



HAL
open science

Analyse spatiale de la distribution des marques de percussion sur os longs Résultats préliminaires d'une expérimentation fondée sur l'observation du registre osseux du site d'Isernia La Pineta (Italie, MIS 15)

Delphine Vettese, Alexandre Lazarou, Trajanka Stavrova, Carlo Peretto,
Ursula Thun Hohenstein

► To cite this version:

Delphine Vettese, Alexandre Lazarou, Trajanka Stavrova, Carlo Peretto, Ursula Thun Hohenstein. Analyse spatiale de la distribution des marques de percussion sur os longs Résultats préliminaires d'une expérimentation fondée sur l'observation du registre osseux du site d'Isernia La Pineta (Italie, MIS 15). Hiatus, lacunes et absences : identifier et interpréter les vides archéologiques, Actes du 29e Congrès préhistorique de France, 31 mai-4 juin 2021, Toulouse, 2023. hal-04177499

HAL Id: hal-04177499

<https://hal.science/hal-04177499>

Submitted on 30 Aug 2023

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.



Analyse spatiale de la distribution des marques de percussion sur os longs Résultats préliminaires d'une expérimentation fondée sur l'observation du registre osseux du site d'Isernia La Pineta (Italie, MIS 15)

Spatial Analysis of the Percussion Marks Distribution on Long Bones Preliminary Results from an Experimental Approach Based on the Observation of Bone Remains from Isernia La Pineta Site (Italy, MIS 15)

Delphine VETTESE, Alexandre LAZAROU, Trajanka STAVROVA,
Carlo PERETTO, Ursula THUN HOHENSTEIN

Résumé : Isernia La Pineta, située sur la péninsule italienne, est un des plus anciens sites de plein air d'Europe de l'Ouest (MIS 15). Depuis sa découverte dans les années 1970, il a permis de mieux comprendre les comportements de subsistance et les techniques utilisées par les hominines de la première partie du Pléistocène moyen (Galérien moyen). L'analyse taphonomique des assemblages fauniques provenant de quatre archéosurfaces a démontré la présence d'une fracturation anthropique systématique des os longs, en particulier ceux de bison. De plus, les marques de percussion sur ces os longs sont localisées de manière récurrente sur les diaphyses. À la suite de ces observations, P. Anconetani et C. Peretto (1996) ont mis en place une expérimentation archéologique afin de fracturer des os longs de bovidés (*Bos taurus*) en recherchant à reproduire la localisation exacte des traces de percussion identifiées sur les restes fauniques archéologiques. Trois techniques de fracturation ont été testées durant cette expérimentation : percussion à l'aide d'un percuteur sur une enclume, percussion de l'os sur une enclume ou percussion lancée, et percussion mixte utilisant l'une et l'autre des deux techniques.

À partir des dessins détaillés des remontages des restes de cette expérimentation et du relevé systématique des marques de percussion, nous avons retranscrit ces données numériquement à l'aide d'un logiciel d'analyse spatiale (on parle de « système d'information géographique »). À des fins de comparaison, seuls les os longs des stylopoies et zeugopodes ont été sélectionnés (15 humérus, 15 radio-ulnas, 16 fémurs et 12 tibias). Les résultats préliminaires des analyses spatiales de distribution des marques de percussion montrent la présence de zones précises de concentration pour chaque élément osseux, indépendamment de la technique de fracturation employée. De plus, ces zones de concentration des traces ont été comparées à une précédente expérimentation conduite par D. Vettese et collègues (2020), ayant mis en évidence des zones de fracturation liées à une pratique intuitive, qui dépendent de la morphologie des éléments squelettiques. Ainsi, l'application de la méthode d'analyse spatiale au matériel issu des expérimentations menées à Isernia met en évidence que les aires sélectionnées pour percuter l'os peuvent être identifiées grâce à cette méthode. Cette zone de frappe préférentielle est identifiée indépendamment de la technique de percussion utilisée. De plus, il ne semble pas que l'utilisation d'enclume

et la présence de possibles contrecoups parasitent l'identification de la zone percutée préférentiellement. Il est possible que cette zone, préférentiellement sélectionnée pour fracturer l'os, soit similaire à la zone intuitivement choisie par des expérimentateurs novices. La comparaison future avec le registre archéologique permettra de poser la question des processus, intuitifs ou non, de mise en place de la fracturation systématique anthropique des os longs pour en extraire la moelle, et ce dès le début du Pléistocène moyen.

Mots-clés : expérimentation archéologique, SIG, fracturation osseuse, marques de percussion.

Abstract: Isernia La Pineta, located on the Italian peninsula, is one of the oldest open-air sites in Western Europe (MIS 15). Since its discovery in the 1970s, it has led to a better understanding of the subsistence and technical behaviours of hominins in the first part of the Middle Pleistocene (Middle Galerian). The taphonomic analysis of the faunal assemblages of four archeosurfaces has demonstrated the presence of a systematic anthropic fracturing of the long bones, especially for bison, the most abundant taxon. A focus on percussion marks on these long bones demonstrated a systematisation of their location on the diaphysis. Following these results, P. Anconetani and colleagues (1996) set up an archaeological experiment to fracture long bones of bovids (*Bos taurus*). They decided to break the exact location of the percussion marks identified on the archaeological faunal remains. Three breakage techniques were tested during this experiment: 1) percussion with a hammerstone on an anvil, 2) batting bone on an anvil or 3) mixed of both.

Based on the precise drawings of each bone remains and the systematic recording of the percussion marks, we transcribed these data digitally with the help of spatial analysis software (Geographic Information System). For comparison purposes, only the long bones of the stylopod and zeugopod were selected (15 humeri, 15 radii-ulnae, 16 femora and 12 tibiae). The first results of the spatial analysis of percussion mark distribution show the presence of concentration zones for each bone element, independently of the fracturing technique used. Moreover, these areas of mark concentration were compared to a previous experiment, conducted by D. Vettese and colleagues (2020), which highlighted fracturing zones related to an intuitive practice that depends on the morphology of the skeletal elements. Thus, the application of the spatial analysis method on bone to the material from the experiments carried out in Isernia has made it possible to highlight that the areas selected for hitting the bone in order to extract the marrow can be identified using the spatial analysis of the distribution of percussion marks. This preferential hitting area is shown to be independent of the percussion technique used. Furthermore, it does not appear that the use of anvils and the presence of possible counter-blows interfere with the identification of the preferentially percussed zone. It is possible that this zone, preferentially selected to fracture the bone, is similar to the zone intuitively chosen by novice experimenters. Future comparison with the analysis of the archaeological material will make it possible to raise the question of the processes, intuitive or not, for the implementation of systematic anthropogenic fracturing of long bones to extract the marrow, and this, from the beginning of the Middle Pleistocene.

Keywords: Experimental archaeology, GIS, bone breakage, percussion marks.

INTRODUCTION

La fracturation intentionnelle des ossements par les hominines pour en extraire la moelle en vue de sa consommation est une pratique identifiée depuis au moins 2,6 millions d'années dans le site de Gona, en Éthiopie (Domínguez-Rodrigo *et al.*, 2005). Ainsi, la percussion des os pourrait être un des premiers témoignages de charognage par les hominines, précédant les stries de boucherie consécutives à la découpe de morceaux de viande (Thompson *et al.*, 2019). Cette activité bouchère d'extraction de la moelle laisse des traces caractéristiques nommées « marques de percussion ». Au même titre que les stries de boucherie, ces traces de percussion ont fait l'objet de nombreuses études archéozoologiques et expérimentales (par exemple Martin, 1910 ; Binford, 1981 ; White, 1992 ; Blumenschine, 1995 ; Outram, 2002 ; Pickering et Egeland, 2006 ; Galán *et al.*, 2009 ; Blasco *et al.*, 2013 ; Moclán *et al.*, 2019 ; Vettese *et al.*, 2020). Cependant, les marques issues de la fracture dynamique des ossements, et en particulier des os longs, peuvent être confondues avec d'autres marques, telles que celles laissées par les carnivores (Capaldo et Blumenschine, 1994 ; Pickering et Egeland, 2006 ; Voormolen, 2008 ; Moclán et Domínguez-Rodrigo, 2018 ; Vettese *et al.*, 2020). Face à cette difficulté de l'équifinalité des agents ayant

provoqué ces marques, des chercheurs sont intéressés à l'application d'analyses statistiques spatiales en deux dimensions afin de discriminer les marques de carnivore et de percussion (Parkinson, 2013 ; Parkinson *et al.*, 2014, 2015 et 2022). Les analyses spatiales se sont révélées utiles à d'autres fins, telles que le calcul du nombre minimum d'éléments dans un assemblage faunique (Marean *et al.*, 2004 ; García-Moreno *et al.*, 2014 ; Zhang *et al.*, 2019), la répartition des stries de découpe (Nilssen, 2000 ; Abe *et al.*, 2002 ; Souron *et al.*, 2019 ; Soulier, 2021) ou encore l'identification de pratiques intuitives ou traditionnelles grâce à l'étude de la répartition des traces de percussion (Stavrova *et al.*, 2019 ; Vettese, 2019 ; Vettese *et al.*, 2021). La plupart de ces travaux se sont intéressés à des restes fauniques issus d'expérimentation pour établir un cadre méthodologique et une collection de référence de la distribution de ces marques. Pour enrichir le registre des analyses spatiales des marques de percussion, nous nous sommes intéressés à une expérimentation de fracturation osseuse menée à Isernia en 1993 (Peretto *et al.*, 1996). Une partie des résultats de cette expérimentation a fait l'objet de publications, notamment dans une monographie (Peretto, 1996). Dans le cadre de ce travail, nous avons appliqué la méthodologie d'étude de la distribution spatiale des marques de percussion à des relevés réalisés lors de la première étude des restes expérimentaux (Sta-

vrova *et al.*, 2019). Ces dessins ont été réalisés à la suite de remontages systématiques de chaque élément et de l'identification des traces de percussion. L'analyse spatiale de la répartition des marques laissées à la fois par les percuteurs et par les enclumes nous a permis de nous interroger sur la possibilité d'identifier la présence de modèles de distribution spécifiques. La mise en évidence de zones de concentration des marques sur le matériel expérimental est-elle possible alors même que les expérimentateurs ont fracturé des os longs en utilisant différentes techniques de percussion et différents percuteurs ? En effet, les expérimentateurs ont essayé autant que possible de systématiser la localisation des impacts de percussion pour chacun des éléments testés en suivant les observations réalisées sur le matériel fossile du niveau (ou archéosurface) 3a du site d'Isernia La Pineta (Italie).

