mains.

En ce qui concerne les autres empreintes et selon les cas, différentes mesures sont réalisées à partir de la morphologie de l'empreinte (longueur et largeur maximales, diamètre, etc.).

À la description propre de l'empreinte s'ajoute une description de la topographie de la zone comprenant tous les éléments aidant à la compréhension de l'empreinte et à sa localisation. Ainsi, pour Cussac, on évoquera souvent les autres traces d'activité possiblement liées à l'empreinte et, pour Fontanet, on replacera l'empreinte au sein des autres empreintes de la zone à laquelle elle appartient.

2.2.1.4. Caractérisation sédimentaire

Le lien étroit qui unit l'empreinte à son support nécessite de passer par l'étape de caractérisation sédimentaire de la surface de formation des empreintes. Des prélèvements ont donc été réalisés à Cussac et Fontanet afin d'identifier les caractéristiques sédimentaires de ces supports. Dans le cadre de nos expérimentations, des prélèvements ont également été effectués dans les grottes de Veyssou et du Pigeonnier (Dordogne) à des fins comparatives et dans le but d'utiliser un sédiment proche de celui des empreintes fossiles de notre échantillon.

2.2.1.4.1. Granulométrie

Chaque échantillon prélevé a été caractérisé granulométriquement par diffraction laser, afin de déterminer la distribution de la taille des particules qui composent le sédiment.

Leur analyse a été réalisée au laboratoire PACEA à l'aide d'un granulomètre laser Horiba LA-950. Le prétraitement a consisté en une mise en suspension d'hexamétaphosphate de sodium (5g/l) et de peroxyde d'hydrogène (35%) à température ambiante pendant 12h. La suspension a ensuite été exposée pendant 60 secondes à des ultrasons pour une dispersion optimale. La taille des particules est ensuite calculée en utilisant la théorie de la diffusion de la lumière de Mie (Jones, 2003).

2.2.1.4.2. Taux d'humidité

La teneur en eau de certains échantillons a également été mesurée.

La teneur en eau w d'un matériau correspond à la masse d'eau d'un échantillon ramenée à la masse sèche. Elle s'exprime en pourcentage et il s'agit d'une teneur en eau pondérale. La mesure s'effectue par évaporation de l'eau dite libre du matériau. La formule utilisée est :

$$\left(\frac{m1 - m2}{m1 - m0} \right) \times 100$$

Avec : $m0$ = masse récipient (g)

$m1$ = échantillon + récipient avant étuve (g)

$m2$ = échantillon + récipient après étuve (g)

Ces échantillons ont été pesés une première fois in situ puis déposés dans une étuve réglée à 50°C pour séchage et mesure du taux d'humidité évaporé.

2.2.1.5. L'enregistrement des empreintes

2.2.1.5.1. Photographies

Chaque empreinte est photographiée, les empreintes non photographiées sont généralement celles qui ne sont pas accessibles car trop éloignées ou en surplomb par rapport au point d'observation. Le matériel et les équipes n'étant pas les mêmes d'un site à l'autre, les photos présentées sont issues de plusieurs appareils photos. Les photos des empreintes de Cussac et des moulages ont été prises soit avec un appareil photo Nikon D300 (focale : 60 mm – f/2.8) soit avec un appareil photo Nikon D7100 (focale : 60 mm – f/2.8). À Fontanet, seul le D7100 a été utilisé.

2.2.1.5.2. L'enregistrement 3D

Les empreintes bénéficient, en outre, d'un enregistrement en 3 dimensions à des fins d'étude ex situ mais également d'archivage. Dans ce projet, nous avons favorisé deux types d'enregistrement 3D : la photogrammétrie et le scanner surfacique.

2.2.1.5.2.1. La photogrammétrie

Le principe est de reconstruire un objet en 3D en prenant une série de photographies autour de l'objet et en utilisant le principe de la parallaxe (influence du changement de position de l'observateur sur l'observation d'un objet) (Kasser et Egels, 2001). L'information de profondeur est ensuite extraite, à partir du logiciel Photoscan (version 1.2.0 © 2015 Agisoft LLC) dans notre cas, en confrontant toutes les photos et le nuage de point de l'objet est ainsi recréé. Un maillage et une texture sont ensuite construits sur ce dernier (Figure 10).

La photogrammétrie qui concerne Cussac a été réalisée par l'UMS 3657 Archéovision (Pascal Mora) dans le cadre du projet collectif de recherche Cussac et celle de Fontanet par la société Get in Situ (Xavier Muth). Nous avons, de plus, réalisé des modèles par photogrammétrie de plusieurs de nos empreintes expérimentales. Cependant, le temps d'acquisition et de traitement étant plus long en photogrammétrie et faute de temps, nous avons ensuite choisi de n'utiliser que le scanner surfacique pour l'analyse plus poussée des modèles 3D.

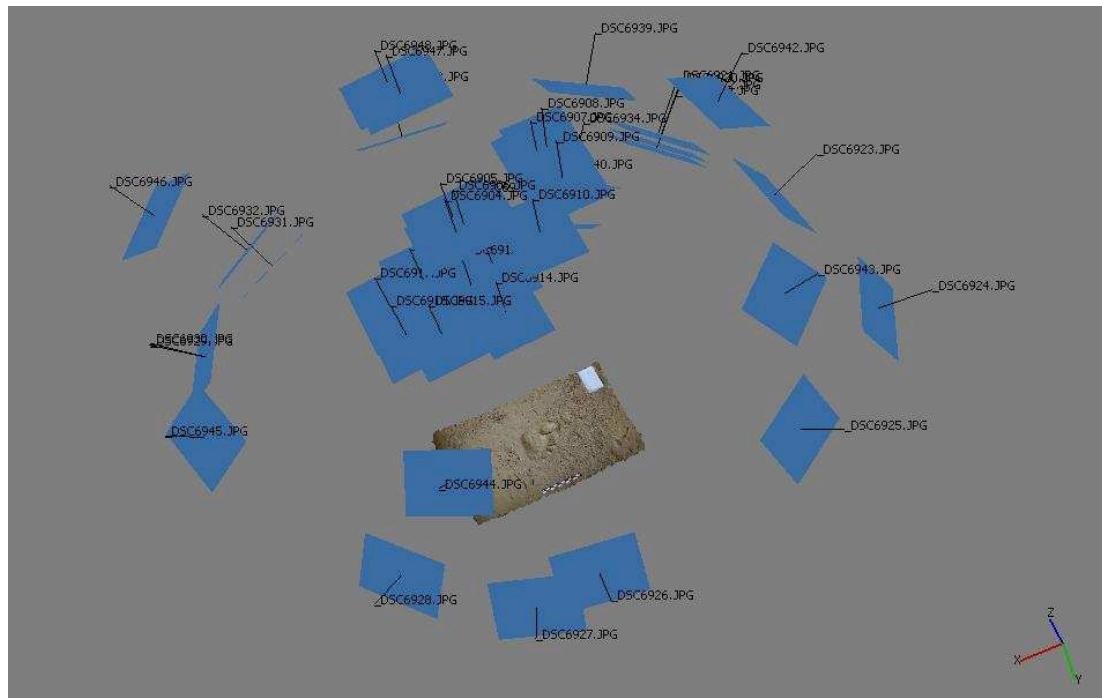


Figure 10 : *Reconstruction d'un modèle 3D d'une empreinte expérimentale à l'aide du logiciel Photoscan. Chaque rectangle bleu indique la position spatiale des photographies autour de l'objet.*

2.2.1.5.2.2. Le scanner surfacique

Le scanner Artec Eva a été utilisé sur certaines empreintes de Cussac, certains moulages et sur l'ensemble de nos empreintes expérimentales. Il s'agit d'un scanner à lumière structurée permettant de capturer l'objet désiré rapidement et sans contact avec haute précision (résolution jusqu'à 0,5 mm et capture jusqu'à 2 millions de points/s). La prise de vue est, réalisée à une distance entre 40 cm et 1 m. Le principe est de capturer un objet en projetant à sa surface de la lumière suivant un motif en grille (faisceaux parallèles). La forme de l'objet est alors enregistrée en fonction de la déformation de la lumière. Artec Eva peut capturer jusqu'à 16 images par seconde qui sont alignées en temps réel grâce au logiciel dédié Artec Studio (Modabber et al., 2016). Le post-traitement des scans a ensuite été réalisé sous le logiciel Artec Studio 9, permettant de recréer un maillage texturé (mesh) à partir des points. Enfin, les modèles 3D obtenus ont été enregistrés en format .obj afin de pouvoir être ouverts sous d'autres logiciels 3D. Nous avons notamment utilisé les logiciels MeshLab (v2016.12 © 2005 – 2017 Visual Computing Lab) et CloudCompare (version 2.8.1) pour différentes opérations de remaillage, mesures, etc. (Figure 11).

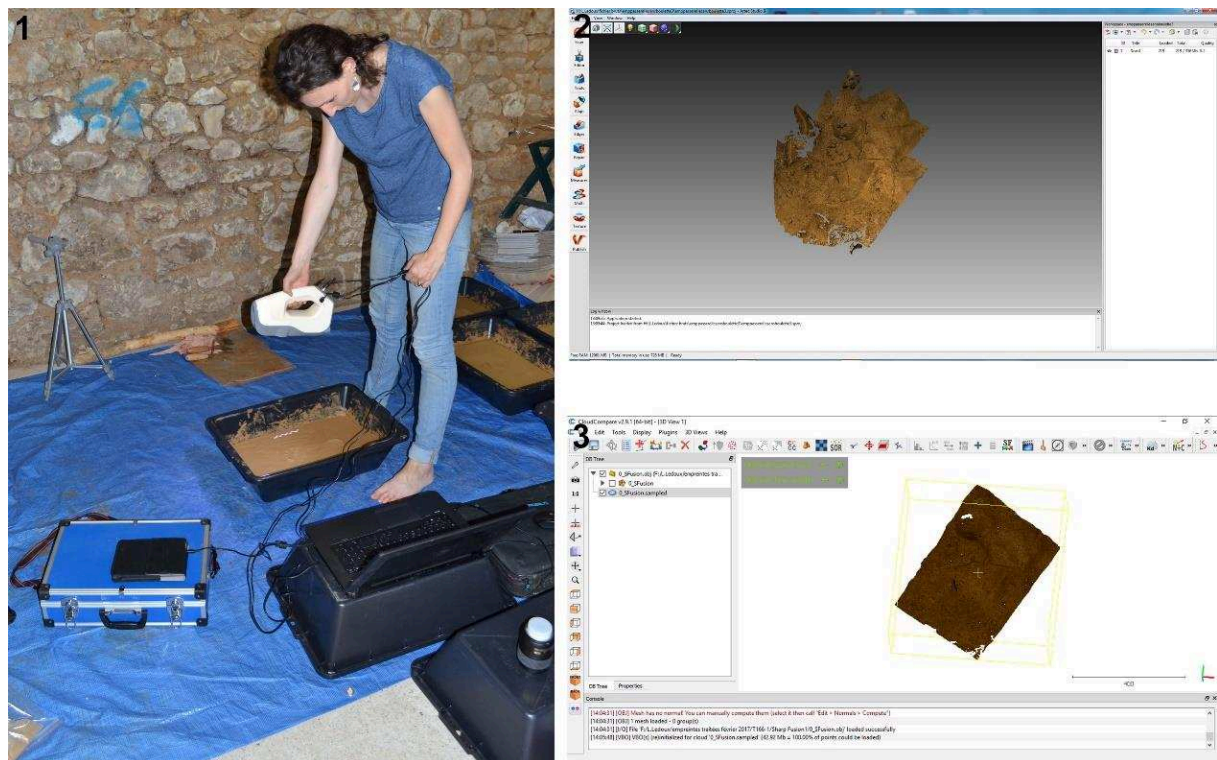


Figure 11 : Réalisation d'un modèle 3D. 1 : l'empreinte est scannée avec le scanner Artec Eva, 2 : post-traitement sous le logiciel Artec studio 9, 3 : l'étude est réalisée sous le logiciel CloudCompare.

2.2.2. L'analyse des empreintes

2.2.2.1. Le support 3D

Une fois enregistrées sur le terrain, l'étude des empreintes constituant notre échantillon a été réalisée à partir des modèles 3D. Pour cela, nous avons principalement utilisé le logiciel libre CloudCompare (version 2.8.1.). Plusieurs fonctionnalités de ce dernier ont, en effet, été exploitées pour les empreintes bénéficiant d'un modèle 3D.

Dans un premier temps, les empreintes dont nous n'avons pas pu prendre les mesures sur le terrain ont été mesurées a posteriori. Pour chaque modèle nous avons créé une carte de profondeur et une carte d'isolignes permettant de rendre compte de la topographie de l'empreinte. Sauf mention contraire, toutes les cartes d'isolignes sont réalisées avec un intervalle de 0,5 mm, et les échelles de profondeur Z des cartes de profondeur sont exprimées en mm. Ce type de représentations est régulièrement utilisé en paléontologie dans les études sur les empreintes de dinosaures mais aussi sur les empreintes humaines issues de contextes de

plein air. Nous nous sommes donc inspirés de ce protocole de plus en plus normalisé (Falkingham et al., 2018).

Dans le cadre des expérimentations, nous avons également utilisé l'algorithme M3C2 (Lague et al., 2013) et fourni par le plugin du même nom disponible pour le logiciel CloudCompare. Cet outil, plus détaillé dans la partie concernant les expérimentations, permet le calcul de changement de surface, à partir de deux nuages de points, en suivant la normale à la surface.

2.2.2.2. Morphométrie des empreintes

Des essais de détermination de taille et de masse corporelle ont été réalisés sur les empreintes de Fontanet les mieux conservées. Celles-ci sont basées sur différentes formules de régression et un ratio généralement calculés à partir de la longueur de chaque empreinte. Ces analyses sont développées dans la partie concernant la grotte de Fontanet.

Des analyses statistiques ont été réalisées en utilisant le logiciel PAST (version 3.20, Hammer et al., 2001). Les 7 mesures de bases n'étant pas systématiquement présentes sur les empreintes de notre échantillon, ces analyses sont basées sur 4 variables : Longueur 1, Largeur distale, Largeur moyenne et Largeur proximale.

En plus des données brutes, nous avons choisi de transformer certaines mesures à l'aide du calcul des log-shape ratios (Mosimann, 1970). Celui-ci permet de limiter l'effet de la taille relative des individus entre eux, afin de pouvoir raisonner davantage sur le facteur de forme exprimée par les variables mesurées.

Les log-shape ratio (LSR) ont été calculés en divisant chaque mesure par la moyenne géométrique de toutes les mesures pour chaque spécimen (taille isométrique). Chaque mesure brute a ensuite été divisée par la taille isométrique : le logarithme népérien de chaque valeur constitue ainsi le log-shape ratio. Les LSR ont ensuite été étudiés à travers une Analyse en Composante Principale (ACP), permettant d'observer les différences de conformation entre empreintes, et ainsi de se rapprocher d'un contexte de morphométrie géométrique.

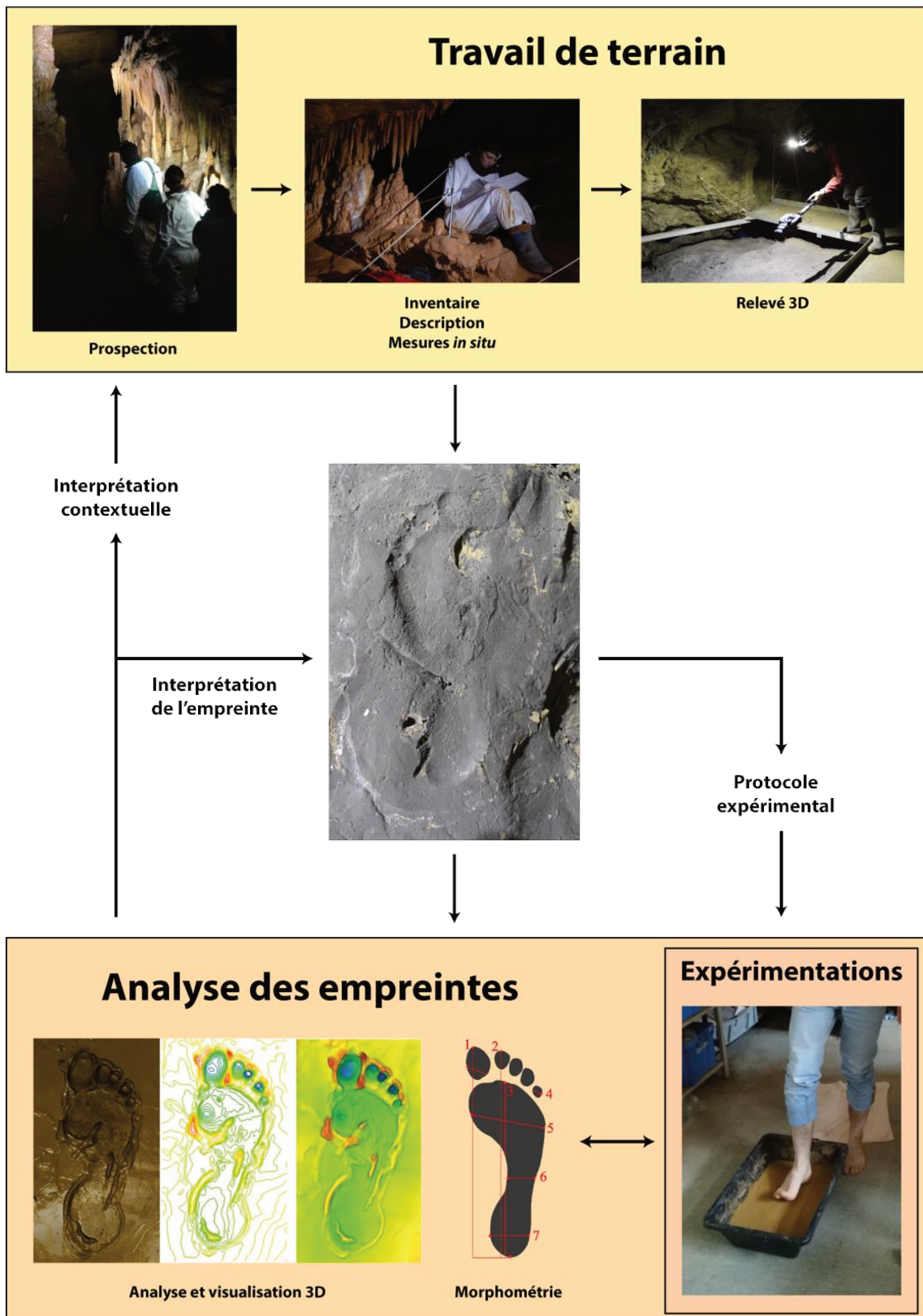


Figure 12 : Schéma synthétique de la méthodologie employée.

Chapitre 2

La grotte de Cussac

1. La grotte de Cussac (Le Buisson-de-Cadouin, Dordogne)

1.1. Contexte

1.1.1. Découverte et prise en charge

Située en Dordogne sur la commune du Buisson-de-Cadouin, la grotte de Cussac a été découverte par M. Delluc (Spéléoclub de Périgueux) lors d'une campagne spéléologique en 2000 (Figure 13). Très rapidement après sa découverte, N. Aujoulat et C. Archambeau expertisent l'art pariétal et les vestiges archéologiques. Elle est classée aux Monuments Historiques juste après sa découverte en 2002 (Fourment et al., 2012). Cette cavité compte parmi les sites exceptionnels de l'art préhistorique européen : particulièrement bien préservée, elle a livré des gravures pariétales en association avec des empreintes humaines et animales, mais surtout avec des dépôts funéraires dans des dépressions au sol ou des bauges d'ours (Aujoulat et al., 2001, 2002).



Figure 13 : Localisation de la grotte de Cussac.

Depuis 2008, une équipe pluridisciplinaire rassemblant des chercheurs aux spécialités diverses (art pariétal, matières colorantes, anthropologie, paléogénétique, ichtnologie, topographie, archéozoologie, technologie lithique et osseuse, géosciences...) est chargée de l'étude de la

cavité et travaille au sein d'un projet collectif de recherche dirigé par J. Jaubert. Cette association de chercheurs et de disciplines a pour objectif une étude globale de la grotte et de son massif aquifère inclus (Jaubert et al., 2012 ; Aujoulat et al., 2013 ; Jaubert, 2013, 2016). La prise en charge rapide et efficace sur les plans scientifique, administratif, juridique, a permis de maintenir un haut niveau de conservation : la grotte nous apparaît donc proche de ce qu'elle pouvait être au Paléolithique récent, hormis le cheminement emprunté lors de la découverte et servant toujours à la circulation dans la grotte.

1.1.2. Datation

Les résultats obtenus depuis les débuts de l'étude de la cavité tendent à montrer une certaine homogénéité concernant la période de fréquentation humaine :

Son art gravé met en évidence des thèmes et des conventions artistiques caractéristiques du Gravettien moyen (ca. 28 - 29 000 cal. BP) et rappelant l'art connu dans d'autres grottes du Quercy (Pech Merle, Cougnac) ou des Pyrénées (Gargas) (Barrière, 1976 ; Lorblanchet, 2010 ; Jaubert, 2008 ; Aujoulat et al., 2013). Cette datation relative est appuyée par l'un des dépôts humains daté à $25\,200 \pm 120$ BP (Beta analytic laboratory, Miami) soit 29 500 – 28 835 cal BP (OxCal 4.2 © Christopher Bronk Ramsey 2014; IntCal 13, Reimer et al., 2013) mais également par deux morceaux de charbon, un prélevé au sol, à l'aplomb d'un mouchage de torche et ayant donné une date de $25\,150 \pm 210$ BP (GifA 13150) ou 29 704 – 28 714 cal BP (OxCal 4.2 © Christopher Bronk Ramsey 2014; IntCal 13, Reimer, 2013) (Jaubert et al., 2017) et un prélevé directement au sein d'un mouchage et ayant donné une date de $26\,390 \pm 490$ BP (Gifa 17258/SacA49357) ou 31 274 – 29 521 cal BP (OxCal 4.2 © Christopher Bronk Ramsey 2014; IntCal 13, (Reimer et al., 2013).

Ces résultats situent donc la fréquentation humaine au cours du Gravettien moyen et leur proximité conjuguée aux divers témoignages anthropiques conservés dans la cavité tendent en faveur d'un nombre limité d'incursions, voire d'un seul ensemble d'incursions resserrées dans le temps. D'un point de vue paléoclimatique Cussac est rapporté au pléniglaciaire supérieur, entre les événements Heinrich 3 et 2, probablement lors de l'un deux épisodes tempérés GIS 3 ou 4.

1.1.3. Contexte géomorphologique et géologique

La cavité est localisée en rive gauche de la Dordogne et en rive droite du Bélingou, affluent de cette dernière. Elle s'ouvre à mi-hauteur du versant, dans une barre rocheuse correspondant à des falaises calcaires du Campanien supérieur (les formations de Jouniac et Couzé). Son réseau préhistorique se développe en une galerie subhorizontale unique d'environ 1,6 km et découpée en méandres, scellée à ses extrémités par des éboulis et/ou spéléothèmes. L'accès actuel de la cavité, qui était probablement aussi celui du Paléolithique, est au niveau d'un de ces éboulis que l'on traverse par une galerie artificielle (Figure 14). De part et d'autre de cet éboulis se développent une branche aval (0,6 km) et une branche amont (1 km) qui correspondent à deux des boucles de recoupement de méandre qui caractérisent la structuration du réseau général auquel appartient Cussac. En outre, la galerie évolue sur 4 niveaux de conduits ou paléo-conduits : un niveau supérieur (+ 3) qui correspond au réseau de conduits et chenaux de voûte, un niveau de méandre supérieur (+2) formant la voûte des galeries qui s'écartent de l'axe des conduits supérieurs, un niveau de méandre inférieur (+1) généralement le niveau dans lequel se font les déplacements actuels et ses prolongements surbaissés dans les convexités de méandres ainsi que des niveaux d'encorbellement, et un niveau inférieur (-1) de surcreusement toujours actif qui se développe sous le cheminement actuel et dont provient l'eau qui a ennoyé à plusieurs reprises le niveau +1 et a également permis occasionné le soutirage de différents remplissages de la cavité (Camus, 2017).

Les remplissages de la grotte tels que nous les connaissons aujourd'hui sont le fruit de divers évènements dont les caractères morphodynamiques ont été mis en évidence par l'observation macroscopique et la détermination morphosédimentaire. Ceux-ci se déclinent en remplissages fluviaux allochtones et altérites remaniées, en argiles de décantation, en cailloutis calcaires, (« gravettes » ou « castine » remaniés), en remplissages gravitaires et chaos de blocs et en spéléothèmes. La mise en évidence et la compréhension de ces différents remplissages sont essentielles dans le façonnage de notre perception de la cavité au moment de l'occupation humaine. Pour ce qui concerne ce projet, cette compréhension est d'autant plus importante que les caractéristiques des surfaces sur lesquelles se sont déplacés les Hommes et leur modification après leur passage sont déterminantes dans la formation et la conservation des empreintes au cours du temps. Les traces constituent, par ailleurs, de précieux indices de chronologie relative des sols venant compléter l'étude taphonomique, comme cela est le cas dans certains secteurs tels que les Locus 1 et 2 (Ferrier et al., 2017).

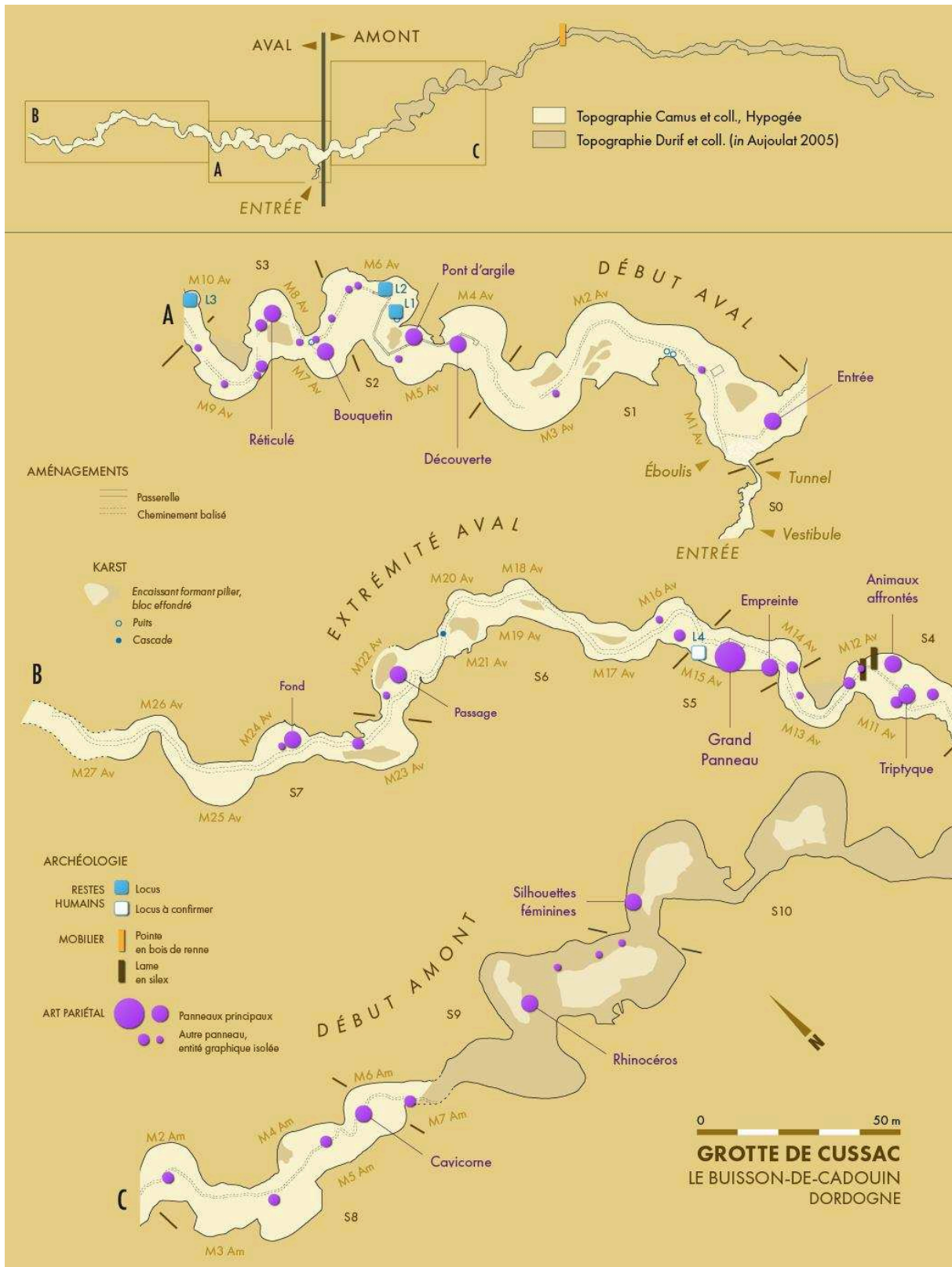


Figure 14 : Topographie en plan de la grotte de Cussac (H. Camus, Hypogée, CAD, F. Lacrampe-Cuyaubère et coll.).

1.2. Les Traces d'Activités (TrAcs)

1.2.1. Définition et méthodes d'inventaire

Cette thèse est adossée au PCR Cussac et concerne plus particulièrement le volet TrAcs (Traces d'Activités), qui regroupe les traces d'activités humaines et non humaines¹. Ces traces sont des témoignages importants de la fréquentation du lieu et se retrouvent dans l'ensemble de la cavité.

Depuis 2009, une prospection respectant le cheminement actuel et un inventaire des différentes traces d'activité repérées, accessibles depuis ce cheminement, sont réalisés. L'objectif de ce travail est d'alimenter une base de données, contenant descriptions, topographie et photos des différentes entrées (Ledoux et al., 2017). Ce type d'inventaire, réalisé par une équipe spécifique (Marc Delluc†, Nathalie Fourment, Frédéric Maksud, Lysianna Ledoux) et tendant à l'exhaustivité, n'a que très rarement été réalisé en grotte ornée (Bégouën et al., 2009 ; Robert et al., 2012 ; Arias et al., 2011) d'autant plus qu'elle ne peut être programmée que pour des sites parfaitement conservés. Cependant, ce souci d'exhaustivité de la base de données reste dépendant de nos limites d'observation. En effet, pour des raisons conservatoires, nous ne pouvons aller au-delà du cheminement préalablement défini lors de la découverte puis localement équipé (Fourment et al., 2012). Les observations éloignées se font par l'intermédiaire de jumelles ce qui, par conséquent, diminue leur précision et leur fiabilité. Une bonne lumière avec différentes colorimétries, intensités et positions est également un outil essentiel afin d'optimiser nos observations. Deux types d'approches sont ainsi utilisées : une observation générale des différentes zones et une plus précise, prenant également en compte le cheminement retour (d'aval en amont). Les TrAcs découvertes sont ensuite photographiées en vue générale et rapprochée puis décrites et mesurées quand cela est possible.

Les recherches durant les 6 premières années se sont quasiment exclusivement focalisées sur la branche aval de la cavité, dans laquelle se trouvent les restes humains et la grande majorité des panneaux ornés, et qui, grâce à son acquisition totale par l'État, a bénéficié d'un aménagement du cheminement afin d'y prioriser les recherches. C'est dans ces conditions que l'équipe a progressé d'environ 350 m (entre l'Entrée et le Grand panneau) et ainsi inventorié 480 TrAcs. Durant la première année, les 100 premiers mètres de la branche amont ont également fait l'objet d'une première prospection et 55 TrAcs ont été inventoriées. La prospection dans cette branche a repris lors de la campagne 2018 au cours de laquelle 9 TrAcs ont été enregistrées.

¹ Expression empruntée à N. Aujoulat : in Jaubert et al., 2012.

La base de données TrAcs inclut plusieurs types de traces divisées en trois catégories : humaines, non humaines et indéterminées.

Les traces humaines :

- Empreintes statiques et dynamiques : empreintes complètes ou partielles de pied, main, genou ou toutes parties de corps laissées sur le sol. Les surfaces sur lesquelles il y a des empreintes humaines identifiées mais qui ne peuvent pas être isolées sont aussi comprises dans cette catégorie.
- Restes osseux : l'ensemble des restes osseux complets ou fragmentés.
- Artefacts : tout objet abandonné et réalisé par l'homme.
- Traces colorées : la plupart du temps il s'agit de traces rouges ou noires supposées d'origine anthropique. Les traces rouges peuvent être intentionnelles (signes, dépôts volontaires) ou non (traces de passage) et se situent en paroi, en voûte, sur des spéléothèmes ou sur le sol. Les traces noires correspondent à des dépôts de charbon, des traces de manganèse ou de charbon sur les parois et dont l'origine est clairement anthropique.
- Mouchages de torche : dépôts de charbon volontaires sur les parois ou les spéléothèmes.
- Traces argileuses : traces de doigts ou traces de passage argileuses sur les parois.
- Spéléothèmes cassés ou déplacés : concrétions avec un impact de percussion apparent ou dont l'emplacement/la position correspond clairement à une activité humaine. Le terme de « spéléofact » a récemment été proposé pour cette catégorie à partir de l'étude de cas de la grotte de Bruniquel (Jaubert et al., 2016).
- Ambiguïté art/ TrAcs : gravures non figuratives et tracés digitaux pouvant indifféremment intégrer l'une des deux familles de disciplines : art pariétal ou ichnologie.

- Traces indéterminées : toutes les traces attribuables à l'Homme mais dont l'interprétation est difficile comme les objets indéterminés, certaines empreintes et impacts sur l'argile et les parois.

Les traces non humaines :

- Empreintes (surtout ursines) : empreintes complètes ou partielles (antérieures et postérieures), griffades et polis sur les parois.
- Bauges et terriers : les bauges sont plus ou moins larges (1 à 3,5 m de diamètre). Les terriers souvent dus à de petits carnivores sont caractérisés par des amas de boulettes d'argile rejetées au moment du creusement.

Les traces indéterminées :

- Empreintes : traces difficiles à attribuer à l'Homme, l'ours ou une autre espèce.
- Spéléothèmes cassés et/ou déplacés : spéléothèmes dont la cassure ou le déplacement ne sont pas dus à des phénomènes naturels et dont l'origine est incertaine (anthropique ? animale ?).
- Autres : toutes les traces non récurrentes qui ne sont pas naturelles et difficiles à interpréter.

Ces témoignages multiples requièrent l'établissement d'une méthode d'enregistrement adaptée à chaque cas. En effet, certaines TrAcs sont parfois enregistrées dans d'autres bases de données telles que les restes humains (anthropologie), les gravures non figuratives (art), les restes animaux (archéozoologie) ou les industries lithique et osseuse. Dans le but de transmettre un maximum d'informations quant à l'aspect de la grotte aux générations futures, les interrogations concernant l'ancienneté de certaines TrAcs humaines sont à chaque fois notées, ainsi que les observations vis-à-vis de certaines traces indubitablement modernes. Enfin, toutes nos observations sont basées sur la topographie détaillée de la cavité, de la même façon que notre prospection est guidée sur son étude karstologique, actuellement toujours en cours (Ledoux et al, 2017).

Concernant la pérennité de la documentation afférente aux TrAcs, les dernières années ont vu certaines actions se mettre en œuvre. Ainsi, plusieurs TrAcs ont bénéficié d'un enregistrement par photogrammétrie et par scanner surfacique 3D. Le géoréférencement de l'ensemble des TrAcs inventoriées durant ces 5 dernières années a également été réalisé en collaboration avec X. Muth (GetinSitu), celles-ci pourront ainsi être reversées dans le Système d'Information Géographique (SIG) en cours d'élaboration.

1.2.2. Description des traces d'activités

1.2.2.1. Les traces d'activités non humaines

Les restes osseux à Cussac sont relativement rares et appartiennent principalement à des petits carnivores subactuels, bovidés, léporidés, ursidés et oiseaux. Aucun élément sur ces restes n'a pour l'instant été mis en relation avec un apport anthropique (Mallye et al., 2017). Concernant les autres témoignages de fréquentation non humaine, ils sont majoritairement le fait de l'ours et se caractérisent par des bauges, des polis sur les parois ou blocs, mais également par des empreintes et nombreuses griffades qui se retrouvent dans l'ensemble de la cavité (Figure 15). Deux phases d'occupation liées à des événements particuliers de la karstogenèse du site ont pu être mises en évidence, notamment grâce à l'observation des griffades. Ainsi, une première phase d'occupation ursine serait antérieure au renversement des blocs des pédoncules des méandres. Cette phase ancienne est démontrée par la localisation incohérente de certaines griffades avec la morphologie de la galerie actuelle (situation à plusieurs mètres de haut, au-dessus de vides par exemple, présence de griffades d'ours à des hauteurs importantes), les patines distinctes existantes, la présence de certaines d'entre elles sur des placages argileux anciens résiduels présents dans certaines anfractuosités des parois. Cette ancienneté pose la question de l'espèce ursine responsable de cette première génération de traces. En l'absence de fouille, la détermination de ou des espèces n'étant pas possible sur les seuls restes osseux sub-affleurant du fait de leur faible quantité et de leur aspect fragmentaire, l'estimation de l'époque du basculement du pédoncule des méandres nous permettra peut-être de déterminer s'il s'agit de l'Ours des cavernes (*Ursus spelaeus*), de Deninger (*Ursus deningeri*) ou d'une forme intermédiaire. La seconde période d'occupation ursine est caractérisée par la présence de griffades et de bauges sur l'argile de remplissage localisée sous les pédoncules basculés.

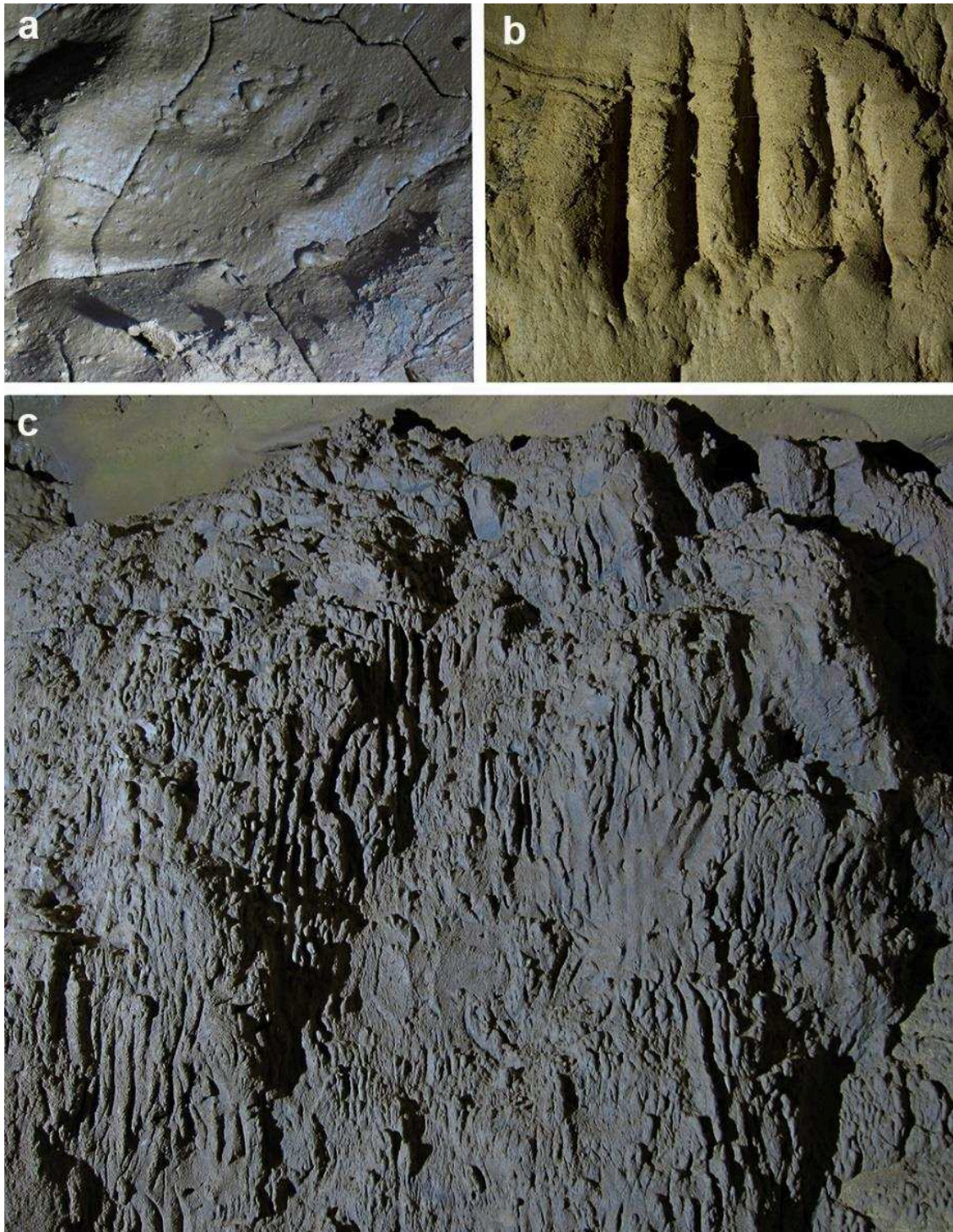


Figure 15 : Cussac - Exemples de traces d'activités ursines. a : empreinte de main, b : empreinte de griffes, c : griffades sur un talus argileux (Photographies : F. Maksud et N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

1.2.2.2. Les traces d'activités humaines

Une des caractéristiques principales de Cussac est la présence de restes osseux humains (Aujoulat et al., 2001, 2002). Ceux-ci peuvent être isolés ou regroupés, fragmentés ou en connexion anatomique, et sont la plupart du temps retrouvés à l'intérieur de bauges d'ours. Ces restes sont répartis entre trois locus (peut-être 4), tous situés dans la branche aval de la cavité. L'étude à distance de ces vestiges, imposée par la politique de conservation de la grotte, ne permet pas d'être précis quant au nombre minimum d'individus représentés. Jusqu'à présent, l'étude anthropologique a pu mettre en évidence au moins deux individus dans le Locus 1 (un immature et un adulte), un individu dans le Locus 2 et au moins 3 individus au sein du Locus 3 (Henry-Gambier et al., 2013 ; Villotte et al., 2015). Hormis l'art pariétal et les restes osseux, la présence humaine se remarque par un ensemble de traces et vestiges beaucoup plus discrets, mais que l'on retrouve dans la globalité de la cavité. En effet, ont été découverts deux lampes localisées en branche amont (Figure 16), un éclat laminaire et deux lames en branche aval, et un artefact en bois de cervidé également en amont (Figure 17), ces derniers tous cohérents avec l'attribution chronoculturelle de la fréquentation humaine (Jaubert et al., 2017 ; Ledoux et al., 2017).



Figure 16 : Cussac - Lampes retrouvées en branche amont (Photographies M. Peyroux et F. Maksud, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

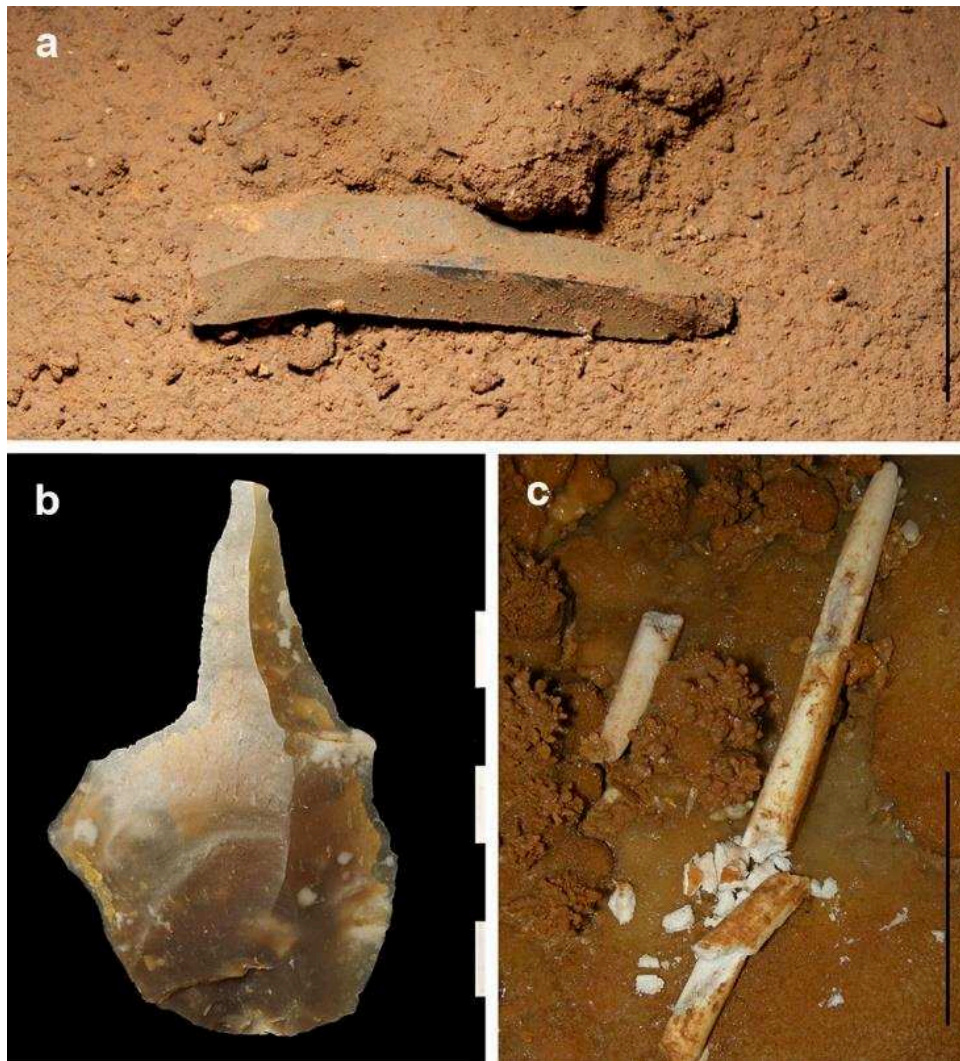


Figure 17 : Cussac - Objets retrouvés à Cussac. a : lame (échelle : 5 cm), b : éclat laminaire (photographies : H. Plisson © CNRS), c : artefact osseux (échelle : 5 cm, photographie : N. Goutas, PCR Cussac, Ministère de la Culture ©).

De nombreuses traces de passages ont également été inventoriées, que ce soit au sol ou sur les parois et sont visibles dans l'ensemble de galerie. La grande majorité correspond à des traces de matières colorantes rouges et noires qui peuvent avoir été laissées volontairement ou non sur les parois, sols ou spéléothèmes (Figures 18 et 19 a et b). De nombreuses traces argileuses sont également présentes sur les parois et sont souvent des doigts essuyés. Enfin, des mouchages de torches sont retrouvés régulièrement le long des cheminements (Figure 19 c et d). En outre, de nombreuses traces de piétinement sur le sol, parmi lesquelles il est parfois possible d'isoler des empreintes, s'observent dans l'ensemble de la grotte. Ce sont ces empreintes qui nous ont plus particulièrement intéressé pour ce travail doctoral.

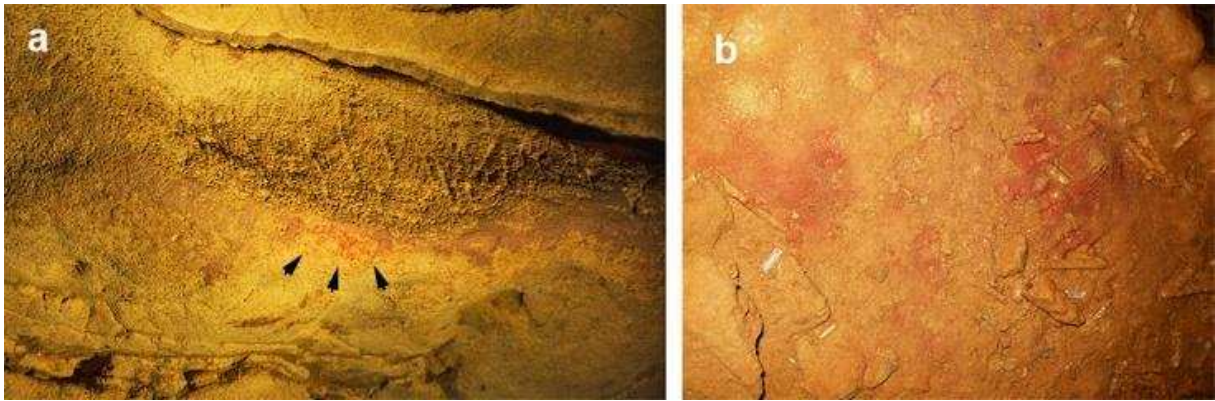


Figure 18 : Cussac - Exemples de traces rouges. a : traces rouges sur la paroi (~ 10 × 2,5 cm), b : traces rouges au sol (Photographies : N. Fourment et M. Peyroux, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

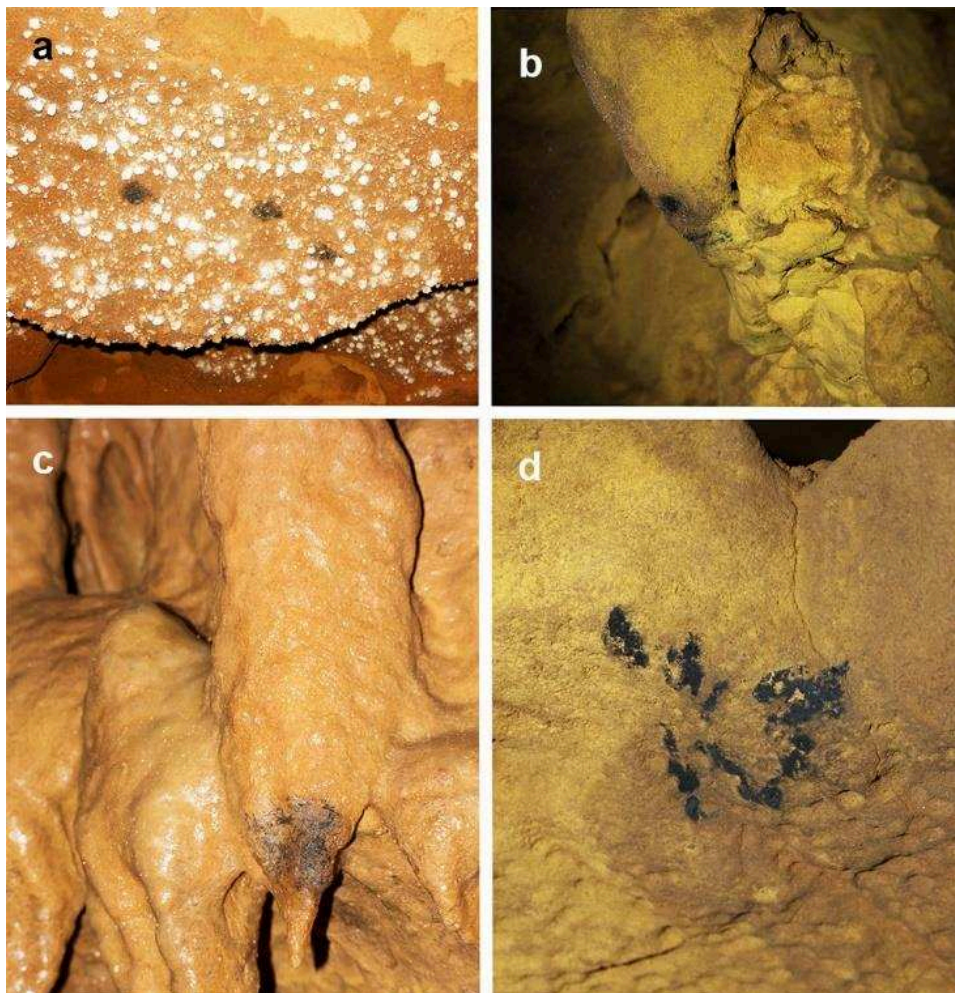


Figure 19 : Cussac - Exemples de traces noires. a : trois points noirs sur paroi (chaque point mesure ~1 cm), b : trace noire sur paroi (~ 1 cm), c : mouchage sur concrétion (~5 × 5 cm), d : mouchage sur paroi (~ 12 × 12 cm) (Photographies : F. Maksud et N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

1.3. Les empreintes

Bien que, dans l'ensemble, la cavité soit extrêmement bien préservée, peu d'empreintes ont pour l'instant été identifiées comme indubitablement humaines. Cette difficulté à identifier les empreintes de Cussac est due au fait que les sols visibles et accessibles aujourd'hui ne correspondent souvent pas aux sols paléolithiques. Plusieurs facteurs peuvent expliquer la conservation très partielle des sols :

- La grotte a connu de nombreux évènements sédimentaires qui ont considérablement perturbé les sols.
- Même si il est antérieur, l'omniprésence de l'ours dans la cavité a aussi pu perturber la compréhension des empreintes humaines, particulièrement dans les zones de superpositions.
- L'accessibilité restreinte à certaines zones due à la politique de conservation.
- Le fait que le cheminement actuel soit en partie le même que celui des paléolithiques, entraînant inévitablement la destruction de certaines empreintes.

Dans ce contexte, 28 empreintes attribuables à l'Homme ont cependant pu être identifiées. Elles correspondent à des empreintes statiques ou dynamiques, complètes ou partielles, profondes ou superficielles de sections de pied ou main, des empreintes indéterminées (dues à un élément corporel ou à un objet) et des glissades. La plupart des identifications a été possible simplement à partir de leur taille et de leur morphologie. Les empreintes plus problématiques mais qui ne sont pas d'origine naturelle ont, en revanche, été identifiées comme humaines après élimination d'appartenance à d'autres espèces.

Ces empreintes, dont la liste est probablement loin d'être exhaustive, se retrouvent dans l'ensemble de la cavité et se situent, pour le secteur aval entre le locus 1 et le Grand Panneau et, pour le secteur amont, entre le Panneau du Rhinocéros et la fin du méandre 7-Am (Figure 48). Elles ont toutes été imprimées dans du sédiment argileux qui correspond soit à des remplissages sédimentaires soit à des niveaux d'argile de décantation issus de remise en charge et venant recouvrir les remplissages primaires. La plupart du temps, les empreintes les mieux préservées sont situées sur les talus argileux parfois proches des panneaux ornés et protégées des dépôts sédimentaires. Les autres sont couvertes d'argile de décantation dans les parties plus

basses. Seules les empreintes avec une taille et une morphologie qui peuvent clairement être attribuées à des parties anatomiques humaines sont considérées.

Les empreintes dont la morphologie générale (présence du fantôme de la voûte plantaire, de la trace de l'hallux, talon arrondi dans la partie proximale) et la longueur générale s'apparente à celles d'un pied humain nous indiquent une origine vraisemblablement anthropique.

Pour la main, c'est souvent la présence du pouce opposable qui est révélatrice du caractère humain de l'empreinte, même si les empreintes pulpaire isolées sont souvent bien reconnaissables. Pour le reste de la main, nous avons retenu des caractéristiques renvoyant directement à l'anatomie de la main, telles que la marque des plis de flexion de la paume ou le sillon entre les deux éminences palmaires.

Cependant, et notamment dans le cas d'empreintes partielles ou de certaines régions anatomiques (genoux), le doute subsiste. L'association d'empreintes dans une même zone et révélatrice d'un mouvement aide aussi parfois à préciser la détermination.

Le nombre restreint d'empreintes certaines, leur isolement dans la plupart des cas et leur conservation inégale sont autant de facteurs qui ne nous ont pas permis de réaliser une étude ichnologique complète. Ainsi, au vu des données actuelles, nous n'avons pas pu établir le profil biologique du ou des individus responsables des empreintes. En revanche, la grotte soulève plusieurs questions d'ordre taphonomique et comportemental qui ont jusque-là été très peu exploitées dans le domaine de l'ichnologie souterraine et qui constitue une partie non négligeable de ce travail doctoral.

1.3.1. Descriptions des empreintes fossiles

Les empreintes identifiées comme humaines ont pour la plupart été inventoriées durant la prospection des traces d'activité : c'est pourquoi elles portent toutes un numéro de TrAc. Une fois numérotées, celles-ci ont été décrites, photographiées et, quand cela été possible, des modèles 3D ont été réalisés soit par photogrammétrie (Archéovision, UMS 3657), soit par nos soins avec le scanner surfacique manuel. La majorité des empreintes n'étant pas directement accessible, leurs informations métriques ont été relevées sur les modèles 3D. Les descriptions qui suivent sont organisées par secteur et dans l'ordre de la progression « rentrante » dans la grotte (Figures 14 et 48).

1- Pied (TrAc 166)

Empreinte située à la fin du méandre 5-Av ou début 6-Av, sous le bas de la première passerelle de la grotte en descendant du Pont d'argile (Figure 14). Celle-ci est a priori isolée et correspond à une empreinte de pied gauche, complète et peu profonde, localisée sur une surface plane et qui a probablement été réalisée dans un dépôt d'argile de décantation. Afin d'avoir une meilleure lisibilité, une boulette actuelle d'argile située sur le bord disto-médial de l'empreinte a été retirée (Figure 20). Les trois appuis proximal, moyen et distal sont visibles. Le contour général de l'empreinte est bien marqué et se caractérise par un bourrelet résultant du soulèvement du substrat par pression. Le bord latéral est cependant celui qui présente le plus fort bourrelet. Le bord médial, moins marqué, est incurvé vers le centre de l'empreinte, au niveau de sa partie moyenne, ce qui est une conséquence de la hauteur plus marquée de la voûte longitudinale à cet endroit du pied. Cette constatation a également aidé à la latéralisation du pied. Aucune impression d'orteil claire n'est constatée en partie distale. En revanche, on constate ce qui pourrait correspondre à la marque de l'hallux du côté médial et qui se caractérise par un allongement de l'empreinte à cet endroit. L'appui proximal est bien marqué et semble être la zone la plus profonde de l'empreinte (Figure 21).

Cette empreinte est située dans une zone qui a subi des ennoiements répétés, lors des mises en charge de la galerie inférieure. La conséquence de ces ennoiements est la succession de dépôts d'argile de décantation à la surface de cette zone. Certains de ces dépôts d'argile sont postérieurs à la fréquentation des Gravettiens dans la grotte, comme l'attestent les restes humains recouverts d'argile, mais également l'empreinte dont il est question ici, et dont l'aspect lissé montre clairement qu'il ne s'agit pas de la surface originelle. Un dépôt argileux prélevé dans le locus 2 présentant un aspect lité atteste également de la présence d'argile de décantation dans la zone. Mise à part cette empreinte identifiée comme humaine, cette zone présente une forte concentration de dépressions qui sont probablement le témoignage d'une fréquentation intense par l'ours et dans une moindre mesure par l'Homme. En effet, plusieurs bauges, dont celles dans lesquelles ont été déposés les restes humains, sont constatées, ainsi que plusieurs empreintes ursines, qui présentent les mêmes caractéristiques taphonomiques que l'empreinte humaine identifiée. En observant certaines zones altérées par le cheminement contemporain, nous avons constaté que les empreintes d'ours (vraisemblablement immédiatement sous l'argile

plus claire) et l’empreinte humaine (sur l’argile plus claire et sous l’argile de la surface actuelle) ne sont séparées que par une fine couche de sédiment (1,5 mm au maximum) alors que le sol naturel de la cavité présentant une croûte rougeâtre sous un dépôt noir semble, lui, bien antérieur au passage des ours. Ainsi, d’une part, les ours ont marché sur l’argile d’une première phase de débordement (tout au moins les « derniers ours ») et d’autre part, malgré les débordements, la pellicule d’argile reste minime et très peu destructrice, ce qui témoigne d’une décantation en très faible énergie (pas de circulation d’eau). Ce constat est, cependant, à nuancer car il s’agit d’observations ponctuelles dont nous ne pouvons dire avec certitudes si elles s’appliquent à l’ensemble de ce secteur.

La probabilité qu’il y ait eu des inondations antérieures au passage des Gravettiens nous laisse supposer que leurs empreintes, dans cette zone, se sont formées sur des dépôts plus anciens d’argile de décantation.

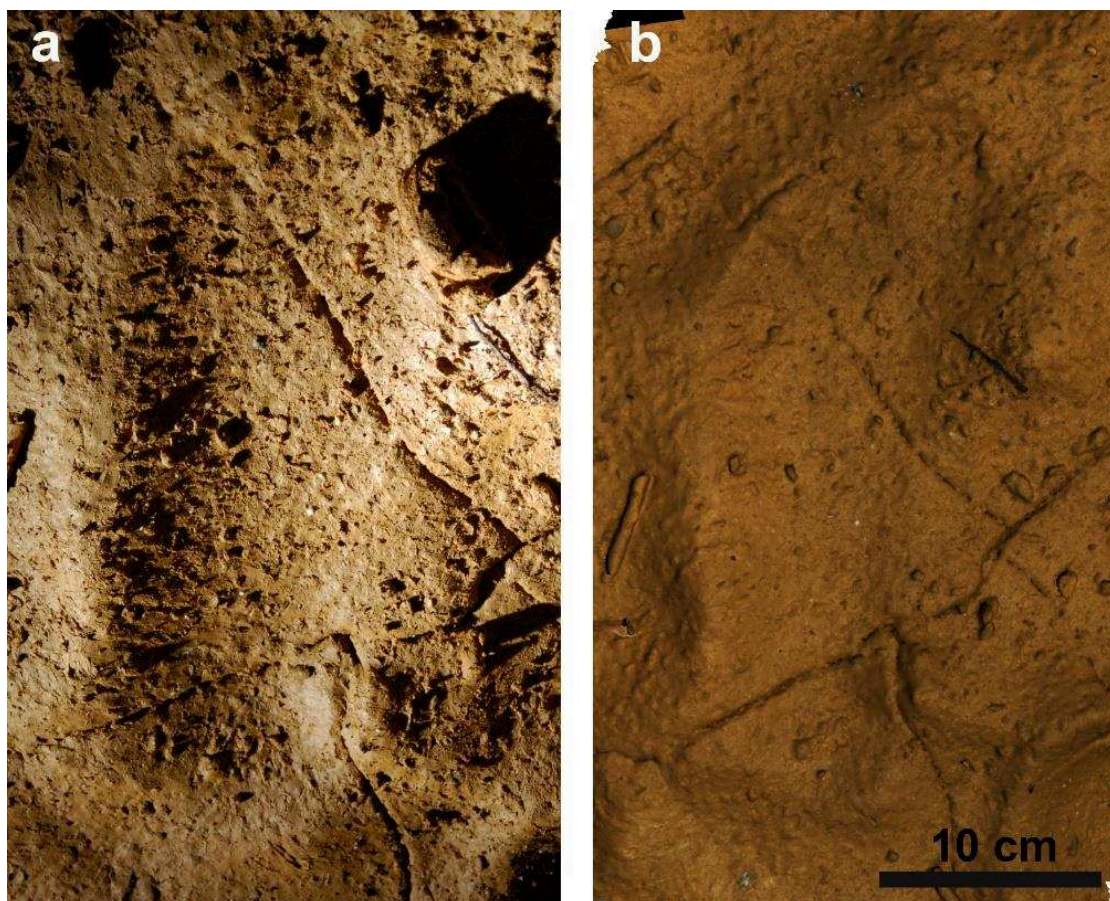


Figure 20 : Cussac - Empreinte de pied gauche (TrAc 166). a : photo avant le retrait de la boulette d'argile, b : modèle 3D après le retrait de la boulette d'argile.

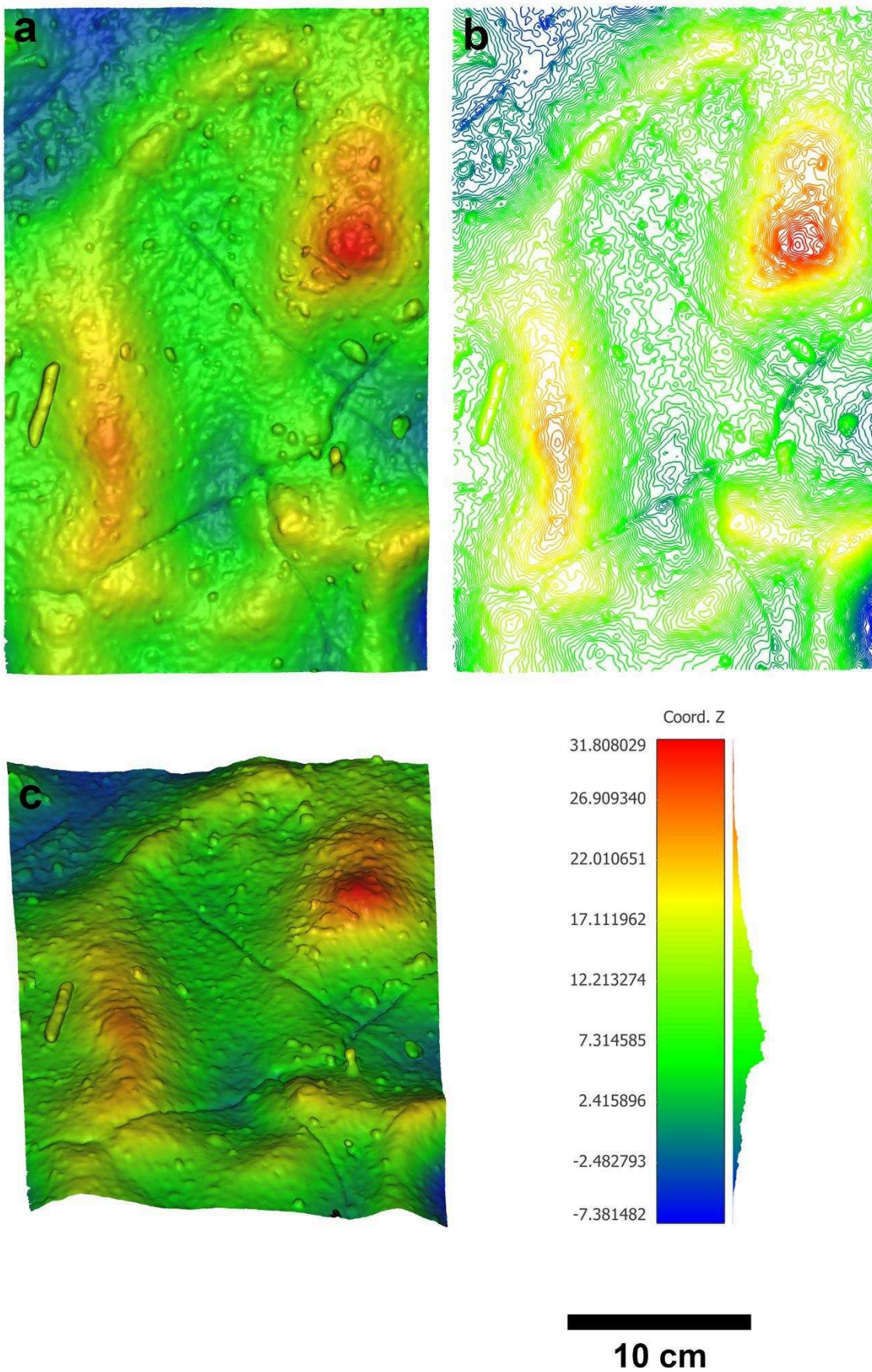


Figure 21 : Cussac - TrAc 166. a : carte de profondeur, b : isolignes, c : vue rasante.

2- Indéterminée (TrAc 222)

Cette empreinte est localisée sur le rebord aval de la bauge contenant l'individu du locus 2, elle est donc à l'aplomb du squelette. Il s'agit d'une trace d'appui glissé dans un mouvement du haut vers le bas. Elle se compose de 4 petites dépressions allongées, séparées par des bourrelets d'argile, de 1 cm de largeur et de 2 à 8 cm de longueur. À l'origine, elle devait être un peu plus marquée, les bourrelets ayant fondu suite à l'ennoisement de la bauge. Son interprétation est difficile, il pourrait s'agir de traces de doigts ou éventuellement d'orteils (Figure 22).



Figure 22 : Cussac - Empreinte indéterminée (TrAc 122) (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

3- Zone sous panneau du Bouquetin

Zone de fréquentation humaine et ursine, située sous le Panneau du Bouquetin. Cette zone est caractérisée par la présence d'une très grande bauge creusée dans l'argile et d'environ 3,5 m de diamètre au sein de laquelle est recreusée une plus petite bauge (\varnothing 1,5 m) (Figures 23 et 24). Le sol de la zone témoigne d'une fréquentation intense à la fois attribuable à l'ours et à l'Homme, en particulier sur les rebords de la bauge dont la surface devait être assez plastique (comme en attestent les traces). L'observation du pourtour de la bauge a permis de mettre en évidence une première phase de fréquentation ursine matérialisée par la présence de griffades,

appuis et glissades. La plupart des griffades sont verticales et appartiennent à de jeunes individus (entre 5 et 10 cm). Ces griffades sont complètes, bien marquées (5 doigts) et sont liées au passage montant/descendant des ours (Figure 15 b). Au centre du talus, sur environ 80 cm de long, on perçoit la roche encaissante partiellement maculée par l'argile déposée vraisemblablement par le passage répété des ours. Nombre de ces griffades sont partiellement oblitérées et lissées par des traces de glissades dans le sens de la pente et sur l'intégralité de la surface. La majorité des griffades profondes, dont le fond de trait est encore visible, sont pourvus d'un dépôt noirâtre sous-entendant leur antériorité à une nouvelle phase de fréquentation. Ainsi, la fréquentation humaine est sans aucun doute postérieure à celle des ours, et probablement en relation avec la création du panneau orné. Plusieurs traces attribuées à l'Homme ont pu être individualisées sur tout le pourtour accessible de la bauge. D'autres traces, à l'intérieur et à l'autre extrémité de la bauge, sont également visibles mais leur inaccessibilité complexifie leur interprétation. En général, ces traces s'apparentent à celles de doigts mais probablement aussi à des appuis plantaires. Certaines traces sont difficiles à déterminer et semblent être le fait d'objets dont la nature nous est actuellement inconnue.



Figure 23 : Cussac - Bauge localisée sous le Panneau du Bouquetin (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture et de la Communication, France ©).

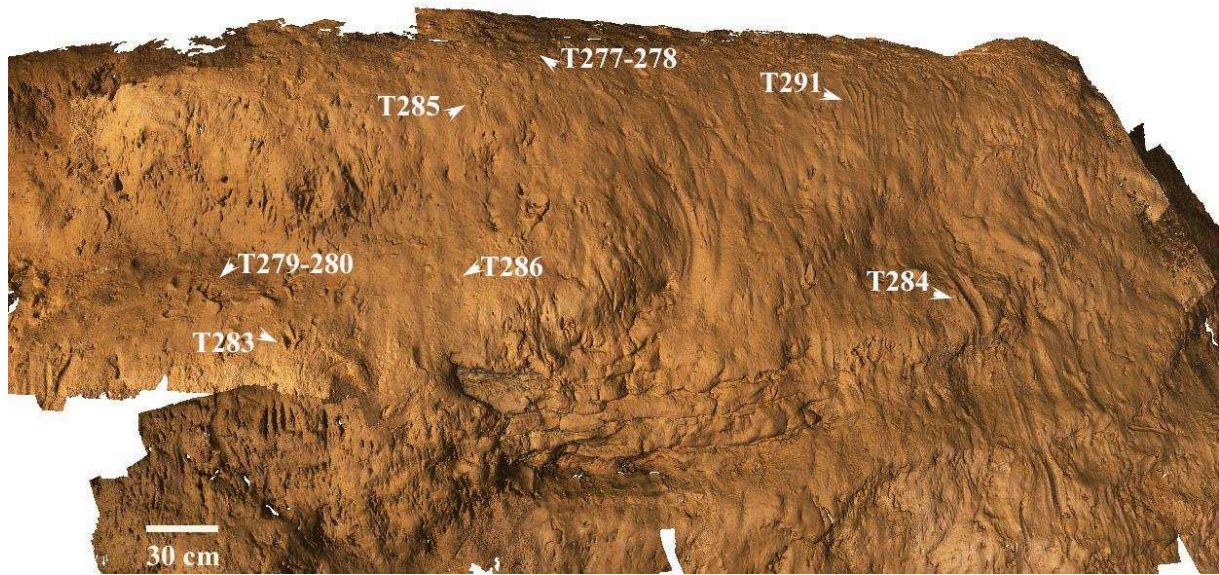


Figure 24 : Cussac - Localisation des empreintes du rebord de la bauge du Panneau du Bouquetin.

3-1- Dépressions (TrAc 277)

En partie sommitale, à 25 cm du bord du talus se trouve une empreinte double qui correspond à deux appuis adjacents successifs. Une empreinte similaire se trouve à 4 cm. Le fond est régulier, la profondeur faible. Ces empreintes qui mesurent entre 4 et 5 cm de diamètre s'étendent sur une surface d'environ 25 cm (Figure 25).

3-2- Dépressions (TrAc 278)

En aval de la trace précédente sur ce même bord de talus sont visibles deux dépressions caractérisées par des bourrelets d'argile repoussée sur leurs contours. Elles pourraient correspondre à des empreintes pulpaire (Figure 25).

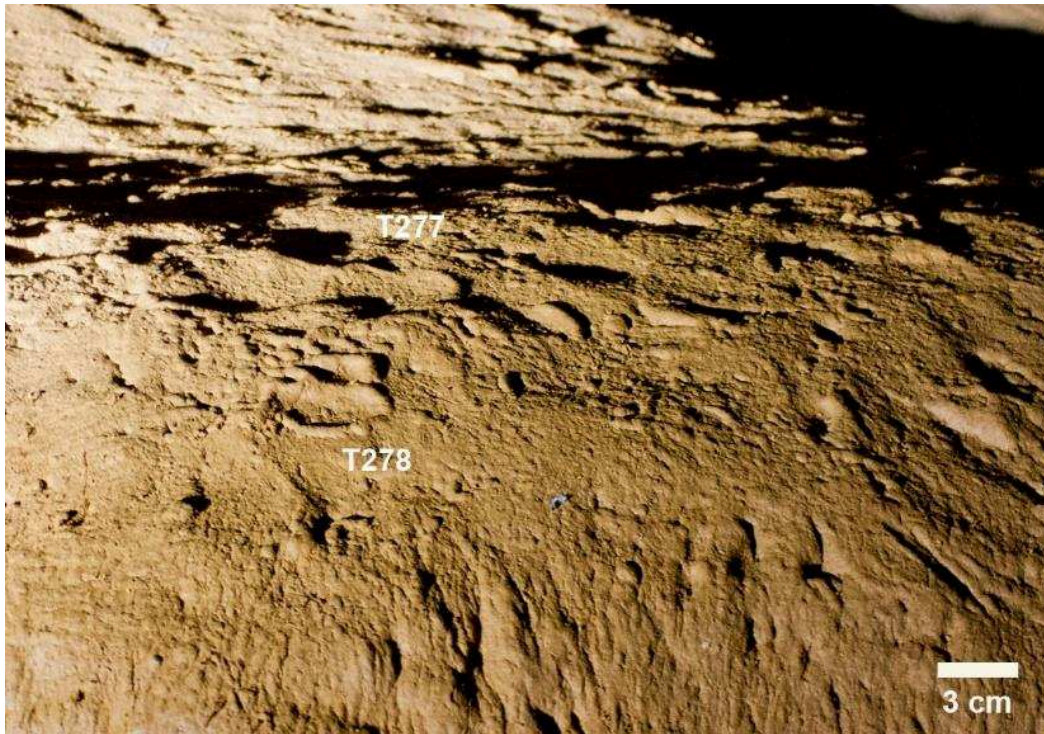


Figure 25 : Cussac - Dépressions indéterminées (TrAc 277 et 278) (Photographies : F. Maksud, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

3-2-1. Doigts (TrAc 279-280)

L'empreinte de ce qui semble être 4 doigts est située sur un ressaut du talus argileux formant la bordure extérieure de la grande bauge. Cette empreinte se caractérise par 4 dépressions plus ou moins ovalaires, dont 3 accolées et une en retrait, plus basse et perpendiculaire aux précédentes. La plus en retrait correspondrait ainsi au pouce opposable et les 3 autres à l'index, le majeur et l'annulaire. L'auriculaire est absent. Ces dépressions sont plutôt profondes, laissant supposer que l'argile à cet endroit était assez plastique, plus que sur la partie supérieure du rebord de la bauge. Les trois dépressions les plus hautes semblent correspondre à des empreintes de phalanges pliées enfoncées dans l'argile tandis que l'empreinte la plus basse correspondrait plutôt à l'empreinte pulpaire du pouce. Toutes les dépressions présentent des bourrelets d'argile repoussée. Pour le pouce, le bourrelet est plus marqué sur les bords et sur la partie distale (extérieur du doigt), la partie proximale ne laissant apparaître qu'un bourrelet très superficiel. Pour les autres doigts, c'est la partie proximale de l'empreinte qui présente le bourrelet le plus marqué (Figure 26). Ces caractéristiques vont dans le sens d'une main repliée dont le pouce et les phalanges des autres doigts ont appuyé sur l'argile. Cela expliquerait aussi l'absence de

l'auriculaire qui, dans cette position, est trop élevé pour appuyer sur le sol. À côté de cette empreinte, on constate la présence d'une trace d'appui caractérisée par un fort bourrelet d'argile repoussée, mais dont la détermination est difficile. Tout autour de cette empreinte sont présentes plusieurs traces d'appuis plus ou moins ovalaires de tailles différentes qui pourraient correspondre à des paumes de main, des talons ou encore d'autres traces de doigts.



Figure 26 : Cussac - Empreinte de doigts (TrAc 279-280) (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

3-4- Empreinte pulpaire (TrAc 283)

Au centre de la banquette se trouve une empreinte pulpaire de 1,5 cm de diamètre. Elle se caractérise par un très léger bourrelet d'argile repoussée. Elle se situe à côté, à droite de l'empreinte d'un élément planté correspondant à la TrAc n° 282 (Figure 27).

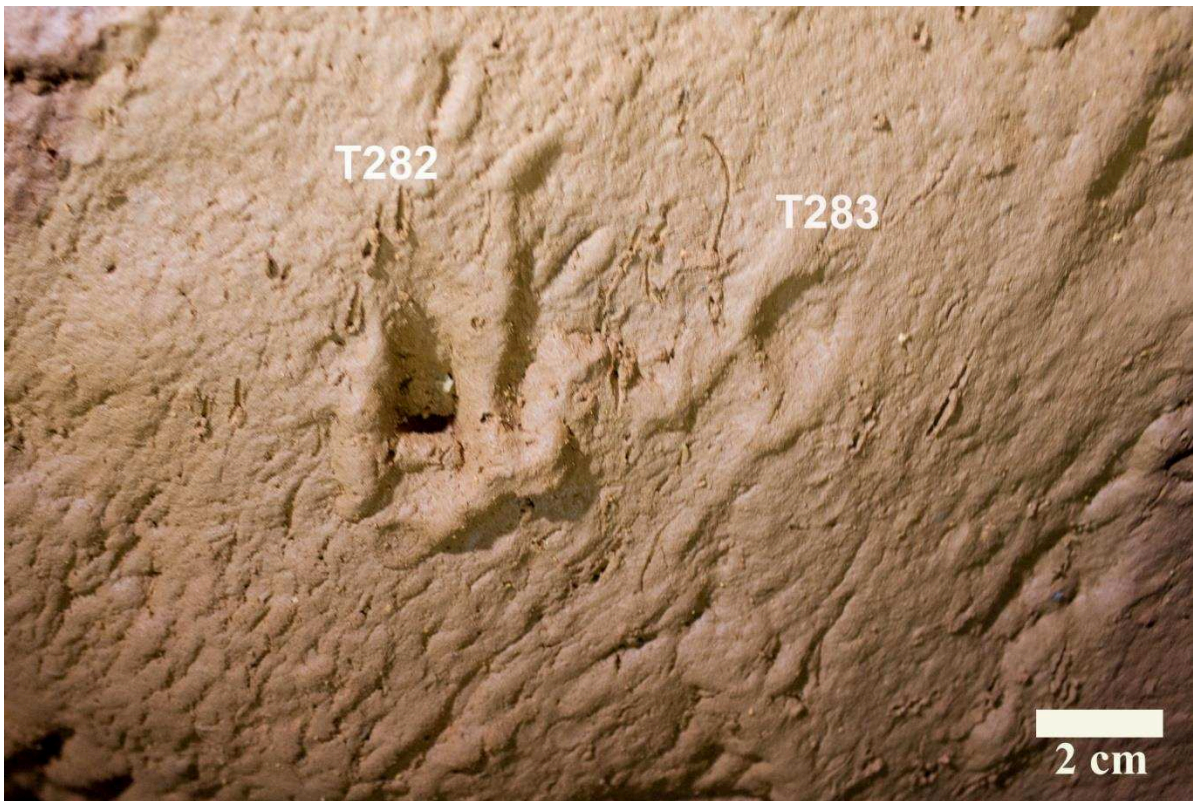


Figure 27 : Cussac - Empreinte pulpaire (TrAc 283) et élément planté (TrAc 282)
(Photographies : F. Maksud, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

3-5- Glissade (TrAc 284)

Sur la paroi verticale au-dessous de la banquette médiane, une longue trace de glissade issue d'un mouvement de haut en bas est bien visible (27 x 4 cm). Cette glissade présente des bourrelets d'argile sur ses bords. À sa base, un fort bourrelet d'argile repoussé est également attesté. Celui-ci a, cependant, été écrasé par la fréquentation récente de la cavité (Figure 28).

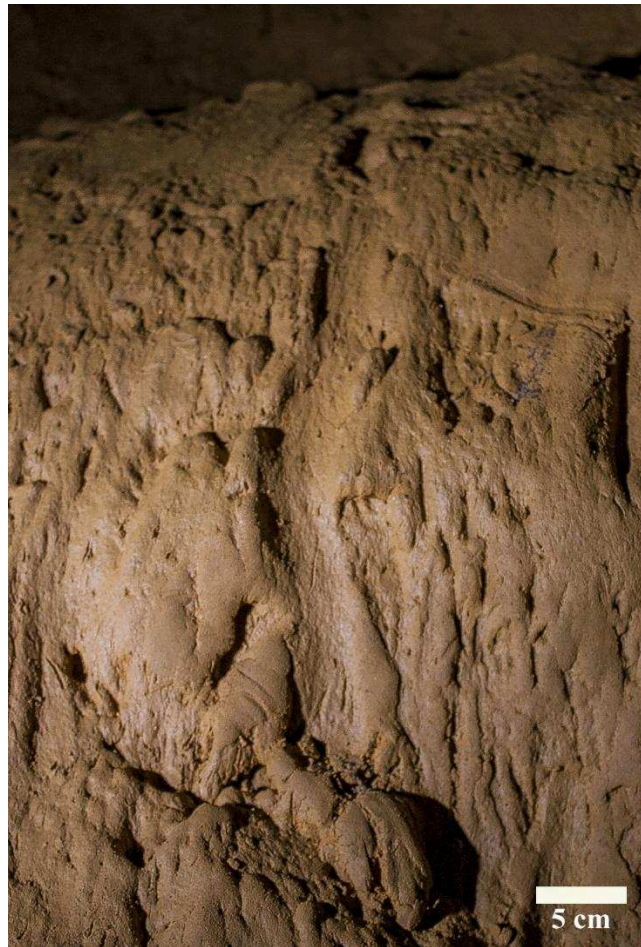


Figure 28 : Cussac - Trace de glissade (TrAc 284) (Photographies : F. Maksud et, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

3-6- Doigts (Trac 285)

Sur la partie supérieure du talus argileux formant la grande bauge, sont inscrites trois empreintes pulpaire correspondant à un appui simultané de trois doigts. En prenant en compte l'écartement des doigts avec le premier opposable aux deux autres, ceux-ci correspondraient au pouce, à l'index et au majeur. Les deux autres doigts sont absents. Leur empreinte sur l'argile est superficielle et se caractérise par la présence de petits bourrelets d'argile repoussée correspondant aux contours du bout de l'extrémité distale de la main en particulier pour l'index et le majeur. Concernant le pouce, le bourrelet d'argile est plus important du côté médial (Figure 29). L'impression de ces trois doigts nous permet de proposer une interprétation quant à la position de la main sur le sol : l'absence de l'annulaire et de l'auriculaire laisse supposer que l'individu était en appui sur le bout de ces trois premiers doigts. Sachant que, dans une telle position, il est impossible pour le pouce de reposer sur sa face palmaire, celui-ci devait donc

reposer sur son bord latéral. Par rapport à la concentration de trace sur le pourtour de la bauge, ces doigts sont plutôt isolés et situés sur la partie supérieure du rebord. On constate d'ailleurs que les traces situées dans cette partie de la bauge sont plus superficielles que celles situées plus bas, plus profondes. Cela est peut-être dû à un tassement plus important sur le rebord plat de la bauge rendant l'argile plus compacte.

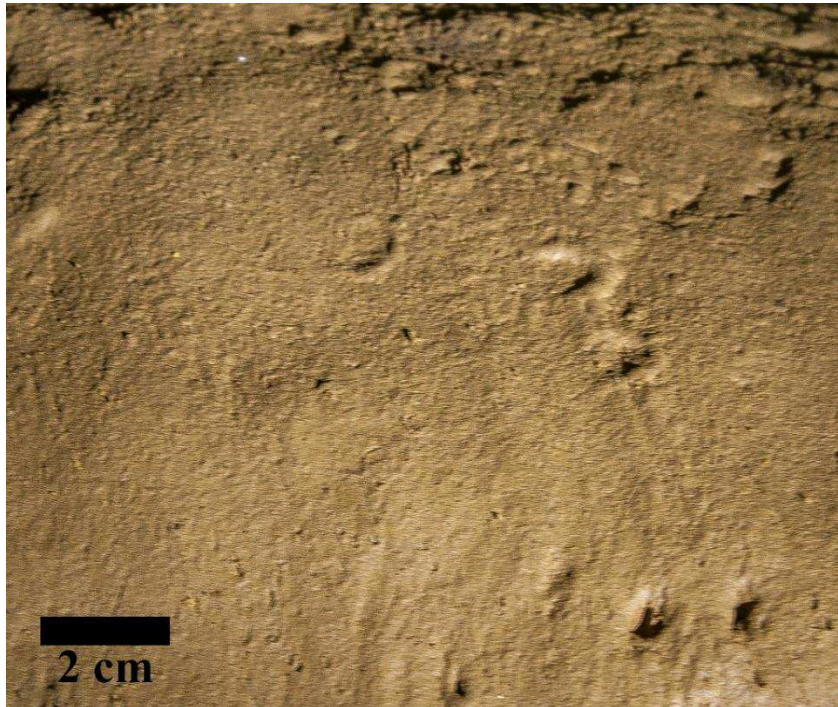


Figure 29 : Cussac - Empreinte de trois doigts (TrAc 285) (Photographies : F. Maksud et N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

3-7- Empreinte pulpaire (TrAc 286)

Sur le ressaut argileux du rebord annulaire de la grande bauge se trouve une empreinte de doigt. Elle est légèrement marquée et dans le sens de la descente. Elle se caractérise par un petit bourrelet d'argile à la base qui témoigne d'un mouvement de haut en bas (Figure 30).



Figure 30 : Cussac - Empreinte pulpaire (TrAc 286) (Photographies : F. Maksud, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

3-8- Impression glissée indéterminée (TrAc 291)

Une impression dynamique de quatre tracés parallèles (environ 1,5 cm de large) partant de la partie supérieure du rebord de la bauge et descendant dans le sens de la pente, est visible. 3 cm plus bas, ils forment une courbe et sont rejoints par deux autres tracés plus larges (2 et 2,5 cm). Ces tracés descendent sur environ 30 cm. À l'extrémité inférieure, les 4 premiers tracés se resserrent et les deux autres se poursuivent sur 10 cm (Figure 31). Plusieurs traces similaires sont constatées sur la bauge. L'origine de ces tracés reste indéterminée. Leur nombre et leur écartement ne semblant pas s'apparenter à des traces de doigts, il pourrait alors s'agir de l'impression d'un objet mais dont la nature reste pour l'instant indéterminée.

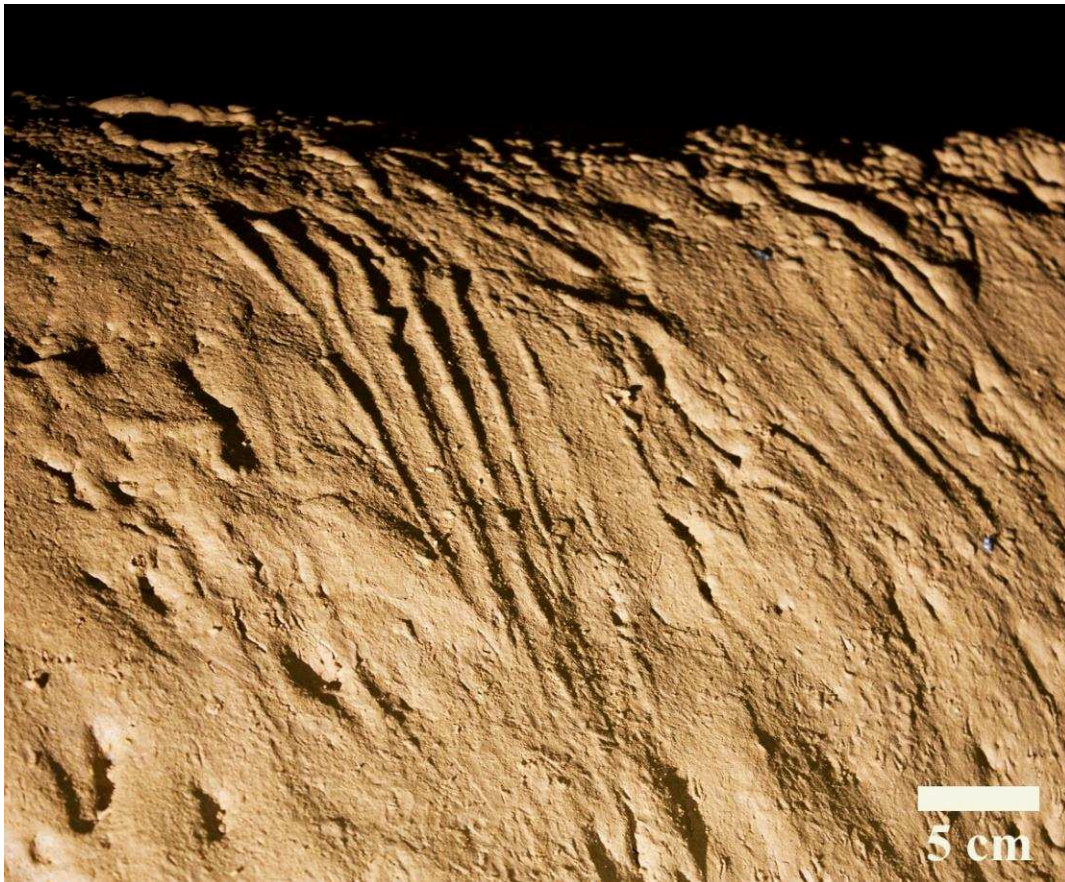


Figure 31 : Cussac - Impression glissée indéterminée (TrAc 291) (Photographies : F. Maksud, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

3-9- Pied (TrAc 321)

Cette empreinte est située au début du méandre 8-Av, dans le secteur du panneau du Réticulé, en contrebas du cheminement actuel, sur une zone fortement concrétionnée avec un pilier stalagmitique. Il s'agit d'une empreinte isolée et complète de pied gauche en direction de l'aval. Elle est imprimée dans l'argile probablement assez molle car située dans une zone très humide et sur une surface plutôt plane. Ses bords médial et latéral sont caractérisés par la présence de forts bourrelets d'argile attestant de la plasticité du support. Le bourrelet du bord médial est le plus important. La partie proximale est plus superficielle, son contour très peu marqué. La partie distale est un peu moins bien définie mais on constate la présence d'une « trace glissée » allongée qui pourrait correspondre à l'hallux. Cela confirme la latéralisation dans la mesure où il s'agit bien du bord médial de l'empreinte, celui-ci étant d'ailleurs reconnaissable par la courbure résultant de la voûte longitudinale (Figures 32 et 33). Ces éléments associés au fait que l'empreinte est située à l'aplomb du plancher stalagmitique du dessus nous laisse penser

qu'il s'agit d'une empreinte réalisée en marche normale. On peut imaginer qu'arrivé ici, l'auteur de l'empreinte est monté sur le plancher, d'où l'absence d'empreinte consécutive sur la surface.

Plus généralement, cette empreinte s'est imprimée sur une zone argileuse du secteur qui a pu être perturbée par les écoulements d'eau issus du dessus. Autour de cette empreinte, on constate la présence d'autres traces qui semblent résulter d'appuis, mais elles sont difficiles à lire et à interpréter. Sur cette même zone et oblitérant d'autres possibles appuis sont présents quatre tronçons de stalagmites englués d'argile provenant sans doute du plancher stalagmitique supérieur. Sur le rebord du ressaut s'observent plusieurs traces de glissades dont les dimensions laissent penser qu'elles sont d'origine anthropique. La zone sous ces glissades est actuellement recouverte d'un cailloutis postérieur à la fréquentation humaine qui masque la potentielle présence d'empreintes préhistoriques.



Figure 32 : Cussac - Empreinte de pied (TrAc 321) (Photographies : F. Maksud, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

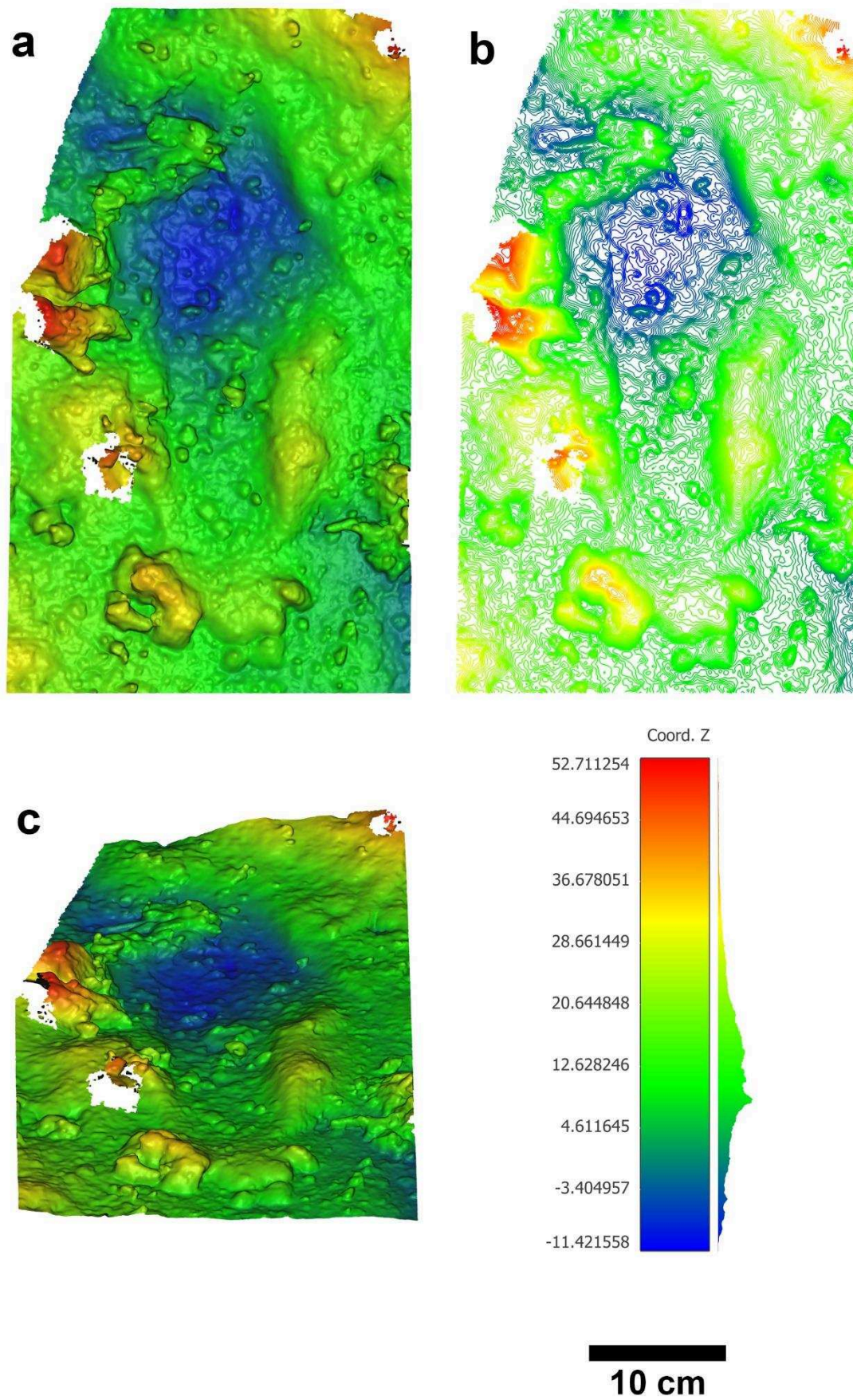


Figure 33 : Cussac - TrAc 321. a : carte de profondeur, b : isolignes, c : vue rasante.

4- Piste de quatre empreintes

Cette piste est située dans la partie aval de la cavité, juste après la descente du Panneau du Bouquetin et est orientée en direction de l'aval. Elle longe une coulée stalagmitique et est située sur une banquette argileuse partiellement calcifiée. La coulée stalagmitique qui surplombe ces empreintes est à l'origine de l'écoulement ayant provoqué leur lessivage superficiel. L'ancienneté de cette piste est cependant remise en question du fait de son altération due à un piétinement moderne (Figures 36 et 37).

4-1- Pied droit (TrAc 388-1)

Cette empreinte est celle située la plus en amont de la piste. Il s'agit d'une empreinte superficielle, quasiment complète dont la partie proximale est la plus marquée. La partie distale est quant à elle moins bien définie. Le bord latéral apparaît dans son intégralité tandis que le bord médial est absent sur toute la moitié distale de l'empreinte. Cette empreinte est accolée à la coulée stalagmitique et se dirige vers le fond de l'aval. De par cette position, il ne peut s'agir que d'une empreinte de pied droit (Figures 34 et 36). D'un point de vue taphonomique c'est sans doute l'empreinte de la piste qui a le moins souffert car aucune perturbation n'est constatée sur sa surface. Celle-ci est de plus assez légère et ne correspond pas à une empreinte de botte actuelle. Cette empreinte interroge sur l'ancienneté de la piste.

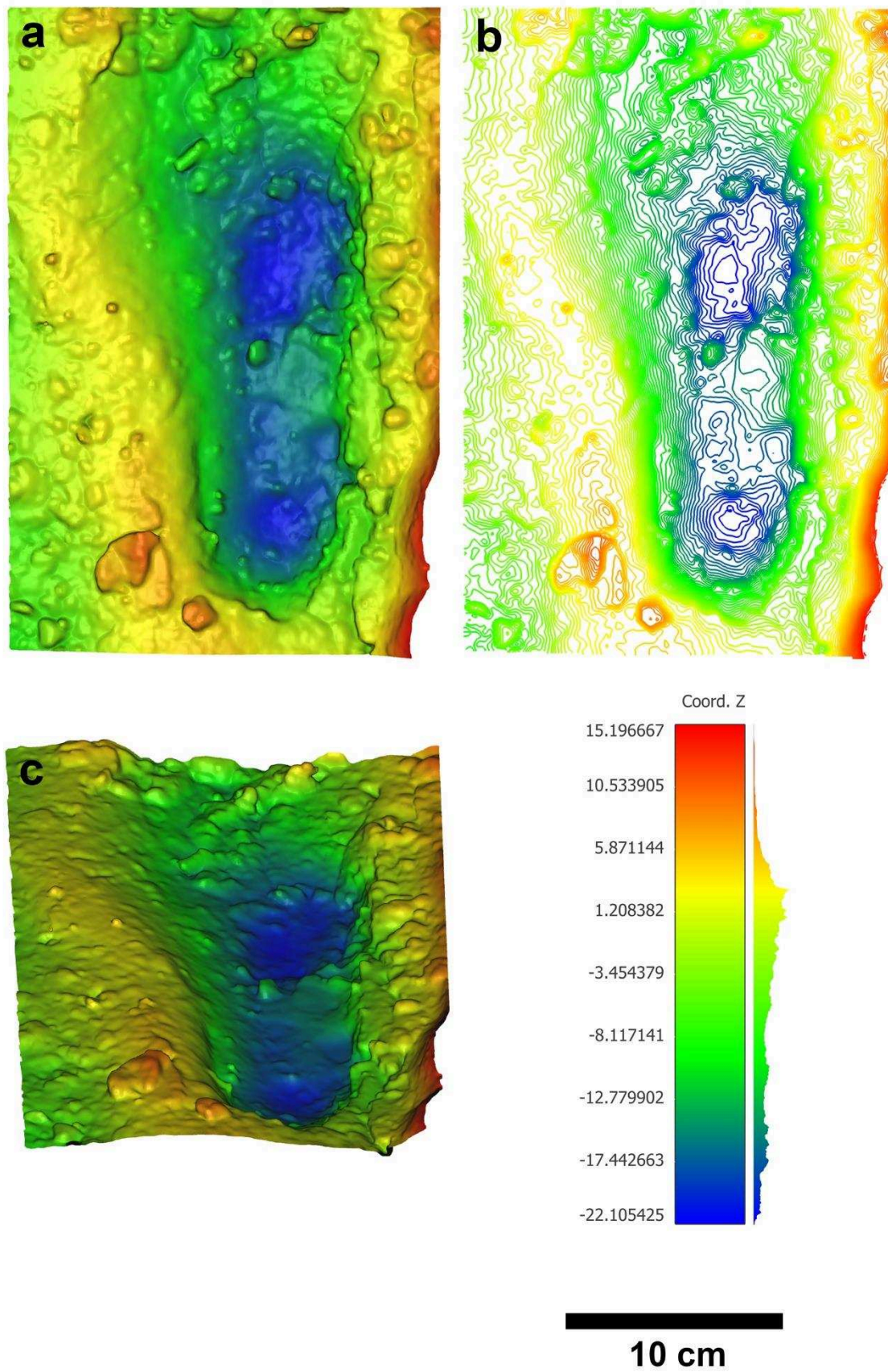


Figure 34 : Cussac - TrAc 388-1. a : carte de profondeur, b : isolignes, c : vue rasante.

4-2- Pied droit (TrAc 388-2)

Il s'agit de la deuxième empreinte de la piste, juste après 388-1. C'est une empreinte complète et très profonde qui traverse la banquette argileuse. Cette profondeur est due au fait qu'elle a été piétinée récemment. Son contour est donc assez mal défini et masqué par de nombreuses boulettes d'arrachement sur ses pourtours. La partie distale du pied est complètement déformée (Figure 36). Comme pour l'empreinte suivante son interprétation est difficile.

5- Pied droit (TrAc 388-3)

Elle est située directement après 388-2. Comme la précédente, il s'agit d'une empreinte profonde et altérée par un piétinement récent. Les contours sont bien définis mais masqués par de nombreuses boulettes d'argile d'arrachement. Elle a également traversé la banquette (Figure 36).

6- Pied droit (TrAc 388-4)

Dernière empreinte de la piste, elle est située le plus en aval. Il s'agit d'une empreinte complète avec des contours très bien définis, assez profonde et dont le fond est concrétionné. Ce concrétionnement est dû au ruissellement de gouttes d'eau provenant des recouvrements calcitiques qui se trouvent au-dessus. Cette empreinte présente également des traces de piétinements récents ayant entraîné des arrachements d'argile fraîche sur ses bords (Figures 35, 36 et 37).

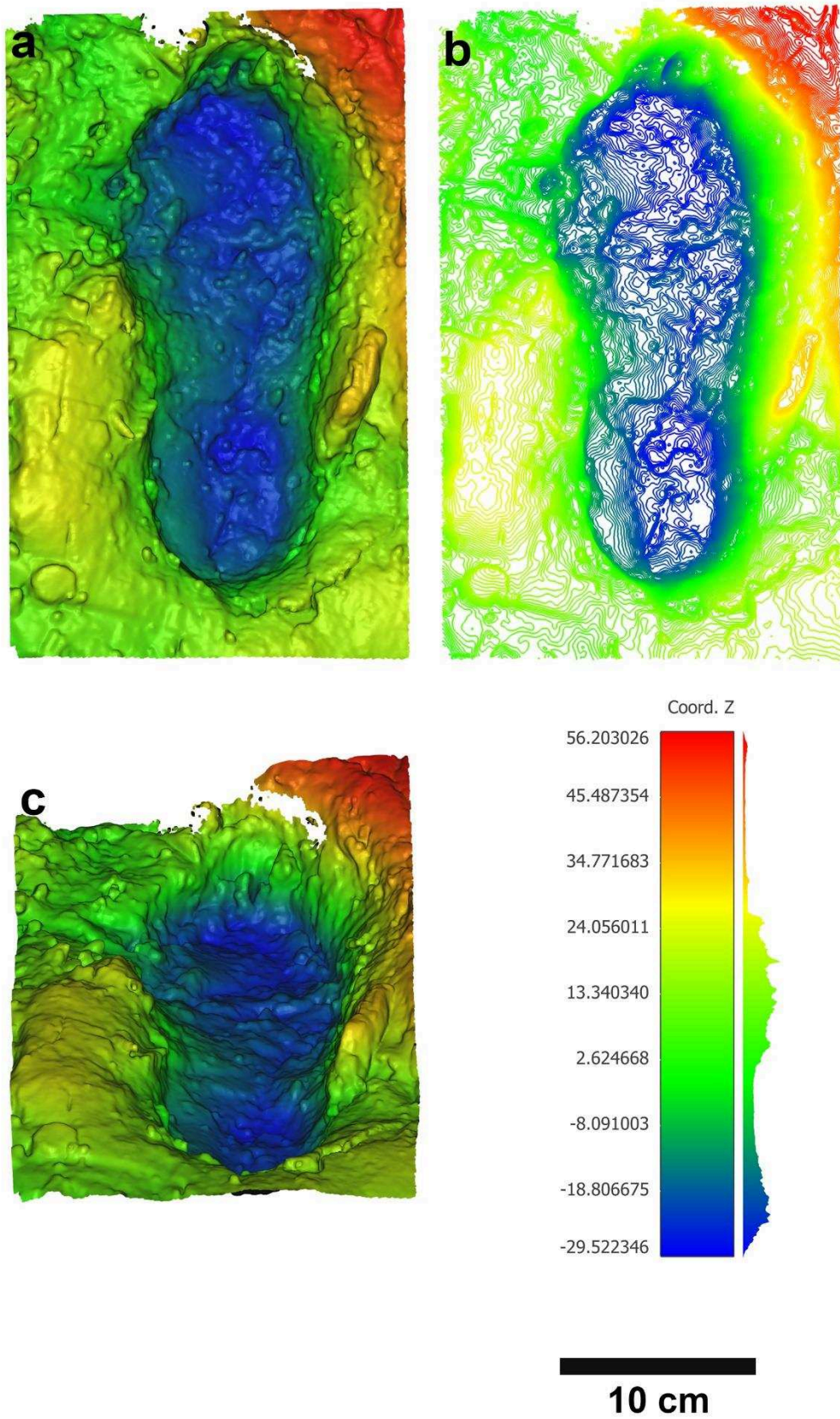


Figure 35 : Cussac - TrAc 388-4. a : carte de profondeur), b : isolignes, c : vue rasante.

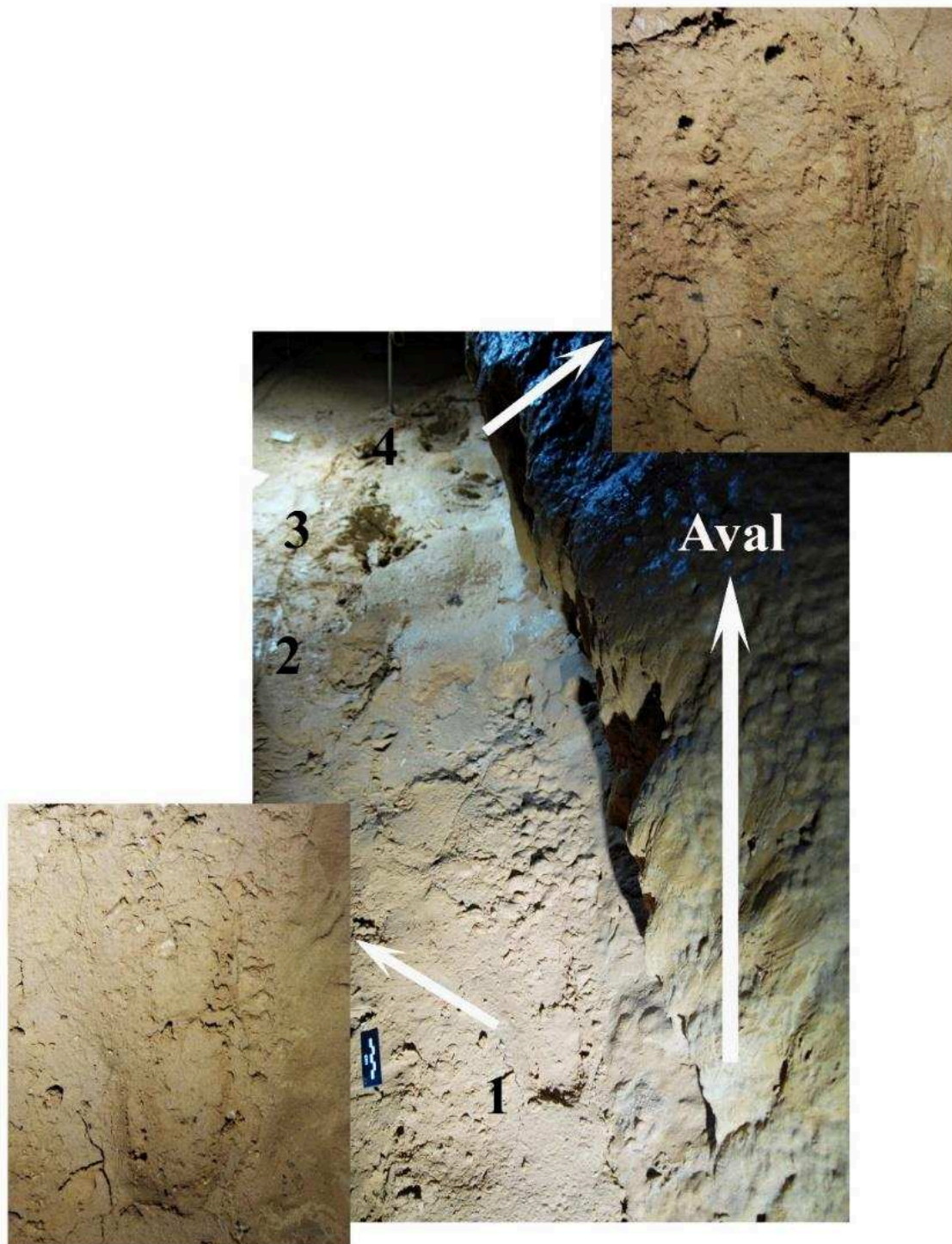


Figure 36 : Cussac - Piste de quatre empreintes (TrAc 388-1, 2, 3 et 4) (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

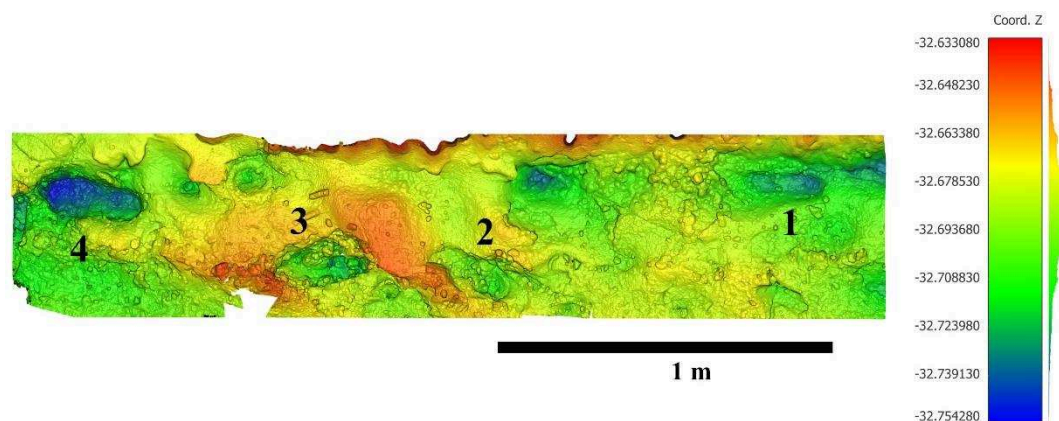


Figure 37 : Cussac - Carte de profondeur de la piste.

5- Zone d'appuis dans la boucle du méandre 9-Av

Sur un talus argileux situé à droite du cheminement actuel à la fin de la boucle du méandre 9-Av on constate une succession d'appuis et de glissades anthropiques. Parmi ces appuis, certains sont individualisables et interprétables.

5-1- Paume (TrAc 393a)

Il s'agit d'un appui qui pourrait correspondre à celui d'une main droite. Celui-ci se caractérise par de forts bourrelets latéraux sur tout le pourtour de la paume, en particulier dans sa partie proximale (correspondent à la partie la plus en amont), la partie distale étant plus écrasée. À l'avant de celle-ci, une boulette d'argile a sans doute été écrasée au moment de l'appui. Il est possible d'associer à cet appui une surface ovalaire d'environ 33 x 8 cm qui pourrait correspondre à un appui fessier. La position de la main est d'à peu près 30°, oblique par rapport à l'appui fessier. Ces deux appuis semblent synchrones (Figure 39).

5-2- Talon (TrAc 393b)

Sur une inflexion du talus, une dépression ovale semble correspondre à un appui talonnier de pied droit ayant glissé dans un mouvement vers l'amont (hauteur au sol d'environ 0,72 m). Il est plus marqué dans sa partie proximale. Celui-ci pourrait correspondre à la suite du

mouvement des appuis précédents, sachant que le mouvement se fait en descendant du talus (Figure 39).

En face de cette zone, sur la paroi, des traces de doigts argileuses peuvent également être associées à ce mouvement (Figure 38).



Figure 38 : Cussac - Trace de doigts argileux sur la paroi (TrAc 383), localisée en face de TrAc 393 (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture).

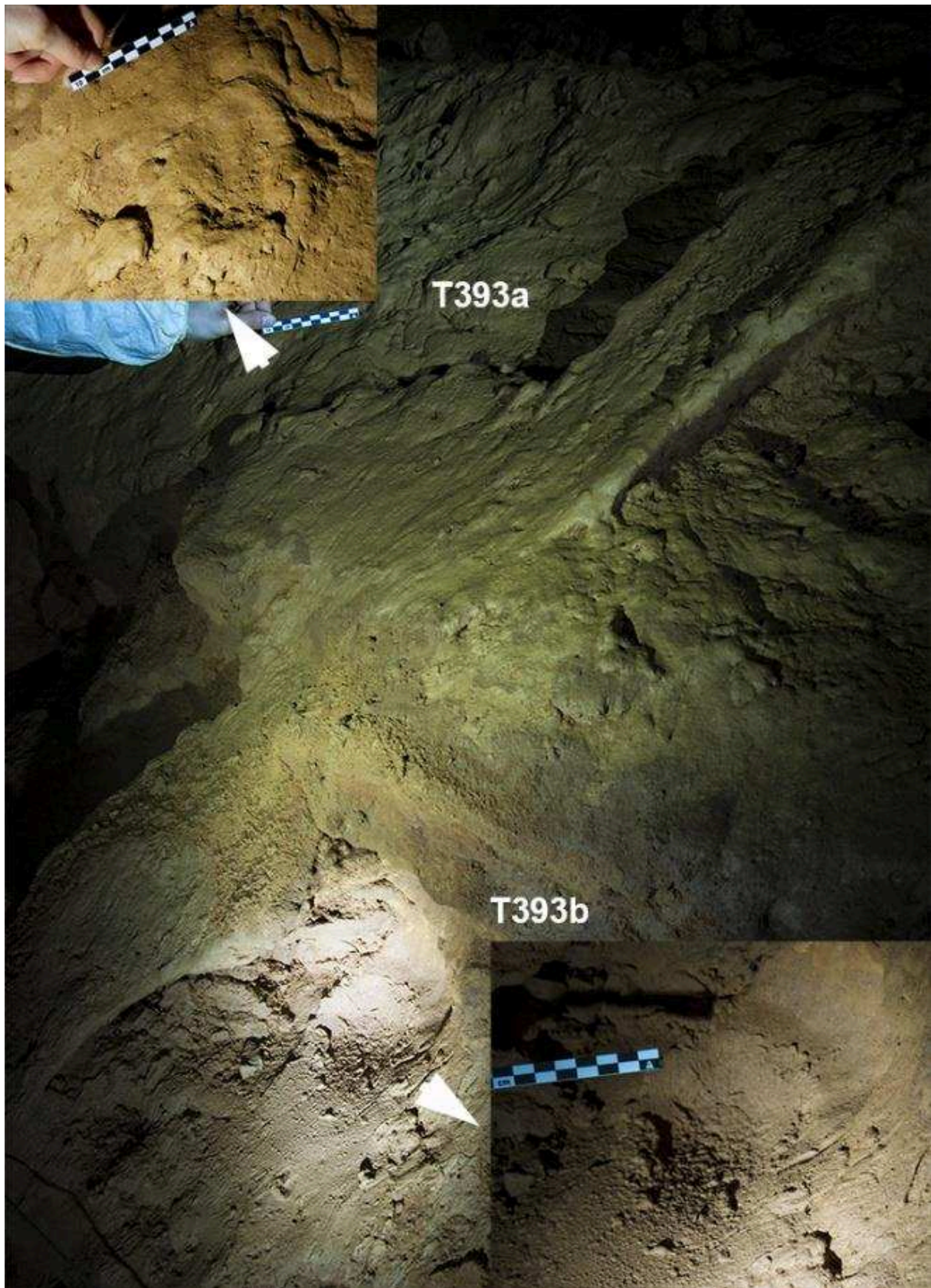


Figure 39 : Cussac - Empreintes de paume et de talon (TrAc 393a et b) (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

6- Panneau du chenal (Partie haute du méandre 14-Av)

Il s'agit d'une zone étagée en « gradins » menant au Panneau orné du Chenal et où l'on constate un certain nombre de traces dans l'argile et sur les parois témoignant aussi bien d'un ou plusieurs passages ursins qu'humains. L'individualisation de l'un ou l'autre des deux genres est donc compliquée (Figure 40). Malgré cela, à environ 3 mètres au-dessus du cheminement actuel et juste avant le panneau orné, sur un replat au pied d'un « gradin », deux empreintes à caractère humain sont individualisables.

6-1- Talon (TrAc 510a)

Il s'agit d'une empreinte de talon dans le sens de la montée et en direction du Panneau du Chenal. Celle-ci est plutôt oblongue et se caractérise par un bourrelet d'argile repoussée dans sa partie postérieure. Sa profondeur ainsi que son bourrelet proximal témoignent de la plasticité du support au moment de la formation de l'empreinte et d'un appui important du talon. L'empreinte a subi par la suite des écoulements d'eau et est donc aujourd'hui concrétionnée. Elle semble appartenir au même mouvement que l'empreinte suivante : ces deux empreintes seraient donc issues d'une même piste (Figure 40).

6-2- Talon (TrAc 510j)

Cette empreinte de talon est dans la continuité de la trace précédente et est directement située au pied du petit « gradin », elle aussi dans le sens de la montée. Elle est de forme plus arrondie que la précédente et présente également un bourrelet d'argile repoussée sur sa partie proximale, particulièrement sur son bord gauche. L'empreinte a subi par la suite des écoulements d'eau et est donc aujourd'hui concrétionnée (Figure 40).

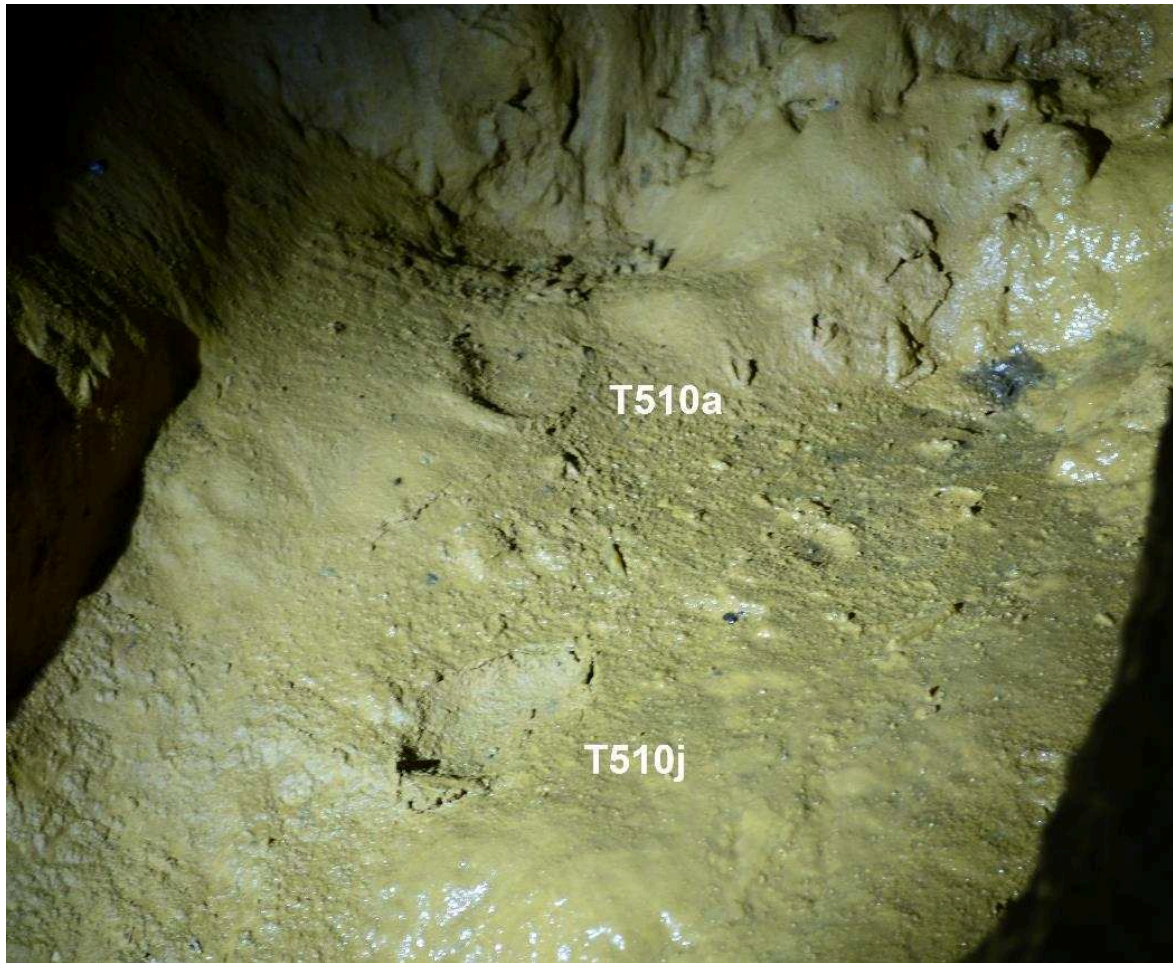


Figure 40 : Cussac - Empreintes de talons (TrAc 510a et 510j). L'éloignement des empreintes a empêché toute mise à l'échelle précise (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

7- Grand Panneau

Cette zone présente des traces de passages localisées sur un monticule argileux à gauche du cheminement actuel et après la descente de la passerelle du Grand Panneau, et dont la surface est partiellement calcifiée.

7-1- Glissades (TrAc 500)

Plusieurs glissades s'observent dans la pente en aval sous le Grand Panneau, dont une qui est particulièrement bien marquée et étroite avec un fond rectangulaire. Ce fond inhabituel ne semble pas s'apparenter à une glissade de talon. Il pourrait s'agir de l'impression glissée d'un objet (Figure 41).

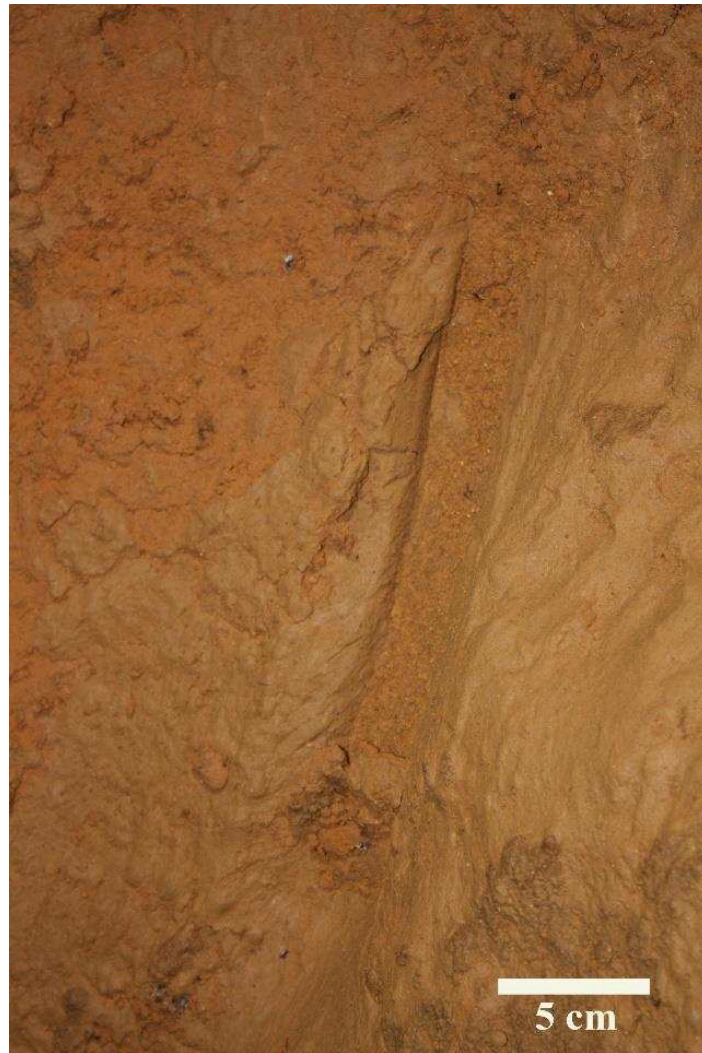


Figure 41 : Cussac- Glissade indéterminée (TrAc 500).

7-2- Empreintes de mains ? (TrAc 501)

Dans le prolongement de la TrAc 500, on constate la présence d'empreintes qui pourraient correspondre à des appuis de main. À 10 cm de l'empreinte précédente se trouvent 3 tracés parallèles de 8 cm de large au total et 2,5 cm de haut. Ceux-ci pourraient correspondre à des empreintes de bouts de doigts ou de phalanges repliées. Cinquante centimètres plus haut, un aplats pourrait correspondre à un appui de paume. Contre la partie supérieure de l'appui précédent se trouvent deux empreintes successives qui se recouvrent partiellement. Il pourrait s'agir d'appuis de doigts (Figure 42).



Figure 42 : Cussac -Empreintes possibles de mains (TrAc 501) (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

1.3.1.2.Amont

8- Pied gauche (TrAc 544)

Cette empreinte est située juste après le Panneau du Rhinocéros (direction amont). Elle se situe sur la pente d'un talus argileux et est imprimée en direction de l'aval, à contre-sens de la pente. Elle a sans doute été effectuée dans un mouvement de remontée.

Le contour général de l'empreinte est complet. La partie distale, la partie proximale et les bords latéraux du pied sont bien visibles, même si l'empreinte reste superficielle. La partie distale du pied est marquée par la présence de l'hallux, permettant sa latéralisation. Le bord latéral droit est marqué par un léger bourrelet d'argile se prolongeant sur l'arrière du pied. Ce bourrelet a, par ailleurs, probablement été écrasé à la suite d'un glissement du pied dû à la forte pente (Figures 43 et 44).



Figure 43 : Cussac - Empreinte de pied gauche (TrAc 544).

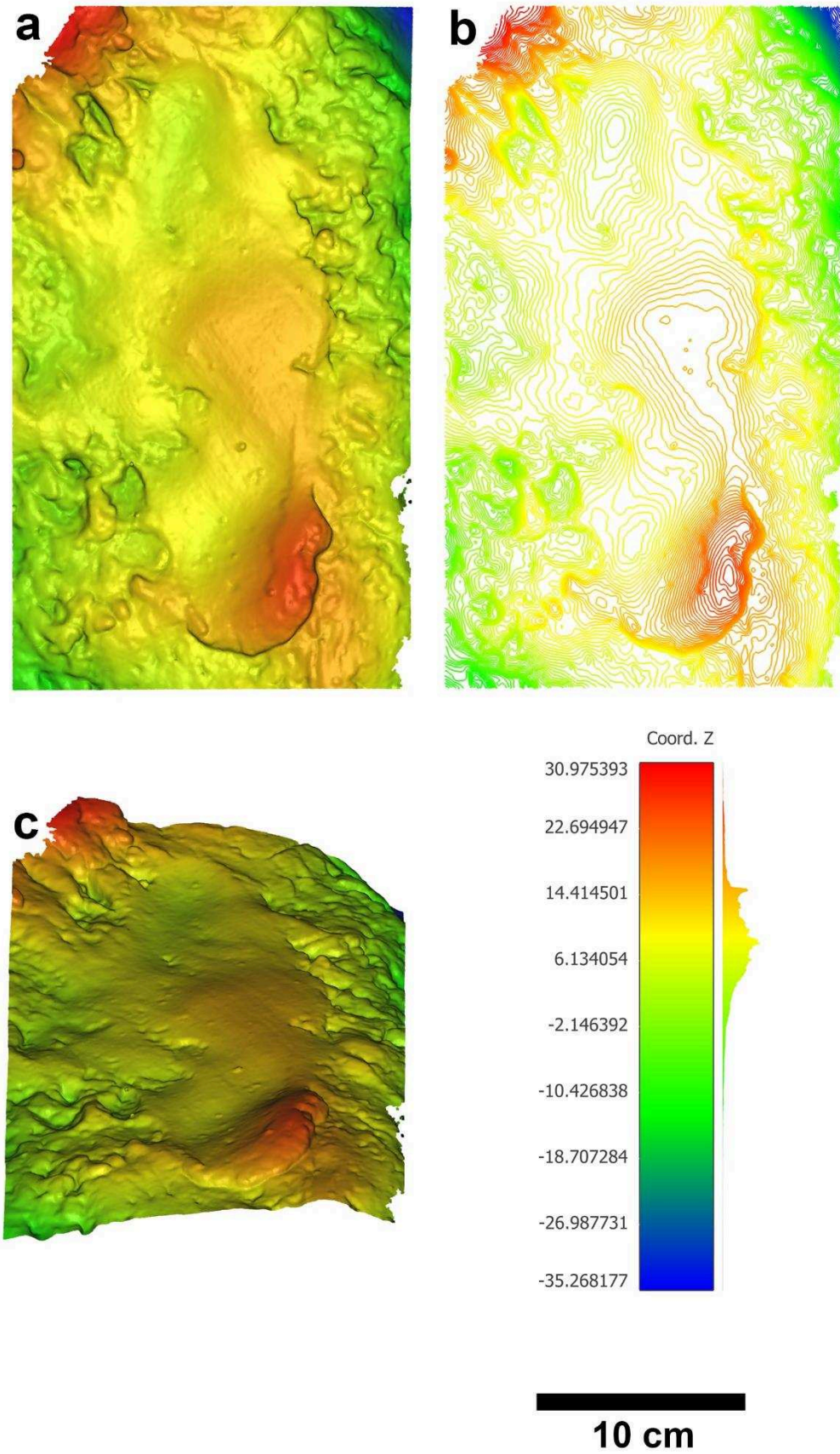


Figure 44 : Cussac - TrAc 544. a : carte de profondeur, b : isolignes, c : vue rasante.

9- Carrefour menant aux Signes au sol

Ces empreintes sont situées en branche amont, à droite du cheminement (direction amont) et d'une grande faille, au niveau du carrefour permettant de se rendre aux premiers Signes au sol.

Il s'agit d'une zone très argileuse sur laquelle on constate un certain nombre de dépressions circulaires/oblongues, assez profondes et de gabarit plus ou moins similaire. Chacune de ces dépressions est marquée sur un de ses côtés (souvent le même) par un bourrelet d'argile repoussé. Ces caractéristiques sont plutôt évocatrices d'empreintes de talons. En revanche, une voire deux des empreintes pourraient être entières. Ces empreintes sont dirigées vers l'amont et font dos à la paroi. Au total, on en compte potentiellement six. Elles sont superposées et la chronologie des différents appuis est perceptible. Leur superposition et le fait qu'elles semblent être dues à un même individu évoquent un piétinement sur place (Figures 46 et 47) La zone devait être assez plastique car il y a d'importants bourrelets postérieurs et les talons sont assez profonds. Il s'agissait peut-être d'une petite cuvette plus humide car la zone autour est plus tassée. Sur la paroi, derrière les talons, on constate la présence de doigts argileux. Ces empreintes pourraient donc masquer des empreintes antérieures dirigées dans le sens opposé. Sur l'ensemble de la paroi de cette zone, on constate des traces de doigts argileux (TrAcs 537 et 539) et de noir (TrAc 538) (Figure 45).

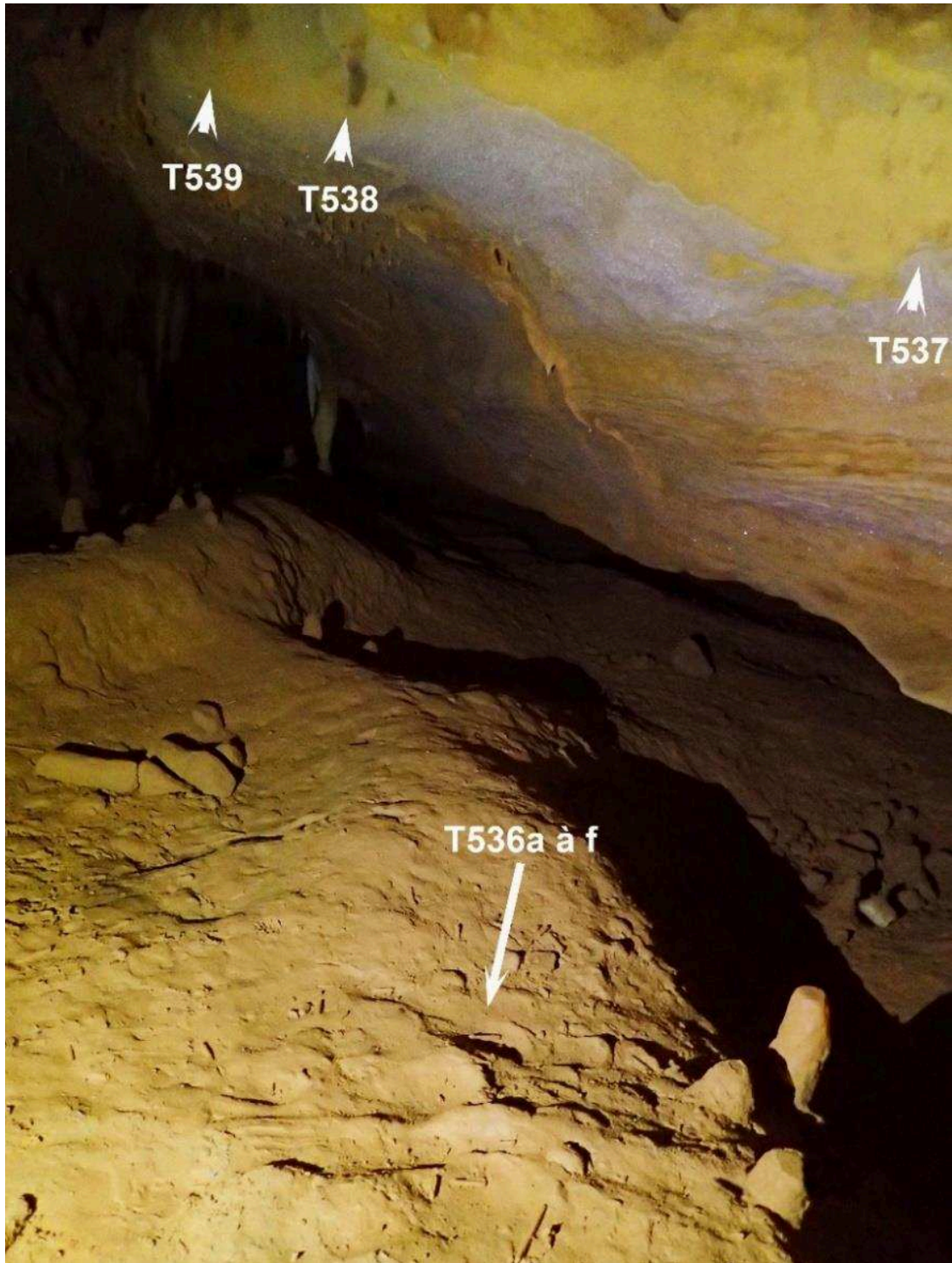


Figure 45 : Cussac - Zone dans laquelle se situent les empreintes constituant la TrAc 536. Présence de traces de doigts argileux et de traces noires sur la paroi (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

Chapitre 2

9-1- Talon (TrAc 536a)

Il s'agit de l'empreinte la plus proche du cheminement actuel lorsque l'on se dirige vers l'amont. Cette empreinte est semi-circulaire avec un bourrelet plus marqué sur le bord le plus éloigné du cheminement. Elle s'est formée après l'empreinte suivante (TrAc 536b) puisqu'elle l'oblitére (Figure 46).

9-2- Talon ou plus (TrAc 536b)

Cette empreinte est antérieure à la TrAc 536a et possiblement contemporaine à la TrAc 536c puis qu'elles sont accolées mais ne se chevauchent pas. La partie proximale est bien marquée, semi-circulaire avec un bourrelet d'argile repoussée. Celle-ci semble se prolonger à l'avant en raison de la possible présence de bourrelets latéraux dans la continuité du talon. On note, de plus, la présence de trois sillons parallèles à l'avant. Parallèles à ces sillons, d'autres sillons de même type sont aussi visibles correspondant peut-être à des orteils glissés ? (Figure 46).

9-3- Talon (TrAc 536c)

Cette empreinte large et semi-circulaire est marquée par un important bourrelet sur son pourtour. Elle est accolée à la précédente, donc possiblement contemporaine, et on constate la présence d'un très fort bourrelet d'argile entre les deux. Il s'agit de l'empreinte la plus profonde de la zone (Figure 46).

9-4- Talon (Trac 536d)

Il s'agit de l'empreinte de talon la plus en aval de la zone et qui passe sous 536e donc, formée antérieurement à cette dernière. On constate toujours un bourrelet proximal même si cette empreinte est moins profonde que les précédentes (Figure 46).

9-5- Talon (TrAc 536e)

Cette empreinte de talon est très similaire à 536d, plus en avant que cette dernière et sa partie proximale avec son bourrelet d'argile passe par-dessus la partie distale de 536d. Elle s'est donc formée postérieurement à cette dernière (Figure 46).

9-6- Talon (TrAc 536f)

Il s'agit d'une empreinte de talon semi-circulaire plus en avant que les deux précédentes et à côté (bien qu'un peu plus bas) de 536d. Celle-ci présente un petit bourrelet d'argile sur son pourtour mais est beaucoup plus superficielle que les autres (Figure 46).

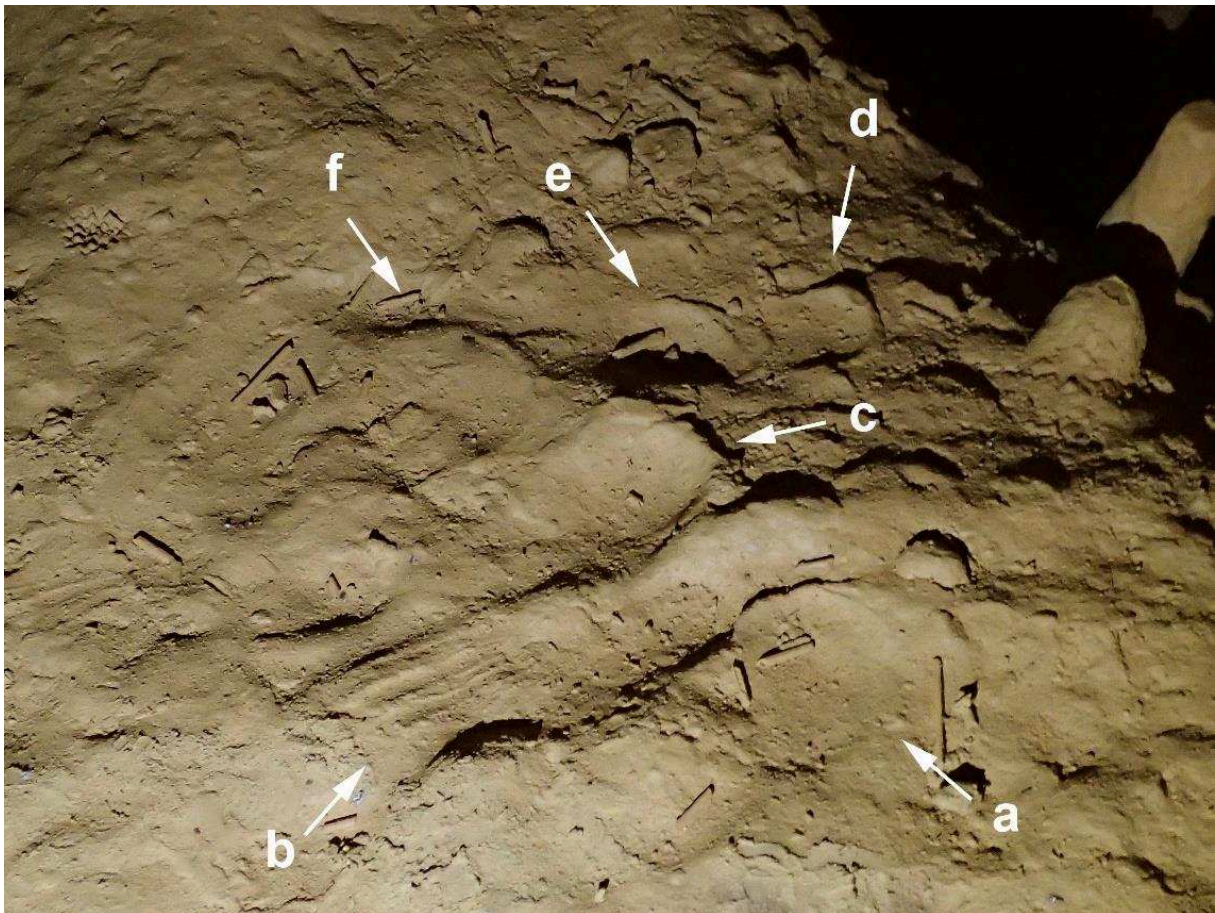


Figure 46 : Cussac - Empreintes de talons (TrAc 536a à 536f).

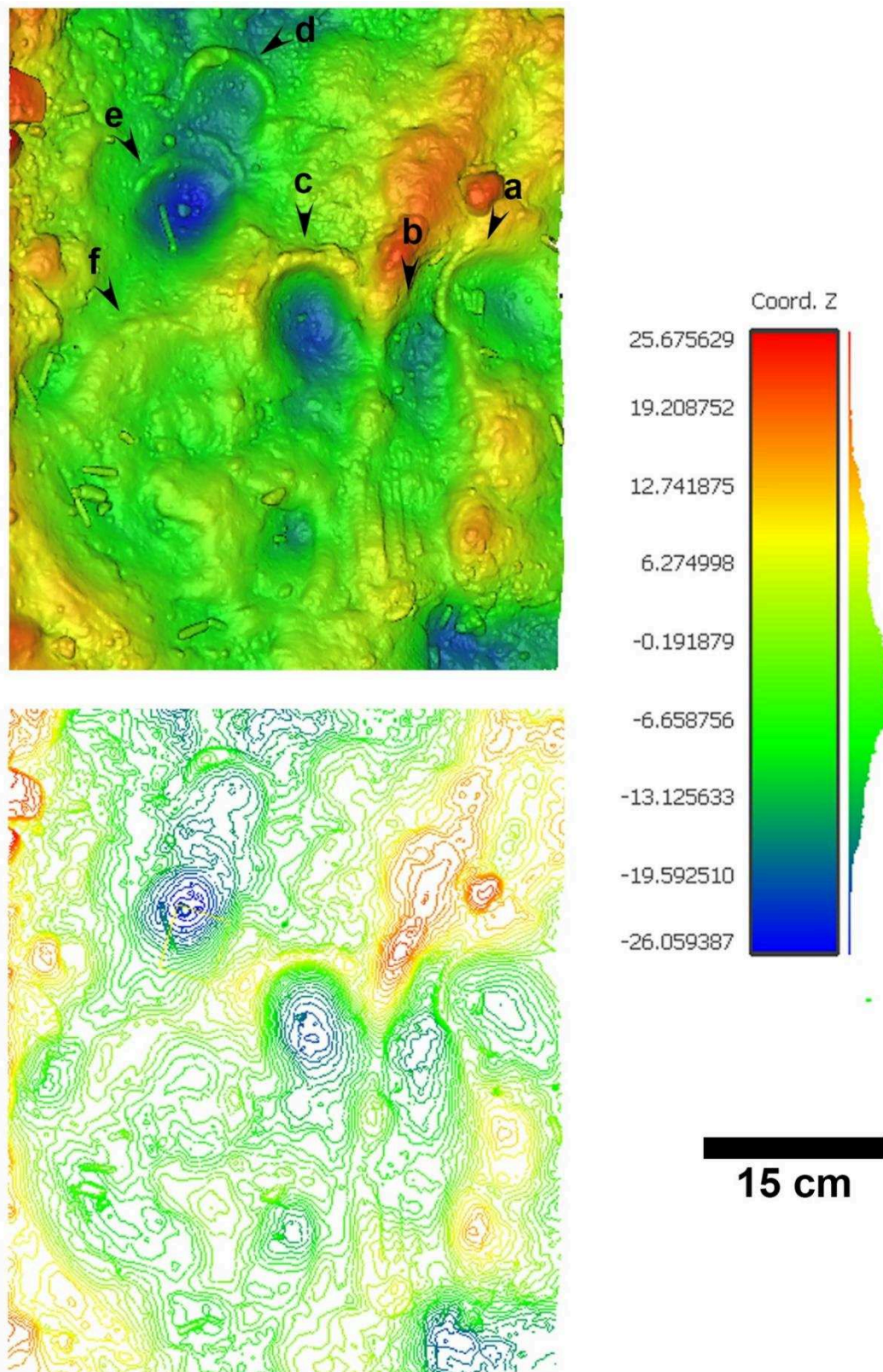


Figure 47 : Cussac - TrAc 536 : a : carte de profondeur, b : isolignes.

La localisation et les mesures des différentes empreintes sont récapitulées dans les tableaux 2, 3 et 4, tandis que la Figure 48 présente la position précise des empreintes sur la topographie générale de la grotte.

	TrAc	Type	Secteur
Aval	166	ped	Locus 1 (M. 5-Av/6-Av)
	222	impression	Locus 2 (M. 6-Av)
	277	dépression	Panneau du Bouquetin (M. 7-Av)
	278	dépression	Panneau du Bouquetin (M. 7-Av)
	279-280	doigts	Panneau du Bouquetin (M. 7-Av)
	283	doigt	Panneau du Bouquetin (M. 7-Av)
	284	glissade	Panneau du Bouquetin (M. 7-Av)
	285	doigts	Panneau du Bouquetin (M. 7-Av)
	286	doigt	Panneau du Bouquetin (M. 7-Av)
	291	impression	Panneau du Bouquetin (M. 7-Av)
	321	ped	Panneau du réticulé (M. 8-Av)
	388-1	ped	Méandre 9-Av
	388-2	ped	Méandre 9-Av
	388-3	ped	Méandre 9-Av
	388-4	ped	Méandre 9-Av
	393a	paume	Locus 3 (M. 9-Av)
	393b	talon	Locus 3 (M. 9-Av)
	510a	talon	Panneau du Chenal (M.14-Av)
	510j	talon	Panneau du Chenal (M.14-Av)
	500	glissade	Grand Panneau (M. 14-Av)
501	mains ?	Grand Panneau (M. 14-Av)	

Tableau 2 : Inventaire et localisation des empreintes de Cussac (1/2).

	TrAc	Type	Secteur
Amont	544	ped	Panneau du Rhinocéros (M.7-Am)
	536a	talon	ST 202 à ST 205 (M.7-Am)
	536b	talon	ST 202 à ST 205 (M.7-Am)
	536c	talon	ST 202 à ST 205 (M.7-Am)
	536d	talon	ST 202 à ST 205 (M.7-Am)
	536e	talon	ST 202 à ST 206 (M.7-Am)
	536f	talon	ST 202 à ST 206 (M.7-Am)

Tableau 2 : Inventaire et localisation des empreintes de Cussac (2/2).

TrAc	Type	Longueur (cm)	Largeur dist. (cm)	Largeur moy. (cm)	Largeur prox. (cm)
166	ped	30,1	10	9,4	6,8
321	ped	31	8,9	8,1	6,3
388-1	ped	19	4,1	5,6	5,3
388-2	ped	20,4	5,6	7,8	5,9
388-3	ped	22,6	4,4	5,1	5,1
388-4	ped	24,8	7,4	6,8	5,7
393b	talon				7,4
510a	talon				
510j	talon				
544	ped	26,5	7,6	5,2	5,1
536-1	talon				7,1
536-2	talon				5,8
536-3	talon				8,6
536-4	talon				10,3
536-5	talon				7,7
536-6	talon				7,3

Tableau 3 : Biométrie des empreintes de pieds de Cussac.

TrAc	Type	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Diamètre (cm)
222	impression	6 à 8	4	
277	dépression			4/5
278	dépression			3,5
279-280	doigts	9,6	9,3	
283	doigt			1,5
284	glissade	27	4	
285	doigts	6,8	7,8	
286	doigt	3	1,5	
291	impression	30	15	
393a	paume	7	11,4	
500	glissade	18,4	2,8	
501	main ?			

Tableau 4 : Biométrie des autres empreintes de Cussac.

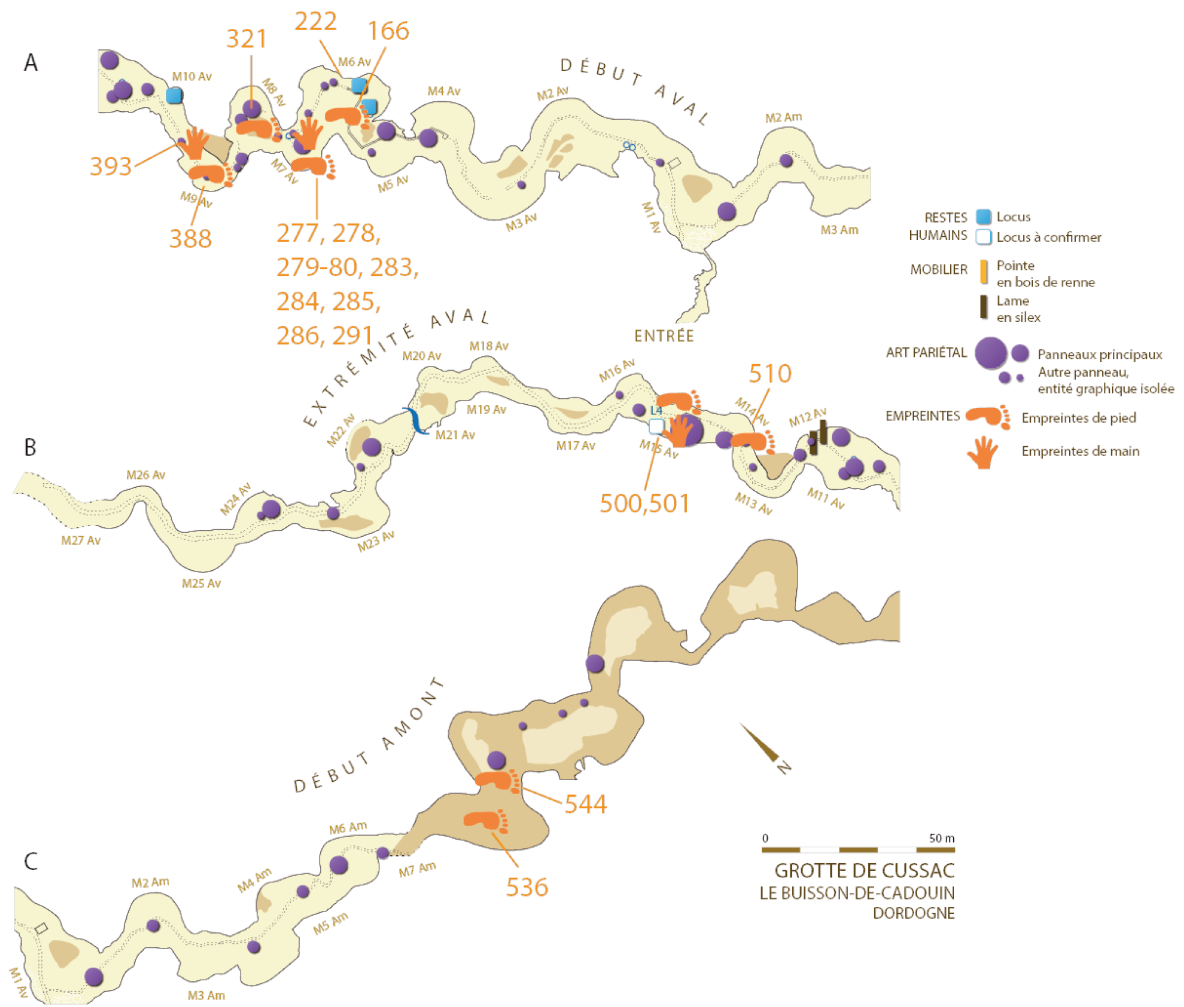


Figure 48 : Localisation des empreintes dans la grotte de Cussac.

1.4. Synthèse et interprétation

1.4.1. Un contexte particulier

Le nombre, finalement assez réduit, des empreintes humaines décrites ci-dessus ne représente en aucun cas la quantité réelle des empreintes présentes sur les sols de la grotte. Comme nous l'avons vu précédemment, les différents remplissages sédimentaires, postérieurs à la fréquentation humaine, ont endommagé les sols, entraînant d'importantes difficultés de détermination et nous laissant face, la plupart du temps, à des empreintes isolées rendant l'interprétation limitée. La difficulté de détermination se rencontre également dans certains secteurs pourtant épargnés par ces événements, mais dont les caractéristiques sédimentaires au moment du passage des individus ne semblaient pas se prêter à l'impression d'empreintes. C'est ainsi que nous nous retrouvons confronté à des zones telles que le Grand Panneau sur lesquelles, malgré la présence de nombreuses traces superficielles, nous ne sommes pas en mesure d'identifier précisément les empreintes. Heureusement, certains espaces, comme la bordure de la bauge située sous le Panneau du Bouquetin, présentent des empreintes variées, très bien conservées et à l'identification aisée. D'un point de vue ichnologique, Cussac est donc loin d'être à l'image d'autres sites à empreintes tels que Fontanet, Le Tuc d'Audoubert Pech-Merle, l'Aldène ou encore Chauvet (Rouzaud, 1978 ; Garcia, 2005 ; Bégouën, et al., 2007 ; 2009 ; Pastoors et Weniger, 2011 ; Pastoors et al., 2015, 2017). L'importance de replacer les empreintes au sein d'un ensemble d'autres traces d'activités est donc essentielle, d'autant plus lorsque celles-ci ont une conservation si contrastée. L'inventaire réalisé sur les traces d'activités de Cussac et l'association des traces en paroi et au sol nous a permis de mettre en évidence des cheminements, ce qui n'aurait pas été aisé avec les seules empreintes. Certaines zones prospectées (méandres 7-Av, 8-Av et 9-Av) illustrent parfaitement notre propos par leur concentration importante en traces relatives à des déplacements (Figure 49). La proportion significative de TrAcs dans cette partie de la grotte s'explique sans doute par la présence des panneaux ornés du Bouquetin et du Réticulé. Trois pistes humaines ont été identifiées dont deux correspondent au cheminement actuel. La première piste est située dans la partie supérieure du méandre 7-Av (suivant la « piste des ours ») et s'étend jusqu'au Panneau du Bouquetin. Elle est caractérisée par la présence de traces rouges sur la paroi plafonnante (TrAcs n° 234, 269, 270, 272, 273) et d'une concentration importante de tous types de traces sous le Panneau (empreintes de talons, doigts, glissades, etc.) qui sont probablement liées à la réalisation des gravures (TrAcs n° 277 à 299) (Figure 49 c et d). La seconde piste est située dans la zone du Panneau du Réticulé et suit plus ou moins le cheminement actuel. Elle se distingue par la

présence de nombreuses traces d'argile sur la paroi qui correspondent principalement à des essuyages de doigts. Plusieurs traces de passages rouges ont aussi été inventoriées le long de la paroi de cette zone. Enfin, une empreinte dirigée vers l'aval et un mouchage de torche localisé sur une concrétion et réalisé dans le sens aval-amont témoignent d'un cheminement dans les deux sens de circulation (Figure 49 a et b). La dernière piste part du Panneau du Bouquetin et descend directement au début du méandre 9 en recoupant le méandre 8. Les traces observées sur le sol correspondent à des glissades, des traces indéterminées et une potentielle empreinte de pied, en bas de la descente (TrAcs n° 356 et 357). Ces éléments suggèrent plutôt un mouvement allant du haut vers le bas. Cette dernière piste est prolongée par la totalité du méandre 10 et le secteur du Locus 3 dont la configuration ne permet qu'un cheminement et qui se caractérise par de nombreuses traces de doigts argileux en paroi et dépôts charbonneux en bas de paroi, quelques gravures et bien sûr la présence des vestiges humains du Locus 3 (TrAcs n° 366, 367, 372, 374, 434) (Figure 49 e).

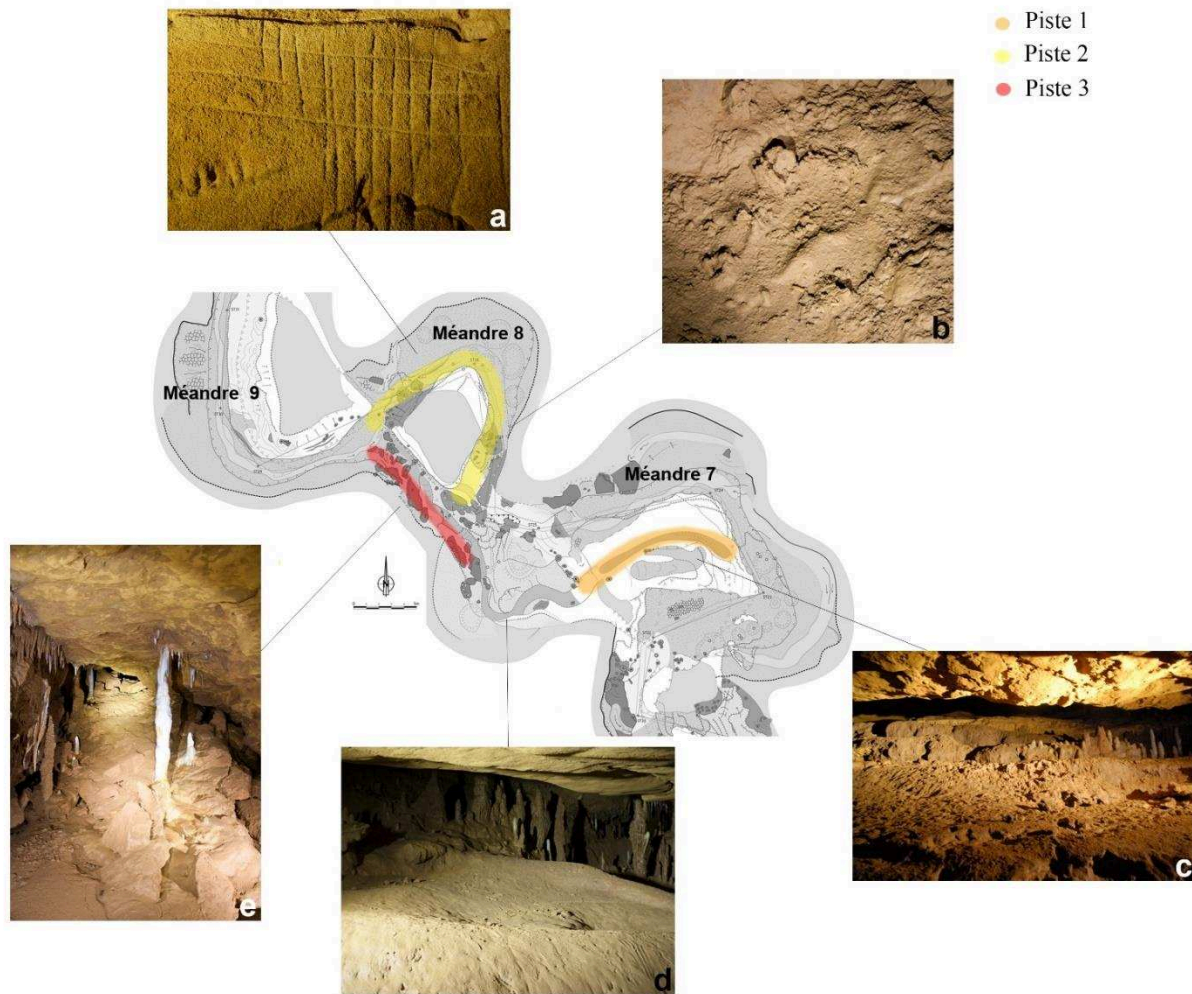


Figure 49 : Cussac - Localisation de trois pistes mises en évidence au niveau des méandres 7, 8 et 9. a : Panneau du réticulé, b : empreinte de pied (TrAc 321), c, partie haute du méandre 7, d : zone sous le Panneau du Bouquetin, e : descente constituant la 3ème piste (photographies : F. Maksud et N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).

1.4.2. Fréquentation

La prise en compte de l'ensemble des traces d'activité pour le seul secteur prospecté nous a permis de mettre en évidence une utilisation quasiment exhaustive de la cavité par les Gravettiens. Comme dans de nombreuses autres grottes, ces derniers ont exploré tous les

secteurs accessibles même les plus complexes d'un point de vue topographique (Rouzaud, 1978 ; Bégouën et al., 2009 ; Le Guillou, 2005 ; Clottes, 2010).

Malgré cette omniprésence de l'Homme dans la cavité et l'abondance des traces retrouvées, il semble que ses incursions aient été très peu nombreuses (voire unique ?), chronologiquement proches et en groupe très réduit. En effet, aucun témoignage, que ce soit les empreintes au sol, les traces en paroi ou les artefacts retrouvés, ne penche en faveur d'une occupation dans la grotte sur la durée, ni de stationnement long, et cela même dans les secteurs ornés. Les mouchages montrent une progression dans les deux sens et, bien que leur nombre soit important du fait de la longueur de la galerie, leur disposition régulière ne semble pas indiquer de passages répétés. Les traces de matière colorante rouge, et en particulier les traces non intentionnelles souvent présentes au niveau des passages étroits, plafonds bas, et encorbellements de la paroi, suggèrent elles aussi peu de déplacements tant elles sont parfois furtives.

En ce qui concerne les empreintes, quand elles sont bien préservées et visibles, on constate qu'il n'y a quasiment pas, voire pas du tout, de superpositions qui pourraient indiquer que la cavité ait été visitée à plusieurs reprises. La zone du Panneau du Bouquetin est encore une fois bien représentative puisque les empreintes y sont bien individualisées, espacées et variées, ce qui va à l'encontre d'un scénario mettant en scène un nombre important d'individus sous le panneau ou de multiples passages. Au vu de l'abondance des empreintes d'ours sur la majorité des parois et sols, mais aussi de sa présence dans l'ensemble de la cavité, les traces de piétinement intense visibles dans de nombreux secteurs de la cavité sont probablement imputables aux différentes fréquentations ursines. Cela semble d'autant plus le cas que les empreintes humaines identifiées viennent toujours par-dessus ces piétinements.

1.4.3. Comportement

La prospection systématique de la cavité a permis de mettre en lumière certaines informations comportementales.

Comme indiqué précédemment, de nombreux mouchages de torche sur paroi ou sur concrétion jalonnent la galerie, et ce dans les deux directions. En revanche, peu d'entre eux se retrouvent associés à des panneaux ornés. Cela laisse donc imaginer l'utilisation de lampes dans les zones de stationnement. À l'heure actuelle, seules deux lampes ont été localisées dans la grotte, toutes

deux situées en branche amont. Bien que celles-ci n'aient, pour l'instant, pas été observées en détail, il semblerait qu'elles soient issues d'éléments calcaires bruts déjà présents dans la grotte puis abandonnés après utilisation. L'absence de lampes en aval, même si elle n'est pas encore certaine, pourrait signifier soit qu'elles ont été sorties de la cavité, soit qu'elles n'ont pas été utilisées en aval.

Les traces de matière colorantes en paroi témoignent d'une utilisation de l'ocre directement sur les individus. On imagine ainsi le ou les individus portant de l'ocre en quantité inconnue, celle-ci se déposant sur les parois lors de cheminements dans des passages étroits favorables au frottement de la tête le plus probablement, ou des épaules, des vêtements ou encore de l'équipement, contre la paroi ou le plafond.

Enfin, la question du port de chaussant souple par les individus ayant fréquenté la cavité est une interrogation récurrente à Cussac. Les prémices de notre réflexion ont eu lieu lors de nos observations sous le Panneau du Bouquetin. En effet, nombre de traces correspondant à des appuis d'extrémités de doigts (parfois les doigts d'une même main) ont été observées sur le rebord de la bauge constituant la zone (Figures 26, 27, 29 et 30). En revanche, et alors que nous sommes sous un panneau orné, aucune empreinte de pied clairement défini n'a pu être mise en évidence. Seules des empreintes circulaires ou oblongues pouvant correspondre à des talons ont été interprétées comme des appuis plantaires (Figure 25). Des glissades le long de la bauge témoignent également de la présence humaine sur ce rebord (Figure 28). Dans la mesure où les doigts ont clairement marqués, notre interrogation s'est naturellement portée sur l'absence d'orteils, d'autant plus que celle-ci se remarque également sur les trois empreintes de pieds complètes de la cavité (TrAcs n° 166 et 321 et 544) et la piste de quatre empreintes (TrAc n° 388) (Figures 20, 32, 36 et 43). En outre, la présence des doigts sur une empreinte de main d'ours recouverte d'argile de décantation et localisée non loin de la TrAc n°166 a également appuyé notre interrogation (Figure 15 a). Toutefois cette hypothèse du port de chaussant ne pourra être confirmée qu'une fois les facteurs taphonomiques et biomécaniques écartés. C'est pourquoi cette question, constituant un des axes principaux de ce travail doctoral, est traitée dans la partie qui suit au travers de plusieurs expérimentations.

1.4.4. La fonction du site

La majorité de nos interprétations sont basées sur les traces d'activités découvertes et inventoriées en branche Aval et les quelques traces déjà inventoriées en branche Amont. Cependant, les différentes incursions dans chacune de ces branches démontrent déjà l'existence de différences entre ces deux parties. En effet, aucun reste humain n'a pour l'instant été identifié en branche Amont et les gravures y sont généralement isolées et éloignées les unes des autres, contrairement à la branche Aval dans laquelle de nombreuses gravures sont réalisées au sein de grands panneaux. La topographie des deux branches est également différente. Ces constats soulèvent donc plusieurs questions auxquelles nous tenterons de répondre au fur et à mesure des prochaines missions : la topographie influence-t-elle les activités humaines ? Ces différences reflètent-elles la présence de deux groupes humains distincts ? Y-a-t-il une utilisation différente de la cavité en branche Aval et en branche Amont ?

Actuellement la caractéristique principale de Cussac est d'associer au sein d'un même lieu un art gravé monumental et des dépôts sépulcraux, les deux datés du Gravettien. Ces éléments couplés à la fréquentation très furtive de la grotte, mise en évidence grâce aux traces d'activité, penchent donc en faveur d'un endroit sacré dans lequel prennent place des activités symboliques. Même si la stricte contemporanéité de l'art et des restes humains ne peut être établie, les traces d'activités peuvent nous aider à faire le lien et à démontrer l'homogénéité des différents témoignages humains de la branche Aval. En ce qui concerne la branche Amont, les recherches à venir permettront de vérifier si sa fréquentation et sa fonction sont bien différentes de la branche Aval.

1.5. Perspectives

Les données présentées ici, sont le résultat de six années de prospection et d'inventaire des traces d'activités humaines et animales dans la grotte de Cussac. Au vu de la conservation très hétérogène et, dans certains secteurs médiocre, des sols paléolithiques, peu d'empreintes indubitablement humaines ont finalement été découvertes. Cussac n'en reste pas moins une cavité au potentiel ichnologique important et surtout un défi en termes d'étude (toutes disciplines confondues), de par les contraintes imposées par sa politique de conservation mais également de par ses problématiques taphonomiques variées. C'est pourquoi notre étude s'est

dans un premier temps focalisée sur l'aspect taphonomique nous ayant conduit à développer une approche expérimentale, détaillée dans la partie suivante. Les connaissances acquises ces cinq dernières années en matière de repérage des empreintes et en ce qui concerne la compréhension générale de la fréquentation de la cavité nous aident désormais à la mise en évidence de traces qui n'auraient peut-être pas été considérées il y a quelques années. Par conséquent, nous envisageons de revenir sur certains secteurs de la cavité, explorés au début de nos recherches et sur lesquels nous pensons désormais pouvoir mettre en évidence de nouvelles empreintes. Un de ces secteurs est celui de la galerie basse du Panneau de la Découverte (méandre inférieur 5-Av) dont le sol paléolithique est recouvert d'argile de décantation et sur lequel nous avons pu individualiser une empreinte de main d'ours complète. Ce secteur, dans lequel les différentes traces retrouvées sur les parois (traces de matières colorantes, mouchage de torche, trous non naturels dans les argiles de remplissage, etc.) témoignent d'au moins un passage humain présente, au sol, de nombreuses dépressions qui mériteraient une nouvelle expertise.

La poursuite de la prospection en branche Aval est également prévue ainsi qu'une prospection en branche Amont dans laquelle nous avons déjà repéré plusieurs empreintes. Les sols de la branche Amont ont, semble-t-il, moins souffert des remplissages sédimentaires que ceux de la branche Aval : nous avons donc bon espoir en ce qui concerne la présence de nouvelles empreintes sur leur surface².

Enfin, l'étude des empreintes humaines a jusqu'à présent été privilégiée. Or, Cussac est aussi remarquable par l'omniprésence de l'ours dans l'ensemble de la cavité, ce dernier ayant probablement occupé la grotte sur plusieurs générations avant que les Hommes n'investissent les lieux. Aucune preuve n'atteste, cependant, d'une fréquentation ursine postérieure à la fréquentation humaine. L'intérêt de la réalisation d'une étude des empreintes et autres traces de fréquentation ursine est double. Dans un premier temps, la reconnaissance de ce type d'empreintes, peut être utile pour la détermination des empreintes humaines, en particulier dans des sites comme Cussac où les superpositions et les problèmes taphonomiques perturbent l'identification des empreintes. La présence de l'ours est récurrente dans les grottes fréquentées par l'Homme (Clottes, 1993 ; Garcia et Morel, 1995 ; Rouzaud, 1996 ; Ambert et al., 2000 ; Garcia, 2001, 2005 ; Jaubert et al., 2016 ; Citton et al., 2017), la mise en relation des traces anthropiques et des traces ursines peut permettre d'établir des liens entre ces deux espèces.

² Même pour une simple reconnaissance, une partie de notre équipe n'a pas dépassé le panneau des Figures féminines, soit moins du tiers de la branche Amont.

Chapitre 2

Dans un second temps, les empreintes d'ours en grotte constituent de précieux documents éthologiques ou encore relatifs à l'état sanitaire des populations ursines. La quantité importante de traces ursines retrouvées à Cussac devrait, par conséquent, contribuer à cette connaissance d'autant plus que peu de restes osseux y ont été retrouvés.

Les expérimentations

2. Les expérimentations

2.1. Problématique

2.1.1. Formation et conservation d'une empreinte

Les propriétés conservatrices de l'endokarst favorisent la perdurance dans le temps de certains vestiges qui, soumis à d'autres contextes, auraient aujourd'hui quasiment voire totalement disparu. Les empreintes sont un exemple bien représentatif de ces vestiges à la longévité incertaine.

Ici, nous nous sommes intéressée prioritairement aux questions relatives à la formation et l'évolution d'une empreinte au cours du temps. Ces aspects relativement bien documentés pour ce qui touche les empreintes de dinosaure (Brand, 1996 ; Gatesy, 2003 ; Milàn, 2006 ; Milàn et Bromley, 2007 ; Jackson et al., 2009, 2010 ; Marty et al., 2009 ; Scott et al., 2010 ; Gatesy et Falkingham, 2017) le sont beaucoup moins pour les empreintes humaines, en particulier pour celles retrouvées en contexte de grotte. Quelques études existent cependant pour les empreintes formées en plein air (D'Août et al., 2010 ; Marty et al., 2009 ; Bennett et Morse, 2014 ; Roach et al., 2016 ; Panarello et al., 2017b ; Hatala et al., 2018 ; Wiseman et De Groot, 2018). À travers l'expérimentation, l'objectif de cette étude, outre la biomécanique et les particularités biologiques, est de comprendre l'influence des propriétés du sédiment de formation des empreintes, et les facteurs qui vont influencer leur évolution dans le temps avant leur découverte et après celle-ci pour des environnements donnés. Notre contribution à cette problématique concerne le domaine karstique, pour lequel les données en la matière sont très pauvres. En effet, la plupart des études ichnologiques en grotte sont focalisées sur l'étude morphométrique des empreintes au détriment de la compréhension du contexte de formation et de conservation des empreintes.

Une empreinte est le résultat de l'écrasement d'un support en réaction à une contrainte exercée par un individu. Par conséquent, s'agissant d'empreintes de pieds, la morphologie première dépendra aussi bien de l'individu qui l'a réalisé (type de locomotion, biologie, comportement, etc.) que de son support (propriétés physiques, mécaniques, teneur en eau, topographie, etc.). C'est ce deuxième aspect qui nous intéresse plus particulièrement ici. Un sédiment grossier de type gravier ou un sol dur ne devrait donc enregistrer aucune empreinte ou un contour dénué de détails anatomiques. A contrario, les argiles, sables ou limons plus plastiques et, pour certains, plus cohésifs, seront plus favorables à l'enregistrement de détails, plus ou moins bien marqués

selon les cas. Cette vision théorique est souvent plus complexe dans la réalité, de par les multitudes de contextes, de caractéristiques sédimentaires, de situations et d'auteurs des empreintes. L'unicité d'une empreinte qu'elle soit isolée ou qu'elle appartienne à une même piste découle donc de cette multitude de paramètres qu'il est essentiel de considérer en amont de l'interprétation des empreintes.

En ce qui concerne le milieu souterrain et malgré ses propriétés conservatrices, la morphologie d'une empreinte sera influencée au cours du temps par les perturbations naturelles que peut connaître une cavité : remplissages sédimentaires, inondations, soutirages, apports gravitaires en tous genre (éboulis, cailloutis, etc.), dépôts de calcite, etc. L'interprétation d'une empreinte passe donc avant tout par la connaissance et la compréhension des différentes activités du karst.

Ce travail expérimental repose essentiellement sur les empreintes retrouvées à Cussac pour lesquelles les questionnements taphonomiques sont nombreux, et dans une moindre mesure sur celles de Fontanet, qui malgré leur clarté apparente, posent par certains aspects des questions similaires à celles de Cussac.

Par le biais de différentes expérimentations, notre objectif final est d'appréhender les facteurs extrinsèques responsables de la morphologie actuelle des empreintes de Cussac, ce qui permettra, dans un premier temps de mieux comprendre les différents dépôts sédimentaires de la grotte et, dans un deuxième temps, de mettre en évidence certains comportements humains.

2.1.2. Questions et hypothèses à Cussac

2.1.2.1. Taphonomie

La prospection et l'inventaire des empreintes de Cussac ont révélé que, malgré une fréquentation globale de la cavité par les Hommes, mise en évidence par les nombreuses traces d'activités témoignant de leurs passages, très peu d'empreintes ont, jusqu'à présent, pu être identifiées. Ce constat soulève la question de l'origine de la difficulté d'identifier des empreintes à Cussac.

L'hypothèse la plus vraisemblable pour expliquer ce phénomène est que la cavité est restée en activité après le passage des Gravettiens, comme en témoignent les vestiges de plusieurs inondations et les multiples dépôts sédimentaires de la cavité. Les inondations, lors de la mise en charge du réseau inférieur, ont conduit à un dépôt d'argile de décantation nappant les

irrégularités de la morphologie antérieure des sols de la cavité, dont potentiellement les empreintes. On suppose donc que les empreintes situées dans les parties basses de la galerie ont souffert de l'activité de la cavité.

Deux questions principales émanent de cette hypothèse :

- Concernant le **sédiment de formation**, quelle est son influence sur la morphologie d'une empreinte, telle qu'elle nous parvient ? Si le sédiment a une influence sur la morphologie d'une empreinte, alors l'empreinte présentera une morphologie différente selon le contexte de formation.
- En cas de **dépôt d'argile de décantation**, quel est l'impact sur les empreintes et leur morphologie ? On peut supposer que les eaux et les sédiments ont affecté les contours des empreintes originales et/ou que le dépôt d'argile de décantation a entraîné une modification de l'aspect de surface jusqu'à sa défiguration quasi totale, selon l'énergie, la granulométrie du dépôt, mais aussi la nature du substrat.

Notre principal objectif a donc été de comparer la morphologie d'une empreinte au moment de sa formation et après son recouvrement par des argiles de décantation, par le biais de l'expérimentation en milieu contrôlé.

2.1.2.2. Le port de chaussant

Un autre constat quant à la morphologie des empreintes a été établi : les empreintes identifiées comme plantaires ont, en effet, la particularité de ne présenter aucune trace d'orteils, et cela quels que soient la plasticité ou le taux d'humidité du support. La question se pose d'autant plus lorsque l'on constate sur une même zone la présence d'empreintes palmaires avec des doigts bien marqués, tandis que les empreintes plantaires correspondent à des dépressions ovalaires incomplètes et difficiles à caractériser (e.g. Panneau du Bouquetin). Il en est de même dans les zones mêlant empreintes ursines et humaines où, lorsque l'on parvient à identifier une empreinte humaine complète, elle ne présente pas d'orteil dans sa partie distale, tandis que celles des ours en présentent (Figure 50). Les caractéristiques sédimentaires du support de formation semblent donc appropriées pour l'impression de détails anatomiques tels que les orteils. Par conséquent, comment expliquer cette spécificité ? Bien qu'une origine uniquement taphonomique ne puisse être écartée, l'ensemble de ces observations nous ont amené à envisager l'hypothèse du port de chaussant souple par les individus qui ont fréquenté la cavité.

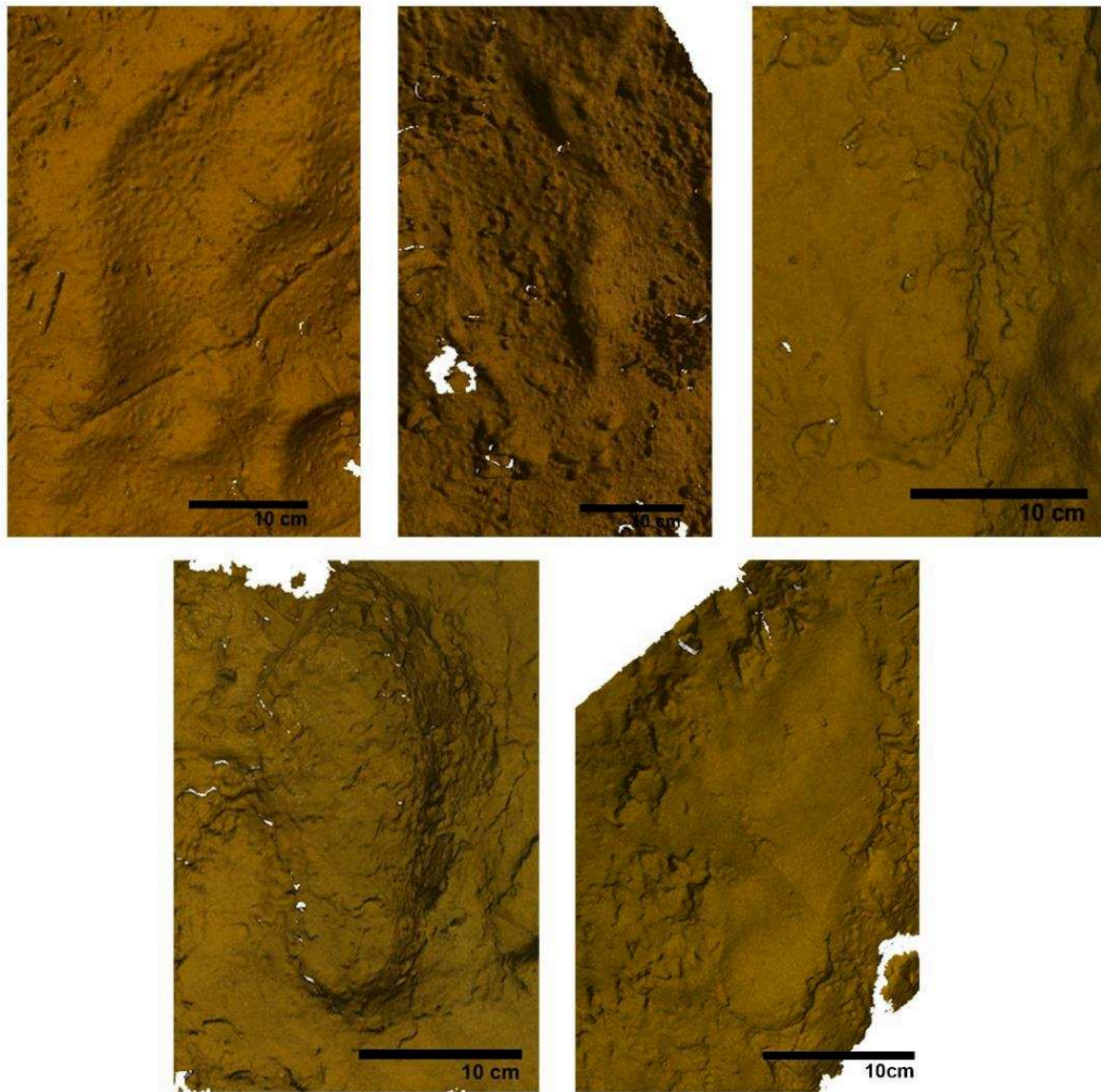


Figure 50 : *Exemples d'empreintes de pied(s) de Cussac*. En haut de gauche à droite : TrAcS 166, 321 et 388-1. En bas de gauche à droite : TrAcS 338-4 et 544.

2.1.2.2.1. Le port de chaussant au Paléolithique

2.1.2.2.1.1. Origine et indices archéologiques

Peu de témoignages concernant l'habillement des populations du Pléistocène nous sont parvenus, notamment en ce qui concerne la chaussure ou chaussant. Notre vision de la façon dont les hommes et femmes se couvraient à ces périodes – et cela quelle qu'en soit la raison – est fondée sur des témoins indirects et quelques exemples directs exceptionnels qui sont parvenus jusqu'à nous (Soffer et al., 2000 ; Trinkaus, 2005 ; Gilligan, 2007, 2010, 2016a, 2016b ; Trinkaus et Shang, 2008 ; Pinhasi et al., 2010 ; Toups et al., 2011 ; Trinkaus et

Buzhilova, 2018). Le vêtement aurait ainsi été créé en premier lieu comme protection contre le froid et probablement dès le milieu du Pléistocène. Les études abordant la question font coïncider l'apparition des vêtements (ou du moins leur systématisation) entre l'OIS 5 et l'OIS 4. Une complexification des vêtements chez l'Homme moderne serait ensuite apparue à partir de l'OIS 3, allant de pair avec l'apparition d'un outillage lithique et osseux pouvant correspondre à la fabrication et la confection de vêtements élaborés (Gilligan, 2007, 2010, 2016a, 2016b ; Collard et al., 2016). Les études génétiques réalisées sur les poux de corps et leur divergence avec les poux de tête ont de plus permis d'estimer l'apparition du port de vêtements de façon régulière chez l'Homme moderne entre 170 000 et 83 000 ans en Afrique (Toups et al., 2011). La nature et le type de vêtements utilisés sont cependant difficiles à appréhender sans témoins directs. Malgré cela, certains auteurs ont tenté de leur donner une réalité à travers des études ayant souvent comme problématique de fond l'implication du port du vêtement dans la disparition de Néandertal. On pense notamment au modèle thermique de Gilligan (Gilligan, 2007, 2010), dont le but est d'estimer, à partir des données environnementales passées et de la connaissance de la résistance humaine au froid, dans quelles conditions les vêtements sont nécessaires pour survivre. Il distingue deux types de vêtement, simple et complexe, qu'il met en lien avec les données archéologiques relatives à l'apparition des artefacts pouvant être liés à la fabrication de vêtements (e.g. aiguille à chas). Ainsi, les vêtements simples, moins efficaces contre le froid et moins élaborés, auraient plus été le fait de Néandertal et les vêtements complexes, celui de l'Homme moderne, ceux-ci étant plus couvrants, plus adaptés à sa physiologie et nécessitant l'utilisation d'une plus grande diversité d'outils. En 2012, Wales estime la proportion et les parties du corps recouvertes à partir de données ethnographiques et de modèles prédictifs des conditions climatiques sur des sites du Paléolithique moyen et du début du Paléolithique récent. Il ressort notamment de cette étude que Néandertal aurait eu entre 70% et 80% du corps couvert durant l'hiver contre 90% pour l'Homme moderne. Enfin, en 2016, une étude a cherché à déterminer, par le biais des restes fauniques retrouvés sur différents sites de la fin du Paléolithique moyen et du début du Paléolithique récent et de données ethnographiques, s'il existait une différence entre les vêtements utilisés par Néandertal et par l'Homme moderne. Comme pour les études précédentes, les résultats tendent vers une utilisation de vêtements plus simples par Néandertal (Collard et al., 2016).

D'un point de vue purement archéologique, le port de vêtement peut être déduit à partir du matériel retrouvé dans les sites tel que les aiguilles à chas, les perles ou encore les vestiges

lithiques associés à un travail de la peau. L'exemple des perles arrangées autour des pieds des individus de Sunguir, et qui laisse supposer que ces derniers ont été inhumés avec des chaussures, est sans doute le plus représentatif de ces témoins indirects (Bader, 1998 ; Trinkaus et al., 2014 ; Trinkaus et Buzhilova, 2018). Diverses manifestations artistiques révèlent également l'utilisation de textiles : c'est le cas notamment des « vénus » gravettiennes telles que celles de Willendorf (Autriche), leurs homologues françaises de Brassempouy ou Lespugue, ou encore les exemplaires russes ou tchèques de Kostienki I, Dolní Věstonice I ou Pavlov (Soffer et al., 2000). C'est dans ces derniers sites qu'ont de plus été découvertes des traces de textile et cordage datés entre $26\,730 \pm 250$ BP et $25\,020 \pm 150$ BP pour Pavlov et entre $29\,000 \pm 200$ BP et $25\,570 \pm 280$ BP pour Dolní Věstonice, et qui correspondent aux plus anciennes traces d'objets réalisées en matériaux périssables (Soffer et al., 2000).

En revanche, même si ces objets sous-entendent la fabrication de vêtements et par extension celle de chaussants, ils ne nous donnent qu'une image très partielle de la réalité vestimentaire des hommes et femmes du Paléolithique.

La chaussure a évolué d'un élément de couverture simple servant uniquement de protection du pied vers un objet culturel, plus élaboré et différent selon les populations. Le port de chaussure, qui était dans ses débuts probablement principalement utilitaire et peut-être discontinu, est devenu pour de nombreuses cultures un usage quotidien.

La plus ancienne chaussure fermée identifiée jusqu'à présent a été retrouvée en Arménie dans la grotte de Areni-1 (Pinhasi et al., 2010a). Les matériaux utilisés pour sa réalisation ont été datés entre 3 627 cal BC et 3 377 cal BC. Il s'agit d'un chaussant réalisé en une seule pièce de cuir et cousue à l'avant et à l'arrière à l'aide d'une lanière (Figure 52). Datée entre 3350 cal BC et 3300 cal BC, la momie Ötzi, découverte dans les Alpes de l'Ötztal (frontière italo-autrichienne) associée à tout son matériel, a également livré une paire de chaussures en cuir avec un remplissage végétal (Prinath-Fornwagner et Niklaus, 1994 ; Barfield, 1994). C'est cependant en Amérique du Nord dans plusieurs sites du plateau du Colorado que les plus anciennes chaussures de type sandales ont été retrouvées. Celles-ci réalisées en feuilles de yucca sont datées entre 8 000 et 5 400 cal BC (Geib, 2000). En Europe, la grotte de Murciélagos (Grenade) a quant à elle livrée des sandales en fibres végétales datées entre 4300-3980 BC (Quesada et al., 1996). Donc rien à ce jour pour nos périodes du Pléistocène.

2.1.2.2.1.2. Indices ostéologiques

L'utilisation d'un chaussant peut influencer la morphologie du pied et sa fonction (Kadambande et al., 2006 ; Zipfel et Berger, 2007 ; D'Août et al., 2009 ; Fong Yan et al., 2013 ; Willems et al., 2015, 2017). Plusieurs études de comparaison entre des populations habituellement chaussées et non chaussées ont par exemple mis en évidence que les pieds des individus se déplaçant pieds nus depuis l'enfance étaient souvent relativement plus larges, notamment dans leur partie distale, et parfois plus longs que ceux habitués à marcher avec des chaussures (Ashizawa et al., 1997 ; Kusumoto et al., 1996 ; D'Août et al., 2010), ces caractéristiques pouvant varier selon les différentes ethnies (Kusumoto et al., 1996 ; Thompson et Zipfel, 2005). Les pieds chaussés présenteraient également des lésions pathologiques plus importantes au niveau des métatarsiens que les pieds habituellement nus (Zipfel et Berger, 2007). En 2005, Trinkaus a cherché à savoir à partir de quelle période et à quelle fréquence les premières modifications anatomiques du pied attribuables au port de chaussant étaient visibles sur les os. Pour cela, il a comparé la robustesse de phalanges proximales appartenant à des individus fossiles du Paléolithique moyen et de la première moitié du Paléolithique récent de l'Europe de l'ouest, mais aussi celles d'individus nord-américains plus récents dont les habitudes en termes de chaussant sont connues (échantillons préhistoriques récents et historiques d'amérindiens étant la plupart du temps pieds nus, Inuits préhistoriques et historiques portant des chaussants souples et euro-américains de la fin du XX^{ème} siècle portant des chaussures industrielles plus rigides). Les résultats de l'étude des trois échantillons d'Hommes modernes récents nord-américains ont montré qu'il existe bien une corrélation entre le port de chaussant et la robustesse des phalanges proximales, celles-ci tendant à devenir plus graciles pour les individus habitués à porter des chaussants. En ce qui concerne les échantillons de phalanges proximales paléolithiques, celles de la première moitié du Paléolithique récent sont plus graciles que leurs homologues du Paléolithique moyen. Cela indiquerait une utilisation croissante de chaussants entre le Paléolithique moyen et la première moitié du Paléolithique récent (Trinkaus, 2005). Ce résultat a par la suite été confirmé par une étude complémentaire sur les phalanges proximales des sites de Tianyuandong (Chine) et de Sunghir 1 qui n'étaient pas incluses dans les travaux précédents (Trinkaus et Shang, 2008).

2.1.2.2.1.3. Indices ichnologiques ?

Un type de vestige différent, qui n'a que peu, voire jamais, été exploité en Préhistoire concernant la problématique du port de chaussant, pourrait pourtant se révéler un indicateur précieux de ce phénomène au Paléolithique : les empreintes de pied, en particulier celles retrouvées en grotte, contexte de formation le plus souvent conservé pour ces périodes.

Cependant, la particularité des empreintes préhistoriques identifiées jusqu'à présent est que la grande majorité s'apparentent à des pieds nus, et cela peu importe le contexte. Les empreintes retrouvées en grotte n'échappent pas à la règle, ce qui a longtemps laissé penser que les hommes et femmes du Paléolithique n'avaient généralement pas les pieds couverts. À l'heure actuelle, peu de grottes ont soulevé la question du port de chaussant. La première est celle de Fontanet dont l'empreinte la plus connue est justement interprétée comme une empreinte de pied chaussé (Clottes, 1973). Le caractère chaussé de cette empreinte et cependant aujourd'hui remis en question (Pastoors et al., 2015). Plus récemment, et comme développé précédemment la question a été posée pour Cussac.

L'expérimentation pourrait nous permettre d'y voir plus clair quant à cette problématique du port de chaussant. La littérature indiquant clairement que le port de chaussant influence la morphologie du pied, les questions que nous nous posons ici sont donc :

- Dans quelle mesure le port de chaussant va également influencer la morphologie finale d'une empreinte ?
- Quels sont les éléments autorisant à discuter du caractère chaussé d'une empreinte ?

Malgré un contexte sédimentaire différent, ce travail expérimental pourra également être appliqué à certaines empreintes de Fontanet, notamment celle prétendument chaussée associée au signe réalisé aux doigts au sol.

2.2. Dispositif expérimental

La première étape de ce travail a été la mise en place d'un protocole expérimental afin de cadrer nos expérimentations. En effet, il ne s'agit pas de recréer une action, un geste humain, mais des phénomènes naturels complexes impliquant une multitude de paramètres que nous ne

maitrisons pas forcément. Par conséquent, notre ambition ici n'est pas de reconstituer à l'identique l'environnement de Cussac, ce qui serait illusoire, mais de tenter de comprendre comment se comporte une empreinte selon différents sédiments (proches de ceux de Cussac) ou événements sédimentaires ayant pu s'y produire. Parce que la morphologie d'une empreinte dépend de nombreux facteurs dont le contrôle exhaustif est impossible, ces expérimentations ont été limitées à certains aspects.

2.2.1. Choix du sédiment expérimental

Notre première tâche a été de trouver un sédiment dont les propriétés se rapprochaient de celui supposé avoir imprimé les empreintes de Cussac.

Pour caractériser ce sédiment, des micro-prélèvements d'argile ont été réalisés à proximité de chaque empreinte fossile de notre échantillon (Figure 51).

Six échantillons de sédiment ont été prélevés à Cussac, ils correspondent à :

- L'échantillon CSS-2017-PREL-SED-81 prélevé au niveau du Grand Panneau sur un niveau d'argile de décantation. Ce prélèvement est à mettre en relation avec les TrAcs 500 et 501 correspondant à des appuis de pieds, de mains et des glissades.
- L'échantillon CSS-2017-PREL-SED-82 prélevé entre les secteurs du Locus 3 et du Panneau du réticulé sur un niveau d'argile de décantation. Ce prélèvement est relié à la TrAc 393 qui correspond à une succession d'appuis et de glissades.
- L'échantillon CSS-2017-PREL-SED-83 situé juste avant le secteur du Panneau du Réticulé sur un niveau d'argile de décantation. Ce prélèvement correspond à la piste de quatre empreintes de pieds identifiée comme la TrAc 388.
- L'échantillon CSS-2017-PREL-SED-84 situé sous un plancher stalagmitique au niveau du secteur du Panneau du Réticulé et prélevé dans les vieilles argiles. Ce prélèvement est relié à la TrAc 321 qui correspond à une empreinte de pied isolée.
- L'échantillon CSS-2017-PREL-SED-85 situé au niveau du Panneau du Bouquetin sur un dépôt d'alluvions fines anciennes. Ce prélèvement correspond aux empreintes identifiées au niveau de ce même Panneau du Bouquetin.

Chapitre 2

- L'échantillon CSS-2017-PREL-SED-86 situé au niveau du Locus 1 sur les argiles de décantation. Ce prélèvement est à relier à la TrAc 166 correspondant à une empreinte de pied isolée.

De nouveaux prélèvements ont été réalisés dans la grotte de Cussac à partir des résultats de la granulométrie afin de mesurer leur taux d'humidité actuel :

- L'échantillon CSS-2017-PREL-SED-87 qui correspond aux résultats granulométriques des échantillons CSS-2017-PREL-SED-82 et CSS-2017-PREL-SED-83. Il a été prélevé au niveau de la piste de 4 empreintes situées entre le locus 3 et le Panneau du Réticulé (TrAc 388).
- L'échantillon CSS-2017-PREL-SED-88 qui correspond aux résultats granulométriques des échantillons CSS-2017-PREL-SED-81, CSS-2017-PREL-SED-84, CSS-2017-PREL-SED-85. Il a été prélevé à proximité de l'empreinte de Panneau du Réticulé (TrAc 321).
- L'échantillon CSS-2017-PREL-SED-89 qui correspond aux résultats granulométriques de l'échantillon CSS-2017-PREL-SED-86. Il a été réalisé à proximité de l'empreinte humaine située sous la passerelle descendant du Pont d'argile (TrAc 166).



Figure 51 : Exemples de prélèvements réalisés sur les sols de Cussac.

En parallèle, des prélèvements ont également été réalisés dans deux cavités a priori vierges de vestiges archéologiques : la grotte de Veysou (Rouffignac, Dordogne) caractérisée par d'importants remplissages argileux, et la grotte du Pigeonnier (Le Buisson-de-Cadouin, Dordogne), localisée à proximité de Cussac et appartenant probablement au même réseau karstique que cette dernière.

Deux prélèvements ont été effectués dans la grotte de Veysou :

Chapitre 2

- P1 : sédiment prélevé à 100 m de l'entrée actuelle de la cavité dans une zone de fort remplissage argileux.
- P2 : sédiment prélevé à proximité de l'entrée sur un bas-côté et à environ 15 cm de la paroi.

Deux prélèvements ont été réalisés dans la grotte du Pigeonnier :

- GP1 : sédiment prélevé sur une petite banquette au fond de la cavité.
- GP2 : sédiment prélevé directement au sol, au fond de la cavité.

Le taux d'humidité ayant pu varier entre le moment du prélèvement dans la grotte et le moment de la réalisation des expérimentations, des échantillons ont été prélevés dans chaque bac avant la réalisation de l'empreinte afin de le contrôler.

2.3. Le protocole expérimental

2.3.1. Matériel

2.3.1.1. Aspects logistiques

L'étude taphonomique des sols de Cussac, a permis de conclure que le dépôt d'argile de décantation s'est fait sous une très faible énergie (Ferrier et al., 2013). La décantation n'est, par conséquent, pas ou peu sensible au volume. Les empreintes expérimentales ont donc été réalisées dans des bacs de faible surface (env. 50 x 40 x 25 cm).

L'expérimentation directement en contexte karstique étant difficile à mettre en place d'un point de vue logistique, il a été décidé de la réaliser en laboratoire. Celle-ci a donc été réalisée dans un local du pôle mixte de recherche de Campagne (Dordogne) puis dans une cave au laboratoire PACEA. Les bacs expérimentaux ont été disposés dans ces environnements stables à température d'environ 21°C, peu variable sur la durée de l'expérimentation et avec un taux d'humidité variant entre 50 et 85%. En contrôlant ces paramètres, nous nous assurons que le taux d'humidité était suffisamment élevé pour que le sédiment ne sèche pas, mais suffisamment bas pour que l'eau s'évapore sur un temps court.

2.3.1.2. Les chaussants

Deux types de chaussants ont été utilisés en ce qui concerne l'expérimentation pied chaussé. Ils s'inspirent de celui retrouvé à Areni (Arménie) et qui est, à l'heure actuelle, le chaussant fermé le plus ancien connu (Pinhasi et al., 2010) (Figure 52). Ces chaussants ont été réalisés en une seule pièce de croûte de vache d'environ 2 mm d'épaisseur. Leurs différences se marquent au niveau de leur souplesse et de l'attache de l'avant du pied. La liaison entre la semelle et le dessus du pied a été cousue à l'aide d'un lien de cuir pour le chaussant le plus souple. En revanche, pour le chaussant moins souple, la pièce de cuir a simplement été repliée de part et d'autre du dessus du pied et des orteils, et liée grâce à un lien de cuir. Chaque chaussant a été testé sans rembourrage et avec rembourrage de végétaux de type paille (Figure 52).

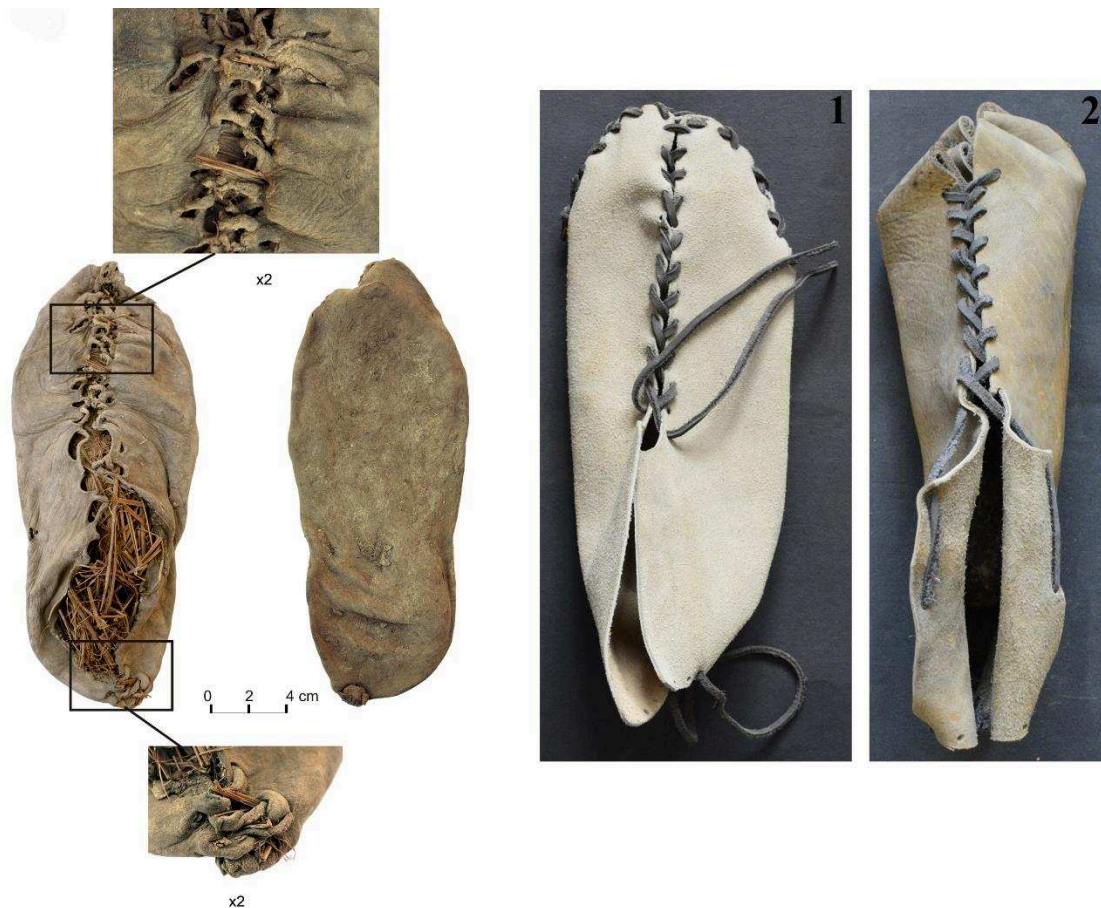


Figure 52 : *Le chaussant d'Areni (modifié d'après Pinhasi et al. (2010) et les deux chaussants expérimentaux. 1 : chaussant souple, semelle et dessus du pied cousus, 2 : chaussant plus rigide, pièce de cuir repliée de part et d'autre du dessus du pied (réalisation Mickaël Baillet).*

2.3.1.3. Les effectifs

Chaque empreinte a été réalisée par deux personnes différentes. Pour les expérimentations relatives à la taphonomie et au port de chaussant avec le premier type de chaussant, les empreintes ont été réalisées par un individu féminin (individu 1) et un masculin (individu 2). Pour les expérimentations avec le deuxième chaussant, les empreintes ont été réalisées par deux individus masculins (individus 2 et 3).

Sur les 19 essais réalisés dans la perspective taphonomique, nous avons retenu 8 empreintes principales pour l'analyse comparative. Les 11 autres constituent soit des « tests » dans notre processus de réflexion, soit des « échecs », nous ayant, malgré tout, aidé dans la mise en place de notre protocole et des choix à effectuer.

Concernant le port de chaussant, l'analyse comparative a porté sur 16 empreintes (Tableau 5).

	Individu	Nombre d'empreinte	Total
Taphonomie	Individu n° 1	4	8
	Individu n° 2	4	
Port de chaussant	Individu n° 2	8	16
	Individu n° 3	8	

Tableau 5 : Individus et nombre d'empreintes réalisées pour chaque expérimentation.

2.3.2. Méthode

2.3.2.1. Taphonomie

2.3.2.1.1. Surface de formation : argile brute et ennoisement primaire

Bien qu'encore exploratoire, notre méthodologie a été conçue dans un souci de répétabilité et de possibilité de faire varier les différents paramètres. Les données biologiques des individus responsables des empreintes ne sont pas prises en compte, notre but ici étant d'observer l'évolution des empreintes d'un même pied lorsque varient différents paramètres sédimentaires.

L'argile brute a dans un premier temps été préparée dans les bacs afin d'avoir un support homogène et d'obtenir une surface plane prête à recevoir le pied (Figure 55-1, 2,3).

Puis, nous avons séparé les bacs en deux catégories : ceux sur lesquels l'empreinte serait faite sur l'argile brute, et ceux sur lesquels un niveau d'argile de décantation a été déposé sur l'argile brute (Figures 53 et 54). En effet, une lame mince issue d'un bloc prélevé dans le secteur du Locus 1 de Cussac a mis en évidence que plusieurs inondations avaient eu lieu postérieurement à la fréquentation humaine (au moins 13). Les lamines témoignant de ces inondations n'atteignent pas le millimètre d'épaisseur (Figure 53) (Ferrier et al., 2017). Bien que, dans les zones inondées de la grotte, le niveau de formation des empreintes avant ennoisement ne nous soit pas connu précisément, il est fort probable que certaines empreintes aient été réalisées dans un niveau d'argile de décantation. Nous avons ainsi souhaité tester les différences de formation et d'évolution de l'empreinte en présence d'un niveau d'argile de décantation.

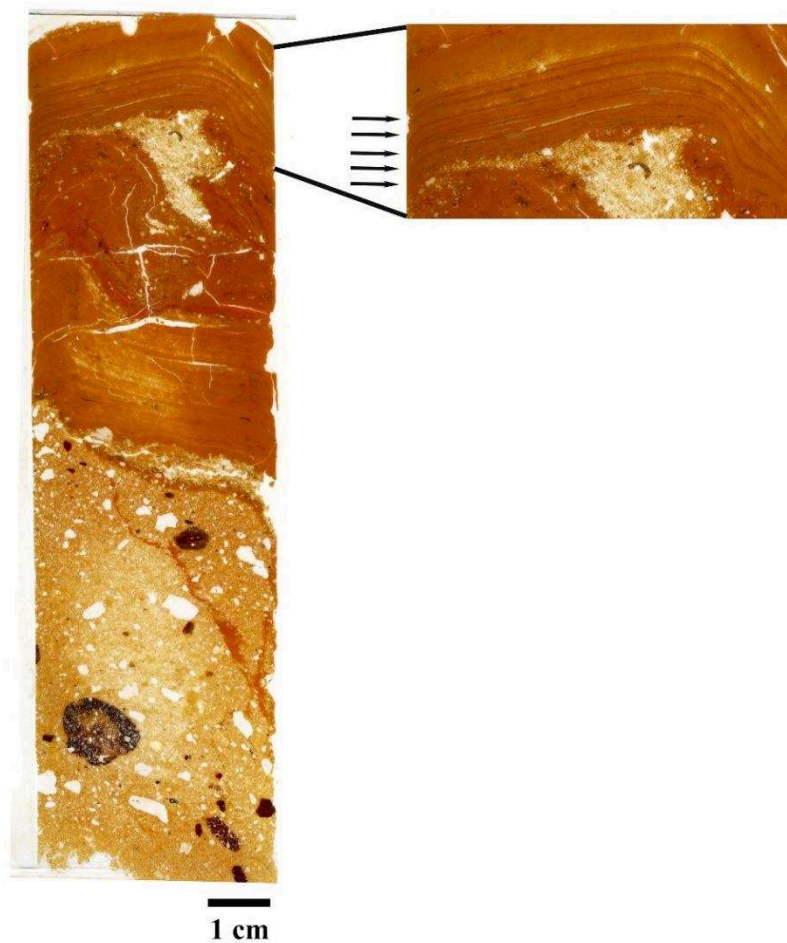


Figure 53 : Lame mince réalisée à partir de la carotte du secteur du Locus 1 et exemple de lamines.

Nous avons recréé ce niveau en envoyant la surface avec un mélange d'eau (1,5 L) et une charge sédimentaire variable selon les bacs (60g/L, 80g/L et 100g/L) : la même argile a été diluée dans l'eau, après avoir été préalablement séchée et broyée pour en faciliter le mélange. La poudre obtenue a été ensuite diluée dans l'eau. Nous appellerons **ennoisement primaire** cette première phase, et **argile de décantation primaire** la couche sédimentaire déposée lors de l'opération.

Ce protocole utilisé dans un premier temps pour la réalisation d'empreintes de pieds nus a été adapté et répété pour celles de pieds chaussés. Dans ce cas, empreinte de pied nu et empreinte de pied chaussé ont été réalisées côte à côte dans un même bac pour chaque test. Comme précédemment, deux types de supports de formation ont été utilisés : l'argile brute prélevée dans la grotte (retravaillée pour obtenir une surface plane) et cette même argile recouverte d'un niveau de décantation primaire (Figure 55).

2.3.2.1.2. Ennoisement secondaire

L'ennoisement **secondaire** permet de recouvrir les empreintes d'argile de décantation. Il a été réalisé à la fois sur les empreintes formées dans l'argile brute et celles réalisées dans l'argile de décantation primaire. Comme précédemment, le sédiment utilisé est broyé, séché et mélangé avec un volume d'eau de 1,5 l (contenu dans une bouteille d'eau) selon des charges sédimentaires variables. Des ennoisements successifs (3 au maximum) sont réalisés jusqu'à ce que les empreintes ne soient quasiment, voire plus du tout, lisibles (Figure 55). La Figure 54 résume la chaîne opératoire globale.

2.3.3. Enregistrement

Après chaque étape, les empreintes sont décrites en détail (morphologie, réaction du sédiment, etc.), mesurées à l'aide d'un mètre ruban et photographiées (Nikon D7100, focale 60 mm-f/2.8). Deux modèles surfaciques 3D par empreinte sont réalisés par le biais de reconstructions photogrammétriques et d'un scanner surfacique portable (Artec Eva) (Figures 54 et 55).

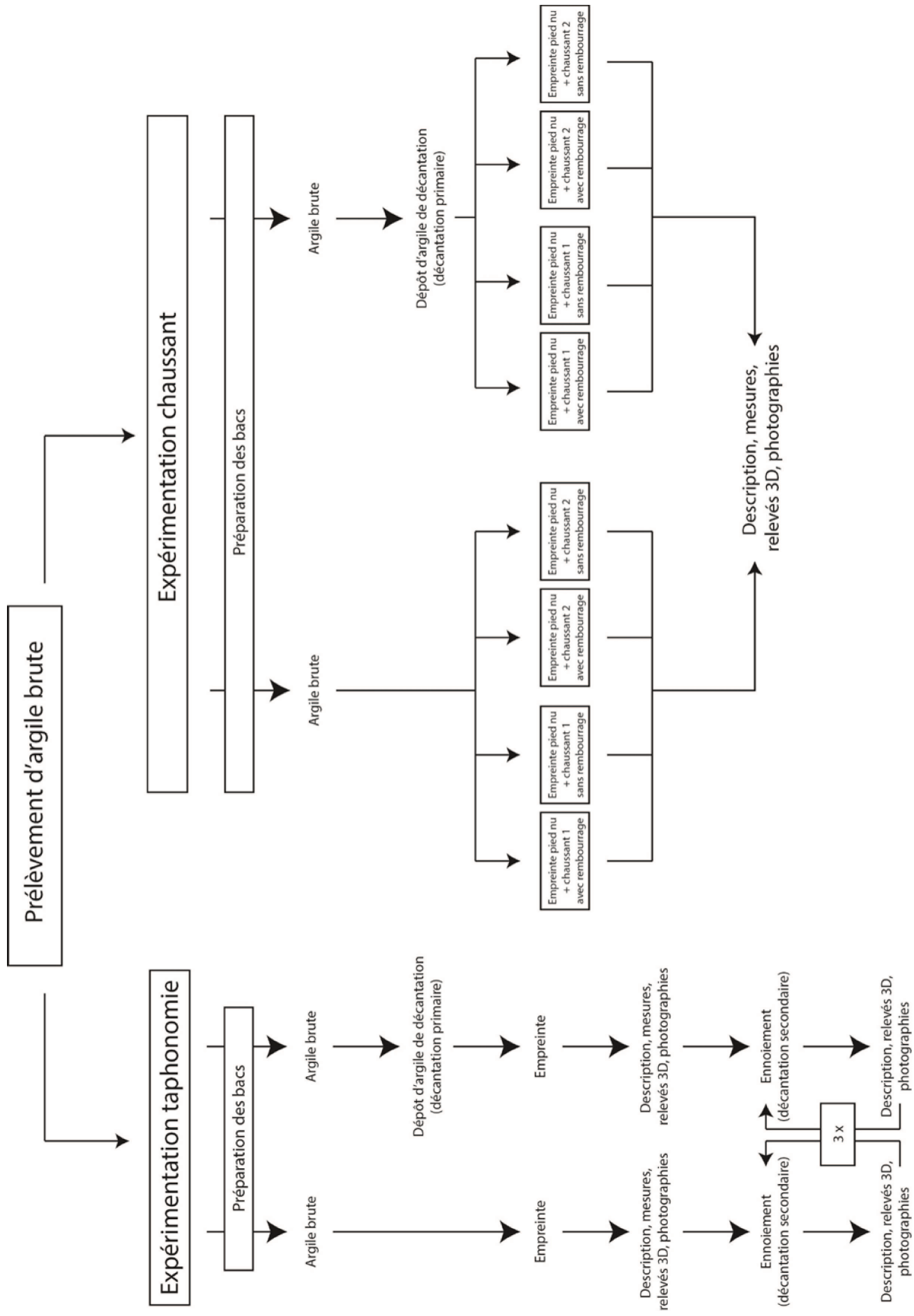


Figure 54 : Chaîne opératoire des expérimentations.



Figure 55 : Déroulement des expérimentations. 1, 2 et 3 : préparation de la surface, 4 : réalisation de l'empreinte, 5 : mesure et description de l'empreinte, 6 et 7 : enregistrement (photographie et scanner surfacique), 8 : ennoiemt.

2.3.4. Traitement

Les modèles issus de la photogrammétrie ont été réalisés grâce aux logiciels Agisoft Photoscan et CloudCompare 2.8.1. Les modèles issus du scanner surfacique ont été traités sous le logiciel Artec Studio 9.

Chaque empreinte expérimentale est représentée par son modèle 3D texturé, une carte de profondeur et une carte d'isolignes en couleur. Pour les empreintes de pieds chaussés, une vue inclinée et le profil de l'empreintes sont aussi présentés. L'ensemble de ces représentations a été réalisé à l'aide du logiciel CloudCompare.

En ce qui concerne les expérimentations de taphonomie et dans le but de comparer chaque empreinte à chaque étape, nous avons utilisé l'algorithme M3C2 (Lague et al., 2013) pour quantifier les gains et pertes de matière sur la topographie générale de l'empreinte. La méthode se décompose en deux étapes :

- L'estimation de la normale à la surface et son orientation en trois dimensions à une échelle supérieure à la rugosité de la surface.
- Le calcul de la distance moyenne entre les deux surfaces le long de la normale avec le calcul de l'intervalle de coefficient local.

Les changements de topographie sont ensuite exprimés sur des cartes de couleur.

L'alignement des nuages de points précédent l'analyse a été réalisée grâce à l'outil d'alignement de CloudCompare qui permet d'aligner deux objets à partir d'au minimum trois points équivalents (erreur RMS entre 0,5 et 2 mm).

2.4. Résultats

2.4.1. Caractérisation sédimentaire

2.4.1.1. Granulométrie

Les résultats de l'analyse granulométrique réalisée sur les échantillons de Cussac mettent en évidence trois types de sédiment (Tableau 6) :

Chapitre 2

- Un sédiment avec une forte proportion de sables ($\pm 50\%$) suivie par les limons ($\pm 20\%$) et les argiles, correspondant aux prélèvements CSS-2017-PREL-SED-81, CSS-2017-PREL-SED-84 et CSS-2017-PREL-SED-85.
- Un sédiment caractérisé par des proportions plus ou moins égales en sables, argiles et limons, correspondant aux prélèvements CSS-2017-PREL-SED-82 et CSS-2017-PREL-SED-83.
- Un sédiment dans lequel les argiles dominent ($> 50\%$), suivies des limons ($\pm 40\%$) et d'une faible quantité de sables ($< 10\%$), correspondant au prélèvement CSS-2017-PREL-SED-86. De par sa localisation (secteur du Locus 1), ce sédiment est probablement issu d'une argile de décantation.

Les résultats de l'analyse granulométrique des prélèvements réalisés dans la grotte de Veyssou mettent en évidence deux types de sédiment (Tableau 6) :

- Le premier sédiment composé quasiment exclusivement d'argiles avec une très faible quantité de limons (P1).
- Le second sédiment avec une très forte proportion d'argile suivie des limons, la quantité de sables étant très faible (P2).

Les résultats des prélèvements réalisés dans la grotte du Pigeonnier mettent également en évidence deux types de sédiments (Tableau 6) :

- Un sédiment avec des proportions de limons et d'argiles similaires et une proportion en sable nettement plus basse (GP1).
- Un sédiment avec une très forte proportion de sables et nettement moins d'argiles et de limons qui ont des proportions similaires (GP2).

Échantillons	Granulométrie				
	% sables grossiers (2000-500 μ)	% sables fins (500-63 μ)	% limons grossiers (63-16 μ)	% limons fins (16-7 μ)	% argiles (< 7 μ)
CSS-2017-PREL-SED-81	0	44,19	19,37	12,60	23,84
CSS-2017-PREL-SED-82	0	2,64	15,35	33,80	48,21
CSS-2017-PREL-SED-83	0	37,36	18,90	13,51	30,22
CSS-2017-PREL-SED-84	0,10	67,66	13,21	6,50	12,53
CSS-2017-PREL-SED-85	3,38	52,84	15,99	8,40	19,38
CSS-2017-PREL-SED-86	0	2,56	18,99	22,60	55,85
P1	0	0	0	1,12	98,88
P2	0	2,80	10,78	30,42	56
GP1	0	17,41	17,37	24,79	40,43
GP2	12,63	65,14	6,35	5,56	10,31

Tableau 6 : Résultats des analyses granulométriques réalisées sur les échantillons de Cussac, Veyssou et du Pigeonnier.