1. DESCRIPTION DU SITE AYANT SERVI À DÉFINIR LE PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Le site d'Isernia La Pineta a été découvert en 1979, à la suite de travaux de terrassement réalisés lors de la construction d'une autoroute entre Naples et Vasto. Les fouilles archéologiques ont été menées sous la direction de C. Peretto et en collaboration avec la surintendance archéologique de Molise (Italie). La stratigraphie du premier secteur de fouille d'Isernia La Pineta (modifiée par Cremaschi, 1983 et Peretto *et al.*, 2015) est caractérisée par 5 unités stratigraphiques principales (U1 à U5) et 2 paléosurfaces enfouies (S1 et S2). Quatre archéosurfaces sont incluses dans U3, laquelle est caractérisée par différents niveaux sédimentaires d'origine fluviale : sables et fins niveaux de graviers déposés par des rivières éphémères (limons U3F, colluvions U3E, graviers U3C, argiles U3A). Les dépôts ont livré quatre surfaces archéologiques (3c, 3a, 3S10 du premier secteur et 3a du deuxième secteur de fouille) contenant de nombreux restes fauniques associés à une industrie lithique en silex et calcaire (fig. 1). L'étude stratigraphique a montré que les occupations anthropiques reposent sur des dépôts lacustres et sont recouvertes par des sédiments fluviaux (Coltorti *et al.*, 1982 et 2005 ; Peretto *et al.*, 2015). Le niveau 3 coll. (qui est un niveau de sédiment fluvial recouvrant l'archéosurface 3a), dans lequel a été découverte une dent de lait humaine (*Homo* sp.), a été daté par la méthode Ar^{40}/Ar^{39} à 586000 ± 2000 ans (Coltorti *et al.*, 2005 ; Peretto *et al.*, 2015). Dans le cadre de cet article, nous nous concentrerons sur l'archéosurface 3a. L'espèce dominante est le *Bison schoetensacki*, suivi de *Stephanorhinus hundsheimensis*, *Ursus deningeri* et *Palaeoloxodon antiquus*. Les autres grands mammifères sont moins bien représentés dans le spectre faunique : *Hippopotamus* cf. *antiquus*, *Praemegaceros solilhacus*, *Cervus elaphus* cf. *acoronatus*, *Dama* cf. *roberti* (Breda *et al.*, 2015), *Capreolus* sp., *Sus scrofa* et *Hemitragus* cf. *bonali* (Sala, 1996 ; Arobba *et al.*, 2004). Dans l'archéosurface 3a, des activités de boucherie sont attestées par la

présence de stries et de marques de percussion (Malerba *et al.*, 2000 ; Thun Hohenstein *et al.*, 2002 et 2004). Ces dernières indiquent une fracturation systématique intentionnelle des os longs et de la mandibule pour la récupération de la moelle, notamment pour le bison, taxon qui aurait fait l'objet de chasse spécialisée (Alhaique *et al.*, 2004 ; Peretto *et al.*, 1996 ; Peretto *et al.*, 2004 ; Channarayapatna *et al.*, 2018 ; Thun Hohenstein *et al.*, 2002, 2004, 2009 et 2019).

L'étude archéozoologique de chacun des assemblages fauniques des quatre archéosurfaces susmentionnées a mis en évidence des marques caractéristiques et diagnostiques d'une fracturation anthropique pour extraire la moelle des os longs (Giusberti et Peretto, 1991 ; Anconetani et Peretto, 1996 ; Peretto *et al.*, 1996). Ces traces sont principalement des encoches de percussion associées à des enlèvements corticaux et/ou médullaires au niveau des diaphyses. Ces marques sont localisées à des emplacements anatomiques précis sur chacun des éléments osseux. Cette localisation systématique pourrait démontrer une pratique répétitive des coups pour ouvrir la diaphyse d'un os et en récupérer la moelle. Par conséquent, ce site archéologique de plein air du Pléistocène moyen (MIS 15) est de première importance pour la compréhension des comportements humains au Paléolithique inférieur.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. L'expérimentation de 1993

Afin de caractériser les stratégies de subsistance et les choix économiques des hominés d'Isernia, un vaste projet interdisciplinaire a été mis en place, visant notamment à étudier l'exploitation des ressources biotiques ainsi que l'approvisionnement et l'utilisation des matières premières minérales (silex et calcaire ; Peretto *et al.*, 2004). Dans ce cadre, une expérimentation de boucherie a été réalisée en 1993 pour reconstituer la chaîne opératoire globale, allant des processus de traitement des carcasses jusqu'aux techniques de fracturation des os pour en extraire la moelle (Giusberti et Peretto, 1991 ; Anconetani et Peretto, 1996 ; Anconetani *et al.*, 1998a et 1998b).

Dans ce travail, nous nous focalisons sur l'extraction de la moelle par fracturation dynamique des os longs. Les matières premières employées pour les percuteurs et les enclumes proviennent d'affleurements proches du site ayant les mêmes caractéristiques litho-mécaniques que celles mises au jour sur le site archéologique. D'autre part, des os de bœuf (*Bos taurus*) ont été choisis car ils sont aisément disponibles en boucherie et sont anatomiquement proches des os de bison, ce dernier étant le taxon le plus représenté dans les spectres fauniques des archéosurfaces d'Isernia. Par ailleurs, le bison est l'herbivore sur lequel le plus de marques de percussion ont été identifiées (Giusberti et Peretto, 1991). Les os longs de

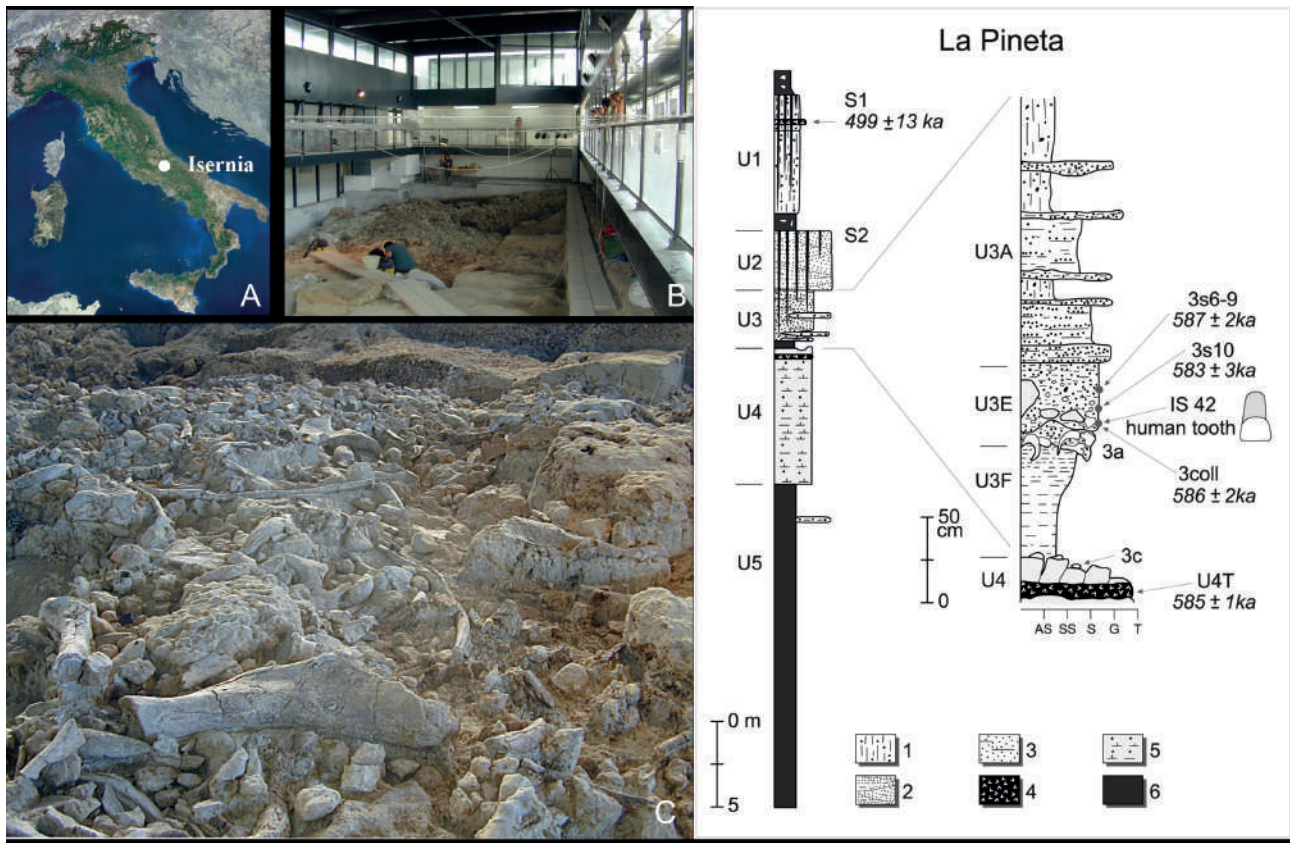


Fig. 1 – A) Localisation du site d'Isernia La Pineta ; B) vue du pavillon abritant la fouille ; C) vue de l'archéosurface 3a (clichés U. Thun Hohenstein) ; D) stratigraphie du site (d'après Cremaschi, 1983 et Peretto *et al.*, 2015).

Fig. 1 – A) Location of the Isernia La Pineta site; B) Lodge of the excavation site; C) View of the archeosurface 3a (photos U. Thun Hohenstein); D) Stratigraphy of the site (modified from Cremaschi, 1983 and Peretto *et al.*, 2015).

bœuf utilisés pour cette expérimentation sont ceux d'individus juvéniles ou subadultes et sont donc caractérisés par l'absence d'épiphyse de l'ensemble des portions articulaires.

L'objectif principal de cette expérimentation était de tester différentes techniques de fracturation (percussion directe, percussion lancée) et leur combinaison afin de définir les meilleures zones de frappe pour récupérer la moelle mais aussi d'étudier les relations éventuelles entre l'utilisation d'une technique et les caractéristiques diagnostiques de la percussion, comme les encoches de percussion, les éclats de percussion, les enlèvements corticaux et/ou médullaires, et/ou la présence de morphotypes de fracture (Peretto *et al.*, 1996). Les expérimentateurs ont reçu pour instruction, pour chacune des techniques employées, de fracturer les ossements afin d'être en mesure de récupérer la moelle jaune, et aussi de porter les coups à des emplacements spécifiques ayant été préalablement identifiés sur le matériel archéologique des archéosurfaces d'Isernia La Pineta (fig. 2).

De nombreuses données ont été enregistrées : le temps de la fracturation, les techniques utilisées, les points d'impact (avec leur type et leur localisation), la forme de l'enclume (tabl. 1) et du percuteur, ainsi que les matières premières utilisées, qu'il s'agisse de galets calcaires (retouchés ou non), de rondins de bois ou d'os longs (Peretto *et al.*, 1996). Tous les fragments produits

lors de la fracturation d'un élément anatomique ont été collectés ensemble, et les différents éléments anatomiques ont été isolés les uns des autres. Les os ont été bouillis pendant au moins 36 heures, puis exposés au soleil pendant la même période. Ce nettoyage n'a altéré ni la morphologie des restes ni les surfaces osseuses qui ont conservé parfaitement les traces de percussion. L'analyse des bords des fractures a été réalisée au laboratoire en aveugle, sans connaître ni le nombre de coups donnés ni la technique employée. Ainsi, les remontages systématiques des différents éléments squelettiques, l'observation des plans de fracture et l'identification des marques de percussion, puis leur relevé sur planche n'ont pas été influencés par la connaissance de la technique de percussion utilisée. Après que chaque remontage a été complété, les lignes de fracture (complètes ou inachevées) et les marques d'impact ont été dessinées sur des planches adaptées d'un ouvrage de référence d'ostéologie vétérinaire (Barone, 1976). La représentation du volume des os longs en deux dimensions a été possible en reproduisant les quatre faces de l'élément : antérieure, latérale, postérieure et médiale (fig. 3). Certains fragments indéterminés n'ont pas pu être remontés sur les ossements, ils ont alors été rassemblés selon l'élément auquel ils appartenaient. Enfin, sur chaque dessin, des manques sont visibles, figurés par une zone hachurée, ils correspondent aux fragments non identifiés lors du

Élément	Enclume avec angle	Enclume arrondie	Total
Humérus	5 (9%)	10 (17%)	15 (26%)
Radio-ulna	7 (12%)	8 (14%)	15 (26%)
Fémur	6 (10%)	10 (17%)	16 (28%)
Tibia	10 (17%)	2 (3%)	12 (21%)
Total	28 (48%)	30 (52%)	58 (100%)

Tabl. 1 – Données sur la forme de l'enclume – avec un angle ou arrondie – selon les éléments fracturés.

Table 1 – Data on the shape of anvils – anvil with an angle or rounding –, depending on the fractured elements.

remontage. Ce n'est qu'une fois le relevé terminé que, pour chaque point d'impact relevé, la technique utilisée a été précisée (en se référant aux données enregistrées lors de l'expérimentation). Les marques directes ont été provoquées par le choc entre l'os et le percuteur, alors que les contrecoups correspondent à l'utilisation d'une enclume.