2.4.1.2. Taux d'humidité

Le Tableau 7 compile les résultats obtenus après la mesure du taux d'humidité dans les sédiments prélevés dans les grottes de Cussac, Veyssou et du Pigeonnier.

Échantillons	Date	Masse (g)	Masse contenant (g)	Taux d'humidité (%)
CSS-2017-PREL-SED-87 Avant L3, piste	05/04/2017	6,65	5,91	28,18
	10/04/2017	4,98		
CSS-2017-PREL-SED-88 Réticulé	05/04/2017	19,60	5,93	18,37
	10/04/2017	16,00		
CSS-2017-PREL-SED-89 Locus 1	05/04/2017	11,39	5,92	25,11
	10/04/2017	8,18		
Veyssou fond (P1)	27/03/2017	13,20	5,91	49,85
	30/03/2017	6,62		
Veyssou entrée (P2)	27/03/2017	14,93	5,91	45,61
	30/03/2017	8,12		
GP1	21/04/2017	12,41	5,97	15,87
	25/04/2017	10,44		
GP2	21/04/2017	18,88	5,93	14,09
	25/04/2017	16,22		

Tableau 7 : Taux d'humidité des échantillons de Cussac, Veyssou et du Pigeonnier. Seules la première et la dernière pesées de chaque échantillon sont présentées ici.

2.4.2. Le sédiment utilisé

2.4.2.1. Choix du sédiment

Nos résultats montrent une grande proximité granulométrique entre les sédiments de la zone d'entrée de Veyssou (P2) et ceux de Cussac (CSS-2017-PREL-SED-86), tous deux composés en majorité d'argiles et de limons (Figure 56). Cette proximité nous a conduits à utiliser le sédiment de Veyssou pour nos expérimentations. Les propriétés sédimentaires de la grotte n'étant pas homogènes d'une zone à l'autre de la cavité, notre travail est pour l'heure exploratoire et pourra par la suite être amélioré et étendu à d'autres sédiments et prendre en compte d'autres paramètres. Il apparaît cependant que le sédiment de Veyssou représente un bon équivalent de celui de Cussac. Au total, 134,88 kg d'argile ont été prélevés dans la grotte de Veyssou pour la conduite de ces expérimentations (Figure 57).

Le taux d'humidité du sédiment au moment où les empreintes de Cussac ont été formées nous étant inconnu, nous avons conservé le taux d'humidité contenu dans l'argile de Veysou.

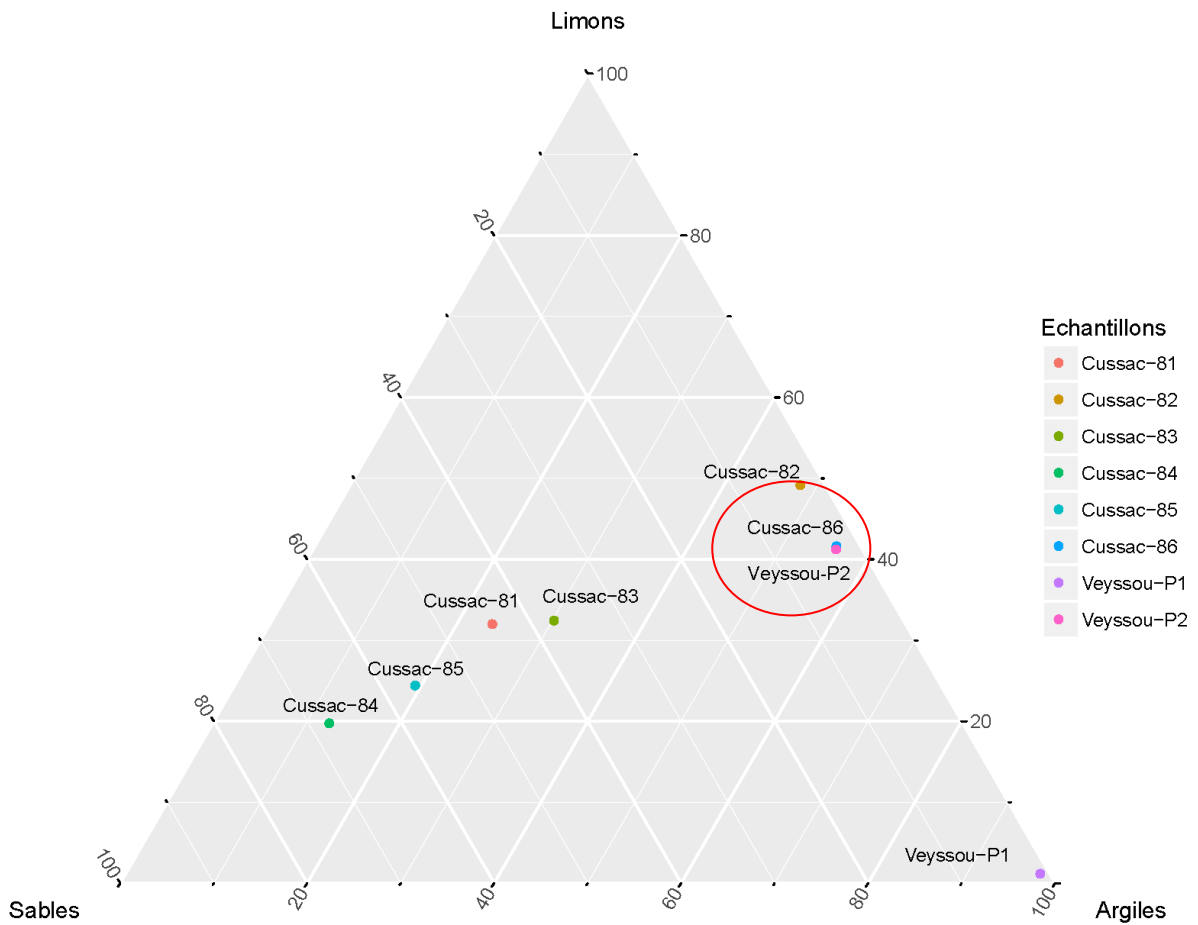


Figure 56 : Diagramme ternaire présentant les échantillons de sédiment de Cussac et Veysou.



Figure 57 : Prélèvement de l'argile de Veysou.

2.4.2.2. Supports de formation et charge sédimentaires

Nous avons dans un premier temps testé l'incidence de la charge sédimentaire de l'argile de décantation primaire sur la prise d'empreinte. Après avoir fait varier les charges sédimentaires utilisées pour cette couche d'argile de décantations primaire (60g/L, 80g/L et 100g/L) et les avoir testés avec le premier individu, il ressort que, quelle que soit la charge, la morphologie de l'empreinte au moment de sa formation ne semblait pas être influencée par ce facteur (Figures 70, 164 et 166). La charge moyenne de 60g/L a donc été retenue pour la suite des expérimentations.

Cette concentration a également été retenue comme charge sédimentaire contenue dans l'eau d'ennoiement secondaire du premier support (argile brute) puisque des tests réalisés sur trois empreintes du premier individu avec différentes charges (20g/L, 40g/L et 60g/L) n'ont pas présenté de différence notable. Le deuxième support (argile de décantation primaire) est moins stable et homogène que le premier. Plusieurs facteurs sont, ainsi, difficiles à contrôler (Figures 58, 158 et 160):

- Le taux d'humidité du support de formation.
- Les réactions du support sous la pression exercée par l'appui du pied qui sont beaucoup plus variées que pour le support d'argile brute.

- Les réactions du support face aux différents ennoiements (infiltration de l'eau entre le niveau d'argile de décantation successifs et le niveau d'argile brute, formation de fentes de dessiccations, etc.).

En conséquence, nous avons fait le choix de garder trois charges sédimentaires d'ennoisement secondaires (40g/L, 60g/L, 80g/L) afin d'appréhender plus largement le rôle de ces différents facteurs dans l'évolution de la morphologie des empreintes.

2.4.3. Description des empreintes

2.4.3.1. *Taphonomie*

Notre objectif est de mettre en évidence l'influence du support de formation et des différents ennoiements sur la morphologie d'une empreinte. Notre propos est ici illustré par les empreintes les plus représentatives. Les descriptions détaillées de l'ensemble des empreintes sont présentées en annexes.

2.4.3.1.1. Morphologie générale

Avant ennoisement secondaire, l'ensemble des empreintes comparées ici sont complètes et cela, quel que soit le support de formation et l'auteur de l'empreinte. Les parties distale et proximale sont les zones les mieux imprimées. La partie moyenne, quant à elle, est souvent plus superficielle (Figures 58, 60 et 62).

Au fur et à mesure des ennoiements, la partie proximale tend à disparaître pour, finalement, ne subsister que sur deux empreintes après le dernier ennoisement. Au total, cinq empreintes sont encore en partie visibles à la suite du troisième ennoisement (empreintes 5, 10, 18, 20 et 21). Pour la plupart d'entre elles, c'est la partie distale de la plante avec les orteils (en particulier l'hallux) qui persiste (Figures 58, 60, 62, 64 et 70). Seule la partie distale de l'empreinte 20 a disparu. Suite au premier ennoisement, on assiste déjà à une disparition partielle des orteils tandis que le reste du pied est encore bien lisible. Cela semble s'expliquer par un dépôt d'argile de décantation plus important dans cette zone (Figures 62 et 63).

En ce qui concerne l'impact des différentes charges sédimentaires, aussi bien celles des niveaux d'argile de décantation primaires que secondaires, celles-ci ne semblent pas être les premières

responsables de l'évolution de la morphologie des empreintes et de leur altération à la suite des différentes mises en eau. En attestent, notamment, les empreintes 3, 4 et 5 (Figures 59 et 160), réalisées sur le support d'argile brute et dont les ennoiements contenaient des charges sédimentaires de 20g/L, 40g/L et 60g/L, ainsi que les empreintes 10, 11, 12 réalisées sur un niveau d'argile de décantation résultant d'un ennoiement contenant respectivement les charges sédimentaires de 60g/L, 80g/L et 100g/L (Figures 70, 164 et 166). En outre, la morphologie des six empreintes (empreintes 10, 17, 18, 19, 20 et 21) réalisées sur un support d'argile de décantation et envoyées avec des charges sédimentaires de 40g/L, 60g/L et 80g/L ne semble pas non plus avoir été influencée par ces différentes charges. Les cartes de profondeur et de distances de nuages de points montrent que le recouvrement de l'ensemble de ces empreintes par les différentes couches d'argile de décantation, s'effectue de façon relativement similaire (Figures 60 à 67, Figures 70 et 71 et Figures 168 et 169).

2.4.3.1.2. Présence de l'empreinte des orteils

Lors de la première étape (formation de l'empreinte), la présence des orteils est attestée sur l'ensemble de notre échantillon, et cela quel que soit le support. Sept empreintes possèdent toujours la totalité ou quasi-totalité de leurs orteils suite au premier ennoiement et six après le deuxième ennoiement. À la suite du dernier ennoiement, quatre empreintes présentent encore des orteils, en particulier l'hallux, sachant qu'il s'agit pour toutes de la dernière zone subsistante avec la partie distale de la plante.

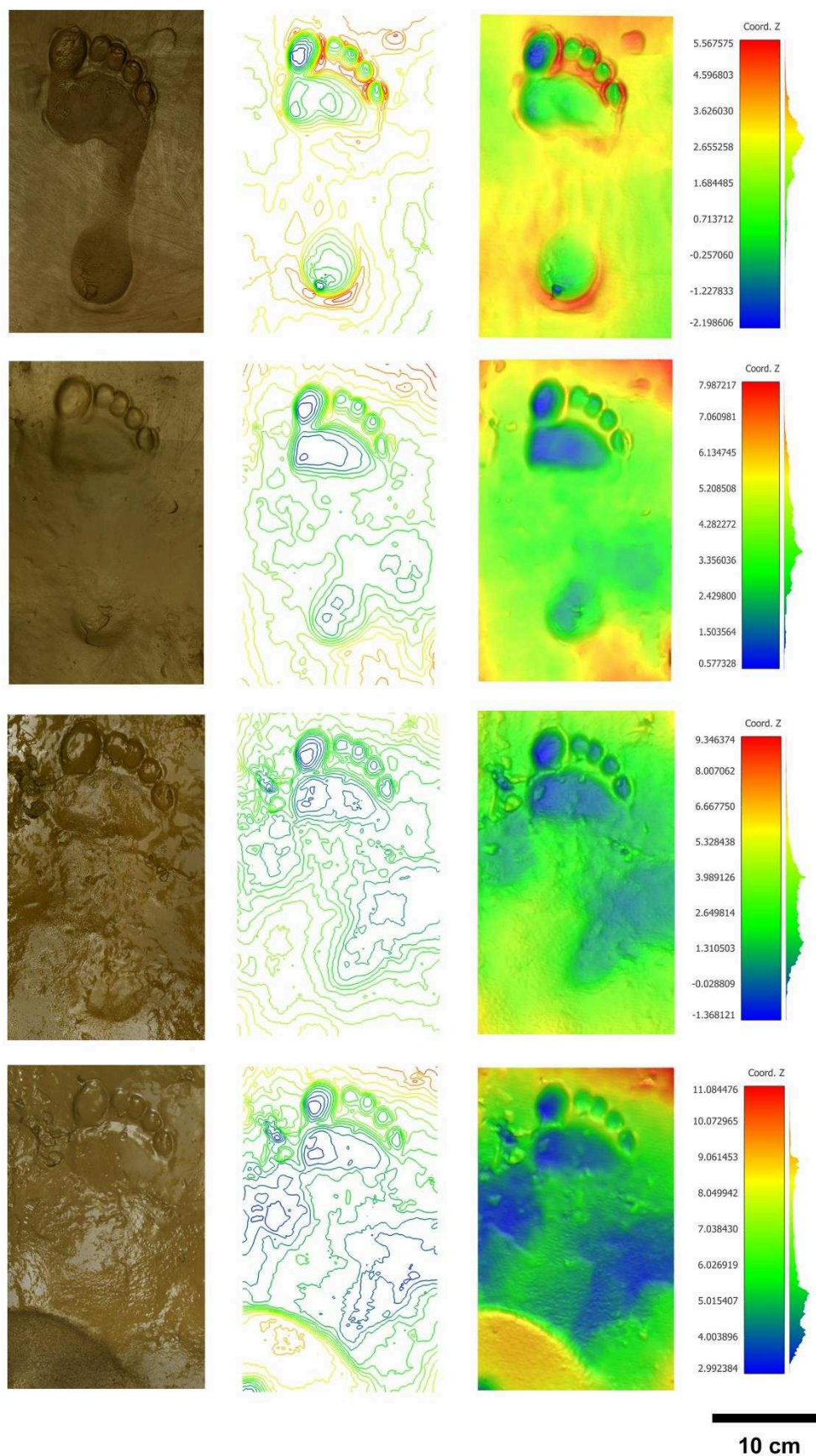


Figure 58 : Évolution de l'empreinte 5 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoisement, deuxième ennoisement, troisième ennoisement).

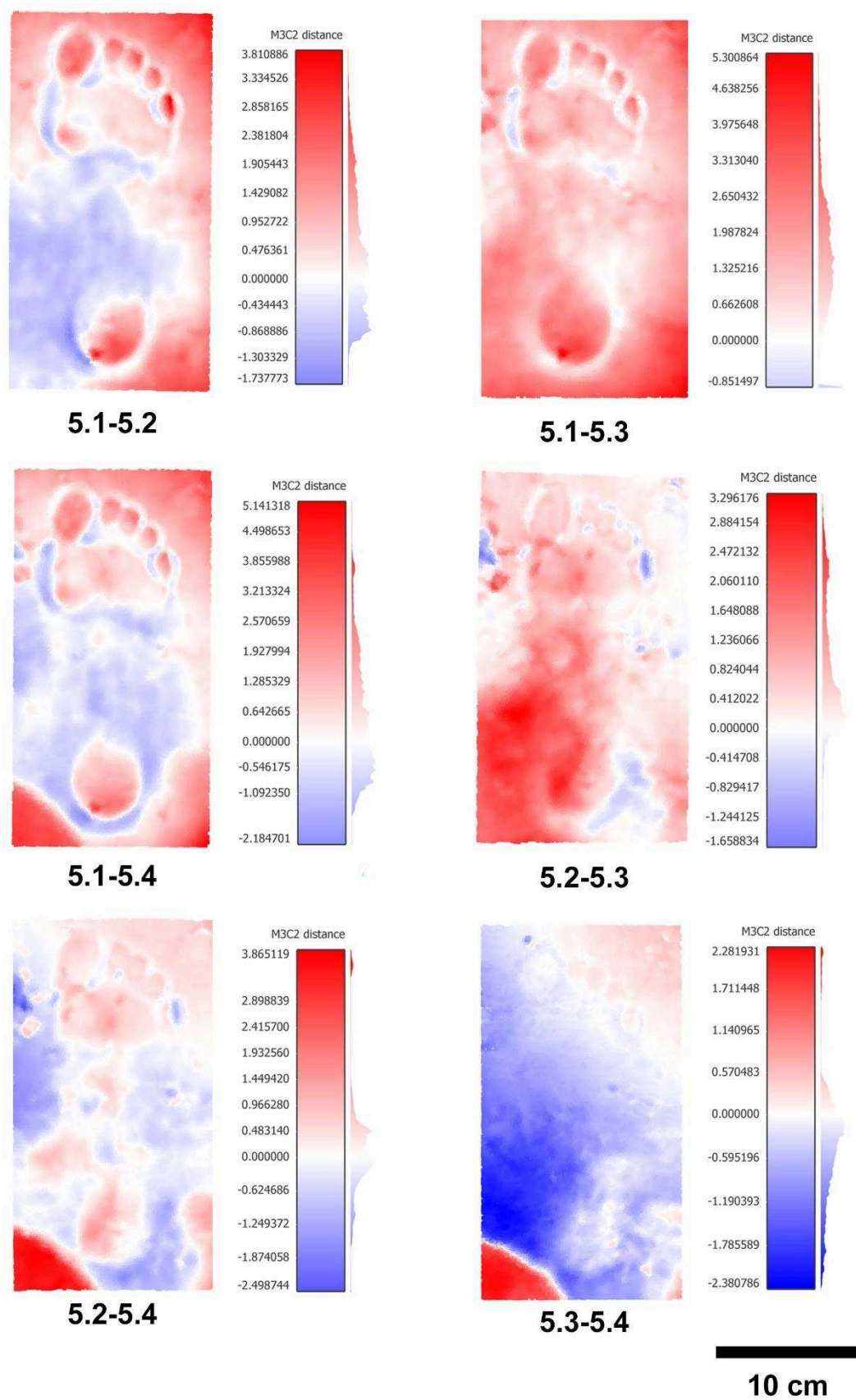


Figure 59 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 5. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.

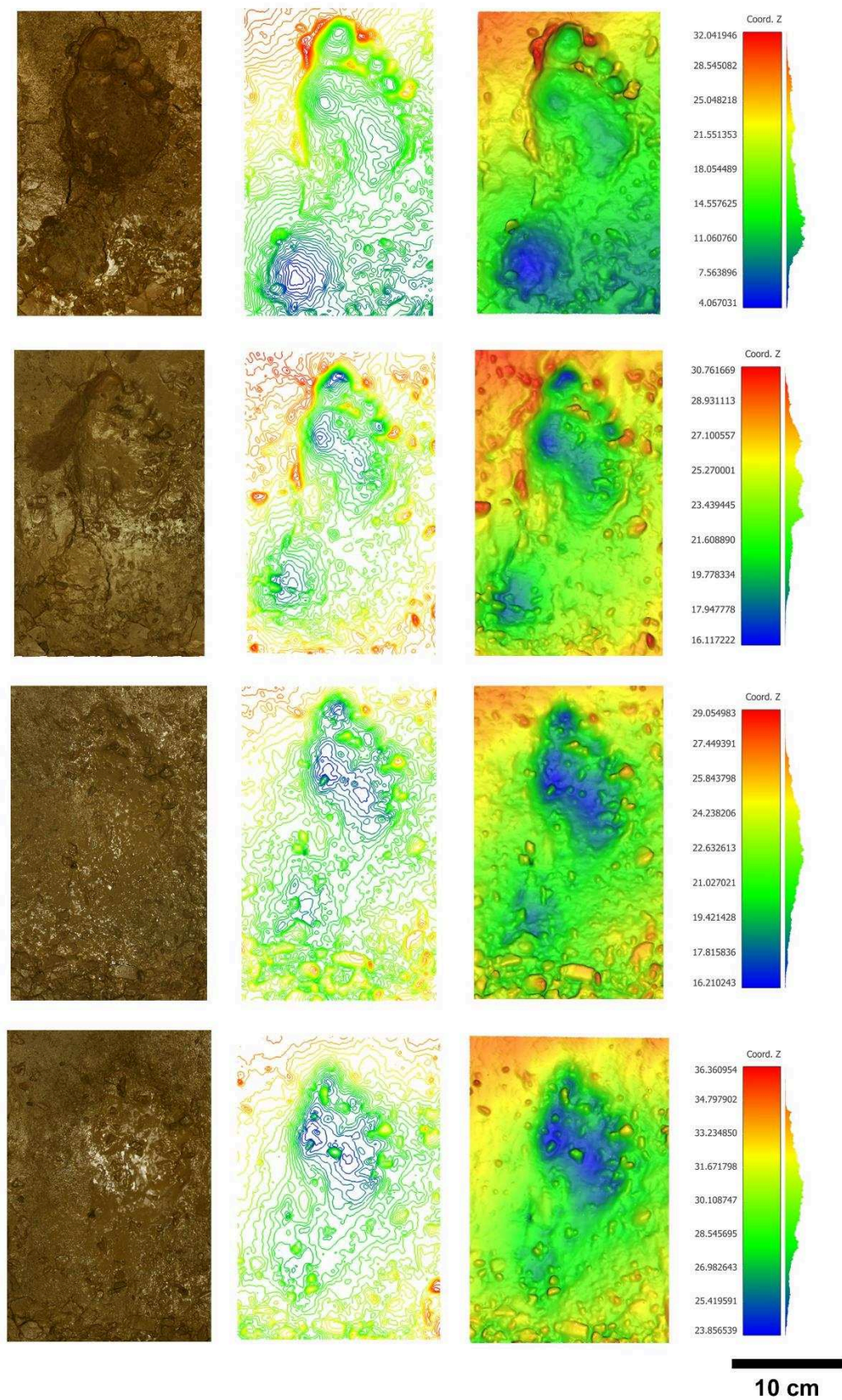


Figure 60 : Évolution de l’empreinte 18 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoisement, deuxième ennoisement, troisième ennoisement).

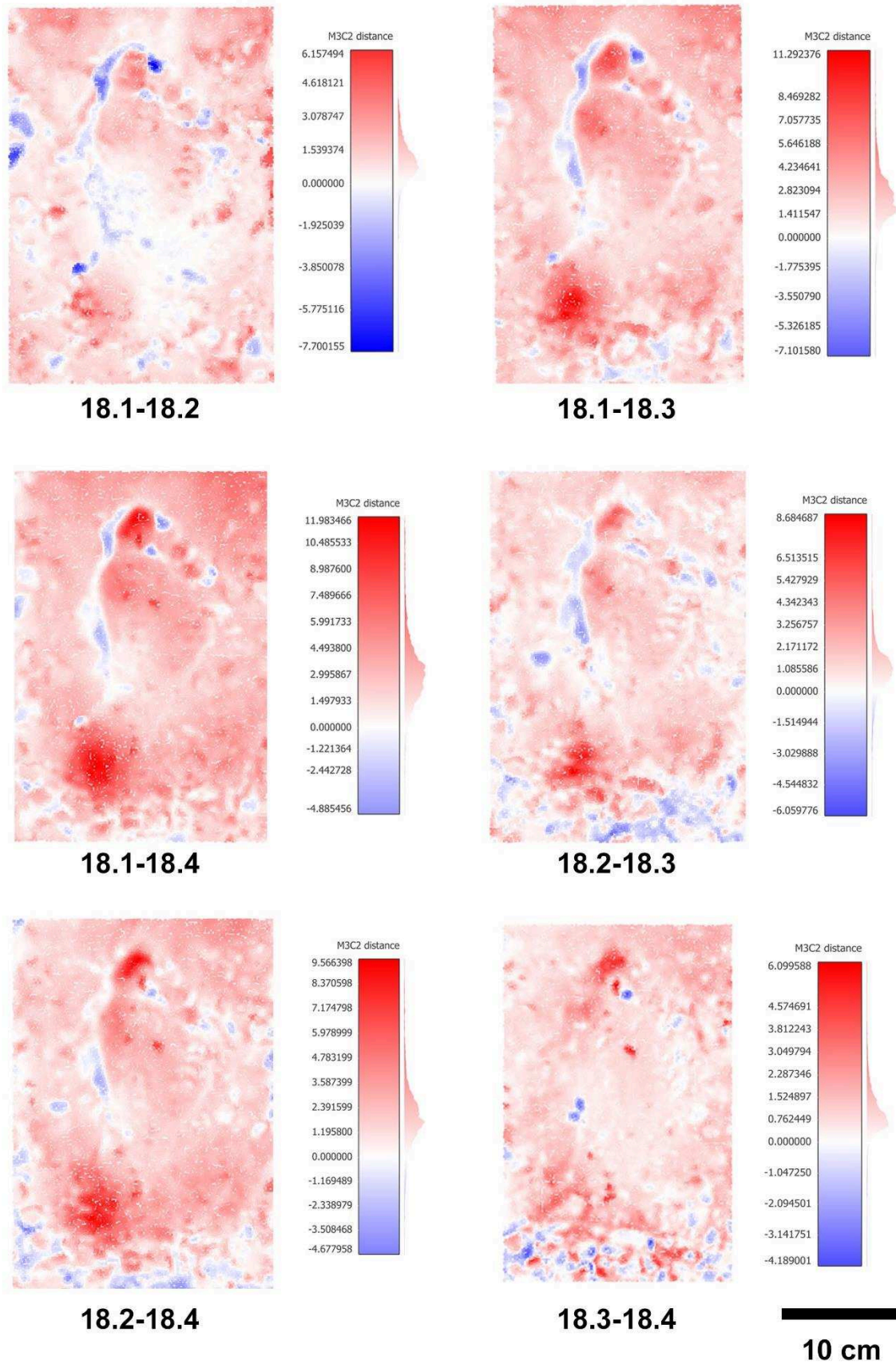


Figure 61 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 18. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.

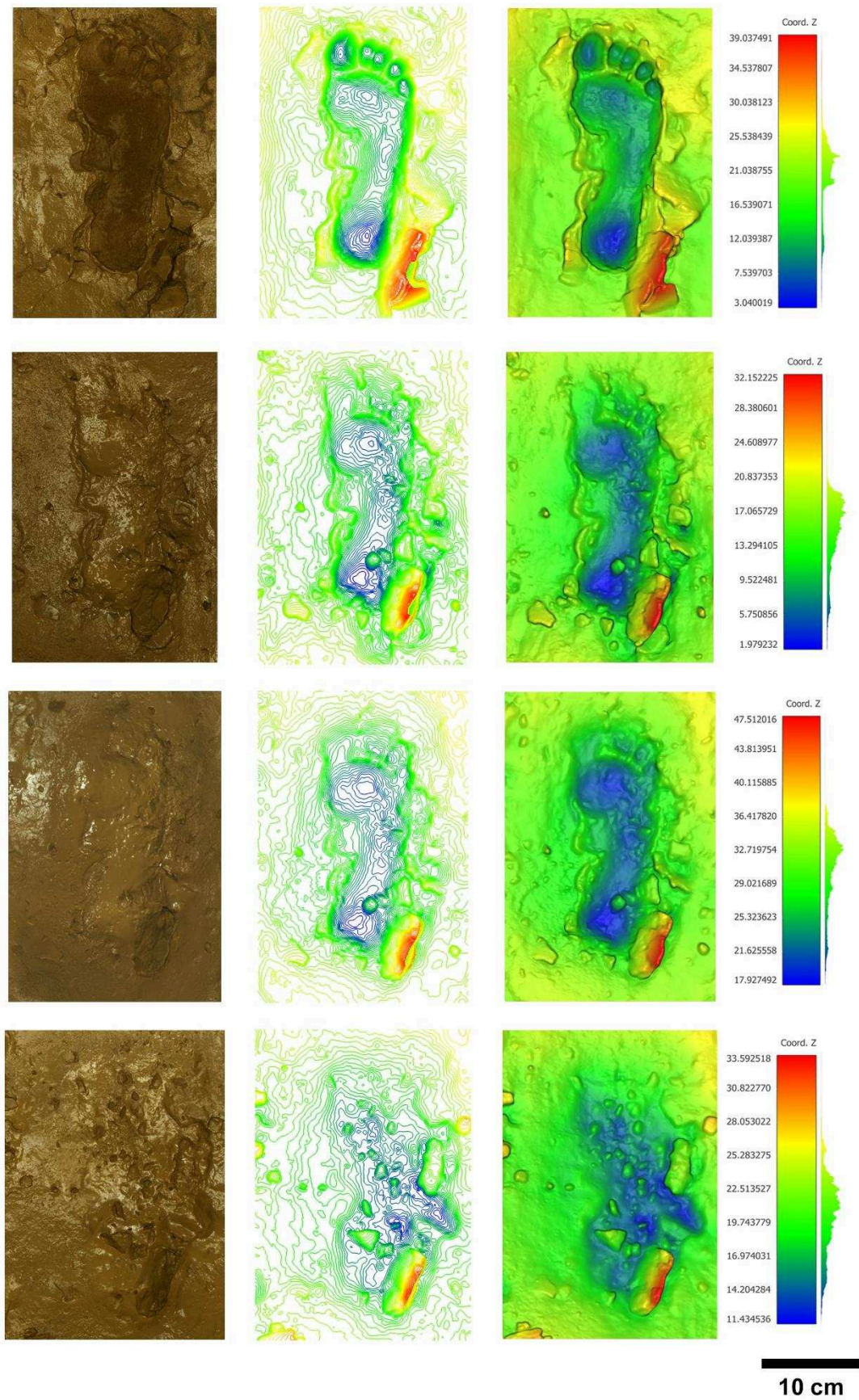


Figure 62 : Évolution de l'empreinte 20 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoisement, deuxième ennoisement, troisième ennoisement).

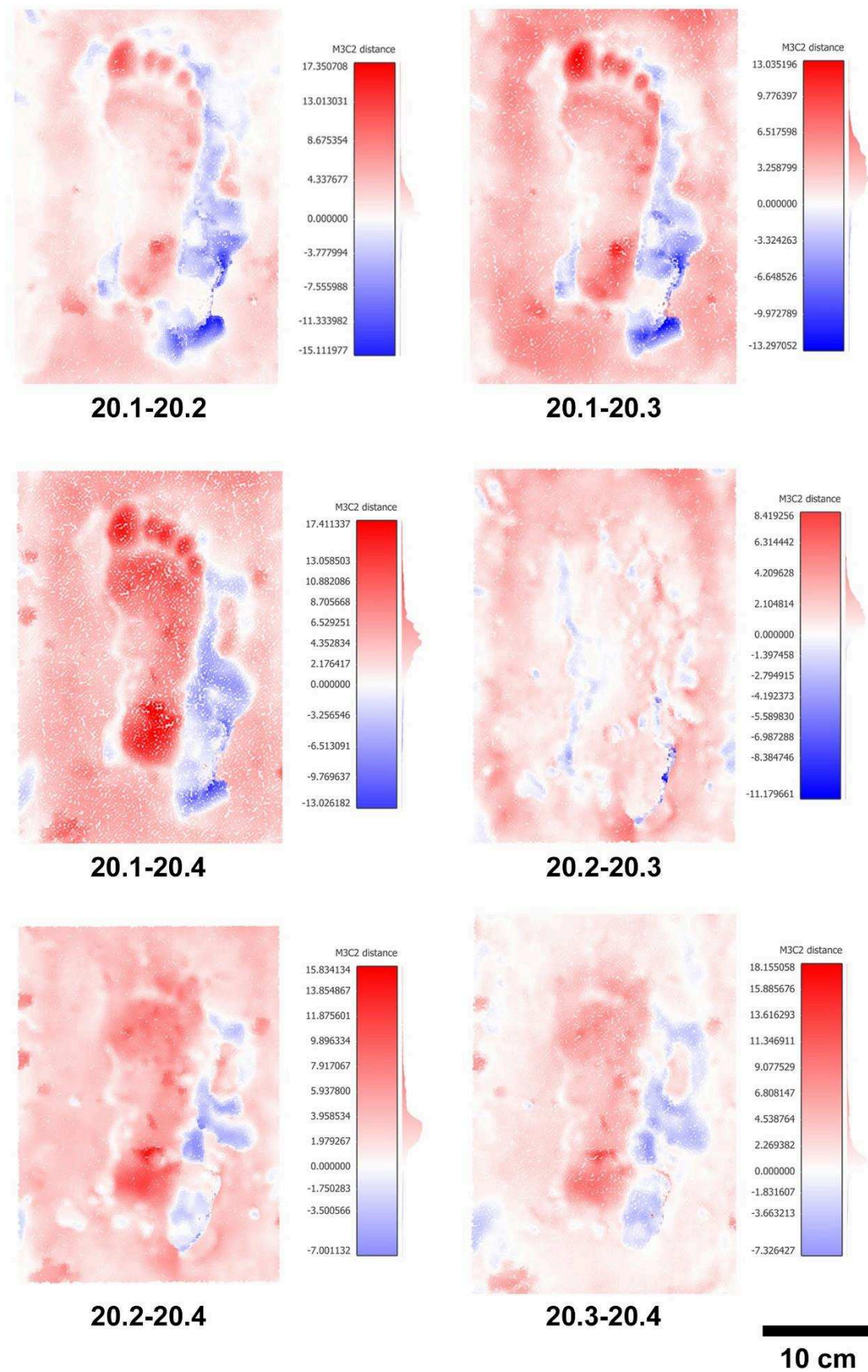


Figure 63 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 20. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion).

2.4.3.1.3. Topographie

Les empreintes réalisées sur le support d'argile de décantation ont tendance à être plus profondes que celles obtenues aux dépens du support d'argile brute. Celles-ci présentent, en outre, de plus forts bourrelets sur leur contour allant parfois jusqu'au soulèvement et détachement du support de formation (Figures 58, 60, 62, 64, 66 et 70).

La topographie des empreintes a, cependant, été impactée à la suite des ennoiements secondaires avec, dans la majorité des cas, un remplissage de l'empreinte de quelques millimètres et un aplanissement des bourrelets, ou une érosion des soulèvements d'argile sur les pourtours des empreintes. Ces phénomènes sont bien rendus sur les comparaisons de nuages de points (Figures 61, 63, 65 et 67). Toutes les empreintes ont donc vu la définition de leur contour s'altérer, induisant parfois un décalage des points mesurés à la suite des ennoiements par rapport à l'empreinte originale. Le cas de l'empreinte 21 est par ailleurs à souligner car, alors que la partie proximale avait disparu à la suite du premier ennoisement, la topographie de la surface nous a induite en erreur et nous avons relevé certaines dimensions de l'empreinte à partir de ce que nous pensions être le talon. Un écart de 3 cm était alors constaté au niveau de la longueur de l'empreinte. Les cartes de profondeur et isolignes et les comparaisons de nuages de points nous ont permis de constater notre erreur (Figures 66 et 67). L'empreinte 17 a également induit le même type d'erreur en ce qui concerne sa partie distale, du fait que cette dernière a été très endommagée par les ennoiements successifs (Figures 64, 65 et 69). Ce type d'erreur est révélateur de la part de subjectivité existant lors de la détermination d'une empreinte, spécialement dans le cas d'empreintes mal conservées ou incomplètes. Notre connaissance de l'empreinte originale nous a permis de saisir notre erreur, ce qui n'aurait peut-être pas été le cas si nous avions été directement confrontée à l'empreinte après son premier ennoisement. La détermination de ce type d'empreinte et les interprétations qui en découlent (données biologiques, comportementales, etc.) doivent donc toujours être réalisées avec prudence, en gardant à l'esprit que les informations relevées ne reflètent pas nécessairement l'empreinte originale, et cela quel que soit le contexte (Marty et al., 2009 ; Wiseman et De Groot, 2018).

2.4.3.1.4. Biométrie

Les empreintes ont été mesurées après chaque étape. Il ressort de ces mesures que, de façon générale, les différents ennoiements ne modifient que de quelques millimètres les dimensions des parties subsistantes (Figures 68 et 69 et Tableau 8). En revanche, plusieurs écarts > 1 cm ont également été observés sur certaines zones de certaines empreintes (empreintes 10, 17, 21) et sont représentés sur les figures 68 et 69. Ces écarts sont dus à un changement des limites du contour de l'empreinte et à une perception biaisée de l'empreinte par l'observateur. Cela souligne la fragilité des données biométriques relevées sur les empreintes impactées par la taphonomie, et par conséquent, des analyses qui en découlent (estimation de la stature, de la masse, etc.). L'empreinte 17 est un exemple assez représentatif de ce phénomène avec des écarts majeurs de mesures entre 2 et 4 cm au niveau de sa partie distale (Figure 69).

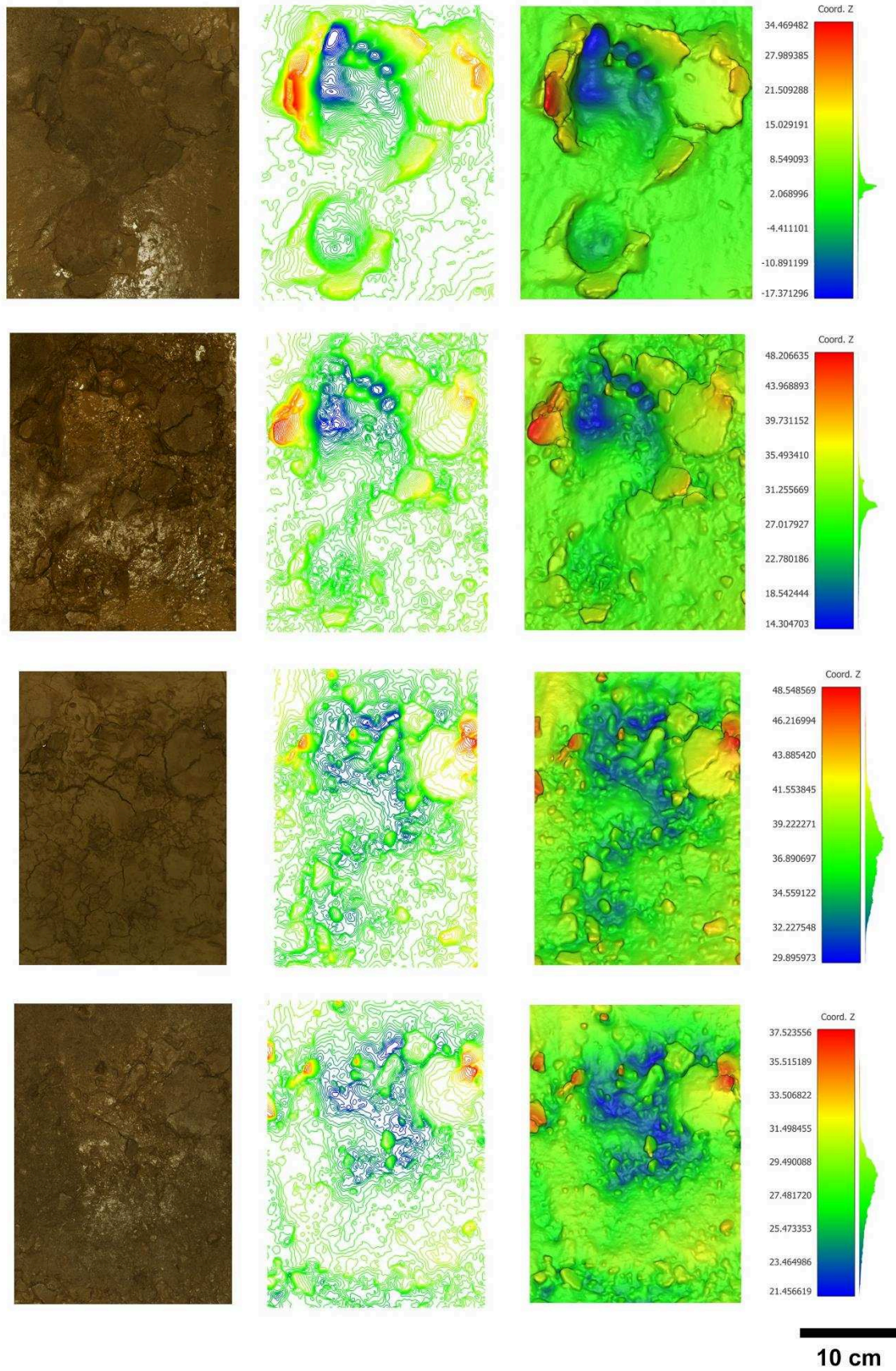


Figure 64 : Évolution de l'empreinte 17 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoisement, deuxième ennoisement, troisième ennoisement).

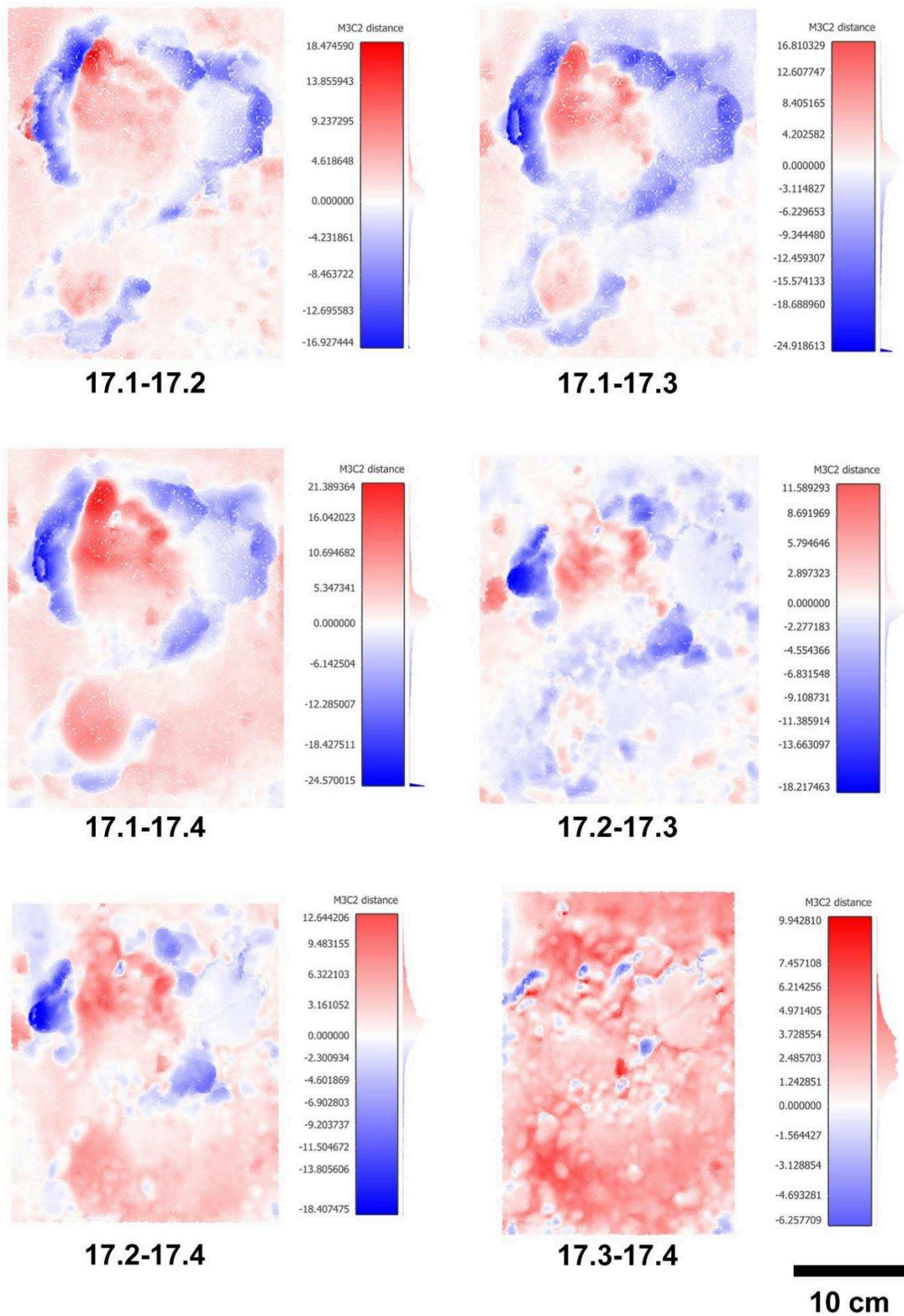


Figure 65 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 17. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.

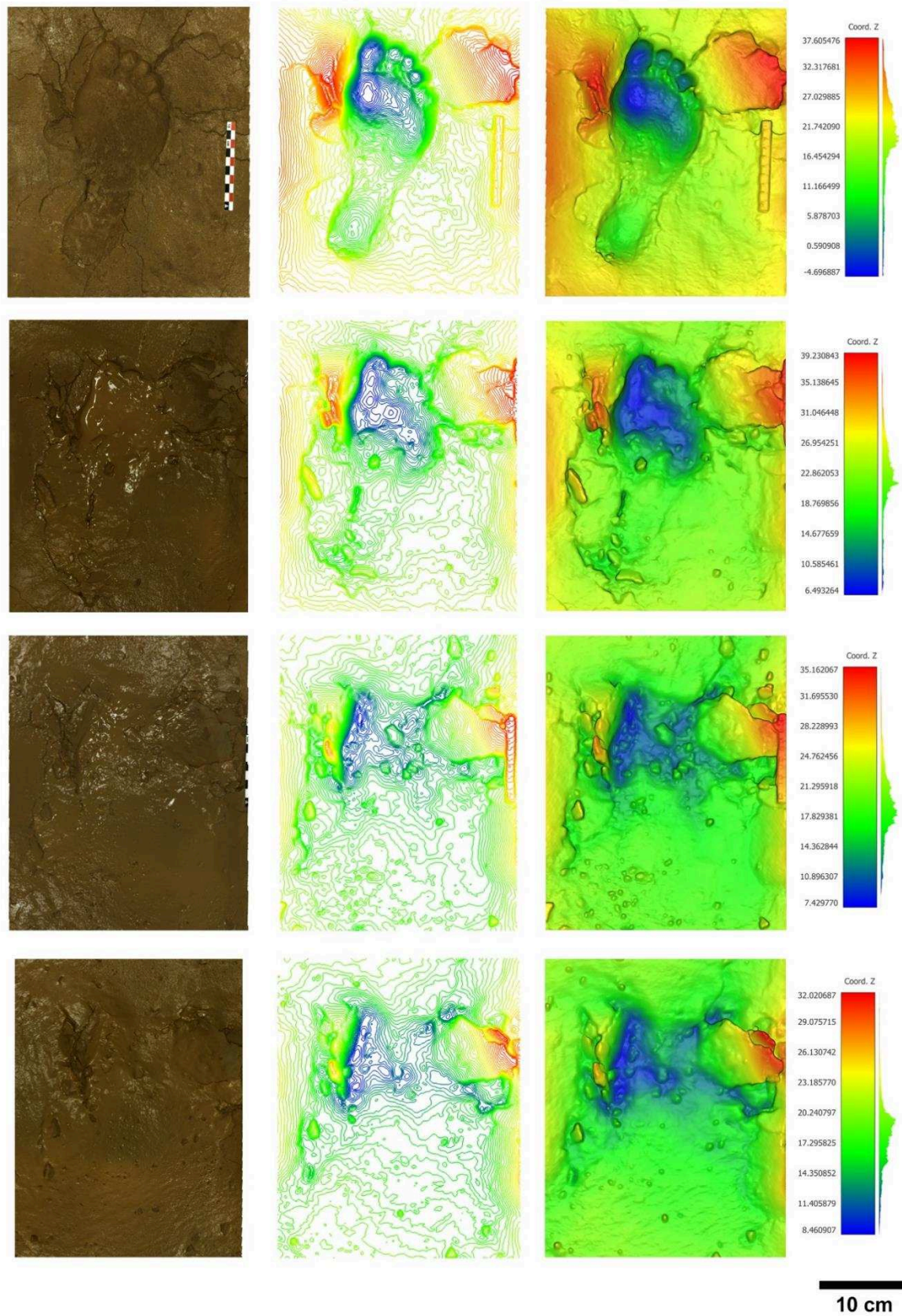


Figure 66 : Évolution de l'empreinte 21 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoisement, deuxième ennoisement, troisième ennoisement).

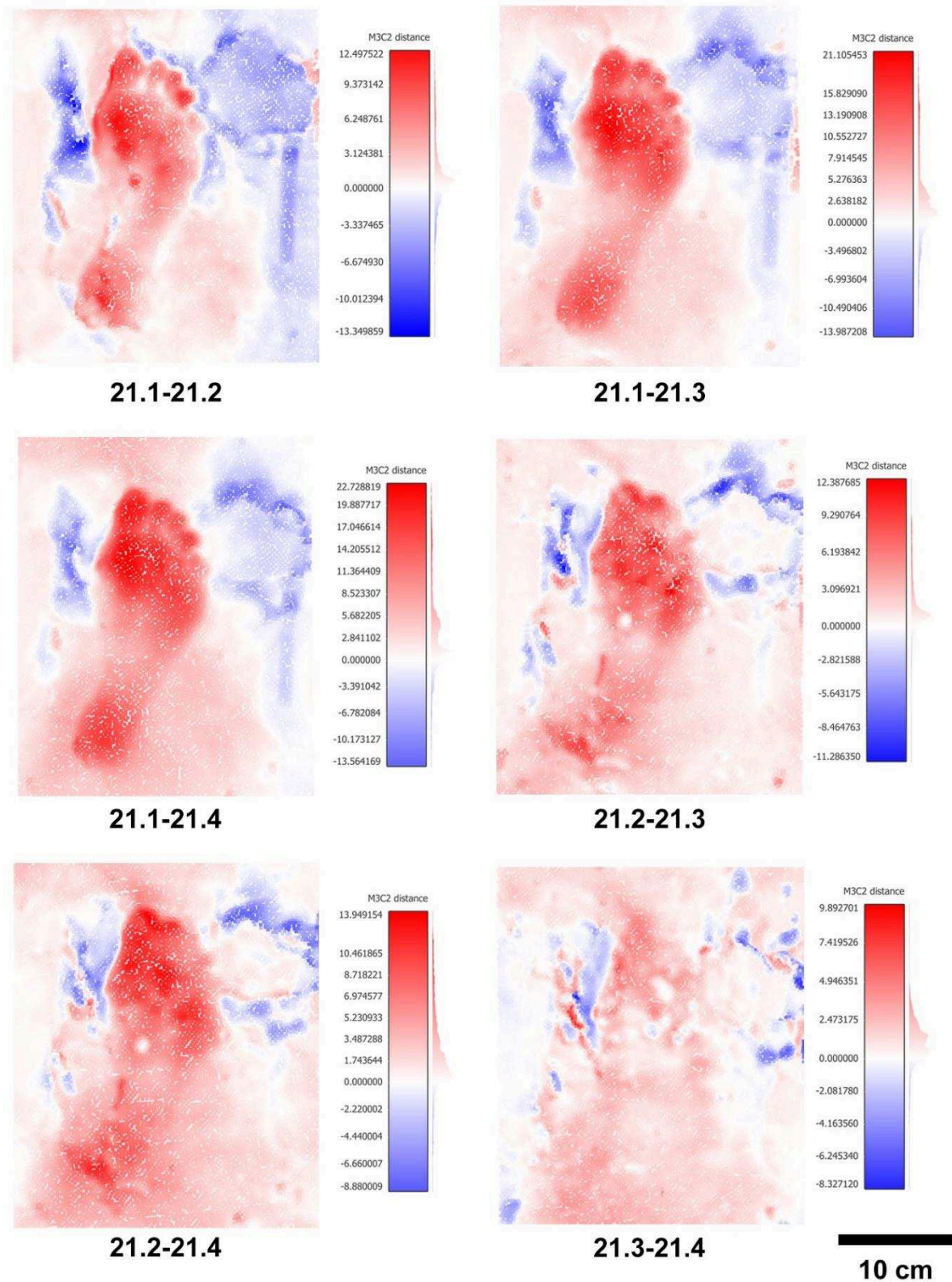


Figure 67 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 21. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.

Support	Charge ennoiements	Empreinte	Étape	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.	
Argile brute	60g/L	5	1	23.8	23	19,9	8,5	3,2	5,3	9,5	
			2	23,3	22,4	19,4	8,3	aucun	5,3	9,6	
			3	23	22,3	19,8	8,5	aucun	5,5	9,5	
			4	aucun	aucun	aucun	8,5	aucun	aucun	9,5	
		15	1	24,7	24,3	20,8	10	aucun	4,7	9,5	
			2	aucun	aucun	aucun	9,7	aucun	aucun	9,5	
			3	aucun	aucun	aucun	9	aucun	aucun	8,5	
Argile de décantation primaire	40g/L	10	1	23.7	23,5	20,4	8,5	4,2	5,3	9,0	
			2	23,4	22,4	20,7	8	4,5	5,2	9,3	
			3	aucun	aucun	aucun	7	aucun	aucun	9	
			4	aucun	aucun	aucun	7	aucun	aucun	8,4	
		17	1	25,2	23,3	21	11,2	3,3	6,4	9,7	
			2	25,5	24,4	20,7	10,7	aucun	5,3	10,6	
			3	aucun	aucun	aucun	7	aucun	aucun	9	
			4	aucun	aucun	aucun	7	aucun	aucun	8,4	
	60g/L	19	1	24	23,7	20,4	10,2	6,2	6,2	10,5	
			2	24,4	aucun	aucun	Aucun	aucun	4,5	aucun	
		18	1	24	23,4	20	10,9	3,5	6	10,3	
			2	23	22,5	19,2	10,4	aucun	4,5	10,2	
			3	aucun	aucun	aucun	10,6	aucun	aucun	10,2	
			4	aucun	aucun	aucun	9,2	aucun	aucun	9	
		80g/L	20	1	23,6	22,9	20	8,9	5,1	5,7	9,6
				2	23,5	22	19,4	8,2	5	5,6	9,6
3	23,1			22	20,1	8,1	4,6	6,5	9,4		
21	1		24,9	24	21,4	10,9	5,2	5,7	10,5		
	2		21,4	20,7	20	10,5	5,3	4,9	10,4		

Tableau 8 : Biométrie des empreintes utilisées dans le cadre de l'expérimentation sur la taphonomie.

Chapitre 2

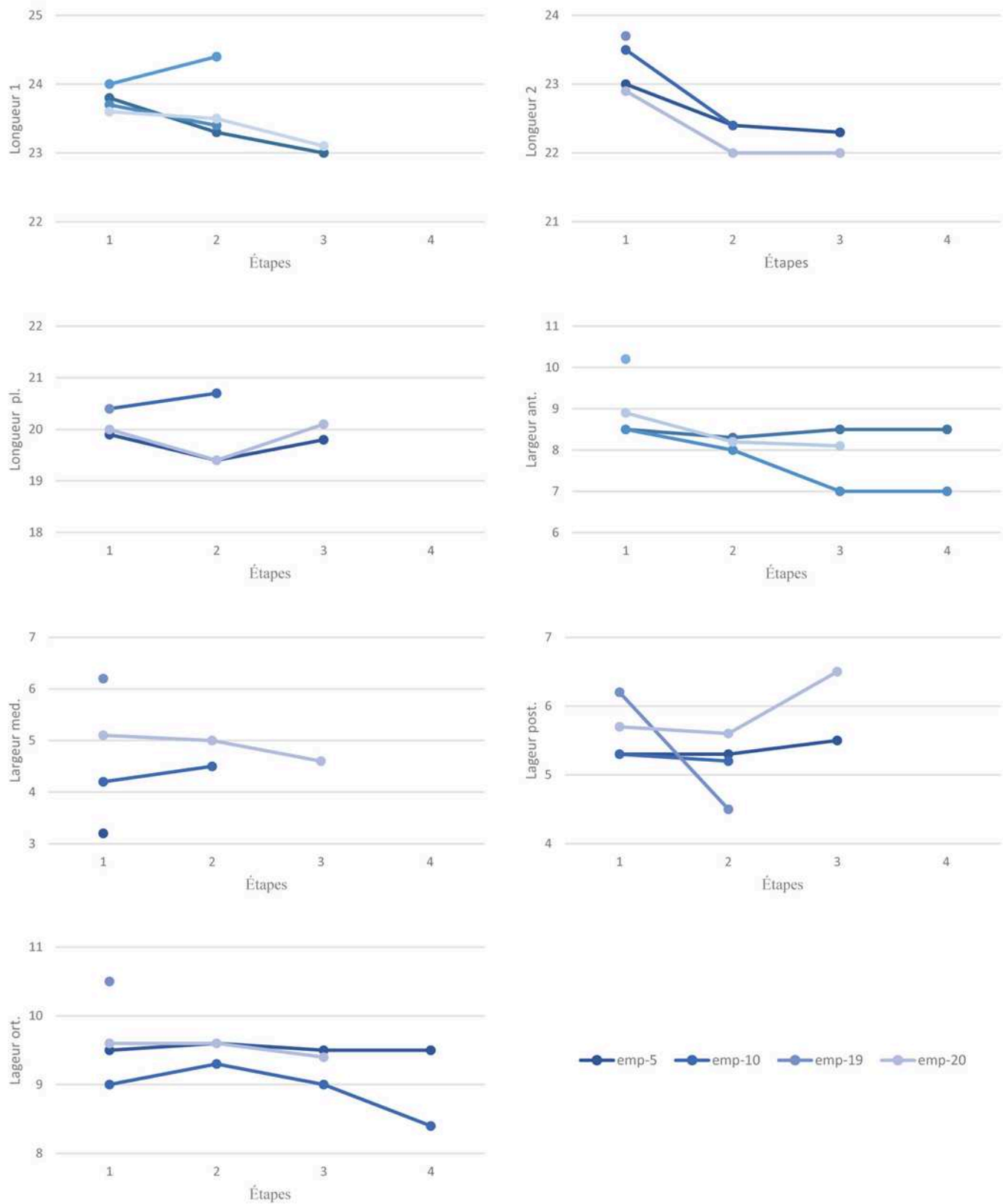


Figure 68 : Évolution des différentes mesures linéaires prises sur les empreintes en fonction des différents ennoissements pour le sujet 1 (longueurs et largeurs en cm).

Chapitre 2

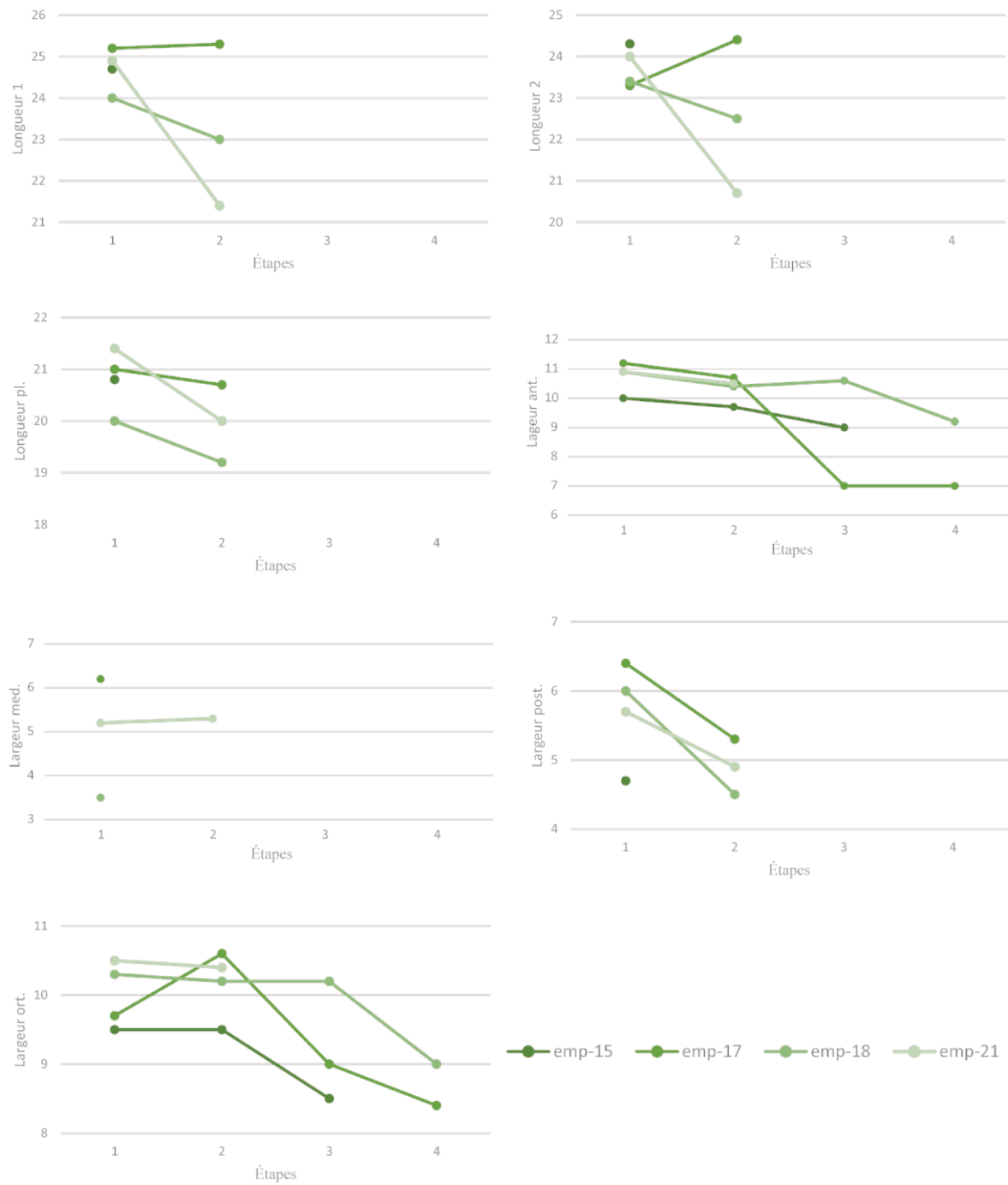


Figure 69 : Évolution des différentes mesures linéaires prises sur les empreintes en fonction des différents envoiements pour le sujet 2 (longueurs et largeurs en cm).

2.4.3.1.5. Remobilisation

Nous avons noté que, malgré une certaine constance, la morphologie et les mesures prises sur les empreintes pouvaient être impactées par les ennoiements successifs selon les cas. Par conséquent, quels sont les facteurs pouvant expliquer la transformation des empreintes après les différents ennoiements ?

Plusieurs empreintes ont notamment été impactées par la remobilisation de matière sur la surface. Cette remobilisation peut être issue soit de plaquettes d'argile formées au moment de l'infiltration de l'eau entre les différents niveaux (Figures 70 et 71), soit directement des soulèvements d'argile sur le contour de l'empreinte lors de l'appui (Figures 64 et 65). Ces remobilisations de matière à la surface de l'empreinte provoquent alors une disparition partielle voire totale de l'empreinte. Ce constat est particulièrement vrai pour les empreintes réalisées sur un niveau d'argile de décantation primaire. Plus la teneur en eau du sédiment est importante, moins ce dernier est cohésif, entraînant la formation d'empreintes plus profondes, de bourrelets importants sur leurs contours et parfois même le détachement et le soulèvement de plaquettes. Ces éléments fragilisent la surface et par conséquent, l'empreinte qui au moment de l'ennoisement, se verront modifiées.

Une eau versée trop rapidement et en gros débit sur la surface détériore également fortement l'empreinte. Nous en avons fait l'expérience au début de ces expérimentations sur les empreintes 7, 8 et 9 (Figure 72). Ces empreintes formées dans un niveau d'argile de décantation primaire et ennoyées à fort débit sont l'exemple le plus représentatif du rôle joué par l'énergie de l'eau des inondations. En effet, l'eau versée trop rapidement et brusquement a remobilisé l'argile de décantation précédemment déposée et a détruit les empreintes. Cette expérience nous a permis, par la suite, de mieux contrôler le versement de l'eau à la surface des empreintes.

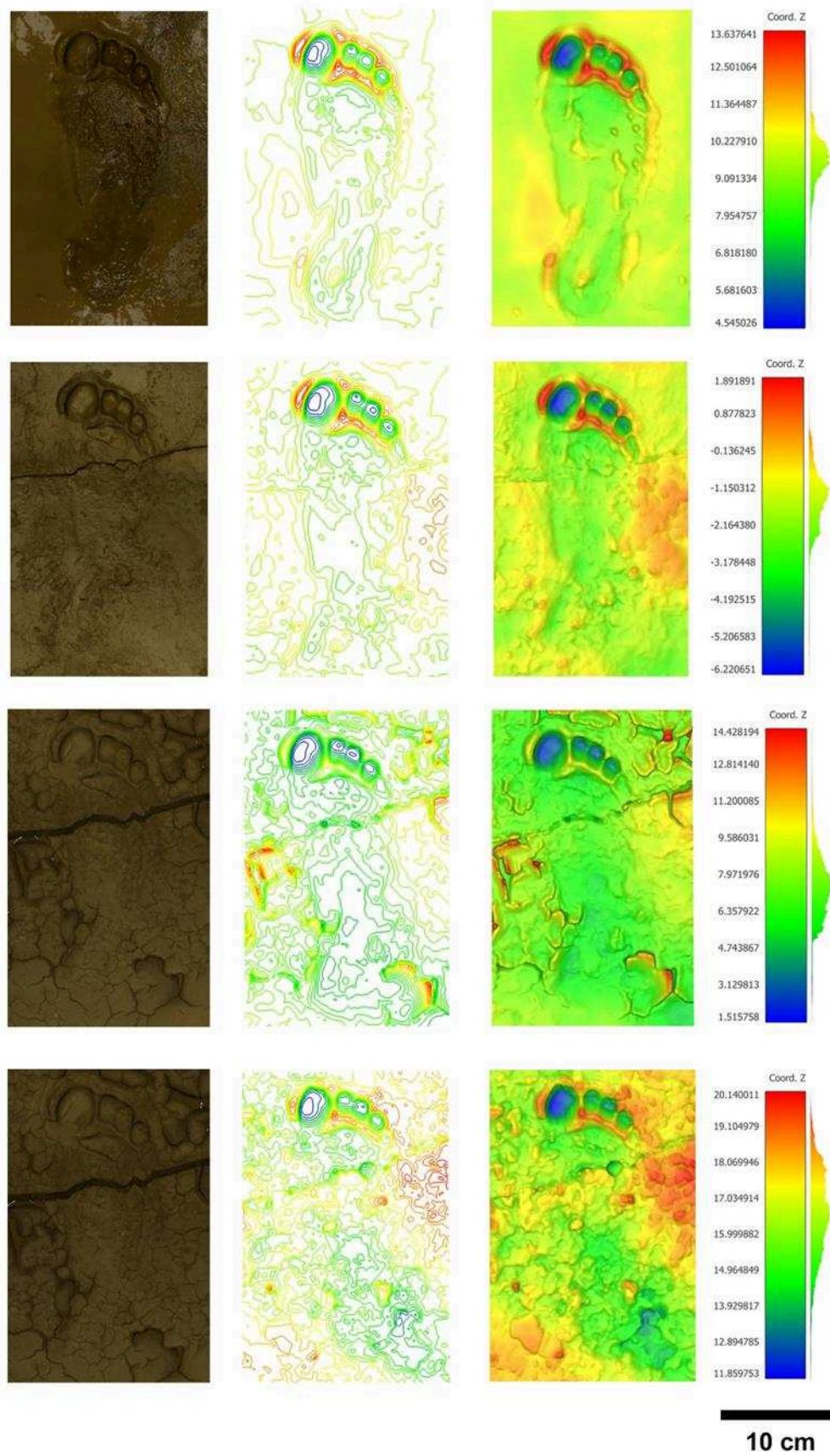


Figure 70 : Évolution de l'empreinte 10 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoiemnt, deuxième ennoiemnt, troisième ennoiemnt).

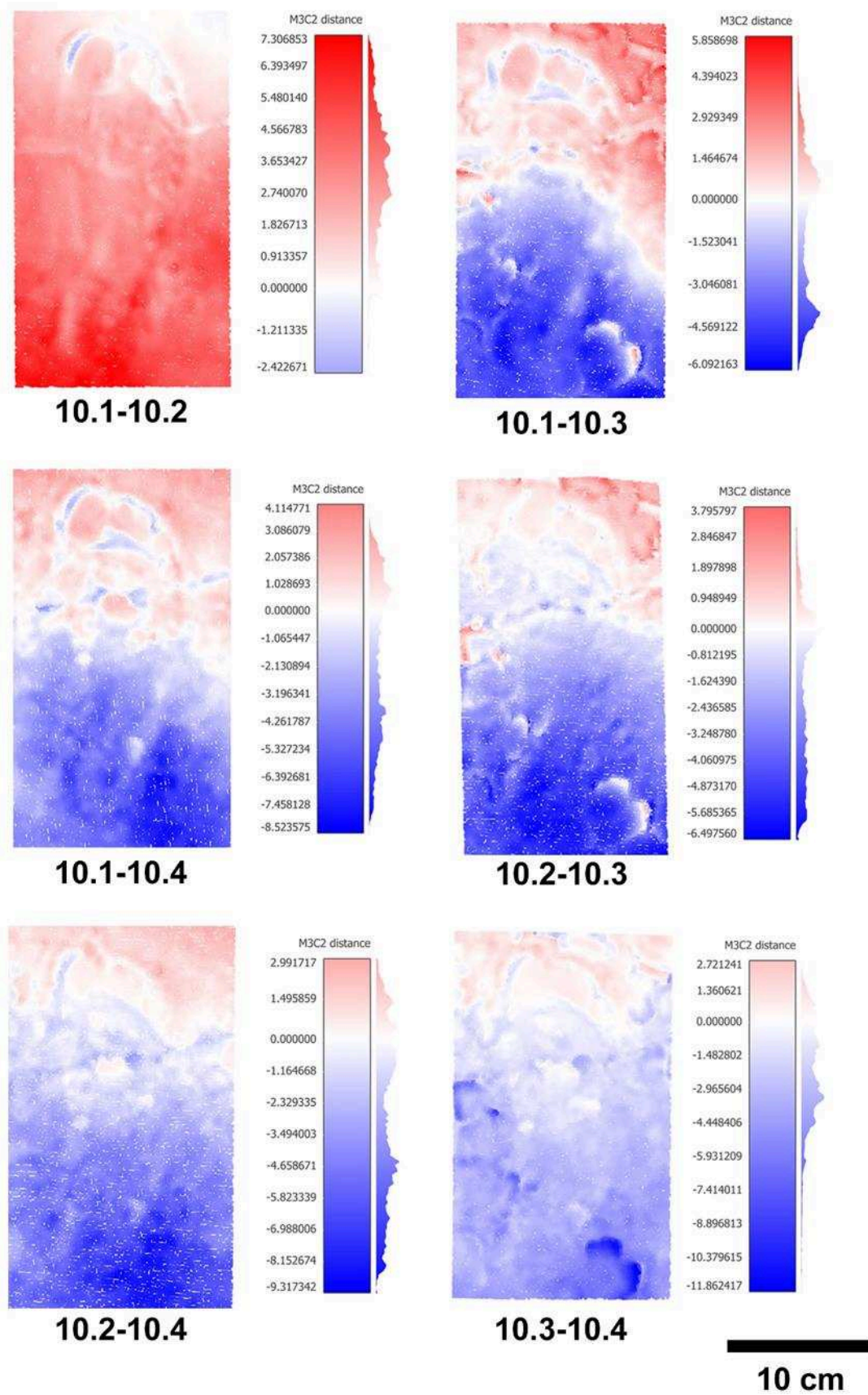


Figure 71 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 10. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.

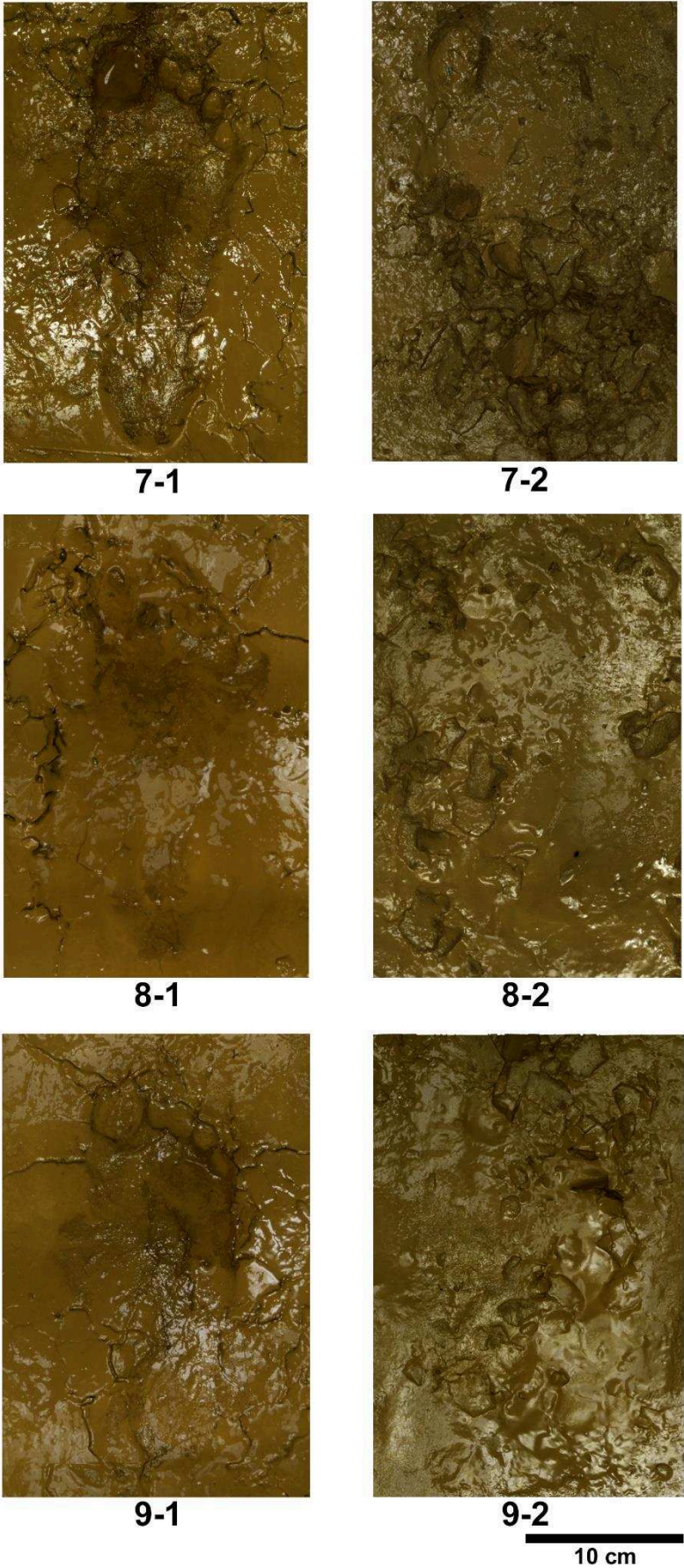


Figure 72 : empreintes 7,8 et 9 avant et après ennoisement.

2.4.3.2. Le port de chaussant

Nous présentons ici les résultats de l'analyse comparative de 16 empreintes de pieds chaussés qui ont été réalisées sur les deux types de support préalablement définis. Chacune de ces empreintes est associées à une empreinte de pied nu appartenant au même individu. Huit empreintes ont été réalisées pour chacun des chaussants. Trois individus ont participé à ces expérimentations, le sujet 2 pour l'ensemble des expérimentations, le sujet 1 pour le chaussant 1 et le sujet 3 pour le chaussant 2. Le but est d'appréhender l'influence du port de chaussant sur la morphologie d'une empreinte et ses caractéristiques. Comme pour les résultats relatifs à la taphonomie, nous illustrons notre propos par les empreintes les plus représentatives. Les descriptions détaillées de l'ensemble des empreintes sont présentées en annexes.

2.4.3.2.1. Morphologie générale

Le constat principal et général qui ressort de ce travail est que toutes les empreintes constituant notre corpus expérimental voient leur morphologie changer lorsqu'elles ont été réalisées avec un chaussant. Celles-ci apparaissent, en effet, plus allongées et plus étroites dans leur partie proximale. Ce constat s'applique à toutes les variables utilisées, à savoir, les deux supports de formation (argile brute et argile de décantation primaire), les trois individus, les deux types de chaussant et la présence ou l'absence de rembourrage. La morphologie générale du pied est en revanche conservée avec, dans la plupart des cas, la possibilité d'individualiser les trois parties : distale, moyenne et proximale, caractéristiques du pied (Figures 73 à 80).

2.4.3.2.2. Présence de l'empreinte des orteils

En ce qui concerne les détails de l'empreinte, l'ensemble des empreintes issues d'un pied chaussé sans rembourrage, laisse apparaître les orteils et cela avec les deux chaussants (Tableau 9). Leur lisibilité semble, en revanche, dépendre aussi bien du type de support que du chaussant utilisé. Ainsi, on constate que le support d'argile brute semble plus favorable à l'impression des orteils, puisque ceux-ci sont aisément individualisables en particulier pour les empreintes réalisées avec le premier chaussant (Figure 73), les orteils des empreintes réalisées avec le

deuxième chaussant n'étant pas tous présents et moins lisibles (Figure 74). Le support d'argile de décantation a quant à lui permis l'impression des orteils mais ils sont moins marqués et difficiles à individualiser (Figure 75). Sur les empreintes réalisées avec le deuxième chaussant, seul l'hallux peut être isolé (Figure 76). Ces détails vont, en revanche, disparaître sur les empreintes réalisées par un pied chaussé avec rembourrage (Tableau 9). Bien que la forme générale du pied soit conservée, aucun orteil ne peut être individualisé (Figures 77, 79 et 80). Le seul élément qui peut être relevé sur certaines empreintes (ch6, ch9, ch10, ch12, ch14, ch18) est l'hallux (Figures 77 à 80 et Figures 173 et 174). Sa présence, assez régulière et bien mise en évidence par les cartes d'isolignes et les profils des empreintes, peut être liée au fait qu'il s'agit de la dernière zone d'appui du pied et de celle d'où part l'impulsion dans le cycle de la marche. Ces résultats font écho à certains travaux réalisés aussi bien sur des empreintes humaines que non humaines et mettant en évidence que les empreintes formées sur des substrats plus fermes et cohésifs s'enregistrent mieux et présentent plus de détails (Gatesy et al., 1999 ; Milàn et Bromley, 2007 ; Jackson et al., 2009 ; Crompton et al., 2012 ; Morse et al., 2013) en particulier dans les zones de la plante avec une morphologie plus complexe tels que les orteils (Allen, 1997).

Chaussant	Support	Rembourrage	Empreinte	Orteils ?
1	Argile	non	ch1	oui
			ch2	oui
		oui	ch4	non
			ch6	non
	argile de décantation	non	ch3	oui
		oui	ch10	non
2	Argile	non	ch8	hallux
			ch11	hallux
		oui	ch9	non
			ch12	non
	Argile de décantation	non	ch15	oui
			ch16	hallux
		oui	ch17	non
			ch18	hallux

Tableau 9 : Présence / absence des orteils selon le support et le chaussant.

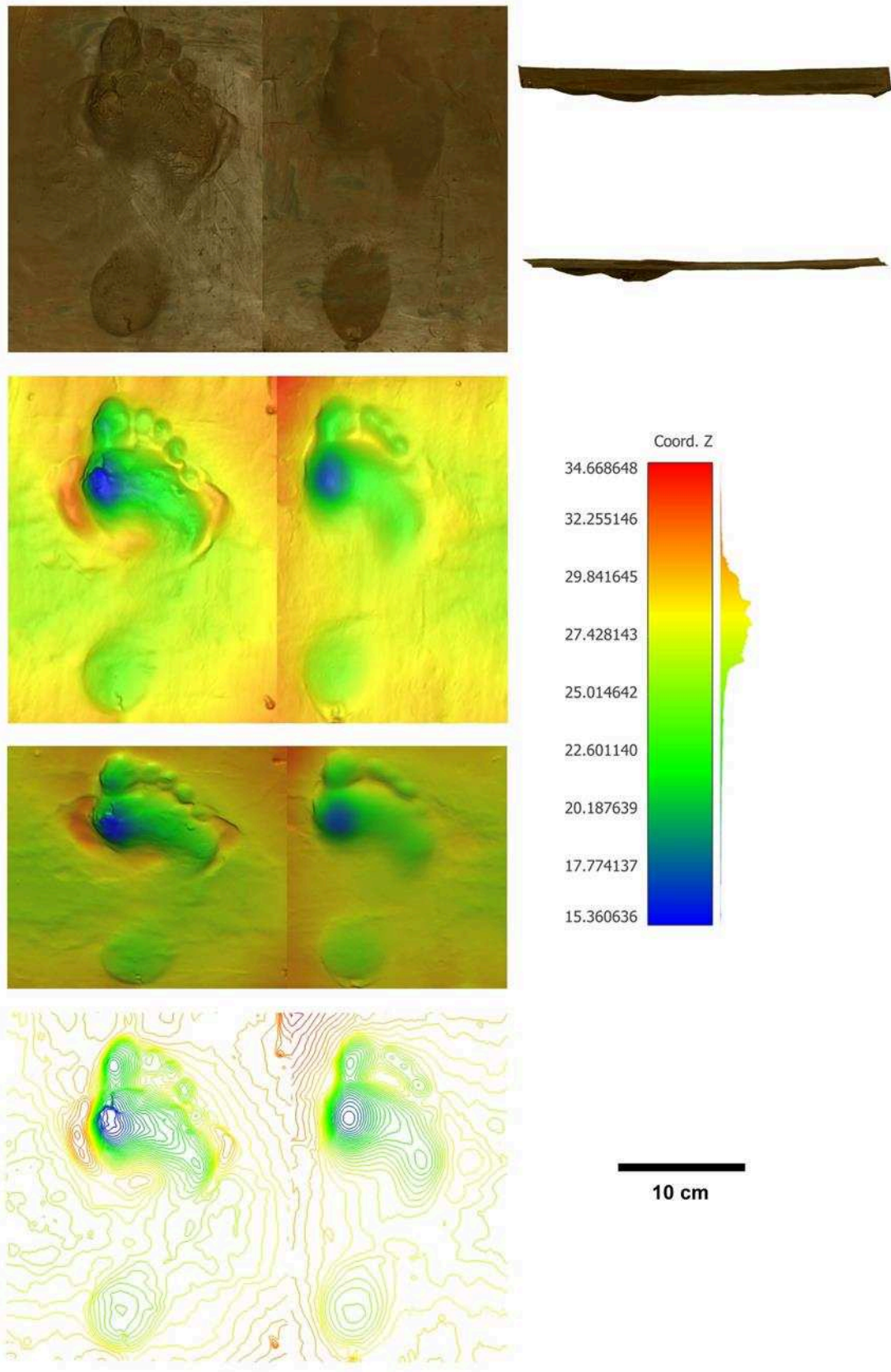


Figure 73 : Comparaison des empreintes constituant ch2 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 1 sans rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

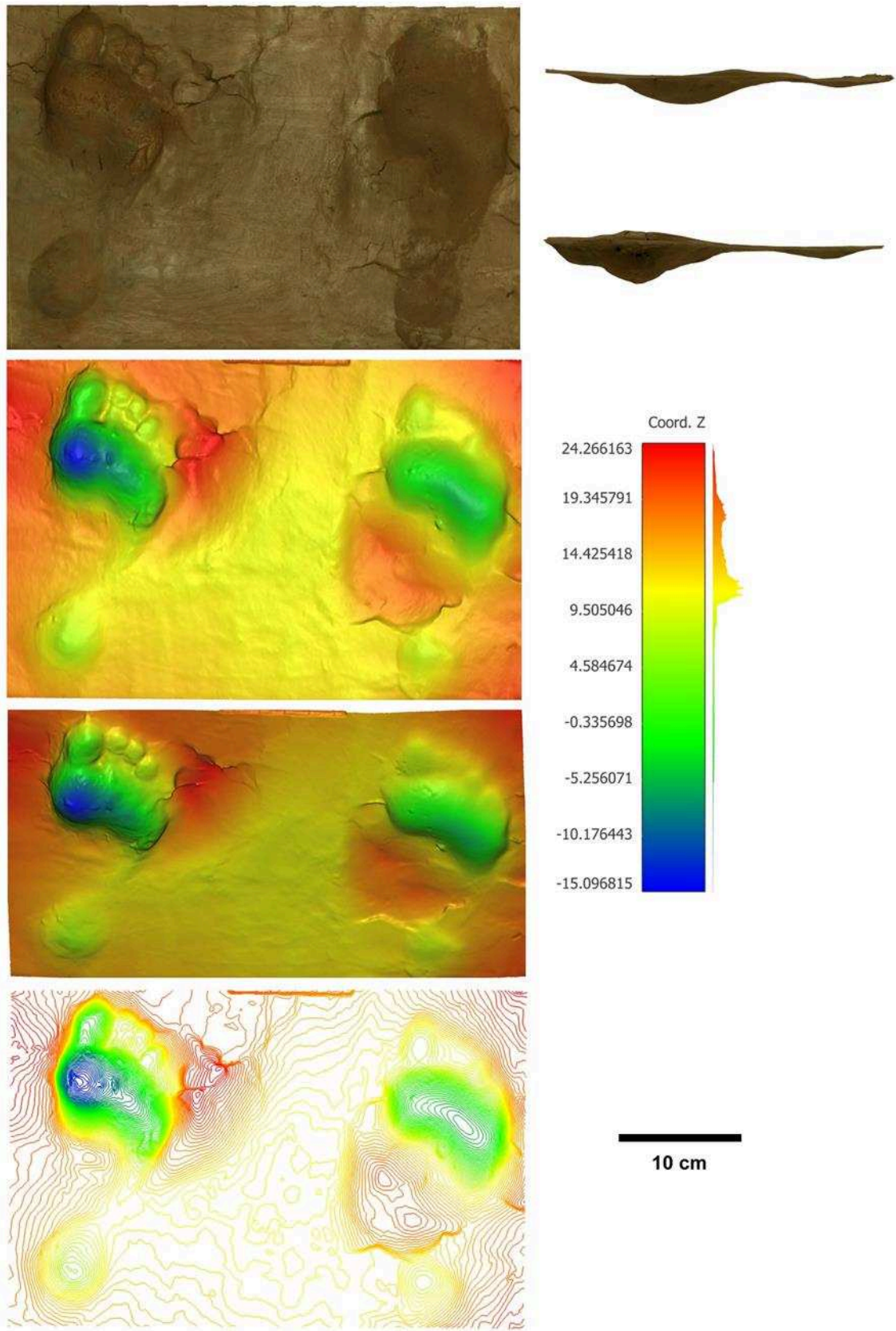


Figure 74 : Comparaison des empreintes constituant ch8 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 sans rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

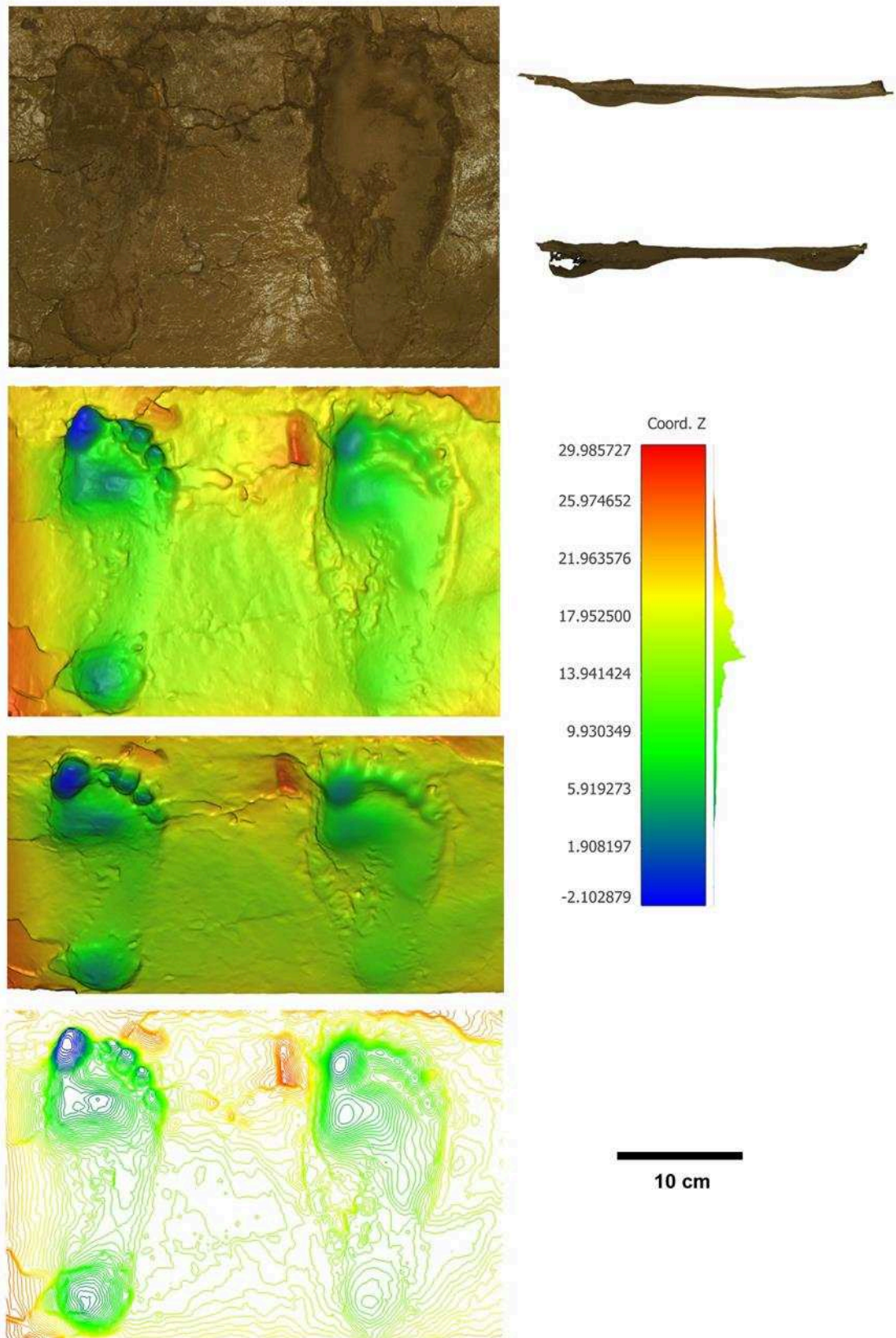


Figure 75 : Comparaison des empreintes constituant ch3 sur argile de décantation. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant sans rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

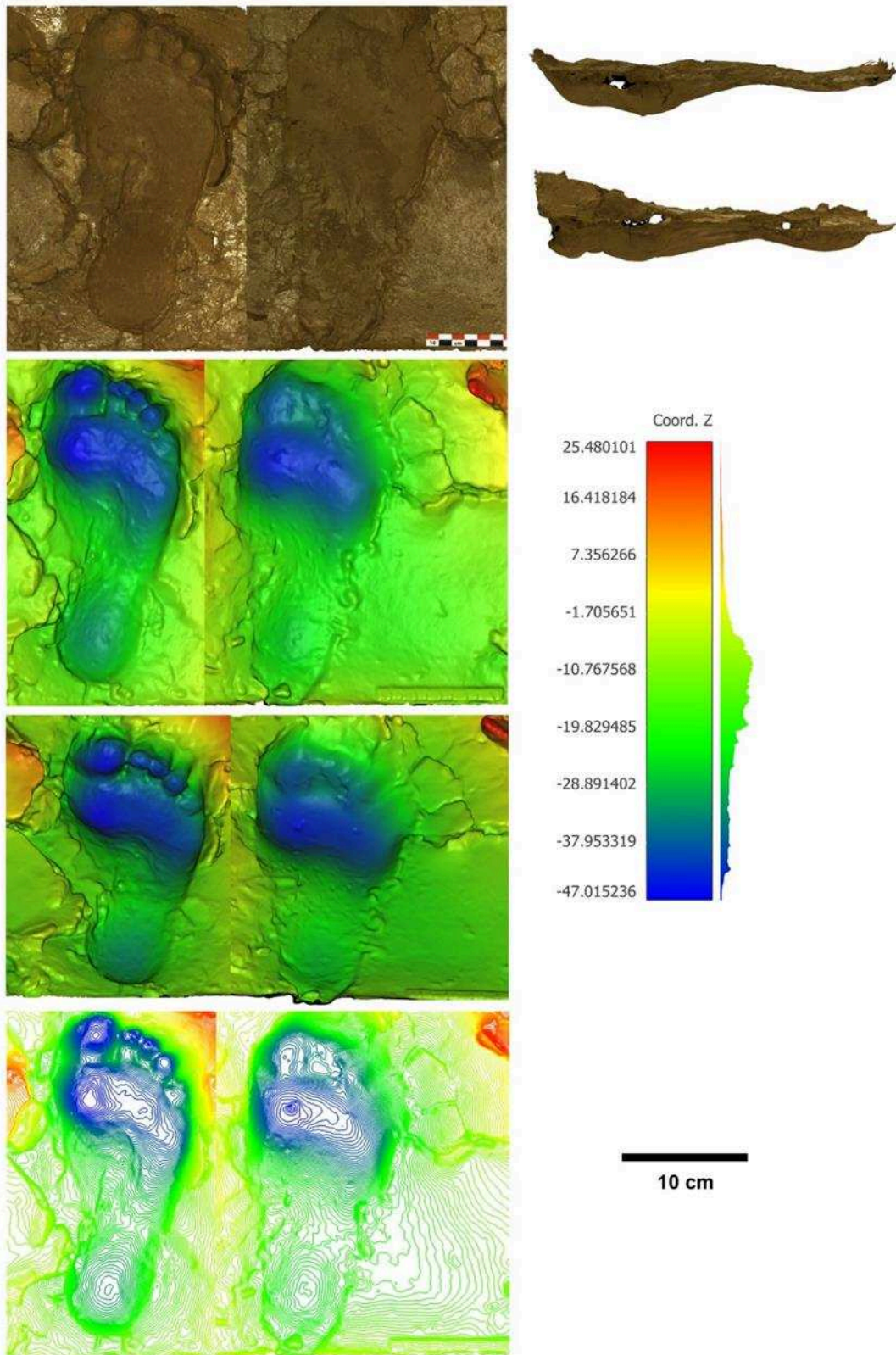


Figure 76 : Comparaison des empreintes constituant ch15 sur argile de décantation. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 sans rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

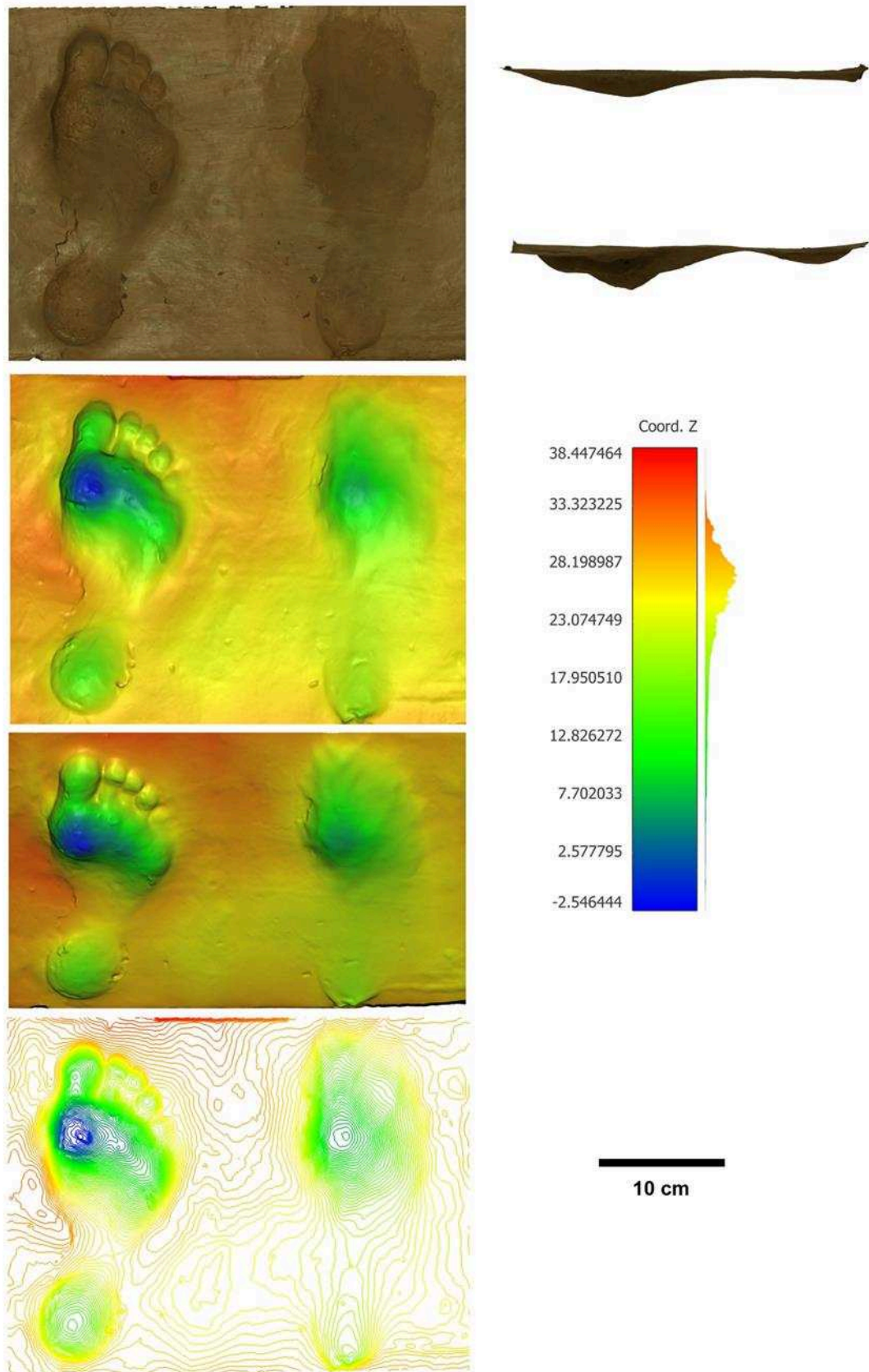


Figure 77 : Comparaison des empreintes constituant ch6 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 1 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

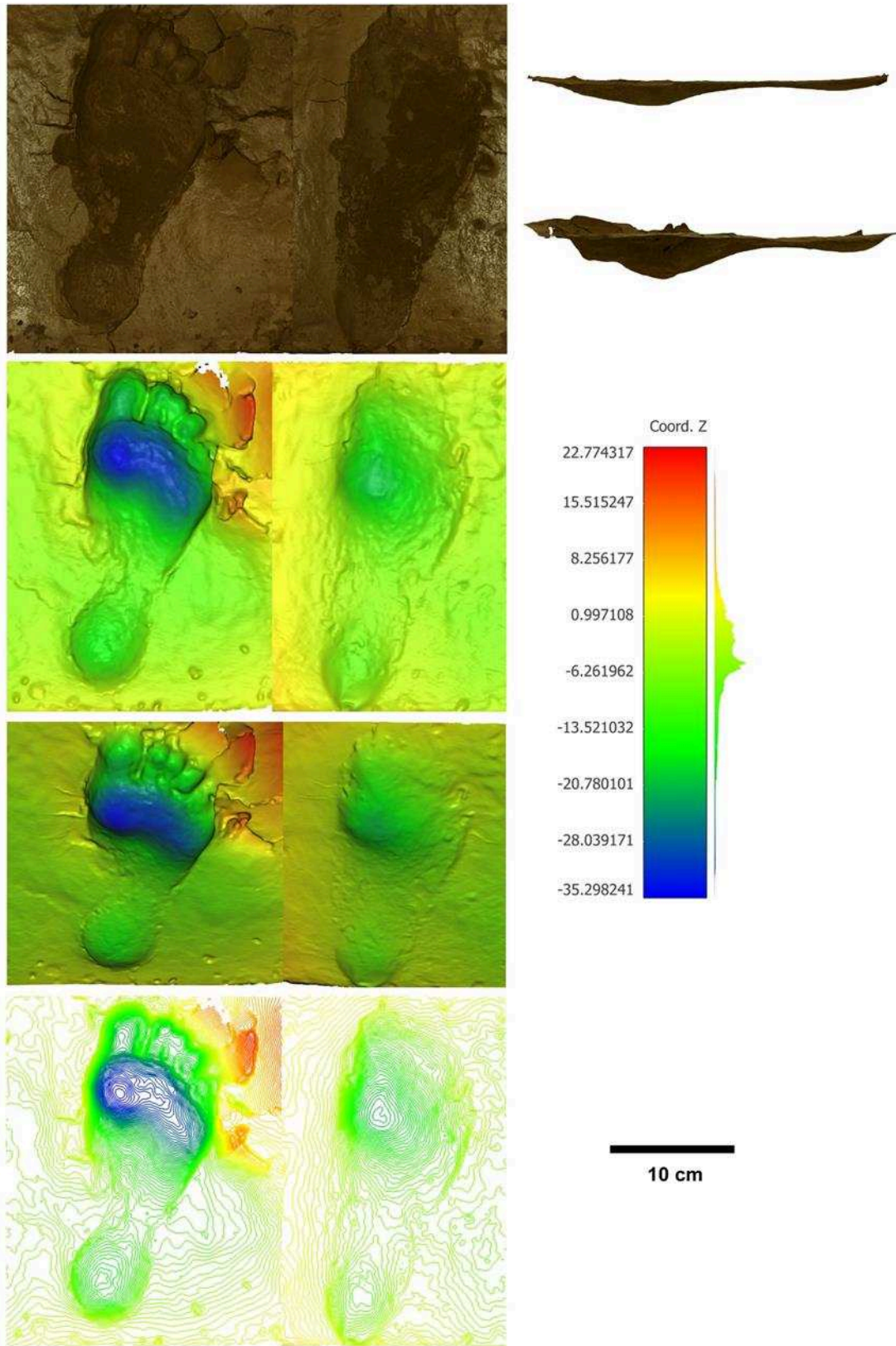


Figure 78 : Comparaison des empreintes constituant ch14 sur argile de décantation. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 1 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

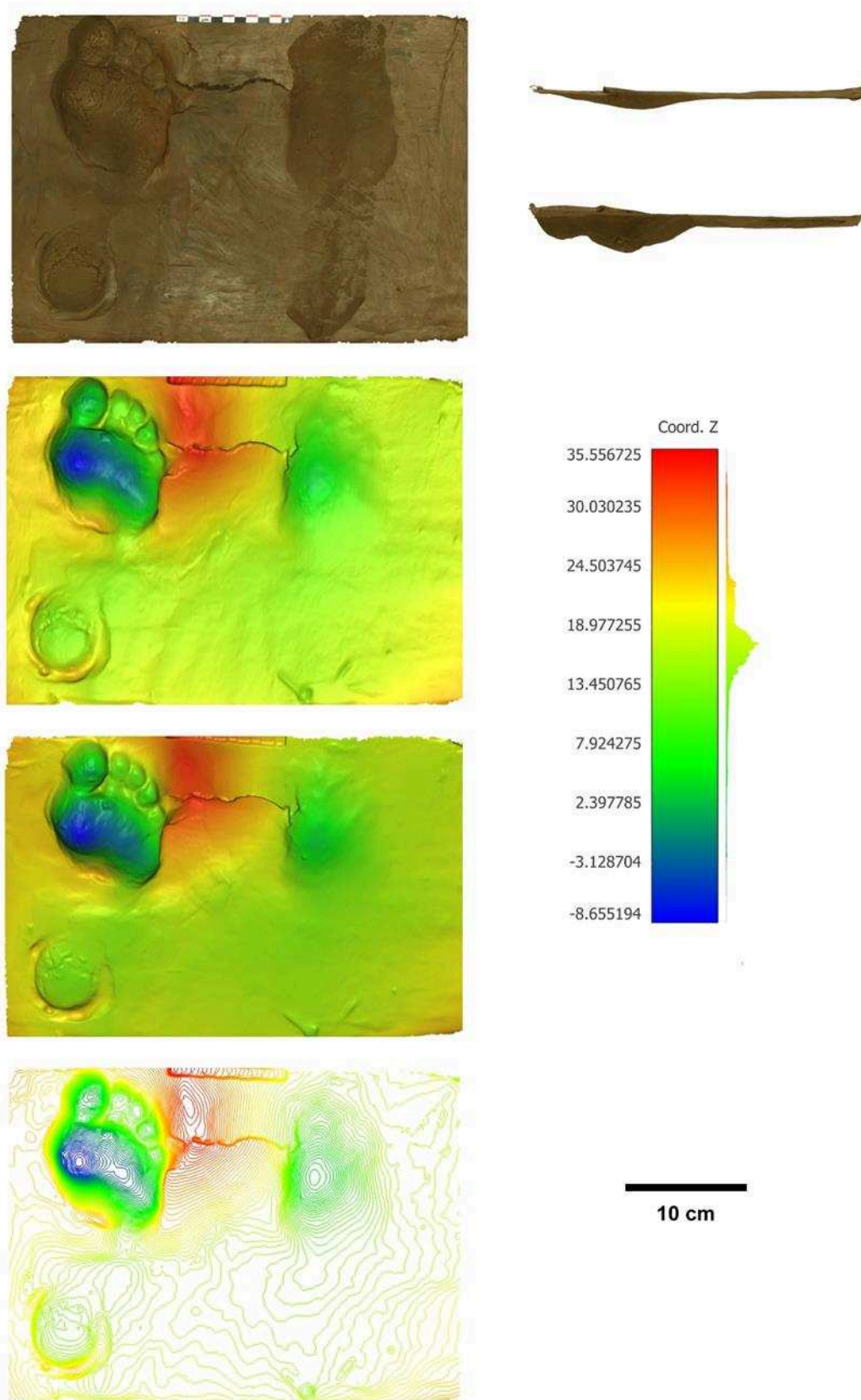


Figure 79 : Comparaison des empreintes constituant ch9 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

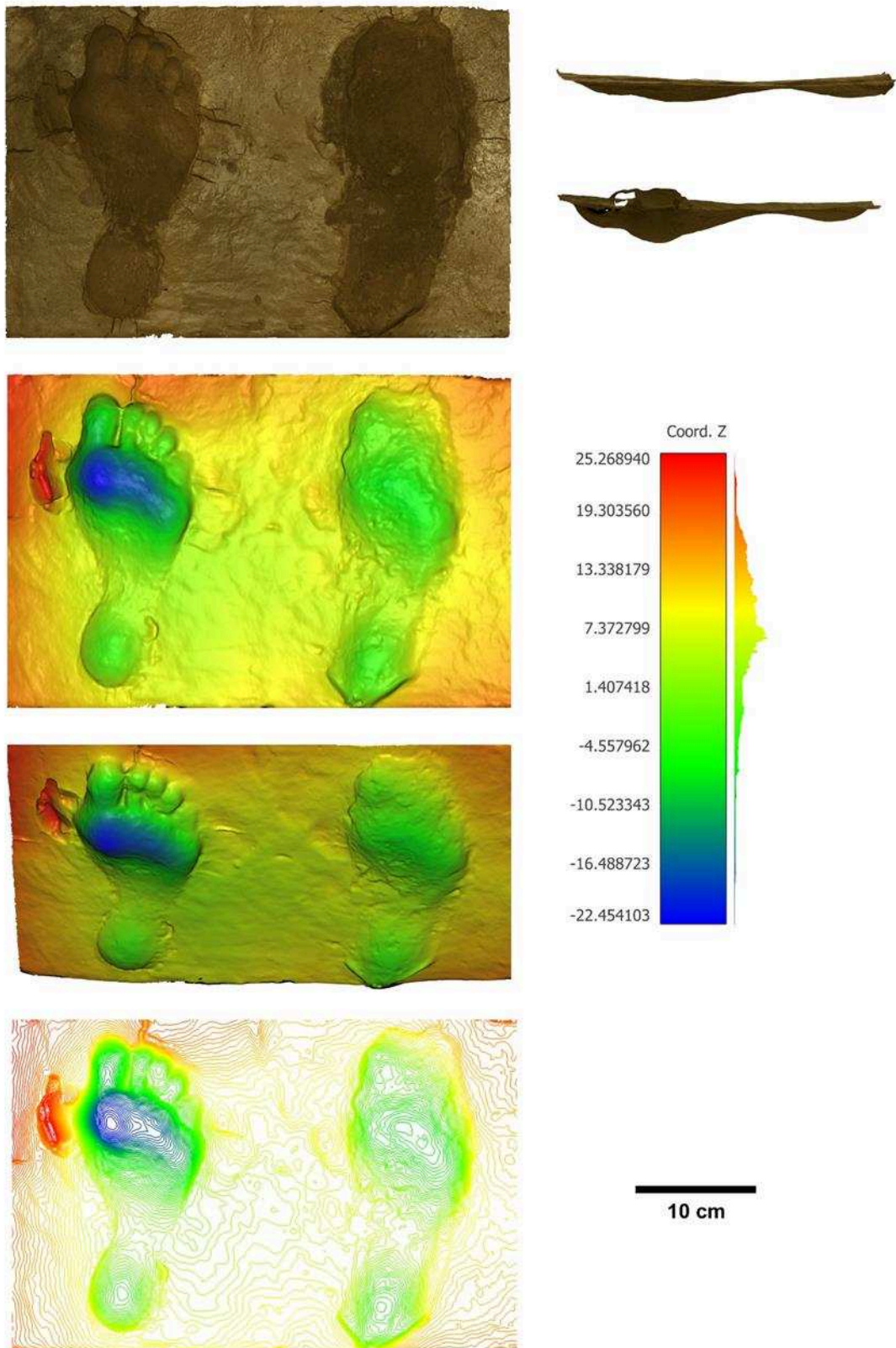


Figure 80 : Comparaison des empreintes constituant ch18 sur argile de décantation. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

Les changements constatés, dans tous les cas de figure, par rapport aux empreintes de pied nu sont relatifs à la longueur de l'empreinte et à sa largeur. En effet, la biométrie des empreintes confirme que celles de pied chaussé auront tendance à être plus allongées et plus étroites en particulier en ce qui concerne la partie proximale (Tableau 10). Cela est plus variable pour la partie distale pour laquelle la largeur semble plus varier en fonction du support pour les deux types d'empreinte qu'en fonction du chaussant. L'étroitesse de la partie proximale et la longueur générale un peu plus importante constatées sur les empreintes de pied chaussé est due à la forme des chaussants, plus resserrée à ce niveau du fait du lien qui joint les deux parties de la pièce de cuir constituant chacun des chaussants. Le calcul du rapport entre la longueur des empreintes de pied chaussé et celles de pied nu (**longueur pied chaussé / longueur pied nu**) permet d'appréhender l'évolution de l'empreinte entre pied nu et pied chaussé. Il apparaît que ce rapport est toujours supérieur à 1, confirmant que la longueur de l'empreinte augmente toujours avec le port d'un chaussant. Les valeurs du rapport sont également plus importantes sur le support d'argile de décantation, et cela quel que soit le chaussant utilisé et la présence ou non de rembourrage (Figure 81). Cela s'accompagne d'une plus grande variabilité des empreintes et de leur longueur sur ce même support. Ce constat est moins évident pour les autres mesures un peu plus variables. L'évolution de ce rapport est probablement la conséquence de la teneur en eau plus importante de ce type de support le rendant plus plastique, collant et moins cohésif. Lors de l'impulsion de la partie distale du pied, une partie du sédiment a pu être emportée avec le pied ou celle-ci a pu entraîner un glissement altérant les bords de l'empreinte en rendant son contour irrégulier.

Il est déjà établi que les empreintes de pied sont quasiment toujours plus grandes que les pieds qui en sont responsables, d'autant plus sur des substrats plastiques et pour les empreintes les plus profondes (Hatala et al., 2018). Ce rapport entre la longueur du pied et la longueur de l'empreinte tendrait donc à augmenter avec l'utilisation d'un chaussant.

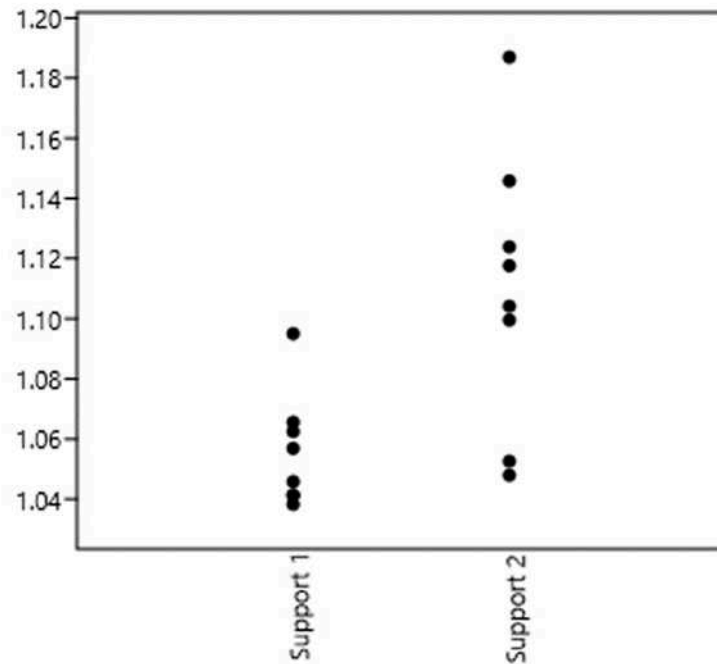


Figure 81 : Rapport de la longueur des empreintes de pied chaussé et des empreintes de pied nu pour les deux types de support utilisés (Support 1 : argile brute / Support 2 : argile de décantation).

2.4.3.2.4. Profondeur

La morphologie et la géométrie du pied sont aussi des facteurs à prendre en considération. Celles-ci vont, en effet, se voir modifiées par la présence du chaussant autour de ce dernier, en particulier en ce qui concerne la partie distale de la plante pour laquelle on passe d'une forme complexe, avec des orteils bien séparés à une forme plus simple, unique et homogène. De par leur taille et leur individualisation, les orteils auront tendance à pénétrer plus facilement dans le substrat qu'un élément plus large tel que l'avant du pied après son recouvrement par le chaussant. Cela peut expliquer la plus grande régularité des bords de l'avant des empreintes de pied nu en comparaison avec celles des empreintes de pieds chaussés.

Cet effet « amortissant » du chaussant se constate également sur les autres parties de l'empreinte dans la plupart des cas, et pour les deux types de sédiment. Ce phénomène est bien restitué sur les profils des empreintes et se caractérise par une profondeur des parties distale et

proximale amoindrie (Figures 73 à 80). Le cas particulier de l’empreinte ch17, dont l’appui de la partie distale sur l’empreinte de pied chaussé est beaucoup plus important que celui de l’empreinte de pied nu, est probablement dû à la position et la dynamique du sujet 3 au moment de la réalisation de l’empreinte (Figure 82). Ces résultats sont cohérents avec plusieurs études expérimentales relatives à la pression et à la morphologie des empreintes qui ont mis en évidence que ces caractéristiques étaient liées à une multitude de facteurs interdépendants. Parmi eux, on compte notamment les propriétés mécaniques du substrat, la morphologie du pied et sa dynamique (Falkingham et al., 2009 ; Jackson et al., 2009 ; D’Août et al., 2010 ; Bates et al., 2013 ; Bennett et Morse, 2014 ; Hatala et al., 2018). En effet, il a déjà été démontré que deux morphologies différentes peuvent former des empreintes de profondeur différente même si la pression exercée est la même (Falkingham et al., 2009 ; Bates et al., 2013). Ainsi, la profondeur d’une empreinte sera plus dépendante de la forme et du rapport longueur / surface de la zone imprimée que de la pression exercée, en particulier pour les substrats cohésifs. Cela pourrait expliquer la différence de profondeur des empreintes de pied chaussé et non chaussé. En revanche, la présence ou l’absence de rembourrage ne semble pas avoir d’effet sur la profondeur des empreintes. Outre la morphologie du pied et le substrat, des facteurs biomécaniques peuvent aussi avoir joué un rôle puisque le port de chaussant semble avoir une influence sur la cinématique du pied (Willems et al., 2015, 2017 ; D’Août et Allen, 2017).

Chaussant	Support	Rembourrage	Empreinte	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
1	Argile	non	ch1 avec chaussant	24,4	22,7	19,7	8	aucun	4,3	9,8
			ch1 sans chaussant	23,5	22,4	19,7	8,2	2,5	5,3	9,4
			ch2 avec chaussant	25,1	24,3	21,5	9,6	aucun	4,8	10,4
			ch2 sans chaussant	24	23,4	20,5	10	aucun	5,2	10
		oui	ch4 avec chaussant	25,2	aucun	aucun	8	5,2	5,6	aucun
			ch4 sans chaussant	24,2	22,6	19,2	8,1	aucun	5,4	9,4
			ch6 avec chaussant	26,5	aucun	aucun	9,4	5	5,6	8,8
			ch6 sans chaussant	24,2	23,5	20	10	3,7	5,9	10
	Argile de décantation	non	ch3 avec chaussant	26,6	23,5	20,6	10,4	4,3	4,5	10,2
			ch3 sans chaussant	23,8	23,1	20,9	9,6	3,9	5,9	10,1
			ch13 avec chaussant	28	aucun	22,2	13,1	6,5	5,9	11
			ch13 sans chaussant	26,6	23,3	21,4	11,4	3,4	6	10,5
		oui	ch10 avec chaussant	26,3	aucun	aucun	9,9	5,5	5,1	aucun
			ch10 sans chaussant	23,4	23	20	9,9	4,1	5,9	10,4
ch14 avec chaussant			26,2	aucun	aucun	10,6	7,6	5,9	10	
ch14 sans chaussant			25	24,4	21,5	11,1	4,2	5,9	10,9	
2	Argile	non	ch8 avec chaussant	25,2	aucun	21,2	10,4	aucun	4,4	9,1
			ch8 sans chaussant	24,2	23,4	20,5	10,9	aucun	5,4	9,7
			ch11 avec chaussant	25,5	aucun	21,8	9,6	aucun	aucun	8,2
			ch11 sans chaussant	24	24,1	20	9,4	3,4	5,2	10
		oui	ch9 avec chaussant	26	aucun	aucun	8,9	aucun	5,8	aucun
			ch9 sans chaussant	24,6	23,6	20,5	11,4	aucun	5,9	10,5
			ch12 avec chaussant	26	aucun	aucun	9	4,6	5,5	aucun
			ch12 sans chaussant	24,4	23,6	19,9	10	3,9	4,9	10,2
	Argile de décantation	non	ch15 avec chaussant	26,5	aucun	21,4	11,9	6,5	6	9
			ch15 sans chaussant	24	23,4	21,1	12,2	4,9	6	11
			ch16 avec chaussant	27,5	aucun	22,9	12	6,9	6,7	9,8
			ch16 sans chaussant	24	23,4	20,5	12,4	5,5	6	9,9
		oui	ch17 avec chaussant	29,2	aucun	aucun	12,9	10	5,9	aucun
			ch17 sans chaussant	24,6	24,2	21	10,5	7,9	6,5	9,8
ch18 avec chaussant			26,5	aucun	aucun	10	8	6	aucun	
ch18 sans chaussant			24,1	23,6	20	11,1	5,5	6,6	10,5	

Tableau 10 : Biométrie des empreintes utilisées dans le cadre de l'expérimentation sur le port de chaussant.

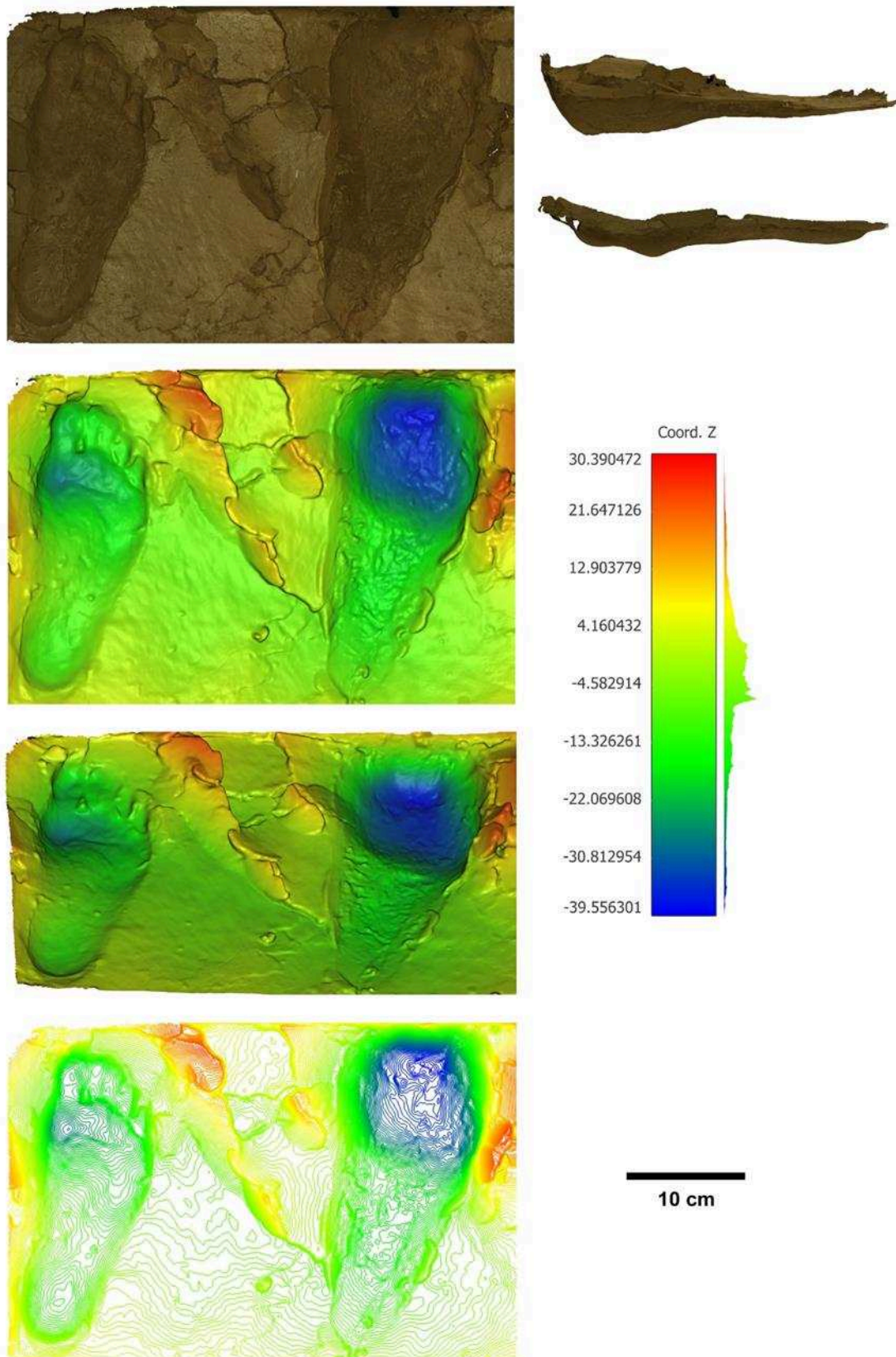


Figure 82 : Comparaison des empreintes constituant ch17 sur argile de décantation. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

2.5. Conclusion et application au registre fossile

2.5.1. Morphologie et taphonomie de l'empreinte

2.5.1.1. Taphonomie

Au terme des expérimentations, nous pouvons faire ressortir la série d'observations suivantes :

- La présence des orteils est attestée sur l'ensemble des empreintes de notre échantillon après la première étape (formation de l'empreinte). Dans la majorité des cas, ceux-ci persistent à la suite des différents ennoiements secondaires, en particulier l'hallux.
- La partie distale de l'empreinte subsiste plus longtemps que les parties moyenne et proximale.
- La morphologie de l'empreinte suite aux ennoiements est faiblement dépendante de la charge sédimentaire contenue dans l'eau, du moins pour les concentrations que nous avons testées.
- L'ennoiemment successif des empreintes modifie leur profondeur. Celles-ci perdent, en outre, en définition, induisant parfois une prise de mesure moins précise.
- La topographie de la surface peut parfois nous induire en erreur quant à la détermination de certaines zones de l'empreinte.
- La biométrie des empreintes varie de quelques millimètres à plusieurs centimètres. Le contour de l'empreinte moins clair au fur et à mesure des ennoiements peut biaiser la perception de l'observateur et ses relevés métriques.
- L'énergie avec laquelle l'eau se dépose sur la surface et son débit ont un impact sur la conservation des empreintes.
- Le manque de cohésion du support dû à un fort taux d'humidité ou à la présence de plusieurs niveaux le fragilise (soulèvement et déplacement de plaquettes à la surface).

2.5.1.2. Le port de chaussant

Les résultats obtenus lors des expérimentations sur les chaussants ont montré que, bien que la morphologie générale du pied soit conservée, les empreintes de pieds chaussés sont différentes à plusieurs niveaux :

- Elles sont plus allongées et plus étroites que les empreintes de pieds nus, en particulier en partie proximale.
- Elles sont généralement moins profondes que les empreintes de pieds nus.
- On note la présence des orteils (ou au moins de l'hallux) pour les empreintes issues de pieds chaussés sans rembourrage, en particulier sur le support argileux.
- L'appui de l'hallux est visible sur certaines empreintes de pieds chaussés avec rembourrage. En revanche, la présence du rembourrage empêche l'impression des orteils dans la plupart des cas.

2.5.2. Application au registre fossile

Ce travail nous a permis d'apporter quelques éléments de réponse concernant le port de chaussant à Cussac.

2.5.2.1. La taphonomie et le recouvrement des sols

Les résultats concernant la taphonomie démontrent bien que le recouvrement des sols de certaines zones de Cussac a participé au manque de visibilité des empreintes. En revanche, il nous semble difficile d'envisager cet élément comme responsable de la disparition des orteils de l'empreinte 166, la seule identifiée de façon certaine dans une zone envoyée. En effet, nos expérimentations ont montré que l'argile de décantation qui se dépose à la surface d'une empreinte ne modifie pas radicalement sa morphologie et cela quelle que soit la charge utilisée. Les détails vont, certes, tendre à disparaître, l'aspect général de l'empreinte apparaîtra plus lissé

mais certaines caractéristiques telles que l'impression des orteils ne disparaissent jamais totalement. En outre, les ennoissements du réseau se sont effectués à faible énergie. Hormis les dépôts d'argile de décantation et, à certains endroits, la présence de fentes de dessiccation, le sol n'a pas subi d'altérations. Dans le cadre de nos expérimentations, ce qui semble avoir eu l'influence la plus importante est le manque de cohésion du support dû à son fort taux d'humidité mais également au niveau d'argile de décantation, entraînant le soulèvement et le déplacement de plaquettes sur la surface au moment de l'infiltration de l'eau. Ce cas de figure ne semble, cependant, pas s'être produit à Cussac.

Au vu de ces résultats, il est par conséquent difficile d'imaginer que l'absence d'orteils sur l'empreinte 166 soit relative au support de formation et / ou à la seule taphonomie.

2.5.2.2.L'influence du chaussant

Les expérimentations réalisées avec un chaussant, ne vont pas non plus dans le sens de la présence d'empreintes de pieds nus à Cussac. En effet, a priori, lors d'un déplacement en marche normale sur une surface plane argileuse, l'impression des orteils est quasiment systématique. Nos expérimentations réalisées avec les chaussants sans rembourrage ont, en outre, montré que les orteils pouvaient également s'imprimer malgré la présence du chaussant. Ceux-ci pourraient éventuellement ne pas marquer si l'argile est très dure ou, au contraire, très chargée en eau. Or, cela ne semble pas être le cas pour les empreintes de Cussac. Par exemple, sur les empreintes 166 et 321, on remarque un bourrelet d'argile sur l'ensemble de leur contour témoignant de la plasticité du support et de l'enfoncement du pied, ces caractéristiques nous laissent donc penser que les orteils auraient dû marquer. L'empreinte 544, réalisée sur un support argileux plus ferme et en pente, n'a pas traversé le support mais l'a écrasé. Celle-ci étant dans le sens de la montée et à l'image de l'empreinte actuelle présentée en Figure 83, nous nous serions attendus à retrouver l'impression des orteils due à l'impulsion de l'avant du pied. Or, seul ce qui semble correspondre à l'hallux est perceptible. Ces résultats, ne permettent donc pas d'expliquer l'absence d'orteils sur cette empreinte autrement que par la présence d'un **élément intermédiaire** entre la surface de la plante du pied et la surface du sol.



Figure 83 : Empreinte de pied nu actuelle réalisée en grotte, en montée et témoignant de la présence des orteils à suite de l'impulsion du pied.

2.5.2.3. Log-shape ratios

La méthode des log-shape ratios a été utilisée afin de comparer les empreintes de Cussac avec celles issues de nos expérimentations (Mosimann, 1970). Au total, 28 empreintes ont été comparées : les 7 empreintes de Cussac, 10 empreintes expérimentales de pieds nus et 11 empreintes de pieds chaussés (les deux chaussants et rembourré / non rembourré confondus) (Tableau 11). Notre choix d'empreintes repose sur la présence des variables suivantes : Longueur 1, Largeur distale, Largeur moyenne et Largeur proximale.

Cussac	Sans chaussant	Avec chaussant
T 166	ch6	ch4
T 321	ch3	ch6
T 388-1	ch13	ch3
T 388-2	ch10	ch13
T 388-3	ch14	ch10
T 388-4	ch12	ch14
T 544	ch15	ch12
	ch16	ch15
	ch17	ch16
	ch18	ch17
		ch18

Tableau 11 : Empreintes utilisées pour le calcul des log-shape ratios.

Après calcul des log-shape ratios, une Analyse en Composante Principale (ACP) a été réalisée sur les valeurs transformées. Les deux premiers axes de l'ACP présentée en Figure 84 expriment 93,77% de la variance dont 73,82% pour le premier axe. Elle oppose très clairement sur l'axe 1 les empreintes de Cussac des empreintes de pieds nus. Les empreintes de pieds chaussés, quant à elles, forment également un groupe à part, bien que plus variable, puisque qu'au sein de celles-ci, on peut isoler trois sous-groupes :

- Un groupe situé en partie négative des deux axes, proche des empreintes de pieds nus, correspond à des empreintes pour lesquelles la forme du pied est très bien rendue avec les 3 parties (distale, moyenne et proximale) bien individualisables.
- Le deuxième groupe, situé dans la partie inférieure droite du graphique (partie positive de l'axe 1 et négative de l'axe 2), correspond à des empreintes à la morphologie plus homogène avec une partie distale relativement étroite.
- Le troisième groupe, situé dans la partie positive de l'axe 2 et opposé aux deux premiers groupes, correspond à des empreintes étroites mais rendant bien la morphologie du pied. Celui-ci regroupe, en outre, les 3 empreintes réalisées sur le support argileux brut, les autres étant issues du support d'argile de décantation.

Aucun regroupement relatif au type de chaussant (chaussants 1 ou 2, rembourré / non rembourré) n'est, en revanche, attesté. Le détail des empreintes de Cussac montre que trois empreintes de la piste 388 s'isolent à l'extrémité négative de l'axe 1, ce qui pourrait être dû au fait que la partie distale de 388-1 est incomplète et que 388-2 et 388-3 ont été très endommagées par des piétinements récents. Les empreintes 388-4, 321 et 166 sont quant à elle regroupées, tandis que 544 est isolée. Cela pourrait être lié au fait que les trois premières sont des empreintes réalisées sur un support au taux d'humidité élevé, 166 étant, en plus, recouverte d'argile de décantation, alors que le support de 544 est un remplissage argileux plus cohésif et ferme, se rapprochant de notre premier support (argile brute). Cela pourrait également expliquer la proximité de cette dernière avec une des empreintes expérimentales de pied chaussé issue du support argileux.

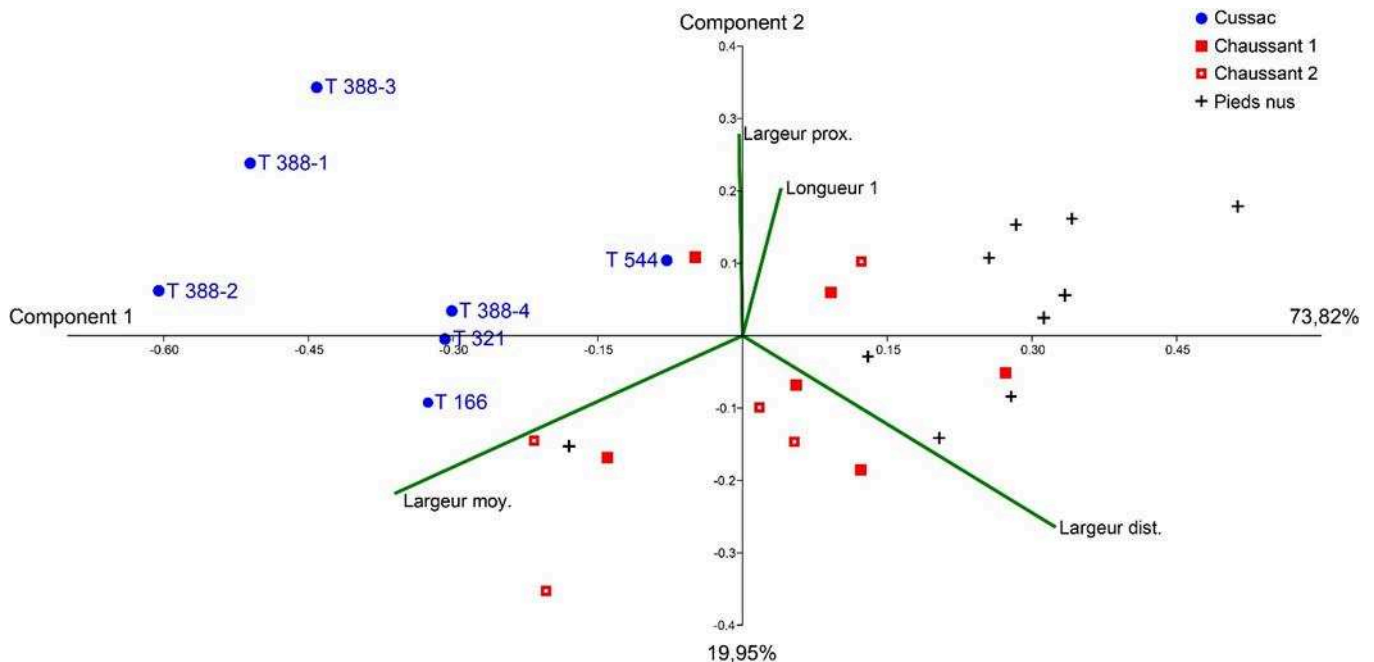


Figure 84 : Résultat de l'ACP réalisée sur les log-shape ratio des empreintes de Cussac et des empreintes expérimentales. Les deux axes représentent 93,77% de la variance. En vert sont figurés les vecteurs de chaque variable.

Plusieurs hypothèses peuvent être élaborées pour expliquer la position des empreintes de Cussac dans cette analyse :

- Soit il s'agit effectivement des pieds nus mais d'une morphologie très différente des pieds nus utilisés pour les expérimentations.
- Soit les empreintes de Cussac sont altérées au point qu'elles apparaissent très différentes des empreintes de pieds nus et de pieds chaussés.
- Soit ces empreintes sont issues de pieds chaussés, le fait qu'elles ne rentrent pas dans la variabilité des empreintes expérimentales de pieds chaussés pouvant être lié au type de chaussant.

Nous avons déjà montré que les deux premières hypothèses semblent peu satisfaisantes, particulièrement en ce qui concerne l'altération des empreintes. La morphologie différente des empreintes de Cussac pourrait, malgré tout, résulter d'une morphologie du/es pied/s différente de celle de nos empreintes actuelles, d'autant plus qu'elles appartiennent à un échantillon moderne réduit de trois personnes. Cela n'explique cependant pas l'absence des orteils sur les empreintes fossiles. Le port de chaussant apparaît donc comme l'issue la plus vraisemblable et serait, en outre, cohérent avec le nombre très réduit d'empreinte de pied/s humain/s pour l'instant identifiés dans la cavité.

2.5.2.4. Port de chaussant à Cussac ?

Il est évident que nos expérimentations ne sont pas exemptes de biais, principalement en ce qui concerne la taphonomie et la réalisation d'enniolements artificiels sur la surface très restreinte des bacs, qui ne reflètent pas exactement la réalité des mises en charge d'une galerie souterraine. Cependant, notre objectif principal était d'observer l'évolution d'une empreinte subissant plusieurs dépôts d'argile de décantation sur sa surface : en ce sens, nous avons rempli cet objectif. De plus, ces dépôts d'argile de décantation ne concernent qu'une empreinte de notre échantillon fossile (n°166) et les expérimentations avec les chaussants n'ont également pas apporté d'arguments contre le port de chaussant en ce qui concerne les autres empreintes de Cussac. Si ces empreintes sont, effectivement, le fait de pieds chaussés, nous sommes face à l'un des plus anciens témoignages indirects du port de chaussant.

2.5.3. Perspectives

La compréhension des empreintes de Cussac n'aurait pas été possible sans la mise en place d'un travail expérimental. Les résultats obtenus sont prometteurs et encouragent à poursuivre sur cette voie pour les futures études en milieu karstique. La morphologie d'une empreinte, sa dynamique, sa localisation, son association avec d'autres vestiges, etc., fournissent de nombreuses informations, aussi bien sur l'auteur des empreintes que sur le contexte de formation. Cependant, une erreur de détermination et d'interprétation est aisée et l'expérimentation nous donne la possibilité de recréer les empreintes étudiées et d'appréhender une multitude de paramètres pouvant être responsables de leurs morphologies variées. Les expérimentations présentées ici sont exploratoires et constituent une bonne base pour de futurs travaux complémentaires autour des problématiques sur les empreintes en grotte.

Ce travail permet de porter un nouveau regard sur les empreintes de Cussac. La nécessité de revenir dans certains secteurs de la cavité afin de vérifier nos premières observations, en prenant en compte les résultats des expérimentations, se voit ainsi confirmée. Bien qu'un certain nombre d'éléments portent à croire que les individus de Cussac avaient les pieds couverts, le nombre d'empreinte à Cussac est très réduit : il est donc difficile d'être catégorique pour cette question. Nous avons, cependant, bon espoir d'enrichir notre échantillon par la découverte de nouvelles empreintes, non perçues jusqu'à présent dans la branche Aval, et la prospection minutieuse de la branche Amont. Cette approche, couplée à un approfondissement des expérimentations, devrait nous permettre d'affiner nos hypothèses sur la question du port de chaussant dans la grotte.

Plus généralement, il serait désormais indiqué de poursuivre ce travail expérimental directement en contexte karstique afin d'avoir une plus grande maîtrise du support et des différentes topographies possibles. La création d'un référentiel d'empreintes actuelles réalisées par des individus aux profils variés selon différents types de déplacements, positions et support, est de plus envisagée. Dans la mesure où les empreintes retrouvées en grotte ne concernent pas seulement les déplacements, mais sont souvent le reflet d'activités ou comportements spécifiques, un tel référentiel constituerait une aide précieuse dans la compréhension et la détermination de certaines empreintes ou traces.

Chapitre 3

Le Fonds Pales

1. Le fonds Pales

Le fonds Pales dont une grande partie est actuellement conservée au Musée National de Préhistoire des Eyzies-de-Tayac constitue une source d'information précieuse pour les travaux ichnologiques en grotte réalisés par Léon Pales et Michel-Alain Garcia entre les années 70 et 80. Plusieurs missions au MNP ont été l'occasion de mettre à jour et de compléter la base de données de ces moulages. Certains d'entre eux ne sont pas les originaux et sont des moulages de sauvetage, les originaux ayant été altérés (Figure 85). Les moulages ont ainsi été revus individuellement : certains mal attribués ont été réattribués au bon site, d'autres sont toujours de provenance inconnue. Tous ont, cependant, bénéficié d'une description et de photographies. Certains ont de plus été scannés à l'aide du scanner surfacique Artec Eva afin d'en obtenir le modèle 3D. La plupart de ces moulages concerne les grottes de l'Aldène, Niaux et Fontanet. Ils représentent une partie de la base du travail effectué par Léon Pales sur ces trois grands sites à empreintes. Leur étude n'ayant pas été possible pour les raisons explicitées à la fin de cette partie, nous les présentons donc ici, non pas dans un but d'étude scientifique, mais plutôt d'archivage, de mémoire de ces travaux précurseurs en ichnologie préhistorique, mais aussi de prise de date pour nous. La numérotation utilisée ci-dessous correspond à celle utilisée par le MNP.



Figure 85 : Fonds Pales du MNP : exemples de planches présentant un (à gauche) ou plusieurs (à droite) moulages.

1.1. Niaux

Les moulages inventoriés pour cette cavité font partie de ceux qui ont été étudiés par Léon Pales et publiés en 1976 (Pales, 1976). Ils correspondent à la plage d'empreintes ou « la dépression aux empreintes » découverte en 1949 et localisée dans le réseau Nord de Niaux (Diverticule aux empreintes). Cette plage s'étend sur une surface de 1,70 x 2,50 m et est divisée en 10 plages qui correspondent aux moulages. Pour un total de 10 moulages, 7 sont conservés dans le fonds Pales du MNP (Figure 86). L'identification de ces plages a été possible grâce à l'ouvrage de Pales les présentant toutes, c'est pourquoi nous renvoyons le lecteur à cette monographie pour leur description détaillée. Sur 39 empreintes observées, Pales en décrit 24. Ci-dessous sont présentées les photos de chaque moulage inventorié et le relevé de Pales correspondant.

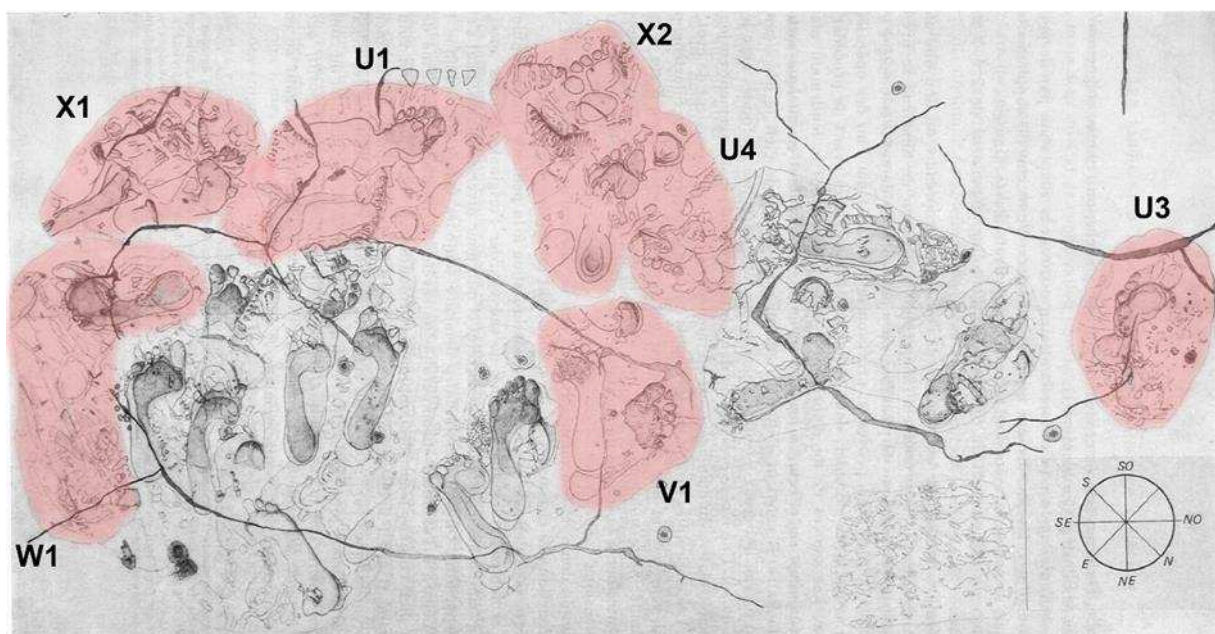


Figure 86 : Relevé de la plage réalisé par Léon Pales. Les zones rouges correspondent aux moulages des plages retrouvées dans le fonds Pales du MNP (modifié d'après Pales, 1976).

1- Deux empreintes de pieds (U1)

Elles correspondent aux empreintes 3 et 4 de la plage II (Figure 87).

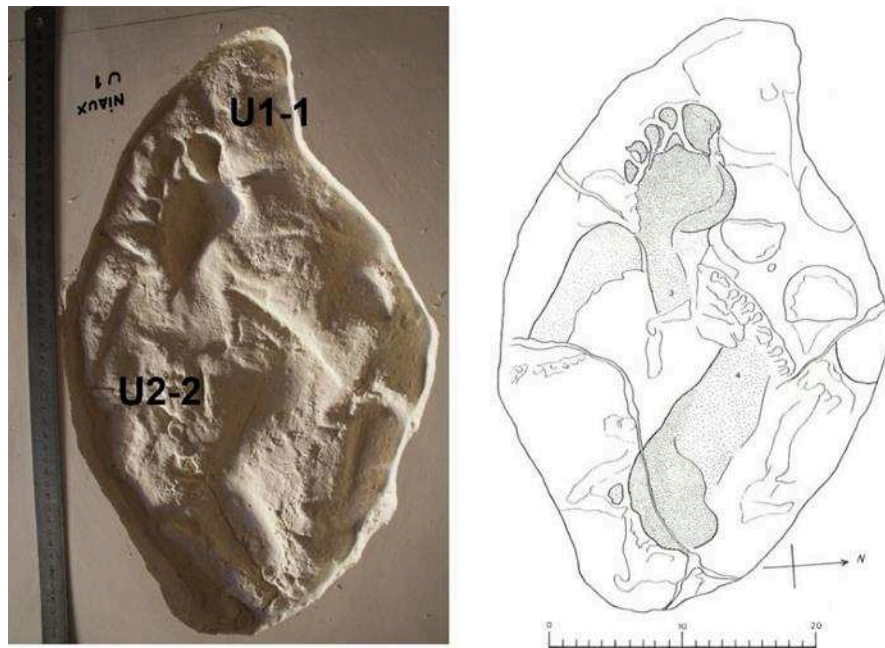


Figure 87 : Moulage d'U1 (fonds Pales, MNP) et relevé de plage II (Pales, 1976).

2- Empreinte de pied (U3)

Elle correspond à l'empreinte 9 de la plage V (Figure 88).

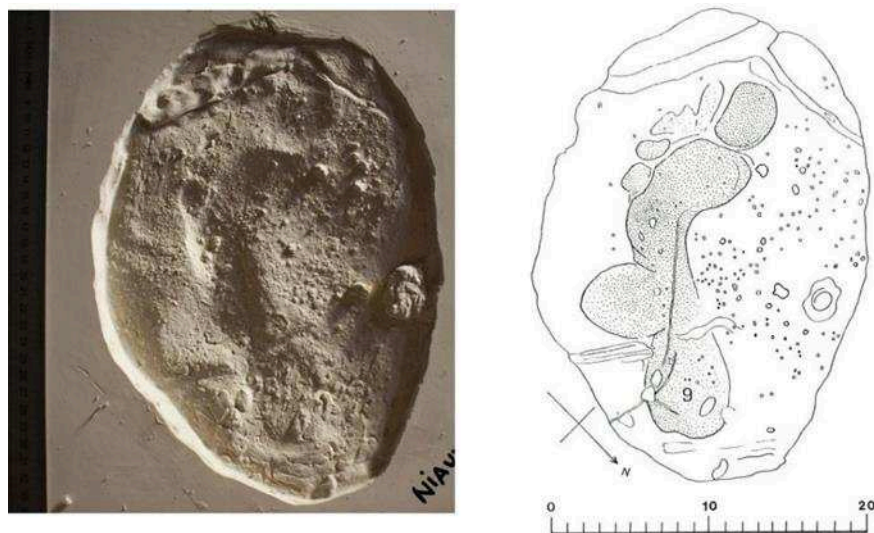


Figure 88 : Moulage d'U3 (fonds Pales, MNP) et relevé de plage V (Pales, 1976).

3- Empreintes de pied (U4)

Elle correspond à l'empreinte 8 de la plage IV (Figure 89).

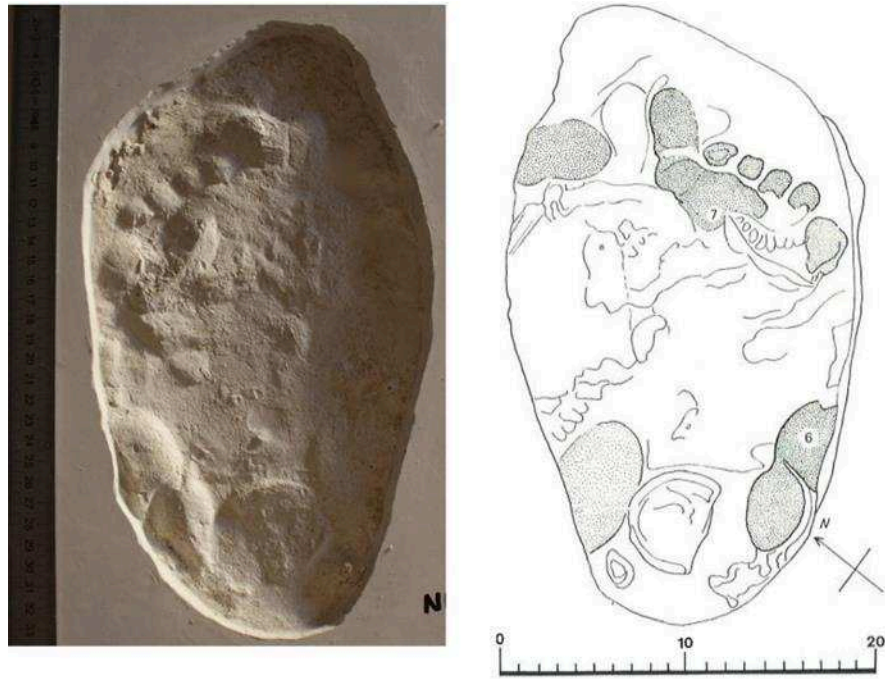


Figure 89 : Moulage positif d'U4 (fonds Pales, MNP) et relevé de plage IV (Pales, 1976).

4- Deux empreintes de pieds (X1)

Elles correspondent aux empreintes 1 et 2 de la plage I (Figure 90).

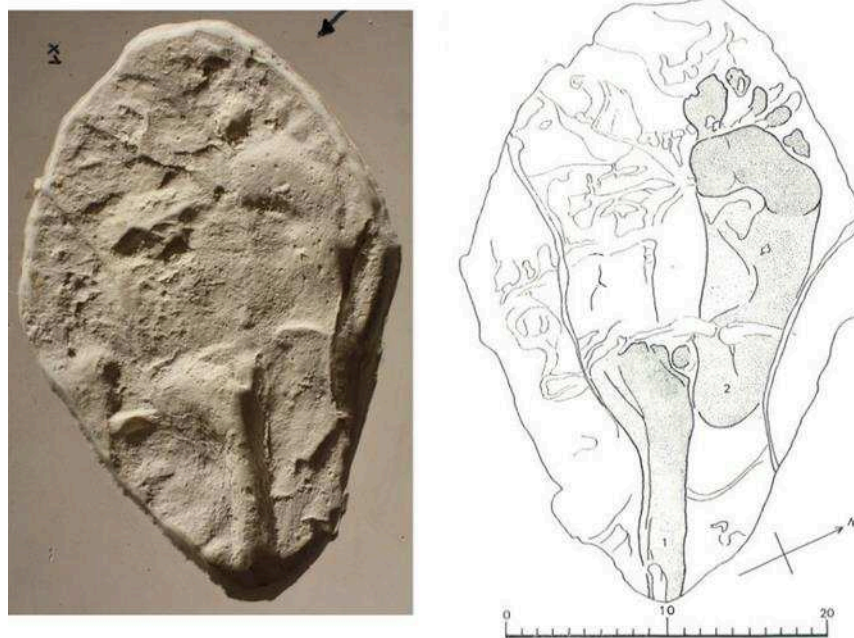


Figure 90 : Moulage de X1 (fonds Pales, MNP) et relevé de plage I (Pales, 1976).

5- Deux empreintes de pieds (X2)

Elles correspondent aux empreintes 5 et 6 de la plage III (Figure 90).

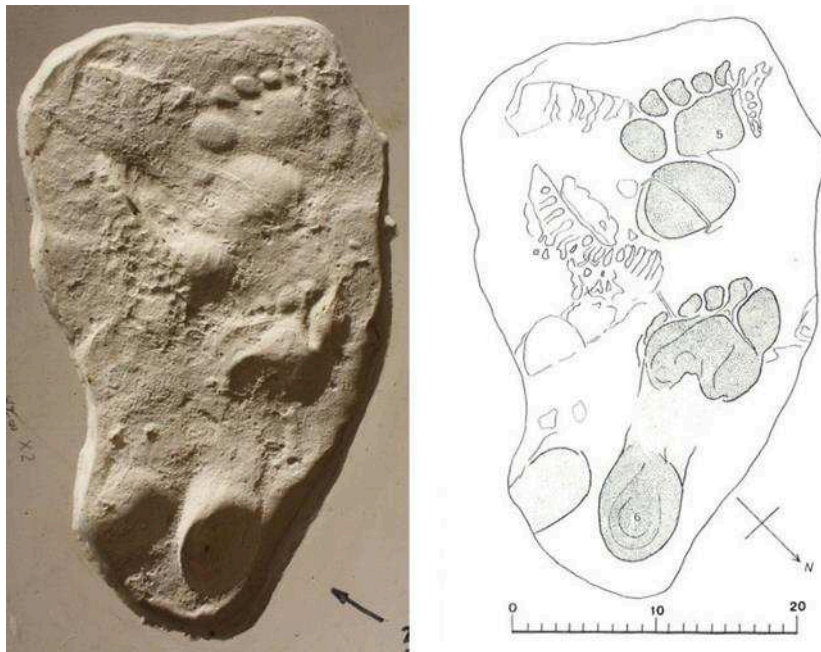


Figure 91 : Moulage de X2 (fonds Pales, MNP) et relevé de plage III (Pales, 1976).

6- Deux empreintes de pieds (V1)

Elles correspondent aux empreintes 12 et 13 de la plage VII (Figure 92).

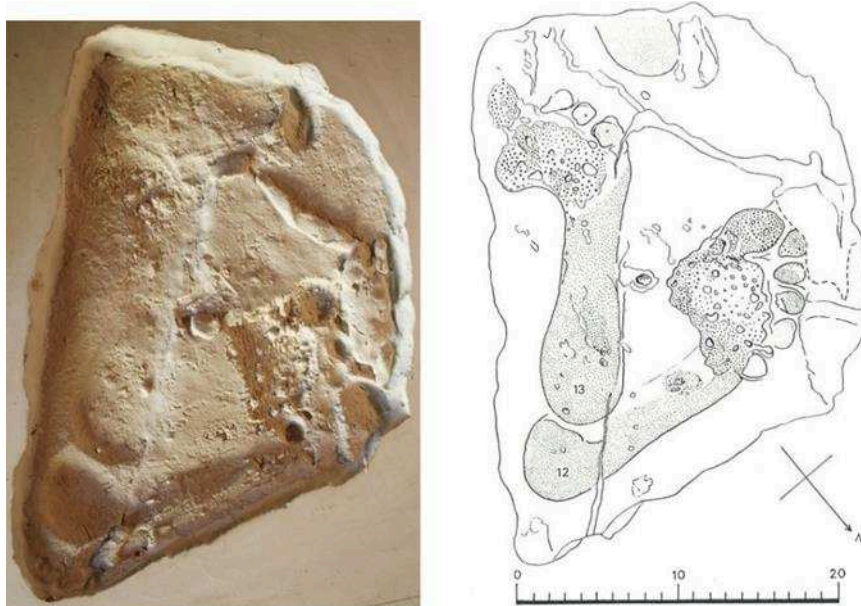


Figure 92 : Moulage d'V1 (fonds Pales, MNP) et relevé de plage VII (Pales, 1976).

7- Empreinte de pied (W1)

Elle correspond à l’empreinte 24 de la plage X (Figure 93).

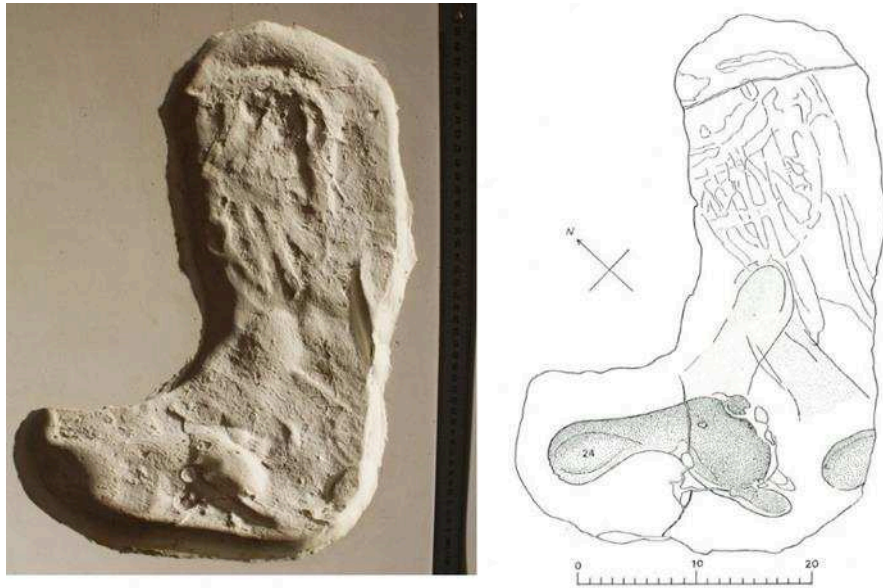


Figure 93 : Moulage d’W1 (fonds Pales, MNP) et relevé de plage X (Pales, 1976).

1.2. Aldène

Il s’agit des moulages réalisés dans la Galerie des pas de la grotte de l’Aldène. Vingt-cinq plages ont été moulées et 22 correspondent à des empreintes humaines, les autres correspondant à des empreintes d’hyènes. Au total, Pales compte 340 empreintes réparties sur les 22 plages à empreintes (Pales, inédit). Seize plages (peut-être 17) font partie du fonds Pales. Nous les décrivons ci-dessous.

1- Pied/s (A2)

Deux empreintes de pied/s partielles, peut-être trois se distinguent. La plus visible est presque complète avec l’appui proximal bien marqué. L’appui latéral et le bord médial sont visibles mais superficiels (ils se perdent vers l’avant du pied). L’appui distal est superficiel mais l’hallux a très bien marqué. Il s’agit d’un pied gauche (Figure 94).

Les autres empreintes sont difficilement interprétables.

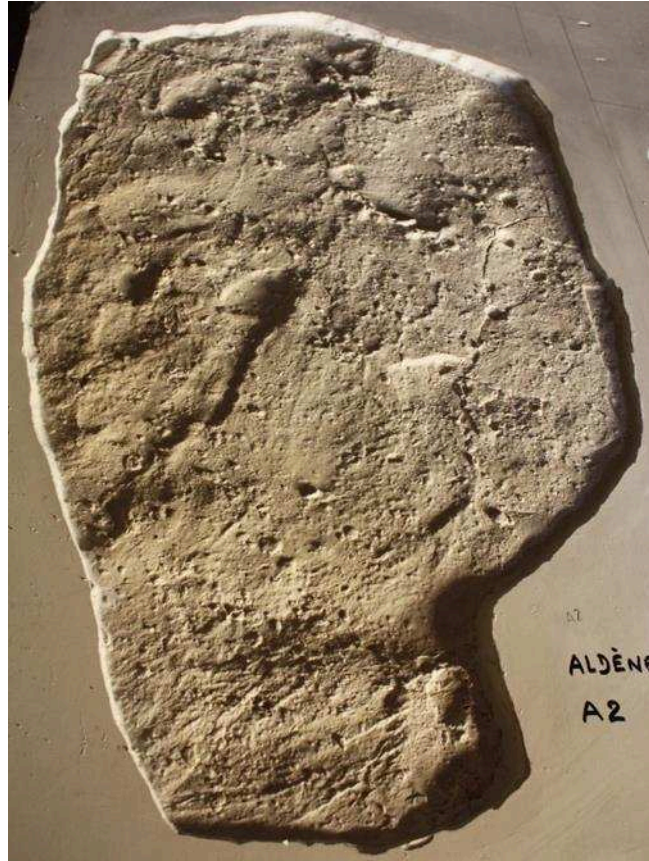


Figure 94 : *Fonds Pales, grotte de l'Aldène, moulage d'A2.*

2- Pieds (A3)

Il s'agit de plusieurs empreintes de pieds gauches et de même gabarit (Figure 95).

- Pied (A3-1)

La première est une empreinte complète et assez profonde avec des appuis postérieur et disto-médial qui ont marqué plus profondément que l'appui du bord latéral. Les orteils sont également bien marqués, en particulier les trois premiers, les deux derniers étant distinguables mais assez superficiels. On constate un espace assez important entre l'hallux et le second orteil (est-il relatif à l'appui ? Résulte-t-il de la morphologie du pied ?). Il s'agit d'une empreinte de grand gabarit (empreinte très large).

- Talon (A3-2)

À l'arrière de la précédente, on constate une dépression circulaire profonde qui semble correspondre à un appui de talon.

- Pied (A3-3)

Il s'agit d'une empreinte de partie distale de pied profondément marquée et sur laquelle on distingue l'empreinte de l'hallux, bien marquée également, celle du deuxième orteil et celle du troisième orteil qui est le moins marqué. Le quatrième et le cinquième orteil sont absents.

- Pied (A3-4)

Comme pour la précédente, il s'agit de l'appui de la partie distale d'un pied. Sur cette empreinte sont surtout visibles les orteils, marqués profondément. Les trois premiers orteils sont de nouveau ceux qui sont le plus visibles.

- Pied (A3-5)

Il s'agit d'une empreinte de partie distale de pied dont l'hallux s'est profondément imprimé. Celle-ci semble déformée.

Le gabarit des empreintes et l'espace entre l'hallux et le second orteil nous incitent à penser que ces empreintes appartiennent au même pied (ce qui correspond également aux observations faites sur A2).

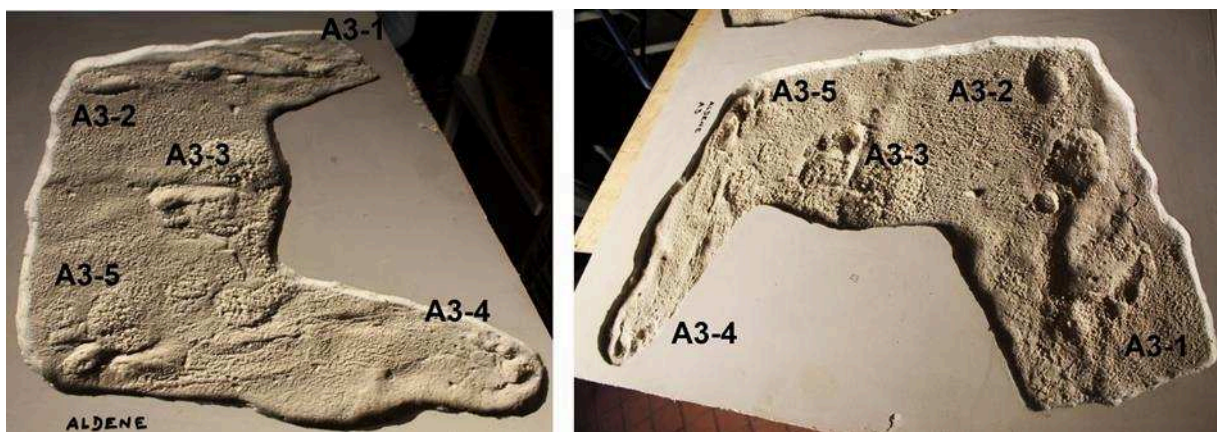


Figure 95 : *Fonds Pales, grotte de l'Aldène*, deux vues du moulage de A3-1, A3-2, A3-3, A3-4, A3-5.

2- Pied (A4)

Il semble s'agir d'empreintes partielles de pieds (3 ou 5). Ces empreintes correspondent surtout à la marque de talons, même si, pour l'une d'elle, l'appui proximal semble se prolonger laissant entrevoir ce qui semble être les bords médial et latéral de l'empreinte (Figure 96).

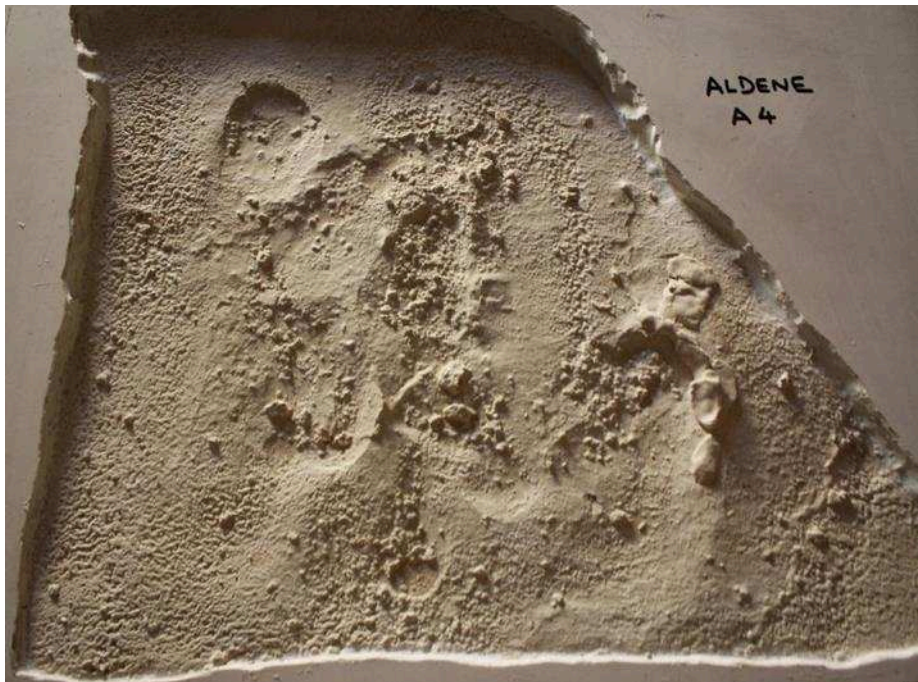


Figure 96 : *Fonds Pales, grotte de l'Aldène, moulage d'A4.*

3- Pieds (A5)

Il s'agit de deux empreintes partielles de pieds (Figure 97).

- Pied (A5-1)

Il s'agit d'une empreinte de pied gauche. La partie distale de la plante est visible mais assez superficielle tandis que les orteils et en particulier les 3 premiers ont bien marqué dans l'argile. En effet, l'hallux a laissé une empreinte importante et les deuxième et troisième doigts se sont profondément enfoncés. Les deux derniers orteils sont absents. Le gabarit de l'empreinte correspond aux empreintes A3-1, 2, 3,4, 5.

- Pied (A5-2)

Empreinte partielle de pied droit qui fait face à la précédente. Elle est plus superficielle qu'A5-1. La partie distale du pied avec les quatre premiers orteils a bien marqué. L'hallux est le plus marqué.

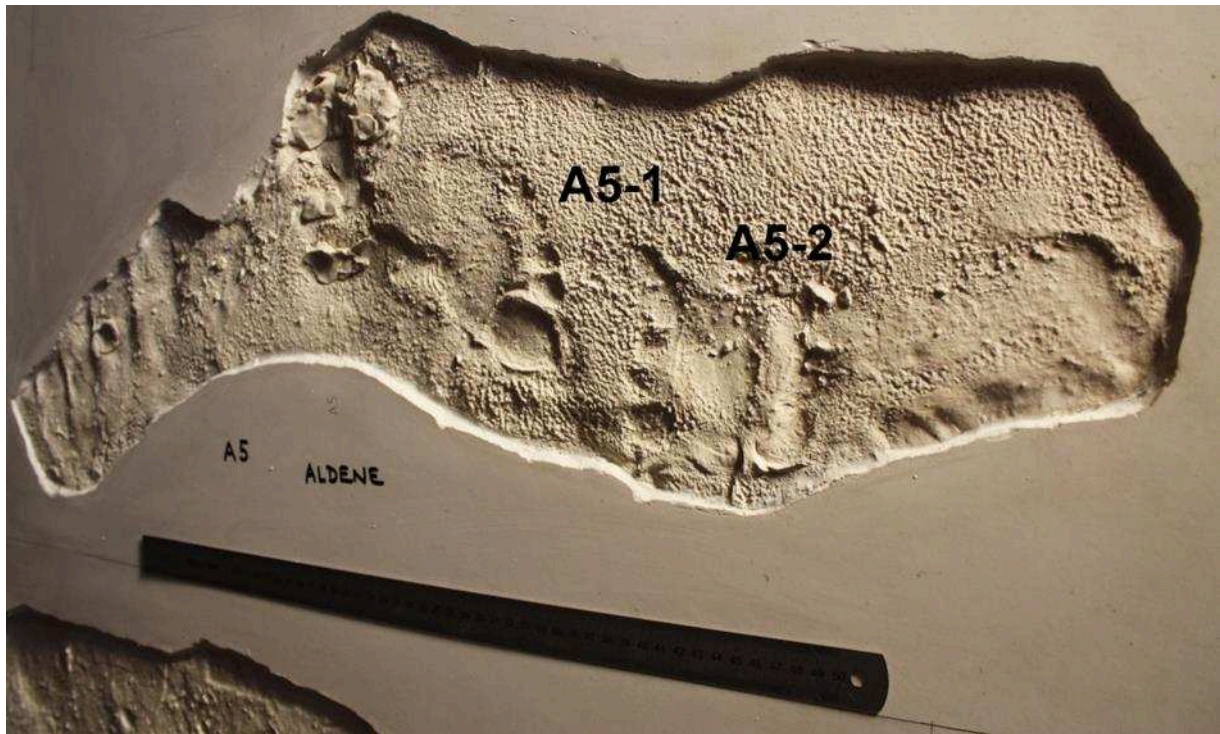


Figure 97 : *Fonds Pales, grotte de l'Aldène, moulage d'A5-1 et A5-2.*

4- Indéterminées (B2, B4, B5)

Aucune empreinte de pied n'est nettement définie, la surface est difficile à lire (peut être en lien avec un problème de qualité du moulage car on constate beaucoup de pastillage de plastiline sur la surface). En revanche, le positif du moulage a permis de mettre en évidence des orteils et un talon.

5- Empreintes de pieds partielles transformées en petits gours (C1)

- Pied C1-1

Empreinte de pied droit dont on ne distingue que la partie distale de la plante et les orteils. Cet avant-pied est assez profondément enfoncé, d'autant plus qu'un petit gour s'est formé à sa surface. Cela laisse donc imaginer que les dimensions de l'empreinte devaient être à l'origine plus importantes. Seuls les quatre premiers orteils ont marqué.

- Pied C1-2

Il s'agit d'une empreinte de pied gauche, plus superficielle que la précédente et également transformée en gour. Il s'agit encore de la partie distale du pied et particulièrement de l'impression des cinq orteils. Cette empreinte est de plus petites dimensions que la précédente mais elle a très probablement également souffert du concrétionnement.

On note la présence d'autres gours sur ce moulage qui pourraient correspondre à des empreintes de talon ou d'autres parties du pied (Figure 98).

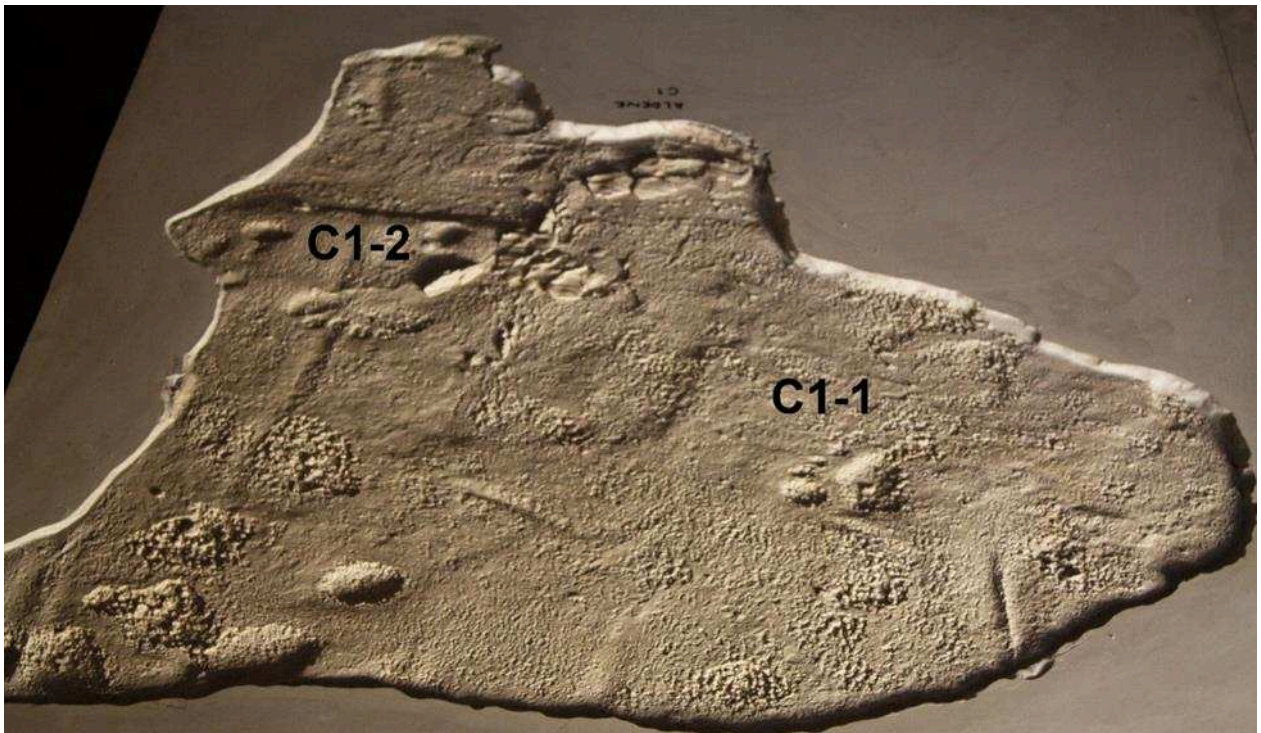


Figure 98 : *Fonds Pales, grotte de l'Aldène*, moulage de C1-1 et C1-2.

6- Pieds (C2)

Il s'agit d'un moulage positif d'une plage présentant plusieurs empreintes de pieds. La latéralisation sur le moulage est inversée par rapport à la réalité (Figure 99).

- Pied (C2-1)

Empreinte partielle de pied droit, accolée et à contre sens de C2-2. Seule la partie distale de la plante et l'hallux ont marqué. L'absence du reste de l'empreinte est peut-être due à la limite du moulage.

- Pied (C2-2)

Il s'agit d'un pied droit complet qui a profondément marqué, particulièrement au niveau des parties distale et proximale. En ce qui concerne les orteils, seul l'hallux est présent.

- Pied (C2-3)

Il s'agit d'une empreinte complète de pied droit, positionnée à côté et à contre-sens de la précédente. Elle a un peu moins marqué mais on constate toujours des appuis plus importants au niveau des parties distale et proximale du pied. Concernant les orteils, l'hallux est, comme toujours, bien marqué et on devine les deux orteils suivants.

- Pied (C2-4)

Il s'agit cette fois d'une empreinte de pied gauche localisée à côté des précédentes et dans le même sens que C2-2. Elle est beaucoup plus superficielle avec les parties distale et proximale plus marquées que la partie moyenne. Seul l'hallux bien marqué et allongé est visible.

Ces 4 empreintes sont de même gabarit et se caractérisent par des appuis distaux et proximaux bien marqués. Une autre caractéristique est la présence de l'hallux sur toutes les empreintes au détriment des autres orteils. Cela est sans doute le résultat d'appuis plus importants sur le bord médial du pied.

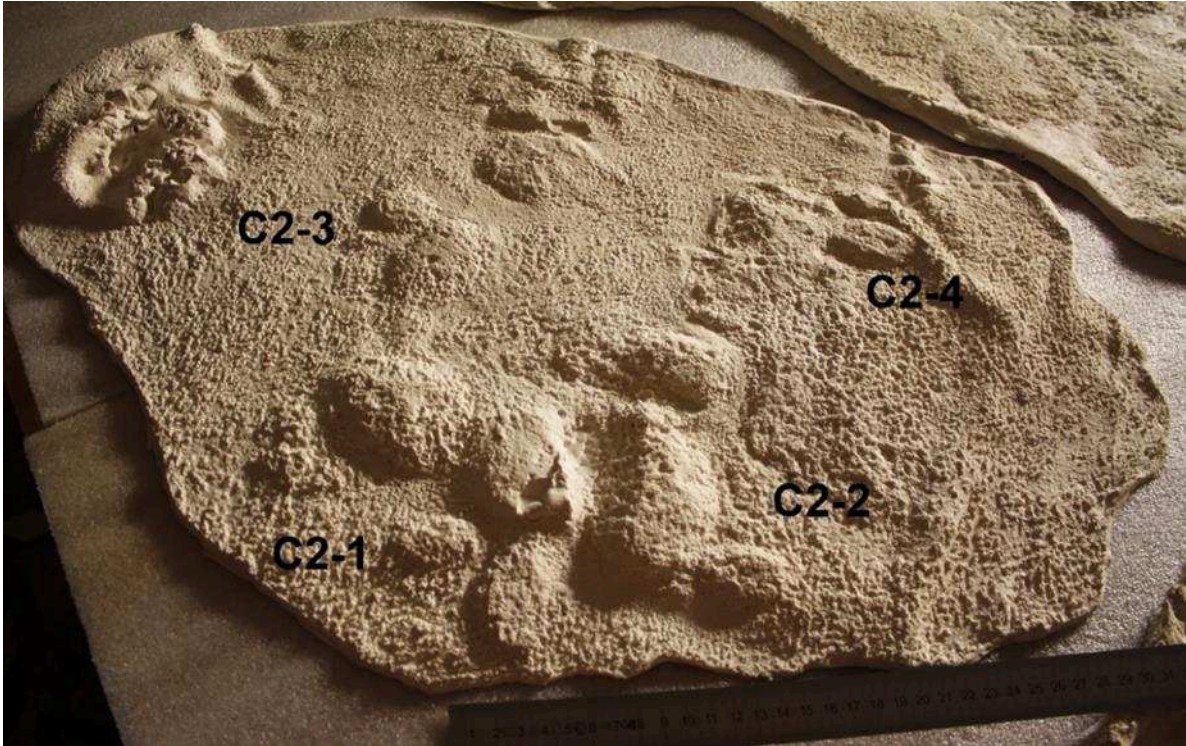


Figure 99 : *Fondos Pales, grotte de l'Aldène*, moulage positif de C2-1, 2, 3 et 4

7- Empreintes d'hyène/s (E4)

Hormis les empreintes humaines, la grotte de l'Aldène a livré des empreintes d'ours et d'hyène/s. Certaines plages à empreintes d'hyène/s ont été moulées. La plage ci-dessous est peut-être issue de la zone du « toboggan » qui correspond à un cône argileux et qui présente de nombreuses empreintes, glissades et griffades d'hyène/s et d'ours. Leur aspect glissé et déformé correspond à ce type de zone. Nous n'avons, cependant, relevé sur ce moulage que des empreintes d'hyène/s (Figure 100).



Figure 100 : *Fonds Pales, grotte de l'Aldène*, moulage d'E4 avec détail d'une empreinte d'hyène.

8- Empreintes d'hyène (H2)

Cette petite plage montre plusieurs empreintes d'hyène/s superposées et des glissades. Une des empreintes est bien individualisable et complète. Cette plage pourrait également correspondre à une partie du « toboggan » (Figure 101).



Figure 101 : *Fonds Pales, grotte de l'Aldène, moulage de H2.*

9- Pieds (O1)

Il s'agit d'une piste de trois empreintes (Figure 102).

- Pied (O1-1)

Empreinte quasiment complète de pied droit. L'originale est sans doute complète car il semble que le moulage ait coupé le bord médial de l'empreinte. Il manque également un morceau de la partie proximale. L'appui distal est bien marqué et les cinq orteils sont bien visibles et individualisables.

- Pied (O1-2)

Il s'agit d'une empreinte partielle de pied qui suit directement la précédente. Seul l'appui distal est visible. Cet appui est très rapproché de l'appui distal de l'empreinte précédente, elle est donc probablement antérieure à O1-1. Celle-ci est moins profonde que la précédente et mise à part la partie distale du pied, bien délimitée, on constate la présence des trois premiers orteils avec l'hallux bien marqué et assez profond, le deuxième un peu moins marqué et le troisième encore un peu moins. La trace du quatrième orteil est quant à elle à peine visible. L'appui le plus important se situe en partie latéro-distale.

- Pied (O1-3)

Plus éloignée que les précédentes mais dans le même axe et la même direction, il s'agit cette fois d'une empreinte partielle de pied droit. Comme pour les précédentes, seule la partie distale du pied est présente. La partie distale de la plante et le deuxième orteil sont les plus visibles. L'hallux apparaît également entier et assez profond.

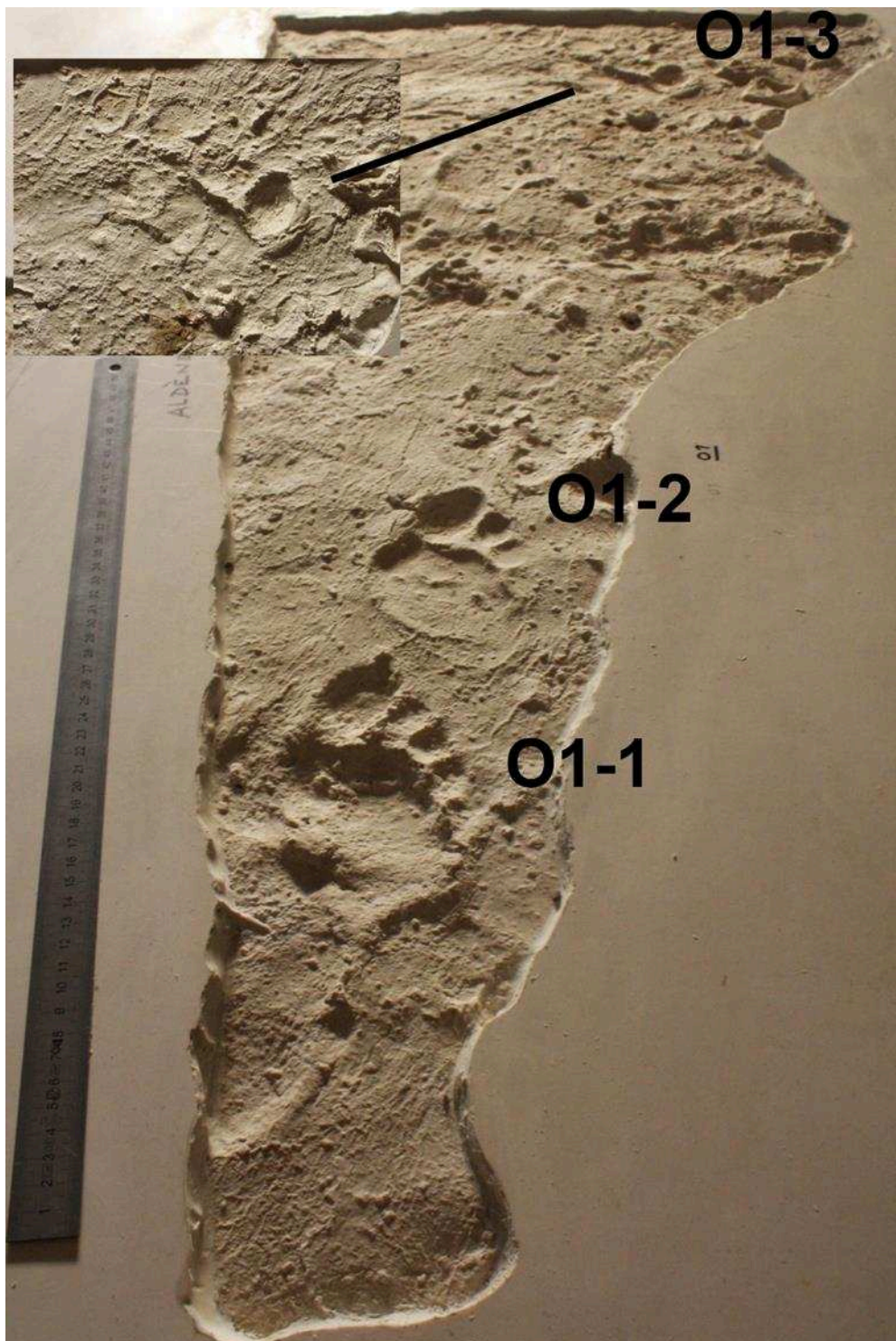


Figure 102 : *Fonds Pales*, grotte de l'Aldène, moulage de O1-1,2,3.

12- Plusieurs empreintes d'orteils, un talon et une empreinte de pied (O4)

L'empreinte de pied est complète et assez superficielle. Il s'agit d'un pied gauche dont les contours sont assez bien marqués. Les appuis distal et proximal sont les plus marqués. Le bord médial se caractérise par une voûte assez bien imprimée. Les trois premiers orteils sont bien marqués et accolés tandis que les derniers n'apparaissent pas (Figure 103).

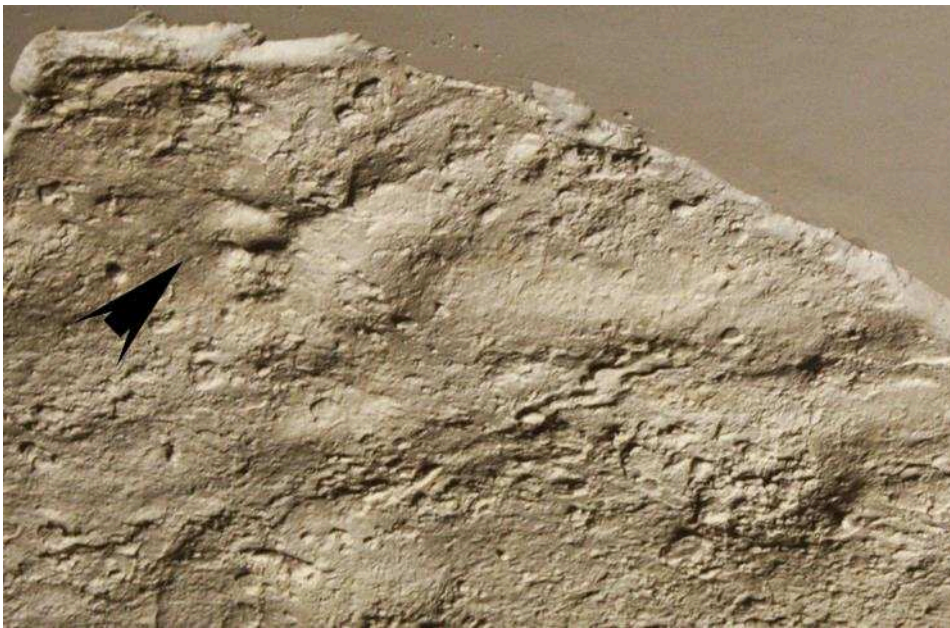


Figure 103 : *Fonds Pales, grotte de l'Aldène*, détail d'une empreinte de pied du moulage d'O4.

13- Pieds (Q/R)

Ce moulage correspond au moulage à la grande plage n° XIV (Pales, inédit). Nous n'avons pas fait l'inventaire des empreintes présentes sur cette surface. D'après Pales, elle compte 104 empreintes complètes, 88 parties distales, 58 talons et 40 empreintes ne présentant ni partie distale ni partie proximale (Figure 104).



Figure 104 : *Fonds Pales*, grotte de l'Aldène, moulage de Q/R ou plage XIV.

1.3. Fontanet

Une dizaine de moulages ont été inventoriés, correspondant à des empreintes localisées dans différents secteurs de la cavité. Il s'agit notamment de certains moulages de la plage 1 (9 ?) et des moulages des plages 2 et 3³. Plusieurs appartenant probablement à la plage 1 doivent cependant être vérifiés pour confirmer cette appartenance. En effet, les dimensions de la plage 1 étant importantes, 13 moulages avaient été réalisés sur différentes zones de cette surface. Les moulages ayant été inventoriés avant notre retour sur le terrain, nous n'avions alors pas pu les replacer dans la topographie générale de la plage. Le modèle 3D de cette zone étant désormais disponible, il nous faut revenir sur les moulages afin d'identifier les zones auxquelles ils appartiennent. Dans la mesure où les empreintes constituant les moulages sont décrites dans la partie suivante, relative à Fontanet, nous ne reprenons pas ici ces descriptions.

1.4. Bilan

La vérification de l'inventaire des moulages du fonds Pales du MNP nous a permis de réattribuer certains d'entre eux. Cette réattribution a principalement concerné les grottes de l'Aldène et de Fontanet qui avaient été confondues pour plusieurs moulages. En revanche, dans la mesure où nous ne connaissions pas ces sites lors de l'inventaire, celle-ci n'a pu s'effectuer qu'après notre intervention dans la grotte de Fontanet, qui trouve d'ailleurs son origine dans la redécouverte du fonds Pales. L'attribution de certains moulages est en revanche toujours en suspens. Sans une connaissance antérieure des sites, il est en effet très difficile de retrouver l'appartenance d'une empreinte ou d'une plage d'empreintes à telle ou telle grotte. En outre, même en connaissant la provenance des moulages, les replacer dans leur contexte sédimentaire et topographique est quasi impossible. C'est pourquoi, au cours des observations et essais de déterminations et d'interprétations des moulages, la nécessité de pouvoir étudier ces empreintes dans leur contexte naturel n'a cessé de grandir. Afin de comprendre ces empreintes, nous avons besoin d'en connaître leur contexte de formation et de conservation, mais aussi leur position dans la cavité. Cette nécessité s'est confirmée lors de deux visites dans la grotte de Fontanet (successivement en 2015 et 2016⁴) durant lesquelles nous avons pu mesurer la différence dans

³ Se référer à la partie sur Fontanet pour la correspondance des plages.

⁴ Visites accompagnées de Luc Wahl.

Chapitre 3

l'appréhension des empreintes en fonction de leur contexte d'étude (moulage/grotte). Une étude ichnologique à partir de ces seuls moulages est donc plus que problématique d'autant plus que plusieurs zones d'ombre subsistent quant à leur appartenance. Leur intérêt n'en demeure pas moins important et leur mise en valeur est essentielle dans la mesure où ils illustrent l'histoire de la discipline.

La grotte de Fontanet

2. Fontanet, réseau Wahl (Ornolac-Ussat-les-Bains, Ariège)

2.1. Contexte

2.1.1. Situation géographique

La grotte de Fontanet est située en rive droite de l'Ariège, sur la commune d'Ornolac-Ussat-les-Bains (environ 6 km en amont de Tarascon-sur-Ariège) et s'ouvre dans le massif du Quié de Sinsat, à 588 m d'altitude (Figures 105 et 106). Son réseau souterrain, qui s'étend sur environ 3 km, comporte plusieurs galeries distribuées sur différents étages. Notre objet d'étude concerne la dernière galerie découverte, le réseau Wahl, qui est aussi le seul témoin du passage des Hommes à la Préhistoire dans la cavité (Clottes et al., 1984).

Fontanet relève d'un ensemble de grottes ornées situées en amont des limites maximales d'extension des moraines contemporaines du Dernier Glaciaire (OIS 4 ou 2) et ayant envahi les hautes vallées du Vicdessos ou de l'Ariège. Comme Niaux, Bèdeilhac ou encore la grotte des Églises, et à la différence des grottes ornées s'ouvrant aux dépens des chaînons pré-pyrénéens (Plantaurel et Petites Pyrénées : Marsoulas, cavernes du Volp, Mas d'Azil, le Portel), elle appartient donc au domaine montagnard, sans toutefois relever pour autant de la haute chaîne pyrénéenne. Ce sous-ensemble de grottes ornées ariégeoises n'a connu que des occupations ou ornements attribuables au seul Magdalénien, contrairement aux sanctuaires pré-pyrénéens qui ont vu passer les Gravettiens, voire les Solutréens.

2.1.2. Historique des recherches et découverte

Les premières mentions et fouilles de la cavité datent du XIX^{ème} et sont le fait de F. Garrigou et J.-B. Noulet, qui mirent au jour quelques vestiges témoignant d'occupations humaines postérieures au Paléolithique récent (Néolithique et Chalcolithique). À partir des années 1920, la grotte de Fontanet fit l'objet de recherches hydrologiques dans le but de trouver sa rivière souterraine. Ces recherches menées par M. Gadal permirent la mise au jour et l'exploration de nouvelles galeries à la fin des années 30 (1938-1939) (Cathala, 1948).

Les abbés Cathala et Durand entreprirent ensuite une exploration méthodique de cette cavité aboutissant à une description détaillée de la grotte et ses galeries, complétée par une étude géologique et hydrologique (Cathala, 1946, 1948). Les vestiges découverts lors des fouilles

antérieures furent également réexaminés (Durand, 1947). Dans le même temps, en 1943, un relevé du plan de la grotte fut réalisé par H. Mauras, J. Galy et J. Delteil.

Une vingtaine d'années plus tard, le 6 février 1972 le spéléologue Luc Wahl découvrit la galerie préhistorique, suivit de ses collègues J. Balland, P. et S. Gantes, A. Paillier et P. Teisseire. Des mesures de protection furent rapidement mises en place par P. Durbas et J. Delteil et la gestion de la découverte fut confiée à J. Clottes, alors directeur des Antiquités préhistoriques de Midi-Pyrénées (Delteil et al., 1972 ; Clottes, 1973, 1975).

Trois missions dirigées par le Dr Léon Pales suivirent la découverte entre 1973 et 1975 et s'intéressèrent à trois principales catégories de vestiges : l'art pariétal, les vestiges relatifs aux activités domestiques (foyers, vestiges fauniques, etc.) et les empreintes. L'équipe de recherche était composée de M. Tassin de Saint-Péreuse, M.-A. Garcia, D. Vialou, F. Rouzaud, L. Wahl et A. Vialou. Par la suite, d'autres interventions plus ponctuelles dans la grotte furent réalisées. En 1978, F. Delpech et F. Prat identifièrent les ossements présents à la surface du sol et, en 1979, le premier foyer fut moulé par M.-A. Garcia, F. Rouzaud et L. Wahl, puis fouillé par J. Clottes, F. Rouzaud et L. Wahl. Dans le même temps, un relevé en plan du foyer fut effectué. Un certain nombre d'empreintes firent également l'objet d'estampages par coulée d'élastomère et de relevés, la plupart étant actuellement conservés au Musée National de Préhistoire (MNP) des Eyzies. Cependant, et après consultation des archives du fonds Pales, nous avons pu constater que L. Pales projetait de réaliser une étude détaillée des empreintes de Fontanet. En effet, à l'image de son ouvrage consacré aux empreintes du réseau Clastres de Niaux (Pales, 1976), ce dernier souhaitait publier une monographie portant sur les empreintes de la grotte d'Aldène puis sur celles de Fontanet. Ces projets ont été avortés après son décès en 1988. Finalement, l'étude la plus aboutie est probablement celle concernant l'art pariétal réalisée par D. Vialou à l'occasion de sa thèse, publiée dans les suppléments de Gallia Préhistoire « L'art des grottes en Ariège Magdalénienne » (Vialou, 1986). La galerie fut, en outre, décrite d'un point de vue paléospéléologique par François Rouzaud dans son ouvrage consacré à la paléospéléologie des grottes pyrénéennes en 1978 (Rouzaud, 1978). Des études ponctuelles ont, de plus, été réalisées par la suite (Le Guillou et al., 2017). Concernant les deux autres types de vestiges, mis à part leur mention dans les quelques articles ou notes consacrés à Fontanet, aucun nouveau résultat n'a été publié. Depuis, les incursions dans la cavité ont toujours été exceptionnelles et, à notre connaissance, aucune étude scientifique n'a été reprise in ou ex situ. Récemment, l'approche morpho-classificatoire a cependant été expérimentée sur les empreintes de Fontanet et d'autres grottes françaises (Pech-Merle, Niaux et le Tuc d'Audoubert). Certaines

plages d'empreintes de la grotte ont ainsi bénéficié d'une interprétation reposant principalement sur les observations et déductions des pisteurs (Pastoors et al., 2015).

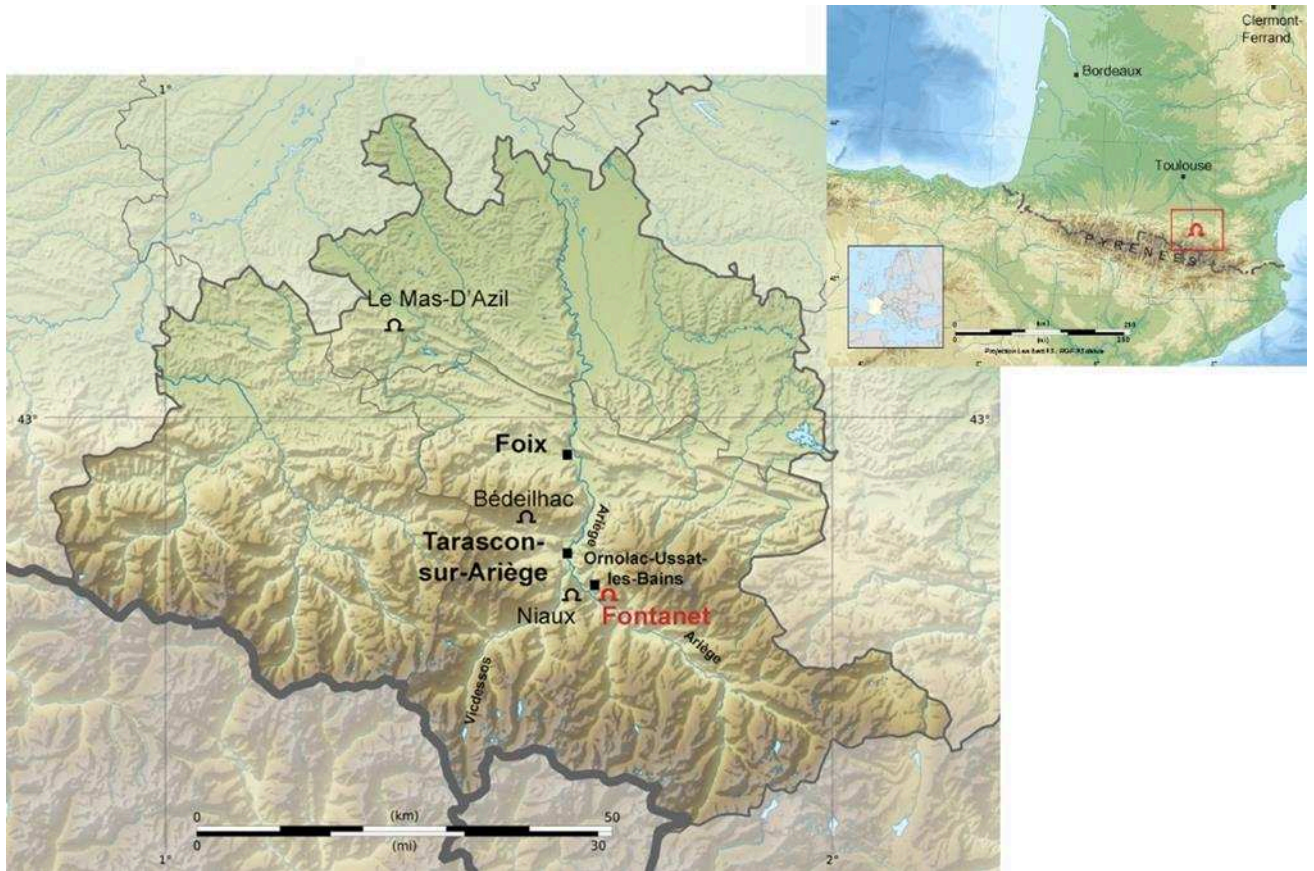


Figure 105 : Localisation de la grotte de Fontanet.



Figure 106 : Porche de l'entrée actuelle du réseau.

2.1.3. Datation

Il existe peu d'informations relatives à la chronologie de la grotte de Fontanet. Une datation fut réalisée dans les années 70 sur un fragment de charbon de bois, donnant une date de $12\ 770 \pm 42$ BP (non calibrée). Ce fragment était localisé au niveau du premier foyer, à proximité de la zone ornée (Clottes et Simonnet, 1972). Cette date semble confirmer la datation relative basée sur le style des figures dont l'homogénéité a permis une attribution au Magdalénien moyen (« Magdalénien IV ») par comparaison avec d'autres grottes telles que Labastide, Pindal ou les Trois-Frères, et à la différence de Niaux ou des galeries magdaléniennes du Portel réputées plus récentes (Clottes, 1984 ; Balbin Behrmann et al., 1999 ; Simonnet, 1999 ; Bégouën et al., 2014). L'ancienneté apparente des empreintes repose donc sur ces quelques informations et la présence d'une seule entrée préhistorique qui, a priori, aurait été condamnée dans un temps rapproché de celui de l'occupation humaine. Aucun vestige d'occupation plus récente n'est, de plus, attesté dans le réseau.

2.1.4. Description de la galerie préhistorique

Du nom de son inventeur, le réseau Wahl, qui correspond au réseau préhistorique, s'étend sur 263 m et surplombe le réseau inférieur. Son entrée actuelle, qui s'élève à environ 8 m au-dessus du réseau inférieur, est située à l'opposé de l'entrée préhistorique condamnée par un éboulis. Le réseau peut être divisé en deux entités selon des critères géomorphologiques et archéologiques, la limite entre ces deux parties correspondant à un puits (environ 10 x 1,50 m) (Figure 107) :

- La première partie est située entre l'entrée actuelle du réseau préhistorique et le Puits. Dans cette partie, la galerie est plus ou moins spacieuse, irrégulière avec quelques passages bas, même si, dans l'ensemble, la progression y est relativement aisée. Elle est de plus très concrétionnée et assez humide. Elle se caractérise par la présence de nombreuses empreintes humaines. Aucune trace d'art n'est attestée dans cette partie, mais cinq motifs réalisés au doigt dans l'argile sont à relever (Rouzaud, 1978). Concernant le matériel archéologique de cette zone, il correspond à deux outils en silex (un grattoir et un burin dièdre) retrouvés en surface près de l'entrée actuelle (Figures 107 et 108).

- La deuxième partie, à laquelle on accède après avoir franchi sur quelques mètres un passage surplombant le Puits, se prolonge jusqu'à l'éboulis qui colmate l'entrée préhistorique. Elle présente des dimensions plus importantes que la première, avec un plafond haut dans plusieurs secteurs et des phénomènes de ruissellement plus importants pouvant être la cause d'une quasi absence d'empreintes dans cette moitié de la galerie. Malgré cela, les témoignages de fréquentation humaine sont importants et se caractérisent par la présence de peintures et gravures pariétales (Vialou, 1986) mais également de trois foyers associés à de nombreux vestiges fauniques et des restes d'industrie lithique répartis le long de cette zone (Figure 107).

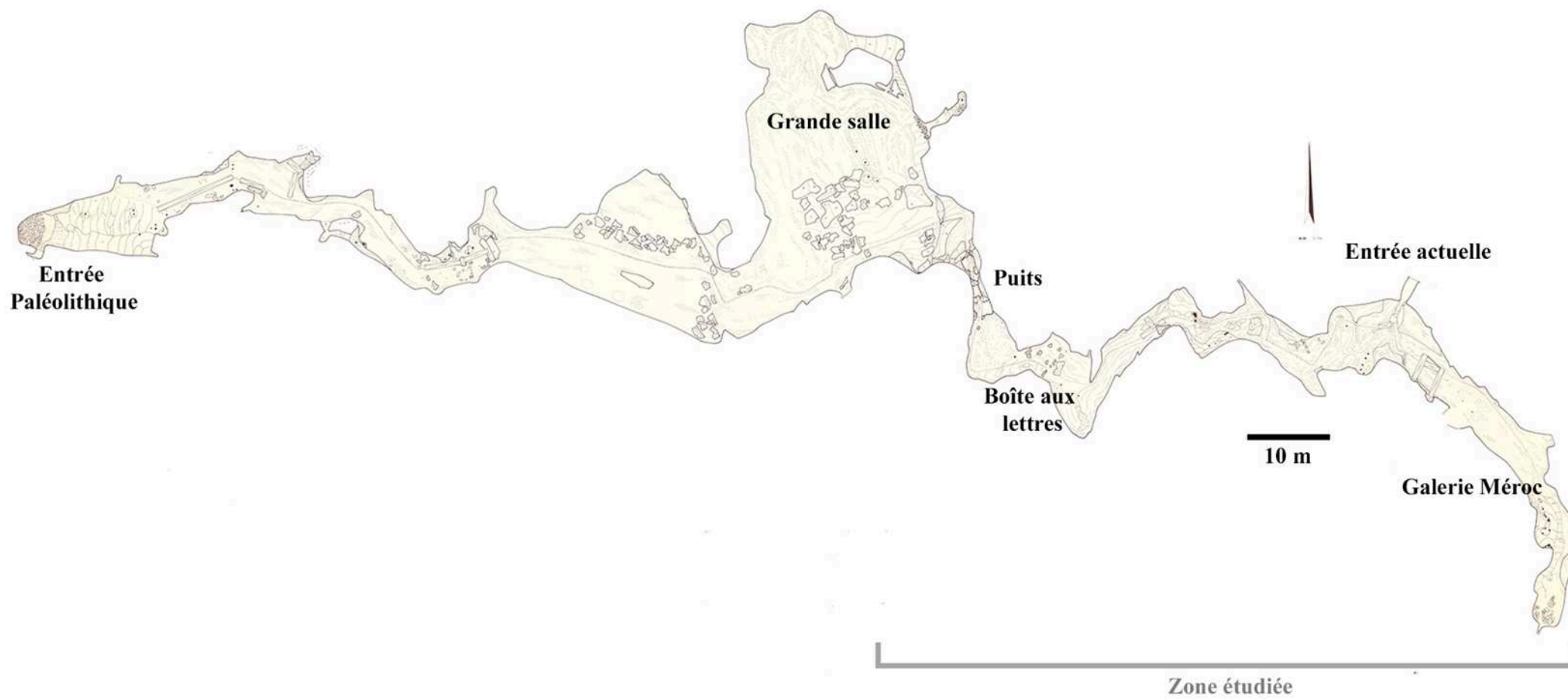


Figure 107 : Fontanet - Topographie en plan du réseau Wahl, modifiée d'après Rouzaud 1974.

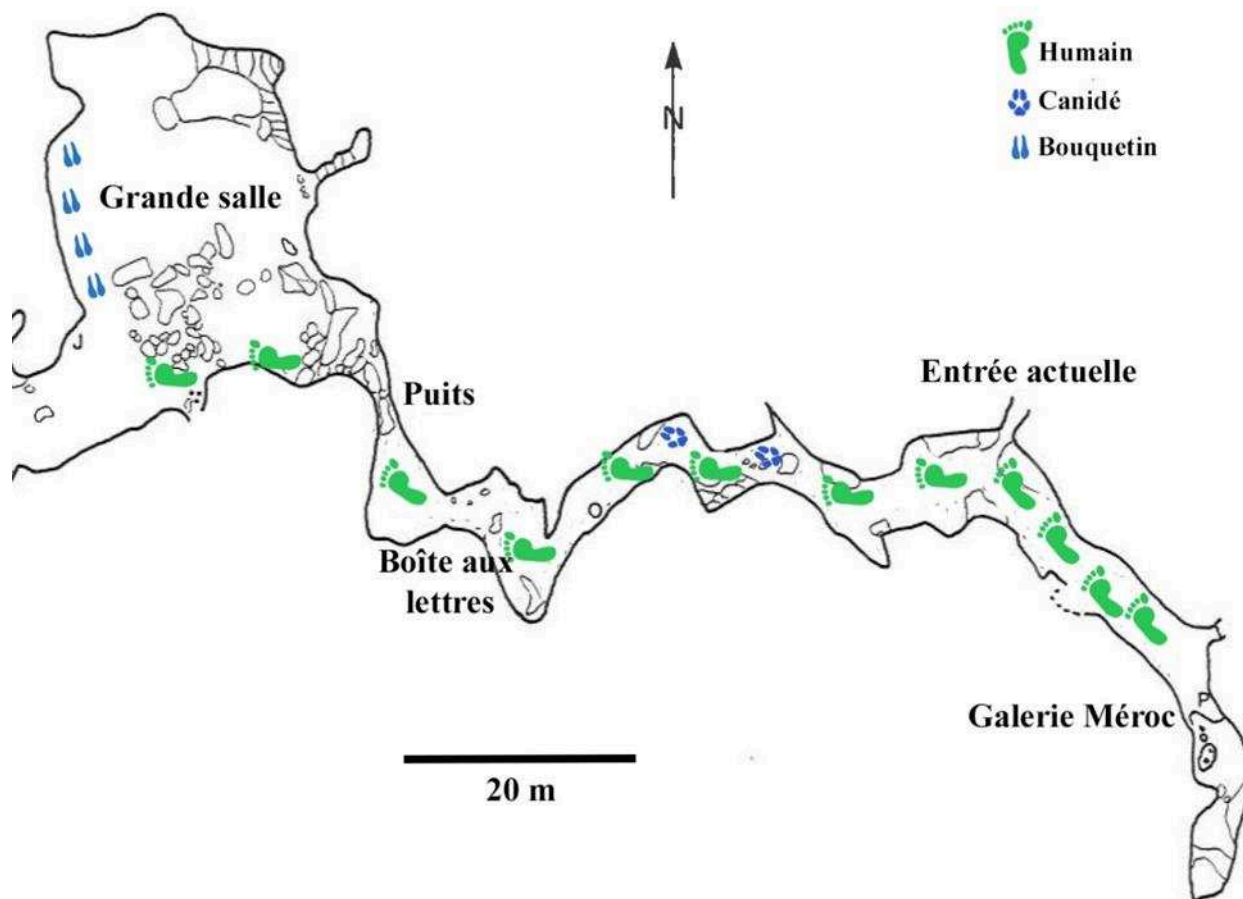


Figure 108 : Fontanet - Localisation des zones à empreintes, modifié d'après Vialou 1986.

2.2. La reprise de l'étude ichnologique

Comme nous l'avons vu précédemment, les connaissances actuelles concernant la grotte de Fontanet sont encore réduites : en atteste la littérature plutôt limitée à son sujet (Delteil et al., 1972 ; Clottes, 1973, 1975 ; Clottes et al., 1984 ; Vialou, 1986 ; Le Guillou et al., 2017). Son exceptionnelle conservation est probablement due en partie au peu d'interventions réalisées depuis sa découverte. Une demande d'opération archéologique a été réalisée dans le cadre de ce travail doctoral en 2016 afin de reprendre l'étude ichnologique de cette cavité emblématique pour la conservation d'empreintes humaines.

Le potentiel informatif de ces plages avait, bien entendu, déjà été remarqué lors des premières missions dans la galerie, puisque, comme nous l'avons évoqué précédemment, celles-ci bénéficièrent de relevés et moulages sous l'initiative de Michel-Alain Garcia. Notre premier contact avec les empreintes de Fontanet a donc été la découverte / manipulation de ces moulages

dont la qualité apparente témoignait déjà du caractère exceptionnel de ces vestiges. Ainsi, plusieurs empreintes avaient déjà été identifiées et décrites grâce à l'existence de ces documents précieux.

Ainsi, de notre connaissance du site, fondée sur les quelques publications disponibles, les moulages du fonds Pales d'une part et nos visites dans la grotte d'autre part, plusieurs questions ont été soulevées :

- Quels sont les différents types d'empreintes représentés ?
- Que nous apprennent-elles sur le profil biologique de leurs auteurs ?
- Que nous révèlent-elles sur les activités/comportements humains dans cette partie de la galerie ?
- Pourquoi sont-elles majoritairement localisées dans la première partie de la galerie ?
- Comment ont-elles évolué au cours du temps ?

La conservation exceptionnelle des empreintes de Fontanet, leur variété et leur nombre, devait nous permettre de réaliser une étude ichnologique complète mêlant morphométrie, taphonomie et dynamique. Cette étude a pour objectif final de répondre à certaines questions relatives à la fréquentation de la cavité. Les résultats ont par la suite vocation à être comparés à ce que nous connaissons déjà pour d'autres sites (Cussac, Chauvet, Pech-Merle, Tuc d'Audoubert, etc.).

Parmi ces questions, celle de l'utilisation du port de chaussant dans la grotte, proposée à Fontanet dès les années 1970 (Clottes, 1973, 1975), a également été vérifiée. Cette question, centrale dans l'étude des empreintes de Cussac et nos expérimentations, permet un regard croisé entre ces deux cavités.

Quelques difficultés liées à l'obtention de l'autorisation des propriétaires de la grotte – dont le statut foncier est complexe – ont cependant contrariées notre projet initial. En effet, la grotte est actuellement partagée entre trois communes propriétaires (Tarascon-sur-Ariège, Ornolac-Ussat-les-Bains et Ussat). Cependant, à l'origine, un concessionnaire dont la concession est arrivée à échéance en septembre 2017 partageait également la grotte avec ces communes. Les propriétaires ne souhaitant pas accorder d'autorisation avant la fin de la concession, et l'un de ces derniers souhaitant la mise en place d'une convention d'autorisation d'accès à la cavité et de relevé ichnologique, nous avons finalement obtenu l'accord des concernés en décembre

2017. La mission a donc dû être organisée sur un temps très court et nous n'avons pu travailler dans la grotte que durant une semaine en janvier 2018. Ce délai très restreint n'ayant pas permis la réalisation de tous les objectifs fixés lors de la mise en place du projet, nous présentons donc ici les premiers résultats de cette étude sur les empreintes de Fontanet, mais aussi les perspectives d'un projet d'étude ichnologique à plus long terme.

2.2.1. Les empreintes

La première partie de la galerie (jusqu'au Puits), qui correspond à la zone dans laquelle se trouve la plus forte concentration d'empreintes, est celle que nous avons privilégiée lors de cette première opération (Figure 108). En effet, les empreintes se répartissent sur l'ensemble de la zone et correspondent à des empreintes complètes ou partielles, statiques ou dynamiques de pieds de tailles variées, mains et indéterminées. Trois plages d'empreintes se détachent du reste de cette portion de la galerie :

- Une grande plage située au niveau de la galerie Méroc, à gauche de l'entrée actuelle. Celle-ci regroupe une grande variété d'empreintes complètes ou partielles, qui se répartissent sur une vingtaine de mètres (Figure 108).
- Une plage localisée à environ 40 mètres à droite de l'entrée actuelle et caractérisée par la présence de deux empreintes de mains gauches réalisées sur une même ligne (Figure 108).
- Une plage beaucoup plus restreinte située à proximité du passage bas appelé « boîte aux lettres » et sur laquelle se trouve une empreinte de pied associée à un motif réalisé par impression de doigts. Cette empreinte correspond à la célèbre empreinte souvent reproduite et interprétée comme étant celle d'un pied chaussé par Léon Pales et Michel-Alain Garcia (Clottes, 1973, 1975) (Figure 108).

Dans le but de disposer d'une vision globale des empreintes de la cavité et ainsi obtenir leur géoréférencement, l'ensemble de la première portion de la galerie a été modélisée en 3D à notre demande par Xavier Muth (société Get in Situ). Chaque plage a, de plus, bénéficié d'un relevé à plus haute résolution (infra-millimétrique) dans le but d'en favoriser l'étude ex situ mais également dans un souci de conservation. Les relevés en 3D des empreintes de Fontanet sont,

en effet, le prolongement des moulages réalisés par Michel-Alain Garcia et constituent des documents d'étude et d'archives inédits assurant la préservation des empreintes.

Nous proposons ici un inventaire des empreintes relevées au cours de la première opération de terrain, leur description et une première interprétation basée sur les données biométriques, dynamiques et contextuelles acquises jusqu'à maintenant. Les descriptions ci-dessous ont été réalisées sur place et ex situ, à partir du modèle 3D (X. Muth). Elles sont organisées par plage d'empreintes mais ne suivent pas la topographie de la cavité. En effet, nous présentons d'abord les plages 1 et 3 car ce sont celles sur lesquelles nous nous sommes le plus focalisées pour cette étude et qui bénéficient d'un modèle 3D.

2.2.1.1. Description des trois plages à empreintes

2.2.1.1.1. Zone entre l'entrée actuelle et galerie Méroc (page 1)

2.2.1.1.1.1. Contexte du secteur constituant la plage 1

Les empreintes décrites ci-dessous sont localisées dans la zone entre l'entrée actuelle et la galerie Méroc, sur ce qui constitue ce que nous avons appelé la plage 1 (Figures 107 et 108). Sur cette zone, on constate en effet une très importante concentration d'empreintes variées (mains, pieds, glissades) (Figure 131). La topographie de la zone n'est pas plane et se caractérise par la présence de plusieurs reliefs et une légère pente descendant vers l'amont (Figures 131 et 132). Concernant le support de formation, la plasticité de la surface ne semble pas avoir été homogène, avec une morphologie des empreintes et des enfoncements variés. Les empreintes sont relativement bien conservées et ne semblent pas avoir beaucoup évoluées au cours du temps. Des stalagmites avec du concrétionnement se sont formées après l'impression des empreintes ce qui en a altéré certaines, mais ce qui a aussi, et paradoxalement, participé probablement à leur bonne conservation générale.

Outre le concrétionnement, il ne semble pas y avoir eu de sédimentation postérieure à la réalisation des empreintes, ce qui suggère que le sédiment de formation de celles-ci était plus ou moins le même. Deux échantillons de sédiment remobilisé ont été prélevés dans le cheminement actuel afin de le caractériser même si celui-ci semble relativement homogène sur l'ensemble de la cavité (Figure 109). Les résultats de l'analyse granulométrique indiquent que ce dernier est constitué de plus de 50% de limon pour les deux échantillons (Tableau 12).



Figure 109 : Prélèvements de Fon1 (gauche) et Fon2 (droite) dans le cheminement actuel

	% sables grossiers (2000-500 μ)	% sables fins (500-63 μ)	% limons grossiers (63-16 μ)	% limons fins (16-7 μ)	% Argiles (<7 μ)
Font1	0	5,61	34,05	41,59	18,74
Font2	0	6	28,04	44,29	21,67

Tableau 12 : Résultats des analyses granulométriques de Fon1 et Fon2.

2.2.1.1.1.2. Description des empreintes

Les descriptions qui suivent ont été réalisées empreinte par empreinte. Chacune d'entre elle est accompagnée d'une photo. Les empreintes non photographiées sont celles difficilement accessibles. Une vision générale de la zone et de l'agencement des empreintes est donnée à travers les figures 131 et 132 et 133⁵.