2.2. Relevés et corpus étudié

Notre travail s'intéresse plus spécifiquement aux relevés qui ont été réalisés en laboratoire après l'expérimentation

de 1993. Le corpus d'étude comprend 58 os longs (15 humérus, 15 radio-ulnas, 16 fémurs et 12 tibias), tous fracturés pour en extraire la moelle. Seuls les stylopodés et les zeugopodes ont été sélectionnés dans notre étude, dans l'optique de comparer les résultats avec ceux d'une autre expérimentation d'extraction de moelle osseuse menée par des individus novices (Stavrova *et al.*, 2019 ; Vettese *et al.*, 2021). L'analyse spatiale a été réalisée en reprenant les relevés manuscrits des marques de percussion identifiées sur les fragments des 58 os longs. Au total, pour l'ensemble des os, 979 marques de percussion ont été reportées.

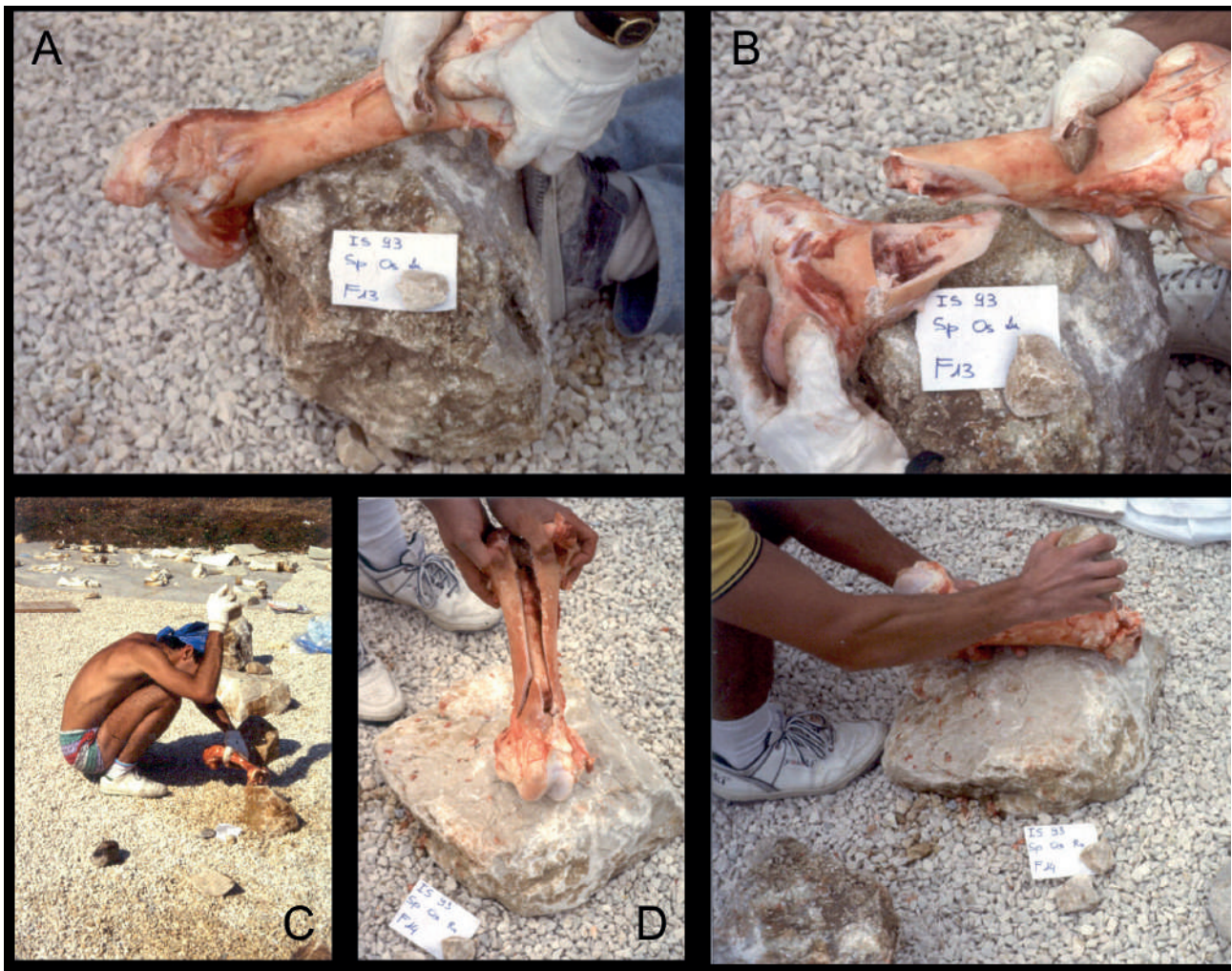


Fig. 2 – Fracturation expérimentale d'os longs de bovines, Isernia La Pineta (1993). A et B) Technique de percussion lancée, fémur no 13 ; C, D et E) technique de percussion directe, fémur no 14 (clichés M. Ferrari).

Fig. 2 – Cattle long bone breakage at Isernia La Pineta (1993). A and B) Technique of batting percussion, femur no. 13; C, D and E) Technique of direct percussion, femur no. 14 (photographs M. Ferrari).

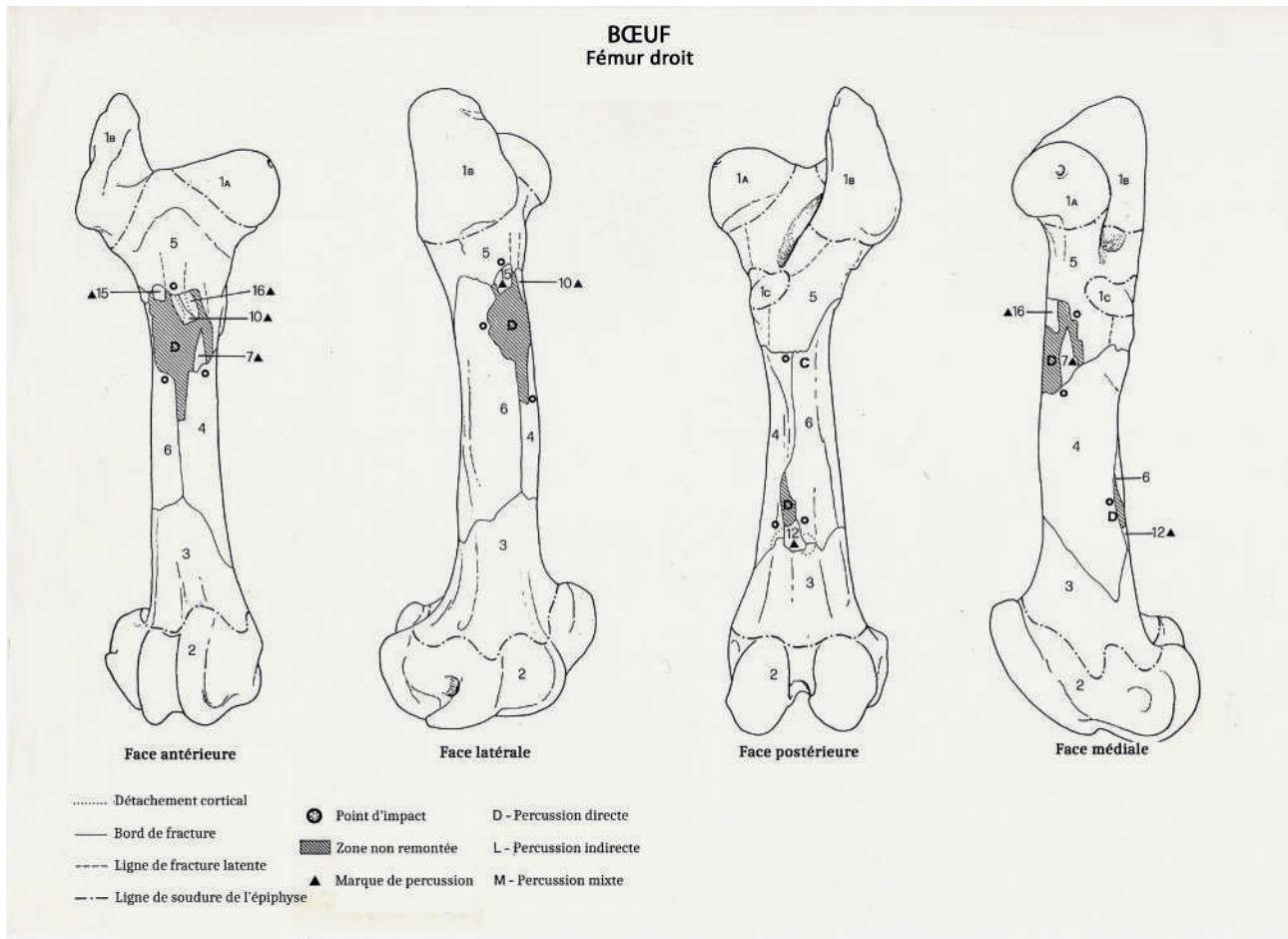


Fig. 3 – Relevé associé au fémur droit de la vache no 3 (dessins d'après Barone, 1976). Pour chaque coup ont été notés la technique utilisée, l'emplacement du coup et les marques de percussion (d'après Anconetani, 1996).

Fig. 3 – Recording of right femur no. 3 of cow (drawings adapted from Barone, 1976). Regarding each hit, we record: technique used and percussion marks type and location (modified from Anconetani, 1996).

2.3. Techniques de percussion

Lors de l'expérimentation, trois techniques de fracturation de la diaphyse osseuse ont été utilisées, et toutes sont issues d'une fracture dynamique dite « de percussion ». Il ne sera donc pas fait mention des techniques liées à la pression (pierre, dents, bois), à la friction, notamment par sciage de la diaphyse, ou à la torsion. En effet, en 1993, seules des marques liées à une extraction anthropique de la moelle par percussion avait été identifiées sur le site d'Isernia La Pineta.

La première technique utilisée fut la percussion directe dite « du percuteur sur enclume » (Binford, 1981 ; Blumenschine et Selvaggio, 1988 ; Lyman, 1994 ; Capaldo et Blumenschine, 1994 ; Karr et Outram, 2012). L'élément osseux est posé sur une enclume, ou sur plusieurs (le sol peut être dans certains cas considéré comme une enclume), à plat ou en porte-à-faux. Dans le premier cas, les portions articulaires sont en contact avec une surface dure et peuvent être marquées par le contrecoup de l'impact. Dans le second cas, la partie diaphysaire est en appui contre une surface dure et peut, lors de l'impact, imprimer une trace due au contrecoup de l'enclume. Le

coup direct est porté par un percuteur qui peut être éventuellement retouché lorsqu'il est en pierre et qui peut être plus ou moins tendre s'il est en matière organique (bois ou os). La seconde technique est celle de « la percussion lancée » (Noe-Nygaard, 1977 ; Oliver, 1993 ; Blasco *et al.*, 2014). L'élément osseux est alors utilisé comme un percuteur et est projeté contre une surface dure qui peut être plane, angulaire ou arrondie. Il n'y a qu'une seule marque sur l'os, qui résulte du contact entre la surface osseuse et l'objet percuté (aussi appelé « enclume »). La dernière technique est mixte, alternant pour un même élément osseux les deux premières techniques décrites.