1- Pied gauche (Fon-1)

Empreinte de pied gauche complète descendant en direction de l'aval. Elle se situe à environ 70 cm de la paroi pour une hauteur sous plafond de 1,27 m. L'appui de la partie distale est le

⁵ L'annexe 2 permet de visualiser ces figures au format A3.

plus marqué. Les orteils sont tous présents mais difficiles à lire du fait de résidus de sédiments à l'intérieur. Cependant, ils semblent être quelque peu fléchis sur eux-mêmes, ce qui est peut-être dû à la surface, non plane à cet endroit. Nous pouvons envisager que l'auteur responsable des empreintes a fléchi ses orteils pour ne pas glisser. L'ensemble du contour du pied est visible même si le talon n'a pas la forme arrondie attendue et qu'il est plus prononcé sur le bord médial (pied ayant glissé ?) avec un petit bourrelet d'argile repoussée. Un bourrelet important de sédiment est également présent à l'avant du pied et peut être dû à la descente instable. Le reste de l'empreinte est plus superficiel. Le bord latéral a cependant poussé un peu de matière vers l'extérieur. Ces aspects semblent indiquer que le sédiment de formation était plutôt ferme, bien que permettant l'impression de l'empreinte, et que les bourrelets relevés sont plus liés à la dynamique du pied au moment de l'impression et la topographie de la zone qu'aux propriétés mécaniques du sédiment (Figure 110). La présence de craquelures sur les contours de l'empreinte (bien présentes au niveau du bourrelet distal), qui sont en lien avec le dessèchement du sédiment postérieurement à la réalisation de l'empreinte, est aussi constatée.

2- Pied gauche (Fon-2)

Empreinte complète de pied gauche en direction de l'aval. Elle est plus altérée que Fon-1, même si on l'observe encore dans son entier. La partie distale est bien visible même si la reconnaissance des orteils est difficile, comme pour la précédente. Ceux-ci semblent également fléchis. Un important bourrelet à l'avant est visible. Cette empreinte semble un peu déformée, la zone des orteils est un peu plus large que la partie distale de la plante. La partie proximale est assez large et beaucoup plus superficielle. Comme pour l'empreinte précédente, des craquelures dues à la dessiccation du sédiment sont aussi présentes sur son contour. Elle se situe à environ 3 cm de Fon-1, mais décalée (plus basse d'environ 8 cm). Elle est environ à 60 cm de la paroi et 1,30 m sous plafond (Figure 110).

3- Talon (Fon-3)

Empreinte de partie postérieure du pied en direction de l'amont. Il semble s'agir d'un pied droit, bien que la latéralisation reste incertaine. Elle se situe avant Fon-1 et Fon-2, à 3 cm de Fon-2 et parallèle à Fon-1 (elle est plus proche de la paroi). Le fait que la partie distale soit absente et

qu'elle n'ait pas recouvert Fon-1 et Fon-2 pourrait signifier qu'elle est antérieure. La prise de photo n'a pas été possible car elle est située sous la passerelle. Elle se situe à une quarantaine de cm de la paroi et sous une hauteur sous plafond d'environ 1,30 m.

4- Pied (Fon-4)

Empreinte qui semble être celle d'un pied et qui a une forme de 8. Elle est difficile à interpréter. Il est possible qu'il s'agisse d'une empreinte dont un appui aurait été plus important que l'autre, sur toute la longueur, mais il est pour l'instant difficile de dire si les bourrelets se situent sur le bord médial ou latéral. Elle donne plutôt l'impression d'une empreinte dirigée vers l'amont. Si tel est le cas, c'est le bourrelet d'un des bords du talon qui est le plus important. Le pied était peut-être un peu en biais. Dans ce cas de figure, cette empreinte a sa partie proximale accolée à Fon-2 et se dirige dans le sens opposé de Fon-1 et Fon-2. Elle se situe à 49 cm de la paroi pour 1,28 m sous plafond (Figure 110).

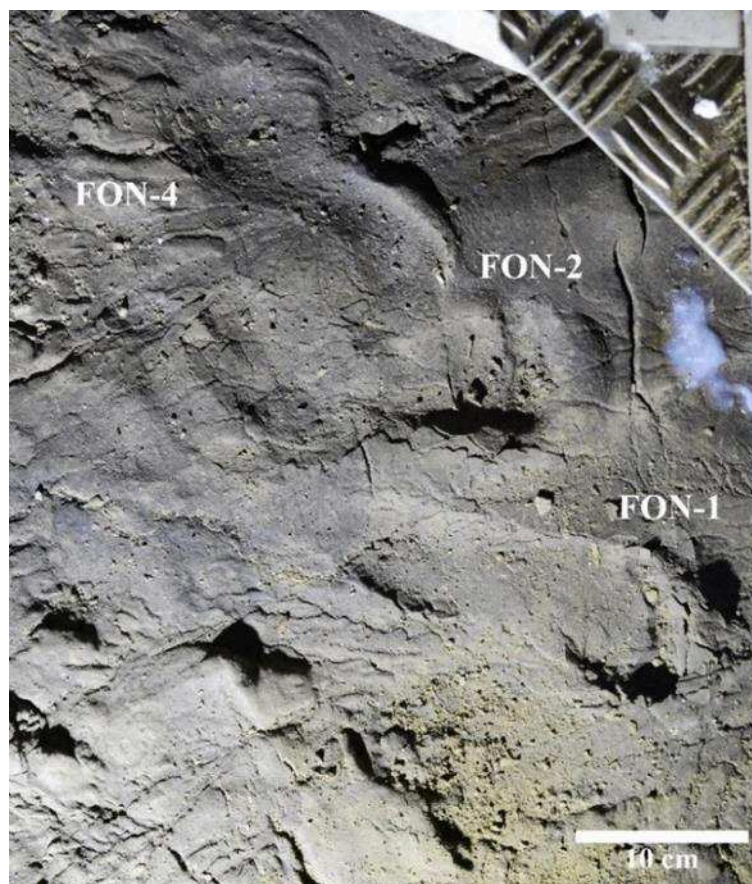


Figure 110 : Fontanet - Fon-1, Fon-2 et Fon-4, empreintes de pieds.

5- Talon (Fon-5)

Empreinte de la partie proximale d'un pied donc qui correspondrait au talon. Celle-ci est en direction de l'amont. Le talon a écrasé le sédiment sans le traverser complètement. Elle est dans la continuité des précédentes et se situe sur une zone de fort piétinement. Le tassement du sédiment dû au piétinement pourrait expliquer le fait que le pied ne s'est pas enfoncé dans le sol. Elle se situe à 30 cm de Fon-2 et à environ 77 cm de la paroi pour une hauteur sous plafond de 1,20 m. Elle est antérieure à Fon-7 et Fon-8 (Figure 111).

6- Pied (Fon-6)

Empreinte glissée, peut-être de talon, en tout cas probablement de pied. Elle est accolée à Fon-5 (à droite en direction de l'amont). Les stries à l'intérieur semblent être dirigées vers le bas, en biais et en direction de l'aval : s'il s'agit bien d'une empreinte de talon, elle serait plutôt dirigée vers l'amont dans le sens de la montée. Le sédiment est, une nouvelle fois, écrasé. Cette empreinte est probablement antérieure aux suivantes qui l'oblitérent. Elle se situe à 72 cm de la paroi pour une hauteur sous plafond de 1,10 m (Figure 111).

7- Talon (Fon-7)

Empreinte de talon dirigée vers l'amont. Celle-ci semble oblitérer celle d'à côté (Fon-8) indiquant qu'elle lui est certainement postérieure. Elle présente un bourrelet à l'arrière et est elle-même recoupée par une autre empreinte dans sa partie antérieure (Fon-9) (Figure 111).

8- Talon (Fon-8)

Empreinte de talon en direction de l'amont. Elle est accolée et parallèle à Fon-7 avec un gabarit similaire (Tableau 13). Le support est écrasé et repoussé, et un bourrelet à l'arrière qui a été écrasé dans un second temps est visible, comme c'est le cas pour Fon-7. Il s'agit aussi d'un témoignage en faveur d'une zone fortement piétinée. Cette empreinte est partiellement oblitérée

par Fon-9 dans sa partie antérieure : elle recouvre cependant Fon-5 et Fon-6. Elle se situe à 60 cm de la paroi et à 1 m sous plafond (Figure 111).

9- Pied gauche (Fon-9)

Empreinte de pied gauche dont on ne distingue pas forcément l'entièreté à la première observation (variable selon l'éclairage et le point de vue). Elle est dirigée vers l'amont et dans la continuité des précédentes, même si elle semble postérieure du fait qu'elle recouvre Fon-7 et Fon-8. La partie proximale est très bien visible avec des bourrelets latéraux bien présents, surtout sur le bord latéral. Une dépression à l'avant marque probablement l'hallux. Elle est située à 69 cm de la paroi et à 1 m sous plafond (Figure 111).

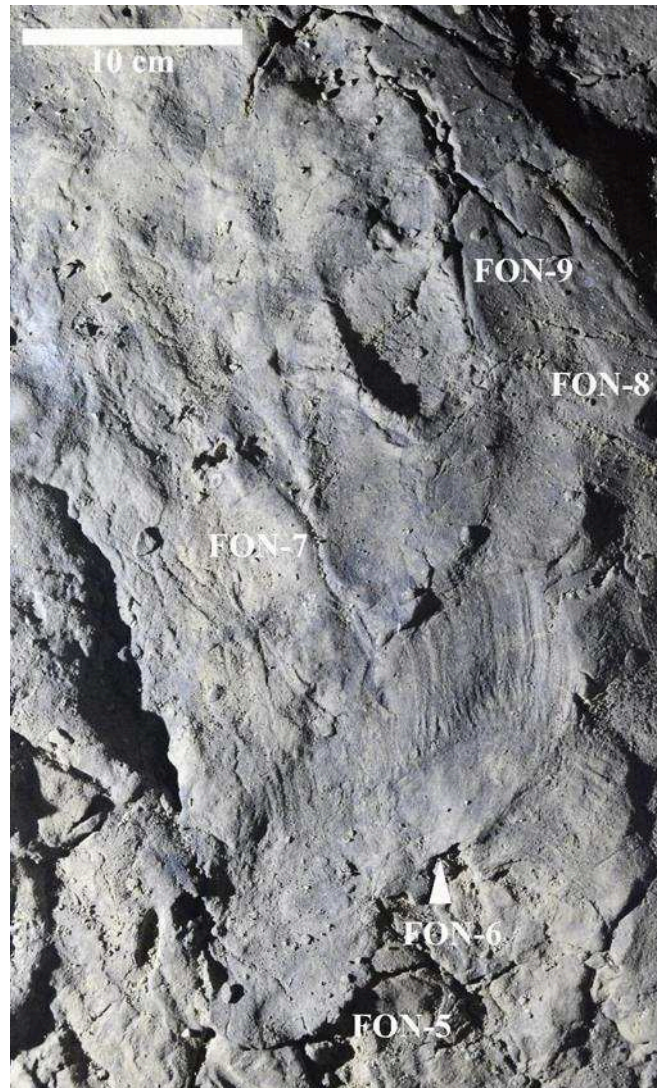


Figure 111 : Fontanet - Fon-5 à Fon-9, empreintes de talons.

10- Glissade (Fon-10)

Empreinte de glissade s'étendant sur une quarantaine de cm et accolée au groupe d'empreintes précédentes. Elle correspond peut-être à une glissade de pied et se prolonge probablement plus bas. Elle se situe à environ 57 cm de la paroi et à environ 1 m sous plafond. Celle-ci semble de plus oblitérée par Fon-8, Fon-9 et Fon-10. Elle est peut-être contemporaine de Fon-6 et Fon-7 (Figure 112).



Figure 112 : Fontanet - Fon-10, les flèches indiquent le début et la fin de la glissade.

11- Talon (Fon-11)

Empreinte qui se situe juste au dessus de Fon-4 et qui n'avait pas été vue lors des premières observations de la zone. Il s'agit encore d'une empreinte de partie proximale de pied qui est dirigée vers l'amont. Un bourrelet est visible à l'arrière. L'appui le plus éloigné de la paroi (donc du côté de l'entrée actuelle) est le plus marqué, ce qui est peut-être dû à la topographie et à la gêne occasionnée par la paroi. Elle se situe à 58 cm de la paroi et 1,23 m sous plafond. Elle est difficile à mettre en évidence sur les photos et sur le relevé.

12- Pied droit (Fon-12)

Empreinte complète de pied droit dirigée vers l'amont. Celle-ci a écrasé le support et est assez superficielle. On ne voit pas les orteils si ce n'est ce qui semble être l'hallux (matérialisé par une petite dépression à l'avant) et qui permet la latéralisation. Sur son bord latéral, celle-ci a écrasé un surplus de matière. Sur son bord médial, la présence d'un trou, est peut-être dû à l'écoulement de l'eau. Cette empreinte de pied droit est en quinconce par rapport à Fon-9 (pied gauche) : il pourrait donc s'agir du même individu compte tenu également de la taille.

13- Doigts (Fon-13)

Empreinte de doigts perpendiculaire à la paroi et dirigée vers la paroi opposée. Cette empreinte est partielle, composée de 3 doigts repliés visibles et assez profonds. Il semble s'agir de l'index, du majeur et de l'annulaire, ce qui en ferait une empreinte de main gauche. Elle se situe à environ 40 cm de la paroi et à 75 cm du plafond ce qui sous entend forcément une position baissée (Figure 113).

14- Indéterminée (Fon-14)

Empreinte indéterminée qui pourrait correspondre à un pied (peut-être un talon) qui est dirigée vers l'aval en descendant. Celle-ci est à côté de Fon-13 et semble lui être postérieure. Elle est probablement un peu déformée par la topographie de la zone. Une fissure la traverse, ce qui donne l'impression de deux empreintes. L'appui le plus important est le plus proche de la paroi. Elle se situe à 38 cm de la paroi et à environ seulement 75 cm de plafond (Figure 113).

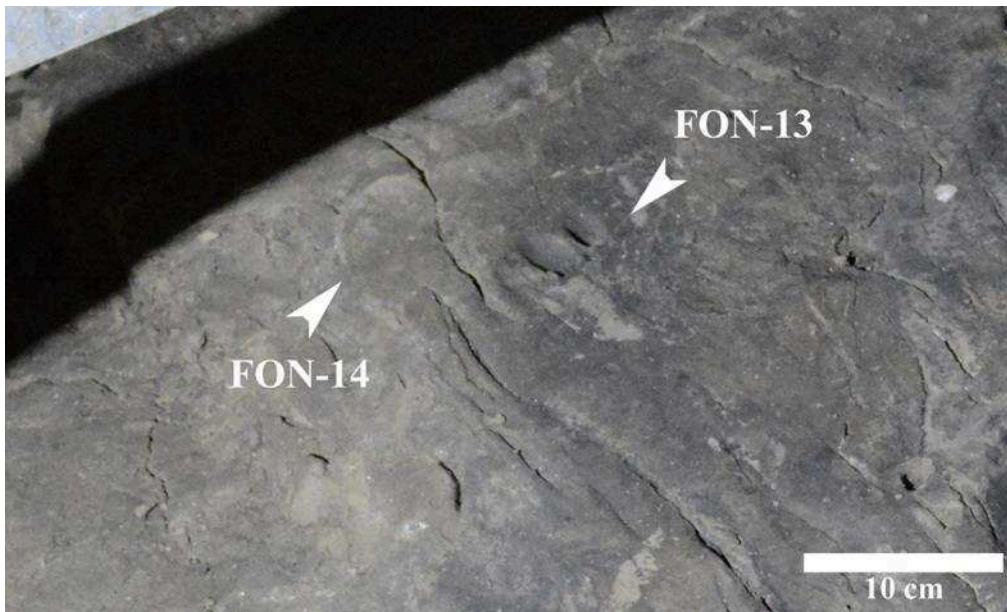


Figure 113 : Fontanet - Fon-13, empreinte de doigts et Fon-14, empreinte indéterminée.

15- Talon ? (Fon-15)

Empreinte probable de talon, difficile à lire car elle se situe dans une zone couverte de nombreuses superpositions. Celle-ci est oblitérée par une, voire deux, traces. À l'avant, à droite en regardant vers l'amont, se trouve un fort bourrelet rebroussé qui pourrait correspondre à un autre passage. Cette empreinte se situe dans la continuité de Fon-9 bien que dans le sens opposé. Elle est localisée à environ 70 cm de la paroi et 80 cm sous plafond (Figure 114).

16- Talon (Fon-16)

Empreinte de talon en descente et en direction de l'aval. Celle-ci présente un fort bourrelet à l'arrière et du côté amont. Elle semble être recoupée en aval par un appui arrondi du support, lui-même accolé à Fon-15. Elle se situe à environ 1 m de la paroi et à 1,10 m sous plafond. Comme Fon-15, elle est en aval de Fon-17 (Figure 114).

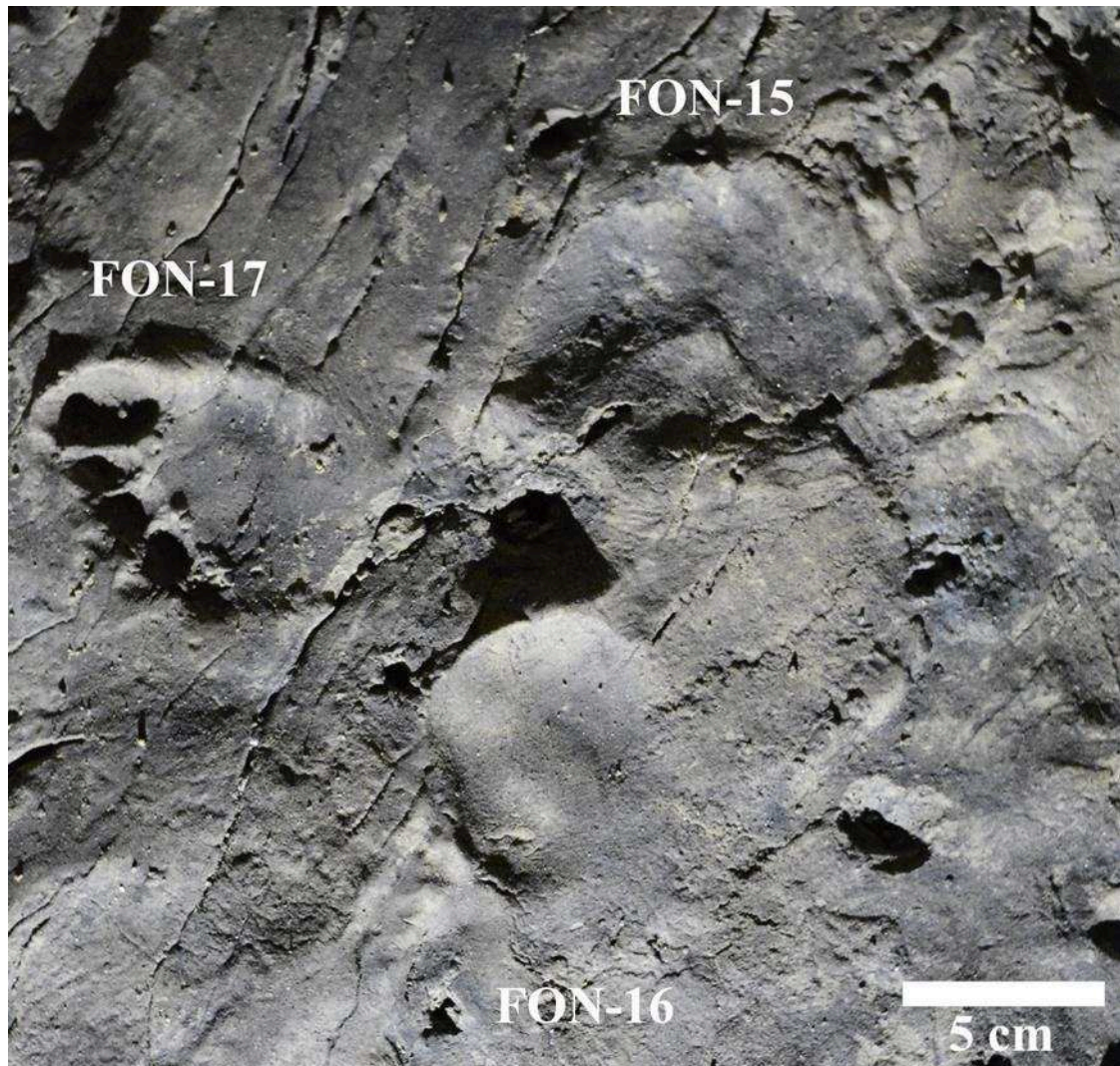


Figure 114 : Fontanet - Fon-15 et Fon-16, empreintes de talons et Fon-17, empreinte de pied.

17- Pied gauche (Fon-17)

Empreinte partielle de pied gauche dirigée vers l'amont. La partie visible est la partie distale du pied avec tous les orteils. L'hallux a particulièrement bien marqué et présente un bourrelet sur tout son pourtour se prolongeant sur le bord médial de la plante. L'appui est donc plus important de ce côté. La limite entre la plante et les orteils est également bien visible. Le petit orteil est celui qui a le plus marqué. C'est une empreinte dynamique dont on perçoit encore le mouvement. À l'arrière de cette empreinte, se situe une dépression qui ressemble à un talon. Cela est cependant difficile à affirmer du fait de la présence d'un trou au centre, formé par des gouttes d'eau. Elle se situe à 90 cm de la paroi et à 80 cm sous plafond. La position debout est

ici impossible. Elle semble postérieure à Fon-16 et Fon-15 et est possiblement issue de la même piste que Fon-18 ou de la même position que Fon-18 et Fon-19 (Figures 114 et 115).

18- Pied droit (Fon-18)

Empreinte de partie distale de pied droit dont les orteils et toute la partie distale de la plante sont bien visibles. Cette empreinte quelque peu déformée semble indiquer un mouvement de rotation du pied vers la droite (vers aval). Elle semble dans la continuité de Fon-17 et présente un gabarit similaire (Tableau 13). Elle est dans le sens de la montée même si la rotation donne l'impression qu'elle redescend vers la paroi. L'hallux est le plus profond, semblant confirmer un appui plus fort sur cet orteil au moment de la rotation du pied. Des bourrelets sont présents sur tout le pourtour des orteils. Le petit orteil est le moins visible. Les petits sillons à l'intérieur de l'empreinte indiquent aussi la rotation du pied. Les orteils autres que l'hallux sont plus en hauteur que ce dernier et semblent indiquer qu'ils sont appuyés sur un petit relief présent avant l'appui. La topographie du sol à cet endroit présente un relief et cette empreinte est en contrebas de celui-ci. Elle se situe à 75 cm de la paroi et 82 cm sous plafond indiquant plutôt une position baissée. Elle se situe à 13,5 cm de Fon-17 et semble résulter d'une même position, comme cela est aussi le cas pour Fon-19 (Figure 115).

19- Main (Fon-19)

Empreinte de main repliée face contre le sol et dont l'index est dirigée vers la paroi. Les 4 derniers doigts sont appuyés sur leurs premières phalanges et l'index, dont on peut distinguer l'ongle, est déplié face au sol. Cette empreinte pourrait faire partie de la même position que Fon-17 et Fon-18 (position accroupie), la main étant posée sur le sol pour se tenir en équilibre. Elle est moins profonde que les empreintes précédentes, ce qui pourrait signifier que le poids est plus réparti dans les pieds. Elle est en revanche accolée et un peu oblitérée par l'hallux de Fon-20 qui lui est probablement postérieur. Elle se situe à 15 cm de Fon-17 et à 20,5 cm de Fon-18. Elle est à peu près à 1 m de la paroi et toujours à 85 cm sous plafond. Ces 3 empreintes sont localisées exactement sous un ressaut plus bas que le reste de la paroi (Figures 115 et 116).

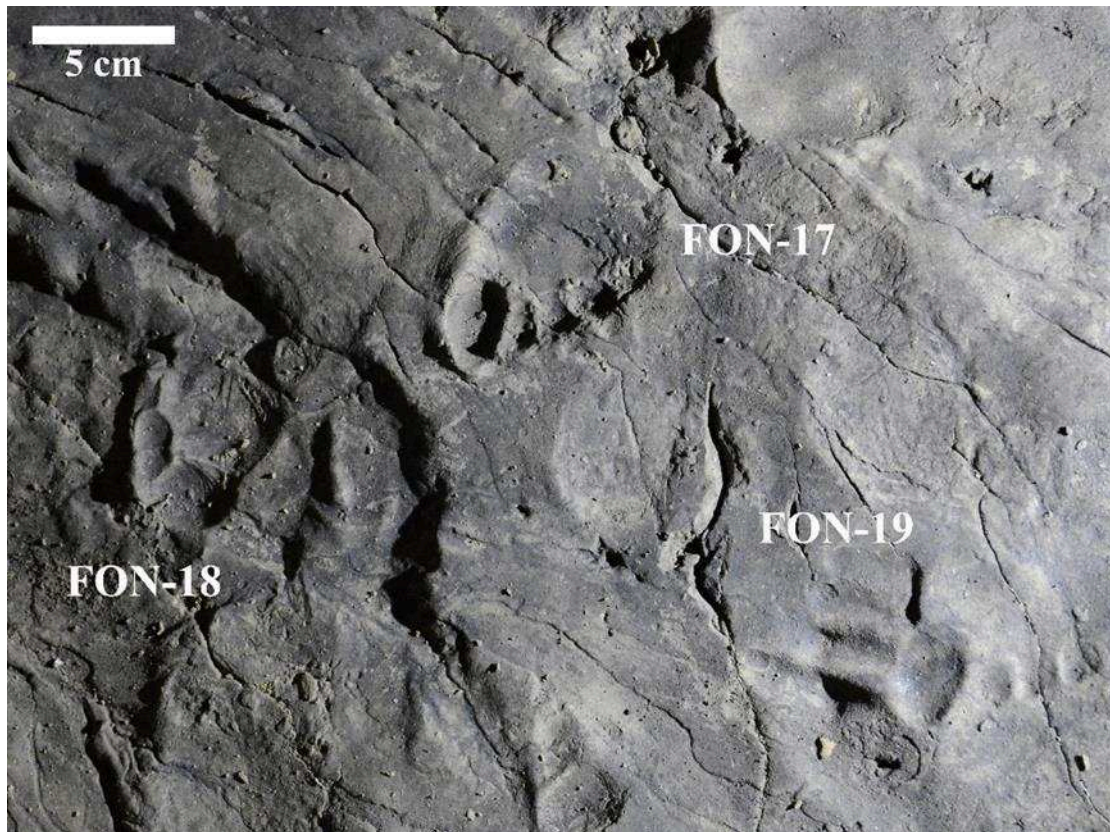


Figure 115 : Fontanet - Fon-17 et Fon-18, empreintes de pieds et Fon-19, empreinte de main.

20- Pied (Fon-20)

Empreinte de partie distale de pied gauche dirigée vers l'amont. Celle-ci oblitère un peu Fon-19 avec son hallux. Elle est de même gabarit que les précédentes (Tableau 13). Tous les orteils sont présents, l'hallux étant le plus marqué. Les autres doigts sont de moins en moins marqués en allant vers le petit orteil. Le bord externe du pied descend vers la paroi. Elle se situe à environ 1 m de la paroi et à 1,05 m sous plafond. La position debout est possible : s'il s'agit bien d'un pied gauche, le pied droit se situe alors sous un plafond plus bas, nécessitant donc de se baisser (Figure 116).

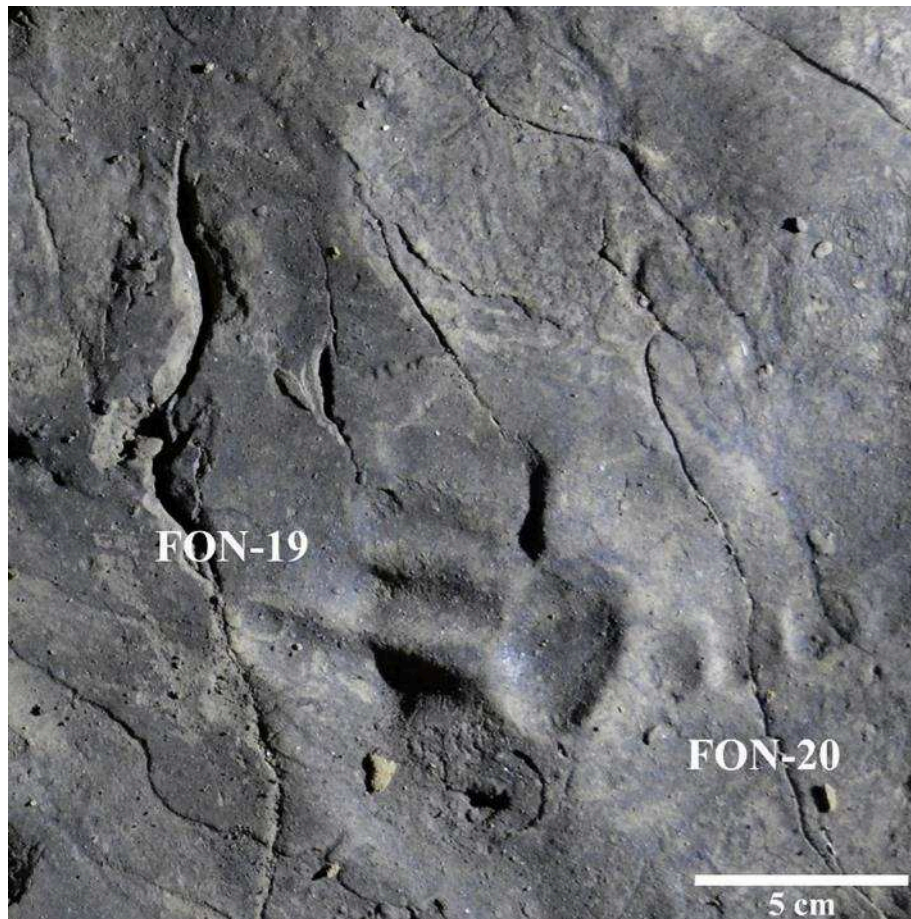


Figure 116 : Fontanet - Fon-19 et Fon-20.

21- Orteils (Fon-21)

Empreinte partielle de partie distale de pied droit dont on décompte l'hallux et les deux orteils suivants. Un élément du 4^{ème} orteil est peut-être également visible. Celle-ci est dans le sens de la montée et dirigée presque vers la paroi. Elle redescend du petit ressaut. L'hallux est la partie la plus enfoncée et est du même gabarit que les empreintes précédentes (Tableau 13). Comme pour les précédentes, le plafond est toujours bas et il n'est pas possible de se tenir debout (90 cm sous plafond et 1,04 m de la paroi) (Figure 117).



Figure 117 : Fontanet - Fon-21.

22- Pied ? (Fon-22)

Empreinte arrondie sous plafond bas. Elle semble être contemporaine de Fon-23 qui correspond exactement au même type d'empreinte. Un fort bourrelet situé dans la partie la plus proche de la paroi et s'étant par la suite craquelé est visible. Après avoir réalisé quelques essais de positions, nous supposons qu'il pourrait s'agir de l'empreinte laissée par le bord latéral d'un pied lors d'un mouvement de côté. Celle-ci semble participer au même mouvement que Fon-23 et Fon-24. Elle se situe à 70 cm de la paroi et 96 cm sous plafond (Figure 118).

23- Pied ? (Fon-23)

Empreinte qui est accolée et qui ressemble fortement à Fon-22 avec un très gros bourrelet repoussé au plus proche de la paroi. Il pourrait également s'agir de l'empreinte du bord latéral d'un pied laissée lors d'un mouvement de côté. Celle-ci semble participer au même mouvement que Fon-22 et Fon-24. Elle se situe à environ 70 cm de la paroi et 1 m sous plafond (Figure 118).

24- Pied (Fon-24)

Empreinte oblongue et fermée qui se rétrécit dans sa partie la plus éloignée de la paroi. Celle-ci est relativement profonde et très dynamique. Le sol à cet endroit semble avoir été assez plastique. Elle est probablement associée à Fon-22 et Fon-23. Différents essais de positions ont montré qu'il pourrait s'agir du bord interne d'un pied glissé. La marque de l'hallux correspondrait alors à la partie la plus étroite : il s'agirait donc d'un pied gauche. Elle se situe à 83 cm de la paroi et 1,05 m sous plafond. Cette empreinte pourrait être le résultat d'une position accroupie. Autour de cette empreinte, plusieurs appuis pouvant correspondre à des talons, (décrits ci-dessous) sont constatés (Figures 118 et 119).



Figure 118 : Fontanet - a : Fon-22, Fon-23 et Fon-24, b : empreintes de bord latéral de pied, c : position ayant pu permettre la réalisation de Fon-24.

25- Talon (Fon-25)

Empreinte de partie postérieure de pied actuellement située sous la passerelle. Celle-ci est assez superficielle et ne présente pas de partie antérieure. Un petit bourrelet écrasé sur son pourtour est visible. Elle se situe à 65 cm de la paroi et 1,25 m sous plafond.

26- Glissade (Fon-26)

Trace de glissade à 11 cm de Fon-25 et plus haute. Elle semble être dans le sens de la pente et dévie vers la paroi. Elle se situe à 83 cm de la paroi et à environ 1,30 m sous plafond (Figure 119).

27- Indéterminée (Fon-27)

Il pourrait s'agir d'une empreinte de paume. Elle est accolée à Fon-24 et est assez superficielle. Du côté de la paroi, elle semble avoir écrasé la matière tandis que de l'autre côté, elle semble s'être enfoncée. À côté de cette empreinte se trouve celle d'un talon (Fon-28). Elle est située à 83 cm de la paroi et à 1,10 m sous plafond (Figure 119).

28- Talon (Fon-28)

Empreinte de talon similaire à Fon-25 de même gabarit (Tableau 13). Elle se dirige vers l'amont. Le talon est bien enfoncé et présente un bourrelet à l'arrière accolé à Fon-24 et Fon-27. Elle se situe à 85 cm 1,10 m sous plafond (Figure 119).

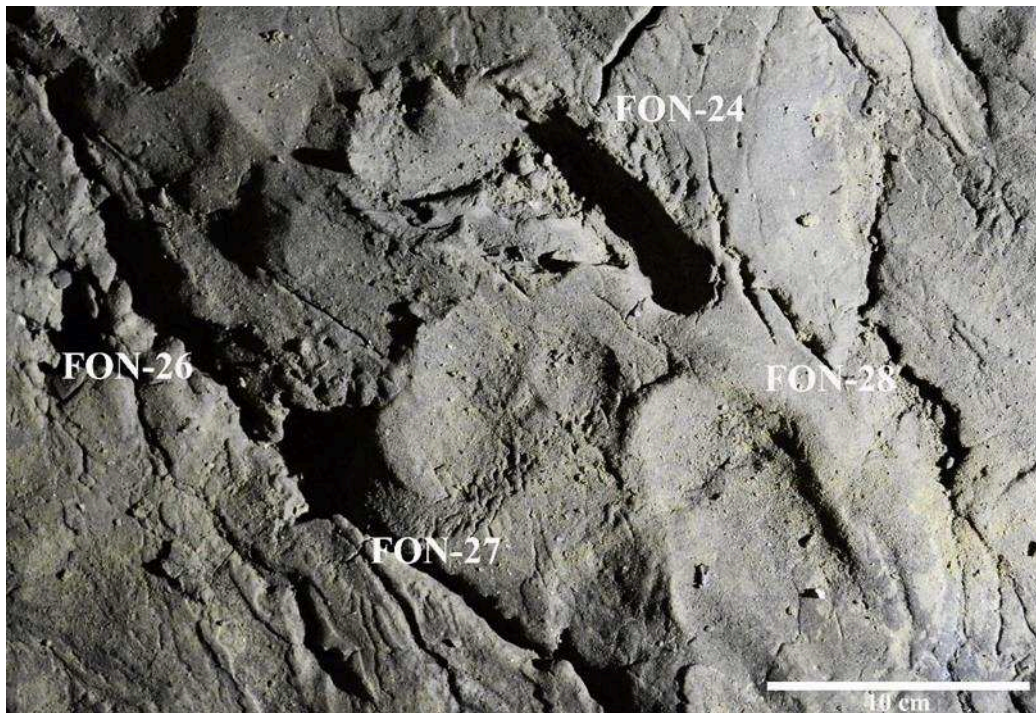


Figure 119 : Fontanet - Fon-24, Fon-26, Fon-27 et Fon-28.

29- Talon (Fon-29)

Empreinte de talon perpendiculaire à la paroi allant en direction de cette dernière. C'est une empreinte assez profonde (traduisant un sédiment plastique) et qui a été oblitérée par le concrétionnement. Dans cette zone le concrétionnement est, en effet, très prononcé et prend une couleur noire.

30- Talon (Fon-30)

Talon longeant la paroi en direction de l'amont et très bien marqué puisqu'on note la présence d'un gros bourrelet sur le bord gauche. Celui-ci montre donc un appui plus important à cet endroit (peut-être dû à la topographie en pente) et un sédiment qui est encore très plastique. L'empreinte est possiblement endommagée dans sa partie distale par du concrétionnement. Ce concrétionnement recouvre aussi Fon-31 (Figure 121).

31- Hallux (Fon-31)

Hallux semblant appartenir à un pied droit et dirigé vers l'amont. Le reste du pied manque, il a peut-être été endommagé par le même concrétionnement que Fon-30 (Figures 120 et 121).

32- Pied (Fon-32)

Empreinte de pied possiblement droit oblitérée par Fon-33 qui la recouvre. Il est possible qu'au niveau des orteils de Fon-33, il y ait interférence ou confusion avec ceux de Fon-32. Ces deux empreintes sont de même gabarit (Tableau 13). Fon-33 est dirigée vers l'amont, dans le sens de la montée et est toujours située en bordure de paroi. À l'intérieur sont visibles des plis perpendiculaires à l'empreinte et parallèles entre eux qui pourraient correspondre, soit à une réaction du sédiment au moment de la formation de l'empreinte, soit aux plis de peau de la plante du pied (Figures 120 et 121).

33- Pied (Fon-33)

Empreinte complète de pied droit assez superficielle mais bien visible. Elle recouvre Fon-32 et est accolée à Fon-34. Elle est dans le sens de la montée en direction de l'amont. Les orteils sont un peu altérés, ce qui peut être dû à la superposition avec Fon-32. Dans le fond de l'empreinte, se trouvent des sillons perpendiculaires à celle-ci et parallèles entre eux. Il pourrait s'agir de nouveau soit d'une réaction du sédiment au moment de la formation de l'empreinte, soit des plis de la peau sous la plante du pied comme pour Fon-32. La présence d'un petit bourrelet au niveau du talon résulte peut-être d'un glissement du pied (Figures 120 et 121).

34- Talon (Fon-34)

Empreinte de talon allant en direction de l'amont, dans le sens de la montée et accolée à Fon-33. Elle est un peu plus basse et en biais par rapport à cette dernière. L'avant du pied a disparu, un petit bourrelet à l'arrière du talon montre que le sédiment était plastique mais de façon inégale sur l'ensemble de la surface. Concernant la chronologie, il est difficile d'affirmer qu'elle est contemporaine de Fon-33 (Figures 120 et 121).

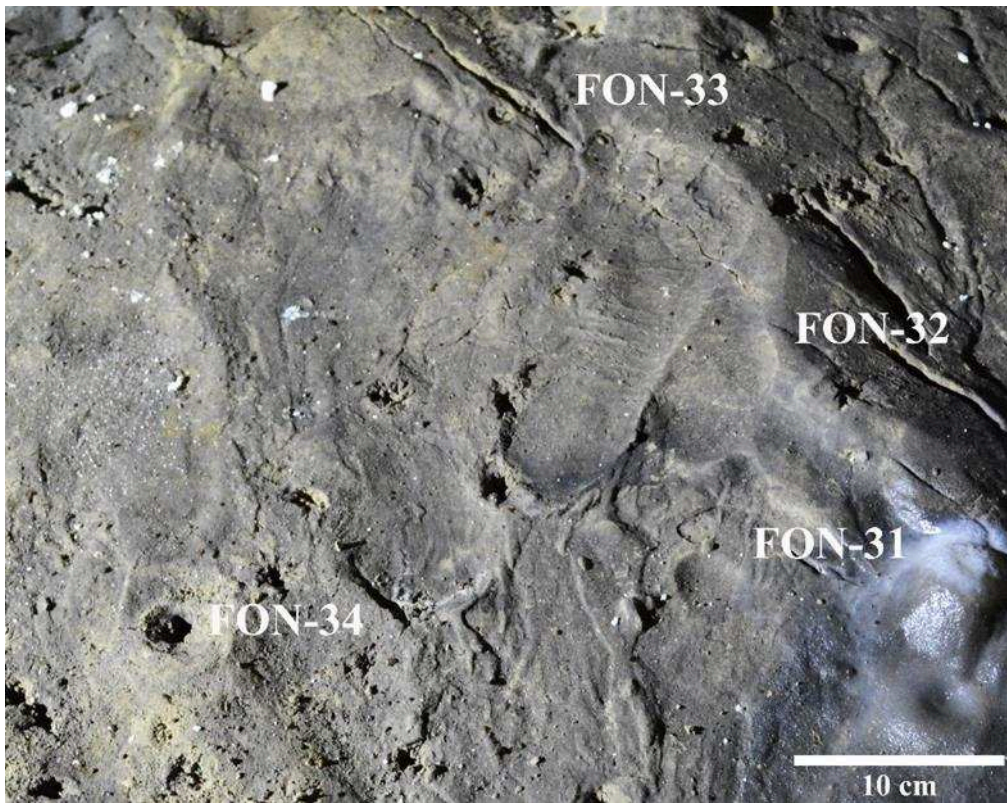


Figure 120 : Fontanet - Fon-31 à Fon-34.

35- Talon (Fon-35)

Empreinte profonde de talon témoignant encore du fait que la surface n'est pas homogène. Elle se dirige vers l'amont et longe la paroi. Le pied a aussi suivi la pente qui va vers la paroi du côté de l'entrée. Un gros bourrelet est présent sur tout le pourtour de l'empreinte. Cette empreinte semble recouvrir une autre empreinte potentielle. La partie antérieure n'est pas marquée ou a disparu. Sur le devant de cette empreinte, il y a un mince plancher stalagmitique dans la continuité d'une rangée de petites concrétions (Figure 121).

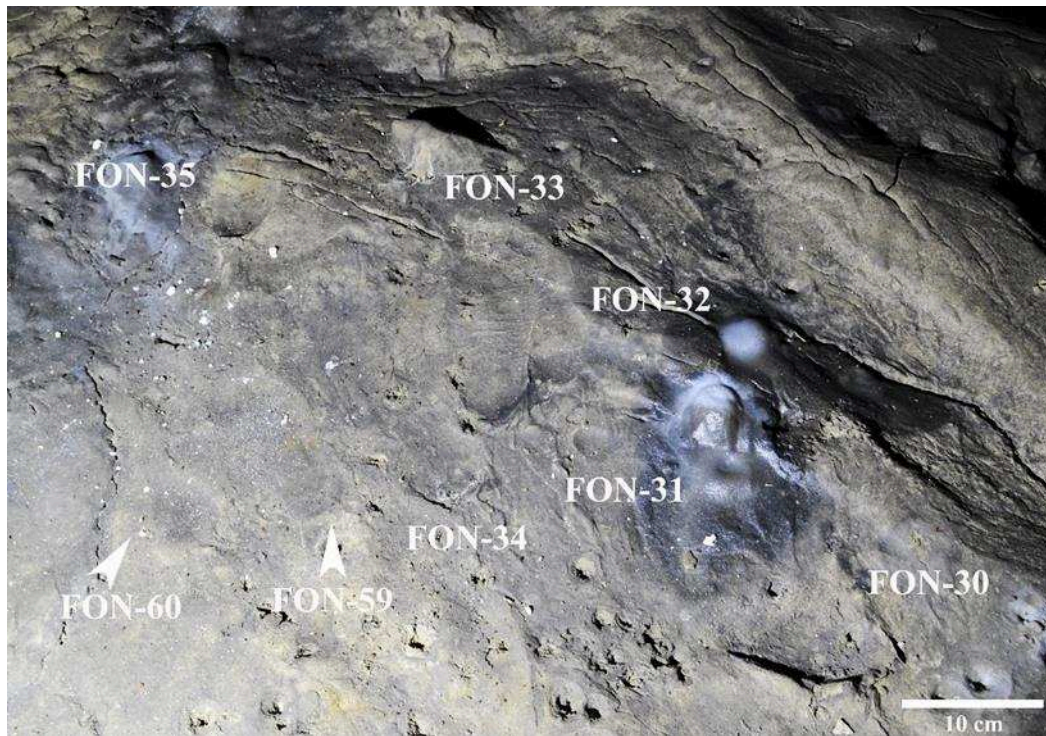


Figure 121 : Fontanet - Fon-30 à 35 et Fon-59 et Fon-60.

36- Talon (Fon-36)

Empreinte de talon dans la continuité de Fon-35 (environ 4 cm plus haut), en direction de l'amont et juste derrière Fon-37. Elle se trouve au dessus de la ligne de concrétions qui marque un changement de topographie du sol. Elle est plus haute que Fon-35. Un gros bourrelet à l'arrière du talon témoigne de la plasticité du sol. L'avant ne semble pas être marqué (peut-être dû à des processus taphonomiques) (Figure 122).

37- Pied (Fon-37)

Empreinte de pied complète très bien imprimée sur le support. Celle-ci est en direction de l'amont et dans la continuité de Fon-35 et Fon-36. les parties distale et proximale de la plante sont très bien marquées mais sans être profondes. La partie moyenne est quant à elle superficielle. La partie distale de la plante et des orteils montre un appui important avec un gros bourrelet latéral au niveau de l'hallux. Tous les orteils sont présents et bien marqués (Figure 122).

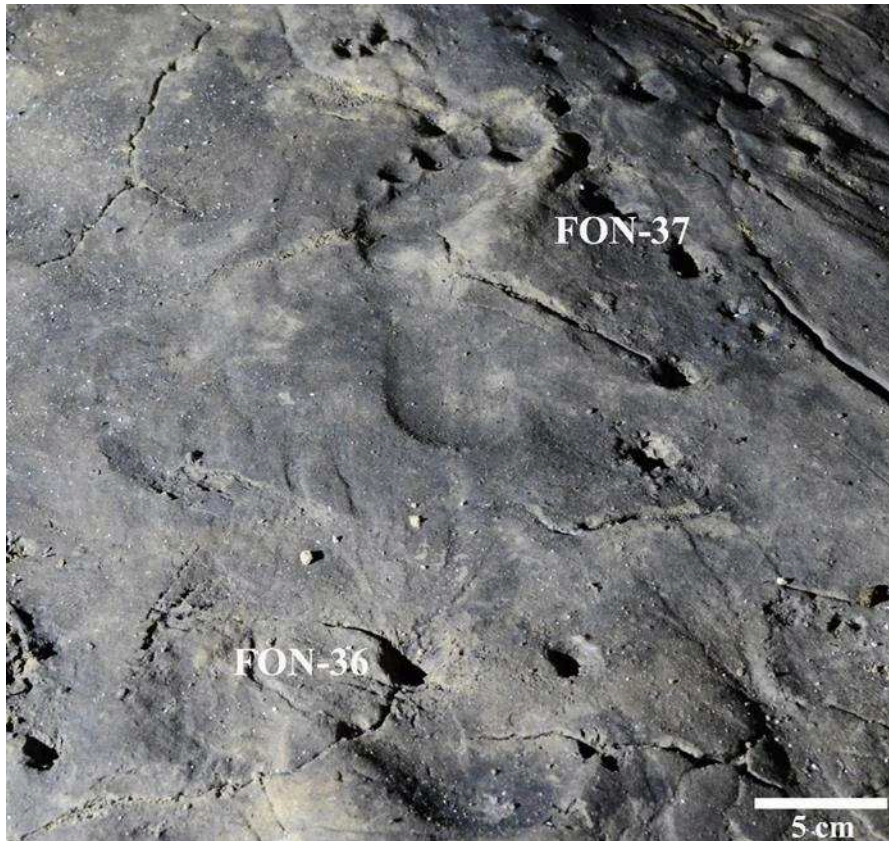


Figure 122 : Fontanet - Fon-36 et Fon-37.

38- Glissade (Fon-38)

À proximité de Fon-37, un peu plus haut, se trouve une importante trace de glissade résultant probablement d'un glissement du pied. Elle est dans le sens de la pente et longe la paroi. Juste au-dessus, se trouve la marque d'un talon (Fon-39). Si glissade il y a eu, le sol devait être assez plastique. La présence de petits sillons à l'intérieur est constatée.

39- Talon (Fon-39)

Trace de talon de même gabarit que Fon-36 (Tableau 13). La distance la rend cependant difficile à observer. Elle est dirigée vers l'amont, le long de la paroi.

40- Pied (Fon-40)

Empreinte de pied complète ressemblant fortement à Fon-37. Elle est dans le sens de la descente en direction de l'aval. C'est une empreinte qui est très superficielle dont on ne voit pas les orteils : l'hallux, un peu déformé et glissé, semble, cependant, encore visible. Il s'agirait alors d'une empreinte gauche. Elle appartient peut-être à la même piste que Fon-36.

41- Pied (Fon-41)

Empreinte de pied complète dirigée vers la paroi. Elle se trouve à côté de Fon-42 et lui est peut-être associée. Les orteils ne sont pas du tout visibles, sa forme semble indiquer un pied gauche.

42- Pied (Fon-42)

Partie distale de pied sans orteil, parallèle et plus basse que Fon-41. Il s'agit peut-être d'un pied gauche. Celui-ci est en direction de la paroi comme Fon-41.

43- Pied (Fon-43)

Empreinte de pied en direction de l'amont. Elle est parallèle à Fon-44 et est peut-être contemporaine. Il pourrait s'agir d'un pied droit avec l'incurvation au niveau de la voûte plantaire bien marquée et associée à un important bourrelet de sédiment. Elle est également recoupée au niveau de sa partie distale (s'il s'agit bien d'un pied droit) par une autre empreinte, Fon-45 (Figure 123).

44- Talon (Fon-44)

Empreinte de talon allant vers l'amont et peut-être associée à Fon-43 (si tel est le cas, il pourrait s'agir d'un pied droit). Elles sont parallèles, légèrement en quinconce (Figure 123).

45- Pied (Fon-45)

Empreinte de pied partielle recoupant Fon-43 et dirigée vers l'amont. Elle est du même gabarit que Fon-43 et Fon-44 (Tableau 13). Elle recoupe Fon-43 (Figure 123).

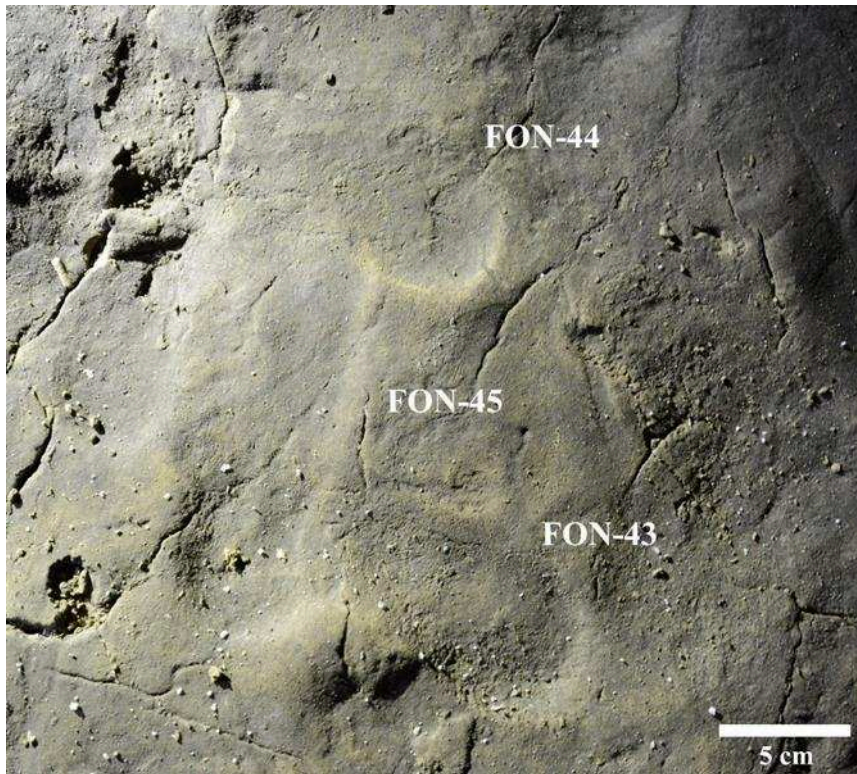


Figure 123 : Fontanet - Fon-43, Fon-44 et Fon-45.

46- Pied (Fon-46)

Empreinte de pied gauche située au centre de la zone avec la passerelle. Elle est assez superficielle, mais cependant bien marquée. Le talon et la partie distale sont les zones les mieux marquées. Les orteils sont visibles même s'ils sont altérés. La présence d'empreintes circulaires indéterminées par-dessus perturbent leur lecture. Elle se dirige en descendant vers l'aval (Figure 124).

47- Pied (Fon-47)

Empreinte partielle de pied gauche qui fait dos à la paroi et dirigée vers l'entrée actuelle (vers le talon de Fon-48 et perpendiculaire à ce dernier). Les 4 premiers orteils sont bien perceptibles, assez profonds et la partie distale de la plante est également visible mais plus superficielle. La zone est altérée à l'arrière avec des boulettes remaniées de sédiment (Figure 124).

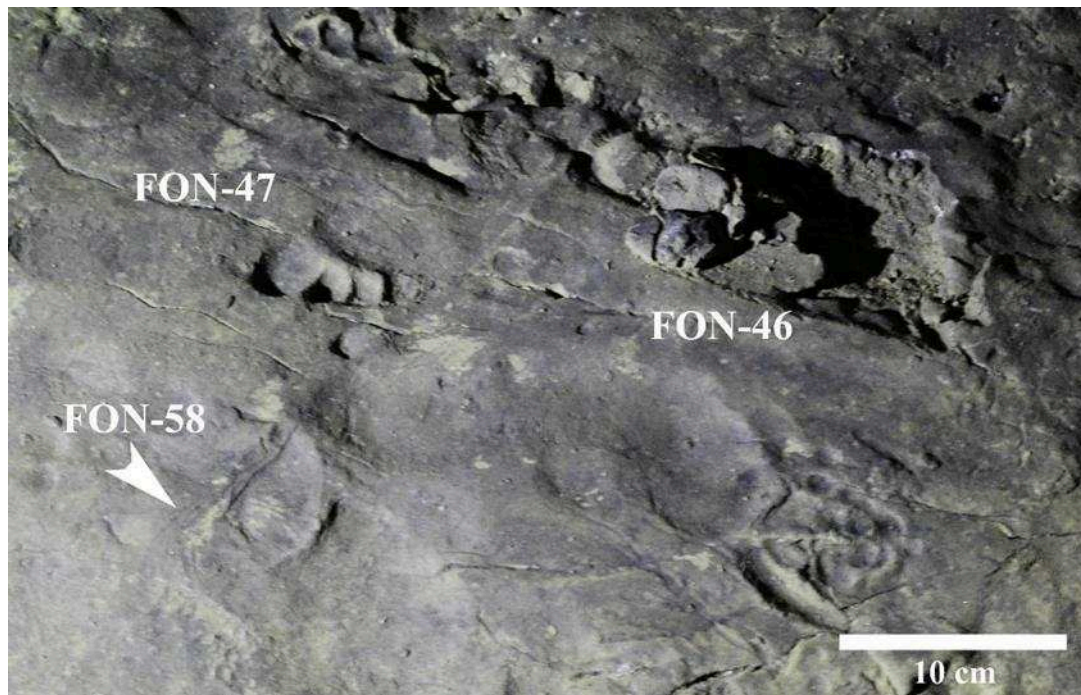


Figure 124 : Fontanet - Fon-46, Fon-47 et Fon-58.

48- Pied (Fon-48)

Empreinte de pied gauche dirigée vers l'aval. Celle-ci est parfaitement parallèle à Fon-49 et de même gabarit (Tableau 13) : il semble s'agir du même individu dans une position statique. Le talon s'est très bien enfoncé, contrairement à la partie distale, plus difficile à voir et qui semble un peu déformée. Les orteils ne sont pas visibles, mis à part l'hallux. La position debout est permise dans la mesure où le plafond n'est pas trop bas (Figure 125).

49- Talon (Fon-49)

Empreinte de talon dirigée vers l'aval. Celle-ci est parfaitement parallèle à Fon-48 et de même gabarit (Tableau 13) : il s'agit probablement du pied droit. Ce talon est plus profond que celui de Fon-48. La position debout est permise dans la mesure où le plafond n'est pas bas. La question est de savoir pourquoi le reste du pied ne s'est pas imprimé (Figure 125).



Figure 125 : Fontanet - Fon-48, Fon-49, Fon-53 et Fon-54.

50- Pied (Fon-50)

Empreinte de pied droit dirigée vers l'aval. Elle est endommagée à l'avant en raison du concrétionnement dû à un écoulement. Il s'agit probablement d'un pied droit, mais cela reste à vérifier car on ne voit pas distinctement les orteils. Le talon est bien marqué. Cette empreinte est accolée à Fon-51 et dans le sens opposé. Elle n'est pas trop proche de la paroi : la position debout est possible (Figure 126).

51- Pied (Fon-51)

Empreinte de pied droit en direction de l'amont. Elle est complète mais très superficielle, en particulier au niveau des orteils qui sont pourtant tous présents. Elle est accolée à Fon-50 et dans le sens opposé. La partie distale de la plante est plus profonde que la partie proximale. Elle se situe dans une zone où la position debout est également possible (Figure 126).

52- Pied (Fon-52)

Pied qui est dirigé vers l'aval et qui est plus ou moins parallèle à Fon-50 et Fon-51. Le talon est bien marqué mais la partie distale est difficilement visible. L'hallux semble cependant s'être imprimé, ce qui nous permet de constater qu'il s'agit d'un pied gauche. Le gabarit est le même que les empreintes précédentes (Tableau 13). Il s'agit d'une zone extrêmement dammée et dont la lecture est difficile et incomplète (Figure 126).

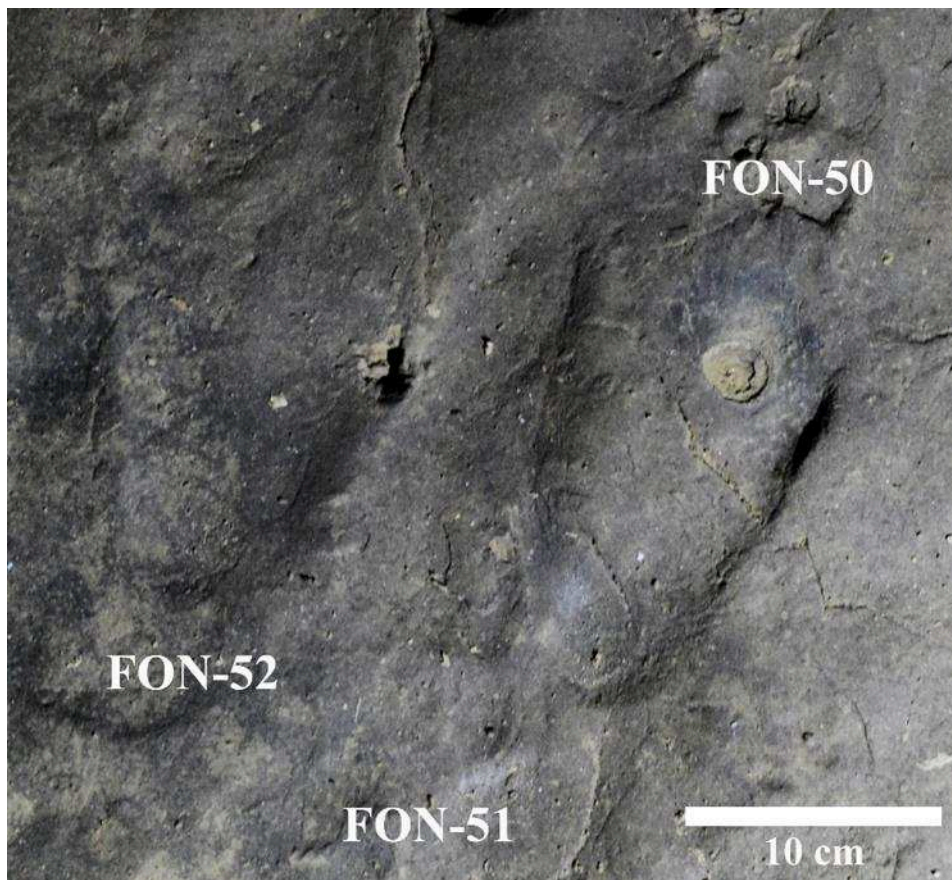


Figure 126 : Fontanet - Fon-50, Fon-51 et Fon-52.

53- Talon (Fon-53)

Empreinte de talon, assez large, dans la continuité de Fon-46 et dirigée vers l'aval. Un bourrelet à l'arrière est attesté. Elle est du même gabarit que Fon-46 et pourrait correspondre à la même piste (Tableau 13). Il est possible de se tenir debout dans cette zone (Figure 125).

54- Talon (Fon-54)

Empreinte de talon en direction de l'aval de même gabarit que Fon-48 et Fon-49 (Tableau 13). Elle se situe dans une zone sous paroi un peu plus basse. Un bourrelet important est présent sur le bord le plus proche de la paroi (Figure 125).

55- Pied (Fon-55)

Empreinte de pied dirigée vers l'aval. Il semble s'agir d'un pied gauche. Elle est très superficielle et très peu marquée. Les détails ne sont pas visibles mais la forme générale du pied est conservée (Figure 127).



Figure 127: Fontanet - Fon-55.

56- Talon (Fon-56)

Empreinte de talon en remontant vers la paroi. Un gros bourrelet est présent du côté aval, l'argile est repoussée dans le sens de la pente. La position debout est possible à cet endroit (Figure 128).

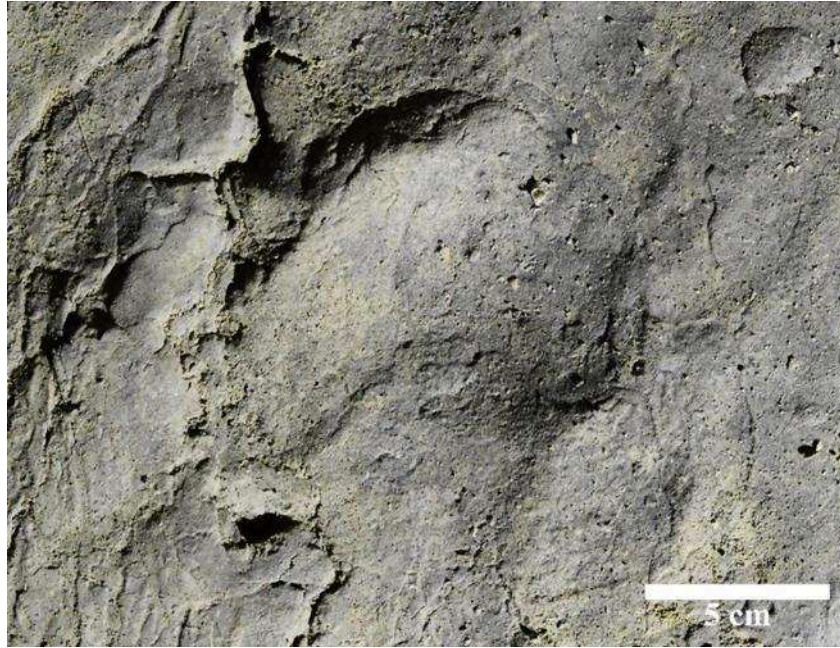


Figure 128 : Fontanet - Fon-56

57- Glissade (Fon-57)

Glissade à la suite de Fon-46 sur un petit ressaut et se dirigeant vers l'aval. Il y a une continuité avec Fon-46.

58- Pied (Fon-58)

Empreinte partielle et glissée de pied gauche. La partie avant est la plus marquée. La partie distale de la plante est bien visible et les orteils se devinent. Elle est accolée à la partie postérieure de Fon-46. Une trainée glissée à l'arrière est également visible (Figure 124).

59- Talon (Fon-59)

Empreinte de talon allant vers l'amont et qui est plus ou moins parallèle à Fon-33. Elle est assez superficielle et difficile à voir. Elle est parallèle à Fon-60 (Figure 121).

60- Talon (Fon-60)

Empreinte de talon qui pourrait être due au même individu que Fon-59, puisque parallèle et de même gabarit (Tableau 13). Il s'agirait alors d'un pied droit. On note un bourrelet bien marqué à l'arrière (Figure 121).

61- Pied (Fon-61)

Empreinte ou groupe d'empreintes difficile à démêler, a priori dans la direction de l'amont. Il y a peut-être trois empreintes en une. Un bourrelet d'argile repoussée est perceptible à « l'avant », à l'opposé de ce qui pourrait être l'empreinte d'un talon (Figure 129).



Figure 129 : Fontanet - Fon-61.

62- Pied (Fon-62)

Empreinte de pied peut-être de côté qui a repoussé fortement l'argile vers la paroi (bourrelet de plusieurs cm). Elle semble avoir été réalisée en montant. La hauteur sous plafond à cet endroit nécessite d'être un peu baissé (Figure 130).



Figure 130 : Fontanet - Fon-62.

L'ensemble de la plage 1 est illustrée ci-après à travers un export 2D de son modèle 3D (Figure 131) et une carte d'isolignes (Figure 132). Elles sont reproduites en format A3 au sein de l'Annexe 2. Ces figures sont suivies du tableau récapitulant la biométrie de l'ensemble des empreintes constituant la plage 1 (Tableau 13).

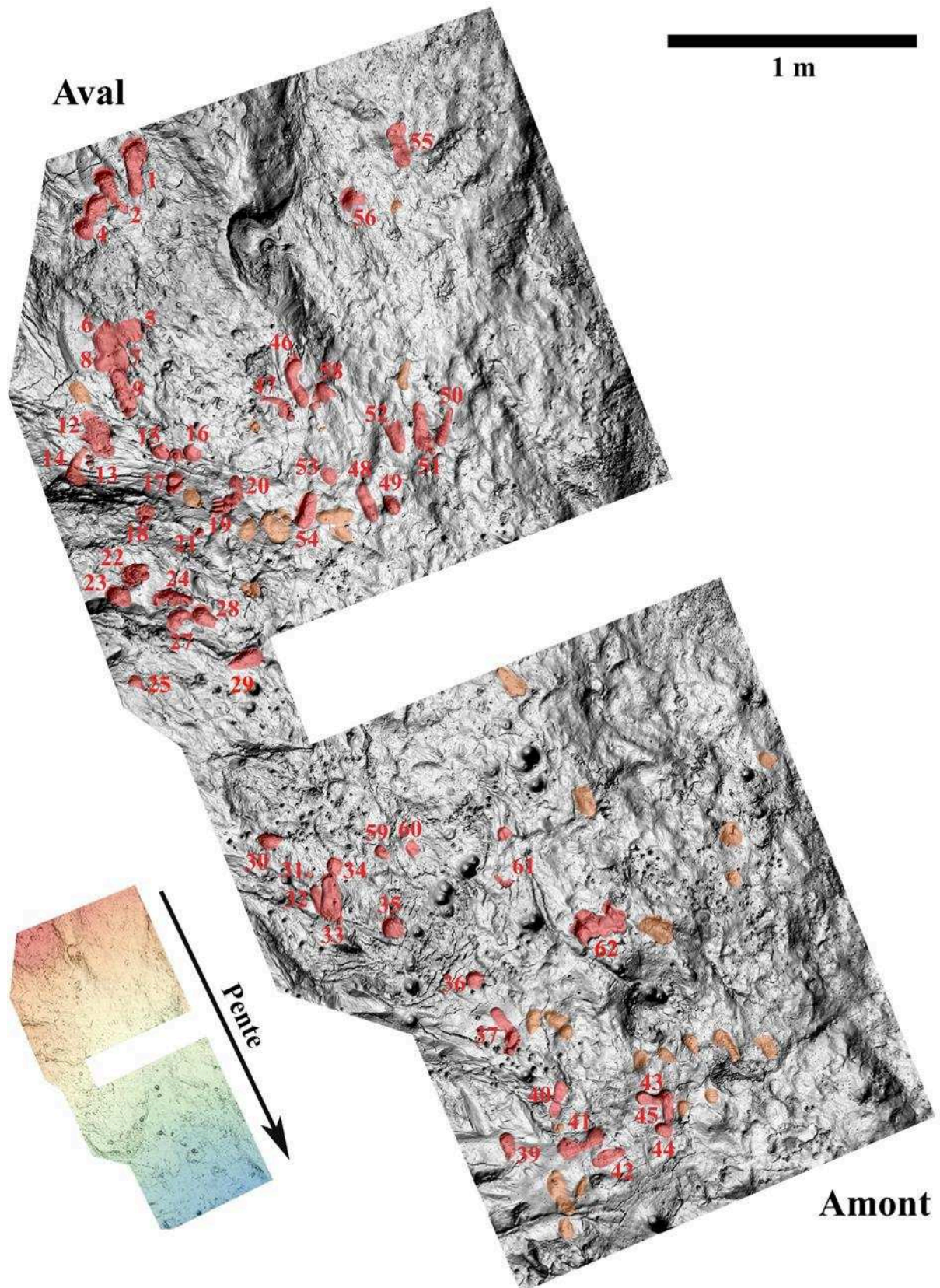


Figure 131 : Fontanet - Export 2D de la page n°1. En rouge et numérotées, les empreintes inventoriées lors de la mission sur le terrain de 2018. En orange, les empreintes repérées sur le modèle 3D. Les numéros manquants sont liés à des empreintes situées sous la passerelle.

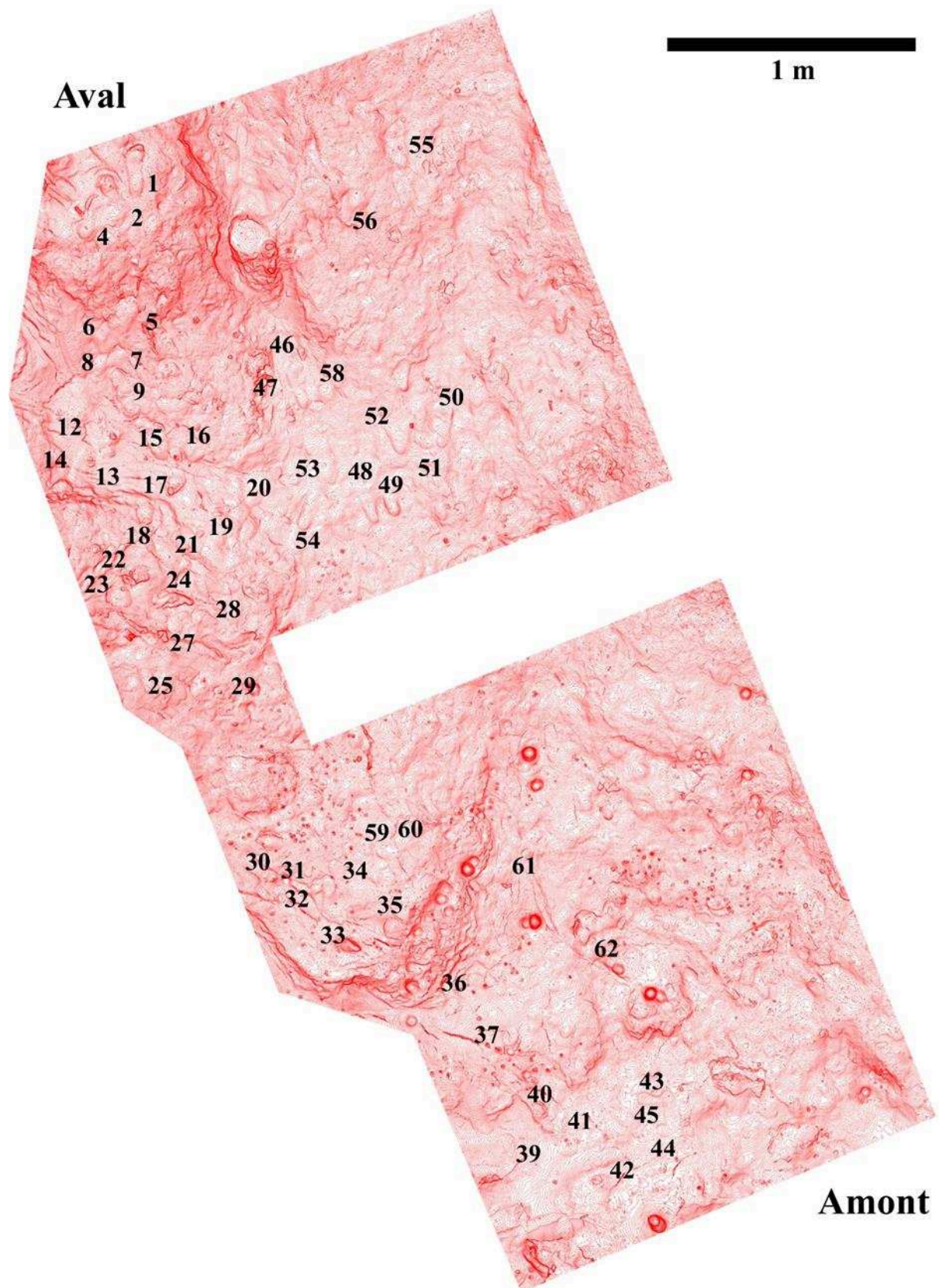


Figure 132 : Fontanet - Cartes d'isolignes (espace d'1 cm) de la plage 1.

N°	Type	Longueur 1	Longueur 2	Longueur 3	Largeur dist.	Largeur moy.	Largeur prox.	Largeur ort.	Longueur	Largeur	latéralisation
Fon-1	pied	21,3	21,2	18,6	7,9	6	6,2	11,9			G
Fon-2	pied	20,4		18,4	6,4	4,8	4,5	6			G
Fon-3	talon						9,4		15,6		
Fon-4	pied	19,1			6	4,6	6,9				
Fon-5	talon						8,6		11,2		
Fon-6	talon						10,2		13,6		
Fon-7	talon						6,2		8,6		
Fon-8	talon						8,4		6,8		
Fon-9	talon						6,3		9		
Fon-10	glissade						7,6		27,7		
Fon-11	talon						7,7		5,5		
Fon-12	talon						11,5		7		
Fon-13	doigts									5,5	G
Fon-14	talon						4,8		3,7		
Fon-15	talon						8,1		7,1		
Fon-16	talon						8,6		7,7		
Fon-17	partie dist.				6,3			7,7	9,5		G
Fon-18	partie dist.				5,5			7,4	7,8		D
Fon-19	main								6,3	7,4	G
Fon-20	pied	16	13,8	11,4	7,9	4,4	4,2	9,5			G
Fon-21	orteils								3,57	5,53	D
Fon-22	pied ?								12,3	7,3	
Fon-23	pied ?								11,2	7,7	
Fon-24	pied	17			3,2	6	8,2				G

Tableau 13 : Fontanet - Biométrie des empreintes de la plage 1 (1/3).

N°	Type	Longueur 1	Longueur 2	Longueur 3	Largeur dist.	Largeur moy.	Largeur prox.	Largeur ort.	Longueur	Largeur	latéralisation
Fon-25	talon						6,1		6,3		
Fon-26	pied ?								17,1	6	
Fon-27	paume ?								6,6	11,3	
Fon-28	talon						6,4		12,4		
Fon-29	talon						6,6		14,7		
Fon-30	talon						7		10,6		
Fon-31	hallux								4,3	2,3	D
Fon-32	pied						3,9		12,6		D
Fon-33	pied	19,2		16,8	7,3	5,9	5	7			D
Fon-34	talon						5,1		9,4		
Fon-35	talon						5,1		10,2		
Fon-36	talon						5,1		7,5		
Fon-37	pied	21,2	20	17,2	8,2	5,1	4,9	9,3			G
Fon-38	glissade								28,3	7,6	
Fon-39	talon						5,8		12,6		
Fon-40	pied	19,9			5,3	4,3	4				G
Fon-41	pied	22,6			7,4	3,3	5				G
Fon-42	pied								14,3	5,8	G
Fon-43	pied				6,1	3,8	5,5		15,3		D
Fon-44	talon						5,1		6,5		
Fon-45	pied								10,4	5,3	
Fon-46	pied	22,8		20,1	8,1	4,6	5	7,4			G
Fon-47	pied	16	14,9	14,2	6,8	2	2,7	8,3			G
Fon-48	pied	17,1			5,4	5,5	4,3				G

Tableau 13 : Fontanet - Biométrie des empreintes de la plage 1 (2/3).

N°	Type	Longueur 1	Longueur 2	Longueur 3	Largeur dist.	Largeur moy.	Largeur prox.	Largeur ort.	Longueur	Largeur	latéralisation
Fon-48	ped	17,1			5,4	5,5	4,3				G
Fon-49	talon						4,5		8,8		D
Fon-50	ped						4,8		14,7		D
Fon-51	ped	23,5	21,1	17,9	8,2	5,2	5	8,9			D
Fon-52	ped	21,3				7,3	5,3				G
Fon-53	talon						5,3		7,1		
Fon-54	talon						6,2		14,7		
Fon-55	ped	19			8,3	5,7	6,4				G
Fon-56	talon						12,4		7,2		
Fon-57	glissade								16,6	11,4	
Fon-58	ped				9,33				13		G
Fon-59	talon						4,9		7,5		
Fon-60	talon						4,9		6,8		
Fon-61	ped								23		
Fon-62	ped	19,7			7,3	4,5	7				

Tableau 13 : Biométrie des empreintes de la plage 1 (3/3).

2.2.1.1.1.3. Bilan de l'inventaire de la plage 1

La plage 1 constitue sans aucun doute la zone de plus forte concentration d'empreintes de la cavité. Durant cette première campagne, 62 empreintes de différentes natures ont été inventoriées, ceci n'étant qu'un aperçu de la richesse et de la diversité d'empreintes localisées sur cet espace d'une vingtaine de mètres carrés (Figures 131, 132, 177 et 178 et Tableau 13). En effet, cet inventaire, loin d'être exhaustif, résulte de notre première appropriation de la zone et regroupe probablement les empreintes les plus aisément remarquables et faciles d'accès. Il se compose majoritairement d'empreintes de pieds complètes ou non, dont la lisibilité est pour certaines évidente et pour d'autres beaucoup plus complexe. La présence exceptionnelle d'empreintes de main est aussi à souligner, le tout étant ponctué par de nombreuses traces de glissades constatées sur l'ensemble de la surface. Ces empreintes ont été réalisées sur une surface à la plasticité et à la cohésion idéale pour l'impression des détails des segments de pieds ou de mains de leurs auteurs. La difficulté de lecture ou de détermination de certaines traces vient donc principalement du fait qu'il s'agit d'une zone semblant avoir été intensément piétinée et présentant plusieurs superpositions. Une telle surface nécessite donc un temps d'observation relativement important ainsi que la multiplication d'éclairages et de points de vue. Cette observation a été, dans un deuxième temps, complétée par l'exploration minutieuse du modèle 3D qui, parfois, a révélé des empreintes invisibles sur le terrain. Le modèle 3D de la zone nous a ainsi permis de compléter voire modifier nos descriptions et de mesurer les empreintes, en particulier celles inaccessibles car trop éloignées du point d'observation. En outre, nous avons également relevé la présence de plusieurs empreintes non perçues durant la mission qui seront confirmées et inventoriées in situ lors de la prochaine campagne.

D'un point de vue dynamique, il est pour l'instant difficile de mettre en évidence des pistes bien définies, bien que certaines empreintes puissent être associées et que d'autres semblent être le résultat d'une position particulière. Nous pensons notamment aux empreintes Fon- 17, Fon-18, et Fon-19 (Figure 115) dont l'agencement évoque une position accroupie, en extension sur les pieds, et la main gauche posée dos contre sol. La hauteur sous plafond de moins d'1 mètre à cet endroit corrobore également cette interprétation d'une position baissée. D'ailleurs, nous pouvons supposer que la plupart des empreintes longeant la paroi (Fon-1 à Fon-29) résultent de positions plus ou moins baissées, dans la mesure où la topographie présente des hauteurs entre 75 cm et 1,30 m. Cela pourrait également expliquer le fait que les empreintes de mains (Fon-13 et Fon-19) se trouvent dans ce secteur de la plage. Ce constat doit cependant être étayé par

la prise en compte de la taille des empreintes et leur potentielles statures associées puisque la taille d'un individu influence également sa position dans ce type de topographie. En outre, il s'agit d'un secteur où les empreintes semblent extrêmement dynamiques avec plusieurs traces de pieds glissés, des empreintes majoritairement incomplètes et déformées par le mouvement (Fon-18, Fon-22, Fon-23, Fon-24, etc.). Bien qu'elles soient aussi dynamiques, les empreintes les plus éloignées de la paroi semblent, quant à elles, résulter davantage de déplacements debout et en marche normale (Figure 131 et 177). Concernant l'orientation des empreintes, elles ne semblent pas montrer une direction préférentielle mais se dirigent dans tous les sens sur l'ensemble de la surface (Figure 133 et 179).



Figure 133 : Fontanet - Relevé des empreintes de la plage 1 et directions. En rouge : empreintes dirigées vers l'aval, en rose : empreintes dirigées vers l'amont.

2.2.1.1.2. Zone avant le passage de « la boîte aux lettres » (page 3)

2.2.1.1.2.1. Description des empreintes

Il s'agit d'une zone de remplissage un peu surélevée par rapport au cheminement actuel qui s'étend sur environ 2,5 m et qui est accolée à la paroi. Ce remplissage, probablement limoneux et qui devait être assez plastique au moment de la formation des empreintes, est aujourd'hui induré car concrétionné (Figure 140).

63- Pied (Fon-63) et signe au sol

Pied (Fon-63)

Empreinte de pied droit située à côté d'un signe. Il s'agit de l'empreinte interprétée par Pales dans les années 70 comme une empreinte de pied chaussé (Clottes, 1973, 1975). Cette dernière est bien visible et entière, avec un appui important dans sa partie distale correspondant probablement à l'hallux et qui se prolonge le long du bord latéral sur environ un tiers de la longueur de l'empreinte (Figures 134 et 135). Les autres orteils ne sont pas visibles mais se devinent grâce à un enfoncement plus marqué sur toute la largeur de la partie distale et à une éminence entre la zone des orteils et celle de la plante qui correspondrait au pli de flexion. L'empreinte semble un peu déformée, elle est incurvée vers l'intérieur au niveau de la partie moyenne du pied. La partie proximale est bien marquée et large. Cette déformation est probablement due à la topographie de la zone qui n'est pas plane mais aussi à la façon dont le pied s'est déroulé lors de la formation de l'empreinte. Un bourrelet de sédiment s'est formé sur le contour de l'empreinte, particulièrement dans la partie distale, ce qui suggère que le substrat à cet endroit était assez plastique au moment de l'appui. À l'intérieur de l'empreinte, alignés et entre la partie proximale et moyenne de cette dernière, on retrouve trois appuis de doigts très similaires à ceux constituant le motif. L'empreinte de pied est donc antérieure à ces appuis de doigt et peut-être au signe. Les appuis les plus importants mesurent environ 2,5 x 1,5 cm, les plus petits environ 1,5 x 1 cm. La hauteur sous plafond à cet endroit est de 85 cm. La question de la relation entre ces deux vestiges reste ouverte.

Accolé à la partie proximale, on constate une autre empreinte, incomplète car probablement antérieure à Fon-63. Il lui manque sa partie distale, sans doute recouverte par le talon de Fon-63 (Figures 134 et 139).

Signe au sol

Ce signe, de forme triangulaire, résulte de 26 appuis successifs, probablement d'un même doigt (index ?) : 14 pour le contour et 12 pour l'intérieur. Il s'étend sur environ 18 cm (Figures 134 et 135).



Figure 134 : Fontanet - Fon-63 et signe au sol. À l'arrière de Fon-63 se distingue une empreinte incomplète.

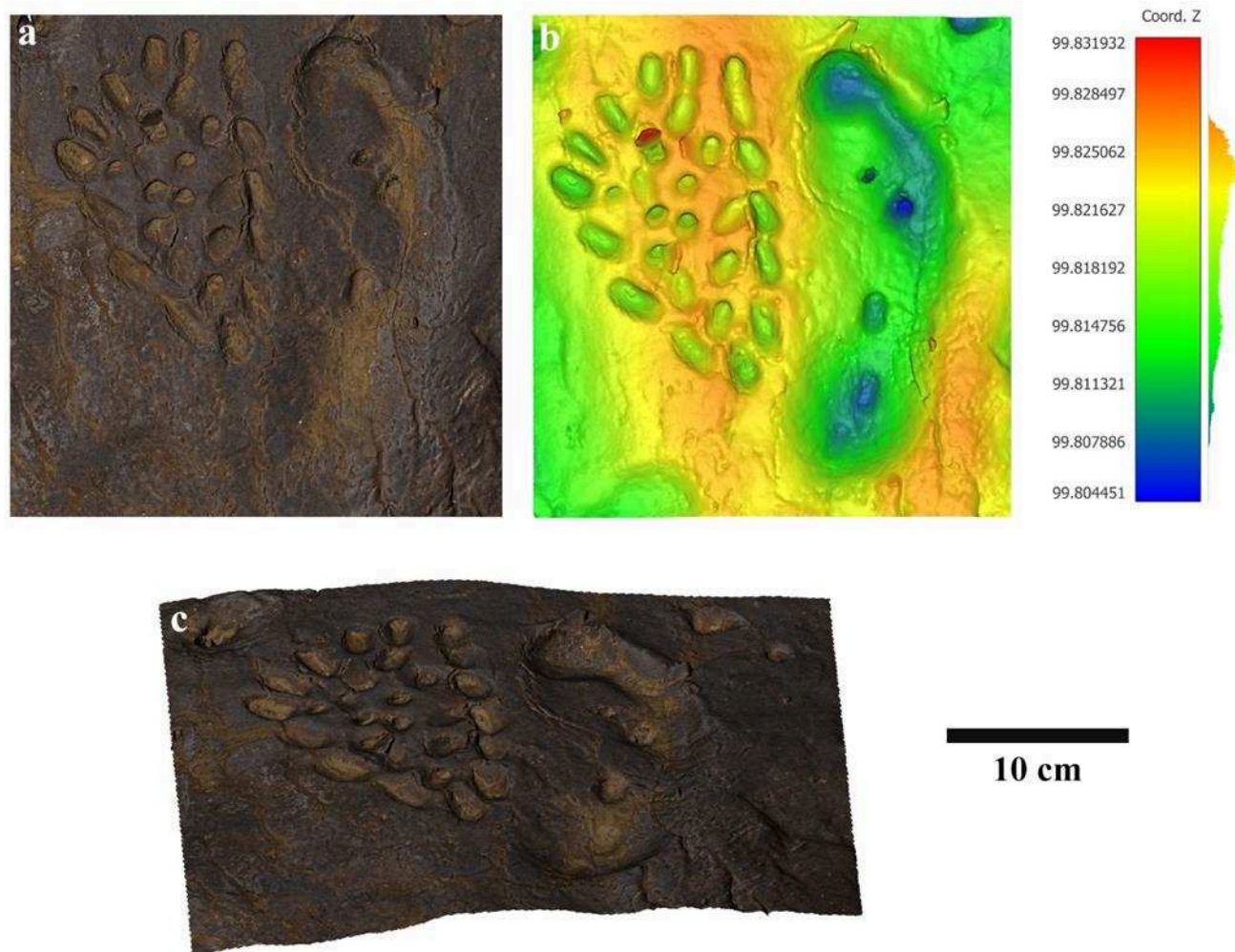


Figure 135 : Fontanet - Fon-63 et signe au sol. Modèle 3D : a : vue orthogonale, b : carte de profondeur, c : vue rasante.

64- Pied (Fon-64)

Empreinte de pied droit qui précède Fon-63 d'une trentaine de cm. Elle se dirige dans le même sens que cette dernière. De gabarit similaire (Tableau 14), il est possible qu'elles appartiennent à la même piste. Les premières études y voyaient même une réplique quasi identique de Fon-63 faisant également d'elle une empreinte de pied chaussé (Pales, 1973, 1974, 1975). Elle apparaît en entier même si elle est un peu superficielle. La partie distale laisse entrevoir les orteils, en particulier l'hallux dont l'enfoncement est plus important. Le deuxième orteil est également visible même si plus superficiel, les trois derniers sont quant à eux difficiles à individualiser. La partie moyenne du pied est également bien visible avec l'incurvation dans sa partie médiale qui est due à la voûte plantaire. La partie proximale est présente, plus profonde que le reste de l'empreinte, un peu large et arrondie (Figure 137). Un bourrelet résultant de

l'appui du pied est présent le long du bord latéral de l'empreinte (Figures 136 et 137). La hauteur sous plafond au-dessus de l'empreinte est d'un mètre.

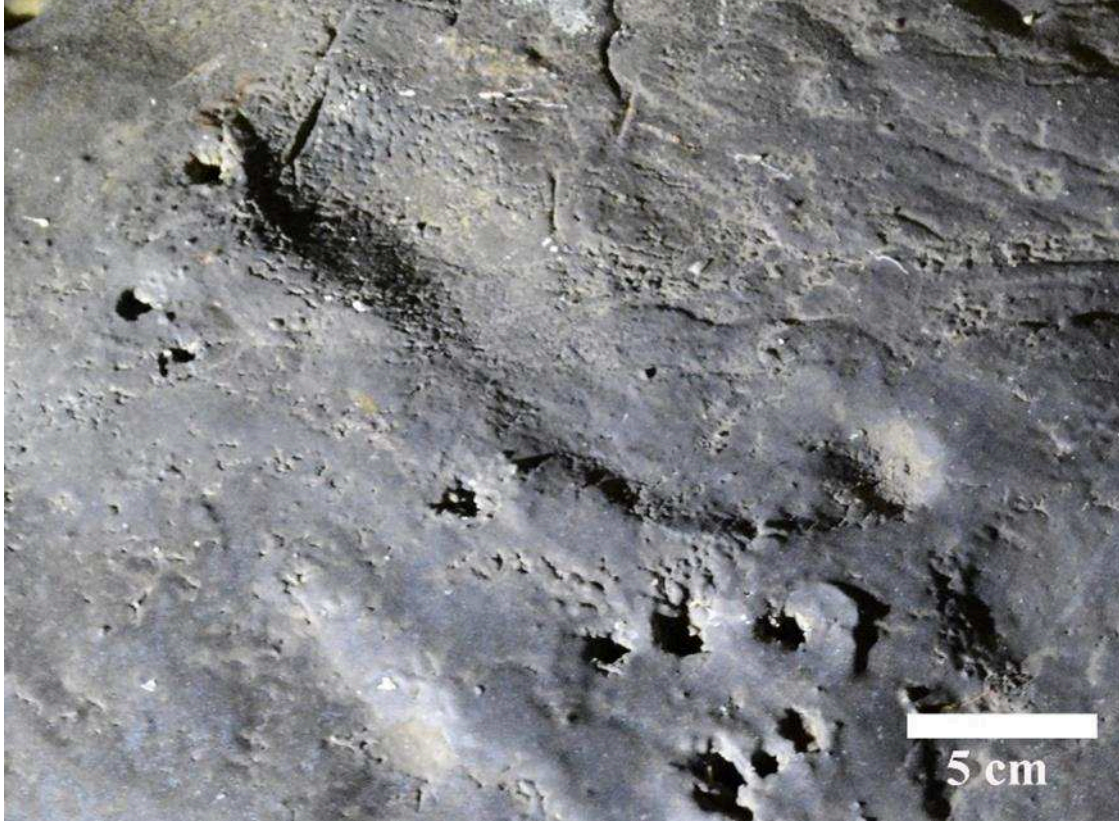


Figure 136 : Fontanet - Fon-64.

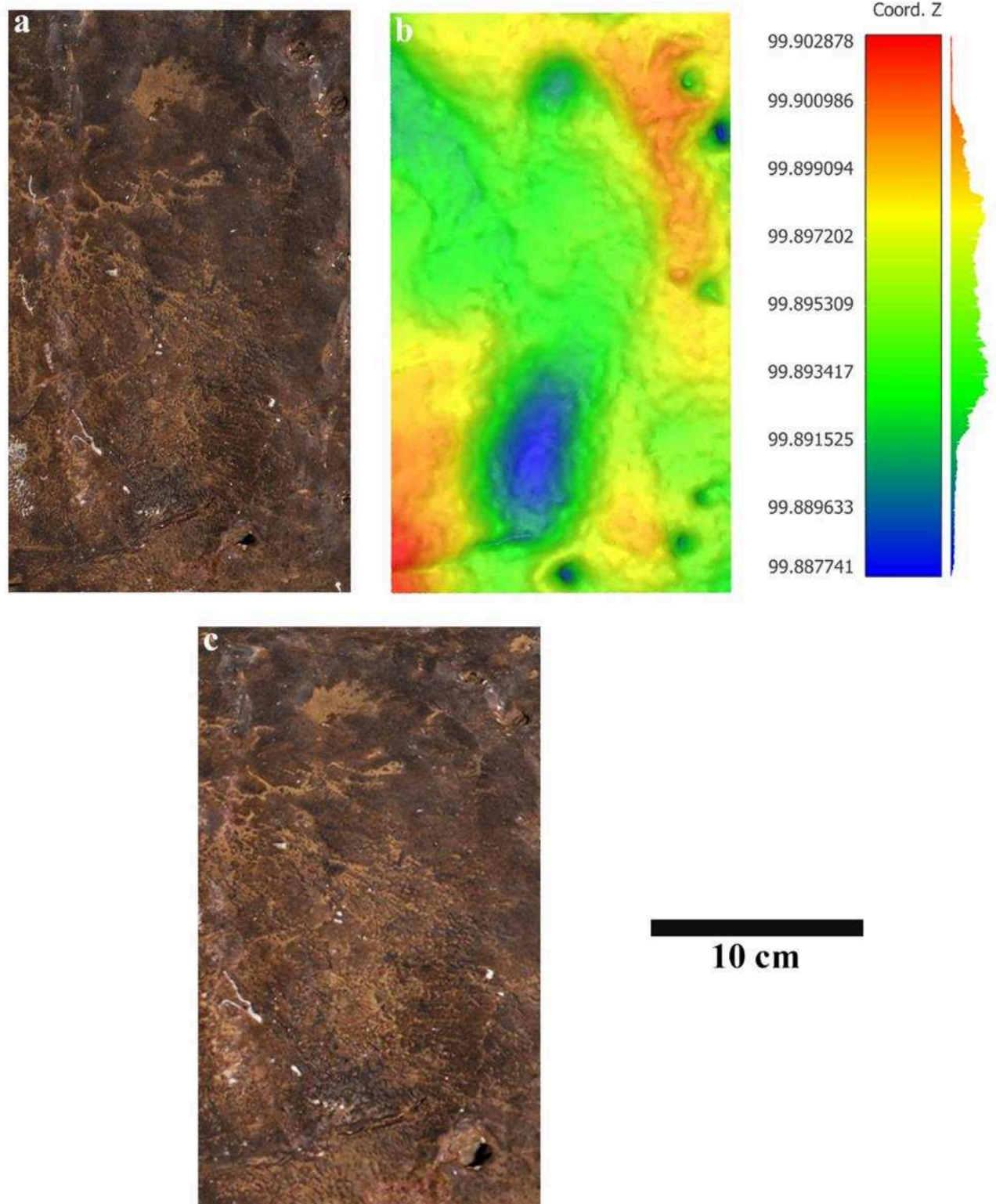


Figure 137 : Fontanet - Fon-64. Modèle 3D : a : vue orthogonale, b : carte de profondeur, c : vue rasante.

65- Pied (Fon-65)

Empreinte de pied gauche dirigée dans le sens opposé des empreintes précédentes et à environ 1 m de Fon-64. Cette empreinte, qui est entière, frappe par sa longueur, beaucoup plus importante que la majorité des empreintes de la grotte (Tableau 14). Les orteils sont tous marqués, accolés les uns aux autres et individualisables. La partie distale de la plante plus superficielle, comme le reste de la plante, est un peu endommagée sur son bord médial par un trou de 4 cm de diamètre dans le sédiment. La partie moyenne est la zone la plus superficielle et est traversée par une fissure. La partie proximale et large, arrondie avec des petites marques de sédiment repoussé à l'arrière. Elle a été endommagée sur son bord latéral par de petits trous. Un bourrelet dû à l'appui est présent sur toute la longueur latérale de l'empreinte (Figure 139). La hauteur sous plafond à cet endroit est de 1,20 m.

À côté de cette empreinte se trouve une empreinte probablement antérieure à cette dernière puisqu'on ne voit plus que les deux tiers de celle-ci, sa partie distale semblant être recouverte par Fon-65. Elle se dirige dans la même direction que cette dernière. Sa partie proximale est plus étroite que Fon-65 (Figures 138 et 140).

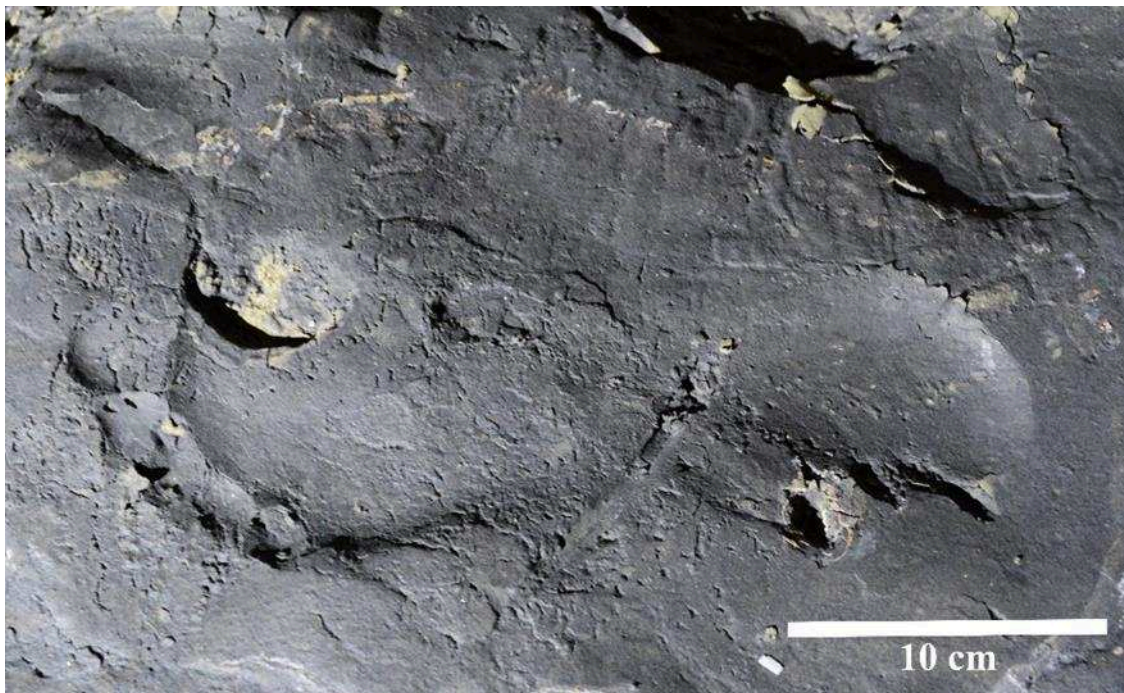


Figure 138 : Fontanet - Fon-65.

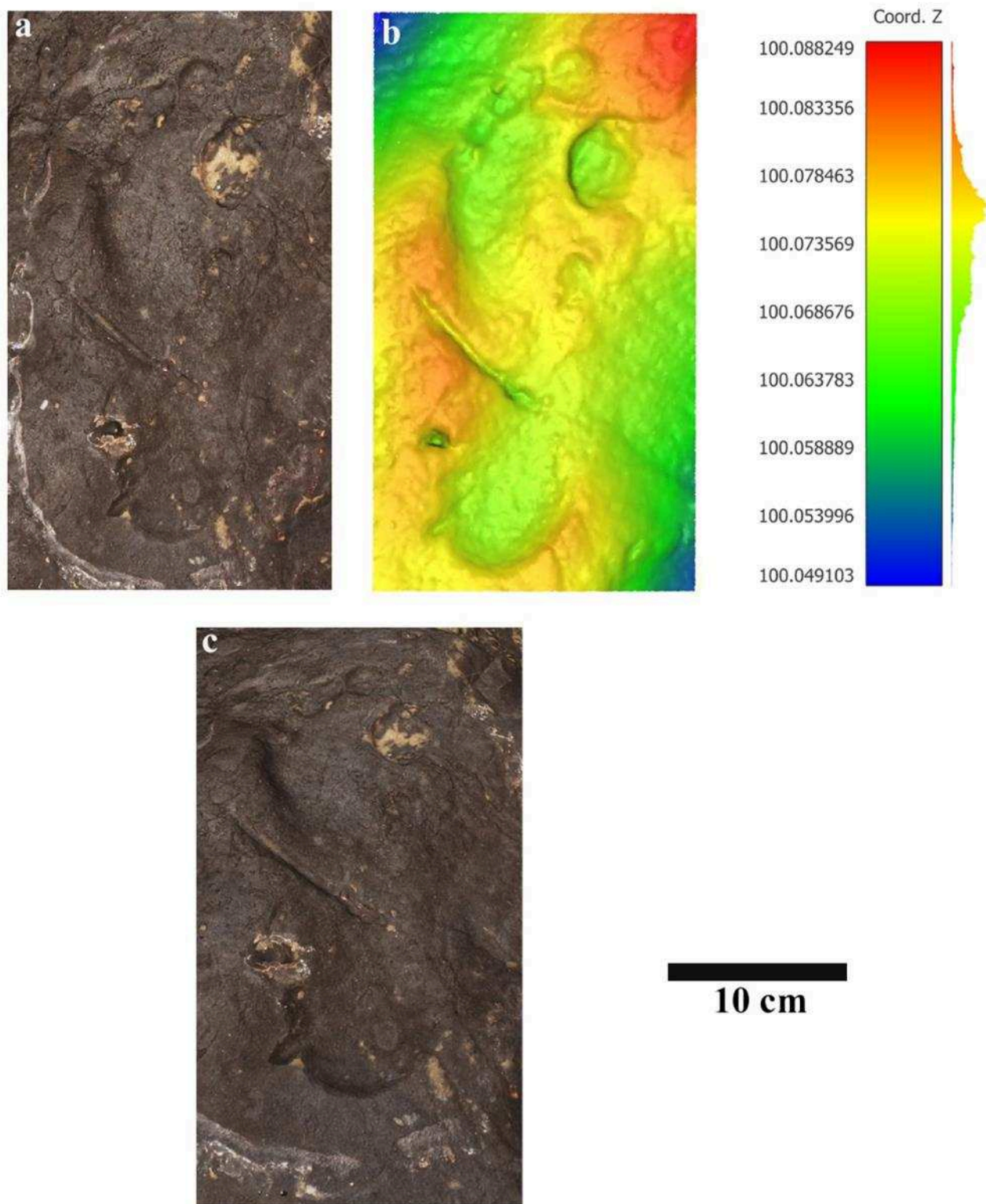


Figure 139 : Fontanet - Fon-65. Modèle 3D : a : vue orthogonale, b : carte de profondeur, c : vue rasante.

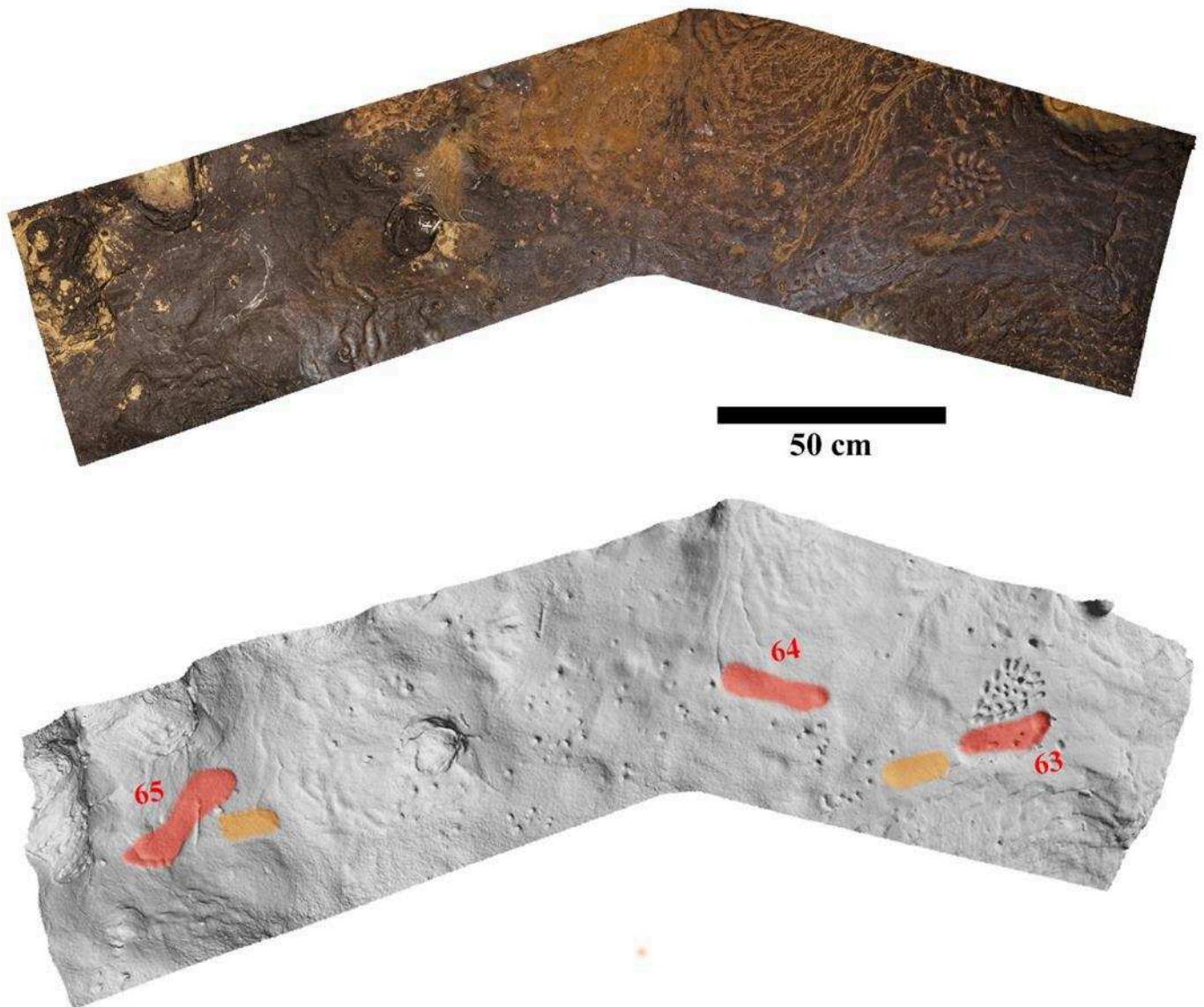


Figure 140 : Fontanet - Relevé 3D de la plage 3 (avec texture en haut et sans texture en bas). En rouge et numérotées, les empreintes inventoriées lors de la mission de 2018. En orange, les empreintes repérées sur le modèle 3D.

N°	Type	Longueur 1	Longueur 2	Longueur 3	Largeur dist.	Largeur moy.	Largeur prox.	Largeur ort.	Latéralisation
Fon-63	ped	23,8		19,5	8,7	4,3	7,5	9,6	D
Fon-64	ped	24,5	23,1	21	8,7	6,7	7,2	10	D
Fon-65	ped	29,5	28	26,1	8,3	4,8	7,2	10,3	G

Tableau 14 : Fontanet - Biométrie des empreintes de la plage 3.

2.2.1.1.2.2. Bilan de l'inventaire de la plage 3

Cette plage se caractérise par la présence de trois empreintes de pieds complètes et tire son originalité de l'association de Fon-63 avec un signe au sol réalisé par appuis de doigt (Figures 134 et 135). Deux empreintes incomplètes et superficielles ont aussi été constatées et feront l'objet d'une observation plus minutieuse lors de la prochaine opération de terrain (Figure 140). Ces premiers résultats tendent en faveur de l'appartenance de Fon-63 et Fon-64 à une même piste donc à un même individu. La taille de Fon-65, plus longue d'environ 5 cm que les deux autres, indiquerait alors son appartenance à un deuxième individu (Tableau 14). Au premier regard, ces empreintes semblent être le résultat d'un déplacement en marche normale (Figure 140). En revanche, la hauteur sous plafond au-dessus de chacune d'elle se situe entre 85 cm et 120 cm ce qui indiquerait plutôt des positions plus ou moins baissées, particulièrement en ce qui concerne l'empreinte Fon-65 dont les dimensions importantes ne concordent pas avec une position debout pour un adulte sous un plafond si bas. L'appartenance de Fon-63 et Fon-64 à un pied chaussé a aussi été remise en question. En effet, bien que nos expérimentations, réalisées dans le cadre de notre travail sur la grotte de Cussac, aient montré que le port de chaussant sans rembourrage n'empêchait pas l'impression des orteils, d'autres facteurs tels que le sédiment, la topographie ou le type de locomotion vont avoir une influence sur la morphologie particulière de certaines empreintes. Dans le cas présent, rien ne nous assure a priori qu'il s'agit d'empreintes de pied chaussé. La morphologie particulière de Fon-63 semble, de ce fait, plus à mettre en relation avec sa déformation, elle-même découlant de la topographie de la zone. En outre, l'association de Fon-63 avec le signe au sol est clairement établie par la présence d'empreintes de doigt/s à l'intérieur de cette dernière. En revanche, nous ne pouvons être certains de leur stricte contemporanéité et la signification de cette association reste inconnue.

2.2.1.1.3. Zone constituant la plage 2

2.2.1.1.3.1. Description des empreintes

Cette plage est située dans la galerie entre l'entrée actuelle et la boîte aux lettres. Elle s'étend sur environ 1,70 m et longe la paroi. Son originalité est due à la présence de deux empreintes de mains au sol, réalisées sur un sédiment qui semble correspondre au sédiment limoneux habituel et qui est aujourd'hui induré. Nous n'avons pas eu le temps de travailler sur cette zone lors de l'opération de terrain et son modèle 3D n'est pas encore disponible. Les descriptions qui

suivent ont donc été réalisées à partir des photographies et du modèle 3D que nous avons réalisé sur le moulage de la zone issue du fonds Pales. Il s'agit de descriptions préliminaires qui seront complétées et/ou modifiées lors de la prochaine opération et à la réception du modèle 3D (Figure 146).

66- Main (Fon-66)

Il s'agit d'une empreinte de main gauche dont seule la partie distale des 5 doigts s'est imprimée sur le support. Les trois doigts du milieu sont les plus profonds et présentent de petits bourrelets sur leurs pourtours avec un enfoncement plus important au niveau de leur extrémité distale. Le pouce et l'auriculaire, sont un peu plus superficiels, en particulier l'auriculaire. Cette empreinte résulte probablement d'une position baissée, la main posée en extension sur le sol, d'où le fait qu'il n'y ait que les extrémités distales des doigts qui soient imprimées. Les bourrelets présents sur le bord médial de l'index et le bord latéral de l'annulaire et entourant le majeur témoignent, de plus, de la dynamique de cette empreinte lors de la pose des doigts sur le sol et au moment de son enlèvement. Une petite trace glissée est également visible sur le bord latéral de l'index (Figures 141 et 142 et Tableau 15).



Figure 141: Fontanet - Fon-66, empreinte de main.

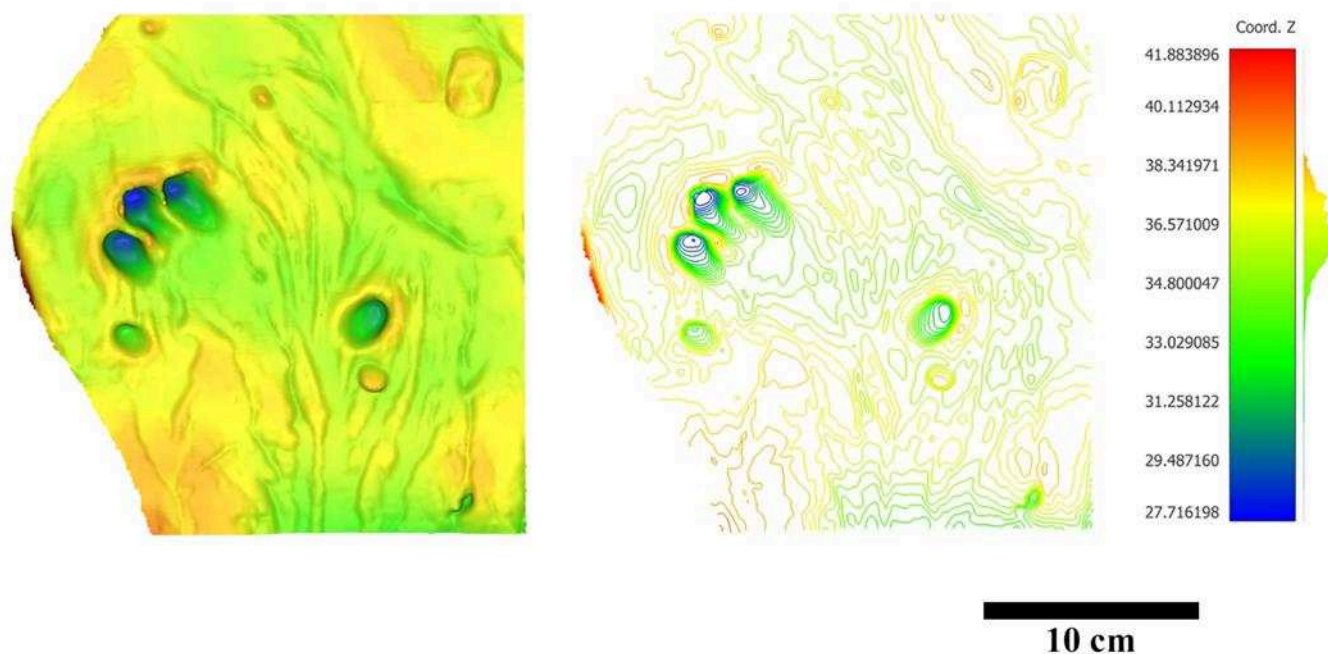


Figure 142 : Fontanet - Carte de profondeur et isolignes de Fon-66.

67- Main (Fon-67)

Empreinte de main gauche dont l'impression la plus marquée est, cette fois, celle de la paume dont on distingue parfaitement le contour et les détails (plis et éminences de la face palmaire) bien qu'elle soit superficielle. L'appui le plus important se situe au niveau des extrémités distales des métacarpiens 2, 3 et 4. Le pouce reposant sur son bord latéral apparaît également en entier, dans le prolongement de la paume. En ce qui concerne les autres doigts, seules leurs extrémités distales sont visibles, avec les 3 du milieu accolés et présentant de petits bourrelets sur leurs contours, et l'auriculaire, plus éloigné et très superficiel. Ceux-ci devaient donc être légèrement repliés au moment de l'appui. Cette empreinte, dans la même direction que Fon-66, se situe à environ 62 cm de cette dernière (Figures 143 et 144 et Tableau 15).

68- Talon (Fon-68)

Empreinte de talon située 6 cm en avant de Fon-68 et en quinconce par rapport à cette dernière. Cette empreinte est assez profonde et on note un bourrelet sur son pourtour, plus important en

partie proximale. Cette empreinte est dirigée dans le même sens que Fon-66 et Fon-67 (Figure 143 et Tableau 15).



Figure 143 : Fontanet - Fon-67, empreinte de main et Fon-68, empreinte de talon.

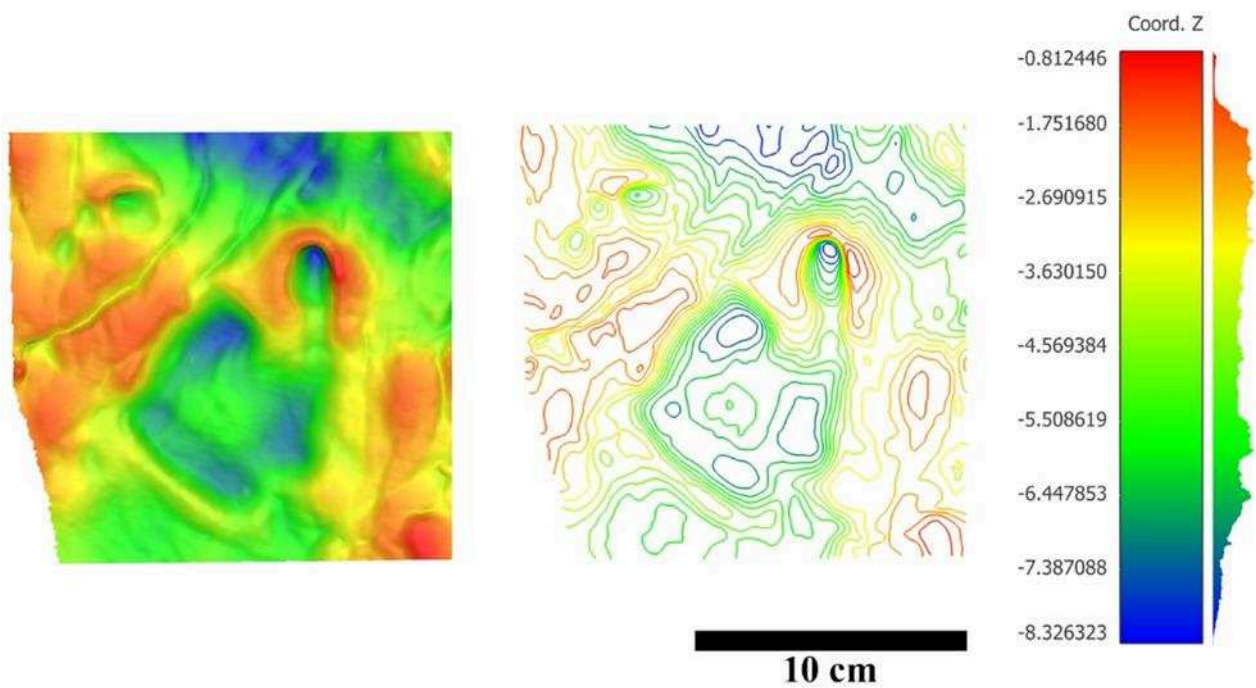


Figure 144 : Fontanet - Carte de profondeur et isolignes de Fon-67.

69- Doigts (Fon-69)

Impression de deux doigts (peut-être trois) dans le sens opposé aux empreintes précédentes. Les deux empreintes les plus évidentes sont assez profondes et semblent correspondre à l'index et au majeur. Si c'est bien le cas, il s'agit alors d'une empreinte de main droite. Accolée à l'impression du majeur, une empreinte beaucoup plus superficielle et altérée est visible. Son altération est peut-être due à un écoulement d'eau venant du dessus car, adjacente à celle-ci, on constate une dépression due à la chute de gouttes d'eau (Figure 145 et Tableau 15).

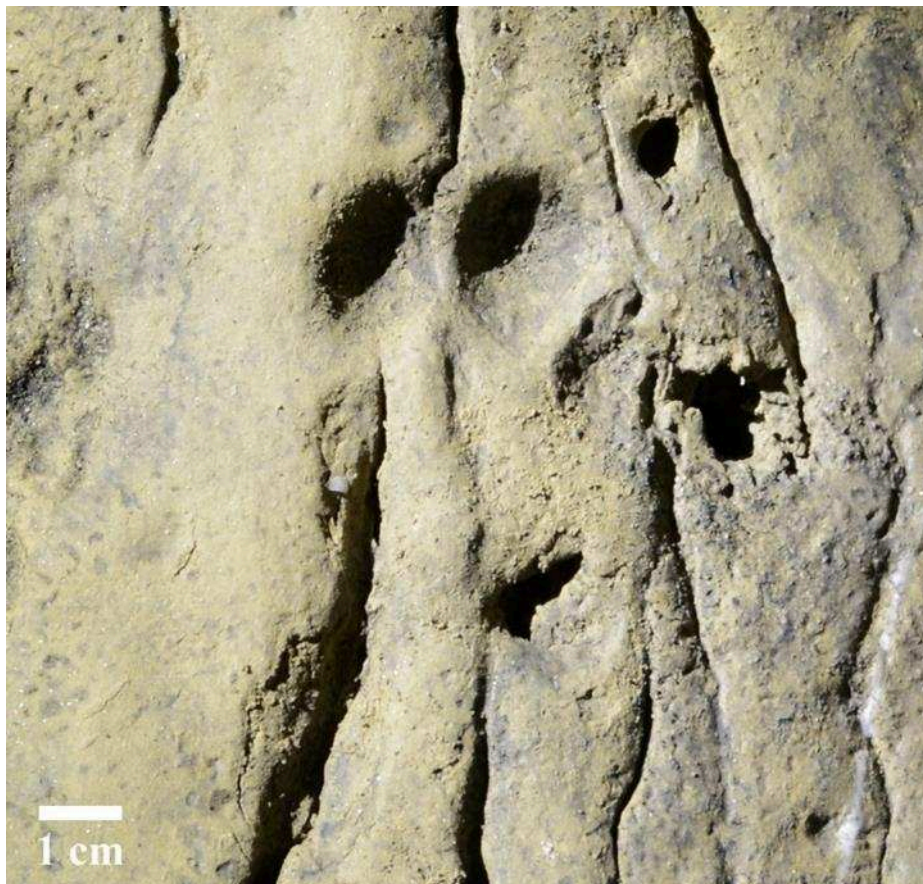


Figure 145 : Fontanet - Fon-69, empreinte de doigts.



Figure 146 : Fontanet - Relevé 3D de la zone issu du moulage du fonds Pales.

N°	Type	Longueur	Largeur 1	Largeur 2	Largeur	Latéralisation
Fon-66	main	11,5	12,9			G
Fon-67	main	12,7	10,5	5,9		G
Fon-68	talon	8,5			6,2	
Fon-69	doigts	2,5			4,2	D

Tableau 15 : Fontanet - Biométrie des empreintes de la page 2.

2.2.1.1.3.2. Bilan de l'inventaire de la plage 2

La plage 2 se démarque des autres par la présence de deux empreintes de mains quasiment complètes. De gabarit similaire (Tableau 15), elles pourraient appartenir au même individu. Elles sont, pour le moment, complétées par la présence d'un talon très proche de Fon-67 et de doigts. La présence majoritaire de mains et doigts, son étroitesse, et sa faible hauteur indiquent qu'il ne s'agit pas ici d'une zone de déplacement mais plutôt une zone de stationnement en position basse. Ces caractéristiques ajoutées aux petites dimensions des empreintes (Tableau 15) pourraient être le témoin de l'appartenance de ces empreintes à un enfant. Cela avait déjà été proposé par Pales qui interprétait ces empreintes comme appartenant à un enfant de 6 ans (Pales, 1973, 1974, 1975).

2.2.2. Premières interprétations

2.2.2.1. Essai de détermination de la stature et de la masse corporelle

La détermination du profil biologique d'un individu à partir de ses seules empreintes est toujours délicate du fait de son incertitude, résultant de multiples paramètres difficiles à maîtriser dans leur ensemble (Bennett et Morse, 2014). Cela est d'autant plus vrai en ce qui concerne les populations fossiles dont il n'existe pas de référentiel. Malgré cela, l'estimation de certaines caractéristiques telles que la stature, la masse corporelle, l'âge et même parfois le sexe peut fournir quelques bases de réflexion générales pour l'interprétation d'un site et les comportements et activités des individus qui l'ont fréquenté.

Dans le cadre de cette étude, nous nous limiterons aux estimations de la taille et de la masse corporelle. Ces estimations sont généralement basées sur la longueur maximale de l'empreinte et sur différentes méthodes d'estimation trouvées dans la littérature, nous avons donc sélectionné dans notre échantillon les 14 empreintes de pieds complètes sur lesquelles nous avons pu mesurer cette dernière (Figure 147).

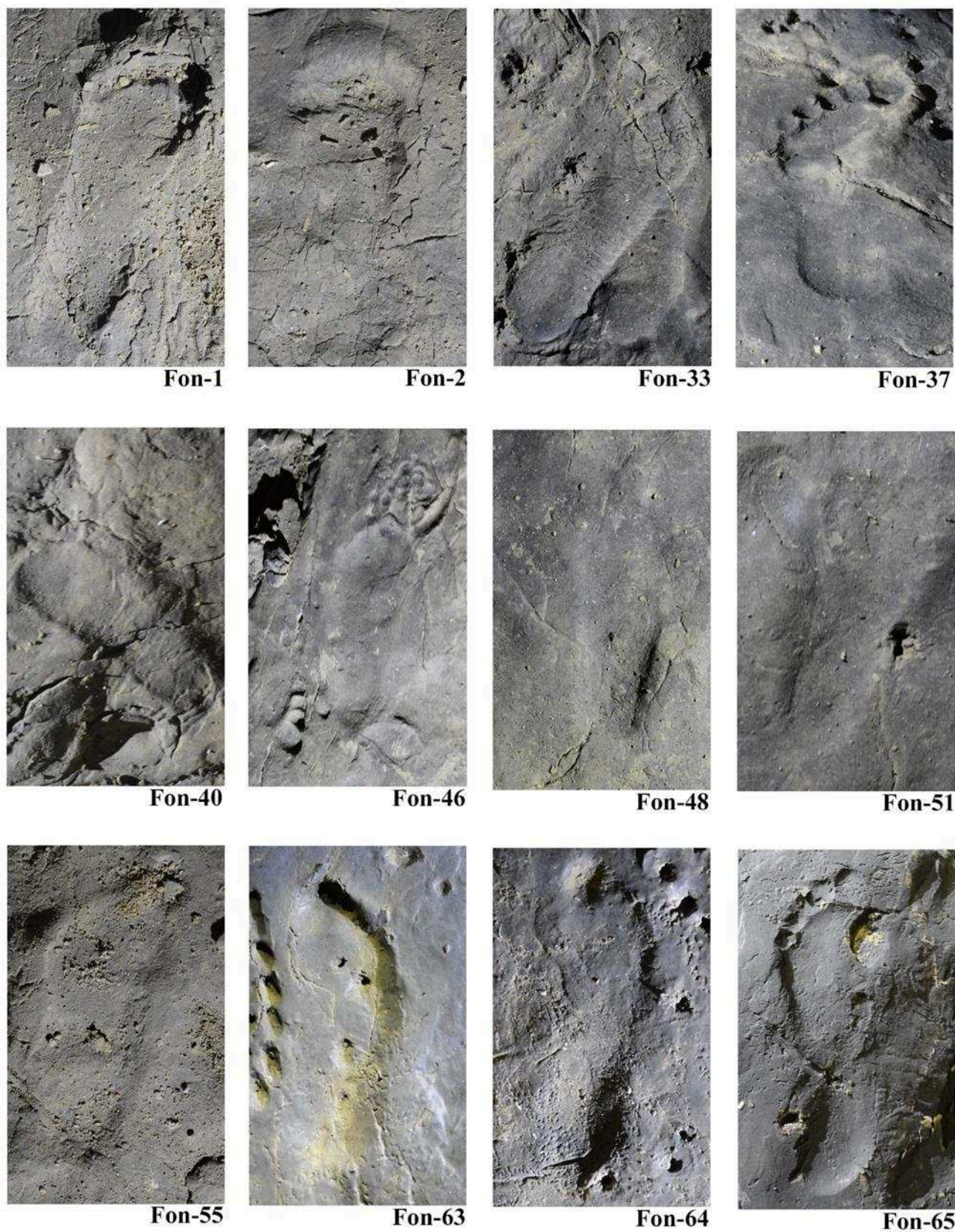


Figure 147 : Fontanet - 12 des 14 empreintes de pieds complètes utilisées.

2.2.2.1.1. Stature

La taille du pied représenterait 14% à 16% de la taille d'un individu selon les populations (Topinard, 1876) La stature est ainsi souvent estimée à partir de la longueur du pied en utilisant le ratio de 0,15 établi à partir de différentes populations, soit :

$$Stature = longueur \div 0,15$$

Nous avons utilisé la formule de régression linéaire de (Dingwall et al., 2013) obtenue à partir d'un échantillon d'individus adultes dont les statures variaient 154 cm et 185 cm et utilisée par plusieurs auteurs (Hatala et al., 2016 ; Masao et al., 2016) :

$$Stature = 74,47 + (3,72 \times longueur\ du\ pied)$$

Enfin, nous avons testé la formule de (Webb et al., 2006) qui propose de calculer une valeur haute et une valeur basse pour la stature, en utilisant deux coefficients distincts. Ce calcul est basé sur un échantillon d'individus d'aborigènes australiens.

La valeur la plus haute est donnée par la formule :

$$Stature = longueur\ du\ pied \times (6,595 + 0,495)$$

La valeur la plus basse est donnée par la formule :

$$Stature = longueur\ du\ pied \times (6,595 - 0,495)$$

Les résultats constituent la valeur moyenne de ces deux valeurs associée à l'erreur moyenne.

Les résultats des différents calculs de stature sont présentés dans le Tableau 16.

N°	Stature (Topinard, 1876)	Stature (Dingwall et al., 2013)	Stature (Webb et al., 2006)
Fon-1	142	153,7	140,3 ± 10,5
Fon-2	136	150,3	134,3 ± 10,1
Fon-33	128	145,9	126,4 ± 9,5
Fon-37	141,3	153,3	139,6 ± 10,5
Fon-40	132,7	148,5	131 ± 9,9
Fon-41	150,7	158,5	148,8 ± 11,2
Fon-46	152	159,3	150,1 ± 11,3
Fon-48	114	138,1	112,6 ± 8,5
Fon-51	156,7	161,9	154,7 ± 11,6
Fon-52	142	153,7	140,3 ± 10,5
Fon-55	126,7	145,1	125,1 ± 9,4
Fon-63	158,7	163	156,7 ± 11,8
Fon-64	163,3	165,6	161,3 ± 12,1
Fon-65	196,7	184,2	194,3 ± 14,6

Tableau 16 : Statures (cm) estimées à partir des empreintes de Fontanet.

Le même type d'analyse a été réalisé sur la main complète Fon-67 afin d'estimer la taille de son auteur. Les petites dimensions de cette empreinte nous ont encouragé à utiliser les travaux de (Ibegbu et al., 2015), réalisés sur un référentiel d'enfants nigériens ayant entre 5 et 10 ans. Pour cela, nous avons utilisés 3 formules de régression linéaires déterminées respectivement à partir de l'échantillon de garçons, de l'échantillon de filles et de l'échantillon rassemblant les deux sexes :

$$\text{Stature } G = \text{longueur de la main} \times 0,0464 + 0,545$$

$$\text{Stature } F = \text{longueur de la main} \times 0,0448 + 0,568$$

$$\text{Stature } G \text{ et } F = \text{longueur de la main} \times 0,0455739 + 0,556396$$

Les estimations obtenues sont présentées dans le Tableau 17.

N°	Stature G	Stature F	Stature G et F
Fon-67	1,13	1,14	1,14

Tableau 17 : Statures (m) estimées pour Fon-67.

Les résultats obtenus indiquent que la plupart des empreintes seraient associées à des statures se situant entre 112 cm et 165 cm. Selon les méthodes utilisées, les estimations réalisées pour un même pied peuvent varier de 10 cm (Tableaux 16 et 17). Une empreinte (Fon-65), la plus grande de notre échantillon, se démarque clairement des autres puisqu'elle donne une stature située entre 184 et 196 cm.

2.2.2.1.2. Masse

Concernant la masse corporelle, et à l'image de (Citton et al., 2017), nous avons utilisé la formule de régression linéaire obtenue à partir d'un échantillon d'individus adultes dont les statures variaient entre 154 cm et 185 cm et utilisée par plusieurs auteurs (Dingwall et al., 2013) pour les individus se situant dans cette fourchette (Masse 1) :

$$\text{Masse 1} = 4,71 + (5,259 \times \text{longueur du pied})$$

Nous avons également testé l'estimation de la masse proposé par (Dingwall et al., 2013) à partir du calcul de la surface du pied du même échantillon d'individus (Masse 2) :

$$\text{Surface du pied} = \text{longueur 1} \times \text{largeur distale}$$

$$\text{Masse 2} = 23,64 + 0,11 \times \text{surface du pied}$$

Nous avons, en outre, utilisé l'équation non linéaire obtenue sur un échantillon d'enfants entre 6 et 11 ans dont les statures variaient entre 118,6 cm et 145,7 cm (Malina et al., 1973) pour les individus situés dans cette fourchette (Masse 3) :

$$\text{Masse 3} = 2,2897 \times e^{0,126 \times \text{longueur du pied}}$$

Les masses corporelles estimées à partir des trois méthodes se situent ainsi entre 19 kg et 58 kg (Tableau 18).

N°	Masse 1 (Dingwall et al., 2013)	Masse 2 (Dingwall et al., 2013)	Masse 3 (Malina et al., 1973)
Fon-1	43,5	42,1	33,5
Fon-2	41,8	38	29,9
Fon-33	39,7	39	25,7
Fon-37	43,3	42,8	33,1
Fon-40	40,9	35,2	28,1
Fon-41	45,8	42	39,5
Fon-46	46,2	43,9	40,5
Fon-48	35,8	33,8	19,7
Fon-51	47,5	44,8	
Fon-52	43,5	42,4	33,5
Fon-55	39,3	41	25,1
Fon-63	48	46,4	
Fon-64	49,3	47	
Fon-65	58,4	50,6	

Tableau 18 : Masses (kg) estimées à partir des empreintes de Fontanet.

2.2.2.2. Bilan général

Les résultats des estimations de la stature et de la masse obtenus à partir de la longueur des empreintes de pieds mettent en évidence la présence d'individus de petits gabarits qui pourraient correspondre à ceux d'enfants en particulier, en ce qui concerne les statures estimées entre environ 114 et 142 cm (Tableau 16). La stature estimée à partir de Fon-67 est cohérente avec ces dernières et serait d'environ 114 cm (Tableau 17). Ces statures sont également cohérentes avec la présence fréquente d'empreintes dans des zones basses et parfois étroites. La présence de jeunes individus avait déjà été déterminée par Léon Pales et Michel-Alain

Garcia lors des premières études des empreintes de Fontanet et est récurrente en contexte de grotte ornée. Cette présence, attestée dans des grottes telles que Niaux, Pech-Merle, le Tuc d'Audoubert, Chauvet, Gargas, la Bâsura et d'autres, a d'ailleurs souvent été déterminée grâce aux empreintes (Pales, 1976 ; Duda et Garcia, 1983 ; Garcia et al., 1990 ; Garcia, 2005 ; Foucher et al., 2007 ; Bégouën et al., 2009 ; Pastoors et al., 2015, 2017 ; Citton et al., 2017). L'empreinte Fon-65 est pour l'instant un cas exceptionnel de par ses dimensions très supérieures aux autres (Tableaux 14 et 17). La fiabilité des résultats obtenus pour cette dernière pose aussi question sur la stature estimée, très élevée par rapport à la masse estimée relativement basse (Tableau 18).

2.2.2.3. Le nombre d'individus

Le nombre très important d'empreintes, leur diversité et leur dynamisme, notamment en ce qui concerne la plage 1, laissent penser que celles-ci sont le fait de plusieurs individus (Figure 131). Leur nombre est, en revanche, plus difficile à établir. Si l'on se réfère uniquement aux données biométriques et contextuelles, les empreintes issues de la plage 2 pourraient appartenir à un individu et celles de la plage 3 seraient le fait d'au minimum deux individus. Concernant la plage 1, les empreintes inventoriées jusqu'à présent sont pour la majorité de gabarits relativement similaires (entre 19 et 23 cm), hormis Fon-48 nettement plus petite (Tableau 13). Une analyse en composante principale rassemblant les empreintes de pieds complètes des plages 1 et 3 a été réalisée (Figure 148). Celle-ci a été obtenue à partir des variables de taille suivantes : Longueur 1, Largeur distale, Largeur moyenne et Largeur proximale. Seule Fon-52, dont la totalité des variables n'est pas incluse dans l'analyse. Les deux premiers axes expriment 94,21% de la variance avec 82,67% pour l'axe 1. Comme attendu, l'analyse oppose sur l'axe 1 les empreintes les plus petites aux empreintes les plus grandes, les plus extrêmes et isolées étant Fon-48 et Fon-65. Hormis les trois empreintes de la plage 3 qui se séparent clairement du reste en étant, pour Fon-63 et Fon-64, les seules dans la partie positive des axes 1 et 2 et pour Fon-65 complètement isolée des autres empreintes, aucun autre groupe ne se dissocie clairement. L'identification des différents individus est donc difficile sur le seul critère biométrique.

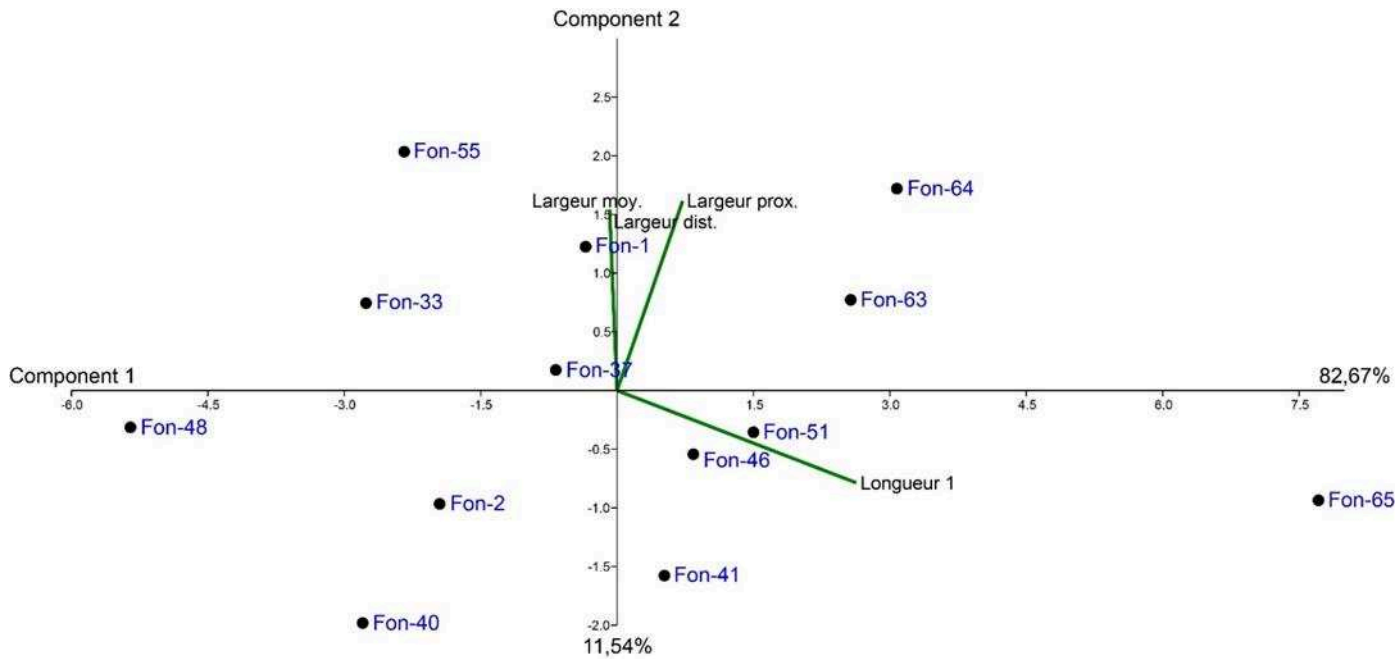


Figure 148 : Analyse en composante principale sur les valeurs brutes des empreintes de Fontanet. Les deux axes représentent 94,21% de la variance. Les vecteurs associés à chaque variable sont représentés en vert.

Afin d'éliminer cet effet de taille, la méthode du log-shape ratio (Mosimann, 1970) a été utilisée. Les empreintes sont alors comparées du point de vue de leur conformation géométrique, en éliminant l'effet de la taille. L'ACP en résultant est présentée en figure 149. Les deux premiers axes expriment 87,91% de la variance avec 64,96% pour l'axe 1. Quelques remarques peuvent d'ores et déjà être formulées. En effet, certaines empreintes telles que Fon-1 et Fon-55 mais aussi Fon-46 et Fon-51 ou Fon-2 et Fon-40, qui étaient déjà proches sur l'ACP issue des valeurs brutes, le restent sur celle issue du log-shape ratio. D'autres, au contraire, s'éloignent comme cela est le cas pour Fon-63 et Fon-64, très proches du point de leur taille. Elles diffèrent morphologiquement avec l'isolement de Fon-63. Cela est probablement imputable à la déformation de Fon-63 déjà notée lors de la description de l'empreinte. Les empreintes Fon-48 et Fon-65 restent isolées tandis que l'isolement de Fon-41 est beaucoup plus marqué. De façon générale, les empreintes présentant des déformations sont celles situées aux extrémités de l'ACP. Si l'on prend en compte l'ensemble de ces éléments, les auteurs des empreintes de cette plage seraient entre deux et six. D'après les données disponibles actuellement, il nous est cependant difficile d'aller plus loin sur le sujet.

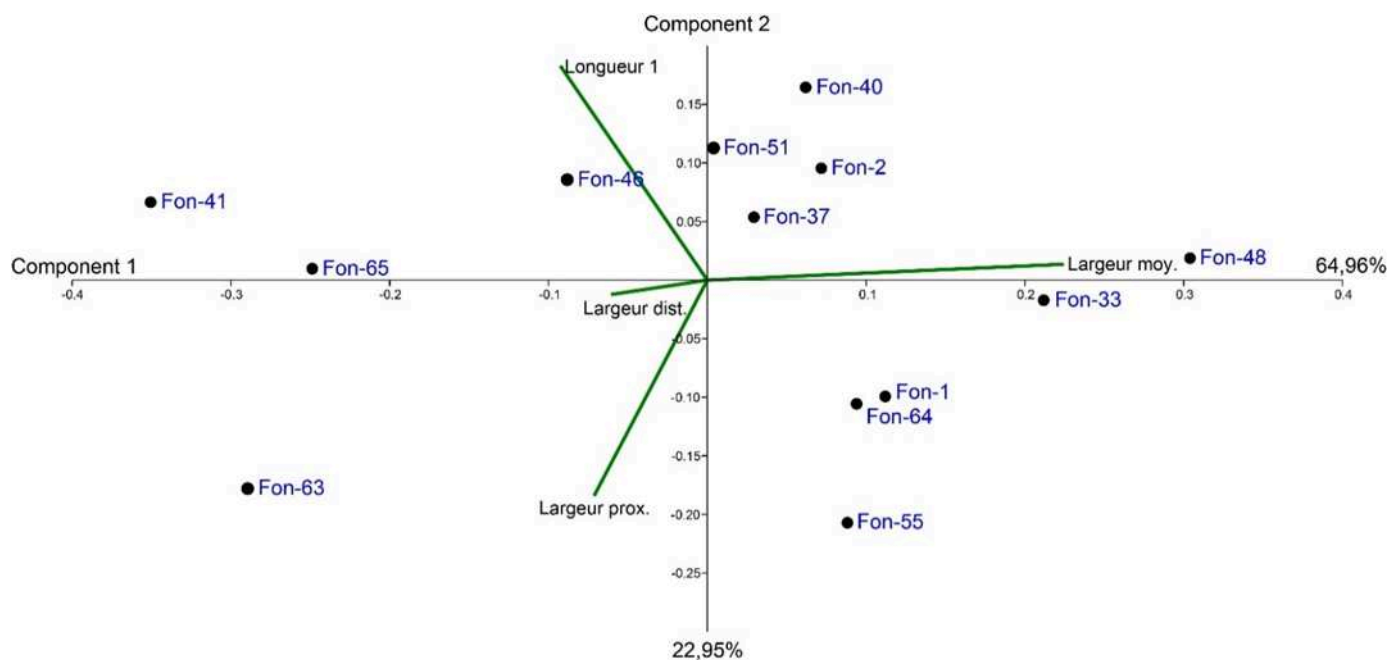


Figure 149 : Analyse en composante principale sur les données transformées par log-shape ratio des empreintes de Fontanet. Les deux axes représentent 87,91% de la variance. Les vecteurs associés à chaque variable sont représentés en vert.

2.2.2.4. Les activités/comportements

Hormis les empreintes, la partie de la cavité qui nous intéresse ici ne présente quasiment pas d'autres témoignages de fréquentation humaine. La mise en évidence des activités pratiquées dans cette zone de la cavité repose donc essentiellement sur les traces au sol. Les trois plages étudiées présentent toutes des caractéristiques différentes bien qu'elles se rejoignent sur certains aspects, ce qui explique notre choix de les étudier en premier. Elles ne constituent cependant qu'un échantillon de la quantité réelle d'empreintes représentées dans cette partie de la cavité. En effet, notre première appréhension de ce tronçon de galerie a confirmé le fait qu'il y avait eu une fréquentation exhaustive de Fontanet. Le premier comportement noté est donc celui d'une exploration des moindres recoins de la cavité et cela peu importe leur difficulté d'accessibilité. On pense notamment aux empreintes identifiées dans la zone du puits et témoignant d'une descente et d'une remontée de 3 m (Pales, 1973, 1974, 1975). Nous n'avons cependant pas encore prospecté cette zone qui se situe au-delà de la partie étudiée.

Les empreintes ne semblent pas non plus être le fruit d'une fréquentation unique ou d'un simple aller-retour de reconnaissance des lieux. L'exemple de la plage 1 est sans aucun doute le plus représentatif de cet investissement intense de la grotte. En témoigne la surface damée par le piétinement que nous observons aujourd'hui, avec ses nombreuses superpositions d'empreintes. Outre la quantité et la diversité d'empreintes, nous sommes frappés par le dynamisme de leur réalisation. En effet, il ne s'agit pas seulement ici de pistes linéaires mais d'empreintes résultant probablement d'une multitude de positions, de modes de locomotion et de directions. Les glissades sont également nombreuses et probablement encouragées par la topographie de la zone, non plane. Les faibles hauteurs sous plafond (entre 75 et 130 cm) localisées le long de la paroi sont probablement aussi à l'origine des positions basses attestées par la présence d'empreintes de mains, et sont communes aux trois plages étudiées. Cette utilisation de l'espace, même des endroits les plus bas et étroits, est en outre cohérente avec la petite taille de nombreuses empreintes et leurs statures associées (Tableau 16 et 17). De plus, les empreintes retrouvées dans ces zones basses, en particulier celles de mains, semblent toujours ou presque résulter de positions stationnaires, mais pas pour autant très longues sur la durée. En témoignent les empreintes Fon-17, Fon-18, Fon-19 et Fon-36 qui résultent d'appuis d'orteils et de doigts en extension ou flexion (Figures 115 et 122).

Un autre type d'empreintes, non lié aux déplacements, est aussi présent de ce côté de la cavité. En effet, le sédiment a également été utilisé pour la réalisation de motifs par appuis de doigts, la formation d'empreintes devenant ainsi un acte volontaire. Le plus original est sans aucun doute le signe associé à l'empreinte de pied Fon-63 (Figure 134). La question se pose alors de savoir si l'empreinte de pied elle-même résulte d'une action volontaire et si elle a été pensée comme faisant partie intégrante du motif dès sa réalisation. Le caractère chaussé de Fon-63 a, de plus, été remis en question comme l'avaient fait avant nous, les pisteurs bushmen, dont les interprétations sur les empreintes de différentes grottes ornées sont retranscrites dans la publication de (Pastoors et al., 2015). Sa morphologie particulière semble, en effet, plus être liée à une déformation de l'empreinte. La question du port de chaussant à Fontanet reste néanmoins posée et continuera d'être prise en compte lors de la suite de l'inventaire dans le cas de certaines empreintes.

Les empreintes au sol ne sont pas les seuls témoignages des comportements humains dans cette partie de la cavité. Un remplissage « argilo-limoneux » (propriétés sédimentaires à vérifier) localisé sur une avancée de la paroi, au niveau de la galerie Méroc, présente en outre des empreintes de doigts, des appuis probablement issus de paumes de main/s et des prélèvements

de sédiment (Figure 150). Au-dessus, des boulettes, qui semblent provenir de ce même remplissage, sont collées sur la paroi (Figure 151). Cette zone n'a, en revanche, pas encore été inventoriée et observée en détail. Des boulettes d'argiles similaires ont également été observées par Pales et son équipe au niveau du Puits (Pales, 1973, 1974, 1975).

L'ensemble de ces éléments paraît donc indiquer que les témoignages que nous percevons aujourd'hui pour cette partie de la cavité ne résultent pas seulement d'une simple exploration de la cavité. Les individus qui ont pénétré jusqu'au fond de la galerie semblent avoir stationné dans certaines zones pour se livrer à quelque activité dont nous ne connaissons la nature. Cependant, certaines hypothèses peuvent d'ores et déjà être formulées à partir des trois plages observées. En effet, au vu de la taille relativement petite de certaines empreintes, des positions basses sous des espaces bas, des boulettes d'argiles collées sur le plafond à certains endroits et du damage important de la plage 1, nous sommes tentés d'envisager la cavité comme ayant été un espace de jeux de toutes sortes pour les jeunes individus présents, les espaces sous paroi constituant des caches idéales ainsi que de parfaits points d'observation. Les empreintes de doigts et mains sur le sol, toutes situées (en tout cas celles observées) sous des passages bas, attestent en effet de positions plutôt statiques dans ces endroits et ne semblent pas être le résultat d'un déplacement. Cette utilisation de l'espace par de jeunes individus n'a rien d'exceptionnel si l'on prend en compte la présence avérée d'enfants dans plusieurs grottes paléolithique (Pales, 1976 ; Duday et Garcia, 1983 ; Clottes et al., 1984 ; Garcia, 2005 ; Foucher et al., 2007 ; Bégouën et al., 2009 ; Pastoors et al., 2015, 2017 ; Citton et al., 2017) et le fait que la partie ornée de Fontanet correspond également à une zone d'occupation dont les foyers et les restes osseux associés témoignent bien d'un stationnement humain (Clottes et al., 1984). La découverte des zones plus profondes de la cavité et son utilisation à des fins ludiques ou simplement d'exploration prend alors tout son sens. Cela est d'autant plus vrai lorsque l'on sait que durant tout le Paléolithique, les grottes ont été explorées par les Hommes, et cela malgré la difficulté de certains passages. Ces interprétations devront bien sûr être confirmées et complétées au fur et à mesure de l'avancée des recherches à Fontanet mais nous fournissent déjà quelques pistes quant à la fonction de la grotte.

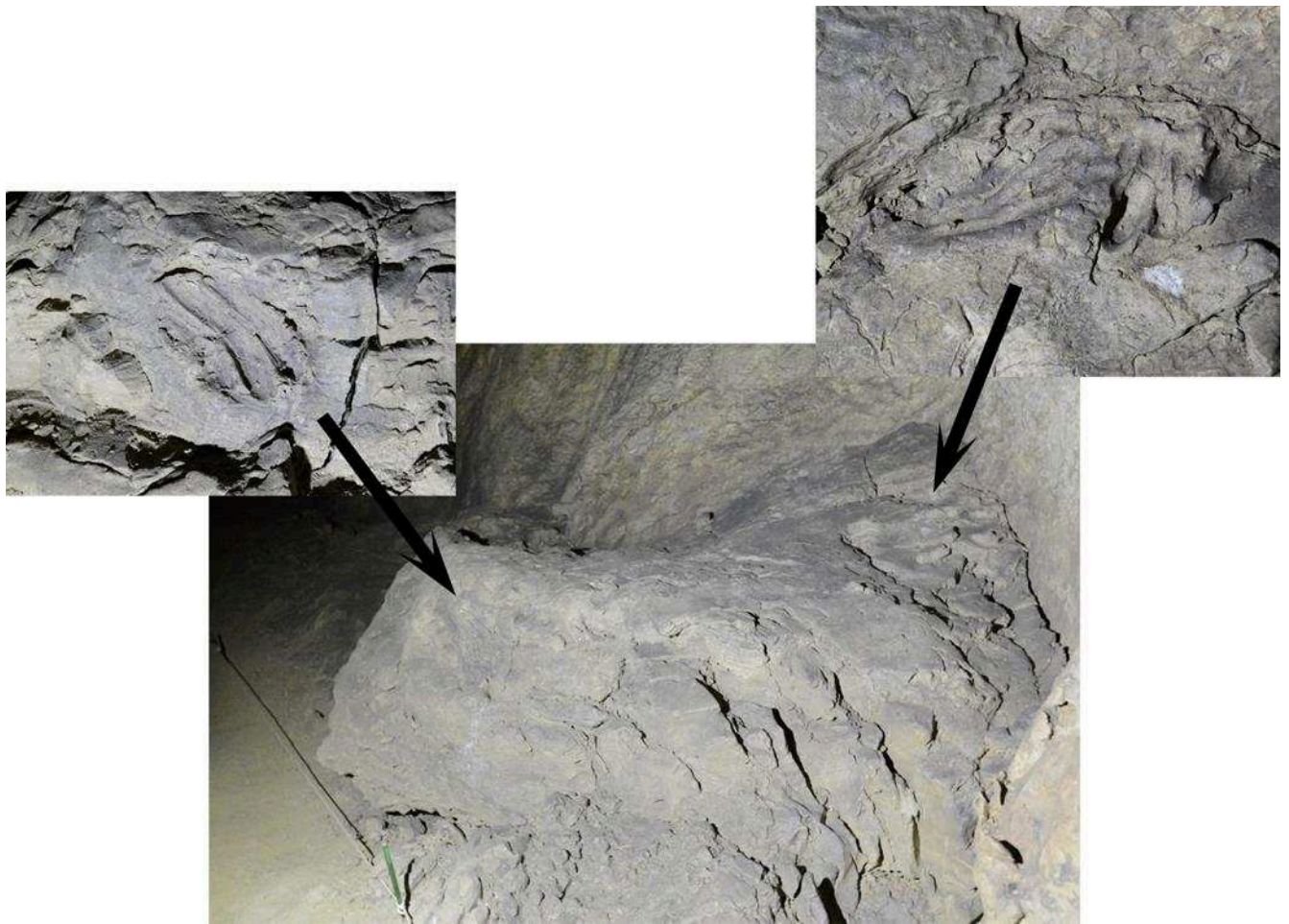


Figure 150 : Fontanet - Empreintes de doigts et prélèvements de matière.

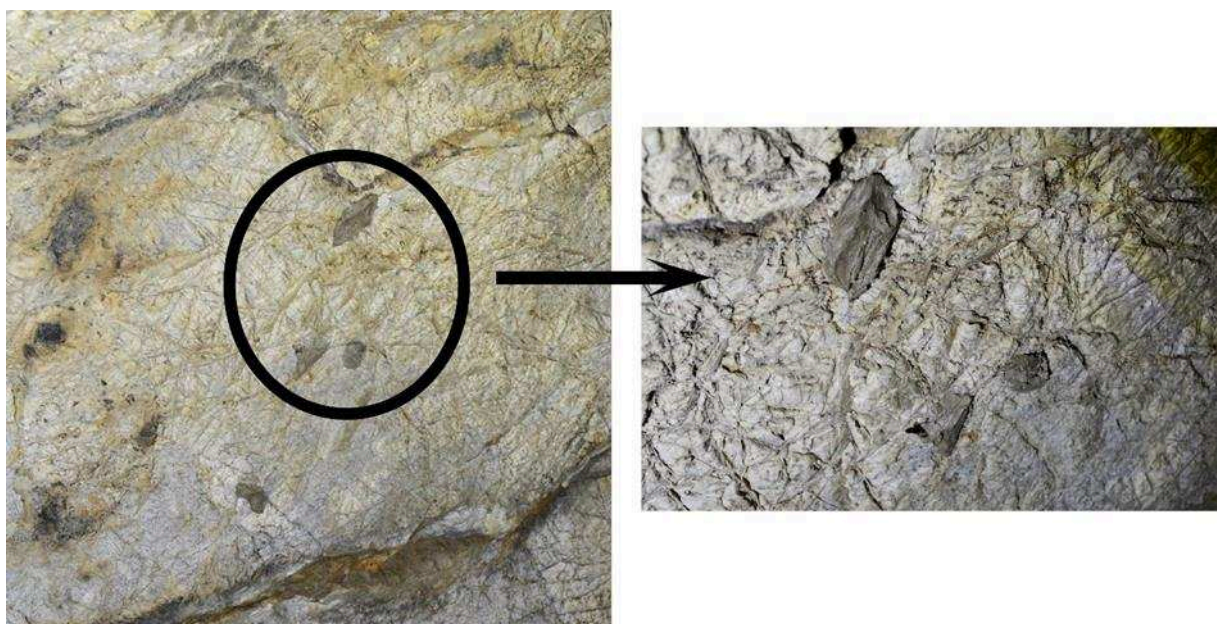


Figure 151 : Fontanet - Boulettes collées sur la paroi.

2.2.3. Perspectives

La reprise de l'étude ichnologique de Fontanet nous offre déjà des résultats encourageants pour les futures opérations dans la grotte. L'appréhension des plages étudiées et plus généralement de la cavité ne fait que débiter et ces résultats préliminaires seront probablement amenés à changer à la suite des futures interventions sur le terrain et analyses. Ce premier inventaire et les résultats associés ne sont, en effet, qu'un aperçu du potentiel ichnologique de la grotte de Fontanet. L'étude de ce site délaissé depuis de nombreuses années doit donc se poursuivre afin d'en réactualiser la connaissance.

Nos objectifs pour la prochaine opération sur le terrain sont donc de :

- Poursuivre l'inventaire des 3 plages et notamment de la plage 1.
- Étendre la prospection aux alentours des plages afin d'avoir une vision plus globale des espaces. Cela s'accompagnera d'une observation des parois afin de vérifier la présence de traces.
- Compléter le modèle 3D déjà existant.
- Commencer l'étude géoarchéologique qui n'a pas pu être menée lors de cette première mission faute de temps. L'étude géomorphologique et karstologique de la cavité aura, ainsi, trois objectifs principaux :

1- Une étude sédimentologique de la première partie qui, jusqu'à présent n'a bénéficié que de quelques descriptions générales (Vialou, 1988). L'objectif est d'identifier les différents faciès (détritique, chimique ou organique) pour restituer les modalités de dépôts et de conservation des empreintes.

2- Une étude géomorphologique pour compléter les données morfo-spéléologiques déjà existantes : vérifier qu'il existe bien une seule entrée, celle aujourd'hui colmatée par l'éboulis. Topographiquement, la grotte ne permet a priori pas une entrée par un autre accès que celui-ci. Les observations réalisées entre les années 70 et 80 démontrent la difficulté d'une entrée dans le réseau Wahl, par la galerie inférieure située 7 à 8 mètres plus bas que ce dernier (Vialou, 1988). L'accès au

réseau Wahl par la galerie inférieure n'est donc pas totalement impossible mais difficile sans le matériel de spéléologie adéquat.

- 3- L'établissement d'une première chronologie relative de l'éboulis d'entrée et, à terme, faire le lien avec l'autre partie de la cavité.

Chapitre 4

Discussion et Conclusion

1. Discussion

1.1. Aspects méthodologiques

L'une des vocations de ce travail était de contribuer à renouveler l'ichnologie en milieu souterrain dans le cadre des recherches en Préhistoire. Les empreintes nous offrent en effet un lien privilégié avec leurs auteurs et sont source d'une multitude d'informations, aussi bien en ce qui concerne leur biologie et comportement qu'en ce qui concerne leur environnement. Leur contribution à la compréhension générale des sites, leur fréquentation, leur contexte sédimentaire, leur évolution dans le temps etc., est donc inestimable. Malgré cela, cette discipline, systématisée par Léon Pales à partir des années 60 (Pales, 1960, 1976 ; Garcia, 1986, 2001, 2005 ; Garcia et Duday, 1983 ; Garcia et Rouzaud, 1985 ; Duday et Garcia, 1986 ; Garcia et al., 1990) a connu un certain fléchissement à la suite du décès de son disciple Michel-Alain Garcia (2008). Depuis quelques années, la multiplication des études ichnologiques en contextes de plein air, allant de pair avec un renouveau méthodologique, a créé une nouvelle dynamique autour de la discipline (Bennett et al., 2009 ; Mietto et al., 2003 ; Morse et al., 2010 ; Webb et al., 2006 ; Bennett et al., 2013 ; Crompton et al., 2012 ; Morse et al., 2013 ; Ashton et al., 2014 ; Bennett et Morse, 2014 ; Burns, 2014 ; Bennett et al., 2016a, 2016b ; Hatala et al., 2016 ; Masao et al., 2016 ; Gierliński et al., 2017 ; Altamura et al., 2018 ; McLaren et al., 2018 ; Wiseman et De Groot, 2018). Parallèlement, un nouvel intérêt pour les empreintes en contexte karstique est également né avec l'apparition de plusieurs études consacrées à cette seule thématique (Pastoors et al., 2015, 2017 ; Citton et al., 2017 ; Ledoux et al., 2017). **Notre étude s'inscrit donc dans cette dynamique et dans la continuité des études ichnologiques en grotte telles qu'elles avaient été initiées par Léon Pales.**

Au cours de ce travail, nous avons exploré plusieurs problématiques principalement à travers les études de cas des grottes de Cussac et de Fontanet, la réalisation d'un travail expérimental et la mise en lumière du Fonds Pales. Ce travail donne donc un aperçu du potentiel actuel des études ichnologiques en contexte karstique et des bénéfices à en espérer.

1.1.1. Un contexte particulier

Pour mener à bien ce travail, nous avons emprunté les méthodes développées en paléontologie et utilisées sur les sites de plein air, tout en nous adaptant au contexte souterrain. En effet, plus

que pour n'importe quel autre vestige, une empreinte est indissociable de son contexte. Cela est d'autant plus vrai dans le cas des grottes où elles font partie d'un ensemble mêlant la topographie de la cavité (sols et parois) et toutes sortes de traces humaines et/ou non humaines interdépendantes. L'étude des empreintes en grotte commence par la mise en place d'une base méthodologique commune à l'ensemble des grottes et qui trouve son origine et ses concepts dans la paléospéléologie (Rouzaud, 1978, 1996, 1997a). Celle-ci repose sur la prospection, l'inventaire et la description de toutes les traces humaines et non humaines retrouvées en grotte. À partir de ce fonds, une méthode d'étude propre à chaque site et ses caractéristiques a alors été employée. L'étude des empreintes en grotte repose donc également sur notre propre appréhension du milieu souterrain et ne peut s'affranchir d'une bonne connaissance et d'une vision d'ensemble de la cavité étudiée.

Bien qu'il ne fasse aucun doute que les grottes sont réputées être d'excellents conservatoires naturels pour les vestiges fragiles, que ce soit pour l'art, les restes osseux ou encore les empreintes, cette conservation naturelle qui perdure depuis des milliers d'années peut être mise à mal par deux types de phénomènes : naturels et anthropiques.

La vie dans une grotte ne se fige pas au moment où celle-ci n'est plus visitée par l'Homme et de multiples phénomènes géologiques sont susceptibles d'altérer les sols et, dans le même temps, les empreintes. Ces phénomènes sont variés et peuvent être différents d'une cavité à l'autre, mais aussi au sein d'une même cavité. Nous l'avons constaté avec Cussac, par exemple, qui conserve les vestiges de plusieurs remplissages sédimentaires postérieurs à la fréquentation humaine. Ceux-ci ont soit totalement masqués les sols d'origine, soit plus partiellement, comme c'est le cas pour les zones inondées et recouvertes de plusieurs niveaux d'argile de décantation. Dans d'autres grottes, comme Fontanet, le concrétionnement a aussi pu altérer les empreintes. Dans les grottes de Bruniquel (Rouzaud, 1996 ; Ledoux et Maksud, 2015 ; Jaubert et al., 2016) ou de l'Aldène par exemple, certaines empreintes se sont transformées en petits gours (Figure 152).

Le facteur humain joue également un rôle important dans la conservation des empreintes, la « redécouverte » d'une grotte n'étant pas sans conséquence pour les sols. Nombreuses sont, en effet, les grottes qui ont souffert d'être découvertes trop tôt et dont il ne reste plus rien des sols originels. Malgré une politique actuelle de conservation stricte, il est malheureusement impossible de préserver l'ensemble des sols d'une cavité à partir du moment où celle-ci fait l'objet des premières explorations, de visites d'expertise se poursuivant par un projet de

recherche fut-il très peu invasif et respectueux. Notre vision de la diversité des empreintes d'une cavité est alors biaisée et les interprétations qui en découlent affectées à des degrés que nous ne pouvons évaluer. Afin de minimiser les dégâts, certaines zones dans la cavité sont alors proscrites et les observations distantes ou éloignées sont privilégiées pour d'autres (Bégouën et al., 2009 ; Ledoux et al., 2017). Au final les empreintes étudiées ne constituent qu'un échantillon du potentiel ichnologiques d'une grotte, dont la préservation doit être effective dès la découverte. Avec Cussac et Fontanet, nous avons la chance de travailler dans deux sites bien préservés. Même si certaines informations manquent, notre vision de ces grottes est donc probablement assez fidèle à ce qu'elles devaient être au Paléolithique.



Figure 152 : Empreinte de main d'ours de la grotte de Bruniquel, transformée en gours.

1.1.2. L'apport de l'imagerie 3D

Un des apports de notre travail et des études actuelles en général est sans aucun doute l'utilisation de l'imagerie 3D. En effet, bien que les relevés manuels in situ et les moulages étaient, de leur temps, extrêmement efficaces et réalisés dans des conditions visant à minimiser le plus possible les dommages (Garcia, 1979), il s'avère que les techniques 3D se révèlent beaucoup plus efficaces sur plusieurs points :

- La mise en œuvre des différentes techniques de relevés 3D est relativement rapide : le temps passé sur le site s'en voit donc réduit.
- Ce sont des techniques infiniment moins invasives que les moulages car elles ne nécessitent aucun contact avec la surface de l'empreinte
- Elles offrent la possibilité de prendre en compte l'ensemble du contexte (sols et parois) dans un même modèle ce qui favorise le travail ex situ.
- La plupart des logiciels permettent de jouer avec la lumière pour faire ressortir certains détails.
- L'archivage dématérialisé, numérique est par nature moins encombrant et le partage plus aisé.
- Concernant la précision, celle-ci n'est cependant pas meilleure en utilisant la 3D. Elle dépendra de la précision de la technique de relevé 3D employée et de la qualité des moulages.

En comparant, nos observations sur le terrain puis les modèles 3D réalisés à Fontanet avec ceux issus des moulages du fonds Pales, nous avons pu constater que certaines informations manquaient sur les moulages ou étaient altérées. Le moulage présenté en figure 153 fait partie des 13 moulages qui avaient été réalisés sur la plage 1. La plupart des empreintes sont visibles mais la conservation du moulage n'est pas homogène sur l'ensemble de la surface. L'empreinte Fon-20, par exemple, correspondant à une main repliée sur le sol, est très bien conservée, son contre-moulage nous donne une image de l'ongle de l'index, ce qui est tout à fait unique. A contrario, la zone où se situent les empreintes Fon-7,8 et 9 est altérée : à certains endroits, on constate également des trous et des rebouchages postérieurs au moulage. En revanche, cela n'enlève rien au fait que les moulages constituaient une reproduction très précise de la réalité. Les moulages originaux devaient en outre être beaucoup mieux préservés. Cela pose cependant la question de la pérennité des moulages dans le temps.

Au cours de cette thèse, nous avons pu mesurer les bénéfices de la 3D sur la plupart de ces points. En plus de ces aspects généraux, nous avons bénéficié des avantages des modèles 3D sur plusieurs aspects :

- La prise de mesures a souvent été facilitée, notamment en ce qui concerne des empreintes non accessibles sur le terrain.

- Les modèles 3D nous ont permis de voir des empreintes que nous n'avions pas observées sur le terrain, notamment pour Fontanet.
- La visualisation et l'interprétation des empreintes ont été facilitées par les cartes de profondeur et les isolignes.
- La comparaison de deux nuages de points a été possible grâce à l'algorithme M3C2 (Lague et al., 2013) afin de quantifier les changements d'état de surface d'une même empreinte entre deux étapes lors de nos expérimentations relative à la taphonomie de l'empreinte. Parallèlement à notre étude, cet algorithme a aussi été appliqué sur les empreintes du site de plein air d'Engare Sero en Tanzanie pour quantifier leur érosion (Zimmer et al., 2018). L'utilisation de telles méthodes de quantification permet de compléter les observations qualitatives et peut aider à la compréhension de certains phénomènes taphonomiques tels que l'érosion ou la sédimentation.

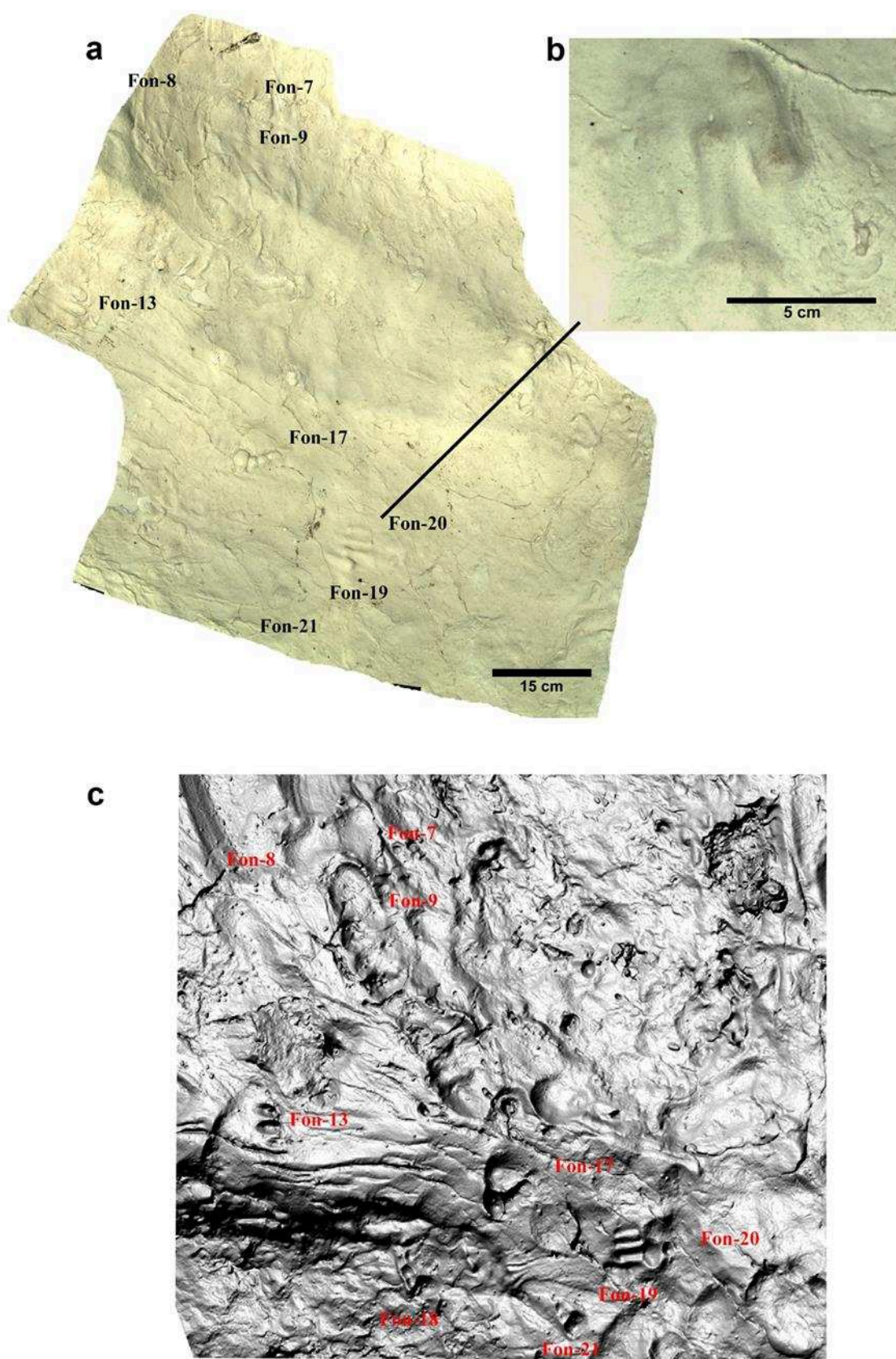


Figure 153 : Comparaison d'un moulage issu du Fonds Pales (a) avec détail (b) et de la même zone relevée en photogrammétrie (c).

1.1.3. L'apport de l'expérimentation

Comme nous l'avons vu tout au long de ce travail, l'interprétation des empreintes n'est pas sans risque et dépend de multiples facteurs souvent difficiles à prendre en compte dans leur intégralité, particulièrement en ce qui concerne les empreintes fossiles. L'objectif des études ichnologiques est de parvenir à comprendre ces différents facteurs et à appliquer les résultats obtenus à partir de données actuelles sur le registre fossile. Chaque empreinte est par conséquent unique et possède ses propres spécificités. Ainsi, il a déjà été démontré que les empreintes d'une même piste peuvent avoir des morphologies totalement différentes (Bennett et Morse, 2014). Quelques essais annexes à notre travail expérimental, réalisés en contexte karstique, ont permis de confirmer ce point (Figure 154). L'interprétation d'empreintes isolées s'en verra donc complexifiée puisque, à moins que celles-ci ne présentent une caractéristique particulière (relative à une caractéristique du pied de leur auteur), il sera difficile de savoir si elles appartiennent à un même individu ou si elles sont le fait de plusieurs. Cela se constate d'autant plus en grotte dans lesquelles les empreintes ne sont pas toujours rattachables à une piste. À Cussac, par exemple, les empreintes de pieds retrouvées sont majoritairement isolées et il est donc impossible de les relier, d'autant plus que leur morphologie ne présente aucun élément caractéristique. La morphologie particulière de ces empreintes et certains éléments tels que l'absence d'orteils ont, en outre, soulevé la question du port de chaussant. La base de notre travail expérimental repose donc sur les observations réalisées sur les empreintes de Cussac.

Peu d'études expérimentales ont été réalisées en contexte karstique et celles-ci s'intéressaient surtout à la morphologie des empreintes de pieds nus en fonction de différents supports (Pales, 1976). Ici, nous nous sommes également intéressée à cette question, mais en ajoutant des paramètres taphonomiques et comportementaux. À notre connaissance, il s'agit des **premières expérimentations de ce genre menées en contexte karstique avec deux volets complémentaires : la taphonomie pour comprendre l'évolution des empreintes et le chaussant pour inférer un comportement humain.**



Figure 154 : Empreintes expérimentales issues d'une même piste ; on remarque que bien que réalisées par un même individu dans un même environnement les morphologies diffèrent.

1.1.3.1. Empreintes et contexte sédimentaire

Avec cette expérimentation, le but était de comprendre l'évolution de la morphologie d'une empreinte subissant plusieurs ennoiements et dépôts d'argile de décantation. Pour cela, nous avons tenté de recréer, en milieu contrôlé, un phénomène propre au milieu karstique, à savoir la remise en charge. Les expérimentations relatives à la taphonomie de l'empreinte sont encore peu nombreuses, même si en développement, et sont basées sur des phénomènes observés en plein air (Marty et al., 2009 ; Scott et al., 2010 ; Wiseman et De Groote, 2018 ; Roach et al., 2016). **Notre travail apporte donc de nouveaux éléments dans la compréhension de l'évolution d'une empreinte tout en examinant un champ encore inexploré.**

Le contrôle exhaustif de l'ensemble des paramètres jouant un rôle dans la morphologie d'une empreinte étant impossible, nous nous sommes focalisée sur certains aspects de première importance tels que le sédiment utilisé, la mise en eau et la charge sédimentaire contenue dans l'eau d'enneiement. Nous sommes, dans un premier temps, parvenue à trouver une argile dont les propriétés sédimentaires étaient très proches de celles de certaines argiles de la grotte de Cussac. Soulignons cependant que les résultats obtenus ne s'appliquent par forcément à toutes les grottes présentant le même type de phénomène. En effet, le fait d'avoir utilisé un sédiment très similaire à Cussac rend leur application valable pour ce cas, mais pas obligatoirement pour d'autres sites dont les propriétés sédimentaires seraient différentes. Les ennoiements successifs modifient la profondeur des empreintes et entraînent une perte de définition des contours pouvant induire une prise de mesures moins précise. En revanche, les tests réalisés dans le but de trouver les charges sédimentaires les plus adaptées ont montré que la différence d'impact entre les charges était négligeable, aussi bien pour l'eau des ennoiements primaires que pour celles des ennoiements secondaires. Concernant les détails de l'empreinte, la partie distale de la plante est celle qui perdure le plus longtemps après les ennoiements. Les orteils quant à eux persistent, au moins en partie, après leur recouvrement d'argile de décantation. Des éléments propres à la surface de formation ont également été mis en évidence, notamment en ce qui concerne sa topographie qui peut parfois entraîner des erreurs de détermination de certaines zones de l'empreinte. Les limites de contours des empreintes, de moins en moins lisibles au fur et à mesure des ennoiements, peuvent amener l'observateur, lors des relevés biométriques des empreintes, à commettre des erreurs de plusieurs centimètres d'un état d'empreinte à l'autre. **Nos résultats ont donc permis d'écarter le support de formation et la taphonomie comme principaux responsables de la morphologie particulière des empreintes de Cussac et de**

leur absence d'orteils. Ils confirment, en outre, la nécessité de réaliser des expérimentations en amont de l'interprétation de certaines empreintes découvertes dans des contextes à l'histoire complexe. L'étude des empreintes, et les différentes interprétations qu'elle engendre, ne peut donc pas uniquement s'appuyer sur l'empreinte dans son dernier état, d'autant plus lorsqu'on prend en considération le fait que certains facteurs taphonomiques peuvent modifier, à différents degrés, aussi bien la morphologie que la biométrie des empreintes. Les erreurs relatives à notre perception des limites de contour des empreintes sont également fréquentes et peuvent être minimisées en comprenant ces différents facteurs. Par conséquent, la prise de mesures à partir du modèle 3D peut s'avérer plus pertinente et objective pour bien délimiter les contours d'une empreinte (Falkingham et al., 2016).

1.1.3.2. Port de chaussant

Ces expérimentations mettant en avant l'influence du port de chaussant sur la morphologie des empreintes constituent **un aspect original de ce travail car, à notre connaissance, inédit en ce qui concerne le contexte des grottes au Paléolithique.** Bien que déjà posée (Clottes, 1973, 1975 ; Trinkaus, 2005 ; Trinkaus et Shang, 2008 ; Groenen, 2012), la question du port de chaussant durant ces périodes est loin d'être abondamment traitée, et dans le meilleur cas seulement associée à la question générale de l'habillement des différentes populations du Pléistocène (Soffer et al., 2000 ; Trinkaus et Buzhilova, 2018 ; Gilligan, 2007, 2010, 2016b, 2016a ; Touns et al., 2011 ; Wales, 2012 ; Collard et al., 2016). Mis à part à Fontanet, où l'hypothèse a très rapidement été évoquée, aucune grotte n'avait jusqu'à présent nécessité que l'on se penche sur le sujet puisque toutes présentaient, a priori, des empreintes de pieds nus (Pales, 1960, 1976 ; Rouzaud, 1978 ; Garcia et Duday, 1983 ; Duday et Garcia, 1983 ; Garcia et al., 1990 ; Ambert et al., 2001 ; Garcia, 2005, 2001 ; Bégouën et al., 2009 ; Clottes, 2010 ; Ortega Martinez et al., 2014 ; Citton et al., 2017 ; Pastoors et al., 2017). Le port de chaussant a cependant été mentionné pour la grotte d'El Castillo (Groenen, 2012) mais au vu de la mauvaise conservation des empreintes, cela demande encore à être vérifié. Les empreintes de Cussac ayant récemment réactualisé la question, nous avons souhaité approfondir le sujet en recourant à des expérimentations. Aucun témoignage direct de chaussant n'existant pour le Paléolithique, nous avons fait le choix de confectionner nos chaussants expérimentaux sur la base de la plus ancienne chaussure fermée connue à ce jour, celle du site d'Areni-1 en Arménie et datée du Chalcolithique (Pinhasi et al., 2010b). Comme pour la taphonomie, les empreintes

ont été réalisées sur deux types de supports (argile brute et de décantation). Deux chaussants ont, de plus, été testés au sein desquels nous avons également fait varier le paramètre rembourré / non rembourré. Les résultats obtenus ont montré que, bien que la morphologie générale du pied soit conservée, le port de ce type de chaussant, influence la morphologie et la biométrie des empreintes, qui apparaissent plus allongées et plus étroites dans leur partie proximale et cela indépendamment du support, du chaussant et de la présence du rembourrage. Un effet amortissant du chaussant pouvant être lié, entre autre, à la morphologie différente du pied chaussé par rapport au pied nu, a en outre été démontré (Falkingham et al., 2009 ; Bates et al., 2013). Ce dernier se traduit par l'impression d'empreintes plus superficielles. Enfin, un élément important est l'impression des orteils sur les empreintes réalisées avec un chaussant sans rembourrage, particulièrement sur le support d'argile brute – plus cohésif donc enregistrant mieux les détails (Gatesy et al., 1999 ; Milàn et Bromley, 2007 ; Jackson et al., 2009 ; Crompton et al., 2012 ; Morse et al., 2013) – et avec le chaussant 1 (moins épais). La présence d'orteils ne signifie donc pas forcément que le pied est nu et vice versa. Dans la mesure où la plupart des empreintes retrouvées en grotte ont été interprétées comme résultant de pieds nus, **ce constat va donc avoir une forte implication dans le registre fossile**. Ces résultats ont ensuite été comparés aux empreintes de Cussac. La méthode des LSR a ainsi été utilisée afin de comparer la morphologie des empreintes de Cussac à celle des empreintes expérimentales. Les empreintes de Cussac apparaissent clairement différentes des empreintes de pieds nus de notre échantillon et certaines d'entre elles se rapprochent des empreintes expérimentales de pieds chaussés, mais sans pour autant rentrer dans leur variabilité. Nous avons exclu l'hypothèse taphonomique et celle d'une morphologie différente du/es pied/s responsable/s des empreintes de Cussac pour expliquer leur singularité morphologique. Au vu de l'ensemble de ces résultats, notre hypothèse du port de chaussant est donc tout à fait envisageable.

1.1.4. Biométrie des empreintes

La détermination des données biologiques d'un individu est toujours une tâche risquée, d'autant plus si on prend en compte la variabilité rencontrée au sein de l'espèce humaine. Pour autant, la plupart des études sur les empreintes fournissent toujours des estimations de stature, de masse, d'âge, voire de sexe (Garcia et al., 1990 ; Garcia, 2005 ; Webb et al., 2006 ; Bennett et al., 2009 ; Dingwall et al., 2013 ; Ashton et al., 2014 ; Pastoors et al., 2015, 2017 ; Masao et al., 2016 ; Hatala et al., 2016 ; Citton et al., 2017 ; Altamura et al., 2018). Nous avons souhaité

tester certaines de ces méthodes sur notre référentiel fossile de Fontanet, la plupart étant basées sur le rapport longueur pied / stature ou masse, obtenu à partir d'un échantillon d'individus actuels. Les résultats obtenus ne sont, à première vue, pas aberrants mais des différences allant jusqu'à 20 cm pour la stature et 15 kg pour la masse sont relevées selon les méthodes (voir la partie relative à Fontanet). Un tel écart au niveau de l'estimation de la stature peut changer radicalement l'interprétation des empreintes, en particulier en contexte de grotte où la topographie est variée avec parfois des plafonds bas et des passages étroits. La position et la démarche dans ce type de topographie seront alors influencées par la stature de l'individu. En outre, selon les statures estimées, une différence de 20 cm peut également changer la classe d'âge. Les interprétations et hypothèses autour de la fréquentation d'une cavité ne seront pas les mêmes s'il s'agit d'individus adultes ou juvéniles. Plusieurs empreintes de Fontanet oscillent entre 1,30 m et 1,50 m environ : comment savoir quelle stature se rapproche le plus de celle de l'auteur de l'empreinte ? Les données morphométriques du pied ou de la main varient selon l'origine ethnique, le régime alimentaire, les activités ou encore l'environnement (Ruff, 2002, 2010 ; Bennett et Morse, 2014 ; Galeta et al., 2014) : comment déterminer le référentiel actuel sur lequel se baser ? Cette question peut difficilement être résolue dans la mesure où, actuellement, rien ne nous assure a priori que le référentiel utilisé pour les estimations corresponde à l'échantillon fossile. En outre, nous l'avons vu, le contexte de formation d'une empreinte joue également un rôle déterminant quant à sa biométrie et sa morphologie. Comment être certains de la fiabilité des estimations de taille et de masse quand, au sein d'une même piste, les empreintes sont différentes ?

L'approche morpho-classificatoire réalisée dans certaines grottes et basée sur les connaissances de pisteurs bushmen va beaucoup plus loin dans les déterminations des données biologiques, puisqu'elle parvient à donner le sexe et l'âge précis des auteurs des empreintes (Pastoors et al, 2015, 2017). Cette approche, complémentaire des études morphométriques classiques, repose principalement sur les connaissances, observations et déductions des pisteurs : or, le référentiel qu'ils ont empiriquement acquis est basé sur les groupes d'individus qu'ils connaissent et les environnements au sein desquels ils évoluent. La morphologie et les caractéristiques du pied varient d'une population à l'autre (Ruff, 2002, 2010 ; Bennett et Morse, 2014 ; Galeta et al., 2014) et sont par ailleurs également très dépendantes du contexte de formation et de conservation. De fait, la validité de ces interprétations quant au sexe, à la masse ou à la taille des auteurs des empreintes demeure fragile.

À partir de ce constat, comment appliquer cette approche aux empreintes paléolithiques ? Un travail expérimental comparant les méthodes classiques et l'approche morpho-classificatoire et basé sur un échantillon d'individus et de supports variés pourrait s'avérer intéressant. L'objectif serait alors de faire se déplacer les individus dont on ne connaîtrait pas, dans un premier temps, les caractéristiques, sur une surface puis de comparer les résultats obtenus avec les deux approches aux données réelles de l'échantillon (expérimentation en double aveugle). Cela pourrait permettre de mieux cerner la fiabilité de ces deux approches et leurs limites.

De plus, il serait pertinent de comparer les interprétations des pisteurs bushmen avec celles d'autres populations actuelles pratiquant le pistage. Cette « piste » a été suivie lors d'un récent colloque international consacré aux empreintes humaines et organisé par Andreas Pastoors et Tilman Lessen-Erz les initiateurs de l'approche épistémologique appliquée aux grottes paléolithiques. Ce colloque, le premier du genre (Pastoors et Lessen-Erz, 2017), a réuni plusieurs pisteurs actuels d'origines diverses (Aborigène, Inuit, Bushmen) et un groupe de chercheurs internationaux travaillant sur cette thématique. La confrontation aussi bien entre pisteurs de cultures et de milieux différents qu'entre les chercheurs travaillant sur les empreintes et ces derniers a confirmé la complémentarité des différentes approches pour l'interprétation des empreintes. Le retour à des techniques de repérage d'empreintes ancestrales par l'intermédiaire de populations usant toujours de ces techniques est, néanmoins, une excellente opportunité pour les spécialistes de se former au pistage afin d'aborder les empreintes préhistoriques avec un regard nouveau pouvant s'avérer de plus bénéfique dans la reconnaissance et l'interprétation de certaines traces, mais également dans l'interprétation de comportements humains passés.

Au final, **la mise en évidence du profil biologique des auteurs des empreintes doit être vue comme une information d'ordre général, permettant de discuter de certaines interprétations plutôt que comme un résultat exact.** La corrélation de ce résultat avec des données contextuelles peut aussi amener à préciser certaines identifications.

1.2. Contribution des empreintes à la compréhension de l'appropriation humaine du milieu souterrain au Paléolithique

Au-delà des aspects purement morphologiques et taphonomiques relatifs à l'évolution d'une empreinte, l'ichnologie apporte de précieux témoignages de vie à l'intérieur des grottes. À travers les empreintes, nous nous approchons au plus près des individus ayant fréquenté ces lieux particuliers et le défi est de parvenir à reconstituer leurs profils, actions, gestes ou relations, à comprendre leur appréhension du milieu souterrain, à anticiper leurs choix, etc. Les deux grottes étudiées ici constituent de beaux exemples du potentiel informatif des empreintes. L'association des données acquises durant les expérimentations, de même que le travail d'observation et de description sur le terrain, nous a permis de mettre en lumière différentes utilisations du milieu souterrain ainsi que certains comportements et activités.

1.2.1. Cussac et Fontanet : deux grottes, deux fonctions ?

1.2.1.1. Quels types de traces ?

Notre travail est principalement basé sur les empreintes au sol résultant de cheminement et stationnement dont le caractère est certainement involontaire. Cependant, autour de ces empreintes involontaires foisonnent une série d'empreintes (mains négatives et positives, empreintes de doigts, tracés digitaux, mains frottées ou essuyées, etc.) et de traces (mouchages de torches, traces de matière colorante, etc.) intentionnelles ou non et dont nous devons tenir compte lors de l'interprétation des empreintes. Ces traces sont souvent localisées sur les parois et parfois au sol.

Notre exploration de Cussac et de Fontanet nous a amenés à appréhender une diversité de traces remarquables, que ce soit en termes d'empreintes ou au niveau des autres types de traces d'activité. Cette diversité est manifeste aussi bien à l'échelle de chaque grotte que lorsqu'on les compare entre elles. Tandis qu'à Cussac l'exploration humaine de la cavité se marque par la présence de nombreuses traces sur les parois (mouchages, traces de matière colorante, essuyages argileux, etc.) et/ou au sol (empreintes diverses), à Fontanet, dans la partie étudiée, l'abondance d'empreintes au sol contrastant avec le peu de traces sur les parois est étonnante. Celles-ci correspondent soit à des empreintes de passage ou de stationnement, soit à des empreintes de doigts volontaires dans l'argile constituant des motifs (au total 5 motifs).

L'absence ou la quasi-absence de traces sur les parois des secteurs à empreintes de Fontanet pose cependant la question d'une possible conservation différentielle entre les traces en paroi et au sol dans la grotte.

1.2.1.2.L'appréhension de la grotte

Les grottes de Cussac et de Fontanet diffèrent l'une de l'autre, mais ont en commun une exploration exhaustive – ou presque – des lieux par les individus qui les ont fréquentées. En effet, tous les secteurs prospectés jusqu'à présent ont révélé la présence de traces anthropiques, et cela même dans des zones à l'accès difficile ou à la topographie risquée. En ce qui concerne Cussac, les passages humains se manifestent par la présence de toutes sortes de traces comprenant, sur les parois, des mouchages, des traces de matière colorante, des essuyages de doigts argileux, etc., et, sur les sols, des empreintes, quelle que soit leur définition. Ces traces s'observent aussi bien dans des passages étroits et bas que dans des secteurs en hauteur dont l'escalade pour y parvenir peut être parfois assez abrupte (Ledoux et al., 2017). À Fontanet, pour les secteurs étudiés dans ce travail, les empreintes seules nous permettent de suivre les cheminements humains. Comme pour Cussac, les empreintes sont présentes partout sans que les difficultés d'accès ou la dangerosité de certains passages ne semblent avoir été un obstacle : on pense ici à la zone du Puits. Ce type d'exploration totale n'a rien d'inédit puisqu'il s'agit d'un comportement qui s'observe dans la plupart des cavités visitées au Paléolithique (Rouzaud, 1997a ; Le Guillou, 2005 ; Bégouën et al., 2009 ; Clottes, 2010). À Chauvet, par exemple, les traces de fréquentation ne suivent pas uniquement l'axe de cheminement naturel ou « logique » de la galerie, mais se retrouvent parfois dans des secteurs où l'accès nécessite soit une escalade, soit une progression baissée voire à quatre pattes (Le Guillou, 2005). À Aitzbitarte IV, les gravures et modelages découverts récemment ont été réalisés dans une zone qui nécessite l'escalade d'une cheminée de plus de 20 mètres (Garate et al., 2018).

1.2.1.3.Les auteurs des empreintes

Quel était le profil des individus qui ont fréquenté Cussac et de ceux qui, quelques quinze milliers d'années plus tard, ont investi Fontanet ? Quelle était la composition du groupe (nombre d'individus, catégorie d'âge, sexe, etc.) ? Les empreintes constituent un des rares vestiges (outre les restes osseux) nous permettant de discuter du profil biologique des hommes

et femmes du Paléolithique. Bien qu'il soit nécessaire de considérer ces données avec prudence, pour les raisons évoquées précédemment, elles peuvent néanmoins participer à la réflexion générale concernant le profil des auteurs des empreintes. Les estimations de statures et de masses déduites pour Fontanet, associées au fait que beaucoup d'empreintes sont localisées dans des zones ne dépassant pas 1,30 m de hauteur sous plafond, penchent en faveur de la présence d'individus de petits gabarits (ne dépassant pas 1,50 m). Cela est d'autant plus vraisemblable lorsque que l'on prend en compte le dynamisme des empreintes, spécialement au niveau de la plage 1. Dans la mesure où il ne s'agit pas d'une zone restreinte et où les hauteurs basses se localisent le long de la paroi, nous imaginons difficilement un individu de grande taille se contraindre à passer sous les passages bas lorsqu'il peut aisément cheminer, à côté, sans se baisser. À partir de ces résultats, et comme nos prédécesseurs, **nous pensons donc que les visiteurs de la grotte comptaient de jeunes individus**, voire très jeunes, compte tenu de la très petite taille de certaines empreintes telles que les mains de la plage 2. En ce qui concerne leur nombre, nous ne disposons pas encore de tous les éléments nous permettant de proposer une réponse. En revanche, la concentration considérable d'empreintes sur l'ensemble de la surface de la partie de la grotte étudiée sous-entend de façon évidente **la présence de plusieurs individus**. Les résultats préliminaires sur les trois plages étudiées et basés sur les données métriques estiment leur nombre entre 2 et 6. Cependant, il est actuellement difficile d'aller plus loin. En confrontant nos premiers résultats avec ceux des pisteurs bushmen (Pastoors et al, 2015), il apparaît que nos interprétations divergent quelque peu des leurs. En effet, leur lecture des empreintes de la plage 1 a mis en évidence la présence de 13 individus (7 hommes, 2 femmes, 1 garçon et 3 filles). Ces derniers sont de plus parvenus à établir des associations entre certaines empreintes et à identifier des pistes que nous n'avons malheureusement pas réussi à corréler à notre cartographie des empreintes de cette plage. Une confrontation de notre point de vue et celui des Bushmen pourrait par conséquent être envisagée.

Les propriétés sédimentaires du support de formation des empreintes de Fontanet a, en outre, autorisé l'impression de détails remarquables et uniques en ichnologie préhistorique. En effet, certaines empreintes présentent sur leur surface l'impression des plis de la main (Fon-67) ou du pied (Fon-33). Cependant, les empreintes les plus exceptionnelles sont celles du dos de la main pour lesquelles nous parvenons à observer en détail l'impression des ongles de certains doigts (Fon-13 et Fon-9). Bien que ces impressions soient parfaitement visibles sur les empreintes originales, les moulages positifs de ces dernières ont permis un rendu en volume des mains d'un

réalisme troublant. Ces empreintes représentent, en effet, un témoignage presque direct du vivant de leur/s auteur/s nous rapprochant un peu plus de notre sujet d'étude (Figure 155).



Figure 155 : Moulages positifs de deux empreintes de mains de Fontanet (Fonds Pales).

Au vu de la particularité des empreintes de Cussac, nous n'avons pas réalisé d'estimation de stature ou de masse. Contrairement à Fontanet, les empreintes de Cussac sont peu nombreuses. Si, à Fontanet, nous pouvons avancer sans trop de difficultés qu'au moins un groupe de personnes a cheminé et stationné dans la cavité, cela est moins évident pour Cussac dans laquelle tout semble indiquer **la présence d'un nombre extrêmement réduit d'individus**. Ce constat se traduit à travers les empreintes mais également les autres traces d'activités, que l'on retrouve dans l'ensemble de la cavité de façon régulière mais qui semblent être le reflet d'un seul passage aller et retour. Les zones sous les Panneaux ornés, où l'on s'attendrait à voir une concentration importante d'empreintes au sol et des superpositions, n'attestent pas non plus d'une fréquentation intense. En témoigne la zone sous le Panneau du Bouquetin où, bien que l'on y constate une concentration de traces plus importante, celles-ci sont bien individualisées et aucune superposition n'y est attestée. Même si le peu d'empreintes paraît bien lié à une faible fréquentation de la cavité, plusieurs autres éléments peuvent également l'expliquer, en partie : les caractéristiques du sol de certaines zones ne se prêtant pas forcément à l'impression des empreintes (argile très dure, concrétionnement, etc.), la conservation différentielle des sols avec, dans certaines zones, des remplissages sédimentaires postérieurs à la fréquentation humaine, et le fait que le cheminement actuel a probablement détruit un certain nombre de traces. **De façon générale, les empreintes retrouvées en grotte semblent toujours être le**

résultat de fréquentations impliquant un petit nombre d'individus (Pales, 1976 ; Duday et Garcia, 1983 ; Clottes, 2001 ; Garcia, 2005 ; Bégouën et al., 2009 ; Clottes, 2010 ; Citton et al., 2017 ; Pastoors et al., 2017), **Cussac et Fontanet ne font donc pas exception.**

Si les empreintes et autres traces d'activité ne nous permettent pas de renseigner précisément le profil biologique de leurs auteurs, elles nous ont cependant permis de mettre en évidence certaines informations concernant leur équipement. En effet, l'une des principales problématiques de ce travail était de déterminer si les empreintes de Cussac résultaient de pieds chaussés. **Les résultats de nos expérimentations ont apporté un regard nouveau quant à ces empreintes** et tendent à soutenir cette hypothèse. Nous aurions donc ici un comportement original puisque les empreintes retrouvées en grotte sont généralement issues de pieds nus (Pales, 1960, 1976 ; Rouzaud, 1978 ; Garcia et Duday, 1983 ; Duday et Garcia, 1983 ; Garcia et al., 1990 ; Ambert et al., 2001 ; Garcia, 2005, 2001 ; Bégouën et al., 2009 ; Clottes, 2010 ; Ortega Martinez et al., 2014 ; Citton et al., 2017 ; Pastoors et al., 2017). Cependant, comme nous l'avons vu précédemment, les orteils s'impriment à travers certains chaussants assez légers. **Nous pouvons donc supposer que certaines empreintes jusque-là interprétées comme issues de pieds nus pourraient finalement être le résultat de l'impression d'un pied couvert avec un chaussant léger.** Si cela était démontré sur certaines empreintes retrouvées en grotte, notre conception des comportements en milieu souterrain en serait bouleversée. Bien sûr, rien ne nous laisse présumer, actuellement, que les empreintes connues ont été mal interprétées, mais un réexamen de ces dernières en ayant à l'esprit cet élément pourrait être envisagé.

Enfin, **les empreintes de Cussac pourraient donc être une des plus anciennes preuves indirectes du port de chaussant au Paléolithique et corroborerait certains indices de cette pratique déjà existants tels que la présence de perles autour des pieds des individus de Sunghir** (Trinkaus et al., 2014 ; Trinkaus et Buzhilova, 2018) **ou les indices ostéologiques mis en évidence sur certains restes humains du Paléolithique** (Trinkaus, 2005 ; Trinkaus et Shang, 2008).

Cette question du port de chaussant, qui avait également été soulevée à Fontanet lors des premières études (Clottes, 1973, 1975 ; Rouzaud, 1978), a en outre été prise en compte lors de notre étude sur ce site. En revanche, et comme avant nous les pisteurs bushmen (Pastoors et al., 2015), **nous pensons que les empreintes interprétées comme telles sont le résultat de l'impression de pieds nus.** La morphologie particulière peut être mise sur le compte de la

déformation de ces empreintes. La question reste malgré tout ouverte et sera prise en compte lors des prochaines études des empreintes de la grotte.

Au sein d'une grotte, les empreintes ne sont pas les seuls éléments à nous renseigner sur les comportements humains. En effet, l'inventaire des traces d'activité de Cussac nous a permis de mettre en évidence une autre caractéristique vestimentaire/stylistique. La présence régulière de traces de matière colorante au niveau des passages bas et étroits qui s'apparentent à des traces de passage non intentionnelles suggère l'existence de matière colorante directement sur les individus. Le frottement de la tête, des vêtements ou de l'équipement sur la paroi lors de la circulation au niveau de ce type de passages aurait entraîné le transfert de la matière colorante sur cette dernière. Ces traces non-figuratives, peu prises en compte dans les études en grottes (Lorblanchet, 2010 ; Pigeaud, 2003), ont récemment fait l'objet d'un réexamen et d'une classification (traces intentionnelles et traces non intentionnelles) dans certaines grottes espagnoles et françaises. La possibilité de l'utilisation de matières colorantes directement sur le corps et les vêtements des individus fréquentant ces cavités a également été évoquée (Medina-Alcaide et al., 2018).

1.2.2. Les activités et comportements dans la grotte

Les grottes au Paléolithique ne constituent pas seulement le support de manifestations artistiques mais sont aussi le centre d'activités et de comportements humains spécifiques dont la portée nous échappe parfois. Une vision globale des cavités fréquentées et de l'ensemble des traces d'activité qui y sont associées est donc essentielle pour notre compréhension des groupes investissant le milieu souterrain et de leurs choix quant au statut d'une grotte. Les empreintes et autres traces inventoriées jusqu'à présent à Cussac et Fontanet confirment que ces deux cavités n'ont pas eu la même utilisation ou fonction.

1.2.2.1. Cussac, le « sanctuaire »

Le caractère « sacré » de Cussac était déjà établi par la présence des gravures monumentales (Aujoulat et al., 2001, 2002 ; Jaubert, 2015 ; Feruglio et al., 2015) et des dépôts humains dans certaines bauges d'ours (Henry-Gambier et al., 2013 ; Villotte et al., 2015). Les traces au sol et

sur les parois soutiennent également cette théorie. En effet, la faible fréquentation, attestée par le fait que les traces d'activité ne semblent pas être le résultat d'une multitude de passages, indique que **le temps passé dans la grotte fut certainement très court et consacré à une exploration de la cavité, à la réalisation des gravures et aux dépôts humains**. Bien qu'au commencement de l'inventaire des traces d'activités, nous avons attribué le piétinement intense de certaines zones aux ours aussi bien qu'aux humains, nous pensons désormais qu'il résulte majoritairement des fréquentations ursines, dont les griffades présentes sur l'ensemble des parois de la grotte et le nombre très important de bauges témoignent de leur multiplicité. En effet, aucune des zones prospectées ne révèle de superpositions d'empreintes humaines, celles-ci étant généralement bien individualisables. Les empreintes ursines viennent toujours les recouvrir. L'impression générale, résultant de la prise en compte de l'ensemble des vestiges anthropiques de la cavité, est celle d'un **lieu dont l'investissement par l'Homme répondait à un objectif précis qui, une fois relevé, ne nécessitait plus sa présence sur place. Cet objectif était peut-être de créer un lieu symbolique et protégé, et n'étant pas destiné à être constamment visité.**

La présence des dépôts humains au sein de la cavité conforte cette hypothèse. Les premiers restes humains sont localisés à 150 mètres de l'entrée (locus 1). L'association d'art et de restes humains est déjà connue sur certains sites gravettiens tels que la grotte de Vilhonneur ou l'abri Pataud (Henry-Gambier, 2007 ; Chiotti et al., 2014) mais Cussac est unique par son contexte complexe et une topographie autrement plus développée. Bien qu'on ne connaisse pas les conditions de dépôt de ces restes, le Locus 2, qui renferme le squelette le plus complet et en connexion anatomique, relève probablement d'un dépôt primaire (Villotte et al., 2015). **La question du transport de l'individu en question jusqu'à sa bauge est donc ici posée.** En effet, atteindre ces locus devant recevoir les dépôts de corps nécessite le franchissement d'une zone escarpée correspondant à des blocs effondrés scellés par un pont d'argile (secteur du Pont d'argile). Transporter un corps dans un milieu avec une telle topographie sous-entend donc un minimum d'anticipation, avec sans doute une première exploration afin de sélectionner l'endroit adéquat et peut-être préparer la bauge recevant le corps. Malheureusement, le secteur des locus 1 et 2 fait partie des zones inondées de la cavité, la mise en évidence d'empreintes pouvant éventuellement nous aider dans la compréhension des pratiques funéraires réalisées à Cussac est donc complexe. L'étude des traces localisées sur les deux bauges constituant le Locus 1 (D2 et D3), prévue d'ici deux années⁶ et qui, du fait de sa position haute, a été préservé

⁶ Les bauges du Locus 1 ne sont actuellement pas accessibles, un aménagement étant en cours de réalisation.

des inondations, pourra peut-être nous apporter plus d'éléments sur ces pratiques. **Il semble en revanche certain que les pratiques mortuaires de Cussac sont à ce jour inédites.**

Même si nous ne saurons jamais si l'art a été réalisé avant, après ou en même temps que les dépôts des restes humains, celui-ci semble malgré tout appartenir au même ensemble symbolique que ces derniers (Aujoulat et al., 2001, 2002, 2013 ; Jaubert, 2015 ; Jaubert et al., 2017). L'étude des panneaux ornés, en particulier du Grand Panneau, est, en outre, en adéquation avec nos résultats. L'homogénéité des figures du panneau semble en effet indiquer que celui-ci a été réalisé dans un temps réduit par un individu ou un petit groupe d'individus (Feruglio et al., 2019).

Cette homogénéité démontrée par l'ensemble des vestiges est en outre appuyée par les trois datations réalisées à Cussac (deux mouchages et un reste humain) et la convention stylistique des gravures (voir la partie consacrée à Cussac).

Ces constats ne s'appliquent en revanche pour le moment qu'à la branche Aval de la cavité. Les quelques incursions en branche Amont montrent en effet des différences avec la branche Aval, notamment en ce qui concerne la composition des Panneaux et le fait qu'elle ne renferme a priori aucun reste humain. Les espaces et la topographie de cette branche sont en outre différents, ce qui nous amène à la question du rôle de la topographie dans les choix des activités et des comportements à l'intérieur des cavités. Bien qu'il soit actuellement difficile d'aller plus loin, **il semblerait que la branche Aval et la branche Amont n'aient pas joué le même rôle, faisant de Cussac une grotte à double fonction.** Cela devra néanmoins être confirmé lors des futures études sur cette partie de la cavité.

1.2.2.2. Fontanet, espace symbolique et domestique ?

La grotte de Fontanet se caractérise par de nombreux vestiges d'occupation (foyers, restes fauniques, artefacts lithiques, etc.) localisés à proximité de l'entrée originelle et associés à des panneaux ornés. Ces vestiges sont répartis sur les 80 premiers mètres de la cavité. Contrairement à Cussac, la grotte de Fontanet est donc **un espace dans lequel des manifestations pouvant relever aussi bien de la sphère symbolique que domestique semblent étroitement liées.** Les premières empreintes jusqu'à présent découvertes sont localisées un peu plus en amont dans la cavité, à partir de la grande salle. Les individus qui

fréquentaient ces « zones de séjour » (Rouzaud, 1978), entre le porche d'entrée et 40 mètres avant la grande salle, se sont donc vraisemblablement aventurés dans les profondeurs de la galerie pour en explorer tous les recoins. Leur objectif ne semble cependant pas avoir été la réalisation de manifestation graphique plus profondément dans la grotte. En effet, à Fontanet, aucun panneau orné n'est attesté au fond de la grotte : seuls des motifs au sol sont présents le long de la galerie. Après le puits, les empreintes se font de plus en plus nombreuses et se retrouvent jusqu'au fond de la galerie. Contrairement à Cussac, très peu de traces sont, en revanche, visibles sur la paroi. Les trois plages d'empreintes étudiées présentes au sein de cet ensemble sont bien représentatives des différents types de manifestations ichnologiques de la grotte. La plage 1 correspond à une zone dans laquelle il y a une forte concentration d'empreintes et des superpositions témoignant d'un stationnement dans la zone. La plage 2 correspond à une zone caractérisée par plusieurs empreintes de mains et témoignant d'un stationnement en position basse. La plage 3 présente des empreintes de pieds relativement bien individualisables et se caractérise par la présence du signe au doigt associé à l'empreinte Fon-63. À la différence de Cussac et de par leur nombre, leur diversité et leur dynamisme, les seules empreintes de Fontanet nous permettent de mettre en évidence certains comportements ou activités qui se sont déroulés dans cette partie de la cavité. **Deux types d'empreintes peuvent être mis en évidence : les empreintes liées à un cheminement et celles liées à un stationnement dont la durée nous échappe.**

De par sa taille et sa concentration d'empreintes, la plage 1 est inévitablement la plus riche en informations. Malgré la conservation exceptionnelle des empreintes, leur lisibilité est bouleversée par le désordre apparent de la surface. En effet, **il ne s'agit pas seulement ici d'une zone de cheminements linéaires mais d'un espace de stationnement dont les empreintes et les nombreuses superpositions témoignent de multiples positions, modes de locomotion et directions.** Grâce à la mise en relation de certaines empreintes, nous avons pu recréer certaines positions, et la prise en compte de la topographie de la zone, notamment des zones basses, nous a permis d'en comprendre d'autres.

Même si la zone offre la possibilité de cheminer aisément, sans se baisser, nombreuses sont les empreintes localisées très près de la paroi et sous ses parties basses. Nous pourrions, dans un premier temps, interpréter cela comme une preuve de prudence, les individus longeant les parois afin d'avoir un repère (Rouzaud, 1978). Cependant, plusieurs éléments vont à l'encontre de cette interprétation :

- La présence d'empreintes sur l'ensemble de la surface, même dans les zones éloignées des parois.
- Fontanet est une galerie linéaire et hormis la grande salle, l'espace y est relativement réduit. Le risque de se perdre est donc limité.
- La présence d'empreintes résultant de positions accroupies et qui ne sont donc pas liées à un cheminement.

Par conséquent, quels types de comportements/activités les empreintes issues d'un stationnement reflètent-elles ?

Les caractéristiques dynamiques des empreintes et leur intégration dans la topographie de la grotte renforcent l'hypothèse, mise en évidence par la taille de certaines empreintes des plages 1 et 2, de l'existence de juvéniles parmi le groupe d'individus présents dans la grotte. Il est tout à fait envisageable que la grotte ait été, entre autre, **le centre d'activités ludiques pour de jeunes individus**. Cela est d'autant plus plausible si l'on considère qu'hormis le puits, la grotte ne comporte pas de zones très dangereuses ou difficiles d'accès. En outre, un talus argileux localisé au niveau de la galerie Méroc porte les traces de prélèvement d'argile. Au-dessus de ce talus, des boulettes d'argile, dont nous pouvons sans difficulté imaginer qu'elles proviennent de ce dernier ont été écrasées sur la paroi. Lorsqu'on rassemble ces éléments, l'image de la zone comme ayant été le centre d'activité impliquant l'argile – comme l'avaient déjà supposé Garcia et Duday (1993) – devient possible (Figure 156).

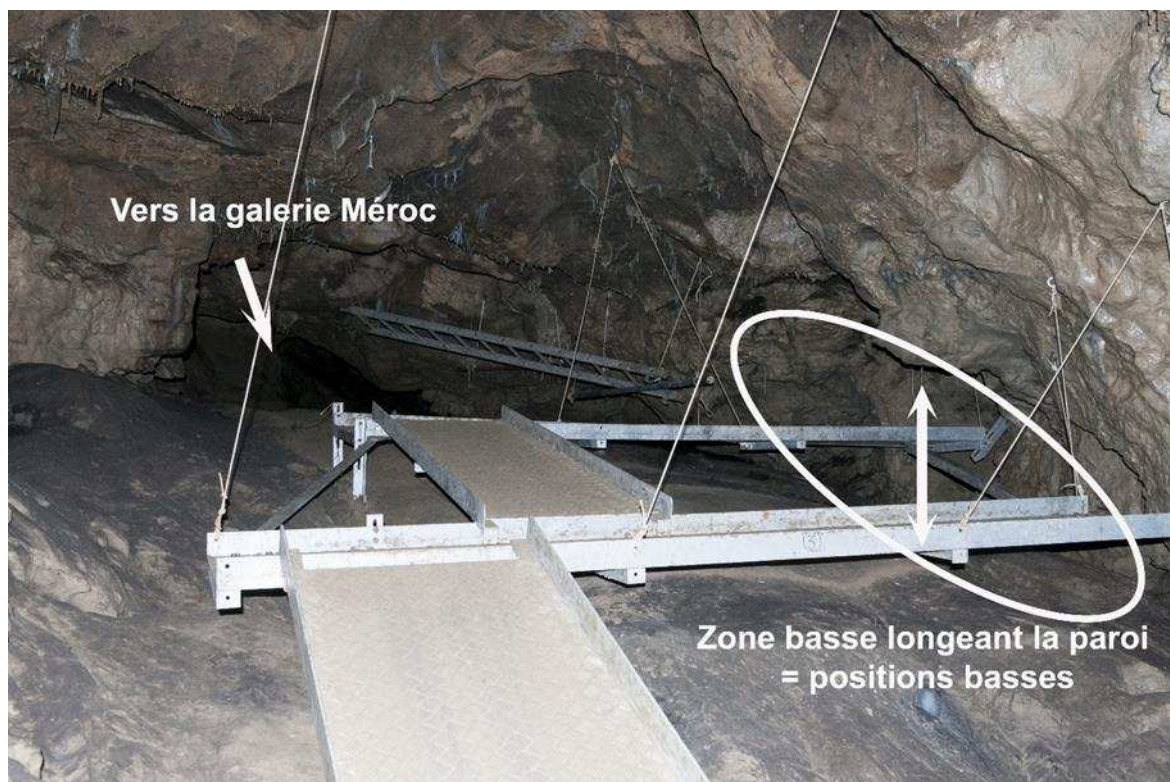


Figure 156 : Grotte de Fontanet, secteur de la plage 1.

La présence d'enfants dans les grottes ornées est déjà attestée et cela pour toutes les périodes. Elle est généralement mise en évidence par les empreintes. Par exemple, les grottes de Chauvet, du Tuc d'Audoubert, de Montespan (Laborde, 2011), de Niaux (réseau Clastres), de Pech Merle, de la Bâsura (Citton et al., 2017) ou encore de l'Aldène, font état d'empreintes attribuées à des enfants. Dans la plupart des cas, il semble que ces jeunes individus soient accompagnés d'adultes (Pales, 1976 ; Duday et Garcia, 1983 ; Garcia et al., 1990 ; Ambert et al., 2001 ; Garcia, 2005 ; Bégouën et al., 2009 ; Pastoors et al., 2015, 2017 ; Citton et al., 2017). Les premières études réalisées notamment dans les grottes du Pech Merle, du Tuc d'Audoubert et de Montespan (Bégouën et Vallois, 1928 ; Lemozi, 1929) voient à travers les empreintes des témoignages de comportements symboliques basés sur des rituels initiatiques (impliquant de jeunes individus) ou autres cérémonies religieuses. Ces interprétations ont par la suite été modérées au profit d'explications plus pragmatiques dont nous sommes partisan (Pales, 1976 ; Duday et Garcia, 1983 ; Garcia et al., 1990 ; Garcia, 2005 ; Bégouën et al., 2009 ; Pastoors et al., 2015, 2017). Il est en tout cas évident que certaines grottes ne semblent pas avoir été réservées à une catégorie spécifique d'individus. **La présence des enfants dans l'espace souterrain est aujourd'hui indubitable mais leur rôle reste encore à définir.** Les empreintes

ou autres traces identifiées comme appartenant à des enfants semblent montrer aussi bien des gestes, comportements ou activités ordinaires comme à Fontanet ou encore au Tuc d'Audoubert (Bégouën et al., 2009) qu'une participation active dans les activités relevant du « symbolique ». Cette participation se rencontre notamment sur les parois dans la réalisation des mains négatives et positives de plusieurs grottes (Gargas, Cosquer) ou encore à travers les tracés digitaux comme à Rouffignac, où la comparaison d'un échantillon de tracés digitaux actuels avec les tracés digitaux de la grotte a montré que certains semblaient appartenir à de très jeunes individus (Sharpe et Gelder, 2006 ; Gelder, 2015). La frontière entre activités usuelles et symboliques est, cependant, difficile à mettre en évidence puisque ces deux aspects se retrouvent parfois dans un même espace. À Fontanet, l'absence d'art sur les parois de la partie de la grotte étudiée n'empêche pas sa présence sur le sol, à travers plusieurs motifs réalisés par appuis de doigts. Dans ce secteur se mêlent ainsi des empreintes intentionnelles et non intentionnelles. Cependant, la limite entre les deux est parfois ambiguë, comme nous l'avons vu avec l'association de Fon-64 et du signe triangulaire. Cette confusion entre empreintes intentionnelles et non intentionnelles se retrouve également au Tuc d'Audoubert dans laquelle certains motifs au doigt sont oblitérés par des empreintes de pied (Bégouën et al., 2009).

1.2.2.3. Les empreintes non humaines

Les grottes fréquentées par les Hommes l'ont également souvent été par d'autres espèces. Ainsi, plusieurs grottes ont, par exemple, livré des empreintes d'ursidés, de canidés, d'hyènes et plus rarement de bouquetins. Parmi ces espèces, l'ours est sans aucun doute la plus fréquente, les grottes constituant des repaires idéaux en période d'hivernation. Sa présence est la plupart du temps attestée par des restes osseux, des griffades en paroi, des empreintes, des bauges ou encore des polis. Au Paléolithique, l'ours et l'Homme se partagent donc le milieu souterrain, les grottes étant alternativement visitées par l'un et l'autre. Une interaction indirecte entre ces deux espèces est attestée dans l'art (Rouzaud, 1997b ; Man-Estier, 2009) à travers certains comportements humains vis-à-vis des vestiges ursins sans que nous en sachions pour autant la signification. À Chauvet et au Tuc d'Audoubert par exemple, certains ossements ont été déplacés volontairement (Clottes, 2001 ; Bégouën et al., 2009), voire brisés comme dans la grotte des Trois-Frères (Rouzaud, 1997b). À Rouffignac, des griffades d'ours et des tracés digitaux humains se juxtaposent sur certains panneaux (Ladier et al., 2003). À Niaux, un dessin réalisé sur le sol limoneux évoque une empreinte de main d'ours (Rouzaud, 1997b), etc.

À Cussac, l'ours est omniprésent et deux fréquentations distinctes minimum, antérieures à la fréquentation humaine, ont pu être mises en évidence (Ledoux et al, 2017). Cette fois, ce sont leurs bauges qui ont eu la préférence des Hommes, puisque ces derniers y ont déposé leurs morts. Les vestiges les plus nombreux et attestés dans l'ensemble de la cavité sont les empreintes et les griffades. Cette omniprésence de l'ours a, souvent, compliqué l'identification des empreintes humaines, puisque celles-ci, moins nombreuses, viennent se superposer à de nombreux piétinements ursins. Cela est d'autant plus complexe dans les zones ayant souffert des inondations. Il ne faut pas non plus oublier que les ours sont des plantigrades dont les empreintes, dans certaines conditions (observations éloignées, taphonomie, etc.), peuvent évoquer celles d'humains. Maintenant que nous connaissons un peu mieux l'influence de certains phénomènes taphonomiques présents à Cussac, **la prochaine étape sera de parvenir à discriminer les empreintes humaines des empreintes ursines** dans ces zones de superpositions. **Les empreintes ursines en grotte n'ont, par ailleurs, jamais bénéficié de vraies études ichnologiques comparatives**, la plupart des études se concentrant sur leurs restes osseux. Les données sont pourtant nombreuses et permettraient de renseigner l'éthologie de ces animaux, leur état sanitaire, etc.