2.4. Marques de percussion

Les marques de percussion sur les os sont des traces causées par une fracturation anthropique intentionnelle pour extraire la moelle par exemple. Elles témoignent du contact de l'os avec une surface dure, que ce soit le percuteur ou l'enclume sur laquelle il peut avoir été posé. Cependant, un coup ou un contrecoup n'impriment pas toujours une trace sur la surface osseuse (Chevallard, 2018 ; Vettesse *et al.*, 2020). Ces marques de percussion

présentent des morphologies variables selon la fracturation ou non de l'os. Dans le cadre de cette étude, nous suivrons la nomenclature des marques de percussion proposée par D. Vettese *et al.* (2020) :

- éclat de percussion : positif de percussion, il est caractérisé par une plateforme, un bulbe, la présence de glacis ou de hachure d'onde et d'une partie corticale réduite ;
- encoche de percussion : localisée sur un bord de fracture, elle se singularise par une forme semi-circulaire avec deux points d'inflexion et un feuilletage interne, négatif de percussion ;
- encoche de percussion avec adhérent : de morphologie similaire à l'encoche de percussion, elle s'en distingue par la présence d'un éclat qui ne s'est pas complètement détaché, car la fracture est incomplète ;
- écrasement ou enfoncement : généralement, cette marque est localisée à proximité des portions articulaires. Cette trace possède une morphologie arrondie particulière, consécutive de l'enfoncement de la partie corticale dans la partie spongieuse de l'os. Formée par de multiples éclats adhérents, elle est parfois à l'origine d'une ou de plusieurs lignes de fracture ;
- *pit* de percussion : aussi appelé « cupule de percussion ». Cependant, dans l'expérimentation d'Isernia, l'utilisation d'enclumes quadrangulaires et de percuteurs retouchés a aussi produit des dépressions de forme triangulaire et/ou linéaire. Ces marques résultent d'un rebond lors du coup ou du contrecoup. Pour simplifier, toutes ces marques seront regroupées sous l'appellation « *pit* de percussion ».

Nous regroupons aussi les marques de percussion selon deux catégories : les marques qui sont consécutives à l'ouverture de la diaphyse (MCOD : encoche avec ou sans éclat adhérent, enfoncement et éclat) et celles qui sont causées par l'effet rebond du percuteur sans exposer la cavité médullaire (MCER : *pit*).

2.5. Acquisition des données pour l'analyse spatiale

Chaque relevé a été scanné et, lorsque cela a été nécessaire, les relevés ont subi une symétrie axiale pour être représentés sur une même latéralité afin que l'on puisse superposer l'ensemble des dessins d'un même élément. Le logiciel Photoshop a été utilisé pour réaliser les symétries axiales des dessins originels. Avec le logiciel ArcGIS (ArcMap 10.4), nous avons dessiné sous forme de polygones chacune des faces d'un élément (dans une même couche) afin de définir l'aire d'analyse des marques de percussion. Le centre de chaque marque de percussion a été enregistré dans ArcMap avec un point qui a été placé sur les relevés grâce à l'identification de repères anatomiques sur chaque os (par exemple foramen ou crête). Une table attributaire stockant les données de traces de percussion de chaque élément a été constituée (Stavrova *et al.*, 2019).

L'outil d'analyse de points chauds optimisée a permis, en prenant en compte la distance des marques de percus-

sion entre elles, de mettre en évidence des zones à forte concentration de marques. Lors de cette analyse, nous n'avons pas pris en compte les éclats de percussion, mais seulement les encoches de percussion, les marques d'enfoncement, les *pits* et les encoches avec éclats adhérents, de façon à ne pas compter deux fois une même marque de percussion (positif et négatif). L'analyse spatiale de points chauds optimisée identifie des groupes de forte concentration statistiquement significatifs (points chauds) et des groupes de faible concentration de marques de percussion (points froids). Le nombre de marques de percussion enregistrées pour chaque série est conforme au minimum de 30 éléments requis pour effectuer l'analyse. Pour compléter cette méthode, nous avons aussi testé, pour chaque série d'éléments squelettiques, une analyse de distance moyenne du plus proche voisin afin d'identifier une possible agrégation des marques. Ce test a été appliqué sur chaque face indépendamment, puis sur l'ensemble des quatre faces. Lorsque les résultats de ce test montraient une agrégation des traces de percussion, nous avons appliqué un test de densité de noyau, ou « Kernel Density », pour identifier la zone d'agrégation.

3. RÉSULTATS

Sur les 58 éléments fracturés, une majorité d'éléments gauches ont été fracturés (10/16 fémurs, 10/15 humérus et radio-ulnas, et 8/12 tibias). Les sept expérimentateurs ont cassé entre 1 ossement et 12 ossements chacun. Deux ossements ont été fracturés conjointement par deux individus (tabl. 2). Excepté l'individu n°5, tous les autres expérimentateurs ont cassé trois ou quatre éléments différents (tabl. 2).

Les expérimentateurs ont utilisé différents percuteurs, allant du percuteur calcaire retouché ou non au bâton de bois en passant par un fémur (Peretto *et al.*, 1996). En outre, la percussion mixte, alternant percussion directe et percussion lancée, a été préférée par une majorité d'individus (5/7), suivie par la percussion directe. Cette dernière technique a été choisie préférentiellement par l'individu n°6. La percussion lancée est la technique qui a été la moins sélectionnée, en particulier pour les radio-ulnas et les tibias (tabl. 3).

Indépendamment de la technique utilisée, nous avons observé la production d'un nombre plus important de fragments (38 %) pour les radio-ulnas, puis pour les fémurs. La fracturation des humérus et des tibias a produit globalement moins de restes par élément (tabl. 4). Des pourcentages similaires concernant le nombre d'impacts ont été relevés. Le plus grand nombre d'impacts est noté sur les radio-ulnas, puis sur les fémurs et, dans une proportion moindre, sur les tibias et les humérus. Le rapport entre le nombre d'impacts et le nombre de restes, servant à mettre en évidence le nombre de coups par élément, montre qu'environ trois coups en moyenne ont été portés sur les fémurs et sur les tibias pour les fracturer et en ouvrir la diaphyse. Pour les humérus, deux coups ont

N°individu	Fémur	Humérus	Radio-ulna	Tibia	Total général
1	1		2	1	4
2	5	2	3		10
3	5	1	2	4	12
4		3		2	5
5				1	1
6	1	7	4		12
7	3	2	3	4	12
2-3	1				1
2-4			1		1
Total général	16	15	15	12	58

Tabl. 2 – Données sur le nombre et type d'os longs ayant été fracturés par chaque individu.

Table 2 – Data of broken long bones number and type by each individual.

Tabl. 3 – Techniques de percussion utilisées pour chaque élément fracturé.
Table 3 – Techniques type of percussion used according each element broken.

Élément	Directe	Lancée	Mixte	Total général
Fémur	6	3	7	16
Humérus	6	3	6	15
Radio-ulna	3	1	11	15
Tibia	6	1	5	12
Total général	21	8	29	58

Élément	Nb d'éléments	Nb d'éclats	Nb d'impacts	Nombre d'éclats/élément	Nombre d'impacts/élément
Humérus	15 (26%)	212 (17%)	28 (16%)	14	2
Radio-ulna	15 (26%)	474 (38%)	56 (31%)	32	4
Fémur	16 (28%)	347 (28%)	54 (30%)	22	3
Tibia	12 (21%)	208 (17%)	41 (23%)	17	3
Total général	58 (100%)	1241 (100%)	179 (100%)	21	3
Moyenne	14,5	310,3	44,8		
Médiane	15	279,5	47,5		
Écart type	1,7	126,9	13		

Tabl. 4 – Effectifs et pourcentages relatifs du nombre d'éléments, du nombre d'éclats (ou de fragments) et du nombre d'impacts produits. Total des valeurs, moyenne, médiane et écart type.

Table 4 – Headcount and percentages relating to the number of elements, number of fragments generated and number of impacts generated. Total values, mean, median and standard deviation.

été suffisants pour fracturer l'os. Quant aux radio-ulnas, quatre coups en moyenne ont été nécessaires.

De nombreuses marques issues de ces impacts ont été observées. Nous avons effectivement identifié à la fois des encoches, des *pits* et des marques d'enfoncement. La plus grande quantité de traces de percussion a été relevée sur les fémurs, alors qu'en nombre de coups donnés ils arrivent en deuxième (tabl. 5). Les radio-ulnas ont été frappés un plus grand nombre de fois, mais, sur les relevés, ils arrivent en deuxième. Ils sont suivis par les tibias qui sont proches en nombre de traces. Les *pits* de percussion sont les marques les plus nombreuses pour tous les éléments (environ 40 %). L'enfoncement est la marque de percussion qui apparaît le moins souvent. Enfin, on observe la singularité des humérus qui, proportionnellement aux autres éléments, présentent un nombre moindre de traces, et pour lesquels nous avons aussi, pour les

marques, enregistré moins de *pits* de percussion (29 %) et davantage d'enfoncements (22 %). Ces derniers, avec les encoches (26 %), présentent un pourcentage relativement haut par rapport aux autres éléments.

L'analyse spatiale de points chauds optimisée montre une zone de concentration des marques de percussion pour chaque élément (en rouge), avec une exception pour les tibias qui en présentent deux (fig. 4). Pour tous les os longs testés, les aires de concentration se situent sur les diaphyses ; les portions articulaires ne présentent pas d'aires de concentration. L'analyse de l'emplacement des coups donnés montre que ces zones de concentration des marques de percussion correspondent aux aires qui ont été le plus frappées lorsque l'on prend en compte la totalité des marques (tabl. 5). Pour les humérus, la concentration se situe sur la face latérale de la diaphyse (tabl. 6). Sur cette face, 46 % des coups ont été donnés, dont 25 %

sur la portion latérale de la diaphyse. Pour les radio-ulnas, la zone de concentration est localisée sur la portion proximale de la face antérieure. Cette zone a été frappée plus fréquemment, avec un quart des coups donnés. Pour les fémurs, la portion distale de la face antérieure représente l'aire de concentration des marques. Plus d'un quart des coups (26 %) y ont été donnés. Pour les tibias, les deux zones de concentration sont localisées sur la portion distale, l'une sur la face postérieure et l'autre sur la face antérieure. Ces deux zones représentent respectivement 12 % et 15 % des coups donnés, c'est-à-dire 27 %

des coups au total. Cependant, la portion proximale de la face antérieure a reçu le même nombre de coups que la portion distale antérieure. Des différences peuvent être mises en évidence entre les marques consécutives à l'ouverture de la diaphyse (MCOD, encoche avec ou sans éclat adhérent et enfoncement) d'une part, et celles qui sont causées par l'effet rebond sur l'os (MCER, *pit* de percussion) d'autre part : les radio-ulnas et les fémurs présentent une zone de concentration similaire pour les MCO, alors que pour les MCER de nouvelles zones de concentration apparaissent. Elles ne reflètent pas tou-

Élément	Nb élém.	Éclats	Éclats adhérents	Encoches	Enfoncements	Pits	Total général	Éclats/élément	Éclats adhérents/élément	Encoches/élément	Enfoncements/élément	Pits/élément	Total général
Fémur	16	54 (17%)	65 (21%)	26 (8%)	24 (8%)	140 (45%)	309 (100%)	3,4	4,1	1,6	1,5	8,8	19,3
Humerus	15	24 (14%)	14 (8%)	44 (26%)	38 (22%)	50 (29%)	170 (100%)	1,6	0,9	2,9	2,5	3,3	11,3
Radio-ulna	15	26 (10%)	58 (22%)	38 (15%)	42 (16%)	98 (37%)	262 (100%)	1,7	3,9	2,5	2,8	6,5	17,5
Tibia	12	48 (20%)	39 (16%)	37 (16%)	13 (5%)	101 (42%)	238 (100%)	4,0	3,3	3,1	1,1	8,4	19,8
Total général	58	152 (16%)	176 (18%)	145 (15%)	117 (12%)	389 (40%)	979 (100%)	2,6	3,0	2,5	2,0	6,7	16,9
Moyenne	14,5	38	44	36,3	29,3	97,3	244,8						
Médiane	15	37	48,5	37,5	31	99,5	250						
Écart type	1,7	15,2	22,8	7,5	13,3	36,9	57,9						

Tabl. 5 – Nombre et pourcentages relatifs aux éléments (Nb élém.), aux marques de percussion : éclats, encoches avec éclat adhérent, encoches, enfoncements et pits. Total des valeurs, moyenne, médiane et écart type. Nombre d'éclats de percussion par rapport au nombre de chaque élément, nombre d'encoches avec éclat adhérent par rapport au nombre de chaque élément, nombre d'encoches de percussion par rapport au nombre de chaque élément, nombre d'enfoncement par rapport au nombre de chaque élément et nombre de pits de percussion par rapport au nombre de chaque élément.