À Fontanet, la présence ursine n'est pas attestée de façon certaine. Hormis des dépressions qui pourraient correspondre à d'anciennes bauges, bien antérieures à la fréquentation humaine et localisées dans la première partie de la cavité, aucun autre vestige lié au plantigrade n'a été découvert ou identifié. En revanche, des empreintes de bouquetin et de petit canidé ont été relevées (Figure 157). Ce qui retient l'attention est **l'association des empreintes de canidé avec les empreintes humaines**, notamment celles de la plage 2. Cela a très rapidement soulevé la question de la contemporanéité des deux espèces. Au vu de leur petite taille, celles-ci avaient été interprétées comme appartenant à un renard. Nous ne sommes actuellement pas en mesure d'en dire plus car nous ne les avons pas encore inventoriées ni étudiées. Ce type d'association a déjà été observée à Chauvet, grotte dans laquelle une piste humaine et une piste de canidé se suivent (Garcia, 2001, 2005). Ces empreintes avaient été dans un premier temps identifiées par Michel-Alain Garcia, sur des critères morphologiques, comme appartenant peut-être à un chien. Une précédente étude comparative (morphométrie géométrique) sur les empreintes de canidés (loups et grands chiens) menée par nos soins avait démontré que les critères traditionnellement utilisés dans la littérature pour différencier les empreintes de loup et de chien n'étaient pas fiables, mais qu'il existait malgré tout de subtiles différences morphologiques entre les deux sous-espèces (Ledoux et Boudadi-Maligne, 2015). La question de l'auteur des empreintes de

Chauvet n'est cependant, aujourd'hui, pas tranchée, même si celle-ci implique désormais un troisième type de canidé, le dhole (Ledoux et Boudadi-Maligne, 2015 ; Fosse et al., 2018). Que ce soit pour Chauvet ou pour Fontanet, l'association d'empreintes humaines et de canidés soulève donc **la question de l'interaction et des relations de ces deux espèces au Paléolithique et s'intègre dans les problématiques autour de la domestication.**



Figure 157 : Empreinte du petit canidé de Fontanet.

2. Conclusion et perspectives

2.1. « Montre-moi ton pied et je te dirai qui tu es » (Pales, 1976)

Cette expression optimiste est cependant nuancée par Pales dès la phrase suivante. En effet, comme lui et d'autres l'ont parfaitement démontré, retrouver la personne qui se cache derrière une empreinte n'est pas une mince affaire (Pales, 1976 ; Bennett et Morse, 2014 ; Falkingham et al., 2016). Nous pouvons néanmoins nous en rapprocher, non par l'étude de l'empreinte seule, mais par son insertion dans l'ensemble de son contexte.

Nos études de cas des empreintes de Cussac et de Fontanet témoignent bien de la variété des grottes fréquentées au Paléolithique aussi bien du point de vue ichnologique, archéologique que géomorphologique, ces trois aspects étant étroitement liés.

Grâce à la combinaison du travail sur le terrain, de l'étude ex situ à travers la 3D et des expérimentations, le profil des individus ayant fréquenté ces deux cavités se dessine peu à peu, et nous sommes désormais en mesure de proposer certaines hypothèses concernant l'appropriation par l'Homme du monde souterrain.

L'apport de cette recherche à la fois pluri et interdisciplinaire est donc double puisque que celle-ci s'inscrit dans un premier temps dans les problématiques générales liées aux empreintes de toutes espèces et issues de contextes divers. Dans un deuxième temps, elle s'intègre parfaitement dans l'intérêt grandissant des études en grottes ornées pour l'ensemble des vestiges, même les plus ténus. À travers les empreintes, nous participons donc à la compréhension des activités et comportements humains au sein des cavités et plus généralement au sein des sociétés paléolithiques.

2.2. Perspectives

L'exploration et l'étude des grottes de Cussac et de Fontanet sont loin d'être achevées. Les prochaines années vont donc voir la poursuite des inventaires entamés sur chacun de ces sites et des études de leurs empreintes à partir des bases méthodologiques que nous avons présentées tout au long de ce manuscrit.

À Cussac, l'inventaire de la branche Aval est en passe d'être terminé et le SIG en cours d'élaboration. Nous aurons donc bientôt la possibilité d'observer les empreintes et autres vestiges dans leur globalité, ce qui nous permettra de préciser nos interprétations et de proposer des modèles de déplacements dans la cavité à l'image de ce que nous avons amorcé à partir du Panneau du Bouquetin. L'expérience et les connaissances acquises (notamment à travers le travail expérimental) pourront, en outre, être bénéfiques afin de réexaminer certains secteurs prospectés au début de l'inventaire. À long terme et une fois les traces de la branche Amont inventoriées, une comparaison entre les deux parties de la cavité sera réalisée.

À Fontanet, outre l'inventaire qui ne fait que débiter, il est impératif de commencer l'étude géoarchéologique afin de comprendre le contexte de formation et de conservation des empreintes. Cela nous aidera, de plus, dans la mise en place d'une chronologie relative des empreintes dans les secteurs à forte concentration d'empreintes (page 1). Grâce au modèle 3D, les empreintes seront insérées au sein de la topographie générale de la cavité ce qui nous

permettra d'obtenir une vue d'ensemble et peut-être de dégager des modèles de comportements humains. À terme, nous tenterons d'établir un lien avec la deuxième partie de la cavité, correspondant au secteur orné afin de comprendre qu'elles sont les raisons possibles d'une différence si marquée entre ces deux secteurs. L'absence d'art en paroi dans la deuxième partie est-elle volontaire ? Pourquoi ce choix ? Est-ce un problème de conservation ? Les deux parties sont-elles contemporaines ?

Les résultats obtenus à partir de nos expérimentations sont prometteurs, mais encore exploratoires. Nous souhaitons donc poursuivre ce travail en impliquant plus de facteurs : échantillons d'individus plus grands et plus variés, différents types de supports et phénomènes taphonomiques observés en grotte, etc. Ces travaux pourront être réalisés en milieu contrôlé, comme cela a été le cas durant notre thèse. Cependant, des essais en grotte seraient bénéfiques afin d'étudier ces phénomènes en conditions réelles. En outre, la topographie d'une grotte a inmanquablement une influence sur le mode de locomotion mais conditionne également les positions et comportements adoptés. Nous n'évoluons pas de la même façon en milieu clos, contraint et sombre qu'en plein air. Par conséquent, plus nous nous rapprocherons de la réalité topographique des grottes étudiées meilleure sera notre compréhension des empreintes.

L'apport de la 3D dans l'étude des empreintes est indubitable et notre étude montre la nécessité d'approfondir l'utilisation de ces techniques en grotte que ce soit d'un point de vue scientifique ou conservatoire.

Les aspects chronoculturels ont volontairement été mis de côté durant cette étude, puisque les deux sites étudiés ici ne datent pas de la même période et que peu de grottes ont finalement bénéficié d'une étude ichnologique complète et actualisée. La comparaison entre grottes contemporaines à partir des empreintes est donc prématurée, d'autant plus que les études de Cussac et de Fontanet sont toujours en cours. Dans les années à venir, nous espérons néanmoins parvenir à créer des liens par le biais des empreintes, entre certains sites chronologiquement et/ou spatialement proches (e.g. grottes pyrénéennes magdaléniennes).

Bibliographie

ALEXANDER R.M. (1976) – Estimates of speeds of dinosaurs, *Nature*, 261, 5556, p.129-130.

ALEXANDER R.M. (1984) – Stride length and speed for adults, children, and fossil hominids, *American Journal of Physical Anthropology*, 63, 1, p.23-27.

ALEXANDER R.M. (2006) – Dinosaur biomechanics, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273, 1596, p. 1849-1855.

ALLEN J.R.L. (1997) – Subfossil mammalian tracks (Flandrian) in the Severn Estuary, S. W. Britain: mechanics of formation, preservation and distribution, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 352, 1352, p. 481-518.

ALTAMURA F., BENNETT M.R., D'AOÛT K., GAUDZINSKI-WINDHEUSER S., MELIS R.T., REYNOLDS S.C., MUSSI M. (2018) – Archaeology and ichnology at Gombore II-2, Melka Kunture, Ethiopia: everyday life of a mixed-age hominin group 700,000 years ago, *Scientific Reports*, 8, 2815.

AMBERT P., COLOMER A., GALANT P. (2000) – Datations mésolithiques des empreintes humaines de l'étage Cathala de la grotte d'Aldène (Cesseras, Hérault), *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 331, 1, p. 67-74.

AMBERT P., GALANT P., COLOMER A. (2001) – Incursions spéléologiques mésolithiques dans la grotte d'Aldène (Cesseras, Hérault), *Bulletin de la Société préhistorique française*, 98, 3, p. 497-503.

ARAMAYO S.A. (2009) – A Brief Sketch of the Monte Hermoso Human Footprint Site, South Coast of Buenos Aires Province, Argentina, *Ichnos*, 16, 1-2, p. 49-54.

ARIAS P. (2009) – Rites in the dark? An evaluation of the current evidence for ritual areas at Magdalenian cave sites, *World Archaeology*, 41, 2, p. 262-294.

ARIAS P., LAVAL E., MENU M., SAINZ C.G., ONTAÑÓN R. (2011) – Les colorants dans l'art pariétal et mobilier paléolithique de La Garma (Cantabrie, Espagne), *L'Anthropologie*, 115, 3-4, p. 425-445.

ASHIZAWA K. KUMAKURA C., KUSUMOTO A., NARASAKI S. (1997) – Relative foot size and shape to general body size in Javanese, Filipinas and Japanese with special reference to habitual footwear types, *Annals of Human Biology*, 24, 2, p. 117-129.

ASHTON N., LEWIS S.G., DE GROOTE I., DUFFY S.M., BATES M., BATES R., HOARE P., LEWIS M., PARFITT S.A., PEGLAR S., WILLIAMS C., STRINGER C. (2014) – Hominin Footprints from Early Pleistocene Deposits at Happisburgh, UK M. D. Petraglia dir, *PLoS ONE*, 9, 2.

ATAMTURK D., DUYAR I. (2008) – Age-Related Factors in the Relationship Between Foot Measurements and Living Stature and Body Weight, *Journal of Forensic Sciences*, 53, 6, p. 1296-1300.

AUJOULAT N., GENESTE J.-M., ARCHAMBEAU C., DELLUC M., DUDAY H., HENRY-GAMBIER D. (2001) – La grotte ornée de Cussac (Dordogne). Observations préliminaires, *PALEO. Revue d'archéologie préhistorique*, 13, p. 9-18.

AUJOULAT N., GENESTE J.-M., ARCHAMBEAU C., DELLUC M., DUDAY H., HENRY-GAMBIER D. (2002) – La grotte ornée de Cussac - Le Buisson-de-Cadouin (Dordogne) : premières observations, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 99, 1, p. 129-137.

AUJOULAT N., FERUGLIO V., FOURMENT N., HENRY-GAMBIER D., JAUBERT J. (2005) – Contribution de la saisie tridimensionnelle à l'étude de l'art pariétal et de son contexte physique, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 102, 1, p. 189-197.

AUJOULAT N., FERUGLIO V., FOURMENT N., HENRY-GAMBIER D., JAUBERT J. (2013) – Le sanctuaire gravettien de Cussac (Le Buisson-de-Cadouin, Dordogne, France) : premiers résultats d'un projet collectif de recherche. *International Newsletter on Rock Art (INORA)*, 65, p. 7-18.

AZÉMA M., GELY B., PRUDHOMME F., SOCIETE ATM3D (2010) – Relevé 3D de gravures fines paléolithiques dans l'abri du Colombier (gorges de l'Ardèche), *In Situ*, 13.

BADER O.N. (1998) – Posdnepaleoliticheskoje posselenije Sungir (Upper Palaeolithic site Sungir (grave and environment)), *Scientific World*, Moscou, 205 p.

BALBIN BEHRMANN R., ALCOLEA GONZALEZ J., GONZALEZ PEREDA M. (1999) – Une vision nouvelle de la grotte de Pindal, Pimiango, Ribadedeva, Asturie, *L'Anthropologie*, 103, 1, p. 51-92.

BARFIELD L. (1994) – The Iceman reviewed, *Antiquity*, 68, 258, p. 10-26.

BARRIÈRE C. (1976) – *L'Art Pariétal de la Grotte de Gargas.*, *British Archaeological Reports International Series 14*, Oxford Archaeopress, 409 p.

BARRIÈRE C., SAHLY A. (1964) – Les empreintes humaines de Lascaux, in E. Ripoll (ed.) *Miscelánea en homenaje al abate Henri Breuil 1877-1961*, Instituto de Prehistoria y Arqueologia, p.173-180.

BATES K.T., COLLINS D., SAVAGE R., MCCLYMONT J., WEBSTER E., PATAKY T.C., D'AOUT K., SELLERS W.I., BENNETT M.R., CROMPTON R.H. (2013) – The evolution of compliance in the human lateral mid-foot, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280, 1769, p. 1-7.

BÉGOUËN H., VALLOIS H.V. (1928) – Les empreintes de pieds préhistoriques. Paris, E. Nourry, 16 p.

BÉGOUËN, R., FRITZ C., TOSELLO G., CLOTTES J., PASTOORS A., FAIST F. (2007) – Les Magdaléniens modelaient aussi l'argile, *Les dossiers de l'Archéologie*, 324, p. 30-37.

BÉGOUËN R., CLOTTES J., FERUGLIO V., PASTOORS A. (2014) –La caverne des Trois-Frères *anthologie d'un exceptionnel sanctuaire préhistorique*, Paris, Éditions d'art Somogy : Association Louis Bégouën, 247 p.

BÉGOUËN R., FRITZ C., TOSELLO G., CLOTTES J., PASTOORS A., FAIST F. (2009) –*Le Sanctuaire secret des bisons. Il y a 14000 ans, dans la caverne du Tuc d'Audoubert*, Paris, Éditions d'art Somogy, 2009, 416 p.

BEHRENSMEYER A.K., LAPORTE L.F. (1981) – Footprints of a Pleistocene hominid in northern Kenya, *Nature*, 289, 5794, p. 167-169.

BENITO-CALVO A., ORTEGA MARTÍNEZ A.I., RUIZGARCÍA F., KARAMPAGLIDIS T., CAMPAÑA I., MARTÍN MERINO M.A. (2013) – Aplicación de escáneres láser 3d y técnicas gis para la reconstrucción y análisis de yacimientos arqueológicos: las galerías de las huellas (complejo kárstico de ojo guareña, burgos), in r. baena, j.j. fernández, i. guerrero (dirs.), *el cuaternario ibérico: investigación en el s.XXI- aequa, sevilla*, p. 219-221.

BENNETT M.R., HARRIS J.W.K., RICHMOND B.G., BRAUN D.R., MBUA E., KIURA P., OLAGO D., KIBUNJIA M., OUMOMBO C., BEHRENSMEYER A.K., HUDDART D., GONZALEZ S. (2009) – Early Hominin Foot Morphology Based on 1.5-Million-Year-Old Footprints from Ileret, Kenya, *Science*, 323, 5918, p. 1197-1201.

BENNETT M.R., FALKINGHAM P., MORSE S.A., BATES K., CROMPTON R.H. (2013) – Preserving the Impossible: Conservation of Soft-Sediment Hominin Footprint Sites and Strategies for Three-Dimensional Digital Data Capture, *PLoS ONE*, 8: e60755.

BENNETT M.R., MORSE S.A., LIUTKUS-PIERCE C., MCCLYMONT J., EVANS M., CROMPTON R.H., FRANCIS THACKERAY J. (2014) – Exceptional preservation of children's footprints from a Holocene footprint site in Namibia, *Journal of African Earth Sciences*, 97, p. 331-341.

BENNETT M.R., MORSE S.A. (2014) –Human Footprints: Fossilised Locomotion? Springer International Publishing, 228 p.

BENNETT M. R., REYNOLDS S.C., MORSE S.A., BUDKA M. (2016a) – Footprints and human evolution: Homeostasis in foot function? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 461, p. 214-223.

BENNETT M. R., REYNOLDS S.C., MORSE S.A., BUDKA M. (2016b) – Laetoli's lost tracks: 3D generated mean shape and missing footprints, *Scientific Reports*, 6: 21916.

BENNETT M.R., BUDKA M. (2019) –Digital Technology for Forensic Footwear Analysis and Vertebrate Ichnology, Springer International Publishing, 260 p.

BERGE C., PENIN X., PELLÉ É. (2006) – New interpretation of Laetoli footprints using an experimental approach and Procrustes analysis: Preliminary results, *Comptes Rendus Palevol*, 5, 3-4, p. 561-569.

BRAND L.R. (1996) – Variations in salamander trackways resulting from substrate differences, *Journal of Paleontology*, 70, 06, p. 1004-1010.

BREITHAAPT B.H., MATTHEWS N.A., NOBLE T.A. (2001) – Innovative documentation methodologies in the study of the most extensive dinosaur tracksite, in Wyoming, in V.L. Santucci., L. McClelland (eds.) *The 6th Fossil Resources Conference, Proceedings*, United States Department of Interior, National Park Services, Geological Resources Division, p.113-122.

BREITHAAPT B.H., MATTHEWS N.A., NOBLE T.A. (2004) – An Integrated Approach to Three-Dimensional Data Collection at Dinosaur Tracksites in the Rocky Mountain West, *Ichnos*, 11, 1-2, p. 11-26.

BROWN F.H., HAILEAB B., MCDUGALL I. (2006) – Sequence of tuffs between the KBS Tuff and the Chari Tuff in the Turkana Basin, Kenya and Ethiopia, *Journal of the Geological Society*, 163, 1, p. 185-204.

BUCKLAND W. (1828) – Note sur les Traces de Tortues observées dans le grès rouge, in *Annales des sciences naturelles*, Paris, Béchét, p. 85-86.

BURNS A. (2014) –The Prehistoric Footprints at Formby: Discover the Footprints on the Sefton Coast and Take a Glimpse into Prehistoric Britain, *Sefton Coast Landscape Partnership Scheme*, 44 p.

BUSTOS D., JAKEWAY J., URBAN T.M., HOLLIDAY V.T., FENERTY B., RAICHLIN D.A., BUDKA M., REYNOLDS S.C., ALLEN B.D., LOVE D.W., SANTUCCI V.L., ODESS D., WILLEY P., MCDONALD H.G., BENNETT M.R. (2018) – Footprints preserve terminal Pleistocene hunt? Human-sloth interactions in North America, *Science Advances*, 4, eaar7621.

CAMUS H. (2017) – Suivi karstologique du site de la grotte de Cussac éléments de topographie, in J. Jaubert (dir.) *Grotte de cussac(le buisson-de-cadouin, dordogne). Projet collectif de recherche 2016. Prospection thématique avec relevé d'art rupestre 2016*, p. 43-70.

CATHALA A. (1948) –*La Grotte de Fontanet-la-Salvatge: commune d'Ornolac, Ussat-les-Bains, Ariège*, Impr. de Douladoure frères.

CATHALA D. (1946) – Etude sur la rivière souterraine de Fontanet, à Ussat-les-Bains et ses différents étages, *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse*, 2, p. 23-25.

CHAZEL L., CHAZEL M. (2011) –*Reconnaître et décoder les traces d'animaux*, Quae, 192 p.

CHIOTTI L., NESPOULET R., HENRY-GAMBIER D., VERCOUTERE C., CREPIN L., LEBON M., BECK L., MULER K., REICHE I. (2014) – Un comportement funéraire original au Gravettien final. Bilan des analyses et études 2005-2011 de la couche 2 de l'abri Pataud (Les Eyzies-de-Tayac, Dordogne, France), in P. Paillet (dir.) Conférence: Micro-analyses et datations de l'art préhistorique dans son contexte archéologique Actes du colloque « Micro-analyses et datations de l'art préhistorique dans son contexte archéologique », MADAPCA - Paris, 16-18 novembre 2011, PALEO numéro spécial, p. 183-193.

CITTON P., ROMANO M., SALVADOR I., AVANZINI M. (2017) – Reviewing the upper Pleistocene human footprints from the 'Sala dei Misteri' in the Grotta della Bàsura (Toirano, northern Italy) cave: An integrated morphometric and morpho-classificatory approach, *Quaternary Science Reviews*, 169, p. 50-64.

CLIQUET D. (2012) – Quand les Néandertaliens vivaient au Rozel, il y a 110000 ans, *Archéologie en Basse-Normandie*, 1, DRAC de Basse-Normandie, 9 p.

CLOTTE J. (1973) – Midi-Pyrénées., *Gallia Préhistoire*, 16, p. 481-523.

CLOTTE J. (1975) – Midi-Pyrénées, *Gallia Préhistoire*, 18, p. 613-650.

CLOTTE J. (1984) – Grotte de Labastide., in *L'art des cavernes. Atlas des grottes ornées paléolithiques françaises*, Paris, p. 527-535.

CLOTTE J. (1993) – Ichnologie, in *L'art pariétal paléolithique. Techniques et méthodes d'étude*, Comité Des Travaux Historiques Et Scientifiques, Paris, p. 49-56.

CLOTTE J. (2001) – *La grotte Chauvet. L'Art des origines*, Seuil, Paris, France, 2001, 224 p.

CLOTTE J. (2010) – Les cavernes de Niaux: art préhistorique en Ariège-Pyrénées, Paris, Errance, 2010, 229 p.

CLOTTE J., SIMONNET R. (1972) – Le réseau René Clastres de la caverne de Niaux (Ariège), *Bulletin de la Société préhistorique française. Études et travaux*, p. 293-323.

CLOTTE J., ROUZAUD F., WAHL L. (1984) – Grotte de Fontanet., in *L'art des cavernes. Atlas des grottes ornées paléolithiques françaises*, Paris, p. 433-437.

COLLARD M., TARLE L., SANDGATHE D., ALLAN A. (2016) – Faunal evidence for a difference in clothing use between Neanderthals and early modern humans in Europe, *Journal of Anthropological Archaeology*, 44, p. 235-246.

CROMPTON R.H., PATAKY T.C., SAVAGE R., D'AOUT K., BENNETT M.R., DAY M.H., BATES K., MORSE S., SELLERS W.I. (2012) – Human-like external function of the foot, and fully upright gait, confirmed in the 3.66 million year old Laetoli hominin footprints by topographic statistics, experimental footprint-formation and computer simulation, *Journal of The Royal Society Interface*, 9, 69, p. 707-719.

D'AOÛT K., ALLEN A. (2017) – Walking in minimal shoes and standard hiking boots on smooth and rough surfaces, *Footwear Science*, 9, sup1, p. S97-S98.

D'AOÛT K., MEERT L., VAN GHELUWE B., DE CLERCQ D., AERTS P. (2010) – Experimentally generated footprints in sand: Analysis and consequences for the interpretation of fossil and forensic footprints, *American Journal of Physical Anthropology*, 141, p. 515-525.

D'AOÛT K., PATAKY T.C., DE CLERCQ D., AERTS P. (2009) – The effects of habitual footwear use: foot shape and function in native barefoot walkers, *Footwear Science*, 1 (2), p. 81-94.

DAY M.H., WICKENS E.H. (1980) – Laetoli Pliocene hominid footprints and bipedalism, *Nature*, 286, 5771, p. 385-387.

DELANNOY J.-J., SADIÉ B., JAILLET S., PLOYON E., GENESTE J.-M. (2010) – Reconstitution de l'entrée préhistorique de la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche, France) : les apports de l'analyse géomorphologique et de la modélisation 3D, *Kartologia*, 56, p. 17-34.

DELTEIL J., DURBAS P., WAHL L. (1972) – Présentation de la galerie ornée de Fontanet (Ornolac-Ussat-les-Bains, Ariège), *Bulletin de la Société préhistorique Ariège-Pyrénées*, 27, p. 11-20.

DINGWALL H.L., HATALA K.G., WUNDERLICH R.E., RICHMOND B.G. (2013) – Hominin stature, body mass, and walking speed estimates based on 1.5 million-year-old fossil footprints at Ileret, Kenya, *Journal of Human Evolution*, 64, 6, p. 556-568.

DUDAY H., GARCIA M.A. (1983) – Les empreintes de l'Homme préhistorique. La grotte du Pech-Merle à Cabrerets (Lot): une relecture significative des traces de pieds humains, *Bulletin de la Société préhistorique française*, p. 208-215.

DUDAY H., GARCIA M. (1986) – La Paléo Ichnologie humaine (étude des empreintes fossiles), *Bulletin de la Société d'Anthropologie du Sud-Ouest Bordeaux*, 21, 1.

DUDAY H., GARCIA M.-A. (1985) – L'homme et la caverne, *Dossiers d'Archéologie*, 90, p. 35-39.

DUDAY H., PÉRUCHON E. (1985) – La marche humaine, *Dossiers d'Archéologie*, 90, p. 29-34.

DURAND J.-M. (1947) – Observations sur l'industrie préhistorique de Fontanet (Ariège), *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse*, 3, p. 241-244.

DUTUIT J.-M., HEYLER D. (1985) – L'ichnologie, sciences des traces fossiles, *Dossiers d'Archéologie*, 90, p. 12-23.

FALKINGHAM P.L., MARGETTS L., MANNING P.L. (2009) – Fossil vertebrate tracks as paleopenetrometers: confounding effects of foot morphology, *PALAIOS*, 25, 6, p. 356-360.

FALKINGHAM P.L., MARTY D., RICHTER A. (2016) –Dinosaur Tracks: The Next Steps, Indiana University Press, 428 p.

FALKINGHAM P.L., BATES K.T., AVANZINI M., BENNETT M., BORDY E.M., BREITHAUP T B.H., CASTANERA D., CITTON P., DÍAZ-MARTÍNEZ I., FARLOW J.O., FIORILLO A.R., GATESY S.M., GETTY P., HATALA K.G., HORNUNG J.J., HYATT J.A., KLEIN H., LALLENSACK J.N., MARTIN A.J., MARTY D., MATTHEWS N.A., MEYER C.A., MILÀN J., MINTER N.J., RAZZOLINI N.L., ROMILIO A., SALISBURY S.W., SCISCIO L., TANAKA I., WISEMAN A.L.A., XING L.D., BELVEDERE M. (2018) – A standard protocol for documenting modern and fossil ichnological data, *Palaeontology*, 61, 4, p. 469-480.

FELSTEAD N.J., GONZALEZ S., HUDDART D., NOBLE S.R., HOFFMANN D.L., METCALFE S.E., LENG M.J., ALBERT B.M., PIKE A.W.G., GONZALEZ-GONZALEZ A., JIMÉNEZ-LÓPEZ J.C. (2014) – Holocene-aged human footprints from the Cuatrociénegas Basin, NE Mexico, *Journal of Archaeological Science*, 42, p. 250-259.

FERRIER C. BALLADE M., KONIK S., QUEFFELEC A. (2013) – Étude géoarchéologique de la grotte de Cussac : modalité de fermeture de l'entrée, taphonomie des sols et des parois, in J. Jaubert (dir.) *Grotte de Cussac (le Buisson-de-Cadouin, Dordogne). Projet Collectif de Recherche 2013. Prospection thématique avec relevé d'art rupestre. Triennale 2013-2015*, p. 57-82.

FERRIER C., KONIK S., DUGAS P., BURAUD P., LACRAMPE-CUYAUBERE F., MUTH X., JAUBERT J. (2017) – Étude géoarchéologique de la grotte de Cussac : modalité de fermeture de l'entrée, taphonomie des sols et des parois, in J. Jaubert. (dir.) *Grotte de cussac(le buisson-de-cadouin, dordogne). Projet collectif de recherche 2016. Prospection thématique avec relevé d'art rupestre 2016*, p. 79-98.

FERUGLIO V., DUTAILLY B., BALLADE M., BOURDIER C., FERRIER C., KONIK S., LACANETTE-PUYO D., VERGNIEUX R., JAUBERT J. (2015) – Un outil de relevés 3D partagé en ligne : premières applications pour l'art et la taphonomie des parois ornées de la grotte de Cussac (ArTaPOC / programme LaScArBx), *Actes de colloque Virtual Retrospect 2013*, Ausonius Édition / Collection Archéovision, 6, p. 49-54.

FERUGLIO V. BOURDIER C., JAUBERT J., DELLUC M., MORA P., AUJOULAT N. (2019) – The question of parietal palimpsests. The example of the Grand Panel of Cussac Cave, Dordogne, France, En préparation.

FONG YAN A., SINCLAIR P.J., HILLER C., WEGENER C., SMITH R.M. (2013) – Impact attenuation during weight bearing activities in barefoot walkers vs. shod conditions: systematic review., *Gait and Posture*, 38, p. 175-186.

FOSSE P. FOURVEL J.-B., LATEUR N., PHILIPPE M. (2018) – Les canidés (Canis, Cuon) de la grotte Chauvet Pont d'Arc : réflexions sur les données paléontologiques et ichnologiques, *Colloque relation Hommes / Canidés*, Bordeaux, 1-3 octobre 2018.

FOUCHER P., SAN JUAN-FOUCHER C., RUMEAU Y. (2007) – La grotte de Gargas, un siècle de découvertes, Communauté de communes du canton de Saint-Laurent-de-Neste, 128 p.

FOURMENT N., BARAUD D., KAZMIERCZAK M., RIEU A. (2012) – La grotte de Cussac (Le Buisson-de-Cadouin, Dordogne, France) : applications des principes de conservation préventive au cas d'une découverte récente, in J. Clottes (dir.) Actes du Congrès IFRAO, Tarascon-sur-Ariège, septembre 2010, *Symposium « Art pléistocène en Europe »*. N° spécial de Préhistoire, Art et Sociétés, Tarascon-sur-Ariège, Société Préhistorique Ariège-Pyrénées, p. 343-354.

FRITZ C., TOSELLO G., PERAZIO G., PERAL J., GUICHARD L. (2010) – Technologie 3D et relevé d'art pariétal : une application inédite dans la grotte de Marsoulas, *In Situ*, 13.

GALETA P., BRUZEK J., LÁZNIČKOVÁ-GALETOVÁ M. (2014) – Is sex estimation from handprints in prehistoric cave art reliable? A view from biological and forensic anthropology, *Journal of Archaeological Science*, 45, p. 141-149.

GARATE D., RIVERO O., RIOS-GARAIJAR J., UGARTE ELKARTEA F. (2018) – Du nouveau à Aitzbitarte (Pays-Basque) : l'alcôve des bisons sur argile, *International Nexletter on Rock Art*, 80, p. 9-11.

GARCIA M. (1979) – Les silicones élastomères RTV appliqués aux relevés de vestiges préhistoriques (art, empreintes humaines et animales), *Anthropologie (L') Paris*, 83, 1, p. 5-42.

GARCIA M.A. (1986) – Pour une bibliographie des empreintes humaines et animales - *Publications scientifiques du Muséum national d'Histoire naturelle*, Paris.

GARCIA M.-A. (2001) – Les empreintes et les traces humaines et animales, in *La grotte Chauvet. L'art des origines*, Paris, p. 34-43.

GARCIA M.-A. (2005) – Ichnologie générale de la grotte Chauvet, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 102, 1, p. 103-108.

GARCIA M.-A., DUDAY H. (1983) – Grotte de Foissac (Aveyron) À propos d'une découverte récente ou de l'ichnologie comme mode d'approche des structures préhistoriques en grotte, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 80, 6, p. 184-187.

GARCIA M.-A., DUDAY H., COURTAUD P. (1990) – Les empreintes du Réseau Clastres, *Préhistoire Ariégeoise*, 45, p. 167-174.

GARCIA M., MOREL P. (1995) – Restes et reliefs : présence de l'homme et de l'ours de cavernes dans la grotte de Montspan-Ganties, Haute-Garonne, *Anthropozoologica*, 21, p. 73-78.

GARCIA M.-A., ROUZAUD F. (1985) – Scène de chasse en Ariège, *Dossiers d'Archéologie*, 90, p. 51-55.

GARCIA M.-A., ROUZAUD F. (2001) – Scène de chasse en Ariège, *Bulletin de la Société préhistorique Ariège Pyrénées*, 151, p. 79-82.

GATESY S. (2003) – Direct and Indirect Track Features: What Sediment Did a Dinosaur Touch? *Ichnos*, 10, 2-4, p. 91-98.

GATESY S.M., MIDDLETON K.M., JR F.A.J., SHUBIN N.H. (1999) – Three-dimensional preservation of foot movements in Triassic theropod dinosaurs, *Nature*, 399, 6732, p. 141-144.

GATESY S.M., FALKINGHAM P.L. (2017) – Neither bones nor feet: track morphological variation and ‘preservation quality’, *Journal of Vertebrate Paleontology*, 37, 3, e1314298.

GEIB P.R. (2000) – Sandal types and Archaic prehistory on the Colorado Plateau, *American Antiquity*, 65, 3, p. 509-524.

GELDER L.V. (2015) – Counting the Children: The Role of Children in the Production of Finger Flutings in Four Upper Palaeolithic Caves, *Oxford Journal of Archaeology*, 34, 2, p. 119-138.

GENESTE J.-M. (2005) – Recherches pluridisciplinaires dans la grotte Chauvet, journées SPF Lyon 11-12 octobre-2003, *Société Préhistorique française*, 102.

GIERLIŃSKI G.D., NIEDŹWIEDZKI G., LOCKLEY M.G., ATHANASSIOU A., FASSOULAS C., DUBICKA Z., BOCZAROWSKI A., BENNETT M.R., AHLBERG P.E. (2017) – Possible hominin footprints from the late Miocene (c. 5.7 Ma) of Crete? *Proceedings of the Geologists' Association*, 128, 7-8, p. 697-710.

GILLETTE D.D., LOCKLEY M.G. (1989) – *Dinosaur Tracks and Traces*, Cambridge University Press, 1989, 476 p.

GILLIGAN I. (2007) – Clothing and modern human behaviour: prehistoric Tasmania as a case study, *Archaeology in Oceania*, 42, 3, p. 102-111.

GILLIGAN I. (2010) – The Prehistoric Development of Clothing: Archaeological Implications of a Thermal Model, *Journal of Archaeological Method and Theory*, 17, 1, p. 15-80.

GILLIGAN I. (2016a) – Clothing, in V. Weekes-Shackelford, T. K. Shackelford, et V. A. Weekes-Shackelford (dirs.), *Encyclopedia of Evolutionary Psychological Science*, Cham, Springer International Publishing, p. 1-8.

GILLIGAN I. (2016b) – To Afford Protection Against Climate and Weather, in V. Weekes-Shackelford, T. K. Shackelford, et V. A. Weekes-Shackelford (dirs.), *Encyclopedia of Evolutionary Psychological Science*, Cham, Springer International Publishing, p. 1-4.

GONZÁLEZ S., HUDDART D., BENNETT M.R., GONZÁLEZ-HUESCA A. (2006) – Human footprints in Central Mexico older than 40,000 years, *Quaternary Science Reviews*, 25, 3-4, p. 201-222.

GROENEN M. (2012) – Bilan de sept années de recherches dans la grotte ornée d'El Castillo (Cantabrie, Espagne), in J. Clottes (dir..) Actes du Congrès IFRAO, septembre 2010 - Symposium « Art pléistocène en Europe », Tarascon-sur-Ariège, p.145-163.

HAMMER Ø., HARPER D.A., RYAN P. (2001) – PAST : Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis, *Paleontologia Electronica*, 4, p. 9.

HAMY E.-T. (1874) – Description d'un squelette humain fossile de Laugerie-Basse., *Bulletins de la Société d'anthropologie de Paris*, 9, 1, p. 652-658.

HATALA K.G., DINGWALL H.L., WUNDERLICH R.E., RICHMOND B.G. (2013) – The relationship between plantar pressure and footprint shape, *Journal of Human Evolution*, 65, 1, p. 21-28.

HATALA K.G., ROACH N.T., OSTROFSKY K.R., WUNDERLICH R.E., DINGWALL H.L., VILLMOARE B.A., GREEN D.J., HARRIS J.W.K., BRAUN D.R., RICHMOND B.G. (2016) – Footprints reveal direct evidence of group behavior and locomotion in *Homo erectus*, *Scientific Reports*, 6, 28766.

HATALA K.G., PERRY D.A., GATESY S.M. (2018) – A biplanar X-ray approach for studying the 3D dynamics of human track formation, *Journal of Human Evolution*, 121, p. 104-118.

HAY R., LEAKEY M. (1982) – Les empreintes de pas fossiles de Laetoli, *Pour la Science*, Paris, 54, p. 28-37.

HENRY-GAMBIER D. (2007) – Comportement des populations d'Europe au Gravettien : pratiques funéraires et interprétations, *PALEO. Revue d'archéologie préhistorique*, 20, p. 399-438.

HENRY-GAMBIER D., COURTAUD P., DUTAILLY B., VILLOTTE S., DEGUILLOUX M., PEMONGE M., AUJOUAT N., DELLUC M., FOURMENT N., JAUBERT J. (2013) – Grotte de Cussac (Le Buisson-de-Cadouin, Dordogne): un exemple de comportement original pour le Gravettien, in: J. Jaubert, J., N. Fourment, P. Depaepe, (Eds.), *Transitions, ruptures et continuité en Préhistoire*, Actes du XXVIIe congrès préhistorique de France, Bordeaux-Les Eyzies 31 mai-5 juin 2010, Société Préhistorique Française, Paris, 1, p. 169-182.

HEYLER D., LESSERTISSEUR J. (1963) – Pistes de Tétrapodes permien dans la région de Lodève, Hérault, Éditions du Muséum, 1963, 220 p.

HITCHCOCK E. (1836) – Ornithichnology. Description of the foot marks of birds (Ornithichnites) on new red sandstone, Massachusetts, *American Journal of Science*, 29, p. 307-340.

HITCHCOCK E. (1841) –Final Report on the Geology of Massachusetts, vol. 1, Northampton, J.H. Butler, 337 p.

HITCHCOCK E. (1858) –Ichnology of New England: A Report on the Sandstone of the Connecticut Valley, Especially Its Fossil Footmarks, Made to the Government of the Commonwealth of Massachusetts, W. White, printer to the state, 370 p.

IBEGBU A.O., DAVID E.T., HAMMAN W.O., UMANA U.E., MUSA S.A. (2015) – Hand Length as a Determinat of Height in School Children, *Advances in Life Sciences*, 5, 1, p. 12-17.

ISHAK N.-I., HEMY N., FRANKLIN D. (2012) – Estimation of sex from hand and handprint dimensions in a Western Australian population, *Forensic Science International*, 221, 1-3, p. 154-154.

JACKSON S.J., WHYTE M.A., ROMANO M. (2009) – Laboratory-controlled simulations of dinosaur footprints in sand: A key to understanding vertebrate track formation and preservation, *PALAIOS*, 24, 4, p. 222-238.

JACKSON S.J., WHYTE M.A., ROMANO M. (2010) – Range of Experimental Dinosaur (*Hypsilophodon foxii*) Footprints Due to Variation in Sand Consistency: How Wet Was the Track?, *Ichnos*, 17, 3, p. 197-214.

JAUBERT J. (2008) – L'« art » pariétal gravettien en France : éléments pour un bilan chronologique, *PALEO. Revue d'archéologie préhistorique*, 20, p. 439-474.

JAUBERT J. (2013) –Grotte de Cussac (Le Buisson-de-Cadouin, Dordogne). Projet collectif de recherche 2012. *Prospection thématique avec relevé d'art rupestre*, Service Régional d'Archéologie Aquitaine.

JAUBERT J. (2016) –Grotte de Cussac (Le Buisson-de-Cadouin, Dordogne). *Projet collectif de recherche 2015. Prospection thématique avec relevé d'art rupestre*, Service Régional d'Archéologie Aquitaine.

JAUBERT J. (2015) – Une invitation à Jiří Svoboda pour jumeler le complexe pavlovien de Moravie et la grotte ornée et funéraire d'âge Gravettien de Cussac, in S. Sázelová, M. Novák, et A. Mizerová (dirs), *Forgotten times and spaces: New perspectives in paleoanthropological, paleoetnological and archeological studies*, Brno, Masaryk university, p. 214-228.

JAUBERT J., AUJOULAT N., COURTAUD P., DEGUILLOUX M., DELLUC M., DENIS A., DUDAY H., DUTAILLY B., FERRIER C., FERUGLIO V., FOURMENT N., GENESTE J.-M., GENTY D., GOUTAS N., HENRY-GAMBIER D., KERVAZO B., KLARIC L., LASTENNET R., LEVEQUE F., MALAURENT P., MALLYE J.-B., MORA P., PEMONGE M., PEYRAUBE N., PEYROUX M., PLISSON H., PORTAIS J.-C., VALLADAS H., VERGNIEUX R., VILLOTTE S. (2012) – Le projet collectif de recherche “ grotte de Cussac” (Dordogne, France), étude d'une cavité ornée et à vestiges humains du

Gravettien., in *J. Clottes, Morales Gonzales M. (éds.), L'art Pléistocène dans le monde. Congrès IFRAO (6-11 septembre 2010, Ariège-Pyrénées, France). Symposium, l'art pléistocène en Europe., Foix, Préhistoire, Arts et société*, p. 325-342.

JAUBERT J., GENTY D., VALLADAS H., CAMUS H., COURTAUD P., FERRIER C., FERUGLIO V., FOURMENT N., KONIK S., VILLOTTE S., BOURDIER C., COSTAMAGNO S., DELLUC M., GOUTAS N., KATNECKER É., KLARIC L., LANGLAIS M., LEDOUX L., MAKSUD F., O'FARRELL M., MALLYE J.-B., PIERRE M., PONS-BRANCHU E., RÉGNIER É., THÉRY-PARISOT I. (2017) – The chronology of human and animal presence in the decorated and sepulchral cave of Cussac (France), *Quaternary International*, 432, p. 5-24.

JAUBERT J., VERHEYDEN S., GENTY D., SOULIER M., CHENG H., BLAMART D., BURLET C., CAMUS H., DELABY S., DELDICQUE D., EDWARDS R.L., FERRIER C., LACRAMPE-CUYAUBÈRE F., LÉVÊQUE F., MAKSUD F., MORA P., MUTH X., RÉGNIER É., ROUZAUD J.-N., SANTOS F. (2016) – Early Neanderthal constructions deep in Bruniquel Cave in southwestern France, *Nature*, 534, 7605, p. 111-114.

JONES R.M. (2003) – Particule size analysis by laser diffraction: ISO 13320, standard operating procedures, and Mie theory, *American Laboratory*, 35, p. 44-47.

KADAMBANDE S., KHURANA A., DEBNATH U., BANSAL M., HARIHARAN K. (2006) – Comparative anthropometric analysis of shod and unshod feet, *The Foot*, 16, 4, p. 188-191.

KANCHAN T., MENEZES R.G., MOUDGIL R., KAUR R., KOTIAN M.S., GARG R.K. (2008) – Stature estimation from foot dimensions, *Forensic Science International*, 179, 2-3, p. 241.e1-241.e5.

KANCHAN T., MENEZES R.G., MOUDGIL R., KAUR R., KOTIAN M.S., GARG R.K. (2010) – Stature Estimation from Foot Length Using Universal Regression Formula in a North Indian Population, *Journal of Forensic Sciences*, 55, 1, p. 163-166.

KASSER M., EGELS Y. (2001) – *Photogrammétrie numérique*, Paris, France, 378 p.

KRISHAN K. (2008a) – Establishing correlation of footprints with body weight—Forensic aspects, *Forensic Science International*, 179, 1, p. 63-69.

KRISHAN K. (2008b) – Estimation of stature from footprint and foot outline dimensions in Gujjars of North India, *Forensic Science International*, 175, 2-3, p. 93-101.

KUSUMOTO A., SUZUKI T., KUMAKURA C., ASHIZAWA K. (1996) – A comparative study of foot morphology between Filipino and Japanese women, with reference to the significance of a deformity like hallux valgus as a normal variation, *Annals of Human Biology*, 23, 5, p. 373-385.

LABORDE M. (2011) –Les enfant dans les grottes ornées : exemple du Magdalénien Pyrénéen., mémoire de master 2, MNHN, Paris, France, 88 p.

LADIER E., WELTÉ A.-C., PLASSARD J. (2003) – Relations griffades animales-traités anthropiques sur les parois de Rouffignac., *Préhistoire du Sud-Ouest*, 2, 10, p. 139-144.

LAGUE D., BRODU N., LEROUX J. (2013) – Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (N-Z), *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 82, p. 10-26.

LALLENSACK J.N., VAN HETEREN A.H., WINGS O. (2016) – Geometric morphometric analysis of intratrackway variability: a case study on theropod and ornithopod dinosaur trackways from Münchehagen (Lower Cretaceous, Germany), *PeerJ*, 4, e2059.

LE GUILLOU Y. (2005) – Circulations humaines et occupation de l'espace souterrain à la grotte Chauvet-Pont-d'Arc, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 102, 1, p. 117-134.

LE GUILLOU Y., LECOMTE-FERRIZ N., WAHL L. (2017) – Un signe pariétal paléolithique inédit dans la grotte de Fontanet (Ariège-France), *Bulletin Préhistoire du Sud-Ouest*, 24, p. 159-166.

LEAKEY M.D., HARRIS J.M. (1987) – Laetoli: A Pliocene Site in Northern Tanzania, Oxford University Press, Oxford, New York, 561 p.

LEAKEY M.D., HAY R.L. (1979) – Pliocene footprints in the Laetolil Beds at Laetoli, northern Tanzania, *Nature*, 278, 5702, p. 317-323.

LEDOUX L., BOUDADI-MALIGNE M. (2015) –The contribution of geometric morphometric analysis to prehistoric ichnology: the example of large canid tracks and their implication for the debate concerning wolf domestication, *Journal of Archaeological Science*, 61, p. 25-35.

LEDOUX L., FOURMENT N., MAKSUD F., DELLUC M., COSTAMAGNO S., GOUTAS N., KLARIC L., LAROULANDIE V., SALOMON H., JAUBERT J. (2017) – Traces of human and animal activity (TrAcs) in Cussac Cave (Le Buisson-de-Cadouin, Dordogne, France): Preliminary results and perspectives, *Quaternary International*, 430, Part A, p. 141-154.

LEDOUX L., MAKSUD F. (2015) – Ichnologie de la grotte de Bruniquel., in J. Jaubert, S. Verheyden, D. Genty, (dirs.). *Grotte de Bruniquel (Bruniquel, Tarn-et-Garonne). Rapport d'opération archéologique programmée 2015*, p. 177-186.

LEMOZI A. (1929) –La grotte-temple du Pech-Merle, un nouveau sanctuarie préhistorique, Albe, 184 p.

LIEBENBERG L.W. (1990) – The Art of Tracking: the Origin of Science. David Philip, Cape Town, 192 p.

LOCKLEY M.G., MEYER C.A. (2000) –Dinosaur Tracks and Other Fossil Footprints of Europe, Columbia University Press, New-York, 342 p.

LORBLANCHET M. (2010) –Art pariétal: grottes ornées du Quercy, Rodez, Rouergue, Patrimoine, 448 p.

MALINA R., HAMILL P.V., JOHSTON F., LEMESHOW S. (1973) – Selected body measurements of children 6-11 years, United States, National Center for Health Statistics (U.S.), Vital and health statistics, 11, 123.

MALLYE J.-B., COSTAMAGNO S., LAROULANDIE V. (2017) – Les restes de faune, in J. Jaubert (dir.) Grotte de cussac(le buisson-de-cadouin, dordogne). Projet collectif de recherche 2016. Prospection thématique avec relevé d'art rupestre 2016, Service Régional d'Archéologie Aquitaine, p.197-198.

MAN-ESTIER E. (2009) – Les ursidés au naturel et au figuré pendant la préhistoire, thèse de doctorat, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 801 p.

MARTY D., STRASSER A., MEYER C.A. (2009) – Formation and Taphonomy of Human Footprints in Microbial Mats of Present-Day Tidal-flat Environments: Implications for the Study of Fossil Footprints, *Ichnos*, 16, 1-2, p. 127-142.

MASAO F.T., ICHUMBAKI E.B., CHERIN M., BARILI A., BOSCHIAN G., IURINO D.A., MENCONERO S., MOGGI-CECCHI J., MANZI G. (2016) – New footprints from Laetoli (Tanzania) provide evidence for marked body size variation in early hominins, *eLife*, 5.

MCKEE E.D. (1947) – Experiments on the development of tracks in fine cross-bedded sand, *Journal of Sedimentary Research*, 17, 1, p. 23-28.

MCKEEVER P.J., HAUBOLD H. (1996) – Reclassification of vertebrate trackways from the Permian of Scotland and related forms from Arizona and Germany, *Journal of Paleontology*, 70, 06, p. 1011-1022.

MCLAREN D., FEDJE D., DYCK A., MACKIE Q., GAUVREAU A., COHEN J. (2018) – Terminal Pleistocene epoch human footprints from the Pacific coast of Canada, *PLOS ONE*, 13, 3, e0193522.

MEDINA-ALCAIDE M.Á., GARATE MAIDAGAN D., SANCHIDRIÁN TORTI J.L. (2018) – Painted in red: In search of alternative explanations for European Palaeolithic cave art, *Quaternary International*, 491, p. 65-77.

MEDINA-ALCAIDE M.Á., SANCHIDRIÁN TORTI J.L., ZAPATA PEÑA L. (2015) – Lighting the dark: Wood charcoal analysis from Cueva de Nerja (Málaga, Spain) as a tool to explore the context of Palaeolithic rock art, *Comptes Rendus Palevol*, 14, 5, p. 411-422.

MERCIER N., MARTIN L., KREUTZER S., MOINEAU V., CLIQUET D. (2017) – Dating the palaeolithic footprints of ‘Le Rozel’ (Normandy, France), *Quaternary Geochronology*, sous presse.

MIETTO P., AVANZINI M., ROLANDI G. (2003) – Palaeontology: Human footprints in Pleistocene volcanic ash, *Nature*, 422, 6928, p. 133.

MILÀN J. (2006) – Variations in the morphology of emu (*dromaius novaehollandiae*) tracks reflecting differences in walking pattern and substrate consistency: ichnotaxonomic implications, *Palaeontology*, 49, 2, p. 405-420.

MILÀN J., BROMLEY R.G. (2007) – The Impact of Sediment Consistency on Track and Undertrack Morphology: Experiments with Emu Tracks in Layered Cement, *Ichnos*, 15, 1, p. 19-27.

MODABBER A., PETERS F., KNIHA K., GOLOBORODKO E., GHASSEMI A., LETHAUS B., HÖLZLE F., MÖHLHENRICH S.C. (2016) – Evaluation of the accuracy of a mobile and a stationary system for three-dimensional facial scanning, *Journal of cranio-Maxillofacial Surgery*, 44, 10, p. 1719-1724.

MORSE S.A., BENNETT M.R., GONZALEZ S., HUDDART D. (2010) – Techniques for verifying human footprints: reappraisal of pre-Clovis footprints in Central Mexico, *Quaternary Science Reviews*, 29, 19-20, p. 2571-2578.

MORSE S.A., BENNETT M.R., LIUTKUS-PIERCE C., THACKERAY F., MCCLYMONT J., SAVAGE R., CROMPTON R.H. (2013) – Holocene footprints in Namibia: The influence of substrate on footprint variability: Holocene Footprints in Namibia, *American Journal of Physical Anthropology*, 151, 2, p. 265-279.

MOSIMANN J.E. (1970) – Size Allometry: Size and Shape Variables with Characterizations of the Lognormal and Generalized Gamma Distributions, *Journal of the American Statistical Association*, 65, 330, p. 930-945.

MOUDGIL R., KAUR R., MENEZES R.G., KANCHAN T., GARG R.K. (2008) – Foot index: Is it a tool for sex determination? *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 15, 4, p. 223-226.

NELSON E., HALL J., RANDOLPH-QUINNEY P., SINCLAIR A. (2017) – Beyond size: The potential of a geometric morphometric analysis of shape and form for the assessment of sex in hand stencils in rock art, *Journal of Archaeological Science*, 78, p. 202-213.

ONAC B.P., VIEHMANN I., LUNDBERG J., LAURITZEN S.-E., STRINGER C., POPIȚĂ V. (2005) – U-Th ages constraining the Neanderthal footprint at Vârtope Cave, Romania. *Quaternary Science Reviews*, 24, p. 1151-1157.

ONTAÑÓN R. (2003) – Sols et structures d’habitat du Paléolithique supérieur, nouvelles données depuis les Cantabres : la Galerie Inférieure de La Garma (Cantabrie, Espagne), *L’Anthropologie*, 107, 3, p. 333-363.

ORTEGA MARTINEZ A.I., RUIZ GARCIA, F., BENITO CALVO, A., MARTIN MERINO, M. A., KARAMPAGLIDIS, T., CAMPAÑA LOZANO, I. (2014) – Escaneado en 3D de las Galerías de las Huellas (Ojo Guareña, Merindad de Sotoscueva, Burgos), *Cubía*, 18, p. 38-47.

PADIAN K., OLSEN P.E. (1984) – Footprints of the Komodo Monitor and the Trackways of Fossil Reptiles, *Copeia*, 3, p. 662-671.

PALES L. (1960) –Le vestigia umane nella grotta della Basura a Toirano, Istituto internazionale di studi Liguri, 1960.

PALES L. (1974) –Rapport de Mission 1974. Ariège - Fontanet, Malarnaud-Soulabé., Toulouse, SRA, 1974.

PALES L. (1973) –Rapport sur la mission 1973 (Aldène, Fontanet, Malarnaud-Soulabé), Toulouse, SRA, 1973.

PALES L. (1975) –Rapport sur les travaux de 1975 en Ariège, Toulouse, SRA, 1975.

PALES L. (1976) –Les Empreintes de pieds humains dans les cavernes. Les empreintes du réseau nord de la caverne de Niaux (Ariège), Masson, 166 p.

PANARELLO A., SANTELLO L., BELVEDERE M., MIETTO P. (2017a) – Walking along the oldest human fossil pathway (Roccamonfina volcano, Central Italy)? *Journal of Archaeological Science: Reports*, 13, p. 476-490.

PANARELLO A., SANTELLO L., BELVEDERE M., MIETTO P. (2017b) – Is It Human? Discriminating between Real Tracks and Track-Like Structures, *Ichnos*, p. 1-10.

PASTOORS A., LENSSEN-ERZ T. (Dirs) (2017) Prehistoric Human Tracks, International Conference, Neanderthal Museum (Mettmann) et Institute of Prehistoric Archaeology – African Archaeology (Cologne), 11 au 3 Mai 2017.

PASTOORS A., LENSSEN-ERZ T., BREUCKMANN B., CIQAE T., KXUNTA U., RIEKE-ZAPP D., THAO T. (2017) – Experience based reading of Pleistocene human footprints in Pech-Merle, *Quaternary International*, 430, p. 155-162.

PASTOORS A., LENSSEN-ERZ T., CIQAE T., KXUNTA U., THAO T., BÉGOUËN R., BIESELE M., CLOTTES J. (2015) – Tracking in Caves: Experience Based Reading of Pleistocene Human Footprints in French Caves, *Cambridge Archaeological Journal*, 25, 03, p. 551-564.

PASTOORS A., WENIGER G.-C. (2011) – Cave Art in Context: Methods for the Analysis of the Spatial Organization of Cave Sites, *Journal of Archaeological Research*, 19, 4, p. 377-400.

PATAKY T.C., CARAVAGGI P., SAVAGE R., PARKER D., GOULERMAS J.Y., SELLERS W.I., CROMPTON R.H. (2008) – New insights into the plantar pressure correlates of walking speed using pedobarographic statistical parametric mapping (pSPM), *Journal of Biomechanics*, 41, 9, p. 1987-1994.

PATAKY T.C., GOULERMAS J.Y. (2008) – Pedobarographic statistical parametric mapping (pSPM): A pixel-level approach to foot pressure image analysis, *Journal of Biomechanics*, 41, 10, p. 2136-2143.

PATAKY T.C., GOULERMAS J.Y., CROMPTON R.H. (2008) – A comparison of seven methods of within-subjects rigid-body pedobarographic image registration, *Journal of Biomechanics*, 41, 14, p. 3085-3089.

PAULIS M.G. (2015) – Estimation of stature from handprint dimensions in Egyptian population, *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 34, p. 55-61.

PAWAR P., K., DADHICH A. (2012) – Study of correlation between human height and hand length in residents of mumbai, 3 (3), p. 2072-2075.

PEABODY F.E. (1959) – Trackways of living and fossil salamanders, University of California Press, 454 p.

PEYROUX M. (2012) – Les dépôts d'objets pariétaux des grottes ornées au Paléolithique supérieur: gestes, comportements symboliques, cultures, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, Bordeaux, France, 1474 p.

PIGEAUD R. (2003) – Un art de traces ? Spontanéités et préméditations sur les parois des grottes ornées paléolithiques, in D. Vialou, M. Renault- Miskovsky, M. Patou-Mathis, Actes de Colloque du G.D.R 1945 du CNRS, Liège, p.117-191.

PINÇON G., BOURDIER C., FUENTES O., ABGRALL A. (2010) – De la manipulation des images 3D, *In Situ*, 13.

PINÇON G., FUENTES O., BARRE R., AUBER O., HAMON G. (2010) – De la frise magdalénienne au centre d'interprétation du Roc-aux-Sorciers : l'usage de la 3D, *In Situ*, 13.

PINHASI R., GASPARIAN B., ARESHIAN G., ZARDARYAN D., SMITH A., BAR-OZ G., HIGHAM T. (2010) – First Direct Evidence of Chalcolithic Footwear from the Near Eastern Highlands, *PLoS ONE*, 5, 6, e10984

PRINOTH-FORNWAGNER R., NIKLAUS T.R. (1994) – The man in the ice: results from radiocarbon dating, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 92, 1, p. 282-290.

QUATREFAGES A. DE, HAMY E.-T. (1874) – La race de Cro-Magnon dans l'espace et dans le temps, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 9, 1, p. 260-266.

QUESADA C.C., PAPI RODES C., SÁNCHEZ-BARRIGA FERNÁNDEZ A., ALONSO MATHIAS F. (1996) – La cestería decorada de la cueva de los Murciélagos (Albuñol, Granada), *Complutum*, 6, 1, p. 105-122.

RAICHLEN D.A., GORDON A.D., HARCOURT-SMITH W.E.H., FOSTER A.D., HAAS W.R. (2010) – Laetoli Footprints Preserve Earliest Direct Evidence of Human-Like Bipedal Biomechanics, *PLoS ONE*, 5, 3, p. e9769.

REEL S., ROUSE S., VERNON OBE W., DOHERTY P. (2012) – Estimation of stature from static and dynamic footprints, *Forensic Science International*, 219, 1-3, p. 283.e1-283.e5.

REIMER P.J., BARD E., BAYLISS A., BECK J.W., BLACKWELL P.G., RAMSEY C.B., BUCK C.E., CHENG H., EDWARDS R.L., FRIEDRICH M., GROOTES P.M., GUILDERSON T.P., HAFLIDASON H., HAJDAS I., HATTÉ C., HEATON T.J., HOFFMANN D.L., HOGG A.G., HUGHEN K.A., KAISER K.F., KROMER B., MANNING S.W., NIU M., REIMER R.W., RICHARDS D.A., SCOTT E.M., SOUTHON J.R., STAFF R.A., TURNEY C.S.M., PLICHT J. VAN DER. (2013) – IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP, *Radiocarbon*, 55, 4, p. 1869-1887.

RENNE P.R., FEINBERG J.M., WATERS M.R., ARROYO-CABRALES J., OCHOA-CASTILLO P., PEREZ-CAMPA M., KNIGHT K.B. (2005) – Geochronology: Age of Mexican ash with alleged ‘footprints’, *Nature*, 438, 7068, p. E7-E8.

ROACH N.T., HATALA K.G., OSTROFSKY K.R., VILLMOARE B., REEVES J.S., DU A., BRAUN D.R., HARRIS J.W.K., BEHRENSMEYER A.K., RICHMOND B.G. (2016) – Pleistocene footprints show intensive use of lake margin habitats by *Homo erectus* groups, *Scientific Reports*, 6, 26374.

ROBBINS L.M. (1986) – Estimating height and weight from size of footprints, *Journal of Forensic Sciences*, 31, 1, p. 143-152.

ROBBINS L.M. (1985) – *Footprints: Collection, Analysis and Interpretation*, Charles C. Thomas Publisher, Limited, 244 p.

ROBERT E., VIGEARS D., MELARD N., PAILLET P., VIALOU D., EGELS Y. (2012) – L’apport de la 3D dans l’art préhistorique: analyse et restitution des images et de leurs supports, exemples croisés des sites de Blanchard (La Garenne) et la Marche, *Archeologia e Calcolatori supplemento* 3, p. 339-354.

ROUZAUD F. (1978) – *La Paléospéléologie: l’homme et le milieu souterrain pyrénéen au Paléolithique supérieur*, Toulouse, France, École des hautes études en sciences sociales, 168 p.

ROUZAUD F. (1996) – La paléospéléologie, une méthode d'étude des grottes préhistoriques et paléontologiques, Arts et sociétés, éd. du Comité des travaux historiques et scientifiques, p. 143-148.

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

ROUZAUD F. (1997b) – L'ours dans l'art Paléolithique., in *L'Ours et l'Homme*, Liège, Eraul, p.201-217.

RUFF C. (2002) – Variation in Human Body Size and Shape, Annual Review of Anthropology, 31, 1, p. 211-232.

RUFF C. (2010) – Body size and body shape in early hominins – implications of the Gona Pelvis, Journal of Human Evolution, 58, 2, p. 166-178.

SARJEANT W.A.S. (1974) – A history and bibliography of the study of fossil vertebrate footprints in the British isles, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 16, 4, p. 265-378.

SCOTT J.J., RENAUT R.W., OWEN R.B. (2010) – Taphonomic Controls on Animal Tracks at Saline, Alkaline Lake Bogoria, Kenya Rift Valley: Impact of Salt Efflorescence and Clay Mineralogy, Journal of Sedimentary Research, 80, 7, p. 639-665.

SEN J., KANCHAN T., GHOSH S. (2011) – Sex Estimation from Foot Dimensions in an Indigenous Indian Population: sex from foot dimensions, Journal of Forensic Sciences, 56, p. S148-S153.

SHARPE K., GELDER L.V. (2006) – Evidence for cave marking by Palaeolithic children, Antiquity, 80, 310, p. 937-947.

SIMONNET R. (1999) – Les Magdaléniens dans les Pyrénées. La grotte de Labastide (Htes-Pyrénées), Espaces réel est espace imaginaire, Archéologie des Pyrénées Occidentales et des Landes, 18, p. 183-209.

SOFFER O., ADOVASIO J.M., HYLAND D.C. (2000) – The “Venus” Figurines: Textiles, Basketry, Gender, and Status in the Upper Paleolithic, Current Anthropology, 41, 4, p. 511-537.

SOLLAS W.J. (1879) – On some Three-toed Footprints from the Triassic Conglomerate of South Wales, Quarterly Journal of the Geological Society, 35, 1-4, p. 511-515.

TESTUT L. (1889) – Recherches anthropologiques sur le squelette quaternaire de Chancelade (Dordogne), Publications de la Société Linnéenne de Lyon, 8, 1, p. 131-246.

THOMPSON A.L.T., ZIPFEL B. (2005) – The unshod child into womanhood forefoot morphology in two populations, The Foot, 15, 1, p. 22-28.

THULBORN R.A., WADE M. (1989) – A footprint as a history of movement, in D.D. Gillette, M. G. Lockley (Dir.), *Dinosaur tracks and traces*, Cambridge, Cambridge University Press, p. 51-56.

TOPINARD P. (1876) – *L'Anthropologie*, C. Benwald Paris, France, 514 p.

TOUPS M.A., KITCHEN A., LIGHT J.E., REED D.L. (2011) – Origin of Clothing Lice Indicates Early Clothing Use by Anatomically Modern Humans in Africa, *Molecular Biology and Evolution*, 28, 1, p. 29-32.

TRINKAUS E. (2005) – Anatomical evidence for the antiquity of human footwear use, *Journal of Archaeological Science*, 32, 10, p. 1515-1526.

TRINKAUS E., BUZHILOVA A.P., MEDNIKOVA M.B., DOBROVOLSKAYA M.V. (2014) – *The People of Sunghir: Burials, Bodies, and Behavior in the Earlier Upper Paleolithic*, Oxford University Press, 361 p.

TRINKAUS E., BUZHILOVA A.P. (2018) – Diversity and differential disposal of the dead at Sunghir, *Antiquity*, 92, 361, p. 7-21.

TRINKAUS E., SHANG H. (2008) – Anatomical evidence for the antiquity of human footwear: Tianyuan and Sunghir, *Journal of Archaeological Science*, 35, 7, p. 1928-1933.

VIALOU D. (1986) – *L'Art des grottes en Ariège magdalénienne*, Supplément à « Gallia préhistoire » Paris, Ed. du Centre national de la recherche scientifique, 432 p.

VILLOTTE S., SANTOS F., COURTAUD P. (2015) – In situ study of the Gravettian individual from Cussac cave, locus 2 (Dordogne, France), *American Journal of Physical Anthropology*, 158, 4, p. 759-768.

WALES N. (2012) – Modeling Neanderthal clothing using ethnographic analogues, *Journal of Human Evolution*, 63, 6, p. 781-795.

WEBB S., CUPPER M.L., ROBINS R. (2006) – Pleistocene human footprints from the Willandra Lakes, southeastern Australia, *Journal of Human Evolution*, 50, 4, p. 405-413.

WESTAWAY M.C., CUPPER M.L., JOHNSTON H., GRAHAM I. (2016) – The Willandra Fossil Trackway: Assessment of ground penetrating radar survey results and additional OSL dating at a unique Australian site, *Australian Archaeology*, 76, p. 84-89.

WILLEMS C., STASSIJNS G., CORNELIS W., D'AOÛT K. (2017) – Biomechanical implications of walking with indigenous footwear, *American Journal of Physical Anthropology*, 162, 4, p. 782-793.

WILLEMS C., STASSIJNS G., DECLERCQ D., D'AOÛT K. (2015) – Walking on a natural substrate and on an artificial substrate: the effect of indigenous footwear, *Footwear Science*, 7, sup1, p. S138-S139.

WISEMAN A.L.A., DE GROOTE I. (2018) – A three-dimensional geometric morphometric study of the effects of erosion on the morphologies of modern and prehistoric footprints, *Journal of Archaeological Science: Reports*, 17, p. 93-102.

ZHANG D.D., LI S.H. (2002) – Optical dating of Tibetan human hand- and footprints: An implication for the palaeoenvironment of the last glaciation of the Tibetan Plateau: optical dating of tibetan human hand and footprints, *Geophysical Research Letters*, 29, 5, p. 16-1-16-3.

ZIMMER B., LIUTKUS-PIERCE C., MARSHALL S.T., HATALA K.G., METALLO A., ROSSI V. (2018) – Using differential structure-from-motion photogrammetry to quantify erosion at the Engare Sero footprint site, Tanzania, *Quaternary Science Reviews*, 198, p. 226-241.

ZIPFEL B., BERGER L.R. (2007) – Shod versus unshod: The emergence of forefoot pathology in modern humans? *The Foot*, 17, 4, p. 205-213.

Annexes

Annexe 1

1. Taphonomie

1.1. Support argile (~60% d'humidité) et charge sédimentaire des ennoiements de 60g/L.

- Sujet 1 (empreinte 5)

L'empreinte originale est entière bien que sa partie moyenne soit extrêmement superficielle. En revanche les parties distale et proximale sont très bien imprimées dans l'argile, l'appui le plus important étant situé au niveau de l'hallux. Des bourrelets d'argile sur les pourtours des orteils et du talon sont également constatés. Les ennoiements successifs ne semblent pas transformer la morphologie générale de l'empreinte. Les changements visibles concernent la surface et son élévation. Au fur et à mesure des ennoiements, la partie proximale de l'empreinte tend à disparaître, la surface s'homogénéise, tandis que la partie distale reste visible. Les zones les plus profondes restent l'hallux et la partie distale de la plante. En revanche, les bourrelets d'argile présents autour des points d'appui les plus importants diminuent progressivement (Figure 58). Le calcul de distance entre les nuages de points de l'empreinte pour chaque étape nous permet de constater les fluctuations de la surface entre la formation de l'empreinte et le dernier ennoisement. On constate ainsi qu'entre les étapes 1 et 2 la majorité de la surface gagne en matière, sauf en ce qui concerne certaines zones qui étaient plus élevées sur la surface de base (zone en bleu sur la) qui en perdent. La surface s'homogénéise à partir de l'étape 3 et perd de nouveau de la matière lors de l'étape 4 (Figure 59). En ce qui concerne les données métriques, celles-ci ne sont pas très impactées au fur et mesure des ennoiements. Les différences existantes entre les étapes sont de l'ordre de quelques millimètres et sont probablement plus dues à la prise de mesures qu'aux ennoiements (Tableau 19).

N°	Étape	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
5	1	23,8	23	19,9	8,5	3,2	5,3	9,5
	2	23,3	22,4	19,4	8,3	aucun	5,3	9,6
	3	23	22,3	19,8	8,5	aucun	5,5	9,5
	4	aucun	aucun	aucun	8,5	aucun	aucun	9,5

Tableau 19 : Biométrie de l'empreinte 5.

1.2. Support argile (~60% d'humidité) et charge sédimentaire des ennoiements de 20g/L.

- Sujet 1 (empreinte 3)

L'empreinte originale est entière et bien marquée en particulier au niveau de ses parties distale et proximale. L'appui le plus important se situe au niveau de l'hallux avec un bourrelet important au niveau de sa partie distale. La morphologie générale de l'empreinte a été conservée jusqu'au dernier ennoisement. Les orteils restent bien individualisables. On ne constate que très peu de changements au niveau de son élévation. La partie proximale tend à disparaître au fur et à mesure des ennoiements mais subsiste malgré tout jusqu'à la dernière étape (Figure 158). Le calcul de distance entre les nuages de points de l'empreinte pour chaque étape montre une érosion de la surface entre la première et la deuxième étape principalement au niveau des parties moyenne et proximale. On constate ensuite un léger gain de matière sur l'ensemble de la surface (jamais au-delà de 2 mm) et une perte à l'intérieure de la partie distale surtout entre l'étape 3 et l'étape 4 (Figure 159). En ce qui concerne les données métriques, celles-ci ne sont pas impactées ou presque par les différents ennoiements (Tableau 20).

N°	Étape	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
3	1	24,1	23,3	19,5	8,6	3,3	5,2	9,8
	2	23,5	22,8	18,7	9	aucun	5	10
	3	23,5	23	19,5	9	aucun	5	10
	4	23,5	23	19,5	9	aucun	5	10

Tableau 20 : *Biométrie de l'empreinte 3.*

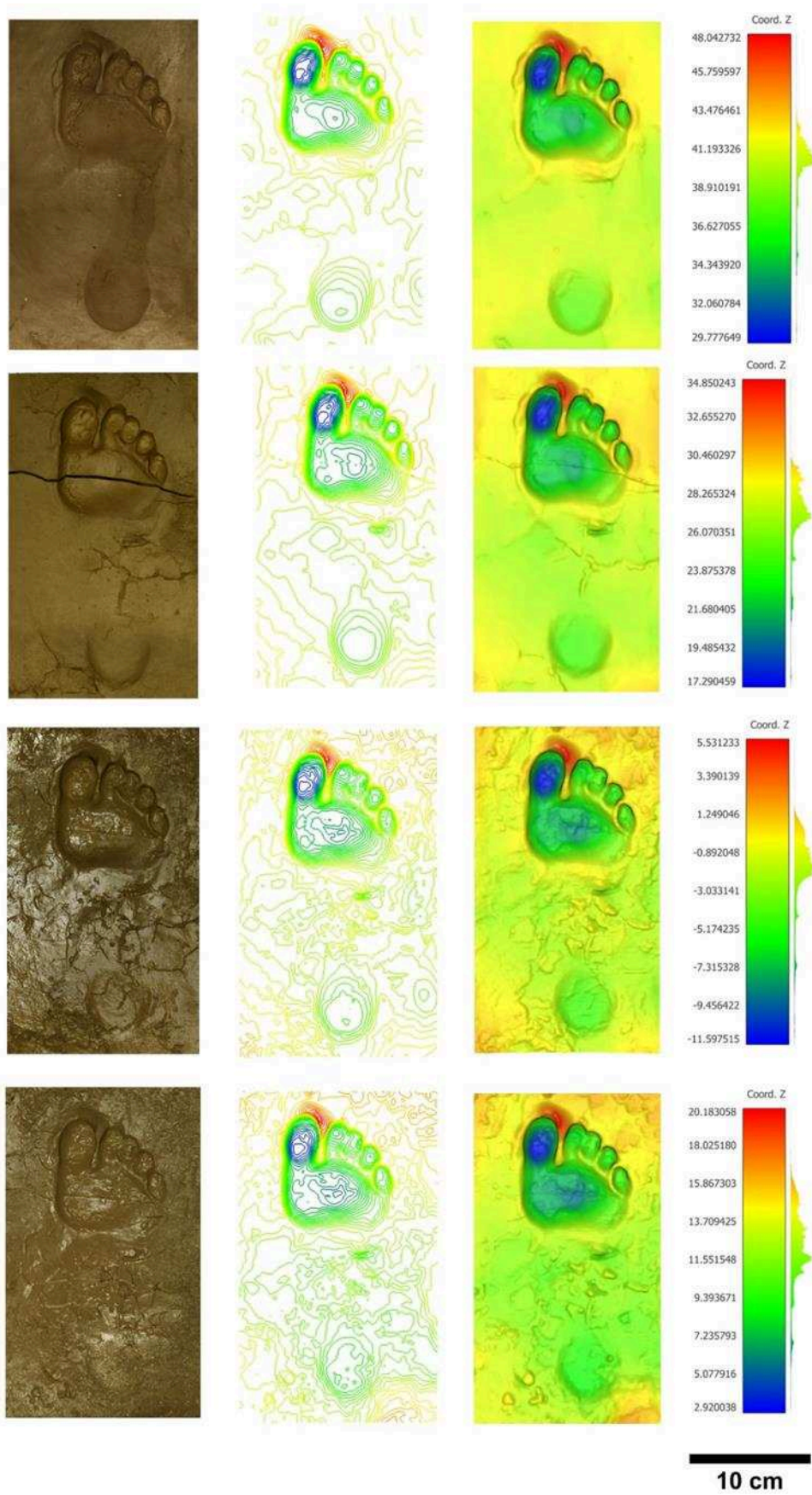


Figure 158 : Évolution de l'empreinte 3 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoisement, deuxième ennoisement, troisième ennoisement).

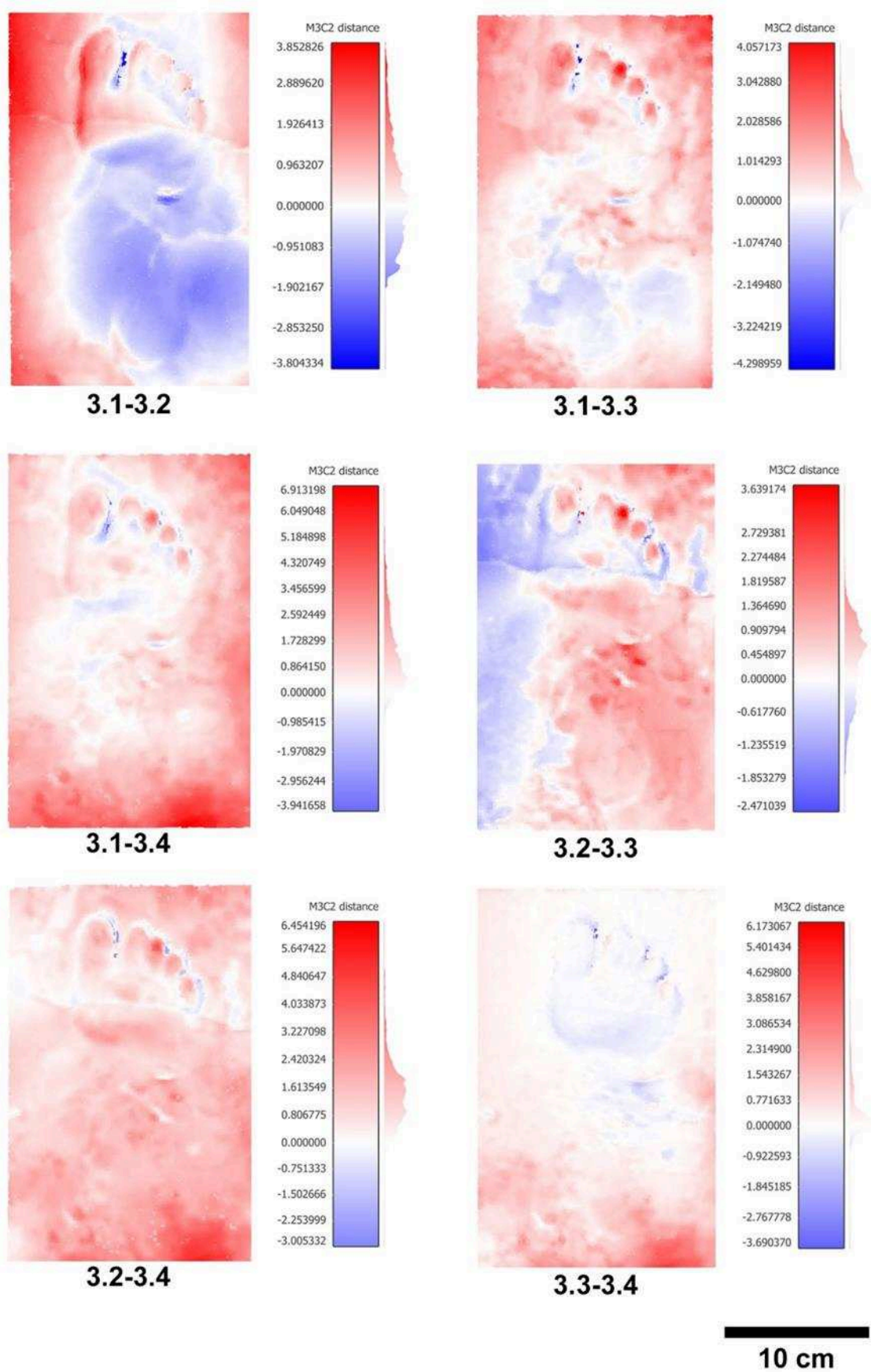


Figure 159 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 3. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.

1.3. Support argile (~60% d'humidité) et charge sédimentaire des ennoiements de 40g/L.

- Sujet 1 (empreinte 4)

L'empreinte originale apparaît en entier hormis la partie moyenne qui est très superficielle. Les orteils et la partie proximale sont particulièrement bien marqués. L'hallux et celui qui a marqué le plus profondément, un bourrelet d'argile important est visible sur l'ensemble de son contour. Au fur et à mesure des ennoiements, l'empreinte tend à disparaître notamment au niveau de sa partie proximale qui n'est plus du tout visible à la suite du dernier ennoisement. Seule la partie distale subsiste, en particulier les orteils (Figure 160). Les cartes de distance de nuages de points montrent que, dès le premier ennoisement, la totalité de la surface gagne en matière, en particulier au niveau dans la moitié proximale de l'empreinte. On constate en revanche une érosion importante entre l'étape 2 et l'étape 3 qui se traduit par la disparition de la partie proximale. Dans l'ensemble, la surface a été assez perturbée par les ennoiements successifs. La charge sédimentaire contenue dans l'eau ne s'est en outre pas répartie de façon homogène, principalement lors du dernier ennoisement (Figure 161). Les données biométriques pour les parties subsistantes n'ont en revanche pas été impactées (Tableau 21).

N°	Étape	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
4	1	24,1	23,5	19,8	8,4	3,2	5,2	9,7
	2	23	22,5	19,3	8,5	aucun	5	9,5
	3	23	22,5	19,3	8,5	aucun	5	9,5
	4	aucun	aucun	aucun	8	aucun	aucun	9,5

Tableau 21 : Biométrie de l'empreinte 4.

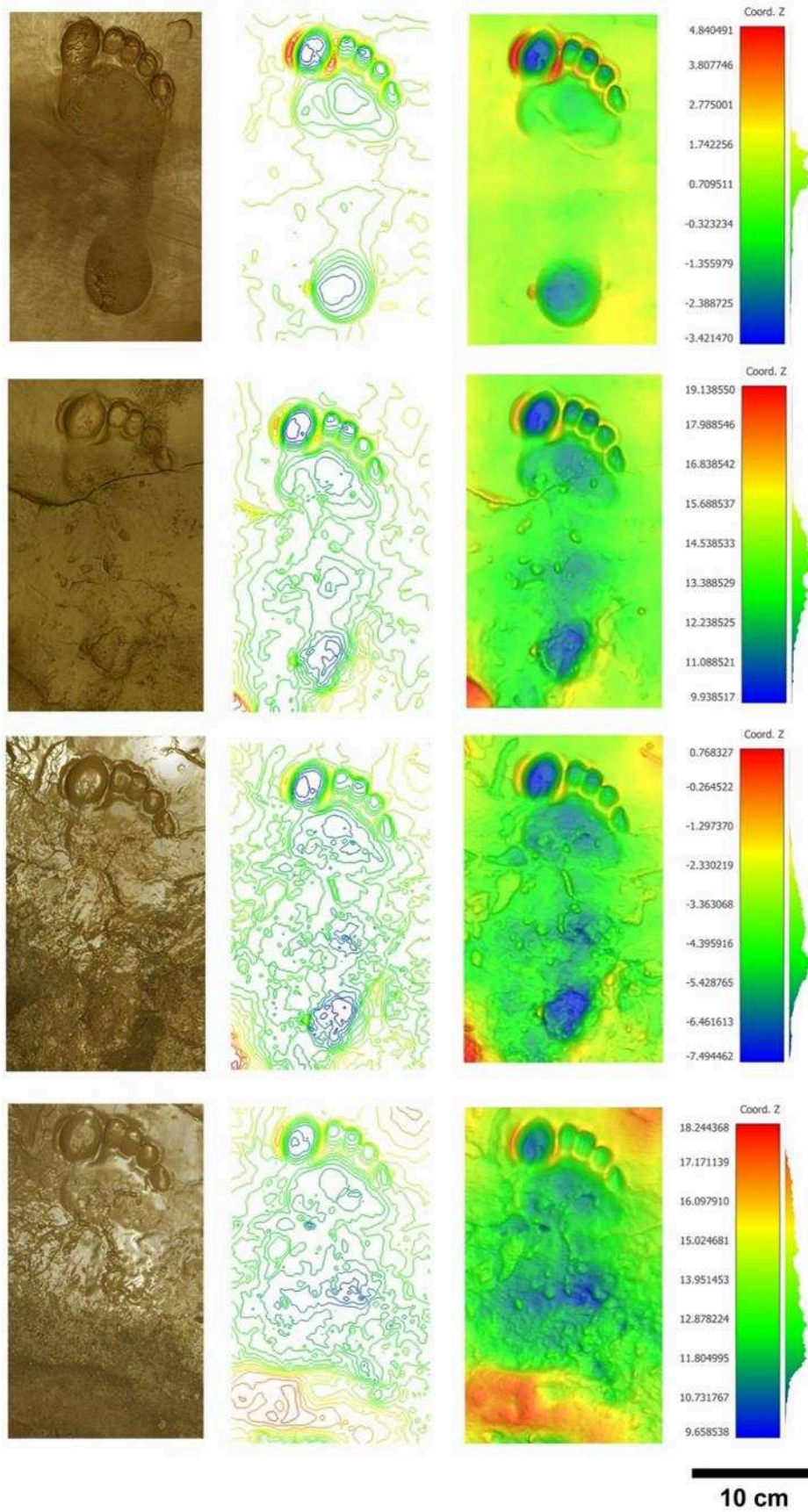


Figure 160 : Évolution de l'empreinte 4 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoiemnt, deuxième ennoiemnt, troisième ennoiemnt).

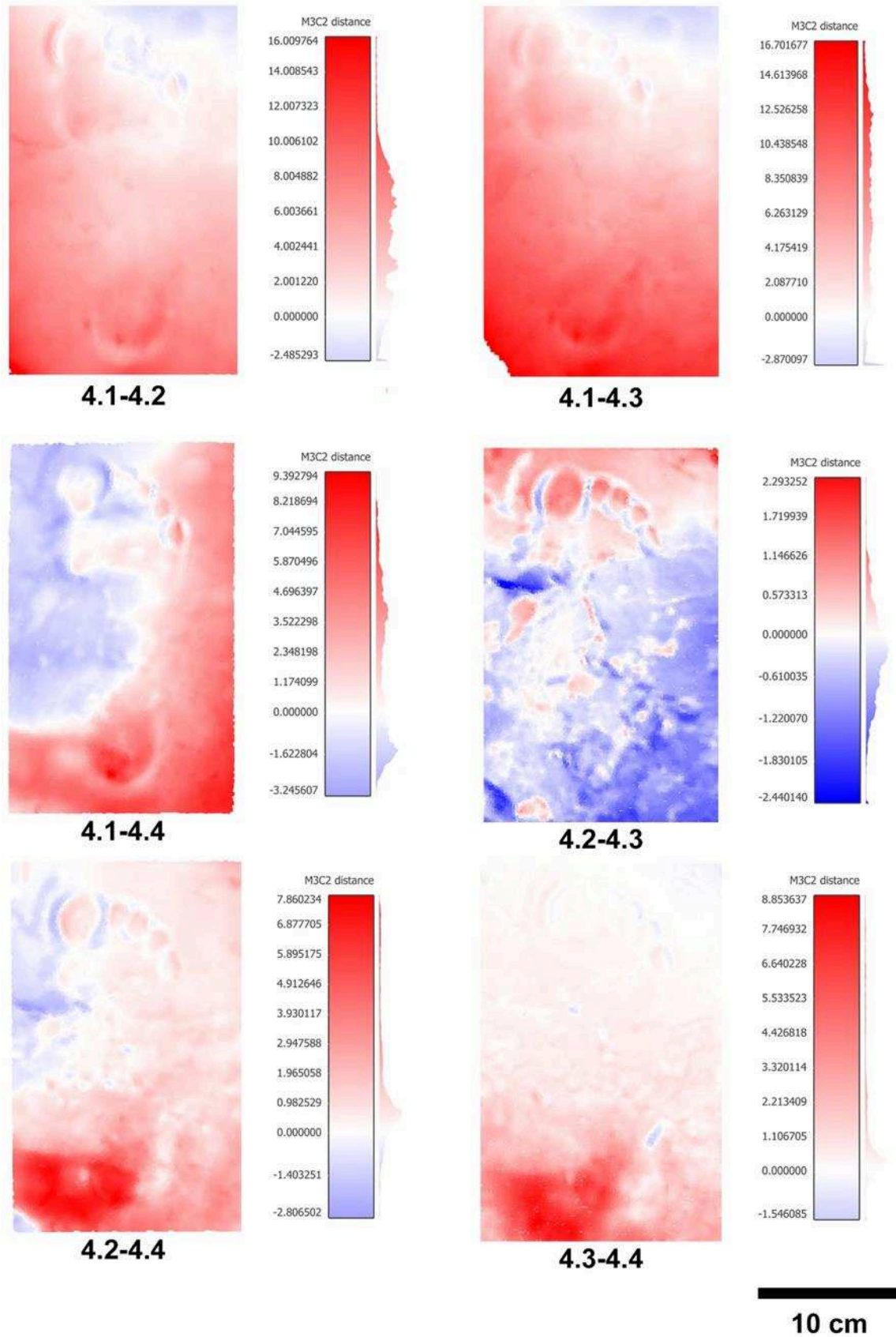


Figure 161 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l’empreinte 4. *Le rouge représente le remplissage et le bleu l’érosion.*

- Sujet 2 (empreinte 15)

Cette empreinte se caractérise par une partie distale relativement bien imprimée, une partie moyenne inexistante et une partie proximale extrêmement superficielle. Il en est de même pour le dernier orteil. L'impression la plus importante se situe en partie disto-médiale et se matérialise par une dépression profonde à cet emplacement. Les ennoiements successifs ont considérablement altéré la surface qui devient de moins en moins homogène. L'empreinte se voit également altérée jusqu'à disparaître complètement après le troisième ennoisement (Figure 162). Le calcul de distance entre les nuages de points montre qu'il y a ajout de matière entre chaque étape sur l'ensemble de la surface et de façon constante à l'intérieur de l'empreinte (Figure 163). Les informations métriques pour les parties persistantes ne sont quasiment pas impactées et ne dépassent pas le centimètre (Tableau 22).

N°	Étape	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
15	1	24,7	24,3	20,8	10	aucun	4,7	9,5
	2	aucun	aucun	aucun	9,7	aucun	aucun	9,5
	3	aucun	aucun	aucun	9	aucun	aucun	8,5

Tableau 22 : Biométrie de l'empreinte 15.

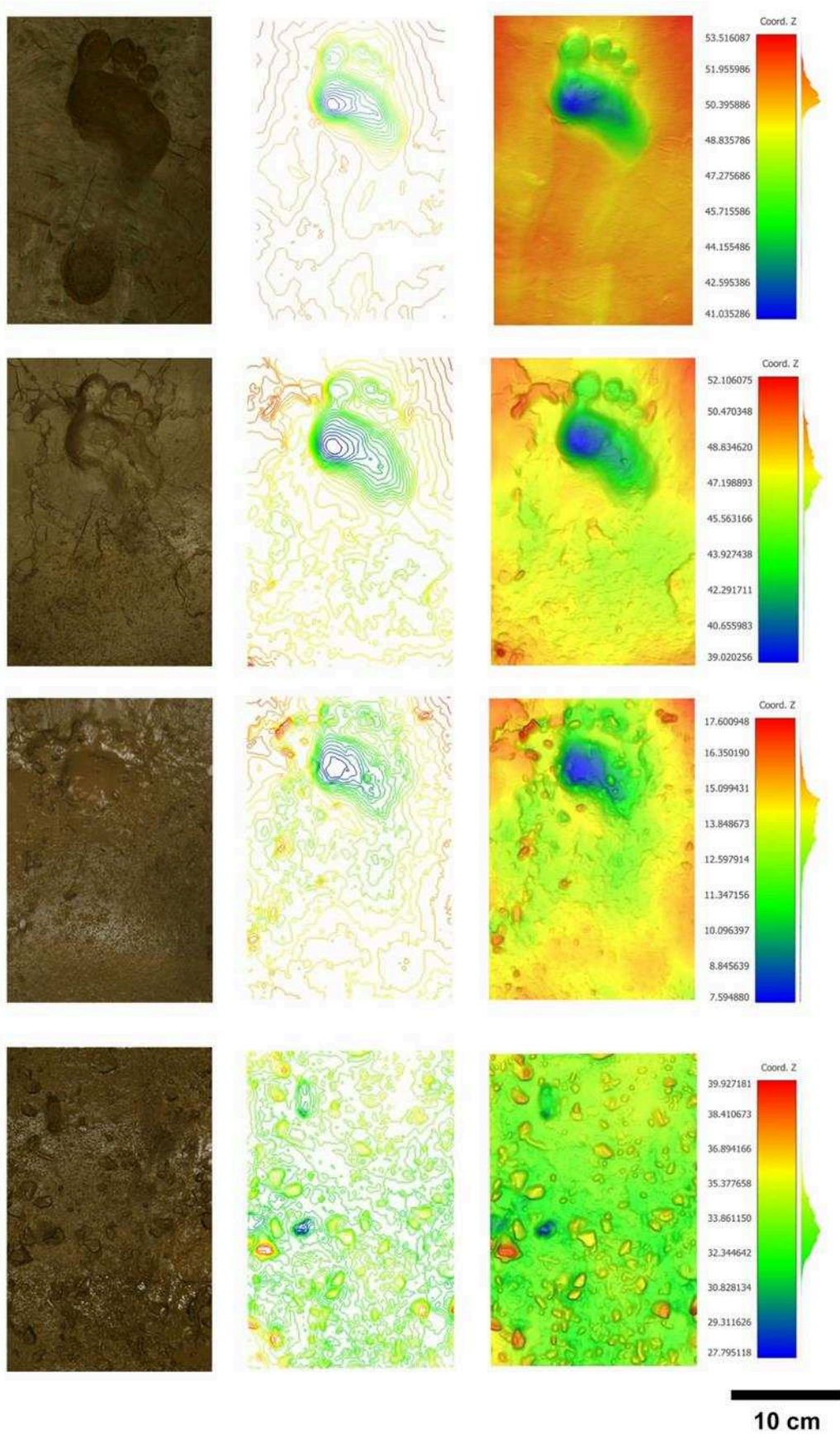


Figure 162 : Évolution de l'empreinte 15 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoisement, deuxième ennoisement, troisième ennoisement).

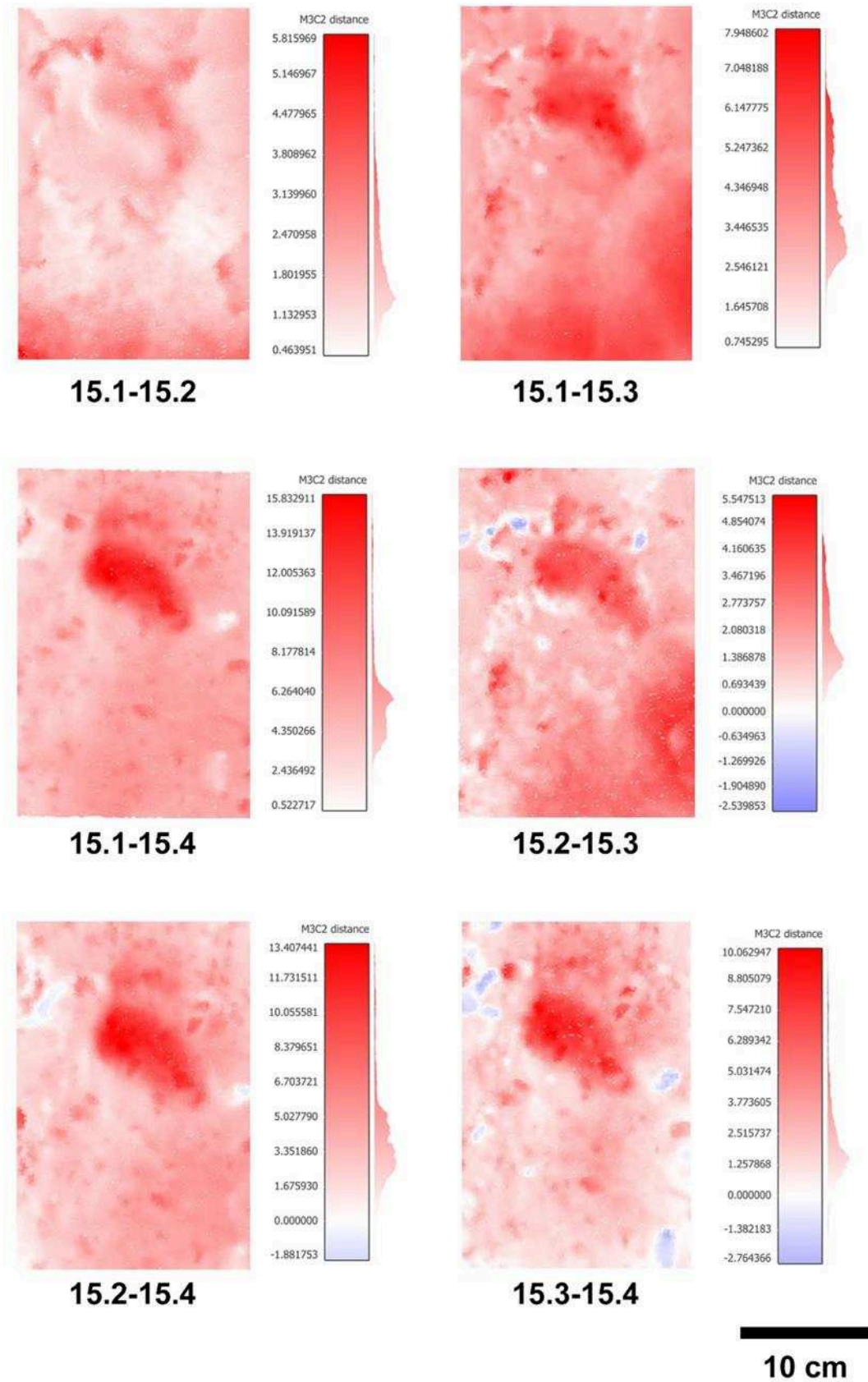


Figure 163 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 15. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.

1.4. Support argile de décantation et charge sédimentaire des ennoiements de 40g/L.

- Sujet 1 (empreinte 10)

Les parties distale, moyenne et proximale sont visibles sur l'empreinte originale avec un appui plus important au niveau des orteils. Des bourrelets d'argiles sont présents sur le pourtour des 4 premiers orteils. La surface du reste de l'empreinte est homogène et de petits bourrelets se retrouvent au niveau du bord médial du talon et du bord latéral de la partie distale de la plante. L'empreinte n'a pas subi d'importants dommages suite au premier ennoisement en particulier en ce qui concerne la partie distale (Figure 70). Le calcul des distances des nuages de points montre qu'entre l'étape 1 et l'étape 2 de la matière a été ajoutée sur l'ensemble de la surface (entre 1 et 7 mm) sauf au niveau des bourrelets les plus importants du pourtour des empreintes qui en ont perdu. Cependant, au fur et à mesure des ennoiements la surface change avec l'apparition de fentes de dessiccation et la disparition de la partie proximale dès le second ennoisement. Ceci se matérialise par une perte de matière sur plus de environ 75% de la surface entre l'étape 2 et l'étape 3 puis sur presque l'ensemble de la surface entre l'étape 3 et l'étape 4. Les orteils et la partie supérieure de la partie distale de la plante restent, quant à eux, visibles même après le dernier ennoisement (Figure 71). Les différents ennoiements, en revanche, n'influencent pas les données métriques de l'empreinte, les quelques millimètres d'écart parfois constatés entre les différentes étapes sont liés à la prise de mesures (Tableau 23).

N°	Étape	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
10	1	23,7	23,5	20,4	8,5	4,2	5,3	9
	2	23,4	22,4	20,7	8	4,5	5,2	9,3
	3	aucun	aucun	aucun	7	aucun	aucun	9
	4	aucun	aucun	aucun	7	aucun	aucun	8,4

Tableau 23 : biométrie de l'empreinte 10.

1.5. Support argile de décantation et charge sédimentaire des ennoiements de 80g/L.

- Sujet 1 (empreinte 11)

L'empreinte d'origine est complète avec la plante qui a marqué de façon homogène et un bourrelet sur l'ensemble de son contour. Les orteils quant à eux se sont plus profondément imprimés et des bourrelets plus importants sont constatés sur leur pourtour. La morphologie générale de l'empreinte est préservée jusqu'à la dernière étape même si quelques éléments tendent à disparaître au fur et à mesure des ennoiements. Ainsi le bord latéral de l'empreinte disparaît dès le premier ennoisement. Le reste subsiste mais est de plus en plus altéré. À la suite du dernier ennoisement, les orteils sont déformés (Figure 164). Le calcul de distance de nuages de points présente un gain de matière sur l'ensemble de la surface de l'empreinte entre l'étape 1 et l'étape 2 sauf au niveau de son bord médial où une perte de matière est constatée. La formation de plaquettes d'argile à la surface entre l'étape 2 et l'étape 3 entraîne leur remobilisation après le dernier ennoisement, d'où l'érosion constatée sur la carte de distance de nuages de points (Figure 165). En terme de données métriques, il n'y a pas de véritable différence entre toutes les étapes (Tableau 24).

N°	Étape	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
11	1	22,4	21,5	18,6	8,0	4,5	5,0	9
	2	22,4	21,4	18,4	8,2	4,2	5,4	9
	3	22,4	20,5	17,5	8,3	3,5	5,5	9
	4	22,7	21,5	18,5	8,7	4,5	5	9,4

Tableau 24 : Biométrie de l'empreinte 11.

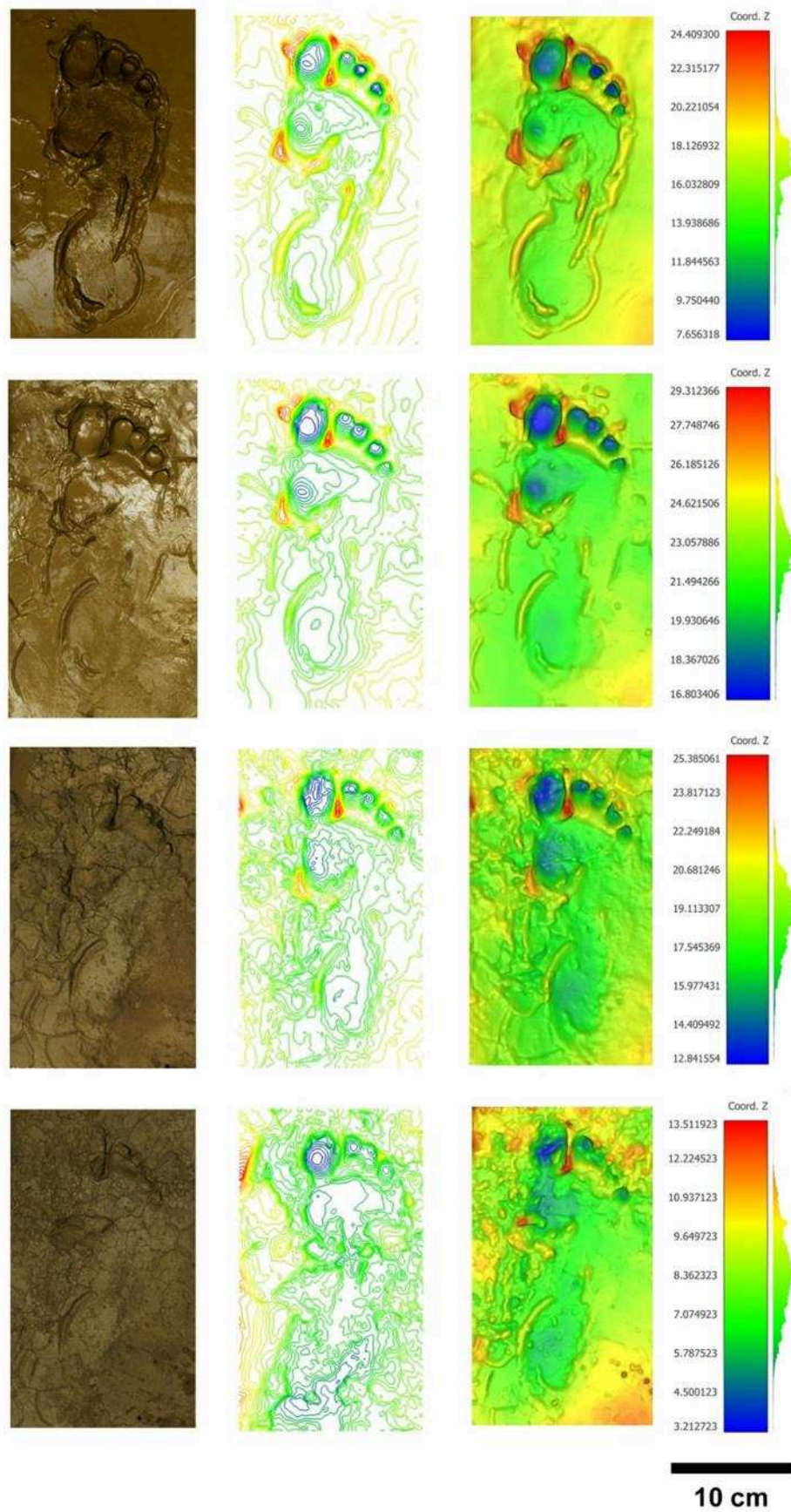


Figure 164 : Évolution de l'empreinte 11 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoiemnt, deuxième ennoiemnt, troisième ennoiemnt).

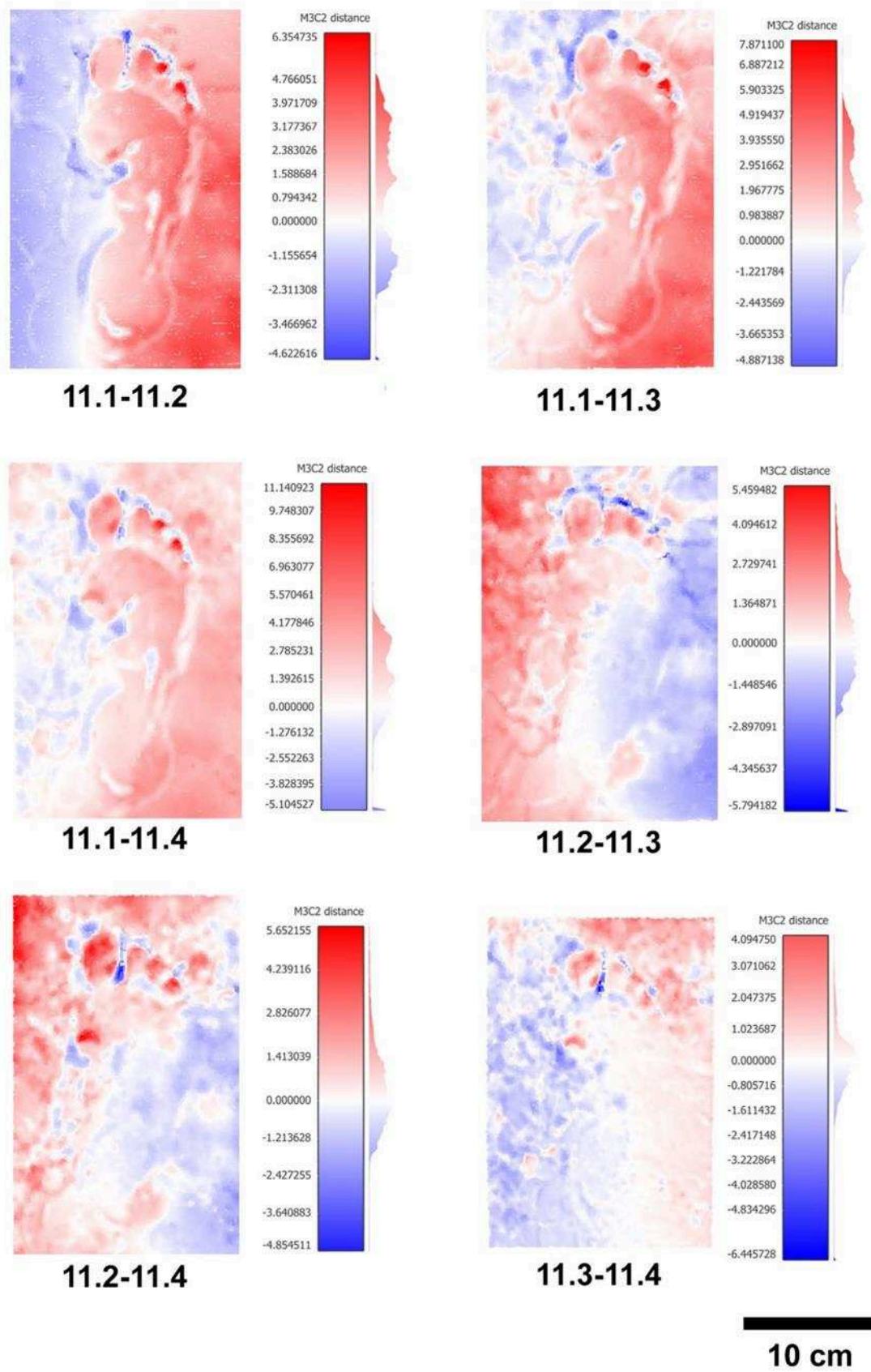


Figure 165 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 11. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.

1.6. Support argile de décantation et charge sédimentaire des ennoiements de 100g/L.

- Sujet 1 (empreinte 12)

L'empreinte originale est complète et bien marquée bien que peu profonde. Son impression est homogène sur toute sa surface sauf au niveau de l'hallux bien plus profond. De légers bourrelets d'argile sont visibles sur son contour. La partie proximale de l'empreinte a quasiment disparu dès le premier ennoisement. À la suite du dernier ennoisement, il ne subsiste que la partie distale. Cette disparition est due à la formation de plaquettes d'argile après le premier ennoisement qui ont par la suite étaient remobilisées et ont recouvert l'empreinte (Figure 166). Le calcul de nuages de points montre très bien l'érosion relative aux plaquettes d'argile entre la deuxième et la troisième étape et le recouvrement de la moitié proximale de l'empreinte à la suite du dernier ennoisement (Figure 167). Concernant les données biométriques aucun changement important n'est observé (Tableau 25).

N°	Étape	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
12	1	23,9	23,5	20,5	9,5	4,4	5,4	9,3
	2	24	23,4	20,5	9,3	4,5	5,5	9,4
	3	aucun	aucun	aucun	9	aucun	aucun	9
	4	aucun	aucun	aucun	8,6	aucun	aucun	8,9

Tableau 25 : Biométrie de l'empreinte 12.

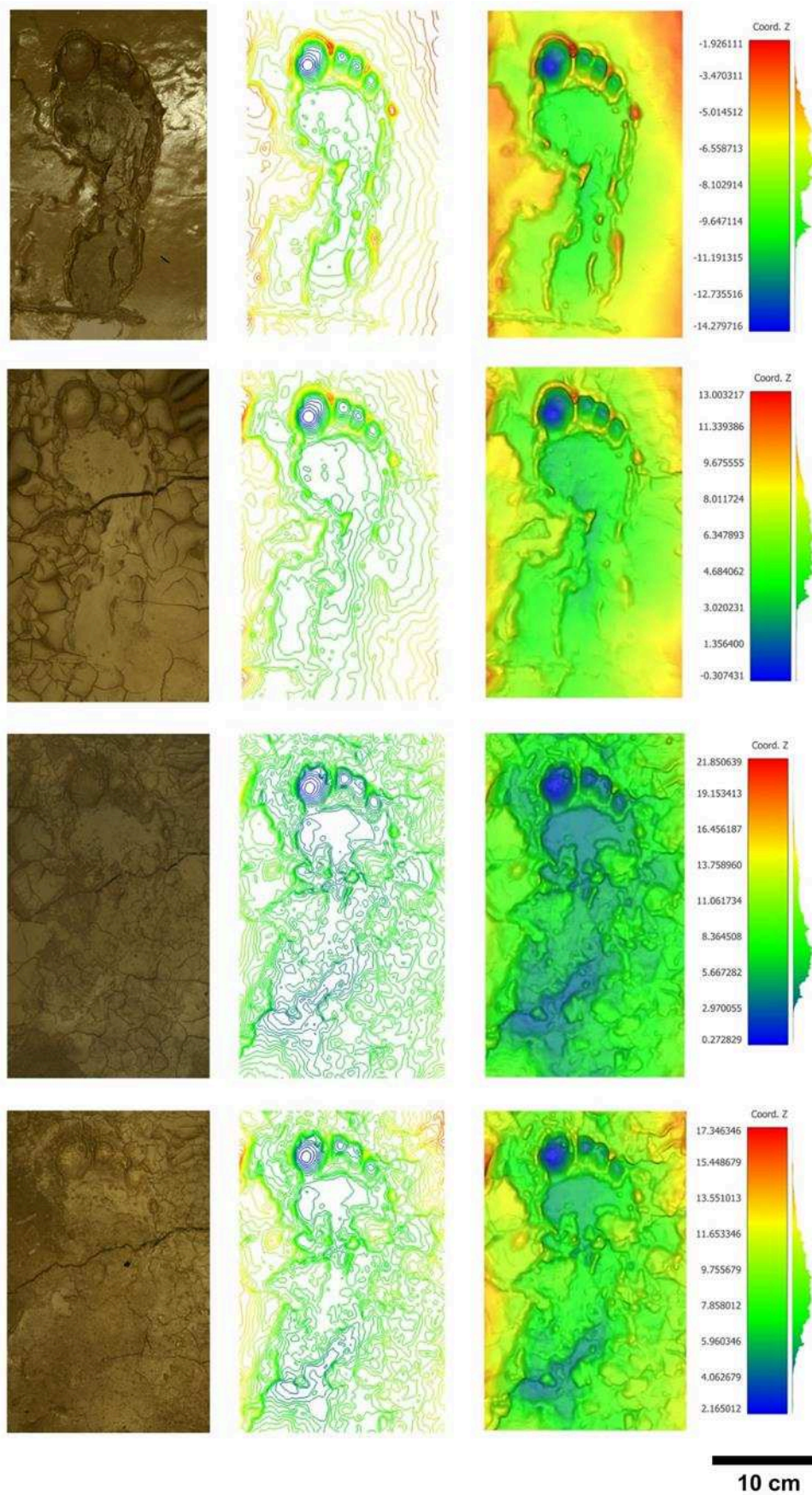


Figure 166 : Évolution de l'empreinte 12 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoiemt, deuxième ennoiemt, troisième ennoiemt).

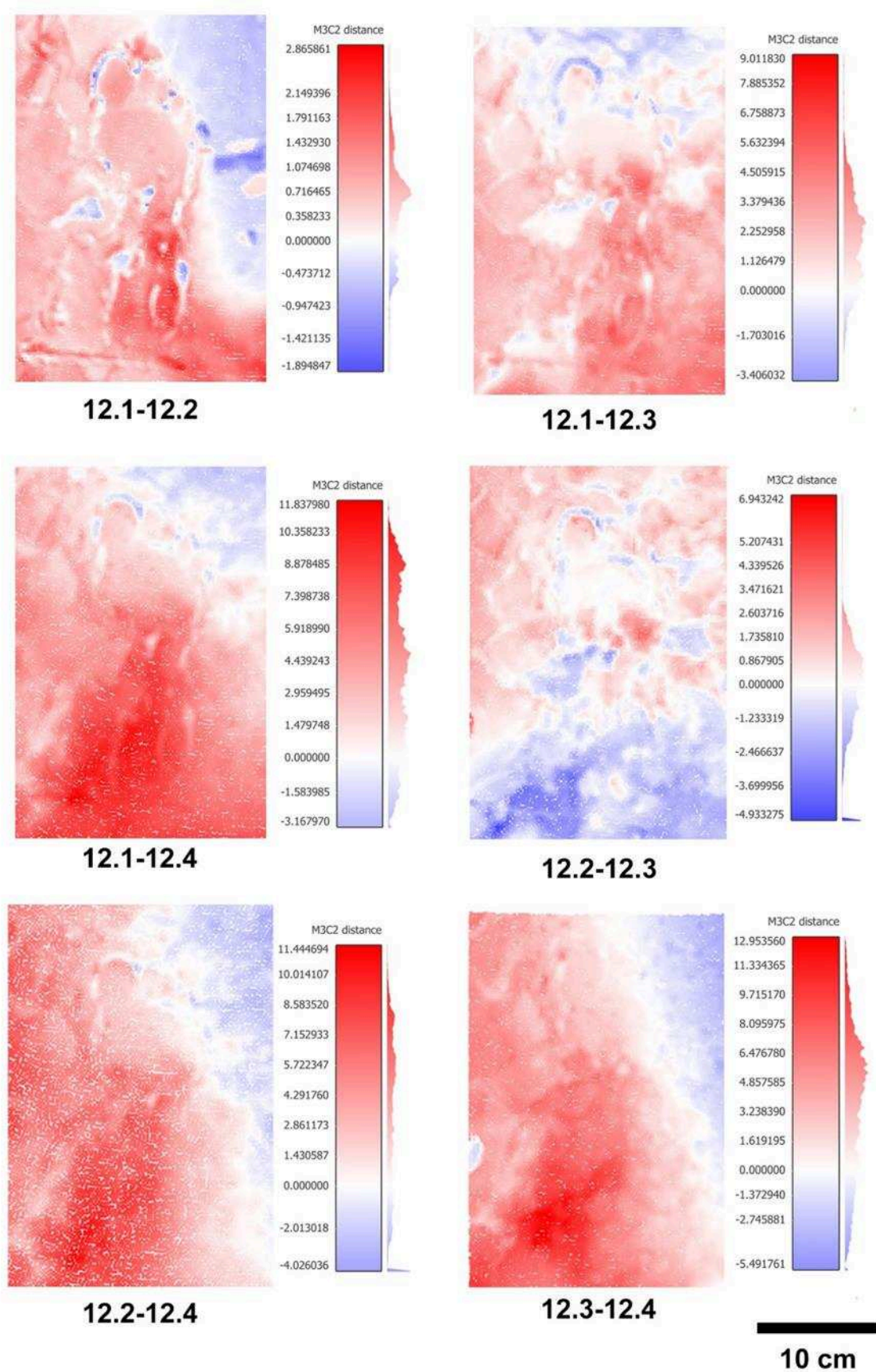


Figure 167 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 12. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.

- Sujet 2 (empreinte 17)

L'empreinte originale est visible en entier particulièrement en partie distale et en partie proximale. Les appuis sont, en effet, plus marqués dans ces zones, ce qui est matérialisé par la présence d'imposants soulèvements d'argile sur leurs pourtours et un enfoncement notable au niveau des 4 premiers orteils et du bord médial de la partie distale de la plante (environ 16 mm par rapport à la surface originale). La surface a été altérée dès le premier ennoisement suite, notamment, à l'effondrement des pourtours de l'empreinte et leur remobilisation. À la suite du deuxième ennoisement, l'empreinte est déjà illisible (Figure 64). Le calcul des distances des nuages de points montre bien ce gain de matière à la surface et cette perte sur les pourtours entre la première étape et la deuxième étape, suivis d'une remobilisation de la matière qui vient masquer l'empreinte dès la troisième étape (Figure 65). À la suite des ennoisements, les limites des pourtours de l'empreinte sont plus difficiles à définir et la prise de mesure s'en voit légèrement affectée avec des écarts pouvant aller jusqu'à 2 cm (Figure 69 et Tableau 26).

N°	Étape	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
17	1	25,2	23,3	21	11,2	3,3	6,4	9,7
	2	25,5	24,4	20,7	10,7	aucun	5,3	10,6
	3	aucun	aucun	aucun	7	aucun	aucun	9
	4	aucun	aucun	aucun	7	aucun	aucun	8,4

Tableau 26 : Biométrie de l'empreinte 17.

1.7. Support argile de décantation et charge sédimentaire des ennoiements de 60g/L.

- Sujet 1 (empreinte 19)

L'empreinte originale est complète, bien marquée et la forme du pied est parfaitement bien rendue. Les impressions les plus importantes se situent au niveau des orteils et de la partie proximale du pied mais on constate aussi un appui marqué même si moins important au niveau de la partie disto-latérale de la plante. Cette empreinte a été détruite dès le premier ennoisement par une remobilisation générale de la surface. On constate, cependant, au centre de la surface, une dépression persistante qui pourrait correspondre au bord latéral de l'empreinte (Figure 168). Le calcul des distances de nuages de points indique un remplissage de l'empreinte important dès la deuxième étape (entre 1 et 19 mm) qui semble être dû à une remobilisation de la matière sur la surface. Le deuxième ennoisement finit de remplir l'empreinte (Figure 169). La longueur de l'empreinte suite au premier ennoisement est plus ou moins la même qu'à l'origine. En revanche, la largeur postérieure a perdu presque 2 cm suite au premier ennoisement. Les limites du talon ne pas exactement les mêmes que celles de l'empreinte d'origine du fait de l'altération de l'empreinte (Tableau 27 et Figure 68).

N°	Étape	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
19	1	24	23,7	20,4	10,2	6,2	6,2	10,5
	2	24,4	aucun	aucun	aucun	aucun	4,5	aucun

Tableau 27 : Biométrie de l'empreinte 19.

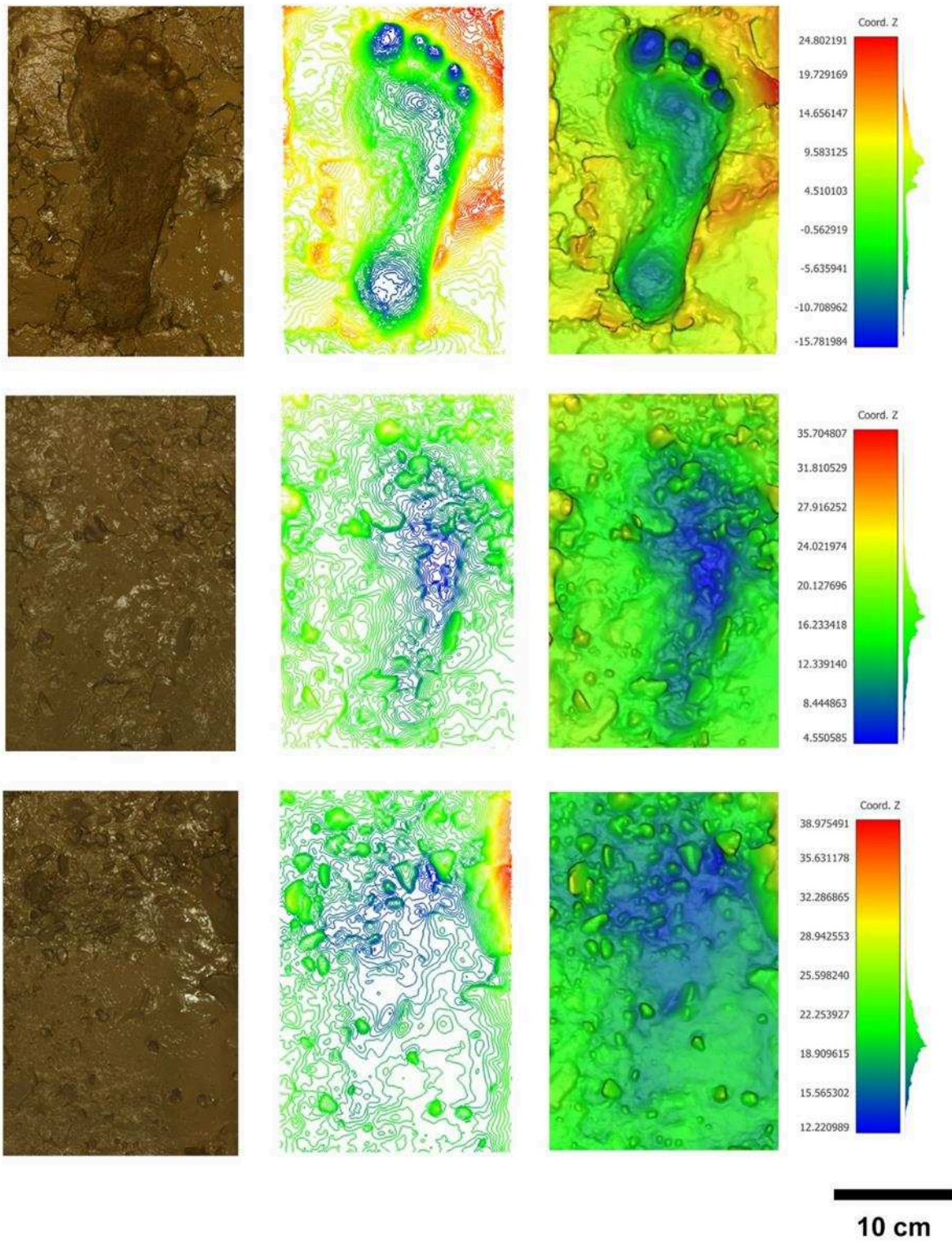


Figure 168 : Évolution de l'empreinte 19 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoisement, deuxième ennoisement).

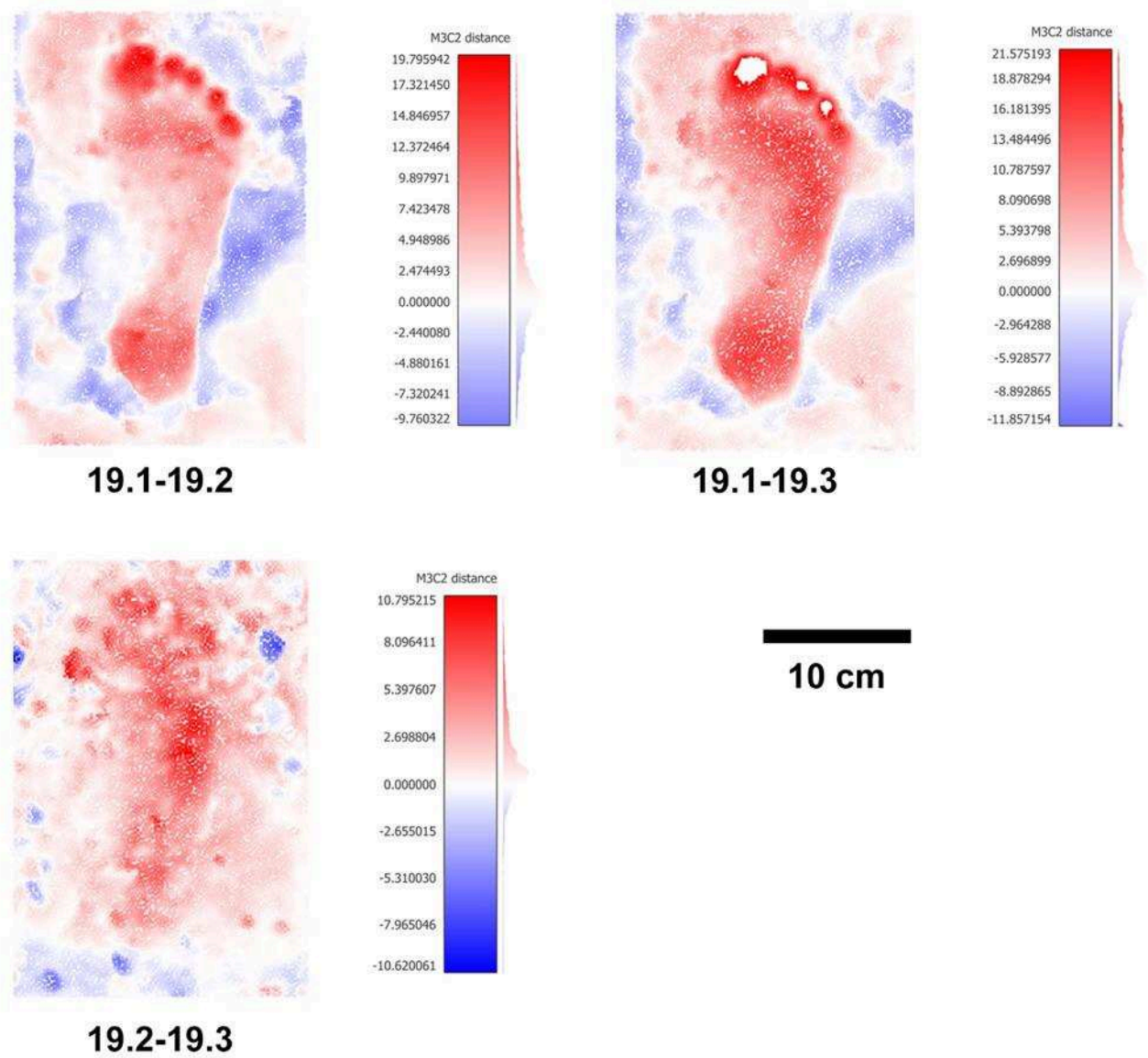


Figure 169 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 19. *Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.*

- Sujet 2 (empreinte 18)

L'empreinte originale est entière, l'ensemble du pied est visible. Comme souvent elle est plus marquée au niveau de la partie distale et de la partie proximale, cette dernière étant plus profonde. Des bourrelets d'argile présents sur le pourtour de la partie distale sont conséquents à l'appui du pied dans cette zone. Malgré un appui notable au niveau de la partie proximale, celle-ci disparaît au fur et à mesure des ennoiements. Cela s'accompagne d'un effacement progressif des détails de la partie distale dont il ne reste que le contour après le dernier ennoisement (Figure 60). Le calcul des distances de nuages de points confirme ce constat et montre un recouvrement de quasiment l'ensemble de la surface à chaque étape (autour de 90%). Une perte d'information est, de plus, constatée dès le second ennoisement avec une altération de la partie inférieure de la surface, par remobilisation, causant la disparition de la partie proximale de l'empreinte (Figure 61). Les écarts constatés, au niveau des mesures, entre la première et la dernière sont dus à la perte de définition du contour suite aux différents ennoiements (Tableau 28 et Figure 69).

N°	Étape	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
18	1	24	23,4	20	10,9	3,5	6	10,3
	2	23	22,5	19,2	10,4	aucun	4,5	10,2
	3	aucun	aucun	aucun	10,6	aucun	aucun	10,2
	4	aucun	aucun	aucun	9,2	aucun	aucun	9

Tableau 28 : Biométrie de l'empreinte 18.

1.8. Support argile de décantation et charge sédimentaire des ennoiements de 80g/L.

- Sujet 1 (empreinte 20)

L'empreinte originale apparaît en entier. Elle est bien imprimée en particulier au niveau des orteils et de la partie proximale. On constate des bourrelets et des soulèvements d'argile sur l'ensemble de son contour avec un important soulèvement en partie proximo-latérale. Malgré leur appui important, les orteils sont les premiers à être altérés à la suite du premier ennoisement. Leur altération se poursuit jusqu'à leur disparition après le troisième ennoisement. Les deux premiers ennoiements, en revanche, ne semblent pas détériorer le reste de l'empreinte qui est toujours bien visible et reconnaissable (Figure 62). Le calcul des distances de nuages de points met bien en évidence un remplissage plus important au niveau des orteils et de la partie proximale dès la deuxième étape (jusqu'à 17 mm). Le recouvrement de la surface est très homogène entre l'étape 2 et l'étape 3 (environ 90 % de la surface recouverte) et n'apporte aucun changement remarquable de l'empreinte. En revanche, à la suite du troisième ennoisement, une accumulation plus importante de matière à l'intérieur de l'empreinte est notable et amène à sa disparition (Figure 63). Les proportions de l'empreinte sont conservées jusqu'au dernier ennoisement. Quelques différences millimétriques dues à la prise de mesures sont cependant constatées (Tableau 29 et Figure 68).

N°	Étape	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
20	1	23,6	22,9	20	8,9	5,1	5,7	9,6
	2	23,5	22	19,4	8,2	5	5,6	9,6
	3	23,1	22	20,1	8,1	4,6	6,5	9,4

Tableau 29 : Biométrie de l'empreinte 20.

- Sujet 2 (empreinte 21)

L'empreinte originale apparaît en entier avec une impression particulièrement bien marquée au niveau de la partie distale de la plante et des orteils. On constate deux zones de soulèvement de l'argile suite à l'appui (en partie disto-médiale et disto-latérale). Dès le premier ennoisement on constate une altération de l'empreinte qui se matérialise par la perte de détails au niveau de la partie distale de la plante et des orteils et une disparition du reste de l'empreinte. Cette altération se poursuit après le second ennoisement : seul le bord médial de la partie distale de la plante et l'hallux sont encore bien reconnaissables. Ce constat est le même à la suite du dernier ennoisement (Figure 66). Le calcul des distances de nuages de points montre bien ce cheminement avec un remplissage de l'empreinte assez homogène à chaque étape (jusqu'à 5 mm). La persistance de la partie distale de la plante et l'hallux est due à un l'appui plus important du pied dans ces zones. Une perte de matière est, en revanche, visible au niveau des zones de soulèvement d'argile autour de la partie distale (Figure 67). Nos premières mesures ont montré que l'empreinte perdait environ 3 cm de longueur entre l'étape 1 et l'étape 2. En revanche, après réexamen de cette empreinte, il s'est avéré que ce que nous avons, en premier lieu, interprété comme le talon n'était, en réalité, qu'un leurre de la topographie. La partie proximale semble, en effet, avoir disparu dès le premier ennoisement (Tableau 30 et Figure 69). Nous avons, cependant, choisi de conserver ces mesures car elles témoignent bien de l'impact que peuvent avoir certains phénomènes taphonomiques sur notre lecture des empreintes et des erreurs d'interprétation qui peuvent en découler.

N°	Étape	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
21	1	24,9	24	21,4	10,9	5,2	5,7	10,5
	2	21,4	20,7	20	10,5	5,3	4,9	10,4

Tableau 30 : Biométrie de l'empreinte 21.

2. Le port de chaussant

2.1. Chaussant 1

2.1.1. Sans rembourrage

2.1.1.1. Support argile (environ 60% de teneur en eau)

- Sujet 1 (empreinte ch1)

L'empreinte de pied chaussé est, de façon générale, plus superficielle que celle du pied nu dont l'impression des parties visibles est plus ou moins homogène sur l'ensemble de l'empreinte. Seuls les appuis au niveau de l'hallux et du bord médial de la partie distale de la plante se sont imprimés plus profondément que pour le pied nu (enfoncement d'environ 2 cm par rapport à la surface originelle pour l'hallux). Bien que le talon soit visible, il ne se marque pas d'un point de vue topographique, la partie distale étant la seule à s'être véritablement imprimée sur le support. On reconnaît bien, malgré tout, la morphologie de cette zone qui est très similaire à celle du pied nu. Les orteils ont tous marqué, sauf le cinquième. En revanche, et contrairement à l'empreinte de pied nu, ils sont moins individualisables (Figure 170). L'empreinte de pied chaussé est plus allongée et étroite en partie proximale que celle du pied nu (Tableau 31).

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
ch1 avec ch.	24,4	22,7	19,7	8	aucun	4,3	9,8
ch1 sans ch.	23,5	22,4	19,7	8,2	2,5	5,3	9,4

Tableau 31 : Biométrie de ch1.

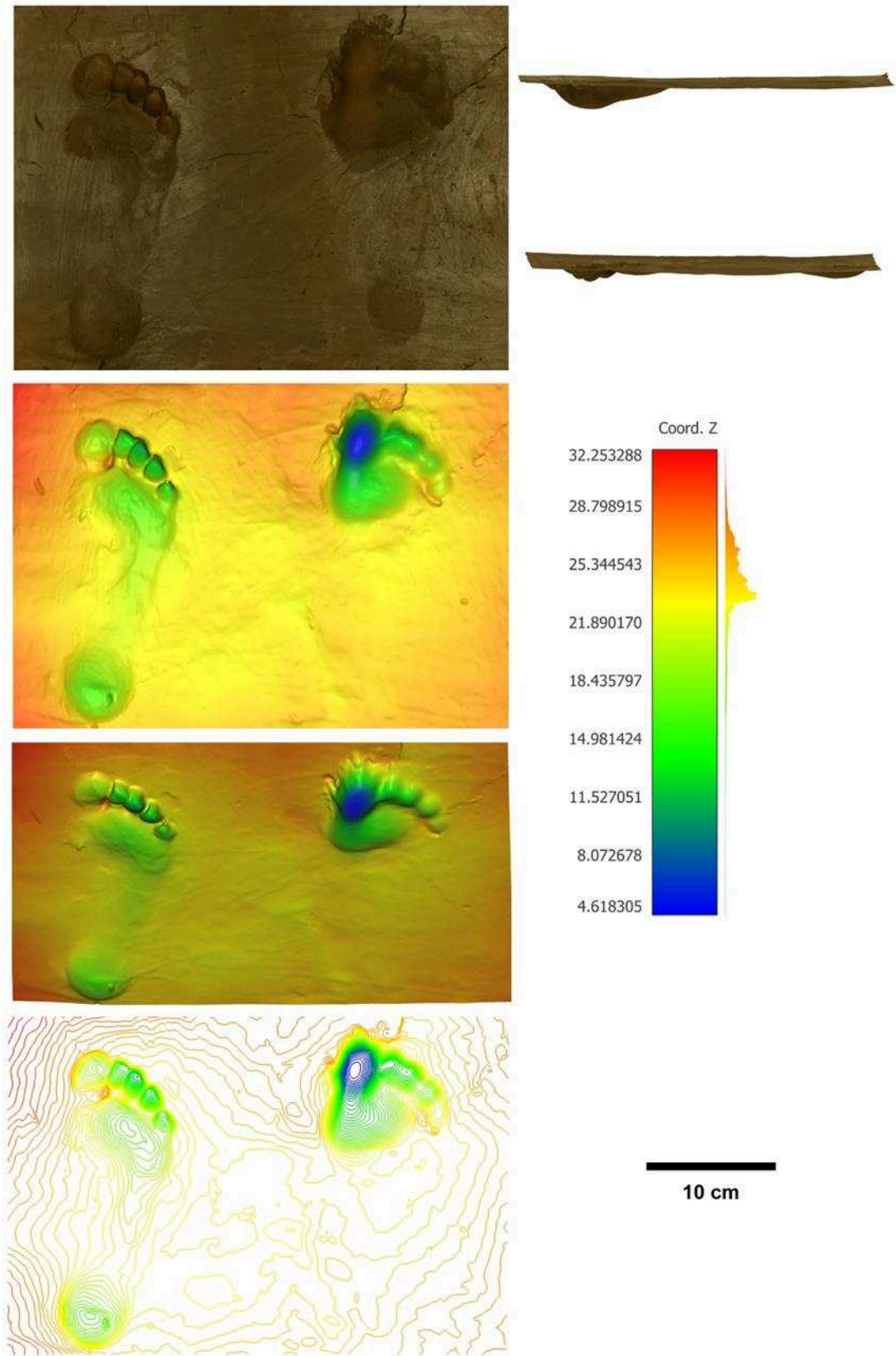


Figure 170 : Comparaison des empreintes constituant ch1 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

- Sujet 2 (empreinte ch2)

Les deux empreintes, chaussée et nue, apparaissent quasiment en entier, seule la partie moyenne du pied n'est pas visible. La morphologie générale de l'empreinte de pied chaussé est assez similaire à l'empreinte de pied nu, bien que dans l'ensemble elle ait un aspect plus allongé, probablement dû à la contrainte des parties molles sous l'effet du chaussant (Tableau 32). Malgré le chaussant, les orteils sont visibles, en particulier les quatre premiers. Ils sont bien mis en évidence par la carte de profondeur même s'ils sont moins individualisés que pour l'empreinte de pied nu. Les bourrelets d'argile présents sur les bords médial et latéral de la partie distale de la plante de l'empreinte de pied nu témoignent pourtant de la plasticité du support. Pour les deux empreintes, l'appui qui montre l'impression la plus importante se situe au niveau du bord médial de la partie distale de la plante (environ 1 cm de profondeur par rapport à la surface originelle). De façon générale, l'empreinte de pied chaussé est plus superficielle que celle de pied nu car le chaussant a amorti l'appui (Figure 73 et Tableau 32).

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
ch2 avec ch.	25,1	24,3	21,5	9,6	aucun	4,8	10,4
ch2 sans ch.	24	23,4	20,5	10	aucun	5,2	10

Tableau 32 : Biométrie de ch2.

2.1.1.2. Support argile de décantation

- Sujet 1 (empreinte ch3)

Les deux empreintes sont parfaitement imprimées sur le support. Morphologiquement, l'empreinte de pied chaussé est à première vue assez différente de celle du pied nu. Sa partie distale est large, à la différence de la partie proximale, très étroite et allongée (Tableau 33). Cet aspect est accentué par un enlèvement de matière au niveau du bord médial lors de l'appui dû à la texture très collante de l'argile. On reconnaît cependant la morphologie du pied. L'appui le plus marqué est celui de la partie distale, en particulier en ce qui concerne l'hallux, tandis que pour l'empreinte de pied nu les appuis distal et proximal forment des impressions équivalentes. Cela est bien mis en évidence par les isolignes et le profil des empreintes. Les orteils sont visibles mais plus difficilement individualisables que pour l'empreinte de pied nu, sauf pour l'hallux (Figure 75).

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
ch3 avec ch.	26,6	23,5	20,6	10,4	4,3	4,5	10,2
ch3 sans ch.	23,8	23,1	20,9	9,6	3,9	5,9	10,1

Tableau 33 : Biométrie de ch3.

- Sujet 2 (empreinte ch13)

Les deux empreintes se sont parfaitement imprimées sur le support, particulièrement au niveau de leur partie distale dont la profondeur se situe environ entre 3 et 5 cm par rapport à la surface d'origine. Elles semblent très similaires au niveau des caractéristiques de leur impression sur la surface, le chaussant ne paraissant pas avoir trop amorti ce dernier. En coupe, on constate malgré tout que l'appui du pied avec le chaussant est moindre que celui du pied nu avec un appui distal beaucoup plus homogène et une partie proximale quasiment imperceptible. L'empreinte de pied chaussé est d'aspect un peu plus allongé que celle de pied nu, surtout au niveau de sa partir proximale (Tableau 34). Les orteils se voient difficilement, hormis l'hallux, qui est le seul à être individualisable. D'importants soulèvements de plaquettes d'argile sur le pourtour de la partie distale de chacune des empreintes sont constatés (Figure 171).

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
ch13 avec ch.	28	23,5	22,2	13,1	6,5	5,9	11
ch13 sans ch.	26,6	23,3	21,4	11,4	3,4	6	10,5

Tableau 34 : Biométrie de ch13.

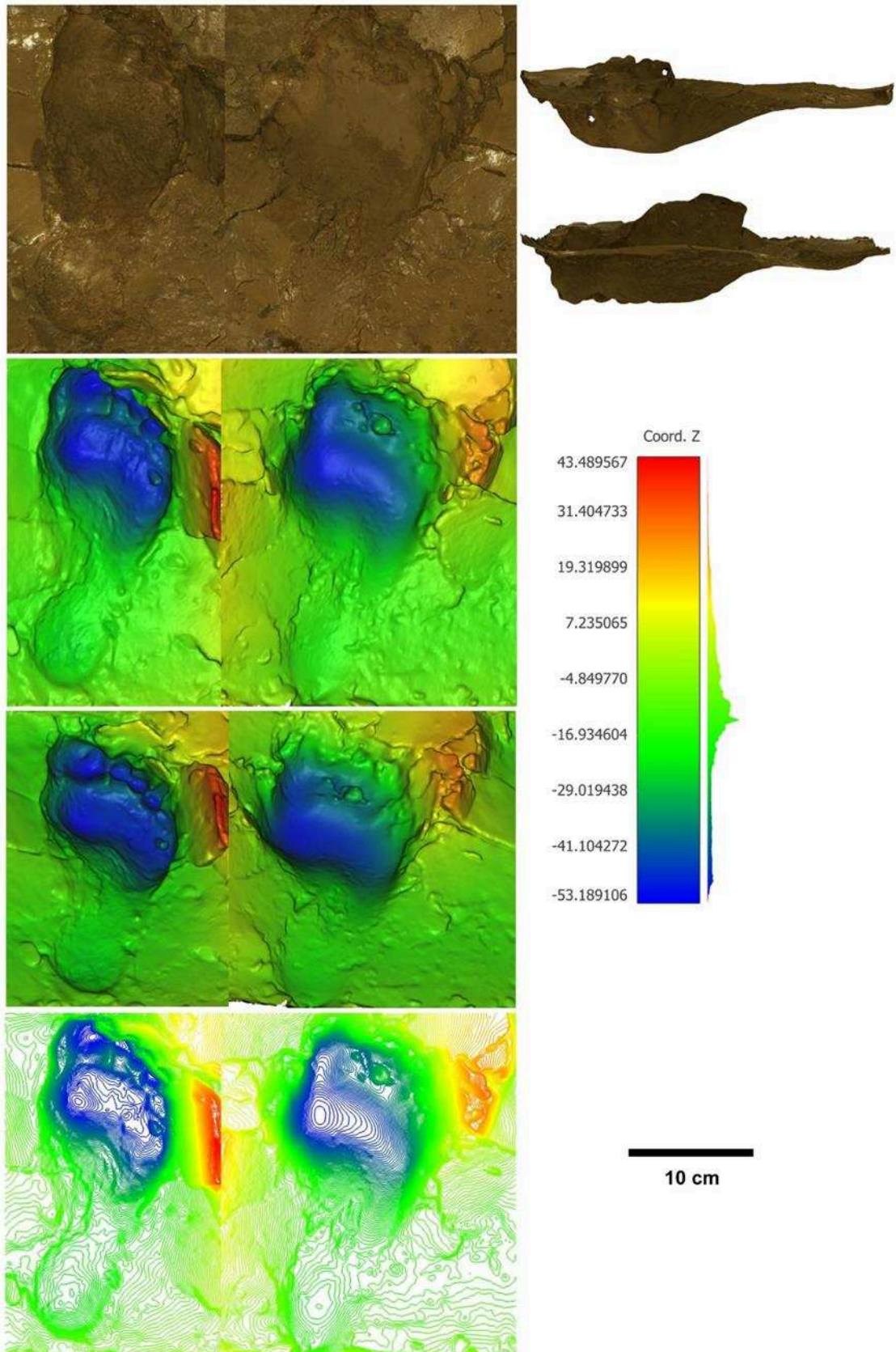


Figure 171 : Comparaison des empreintes constituant ch13 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

2.1.2. Avec rembourrage

2.1.2.1. Support argile (environ 60% de teneur en eau)

- Sujet 1 (empreinte ch4)

L'empreinte issue du pied chaussé et avec rembourrage est cette fois clairement différente de l'empreinte de pied nu. L'ensemble du pied s'est imprimé. On reconnaît la morphologie de ce dernier, mais aucun détail n'est apparent. Les orteils sont, en effet, absents. Globalement, l'empreinte de pied chaussé est plus étroite et allongée que l'empreinte de pied nu (Tableau 35). L'appui du pied qui a été amorti par le chaussant et son rembourrage, semble s'être fait de façon relativement homogène sur l'ensemble de la surface même si les impressions des parties distale et proximale sont légèrement plus marquées. L'empreinte de pied nu se caractérise par une impression de l'hallux assez importante (environ 1 cm par rapport à la surface originelle). Les coupes des empreintes rendent également bien compte de la différence de force de l'appui du pied selon qu'il soit chaussé ou nu, avec un profil pour l'empreinte de pied chaussé quasiment inexistant (Figure 172).

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
ch4 avec ch.	25,2	aucun	aucun	8	5,2	5,6	aucun
ch4 sans ch.	24,2	22,6	19,2	8,1	aucun	5,4	9,4

Tableau 35 : Biométrie de ch4.

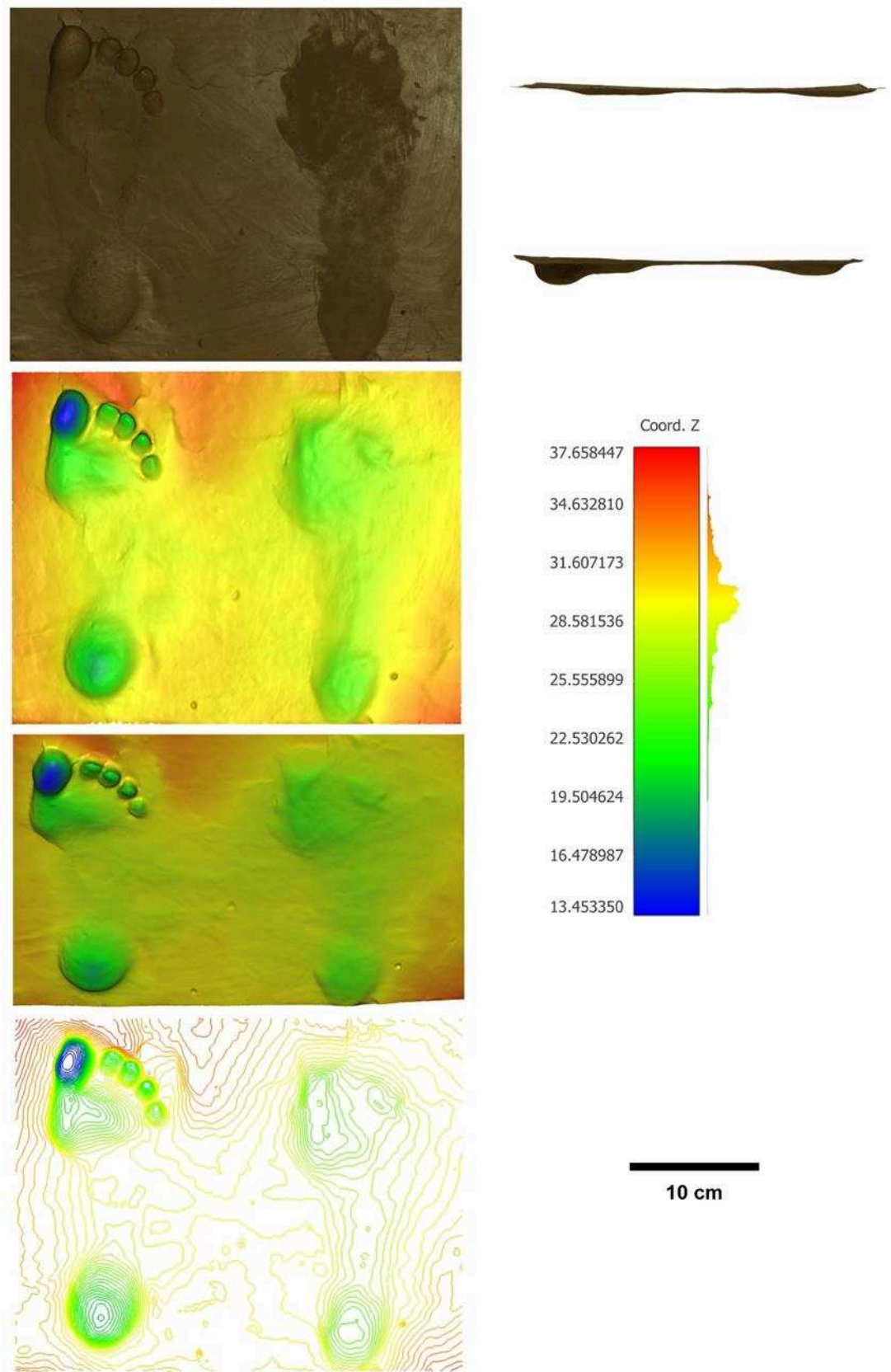


Figure 172 : Comparaison des empreintes constituant ch4 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

- Sujet 2 (empreinte ch6)

Comme pour la précédente, les détails, en particulier les orteils, sont absents sur l'empreinte de pied chaussé, même si on reconnaît très bien la morphologie générale du pied. Celle-ci est également plus étroite et allongée que l'empreinte de pied nu (Tableau 36). L'appui de la partie distale est plus marqué que celui de la partie proximale. L'appui du bord médial de la partie distale de la plante est le plus marqué dans les deux cas de figure mais dans l'ensemble, l'empreinte de pied chaussé est beaucoup plus superficielle que celle de pied nu (Figure 77). L'amortissement de l'appui du pied avec le chaussant se constate aussi au niveau du contour de l'empreinte qui, à la différence de l'empreinte de pied nu, ne présente pas de bourrelet d'argile repoussée.

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
ch6 avec ch.	26,5	aucun	aucun	9,4	5	5,6	8,8
ch6 sans ch.	24,2	23,5	20	10	3,7	5,9	10

Tableau 36 : Biométrie de ch6.

2.1.2.2. Support argile de décantation

- Sujet 1 (empreinte ch10)

L'ensemble du pied s'est imprimé pour les deux empreintes. L'empreinte de pied chaussé a une morphologie relativement différente de celle du pied nu. D'aspect plus allongé, elle est large (Tableau 37) et arrondie au niveau de sa partie distale et plus étroite en partie proximale. L'appui le plus marqué concerne la partie distale et se marque par une dépression recouvrant l'ensemble de la zone. L'empreinte de pied nu a quant à elle des appuis plus ou moins équivalents au niveau des parties distale et proximale. Les deux empreintes présentent sur leur contour des soulèvements et enlèvements (bord médial) de matière suite à l'appui du pied, témoignant de la plasticité et de la texture collante du support (Figure 173).

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
ch10 avec ch.	26,3	aucun	aucun	9,9	5,5	5,1	aucun
ch10 sans ch.	23,4	23	20	9,9	4,1	5,9	10,4

Tableau 37 : Biométrie de ch10.

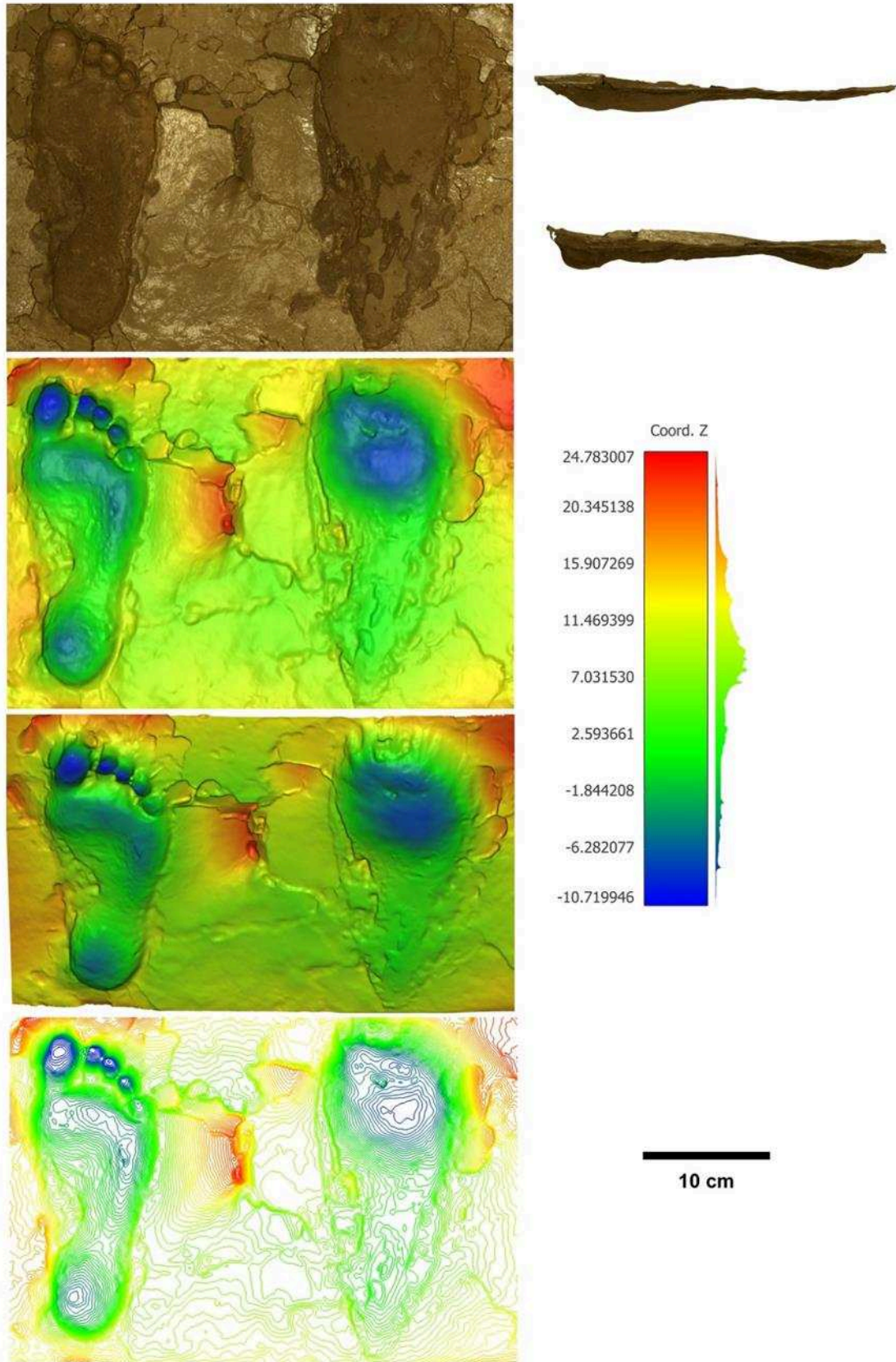


Figure 173 : Comparaison des empreintes constituant ch10 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

- Sujet 2 (empreinte ch14)

Les deux empreintes se sont très bien imprimées sur la surface. L'empreinte du pied chaussé a une morphologie générale proche de celle du pied nu bien que plus allongée au niveau de sa partie proximale (Tableau 38). Plus précisément, aucun détail n'est apparent, les orteils étant absents. L'appui le plus marqué se situe au niveau du bord médial de la partie distale de la plante, comme pour l'empreinte de pied nu mais plus superficiellement. L'empreinte de pied nu dont les contours sont parfaitement définis et qui présente les orteils témoigne de la plasticité du support par la présence d'un bourrelet sur le bord médial et le soulèvement d'argile au niveau de la partie distale. Le chaussant semble, par conséquent, avoir amorti l'appui, ce qui se vérifie bien en coupe (Figure 78).

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
ch14 avec ch.	26,2	aucun	aucun	10,6	7,6	5,9	10
ch14 sans ch.	25	24,4	21,5	11,1	4,2	5,9	10,9

Tableau 38: Biométrie de ch14.

2.2. Chaussant 2

2.2.1. Sans rembourrage

2.2.1.1. Support argile (environ 60% de teneur en eau)

- Sujet 2 (empreinte ch8)

L'ensemble du pied s'est imprimé en ce qui concerne les deux empreintes, particulièrement la partie distale. La partie distale de la plante est, en effet, la zone d'appui la plus marquée pour l'empreinte de pied chaussé avec un appui homogène sur l'ensemble de la zone. Les orteils n'ont quasiment pas marqué sauf l'hallux bien individualisé. La partie proximale est visible mais assez superficielle, elle est étroite et plus allongée que l'empreinte de pied nu (Tableau 39). Malgré l'absence de détails, la morphologie du pied est bien rendue. L'empreinte de pied nu se caractérise, quant à elle, par un très fort appui au niveau du bord médial de la partie distale de la plante qui témoigne de l'effet amortissant du chaussant sur l'appui du pied (Figure 74).

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
ch8 avec ch.	25,2	aucun	21,2	10,4	aucun	4,4	9,1
ch8 sans ch.	24,2	23,4	20,5	10,9	aucun	5,4	9,7

Tableau 39 : Biométrie de ch8.

- Sujet 3 (empreinte ch11)

Même si, à première vue, l'empreinte de pied chaussé apparaît entière, la réalité topographique est différente. En effet, seule la partie distale a véritablement marqué sur le support. Celle-ci est similaire à l'empreinte de pied nu : on reconnaît bien la morphologie du pied. En revanche, mis à part l'hallux, les orteils n'ont pas marqué. L'appui le plus marqué se constate au niveau du bord médial de la partie distale de la plante. Cette empreinte est dans l'ensemble assez superficielle, le chaussant ayant probablement amorti l'appui. Elle apparaît plus allongée et étroite que l'empreinte de pied nu (Tableau 40). L'empreinte de pied nu quant à elle présente un appui marqué au niveau de l'hallux et de l'ensemble de la partie distale de la plante. La partie proximale, plus superficielle, est également visible ainsi que la totalité des orteils (Figure 174).

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
ch11 avec ch.	25,5	aucun	21,8	9,6	aucun	aucun	8,2
ch11 sans ch.	24	24,1	20	9,4	3,4	5,2	10

Tableau 40 : Biométrie de ch11.

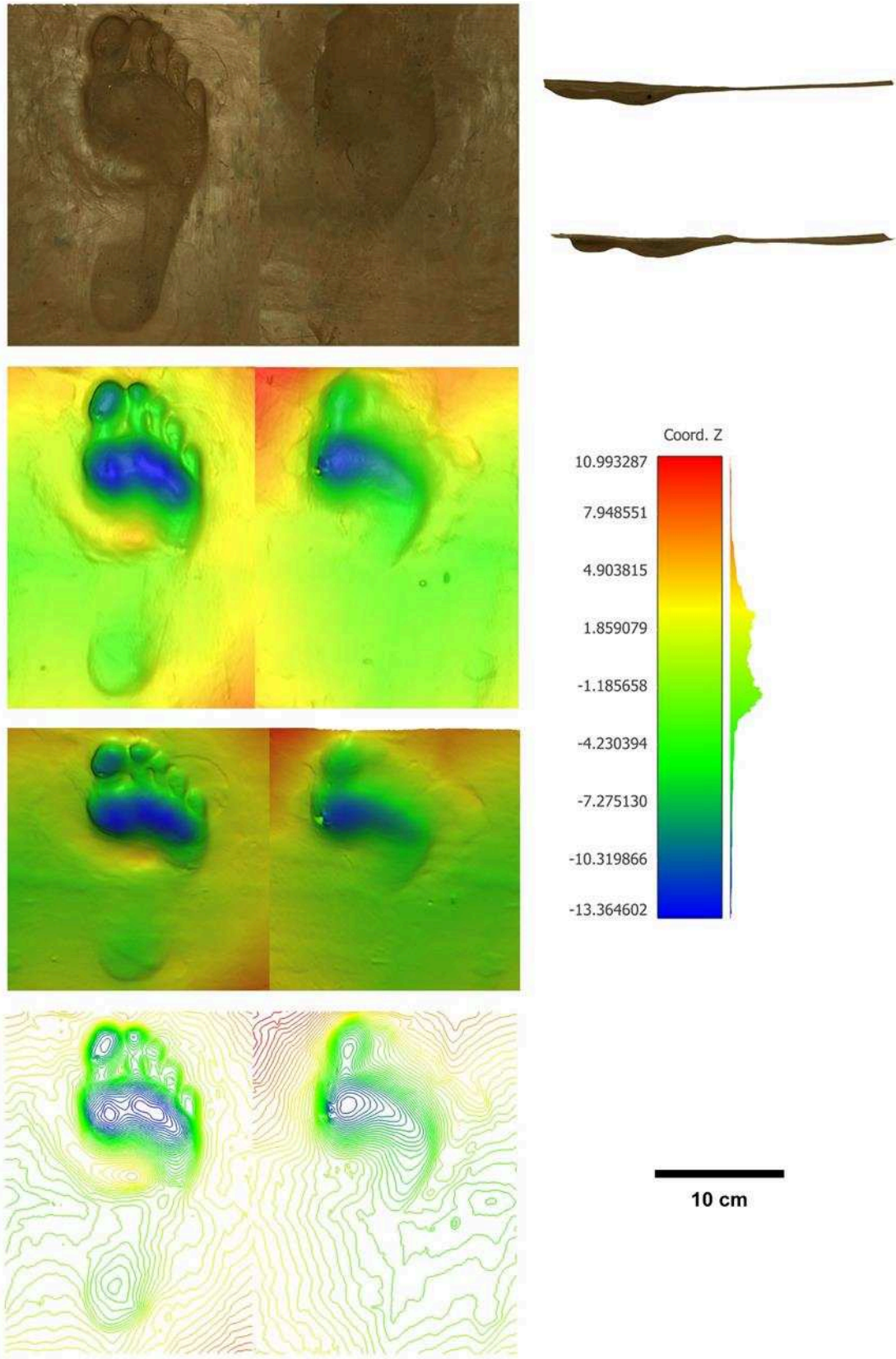


Figure 174 : Comparaison des empreintes constituant ch11 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

2.2.1.2. Support argile de décantation

- Sujet 2 (empreinte ch15)

Les deux empreintes apparaissent en entier. L'empreinte de pied chaussé est un peu plus longue et large en partie distale que celle de pied nu (Tableau 41). On reconnaît bien la forme générale du pied malgré la présence du chaussant mais les détails ne sont pas visibles. L'hallux est cependant individualisable sur les cartes de profondeurs et d'isolignes et le pli de flexion peut également être mis en évidence. La partie distale du pied est celle qui a le plus marqué, le reste de l'appui étant plus superficiel mais malgré tout bien imprimé, même si peu perceptible en coupe. L'empreinte de pied nu est assez similaire à celle de pied chaussé, la différence principale étant la présence de l'ensemble des orteils et un appui plus marqué au niveau des parties distale et proximale (Figure 76).

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
ch15 avec ch.	26,5	aucun	21,4	11,9	6,5	6	9
ch15 sans ch.	24	23,4	21,1	12,2	4,9	6	11

Tableau 41 : Biométrie de ch15.

- Sujet 3 (empreinte ch16)

Le pied s'est imprimé en entier sur le support, aussi bien avec le chaussant que nu. La forme générale du pied est bien reconnaissable sur l'empreinte de pied chaussé mais les détails ont disparu. Celle-ci est de plus relativement plus longue que l'empreinte de pied nu (Tableau 42). La partie distale de la plante qui est bien individualisable est, comme souvent, celle qui est la plus profonde, en particulier au niveau de ce qui correspond à l'hallux (bien visible en coupe). Ce dernier forme, en effet, une dépression plus importante que le reste du pied (possiblement accompagné du deuxième orteil). L'empreinte de pied nu quant à elle se caractérise par la présence des orteils, même si ceux-ci sont beaucoup plus superficiels que la partie distale de la plante (Figure 175).

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
ch16 avec ch.	27,5	aucun	22,9	12	6,9	6,7	9,8
ch16 sans ch.	24	23,4	20,5	12,4	5,5	6	9,9

Tableau 42 : Biométrie de ch16.

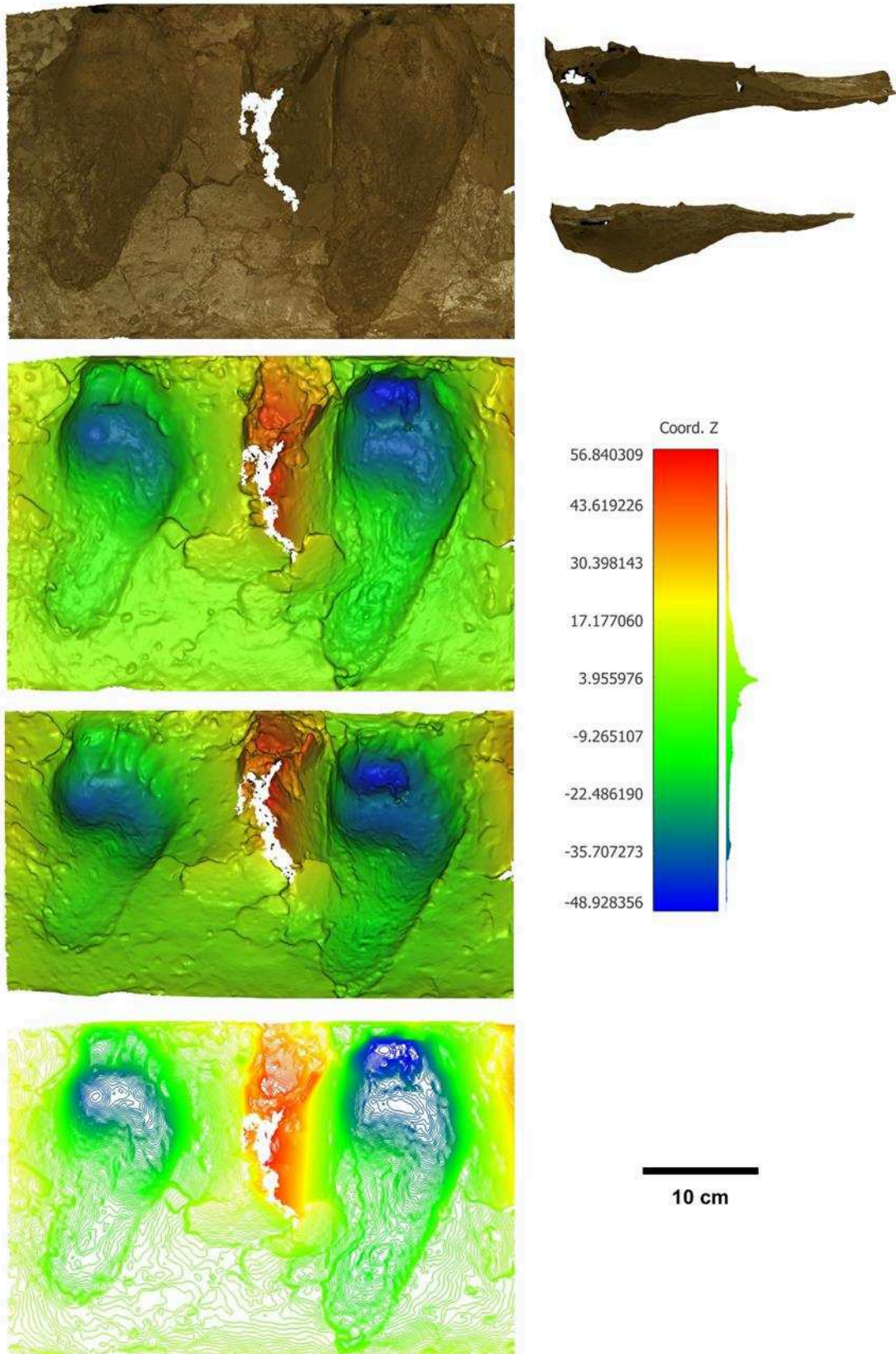


Figure 175 : Comparaison des empreintes constituant ch16 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

2.2.2. Avec rembourrage

2.2.2.1. Support argile (environ 60% de teneur en eau)

- Sujet 2 (empreinte ch9)

L'empreinte de pied chaussé semble avoir marqué en entier mais elle est très superficielle comme le montre les cartes de profondeur et des isolignes sur lesquelles seule la partie distale est visible. La zone la plus profonde se situe au niveau du bord médial. On ne voit pas les orteils mais on distingue l'appui de l'hallux, en particulier sur la carte des isolignes. On reconnaît la forme générale de l'empreinte malgré son aspect plus allongé et étroit que celui de l'empreinte de pied nu (Tableau 43). L'empreinte de pied nu est quant à elle très bien marquée, en particulier au niveau de ses parties distale et proximale. Tous les orteils sont bien visibles, la partie distale de la plante possède la profondeur la plus importante sur son bord médial. Des bourrelets d'argile résultants de la pression du pied sur le support et localisés sur les pourtours de l'empreinte (en particulier autour de la partie proximale) témoignent de la plasticité du support et de l'effet amortissant du chaussant. Celui-ci est, en outre, très bien perceptible en coupe (Figure 79)

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
ch9 avec ch.	26	aucun	aucun	8,9	aucun	5,8	aucun
ch9 sans ch.	24,6	23,6	20,5	11,4	aucun	5,9	10,5

Tableau 43 : Biométrie de ch9.

- Sujet 3 (empreinte ch12)

À première vue, les deux empreintes sont entièrement visibles sur le support. En revanche, les parties moyennes et proximales sont inexistantes d'un point de vue topographique pour l'empreinte de pied chaussé et quasiment invisibles pour celle de pied nu. L'empreinte de pied chaussé montre un appui de la partie distale bien marqué et arrondi avec un petit bourrelet d'argile au niveau de son bord latéral. Les orteils ne sont pas visibles mais on parvient malgré tout à isoler l'hallux sur la carte des isolignes et en coupe. Elle est plus allongée et étroite que l'empreinte de pied nu (Tableau 44). L'empreinte de pied nu a quant à elle un appui profond au niveau de la partie distale de la plante, les orteils sont bien marqués et individualisables (Figure 176).

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
ch12 avec ch.	26	aucun	aucun	9	4,6	5,5	aucun
ch12 sans ch.	24,4	23,6	19,9	10	3,9	4,9	10,2

Tableau 44 : Biométrie de ch12.

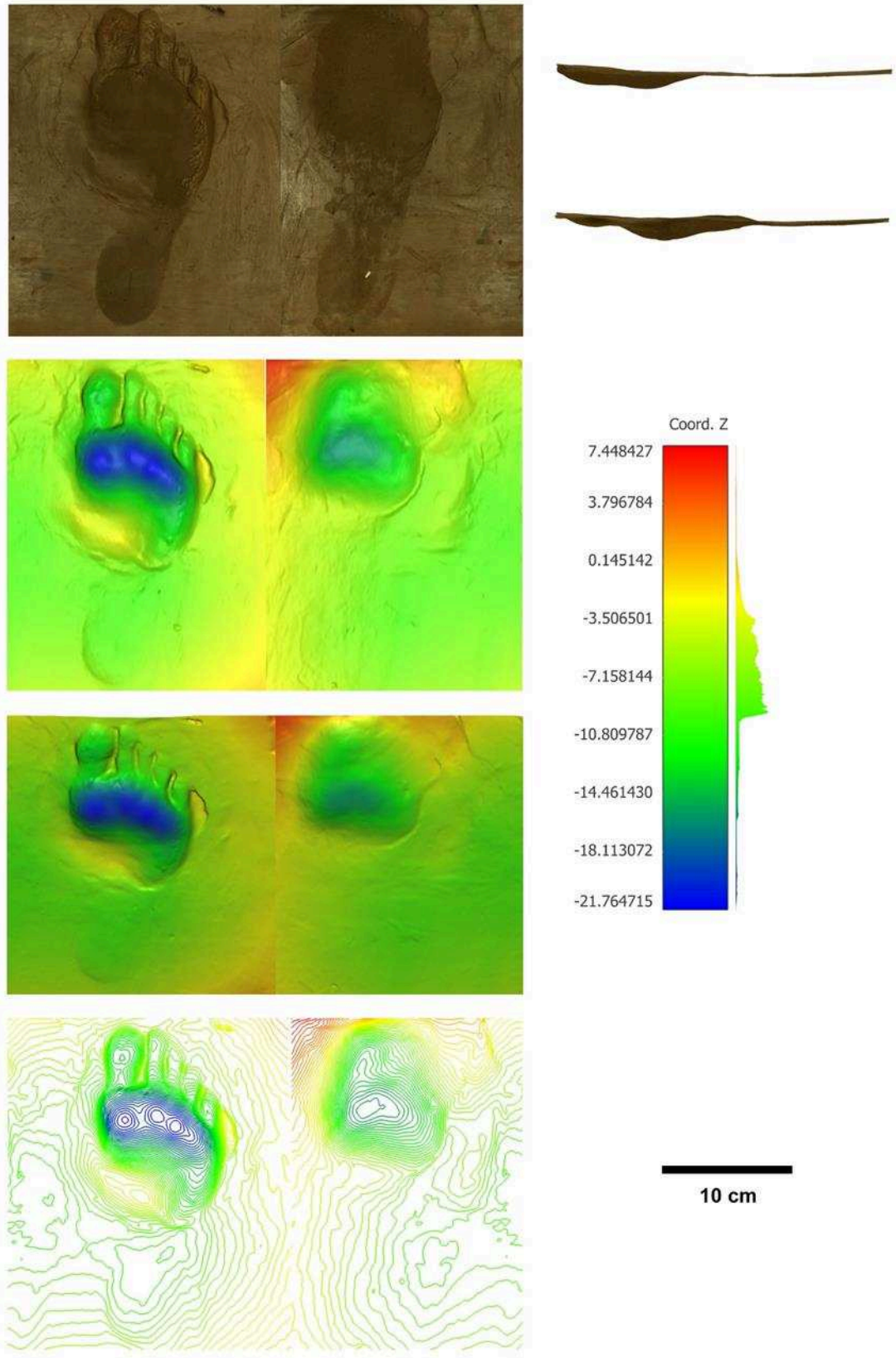


Figure 176 : Comparaison des empreintes constituant ch12 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.

2.2.2.2. Support argile de décantation

- Sujet 2 (empreinte ch18)

Les deux empreintes sont complètes et parfaitement imprimées sur le support. L'empreinte de pied chaussé a un aspect plus allongé et étroit (Tableau 45) que celle de pied nu mais la morphologie générale du pied est bien rendue. L'appui du pied semble relativement homogène mis à part au niveau de la partie moyenne, plus superficielle. Les détails du pied ne sont pas rendus, il est cependant possible d'identifier l'hallux, bien visible sur la carte d'isolignes. L'empreinte de pied nu, se caractérise par une impression importante au niveau de la partie distale de la plante, particulièrement sur son bord médial. Les détails tels que les orteils sont bien visibles et son contour bien défini. Le chaussant semble avoir amorti l'appui du pied, les profils des empreintes mettent bien en évidence la différence de profondeur des deux empreintes (Figure 80).

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	largeur ant.	largeur med.	largeur post.	largeur ort.
ch18 avec ch.	26,5	aucun	aucun	10	8	6	aucun
ch18 sans ch.	24,1	23,6	20	11,1	5,5	6,6	10,5

Tableau 45 : Biométrie de ch18.

- Sujet 3 (empreinte ch17)

Les deux empreintes se sont parfaitement imprimées sur le support. L'empreinte de pied chaussé est plus longue que celle de pied nu (Tableau 46). Elle se caractérise par une partie distale large et une partie proximale plus resserrée mais de façon générale, on reconnaît la forme du pied. L'appui le plus marqué se situe au niveau de la partie distale avec une importante dépression sur l'ensemble de cette zone (environ 7 cm par rapport à la surface originale). Cette dépression semble, de plus, plus marquée au niveau de la zone de l'hallux. L'appui des parties moyenne et proximale est quant à lui homogène et plus superficiel. Des bourrelets d'argile et un soulèvement de matière se retrouvent sur le pourtour de l'empreinte, en particulier au niveau de la partie distale. L'empreinte de pied nu présente quant à elle tous les détails du pied avec les orteils, le pli de flexion et la courbure témoignant de la voûte plantaire en bord médial. Elle est plus superficielle que l'empreinte de pied chaussé avec un appui du pied homogène à l'exception d'une petite dépression plus importante sur le bord médial, au niveau du sésamoïde (Figure 82).

N°	Longueur 1	Longueur 2	Longueur pl.	Largeur ant.	Largeur med.	Largeur post.	Largeur ort.
ch17 avec ch.	29,2	aucun	aucun	12,9	10	5,9	aucun
ch17 sans ch.	24,6	24,2	21	10,5	7,9	6,5	9,8

Tableau 46 : Biométrie de ch17.

Annexe 2

Il s'agit des figures 131, 132 et 133 représentées en format A3.

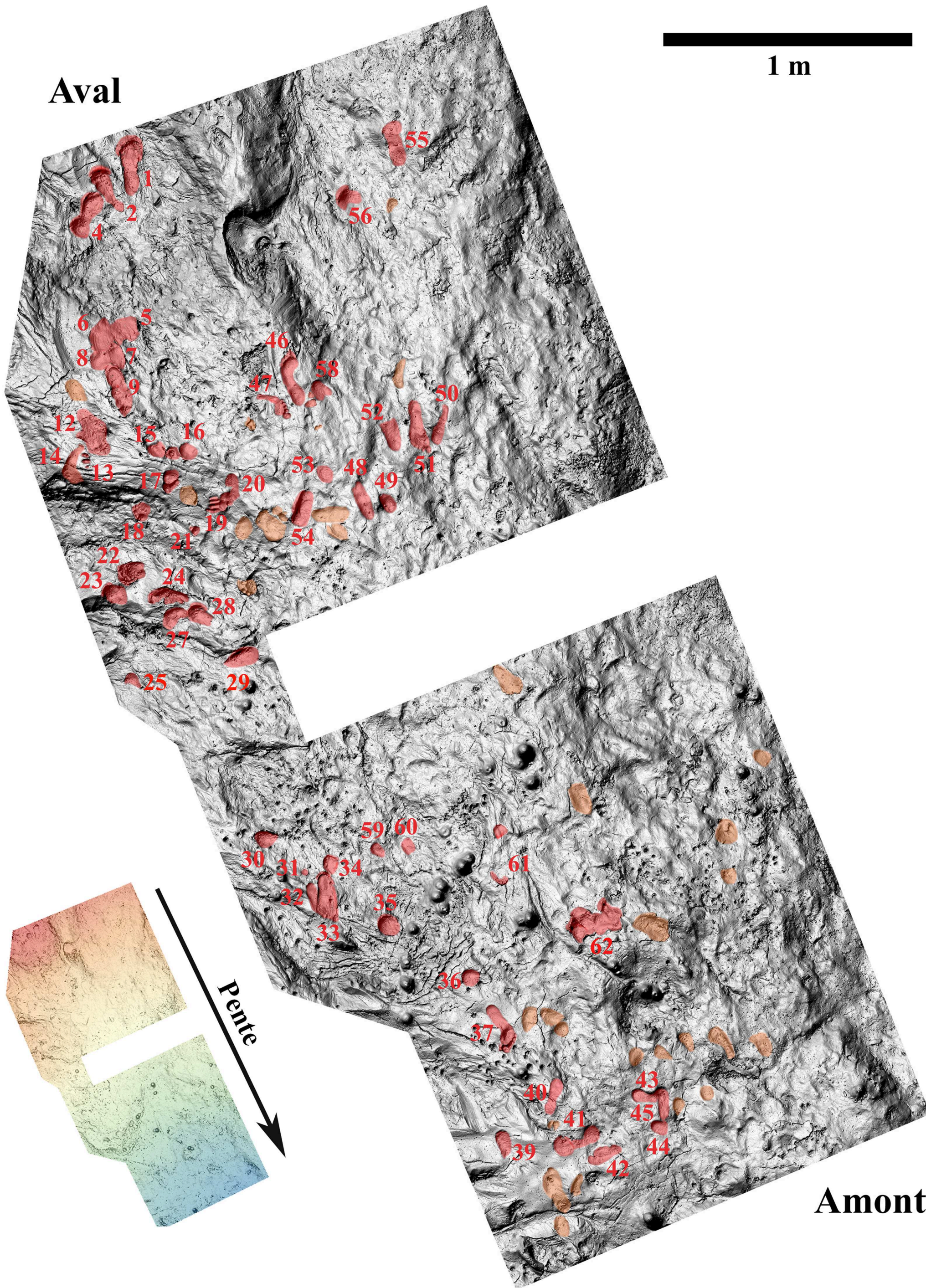
- Figure 177 : Fontanet - Export 2D de la plage n°1. En rouge et numérotées, les empreintes inventoriées lors de la mission sur le terrain de 2018. En orange, les empreintes repérées sur le modèle 3D. Les numéros manquants sont liés à des empreintes situées sous la passerelle.

- Figure 178 : Fontanet - *Cartes d'isolignes (espace d'1 cm) de la plage 1.*

- Figure 179 : Fontanet - Relevé des empreintes de la plage 1 et directions. En rouge : *empreintes dirigées vers l'aval, en rose : empreintes dirigées vers l'amont.*

Aval

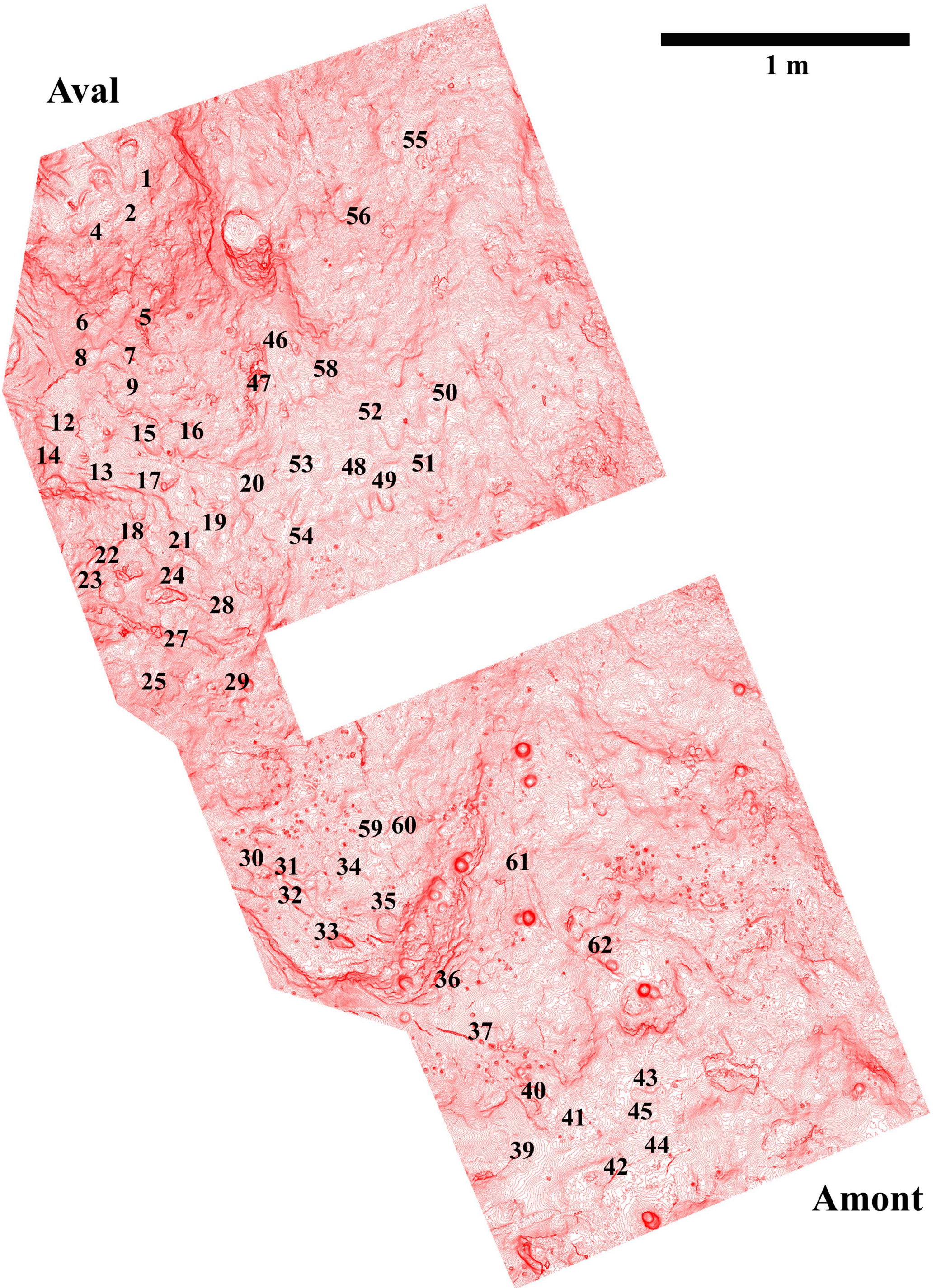
1 m



Amont

Aval

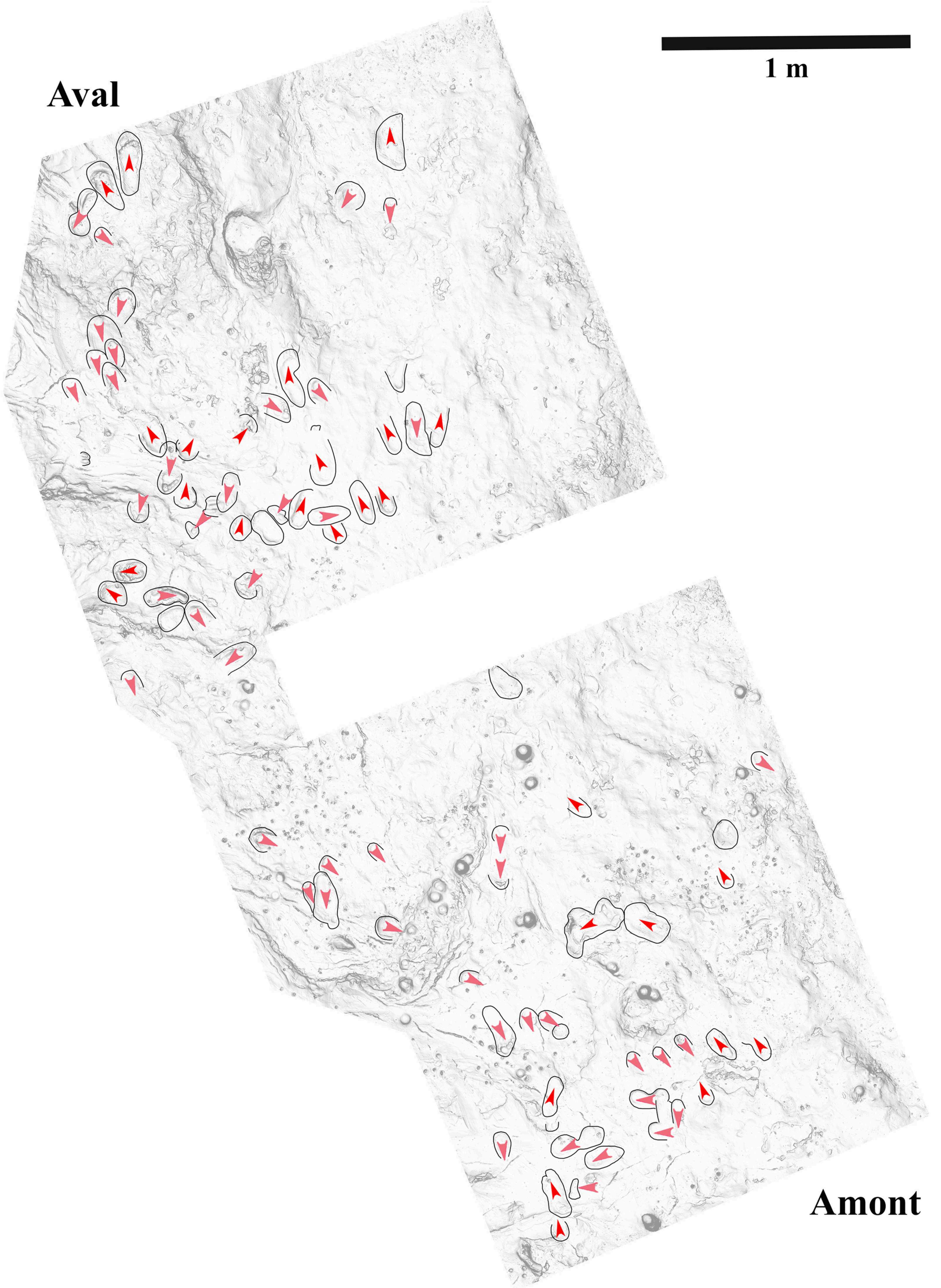
1 m



Amont

Aval

1 m



Amont

Table des figures

Figure 1 : Empreintes d' <i>Ornithodichnite gracillimus</i> (Hitchcock, 1858).-----	27
Figure 2 : Moulage des empreintes du diverticule de Niaux (dessin M.-A. Garcia (Pales, 1976)). -----	30
Figure 3 : Classification des traces humaines en milieu souterrain, d'après (Rouzaud, 1978). -----	34
Figure 4 : Répartition spatiale des grottes à empreintes. 1 : Aldène, 2 : Chauvet-Pont- <i>d'Arc</i> , 3 : Combarelles, 4 : Cournazac, 5 : Cussac, 6 : Foissac, 7 : Fontanet, 8 : Lascaux : 9 : Montespan, 10 : Niaux, 11 : Pech Merle, 12 : Tuc- <i>d'Audoubert</i> , 13 : Aitzbitarte, 14 : Atxurra (datation des empreintes à vérifier), 15 : Ojo Guareña, 16 : El Castillo, 17 : La Bàsura, 18 : Vârtop. -----	39
Figure 5 : Exemples de pistes expérimentales de Salamandre réalisées dans différents substrats <i>d'après Brand (1996)</i> : a : sable subaquatique, b : boue subaquatique, c : sable sec, d : sable humide.-----	50
Figure 6 : Types de fiches utilisées dans le cadre de l'inventaire de Fontanet et Cussac. ----	60
Figure 7 : Terminologie utilisée pour la latéralisation des empreintes. -----	61
Figure 8 : Mesures prises sur les empreintes de pieds. -----	62
Figure 9 : Mesures prises sur les empreintes de mains. -----	63
Figure 10 : Reconstruction d'un modèle 3D d'une empreinte expérimentale à l'aide du logiciel Photoscan. Chaque rectangle bleu indique la position spatiale des photographies autour de <i>l'objet</i> . -----	66
Figure 11 : Réalisation d'un modèle 3D. 1 : l'empreinte est scannée avec le scanner Artec Eva, 2 : post-traitement sous le logiciel Artec studio 9, 3 : l'étude est réalisée sous le logiciel CloudCompare. -----	67
Figure 12 : Schéma synthétique de la méthodologie employée. -----	69
Figure 13 : Localisation de la grotte de Cussac. -----	75
Figure 14 : Topographie en plan de la grotte de Cussac (H. Camus, Hypogée, CAD, F. Lacrampe-Cuyaubère et coll.). -----	78
Figure 15 : Cussac - Exemples de traces d'activités ursines. a : empreinte de main, b : empreinte de griffes, c : griffades sur un talus argileux (Photographies : F. Maksud et N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	83
Figure 16 : Cussac - Lampes retrouvées en branche amont (Photographies M. Peyroux et F. Maksud, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	84
Figure 17 : Cussac - Objets retrouvés à Cussac. a : lame (échelle : 5 cm), b : éclat laminaire (photographies : H. Plisson © CNRS), c : artefact osseux (échelle : 5 cm, photographie : N. Goutas, PCR Cussac, Ministère de la Culture ©). -----	85
Figure 18 : Cussac - Exemples de traces rouges. a : traces rouges sur la paroi (~ 10 × 2,5 cm), b : traces rouges au sol (Photographies : N. Fourment et M. Peyroux, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).-----	86
Figure 19 : Cussac - Exemples de traces noires. a : trois points noirs sur paroi (chaque point mesure ~1 cm), b : trace noire sur paroi (~ 1 cm), c : mouchage sur concrétion (~5 × 5 cm), d : mouchage sur paroi (~ 12 × 12 cm) (Photographies : F. Maksud et N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	86

Figure 20 : Cussac - Empreinte de pied gauche (TrAc 166). a : photo avant le retrait de la boulette d'argile, b : modèle 3D après le retrait de la boulette d'argile.-----	90
Figure 21 : Cussac - TrAc 166. a : carte de profondeur, b : isolignes, c : vue rasante. -----	91
Figure 22 : Cussac - Empreinte indéterminée (TrAc 122) (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	92
Figure 23 : Cussac - Bauge localisée sous le Panneau du Bouquetin (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture et de la Communication, France ©). -----	93
Figure 24 : Cussac - Localisation des empreintes du rebord de la bauge du Panneau du Bouquetin. -----	94
Figure 25 : Cussac - Dépressions indéterminées (TrAc 277 et 278) (Photographies : F. Maksud, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	95
Figure 26 : Cussac - Empreinte de doigts (TrAc 279-280) (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	96
Figure 27 : Cussac - Empreinte pulpaire (TrAc 283) et élément planté (TrAc 282) (Photographies : F. Maksud, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).-----	97
Figure 28 : Cussac - Trace de glissade (TrAc 284) (Photographies : F. Maksud et, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	98
Figure 29 : Cussac - Empreinte de trois doigts (TrAc 285) (Photographies : F. Maksud et N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	99
Figure 30 : Cussac - Empreinte pulpaire (TrAc 286) (Photographies : F. Maksud, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	100
Figure 31 : Cussac - Impression glissée indéterminée (TrAc 291) (Photographies : F. Maksud, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	101
Figure 32 : Cussac - Empreinte de pied (TrAc 321) (Photographies : F. Maksud, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	102
Figure 33 : Cussac - TrAc 321. a : carte de profondeur, b : isolignes, c : vue rasante. -----	103
Figure 34 : Cussac - TrAc 388-1. a : carte de profondeur, b : isolignes, c : vue rasante.---	105
Figure 35 : Cussac - TrAc 388-4. a : carte de profondeur), b : isolignes, c : vue rasante.--	107
Figure 36 : Cussac - Piste de quatre empreintes (TrAc 388-1, 2, 3 et 4) (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	108
Figure 37 : Cussac - Carte de profondeur de la piste. -----	109
Figure 38 : Cussac - Trace de doigts argileux sur la paroi (TrAc 383), localisée en face de TrAc 393 (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture). -----	110
Figure 39 : Cussac - Empreintes de paume et de talon (TrAc 393a et b) (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	111
Figure 40 : Cussac - <i>Empreintes de talons (TrAc 510a et 510j). L'éloignement des empreintes a empêché toute mise à l'échelle précise</i> (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©).-----	113
Figure 41 : Cussac- Glissade indéterminée (TrAc 500). -----	114
Figure 42 : Cussac -Empreintes possibles de mains (TrAc 501) (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	115
Figure 43 : Cussac - Empreinte de pied gauche (TrAc 544). -----	116
Figure 44 : Cussac - TrAc 544. a : carte de profondeur, b : isolignes, c : vue rasante. -----	117

Figure 45 : Cussac - Zone dans laquelle se situent les empreintes constituant la TrAc 536. Présence de traces de doigts argileux et de traces noires sur la paroi (Photographies : N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	119
Figure 46 : Cussac - Empreintes de talons (TrAc 536a à 536f). -----	121
Figure 47 : Cussac - TrAc 536 : a : carte de profondeur, b : isolignes.-----	122
Figure 48 : Localisation des empreintes dans la grotte de Cussac.-----	126
Figure 49 : Cussac - Localisation de trois pistes mises en évidence au niveau des méandres 7, 8 et 9. a : Panneau du réticulé, b : empreinte de pied (TrAc 321), c, partie haute du méandre 7, d : zone sous le Panneau du Bouquetin, e : descente constituant la 3ème piste (photographies : F. Maksud et N. Fourment, PCR Cussac, Ministère de la Culture, France ©). -----	129
<i>Figure 50 : Exemples d'empreintes de pied(s) de Cussac. En haut de gauche à droite : TrAc 166, 321 et 388-1. En bas de gauche à droite : Tracs 338-4 et 544.-----</i>	<i>140</i>
Figure 51 : Exemples de prélèvements réalisés sur les sols de Cussac. -----	146
<i>Figure 52 : Le chaussant d'Areni (modifié d'après Pinhasi et al. (2010) et les deux chaussants expérimentaux. 1 : chaussant souple, semelle et dessus du pied cousus, 2 : chaussant plus rigide, pièce de cuir repliée de part et d'autre du dessus du pied (réalisation Mickaël Baillet). -----</i>	<i>148</i>
Figure 53 : Lame mince réalisée à partir de la carotte du secteur du Locus 1 et exemple de lamines. -----	150
Figure 54 : Chaîne opératoire des expérimentations.-----	152
Figure 55 : Déroulement des expérimentations. 1, 2 et 3 : préparation de la surface, 4 : réalisation de l'empreinte, 5 : mesure et description de l'empreinte, 6 et 7 : enregistrement (photographie et scanner surfacique), 8 : ennoïement. -----	153
Figure 56 : Diagramme ternaire présentant les échantillons de sédiment de Cussac et Veysso. -----	158
Figure 57 : Prélèvement de l'argile de Veysso. -----	159
Figure 58 : Évolution de l'empreinte 5 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoïement, deuxième ennoïement, troisième ennoïement). -----	162
Figure 59 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 5. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion. -----	163
Figure 60 : Évolution de l'empreinte 18 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoïement, deuxième ennoïement, troisième ennoïement). -----	164
Figure 61 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 18. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion. -----	165
Figure 62 : Évolution de l'empreinte 20 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoïement, deuxième ennoïement, troisième ennoïement). -----	166
Figure 63 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 20. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion). -----	167
Figure 64 : Évolution de l'empreinte 17 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoïement, deuxième ennoïement, troisième ennoïement). -----	170
Figure 65 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 17. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion. -----	171
Figure 66 : Évolution de l'empreinte 21 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoïement, deuxième ennoïement, troisième ennoïement). -----	172

Figure 67 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 21. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.-----	173
Figure 68 : Évolution des différentes mesures linéaires prises sur les empreintes en fonction des différents ennoiements pour le sujet 1 (longueurs et largeurs en cm).-----	175
Figure 69 : Évolution des différentes mesures linéaires prises sur les empreintes en fonction des différents ennoiements pour le sujet 2 (longueurs et largeurs en cm).-----	176
Figure 70 : Évolution de l'empreinte 10 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoiement, deuxième ennoiement, troisième ennoiement. -----	178
Figure 71 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 10. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.-----	179
Figure 72 : empreintes 7,8 et 9 avant et après ennoiement.-----	180
Figure 73 : Comparaison des empreintes constituant ch2 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 1 sans rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu. -----	183
Figure 74 : Comparaison des empreintes constituant ch8 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 sans rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu. -----	184
Figure 75 : Comparaison des empreintes constituant ch3 sur argile de décantation. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant sans rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.----	185
Figure 76 : Comparaison des empreintes constituant ch15 sur argile de décantation. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 sans rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.----	186
Figure 77 : Comparaison des empreintes constituant ch6 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 1 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu. -----	187
Figure 78 : Comparaison des empreintes constituant ch14 sur argile de décantation. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 1 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.----	188
Figure 79 : Comparaison des empreintes constituant ch9 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu. -----	189
Figure 80 : Comparaison des empreintes constituant ch18 sur argile de décantation. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.----	190

Figure 81 : Rapport de la longueur des empreintes de pied chaussé et des empreintes de pied nu pour les deux types de support utilisés (Support 1 : argile brute / Support 2 : argile de décantation).-----	192
Figure 82 : Comparaison des empreintes constituant ch17 sur argile de décantation. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.	195
Figure 83 : Empreinte de pied nu actuelle réalisée en grotte, en montée et témoignant de la présence des orteils à suite de l'impulsion du pied. -----	199
Figure 84 : Résultat de l'ACP réalisée sur les log-shape ratio des empreintes de Cussac et des empreintes expérimentales. Les deux axes représentent 93,77% de la variance. En vert sont figurés les vecteurs de chaque variable. -----	201
Figure 85 : Fonds Pales du MNP : exemples de planches présentant un (à gauche) ou plusieurs (à droite) moulages. -----	209
Figure 86 : Relevé de la plage réalisé par Léon Pales. Les zones rouges correspondent aux moulages des plages retrouvées dans le fonds Pales du MNP (modifié d'après Pales, 1976). -----	210
Figure 87 : Moulage d'U1 (fonds Pales, MNP) et relevé de plage II (Pales, 1976).-----	211
Figure 88 : Moulage d'U3 (fonds Pales, MNP) et relevé de plage V (Pales, 1976). -----	211
Figure 89 : Moulage positif d'U4 (fonds Pales, MNP) et relevé de plage IV (Pales, 1976). -----	212
Figure 90 : Moulage de X1 (fonds Pales, MNP) et relevé de plage I (Pales, 1976). -----	212
Figure 91 : Moulage de X2 (fonds Pales, MNP) et relevé de plage III (Pales, 1976). -----	213
Figure 92 : Moulage d'V1 (fonds Pales, MNP) et relevé de plage VII (Pales, 1976). -----	213
Figure 93 : Moulage d'W1 (fonds Pales, MNP) et relevé de plage X (Pales, 1976).-----	214
Figure 94 : Fonds Pales, grotte de l'Aldène, moulage d'A2. -----	215
Figure 95 : Fonds Pales, grotte de l'Aldène, deux vues du moulage de A3-1, A3-2, A3-3, A3-4, A3-5. -----	216
Figure 96 : Fonds Pales, grotte de l'Aldène, moulage d'A4. -----	217
Figure 97 : Fonds Pales, grotte de l'Aldène, moulage d'A5-1 et A5-2. -----	218
Figure 98 : Fonds Pales, grotte de l'Aldène, moulage de C1-1 et C1-2.-----	219
Figure 99 : Fonds Pales, grotte de l'Aldène, moulage positif de C2-1, 2, 3 et 4-----	221
Figure 100 : Fonds Pales, grotte de l'Aldène, moulage d'E4 avec détail d'une empreinte d'hyène.-----	222
Figure 101 : Fonds Pales, grotte de l'Aldène, moulage de H2. -----	223
Figure 102 : Fonds Pales, grotte de l'Aldène, moulage de O1-1,2,3. -----	225
Figure 103 : Fonds Pales, grotte de l'Aldène, détail d'une empreinte de pied du moulage d'O4. -----	226
Figure 104 : Fonds Pales, grotte de l'Aldène, moulage de Q/R ou plage XIV. -----	227
Figure 105 : Localisation de la grotte de Fontanet.-----	235
Figure 106 : Porche de l'entrée actuelle du réseau.-----	235
Figure 107 : Fontanet – Topographie en plan du réseau Wahl, modifiée d'après Rouzaud 1974. -----	238
Figure 108 : Fontanet - Localisation des zones à empreintes, modifié d'après Vialou 1986.----	239

Figure 109 : Prélèvements de Fon1 (gauche) et Fon2 (droite) dans le cheminement actuel-----	243
Figure 110 : Fontanet - Fon-1, Fon-2 et Fon-4, empreintes de pieds. -----	245
Figure 111 : Fontanet - Fon-5 à Fon-9, empreintes de talons. -----	247
Figure 112 : Fontanet - Fon-10, les flèches indiquent le début et la fin de la glissade. -----	248
Figure 113 : Fontanet - Fon-13, empreinte de doigts et Fon-14, empreinte indéterminée. -	250
Figure 114 : Fontanet - Fon-15 et Fon-16, empreintes de talons et Fon-17, empreinte de pied. -----	251
Figure 115 : Fontanet - Fon-17 et Fon-18, empreintes de pieds et Fon-19, empreinte de main. -----	253
Figure 116 : Fontanet - Fon-19 et Fon-20. -----	254
Figure 117 : Fontanet - Fon-21. -----	255
Figure 118 : Fontanet - a : Fon-22, Fon-23 et Fon-24, b : empreintes de bord latéral de pied, c : position ayant pu permettre la réalisation de Fon-24. -----	256
Figure 119 : Fontanet - Fon-24, Fon-26, Fon-27 et Fon-28. -----	258
Figure 120 : Fontanet - Fon-31 à Fon-34. -----	260
Figure 121 : Fontanet - Fon-30 à 35 et Fon-59 et Fon-60. -----	261
Figure 122 : Fontanet - Fon-36 et Fon-37. -----	262
Figure 123 : Fontanet - Fon-43, Fon-44 et Fon-45. -----	264
Figure 124 : Fontanet - Fon-46, Fon-47 et Fon-58. -----	265
Figure 125 : Fontanet - Fon-48, Fon-49, Fon-53 et Fon-54. -----	266
Figure 126 : Fontanet - Fon-50, Fon-51 et Fon-52. -----	267
Figure 127: Fontanet - Fon-55. -----	269
Figure 128 : Fontanet - Fon-56 -----	270
Figure 129 : Fontanet - Fon-61. -----	271
Figure 130 : Fontanet - Fon-62. -----	272
Figure 131 : Fontanet - Export 2D de la plage n°1. En rouge et numérotées, les empreintes inventoriées lors de la mission sur le terrain de 2018. En orange, les empreintes repérées sur le modèle 3D. Les numéros manquants sont liés à des empreintes situées sous la passerelle. -----	273
Figure 132 : Fontanet - <i>Cartes d'isolignes (espace d'1 cm) de la plage 1.</i> -----	274
Figure 133 : Fontanet - Relevé des empreintes de la plage 1 et directions. En rouge : empreintes <i>dirigées vers l'aval, en rose : empreintes dirigées vers l'amont.</i> -----	280
Figure 134 : Fontanet - Fon-63 et signe au sol. À l'arrière de Fon-63 se distingue une empreinte incomplète. -----	282
Figure 135 : Fontanet - Fon-63 et signe au sol. Modèle 3D : a : vue orthogonale, b : carte de profondeur, c : vue rasante. -----	283
Figure 136 : Fontanet - Fon-64. -----	284
Figure 137 : Fontanet - Fon-64. Modèle 3D : a : vue orthogonale, b : carte de profondeur, c : vue rasante. -----	285
Figure 138 : Fontanet - Fon-65. -----	286
Figure 139 : Fontanet - Fon-65. Modèle 3D : a : vue orthogonale, b : carte de profondeur, c : vue rasante. -----	287

Figure 140 : Fontanet - Relevé 3D de la plage 3 (avec texture en haut et sans texture en bas). En rouge et numérotées, les empreintes inventoriées lors de la mission de 2018. En orange, les empreintes repérées sur le modèle 3D.-----	288
Figure 141: Fontanet - Fon-66, empreinte de main. -----	290
Figure 142 : Fontanet - Carte de profondeur et isolignes de Fon-66.-----	291
Figure 143 : Fontanet - Fon-67, empreinte de main et Fon-68, empreinte de talon. -----	292
Figure 144 : Fontanet - Carte de profondeur et isolignes de Fon-67.-----	292
Figure 145 : Fontanet - Fon-69, empreinte de doigts. -----	293
Figure 146 : Fontanet - Relevé 3D de la zone issu du moulage du fonds Pales.-----	294
Figure 147 : Fontanet - 12 des 14 empreintes de pieds complètes utilisées. -----	296
Figure 148 : Analyse en composante principale sur les valeurs brutes des empreintes de Fontanet. Les deux axes représentent 94,21% de la variance. Les vecteurs associés à chaque variable sont représentés en vert. -----	302
Figure 149 : Analyse en composante principale sur les données transformées par log-shape ratio des empreintes de Fontanet. Les deux axes représentent 87,91% de la variance. Les vecteurs associés à chaque variable sont représentés en vert.-----	303
Figure 150 : Fontanet - Empreintes de doigts et prélèvements de matière. -----	306
Figure 151 : Fontanet - Boulettes collées sur la paroi.-----	306
Figure 152 : Empreinte de main d'ours de la grotte de Bruniquel, transformée en gours.--	315
Figure 153 : Comparaison d'un moulage issu du Fonds Pales (a) avec détail (b) et de la même zone relevée en photogrammétrie (c). -----	318
Figure 154 : Empreintes expérimentales issues d'une même piste ; on remarque que bien que réalisées par un même individu dans un même environnement les morphologies diffèrent. -----	320
Figure 155 : Moulages positifs de deux empreintes de mains de Fontanet (Fonds Pales). -	329
Figure 156 : Grotte de Fontanet, secteur de la plage 1.-----	336
Figure 157 : Empreinte du petit canidé de Fontanet. -----	339
Figure 158 : Évolution de l'empreinte 3(de haut en bas : étape initiale, premier ennoisement, deuxième ennoisement, troisième ennoisement). -----	369
Figure 159 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 3. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion. -----	370
Figure 160 : Évolution de l'empreinte 4 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoisement, deuxième ennoisement, troisième ennoisement). -----	372
Figure 161 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 4. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion. -----	373
Figure 162 : Évolution de l'empreinte 15 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoisement, deuxième ennoisement, troisième ennoisement). -----	375
Figure 163 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 15. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.-----	376
Figure 164 : Évolution de l'empreinte 11 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoisement, deuxième ennoisement, troisième ennoisement). -----	379
Figure 165 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 11. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.-----	380

Figure 166 : Évolution de l'empreinte 12 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoisement, deuxième ennoisement, troisième ennoisement).-----	382
Figure 167 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 12. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.-----	383
Figure 168 : Évolution de l'empreinte 19 (de haut en bas : étape initiale, premier ennoisement, deuxième ennoisement).-----	386
Figure 169 : Comparaison des distances entre nuages de points pour les différentes étapes de l'empreinte 19. Le rouge représente le remplissage et le bleu l'érosion.-----	387
Figure 170 : Comparaison des empreintes constituant ch1 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.----	392
Figure 171 : Comparaison des empreintes constituant ch13 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.----	396
Figure 172 : Comparaison des empreintes constituant ch4 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.----	398
Figure 173 : Comparaison des empreintes constituant ch10 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.----	401
Figure 174 : Comparaison des empreintes constituant ch11 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.----	405
Figure 175 : Comparaison des empreintes constituant ch16 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.----	408
Figure 176 : Comparaison des empreintes constituant ch12 sur argile brute. À gauche : empreinte de pied nu, à droite : empreinte de pied chaussé avec le chaussant 2 avec rembourrage. Profils : en haut : empreinte de pied chaussé, en bas : empreinte de pied nu.----	411
- Figure 177 : Fontanet - Export 2D de la plage n°1. En rouge et numérotées, les empreintes inventoriées lors de la mission sur le terrain de 2018. En orange, les empreintes repérées sur le modèle 3D. Les numéros manquants sont liés à des empreintes situées sous la passerelle.	415
- Figure 178 : Fontanet - Cartes d'isolignes (espace d'1 cm) de la plage 1. -----	415
- Figure 179 : Fontanet - Relevé des empreintes de la plage 1 et directions. En rouge : empreintes dirigées vers l'aval, en rose : empreintes dirigées vers l'amont.-----	415

Table des tableaux

Tableau 1 : Grottes à empreintes humaines. -----	35
Tableau 2 : Inventaire et localisation des empreintes de Cussac.-----	123
Tableau 3 : Biométrie des empreintes de pieds de Cussac. -----	124
Tableau 4 : Biométrie des autres empreintes de Cussac.-----	125
Tableau 5 : Individus et nombre d'empreintes réalisées pour chaque expérimentation.-----	149
Tableau 6 : Résultats des analyses granulométriques réalisées sur les échantillons de Cussac, Veysou et du Pigeonnier. -----	156
Tableau 7 : Taux d'humidité des échantillons de Cussac, Veysou et du Pigeonnier. Seules la première et la dernière pesées de chaque échantillon sont présentées ici.-----	157
Tableau 8 : Biométrie des empreintes utilisées dans le cadre de l'expérimentation sur la taphonomie.-----	174
Tableau 9 : Présence / absence des orteils selon le support et le chaussant.-----	182
Tableau 10 : Biométrie des empreintes utilisées dans le cadre de l'expérimentation sur le port de chaussant. -----	194
Tableau 11 : Empreintes utilisées pour le calcul des log-shape ratios. -----	200
Tableau 12 : Résultats des analyses granulométriques de Fon1 et Fon2. -----	243
Tableau 13 : Fontanet - Biométrie des empreintes de la plage 1 (1/3). -----	275
Tableau 14 : Fontanet - Biométrie des empreintes de la plage 3. -----	288
Tableau 15 : Fontanet - Biométrie des empreintes de la plage 2. -----	294
Tableau 16 : Statures (cm) estimées à partir des empreintes de Fontanet. -----	298
Tableau 17 : Statures (m) estimées pour Fon-67.-----	299
Tableau 18 : Masses (kg) estimées à partir des empreintes de Fontanet. -----	300
Tableau 19 : Biométrie de l'empreinte 5. -----	367
Tableau 20 : Biométrie de l'empreinte 3. -----	368
Tableau 21 : Biométrie de l'empreinte 4. -----	371
Tableau 22 : Biométrie de l'empreinte 15. -----	374
Tableau 23 : biométrie de l'empreinte 10. -----	377
Tableau 24 : Biométrie de l'empreinte 11. -----	378
Tableau 25 : Biométrie de l'empreinte 12. -----	381
Tableau 26 : Biométrie de l'empreinte 17. -----	384
Tableau 27 : Biométrie de l'empreinte 19. -----	385
Tableau 28 : Biométrie de l'empreinte 18. -----	388
Tableau 29 : Biométrie de l'empreinte 20. -----	389
Tableau 30 : Biométrie de l'empreinte 21. -----	390
Tableau 31 : Biométrie de ch1. -----	391
Tableau 32 : Biométrie de ch2. -----	393
Tableau 33 : Biométrie de ch3. -----	394
Tableau 34 : Biométrie de ch13. -----	395
Tableau 35 : Biométrie de ch4. -----	397
Tableau 36 : Biométrie de ch6. -----	399
Tableau 37 : Biométrie de ch10. -----	400
Tableau 38 : Biométrie de ch14. -----	402

Tableau 39 : Biométrie de ch8. -----	403
Tableau 40 : Biométrie de ch11. -----	404
Tableau 41 : Biométrie de ch15. -----	406
Tableau 42 : Biométrie de ch16. -----	407
Tableau 43 : Biométrie de ch9. -----	409
Tableau 44 : Biométrie de ch12. -----	410
Tableau 45 : Biométrie de ch18. -----	412
Tableau 46 : Biométrie de ch17. -----	413

Résumé

Vestiges fragiles et longtemps mésestimés, les empreintes constituent une source précieuse d'informations concernant la fréquentation d'un site. Actuellement largement étudiées en contexte de plein air, elles le sont beaucoup moins en grotte, contexte dans lequel leur étude a connu son apogée entre les années 1970 et le début des années 2000. Ces dernières années, l'intérêt des préhistoriens pour l'ichnologie en milieu souterrain s'est de nouveau manifesté et s'est concrétisé par la reprise de l'étude des empreintes dans plusieurs grottes ornées. Notre étude s'inscrit dans cette dynamique et vise à contribuer à la recherche autour des empreintes à partir du registre karstique et à participer au renouvellement de la discipline en Préhistoire. Notre intérêt s'est porté sur les empreintes des grottes de Fontanet (Ariège) et de Cussac (Dordogne), d'abord du point de vue de leur formation et de leur conservation au cours du temps, puis de leur contribution à la compréhension de l'appropriation du monde souterrain par l'Homme au Paléolithique.

À travers des observations, inventaires, mesures in situ et un travail ex situ grâce aux outils d'imagerie tridimensionnelle, nous avons mené une étude morphologique et morphométrique des empreintes fossiles. La singularité des empreintes de pied de Cussac nous a, en outre, amené à développer une approche expérimentale afin d'appréhender les différents facteurs ayant pu influencer leur morphologie au moment de leur formation et après celle-ci (taphonomie, port de chaussant, autre ?). Ces expérimentations ont mis en évidence un impact du substrat et de sa remobilisation sur la morphologie générale et les dimensions de l'empreinte, ainsi que la préservation de détails comme les orteils. La réalisation d'empreintes à l'aide de chaussants expérimentaux a conduit de plus à envisager l'utilisation de ce type de protection dans la grotte. Notre approche à la fois pluri et interdisciplinaire permet d'affirmer l'unicité des grottes de Fontanet et de Cussac d'un point de vue ichnologique, archéologique et géomorphologique. Tandis qu'à Cussac, la présence humaine semble avoir été limitée (aller/s et retour/s) et avoir répondu à un objectif précis (réalisation des gravures et dépôts humains ?), à Fontanet, la fréquentation semble s'être inscrite dans la durée et a impliqué plusieurs catégories d'individus (présence de juvéniles) et des activités variées. Des comportements souterrains similaires et qui se retrouvent durant l'ensemble du Paléolithique sont aussi mis en évidence (exploration globale des cavités, etc.). Ces travaux se présentent alors comme une contribution essentielle aux discussions relatives à la fonction de ces deux cavités.

Mots clés : ichnologie, empreintes, traces d'activité, grottes ornées, expérimentation, taphonomie, Cussac, Fontanet.

Abstract

Tracks, which are among the most fragile and underestimated archaeological remains, represent a valuable source of information on site frequentation. In the past few years, they were widely studied in open air contexts. However, their analysis in caves, a context in which their study reached its peak between the 1970s and the early 2000s, is much less common. Recently, interest towards ichnology in subterranean environments re-emerged among prehistorians, and the study of tracks in several decorated caves resumed. Our study is part of this dynamic and aims to contribute to research on tracks from the karst register and to participate in the renewal of the discipline in Prehistory. We study the footprints of the caves of Fontanet (Ariège) and Cussac (Dordogne), focusing firstly on their formation and conservation over time, and secondly on their contribution to the understanding of the human appropriation of the subterranean environment in the Palaeolithic.

Through observations, inventories, in situ measurements and ex situ work based on three-dimensional imaging tools, we conducted a morphological and morphometric study of fossil tracks. The uniqueness of the Cussac footprints' has also led us to develop an experimental approach to understand the various factors that may have influenced the morphology of footprints at the time of their formation and after their formation (taphonomy, footwear, other ?). These experiments revealed an impact of the substrate and its remobilization on the general morphology and dimensions of the footprint, as well as the preservation of details such as toes. The use of experimental footwear to make footprints has also led us to consider the possible use of this type of protection in the cave. This multidisciplinary and interdisciplinary approach makes it possible to affirm the uniqueness of the Fontanet and Cussac caves from an ichnological, archaeological and geomorphological point of view. While in Cussac the human presence seems to have been limited (round trips) and to have met a specific objective (making engravings and human deposits?), in Fontanet the frequentation seems to have been long-term and to involve several categories of individuals (presence of juveniles) and various activities. Similar behaviours that can be found throughout the Paleolithic period are also highlighted (global exploration of cavities, etc.). This work is then presented as an essential contribution to the discussions relating to the function of these two cavities.

Keywords: ichnology, tracks, activity traces, decorated caves, experimentation, taphonomy, Cussac, Fontanet.