Table 5 – Numbers and percentages related to the elements (Nb elem.) and percussion marks: flakes, notches with adherent flake, notches, crushing marks and pits. Total values, mean, median and standard deviation. Number of percussion flakes to the number of each element, number of notches with adhering flake to the number of each element, number of percussion notches to the number of each element, number of crushing marks to the number of each element and number of percussion pits to the number of each element.

Élément	P2A	P2L	P2P	P2M	P3A	P3L	P3P	P3M	P4A	P4L	P4P	P4M	total
Humérus	2 (7%)	5 (18%)	2 (7%)	4 (14%)	1 (4%)	7 (25%)	1 (4%)	2 (7%)	0 (0%)	1 (4%)	1 (4%)	2 (7%)	28
Radio-ulna	14 (25%)	1 (2%)	7 (13%)	3 (5%)	12 (21%)	1 (2%)	1 (2%)	1 (2%)	12 (21%)	0 (0%)	3 (5%)	1 (2%)	56
Fémur	7 (13%)	1 (2%)	3 (6%)	2 (4%)	8 (15%)	3 (6%)	4 (7%)	4 (7%)	14 (26%)	3 (6%)	2 (4%)	3 (6%)	54
Tibia	6 (15%)	3 (7%)	3 (7%)	3 (7%)	4 (10%)	1 (2%)	5 (12%)	0 (0%)	6 (15%)	3 (7%)	5 (12%)	2 (5%)	41

Tabl. 6 – Emplacement et nombre de coups donnés pour chaque élément anatomique fracturé, P2 : portion de la diaphyse proximale, P3 : portion de la diaphyse médiane, P4 : portion de la diaphyse distale. A : face antérieure ou crâniale, L : face latérale, P : face postérieure ou caudale et M : face médiale.

Table 6 – Number and location of blows given for each broken element. With P2: proximal diaphysis, P3: middle part of the diaphysis, P4: distal diaphysis. A: anterior or cranial side, L: lateral side, P: posterior or caudal side and M: medial side.

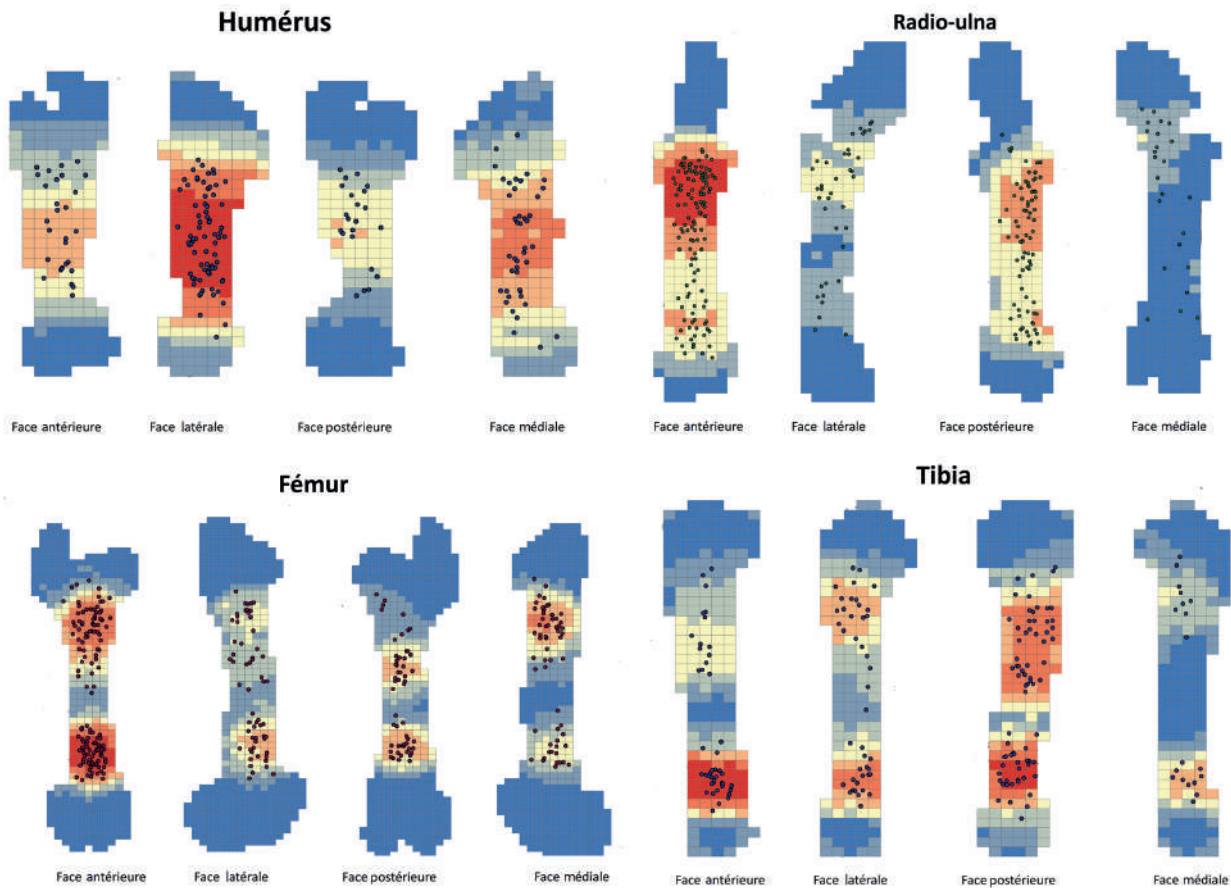


Fig. 4 – Analyses de points chauds optimisées des marques de percussion pour chaque série d'éléments (humérus, radio-ulna, fémur et tibia). En rouge : les aires de concentration de marques ; en bleu : les aires où il n'y a pas de concentration de marques.

Fig. 4 – *Optimized Hot Spot Analysis of percussion marks for each series of elements (humerus, radio-ulna, femur and tibia). In red: areas of marks concentration; in blue: areas without marks concentration.*

jours les zones les plus frappées. Les résultats des analyses de points chauds optimisées montrent que, pour les tibias, les MCER présentent une seule zone de concentration contre trois mises en évidence pour les MCOD. Les trois aires de concentration identifiées par l'analyse spatiale sont les mêmes pour les MCOD et pour la totalité des marques indiquant les aires les plus frappées (la face distale antérieure). En revanche, pour les MCOD, les résultats mettent en évidence deux des trois zones les plus frappées (faces distales antérieure et postérieure), mais aussi deux zones (face proximale postérieure et face latérale médiale) sur lesquelles peu de coups ont été donnés (7 % et 2 %). Pour l'humérus, les résultats des analyses de points chauds optimisées ne montrent aucune différence entre les MCOD et les MCER (fig. 5).

L'analyse de distance moyenne du plus proche voisin pour chaque élément, qui prend en compte la totalité des surfaces, montre que les marques ne sont pas distribuées de manière aléatoire et donc que les marques forment des groupes à la surface de l'os. Ces résultats sont démontrés par les z valeurs négatives et des p -valeurs < 0.001 (tabl. 7). Cependant, cette analyse étant sensible aux surfaces prises en compte et aux vides entre les faces, nous avons aussi testé chaque face indépendamment. Seules les faces antérieures des fémurs et des tibias montrent

des résultats significatifs de regroupement des marques (z valeur = - 3 et p -valeur < 0.001).

En complément, les résultats de l'analyse de densité de noyau effectuée pour chaque élément mettent en évidence des zones de concentration identiques à celles de la zone la plus souvent frappée : face latérale de la diaphyse pour l'humérus, portion proximale et face antérieure pour le radio-ulna, portion distale et face antérieure pour le fémur et le tibia (fig. 6). En prenant en compte les résultats de l'analyse de distance moyenne du plus proche voisin, nous avons testé les faces antérieures pour le fémur et le tibia. Les résultats sont similaires à ceux prenant en compte les quatre faces tout en définissant une zone de concentration plus réduite.

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Une première analyse des données issues de la monographie (Anconetani et Peretto, 1996) montre que la force de l'expérimentateur n'est pas un facteur déterminant pour l'ouverture de la diaphyse, mais qu'un coup fort et bien placé détermine une fracture rapide. Par ailleurs, l'épaisseur de l'os, notamment de la corticale, est

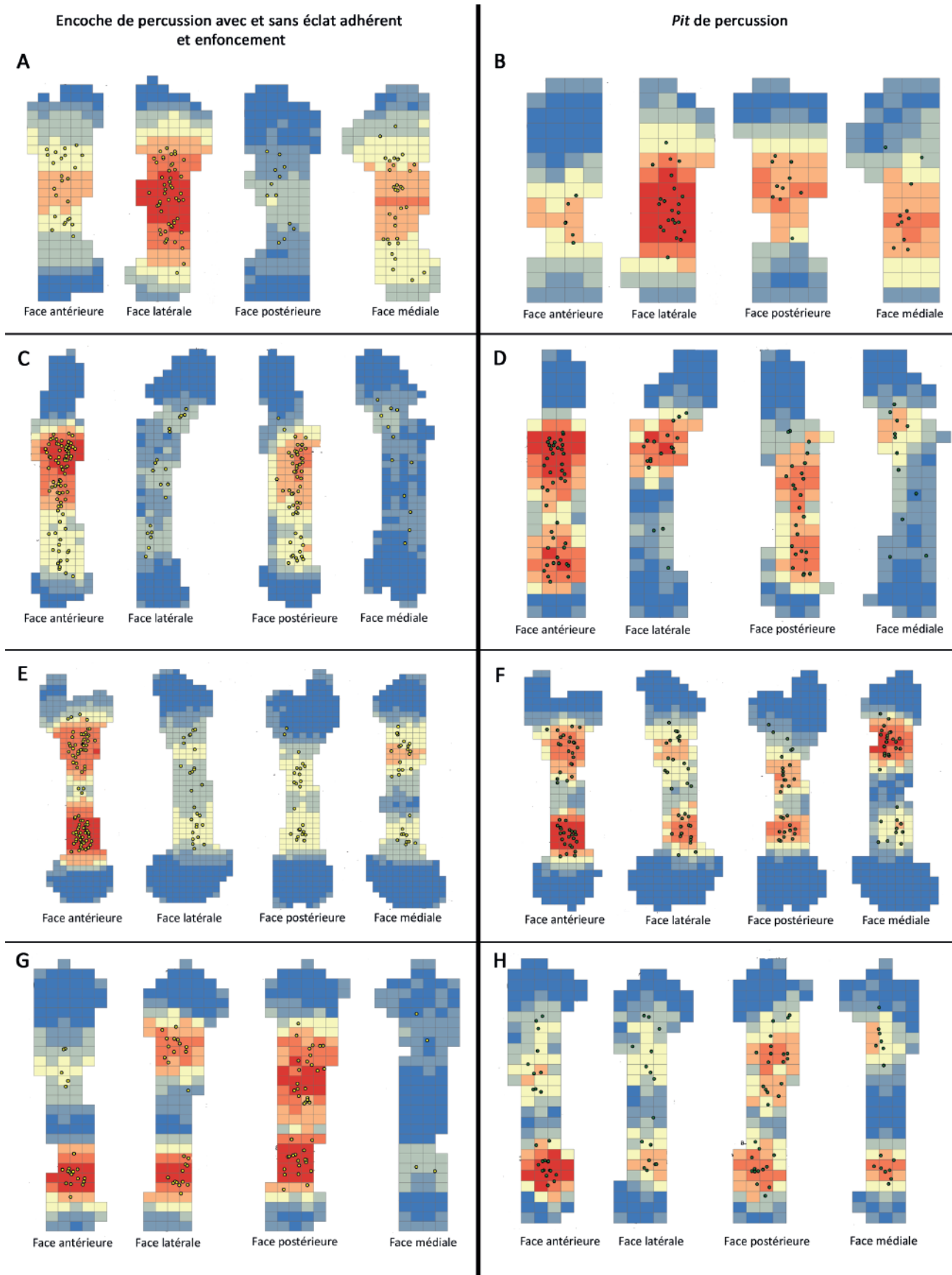


Fig. 5 – Analyses de points chauds optimisées des marques de percussion pour chaque série d'éléments (humérus, radio-ulna, fémur et tibia). En rouge : les aires de concentration de marques ; en bleu : les aires où il n'y a pas de concentration ; A, C, E, G) pour les MCOD ; B, D, F, H) pour les MCER.

Fig. 5 – Optimized Hot Spot Analysis of percussion marks for each series of elements (humerus, radio-ulna, femur and tibia). In red: areas of marks concentration; in blue: areas without marks concentration; A, C, E and G) MCOD; B, D, F and H) MCER.

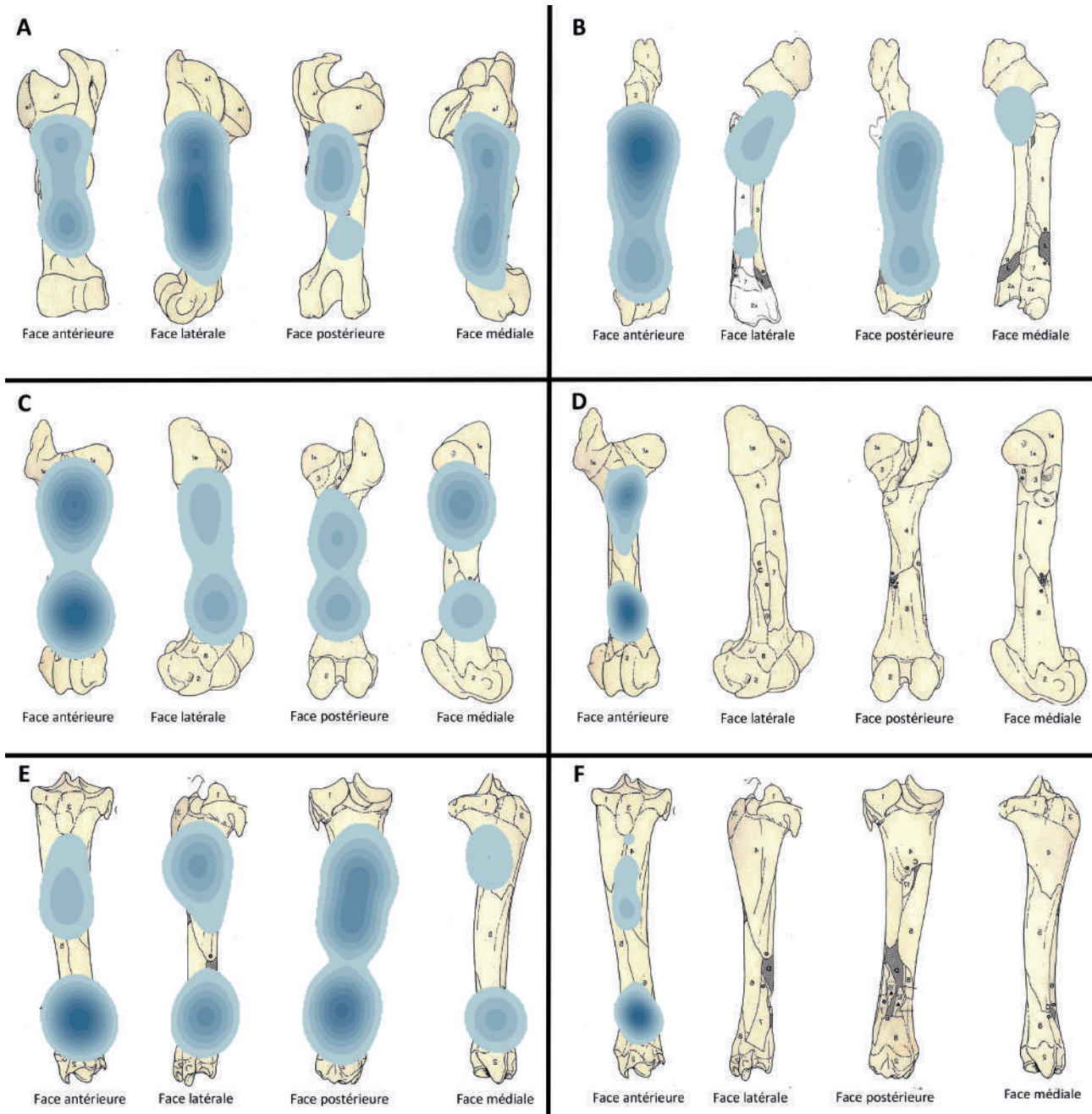


Fig. 6 – Analyses de densité de noyau des marques de percussion pour chaque série d'éléments (humérus, radio-ulna, fémur et tibia). En bleu : les aires de concentration des marques, avec, pour les fémurs et les tibias, les deux faces dont les résultats de la moyenne des plus proches voisins étaient significatifs.

Fig. 6 – Kernel density analyses of the percussion marks for each set of elements (humerus, radio-ulna, femur and tibia); with in blue the areas of concentration of the marks; and for the femurs and tibias, the two faces for which the results of the nearest neighbours analyses were significant.

étroitement liée à l'âge de l'animal. De plus, elle semble influencer sur le temps d'ouverture de la diaphyse et sur la production d'éclats de percussion. En effet, les analyses montrent qu'il faut un temps plus réduit pour la fracture de la diaphyse avec une production plus importante d'éclats de percussion pour les os des plus jeunes individus par rapport à ceux des subadultes. La technique utilisée détermine aussi la taille de la zone d'impact : la technique de percussion lancée semble produire de plus petits impacts de type *pits*, parfois presque invisibles, alors que

la percussion directe produit des impacts de plus grande taille ; enfin, l'emploi de la technique mixte provoque des impacts encore plus grands. De même, le percuteur utilisé influence la taille de la zone fracturée : elle est grande en utilisant un galet non retouché et plus petite avec un galet retouché. Les percuteurs en calcaire semblent plus efficaces que l'utilisation d'un autre os ou d'un bâton en bois pour casser un os long. Lors de la percussion, une fracture latente placée au niveau d'un angle de l'enclume peut être ouverte par l'effet du contrecoup. Cette action

Élément	Face antérieure			Face latérale			Face postérieure			Face médiale			Total		
	P-valeur	Z valeur	RV/PP	P-valeur	Z valeur	RV/PP	P-valeur	Z valeur	RV/PP	P-valeur	Z valeur	RV/PP	P-valeur	Z valeur	RV/PP
Humérus	0,219	1,227	1,11	0,408	0,827	1,05	0,481	0,705	1,08	0,439	-0,774	0,939	<0,001	-11,361	0,545
Radio-ulna	0,037	2,089	1,1	0,266	-1,113	0,906	0,101	-1,638	0,904	0,006	2,737	1,292	<0,001	-13,842	0,554
Fémur	<0,001	-3,463	0,844	0,486	-0,696	0,953	0,216	-1,236	0,912	0,723	-0,354	0,976	<0,001	-17,628	0,476
Tibia	0,001	-3,22	0,759	0,511	0,657	1,051	0,126	-1,532	0,909	0,168	-1,1379	0,843	<0,001	-14,375	0,459

Tabl. 7 – Analyse en grappes SIG des marques de percussion pour les quatre éléments osseux (humérus, radio-ulna, fémur et tibia) en utilisant la moyenne des plus proches voisins. L'analyse a été effectuée sur les quatre faces des éléments. La distance entre chaque marque de percussion et son plus proche voisin a été mesurée. L'indice de plus proche voisin (NNI) est la distance observée divisée par la distance moyenne attendue dans une distribution aléatoire hypothétique. Si l'indice NNI est inférieur à 1, le motif est considéré comme groupé ; si l'indice NNI est supérieur à 1, la tendance est à la dispersion. Les codes de couleur (score Z) indiquent le degré de concentration ou de dispersion. Les valeurs nulles signifient que le nombre de marques comptées est inférieur ou égal à 3.

Table 7 – GIS Cluster analysis for percussion marks for the four bone elements (humerus, radio-ulna, femur and tibia) using average nearest neighbour. Analysis was performed on the four aspects of the elements. The distance between each percussion mark and its nearest neighbour was measured. The nearest neighbour index (NNI) is the observed distance divided by the average expected distance in a hypothetical random distribution. If the NNI is less than 1, the pattern is considered clustered. If the NNI is greater than 1, the trend is towards dispersion. Colour codes (Z score) indicate the degree of clustering or dispersion. Null values signify that the number of counted marks was 3 or less.

peut laisser des *pits* de percussion. Ces *pits* sont de forme cupulaire lors de l'usage d'une percussion lancée, linéaire concave lors de la percussion directe et linéaire sinusoïdale lors de l'emploi de percussion mixte.

Sept personnes ont participé à une expérimentation de fracturation d'os long (humérus, radio-ulna, fémur et tibia) en utilisant trois techniques (percussion directe, lancée et mixte). Hormis lors de la percussion lancée, des enclumes ont été utilisées lors de la fracturation, pouvant créer lors du coup un possible contrecoup. Ces contrecoups sont des épiphénomènes qui peuvent occasionner des marques de percussion similaires à celles créées par les coups (par exemple Johnson, 1983 ; Blumenschine et Selvaggio, 1988 ; Peretto *et al.*, 1996 ; Galán *et al.*, 2009 ; Masset *et al.*, 2016 ; Gifford-Gonzalez, 2018 ; Vettese *et al.*, 2020). Le nombre de coups donnés par les expérimentateurs était relativement réduit par rapport à d'autres expérimentations, comme celle de D. Vettese et collègues (2021), car ils s'arrêtaient en majorité à la première fracturation ou à la seconde. En moyenne, seulement trois coups ont été donnés sur un élément, alors que dans l'expérimentation de D. Vettese *et al.* (2021), les expérimentateurs novices ont donné en moyenne 54 coups, et certains ont pu en donner plus de 200.

La reprise de l'étude des relevés des marques de percussion a permis d'enrichir le corpus des analyses spatiales. Les résultats des analyses spatiales de points chauds optimisées et de densité de noyau comprenant l'ensemble des marques démontrent pour tous les éléments étudiés une adéquation entre la zone la plus fréquemment percutee et la zone de concentration des traces de percussion. Si l'on prend en compte uniquement les MCO (fig. 5), des zones de concentration supplémentaires apparaissent. Ces dernières pourraient être causées par les contrecoups. Les MCER sembleraient donc constituer des marques

plus fiables pour mettre en évidence l'emplacement des coups lorsqu'ils sont concentrés sur la même zone. Ce résultat, qui pourrait sembler trivial, est d'une grande importance : non seulement il a été démontré que les marques de percussion, au même titre que les stries de boucherie, sont des épiphénomènes, mais il est également établi que les marques causées par les contrecoups inhérents à l'utilisation de l'enclume pouvaient parasiter la répartition spatiale des coups dus au percuteur (Chevillard, 2018 ; Vettese *et al.*, 2020 et 2021). Les marques laissées par ces contrecoups ne forment pas de zone de concentration, contrairement à celles des coups directs.

Ces zones de concentration partagent des similitudes avec celles observées par D. Vettese et ses collègues lors d'une expérimentation sur la fracturation des os longs de manière intuitive (Vettese *et al.*, 2021). Pour les humérus, la zone de concentration commune aux deux études est située sur les portions proximale et distale de la face médiale de la diaphyse. L'aire de concentration commune pour le radio-ulna se situe vers la portion proximale de la face antérieure, alors que celle du fémur est localisée sur la portion distale de la face antérieure. Enfin pour le tibia, les deux aires communes sont la portion distale de la face antérieure et la portion médiale de la face postérieure. Cela démontre que les zones frappées et marquées préférentiellement par les expérimentateurs lors de l'expérimentation de 1993 sont celles identifiées comme les zones intuitives mises en évidence par D. Vettese *et al.* (2021). Il semblerait donc que les zones de percussion identifiées sur les diaphyses du registre osseux de l'archéosurface 3a soient le reflet d'une pratique intuitive d'extraction de la moelle. Une étude systématique de ce matériel archéologique pourrait confirmer notre hypothèse. Cependant, il est possible d'observer quelques variations dans les zones de concentration intuitives (Vettese, 2020). Nos résultats

indiquent également une forte contrainte de la morphologie des éléments osseux. Par exemple, la présence de moins de marques sur le tibia, alors qu'il n'y a pas une unique zone de concentration des traces de percussion, pourrait s'expliquer par la crête tibiale. En effet, la densité de cette partie et sa forme peuvent provoquer un glissement du percuteur en face médiale ou latérale.

Nos conclusions démontrent une convergence des zones de coups et des zones de concentration des marques de percussion qui ont été identifiées par l'analyse spatiale, et ce indépendamment de la technique de percussion ou de l'utilisation d'enclume. Cela permet d'envisager une application des analyses spatiales de distribution des marques de percussion sur le matériel archéologique pour identifier des zones de percussion préférentielles dans un assemblage osseux. Cependant, ces analyses doivent être contrebalancées par l'étude taphonomique attentive des surfaces osseuses. L'application de ces méthodes d'analyse sur le matériel archéologique pourrait mettre en évidence des schémas de fracturation spécifiques à un assemblage osseux. L'étude de ces modèles de distribution des marques de percussion sur les restes d'os longs d'un assemblage osseux des sites du Pléistocène moyen tel qu'Isernia pourrait permettre l'identification des processus à l'origine de la mise en œuvre de la fracture anthropique systématique des os longs pour récupérer la moelle. En effet, la comparaison avec des résultats d'analyses spatiales, comme celles ayant mis en évidence des schémas intuitifs, pourrait permettre de déterminer à quel moment et à quel endroit des schémas systématiques et contre-intuitifs ont été mis en place, révélant l'apparition de traditions bouchères liées à l'extraction de la moelle (Vettesse, 2019). Dans une perspective plus large, l'identification des variations de ces modèles de distribution de traces de percussion dans le temps long et dans l'espace pourrait mettre en évidence des pratiques similaires à certains groupes et/ou sites, ou indiquer au contraire des discontinuités dans les pratiques bouchères d'extraction de la moelle osseuse.

Remerciements : Nous remercions particulièrement P. Anconetani et tous les participants à l'expérimentation. Nos remerciements s'adressent à G. Mauran et à P. Lefèbvre pour avoir relu ce travail et pour leurs suggestions. Enfin, nous exprimons notre gratitude aux deux relecteurs anonymes et à V. Laroulandie pour leurs critiques constructives qui ont permis d'améliorer grandement ce manuscrit.

Delphine VETTESE

Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento degli Studi Umanistici, Sezione di Scienze Preistoriche e Antropologiche, Ferrara, Italie
Grupo de I+D+i EVOADAPTA (Evolución Humana y Adaptaciones Económicas y Ecológicas durante la Prehistoria), Dpto. Ciencias Históricas, Universidad de Cantabria, Santander, Espagne
HNHP-UMR 7194, Muséum national d'histoire naturelle, CNRS, UPVD, Paris, France
delphine.vettesse@univ-perp.fr

Alexandre LAZAROU

Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento degli Studi Umanistici, Sezione di Scienze Preistoriche e Antropologiche, Ferrara, Italie
alexandre.lazarou@edu.unife.it
Trajanka STAVROVA
HNHP-UMR 7194, Muséum national d'histoire naturelle, CNRS, UPVD, Paris, France
stavrovatrajanka@gmail.com

Carlo PERETTO

Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento degli Studi Umanistici, Sezione di Scienze Preistoriche e Antropologiche, Ferrara, Italie
carlo.peretto@unife.it
Ursula THUN HOHENSTEIN
Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento degli Studi Umanistici, Sezione di Scienze Preistoriche e Antropologiche, Ferrara, Italie
ursula.thun@unife.it

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABE Y., MAREAN C. W., NILSSEN P. J., ASSEFA Z., STONE E. C. (2002) – The Analysis of Cutmarks on Archaeofauna: A Review and Critique of Quantification Procedures and a New Image-Analysis GIS Approach, *American Antiquity*, 67, 4, p. 643-663.
- ALHAIQUE F., BISCONTI M., CASTIGLIONI E., CILLI C., LEONE F., GIACOMO G., GRIFONI R., GUERRESCHI A., IACOPINI A., MALERBA G., PERETTO C., RECCHI A., ROCCI RIS A., RONCHITELLI A., ROTTOLI M., HOHENSTEIN U.T., TOZZI C., VISENTINI P., WILKENS B. (2004) – Animal Resources and Subsistence Strategies, *Collegium Antropologicum*, 28, 1, p. 23-40.
- ANCONETANI P., PERETTO C. (1996) – Fratturazione sperimentale su osso e osservazioni sui reperti di scavo. Proposta di tipologia di fratturazione, in C. Peretto (dir.), *I reperti paleontologici del giacimento paleolitico di Isernia La Pineta: l’Uomo e l’Ambiente*, Isernia, Cosmo Iannone Editore, p. 531-575.
- ANCONETANI P., EVANGELISTA L., PERETTO C., THUN HOHENSTEIN U. (1998a) – Experimental Bone Fracturing for Marrow Extraction, in XIII UISPP Congress Proceedings, Workshops, VI (Forli, 8-14 September 1996), Forli, Abaco Edizioni, p. 211-217.
- ANCONETANI P., EVANGELISTA L., PERETTO C., THUN HOHENSTEIN U. (1998b) – Intentional Bone Fracturing on *Bos primigenius* Domestic Variety: Results of Field Experimentation, in XIII UISPP Congress Proceedings, Workshops, VI (Forli, 8-14 September 1996), Forli, Abaco Edizioni, p. 153-159.
- AROBBA D., BOSCATO P., BOSCHIAN G., FALGUÈRES C., FASANI L., PERETTO C., THUN HOHENSTEIN U., TOZZI C. (2004) – Isernia La Pineta. Palaeoenvironmental Analysis, *Collegium Antropologicum*, 28, p. 5-21.
- BARONE R. (1976) – *Anatomie comparée des mammifères domestiques*, tome 1 *Ostéologie*, Paris, Vigot.
- BINFORD L. R. (1981) – *Bones: Ancient Men and Modern Myths*, New York, Academic Press, 319 p.
- BLASCO R., ROSELL J., DOMÍNGUEZ-RODRIGO M., LOZANO S., PASTÓ I., RIBA D., VAQUERO M., PERIS J. F., ARSUAGA J. L., DE CASTRO J. M. B., CARBONELL E. (2013) – Learning by Heart: Cultural Patterns in the Faunal Processing Sequence during the Middle Pleistocene, M. D. Petraglia (dir.), *PLoS ONE*, 8, 2, p. e55863, [en ligne] <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0055863>
- BLASCO R., DOMÍNGUEZ-RODRIGO M., ARILLA M., CAMARÓS E., ROSELL J. (2014) – Breaking Bones to Obtain Marrow: A Comparative Study between Percussion by Batting Bone on an Anvil and Hammerstone Percussion, *Archaeometry*, 56, 6, p. 1085-1104, [en ligne] <http://doi.wiley.com/10.1111/arc.12084>
- BLUMENSCHINE R. J., SELVAGGIO M. M. (1988) – Percussion Marks on Bone Surfaces as a New Diagnostic of Hominid Behaviour, *Nature*, 333, p. 763-765.
- BLUMENSCHINE R. J. (1995) – Percussion Marks, Tooth Marks, and Experimental Determinations of the Timing of Hominid and Carnivore Access to Long Bones at FLK Zinjanthropus, Olduvai Gorge, Tanzania, *Journal of Human Evolution*, 29, 1, p. 21-51.
- BREDA M., PERETTO C., THUN HOHENSTEIN U. (2015) – The Deer from the Early Middle Pleistocene Site of Isernia la Pineta (Molise, Italy): Revised Identifications and New Remains from the Last 15 Years of Excavation, *Geological Journal*, 50, p. 290-305.
- CAPALDO S. D., BLUMENSCHINE R. J. (1994) – A Quantitative Diagnosis of Notches Made by Hammerstone Percussion and Carnivore Gnawing on Bovid Long Bones, *American Antiquity*, 59, 4, p. 724-748.
- CHANNARAYAPATNA S., LEMBO G., PERETTO C., THUN HOHENSTEIN U. (2018) – Preliminary Results from Application of GIS to Study the Distribution of Select Taphonomic Agents and their Effects on the Faunal Remains from 3 Collium Level of Isernia La Pineta, *Quaternaire*, 33, 29/1, p. 31-38, [en ligne] <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352409X20302601>
- CHEVILLARD L. (2018) – Du geste au stigmate : apport de l’expérimentation à la caractérisation des impacts de percussion en contexte, mémoire de master 2, Muséum national d’histoire naturelle de Paris, Paris, 40 p.
- COLTORTI M., CREMASCHI M., DELITALA M. C., ESU D., FORNASERI M., MCPHERSON A., NICOLETTI M., VAN OTTERLO R., PERETTO C., SALA B., SCHMIDT V., SEVINK J. (1982) – Reversed Magnetic Polarity at Isernia La Pineta, a New Lower Paleolithic Site in Central Italy, *Nature*, 300, p. 173-176.
- COLTORTI M., FERAUD G., MARZOLI A., PERETTO C., TON-THAT T., VOINCHET P., BAHAIN J., MINELLI A., THUN HOHENSTEIN U. (2005) – New ⁴⁰Ar/³⁹Ar, Stratigraphic and Salaeo-Climatic Data on the Isernia La Pineta Lower Palaeolithic Site, Molise, Italy, *Quaternary International*, 131, p. 11-22.
- CREMASCHI M. (1983) – La serie stratigrafica pleistocenica di Isernia La Pineta e la posizione stratigrafica dei suoli d’abitato paleolitici in essa inclusi. C. Peretto, C. Terzani et M. Cremaschi (dir.), *Isernia La Pineta, un accampamento più antico di 700000 anni*, Bologne, Calderini, p. 49-62.
- DOMÍNGUEZ-RODRIGO M., PICKERING T. R., SEMAW S., ROGERS M. J. (2005) – Cutmarked Bones from Pliocene Archaeological Sites at Gona, Afar, Ethiopia: Implications for the Function of the World’s Oldest Stone Tools, *Journal of Human Evolution*, 48, 2, p. 109-121.
- GALÁN B., RODRÍGUEZ M., DE JUANA S., DOMÍNGUEZ-RODRIGO M. (2009) – A New Experimental Study on Percussion Marks and Notches and Their Bearing on the Interpretation of Hammerstone-Broken Faunal Assemblages, *Journal of Archaeological Science*, 36, p. 776-784.
- GARCÍA-MORENO A., HUTSON J. M., VILLALUENGA A., TURNER E., GAUDZINSKI-WINDHEUSER S. (2014) – Counting Sheep Without Falling Asleep: Using Gis to Calculate the Minimum Number of Skeletal Elements (MNE) and Other Archaeozoological Measures at Schöningen 13li-4 “Spear Horizon”, in F. Giligny, F. Djindjian, L. Costa et S. Robert (dir.), *Proceedings of the 42nd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeo-*

- logy (Paris, 22-25 avril 2014), Oxford, Archaeopress, p. 407-412.
- GIFFORD-GONZALEZ D. (2018) – *An Introduction to Zooarchaeology*, Cham, Springer International Publishing, 604 p., [en ligne] <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-65682-3>
- GIUSBERTI G., PERETTO C. (1991) – Évidences de la fracturation intentionnelle d'ossements animaux avec moelle dans le gisement paléolithique de La Pineta de Isernia, Molise, Italie, *Anthropologie*, 96, p. 765-778.
- JOHNSON E. (1983) – A Framework for Interpretation in Bone Technology, in G. LeMoine et S. MacEachern (dir.), *Carnivores, Human Scavengers and Predators: A Question of Bone Technology*, Calgary, The Archaeological Association of the University of Calgary, p. 55-93.
- KARR L.P., OUTRAM A. K. (2012) – Actualistic Research into Dynamic Impact and Its Implications for Understanding Differential Bone Fragmentation and Survivorship, *Journal of Archaeological Science*, 39, 11, p. 3443-3449, [en ligne] <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2012.05.013>
- LYMAN R.L. (1994) – *Vertebrate Taphonomy*, Cambridge, Cambridge University Press, 526 p.
- MALERBA G., THUN HOHENSTEIN U., DIEZ LOMANA C., ROSELL J., GIACOBINI G., PERETTO C. (2000) – Cutmarks e pseudo-cutmarks. Il problema del riconoscimento di tracce di origine antropica e non sui reperti faunistici del sito di Isernia La Pineta, in *Atti del secondo Convegno Nazionale di Archeozoologia (Asti, 1997)*, Forlì, Abaco Edizioni, p. 91-97.
- MAREAN C. W., DOMÍNGUEZ-RODRIGO M., PICKERING T. R. (2004) – Skeletal Element Equifinality in Zooarchaeology Begins with Method: The Evolution and Status of the “Shaft Critique”, *Journal of Taphonomy*, 2, 2, p. 69-98.
- MARTIN H. (1910) – La percussion osseuse et les esquilles qui en dérivent. Expérimentation, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 5, 5, p. 299-304.
- MASSET C., COSTAMAGNO S., COCHARD D., LAROULANDIE V. (2016) – La fracturation osseuse : du fait technique à l'essai d'interprétation sociétale. L'exemple de l'antilope saïga du gisement magdalénien de Saint-Germain -la-Rivière (Gironde), *Bulletin de la Société préhistorique française*, 113, 4, p. 691-712.
- MOCLÁN A., DOMÍNGUEZ-RODRIGO M. (2018) – An Experimental Study of the Patterned Nature of Anthropogenic Bone Breakage and Its Impact on Bone Surface Modification Frequencies, *Journal of Archaeological Science*, 96, p. 1-13, [en ligne] <https://doi.org/10.1016/j.jas.2018.05.007>
- MOCLÁN A., DOMÍNGUEZ-RODRIGO M., YRAVEDRA J. (2019) – Classifying Agency in Bone Breakage: An Experimental Analysis of Fracture Planes to Differentiate Between Hominin and Carnivore Dynamic and Static Loading Using Machine Learning (ML) Algorithms, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11, p. 4663-4680.
- NILSSEN P. J. (2000) – *An Actualistic Butchery Study in South Africa and Its Implications for Reconstructing Hominid Strategies of Carcass Acquisition And Butchery in The Upper Pleistocene and Plio-Pleistocene*, Ph.D. dissertation, University of Cape Town, Cape Town, 220 p.
- NOE-NYGAARD N. (1977) – Butchering and Marrow Fracturing As a Taphonomic Factor in Archaeological, *Paleontological Society*, 3, 2, p. 218-237.
- OLIVER J. S. (1993) – Carcass Processing by the Hadza: Bone Breakage from Butchery to Consumption, in J. Hudson (dir.), *From Bones to Behavior: Ethnoarchaeological and Experimental Contributions to the Interpretation of Faunal Remains*, Carbondale, Center for Archaeological Investigations, Southern Illinois University (Occasional Paper, 21), p. 200-227.
- OUTRAM A. K. (2002) – Bone Fracture and Within-bone Nutrients: An Experimentally Based Method for Investigating Levels of Marrow Extraction, in P. Miracle et N. Milner (dir.), *Consuming Passions and Patterns of Consumption*, Cambridge, McDonald Institute for Archaeological Research, p. 51-63.
- PARKINSON J. A. (2013) – *A GIS Image Analysis Approach to Documenting Oldowan Hominin Carcass Acquisition: Evidence from Kanjera South, FLK Zinj, and Neotaphonomic Models of Carnivore Bone Destruction*, Ph. D. dissertation, City University of New York, New York, 329 p., [en ligne] https://paleoanthro.org/media/dissertations/Jennifer_Parkinson_2013.pdf
- PARKINSON J. A., PLUMMER T. W., BOSE R. (2014) – A GIS-Based Approach to Documenting Large Canid Damage to Bones, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 409, p. 57-71, [en ligne] <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.04.019>
- PARKINSON J. A., PLUMMER T., HARTSTONE-ROSE A. (2015) – Characterizing Felid Tooth Marking and Gross Bone Damage Patterns Using GIS Image Analysis: An Experimental Feeding Study with Large Felids, *Journal of Human Evolution*, 80, p. 114-134, [en ligne] <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2014.10.011>
- PARKINSON J. A., PLUMMER T. W., OLIVER J. S., BISHOP L. C. (2022) – Meat on the Menu: GIS Spatial Distribution Analysis of Bone Surface Damage Indicates that Oldowan Hominins at Kanjera South, Kenya Had Early Access to Carcasses, *Quaternary Science Reviews*, 277, 107314, p. 1-23, [en ligne] <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107314>
- PERETTO C. (1996) – *I reperti paleontologici del giacimento paleolitico di Isernia La Pineta. L'Uomo e l'ambiente*, Isernia, Cosmo Iannone Editore, 634 p.
- PERETTO C., ANCONETANI P., CROVETTO C., EVANGELISTA L., FERRARI M., GIUSBERTI G., THUN HOHENSTEIN U., VIANELLO F. (1996) – Approccio sperimentale alla comprensione delle attività di sussistenza condotte nel sito di Isernia La Pineta (Molise-Italia). La fratturazione intenzionale, in C. Peretto (dir.), *I reperti paleontologici del giacimento paleolitico di Isernia La Pineta*, Isernia, Cosmo Iannone Editore, p. 187-452.
- PERETTO C., BIAGI P., BOSCHIAN G., BROGLIO A., DE STEFANI M., FASANI L., FONTANA F., GRIFONI R., GUERRESCHI A., IACOPINI A., MINELLI A., PALA R., PERESANI M., RADI G., RONCHITELLI A., SARTI L., HOHENSTEIN U. T., TOZZI C. (2004) – Living-Floors and Structures from the Lower Paleolithic to the Bronze Age in Italy, *Collegium Anthropologicum*, 28, 1, p. 63-88.
- PERETTO C., ARNAUD J., MOGGI-CECCHI J., MANZI G., NOMADE S., PEREIRA A., FALGUÈRES C., BAHAIN J.-J., GRIMAUD-HERVÉ D.,

- BERTO C., SALA B., LEMBO G., MUTTILLO B., GALLOTTI R., THUN HOHENSTEIN U., VACCARO C., COLTORTI M., ARZARELLO M. (2015) – A Human Deciduous Tooth and New $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating Results from the Middle Pleistocene Archaeological Site of Isernia La Pineta, Southern Italy, *PLoS ONE*, 10, 10, p. e0140091, [en ligne] <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0140091>
- PICKERING T. R., EGELAND C. P. (2006) – Experimental Patterns of Hammerstone Percussion Damage on Bones: Implications for Inferences of Carcass Processing by Humans, *Journal of Archaeological Science*, 33, p. 459-469.
- SALA B. (1996) – Gli animali del giacimento di Isernia La Pineta, in C. Peretto (dir.), *I Reperti Paleontologici del Giacimento Paleolitico di Isernia La Pineta, l'Uomo e l'Ambiente*, Isernia, Cosmo Iannone Editore, p. 25-49.
- SOULIER M.-C. (2021) – Exploring Meat Processing in the Past: Insights from the Nunamiut People, *PLoS ONE*, 16, 1 January, p. 1-21.
- SOURON A., NAPIAS A., LAVIDALIE T., SANTOS F., LEDEVIN R., CASTEL J.-C., COSTAMAGNO S., CUSIMANO D., DRUMHELLER S., PARKINSON J., ROZADA L., COCHARD D. (2019) – A New Geometric Morphometrics-Based Shape and Size Analysis Discriminating Anthropogenic and Non-Anthropogenic Bone Surface Modifications of an Experimental Data Set, 2019 IMEKO TC4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, *MetroArchaeo*, 2019, p. 560-565.
- STAVROVA T., BOREL A., DAUJEARD C., VETTESE D. (2019) – A GIS Based Approach to Long Bone Breakage Patterns Derived from Marrow Extraction, *PLoS ONE*, 14, 5, p. e0216733, [en ligne] <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0216733>
- THOMPSON J. C., CARVALHO S., MAREAN C. W., ALEMSEGED Z. (2019) – Origins of the Human Predatory Pattern: The Transition to Large-Animal Exploitation by Early Hominins, *Current Anthropology*, 60, 1, p. 1-23, [en ligne] <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/701477>
- THUN HOHENSTEIN U., MALERBA G., GHIRELLI E., GIACOBINI G., PERETTO C. (2002) – Attività di sussistenza nel Paleolitico inferiore di Isernia La Pineta: archeozoologia delle US3S10 e 3 coll (scavi 2000), *Rivista di Scienze preistoriche*, 52, p. 3-20.
- THUN HOHENSTEIN U., MALERBA G., GIACOBINI G., PERETTO C. (2004) – Bone Surface Micromorphological Study of the Faunal Remains from the Lower Palaeolithic Site of Isernia La Pineta (Molise, Italy), in *Actes du 14^e congrès de l'UISPP (Liège, 2-8 septembre 2001)*, Oxford, Archaeopress (BAR International Series, 1272), p. 123-129.
- THUN HOHENSTEIN U., DI NUCCI A., MOIGNE A.-M. (2009) – Mode de vie à Isernia La Pineta (Molise, Italie). Stratégie d'exploitation du bison *schoetensacki* par les groupes humains au Paléolithique inférieur, *Anthropologie*, 113, 1, p. 96-110.
- THUN HOHENSTEIN U., CHANNARAYAPATNA S., D'ARGENIO F., GRANDI F., PERETTO C. (2019) – Nuovi dati archeozoologici dal sito di Isernia La Pineta (Molise, Italia), in J. De Grossi Mazzorin, I. Fiore et C. Minniti (dir.), *Atti del 8^o Convegno Nazionale di Archeozoologia (Lecce, 2015)*, [en ligne] <https://core.ac.uk/reader/224969750>
- VETTESE D. (2019) – *Approche techno-culturelle de la fracturation des os longs chez les Néandertaliens (sud-ouest de l'Europe, MIS 5-3) : une systématisation des gestes ?*, thèse de doctorat, Muséum national d'histoire naturelle de Paris, Paris, 487 p.
- VETTESE D. (2020) – An Archaeological Experiment Focused on the Intuitive Way of Long Bones Breakage to Extract Marrow V.2, *PLoS ONE*, [en ligne] <https://dx.doi.org/10.17504/protocols.io.be7fjhj>
- VETTESE D., BLASCO R., CÁCERES I., GAUDZINSKI-WINDHEUSER S., MONCEL M., HOHENSTEIN U. T., DAUJEARD C. (2020) – Towards an Understanding of Hominin Marrow Extraction Strategies: A Proposal for a Percussion Mark Terminology, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12, 2, p. 48, [en ligne] <http://link.springer.com/10.1007/s12520-019-00972-8>
- VETTESE D., STAVROVA T., BOREL A., MARÍN J., MONCEL M.-H., ARZARELLO M., DAUJEARD C. (2021) – A Way to Break Bones? The Weight of Intuitiveness, *PLoS ONE*, 16, 10, e0259136.
- VOORMOLEN B. (2008) – *Ancient Hunters, Modern Butchers*, doctoral thesis, University of Leiden, Leiden, 144 p., [en ligne] <http://www.narcis.nl/dataset/RecordID/oai:easy.dans.knaw.nl:twips.dans.knaw.nl-6961592912628113803-1207296007261/Language/en>
- WHITE T. (1992) – *Prehistoric Cannibalism at Mancos 5MTUMR-2346*, Princeton, Princeton University Press, 463 p.
- ZHANG Y., ZHANG S., GAO X. (2019) – 地理信息系统在动物考古学研究中的应用：以贵州马鞍山遗址出土的动物遗存为例, *Acta Anthropologica Sinica*, 38, 3, p. 407-418.

