



HAL
open science

L'approche microchronologique en archéologie : étude des encroûtements carbonatés en contextes paléolithique et romain

Christophe Petit, Jacques Élie Brochier, Julien Curie, Bruno Desachy, Laure Fontana, Ludovic Slimak, Ségolène Vandavelde

► To cite this version:

Christophe Petit, Jacques Élie Brochier, Julien Curie, Bruno Desachy, Laure Fontana, et al.. L'approche microchronologique en archéologie : étude des encroûtements carbonatés en contextes paléolithique et romain. Chloé Andrieu; Sophie Houdart. La composition du temps. Prédications, événements, narrations historiques, Éditions de Boccard, pp.19-38, 2018, Colloques de la MAE René-Ginouvès (15), 978-2-7018-0567-2. hal-01979097

HAL Id: hal-01979097

<https://hal.science/hal-01979097>

Submitted on 7 May 2020

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.

L'APPROCHE MICROCHRONOLOGIQUE EN ARCHÉOLOGIE Étude des encroûtements carbonatés en contextes paléolithique et romain

Christophe PETIT*, Jacques Élie BROCHIER**, Julien CURIE***, Bruno DESACHY†,
Laure FONTANA**, Ludovic SLIMAK*** et Ségolène VANDELDELDE*

Résumé

Il n'est pas simple, à partir des données archéologiques, de situer dans le temps des occupations humaines avec une précision microchronologique (infra-annuelle à décennale) et d'avoir ainsi accès au temps court, ethnographique. L'étude des concrétions calcaires est une nouvelle voie d'accès à cette échelle de précision. Sur les sites paléolithiques sous abri, les premières analyses géoarchéologiques montrent que des dépôts de suie piégés dans les encroûtements calcaires permettent de décompter un nombre minimum d'occupations humaines et d'en déduire un rythme d'occupation (ex. grotte Mandrin, Drôme, France). Par ailleurs, les études archéozoologiques peuvent indiquer à quelle(s) saison(s) des chasseurs-collecteurs nomades ont occupé un site. L'analyse des encroûtements de structures hydrauliques plus récentes (aqueduc, piscine) permet d'identifier leur durée de fonctionnement, le rythme de leur entretien, d'éventuels changements de fonction, la durée des phases d'abandon. Ainsi, il est possible de proposer avec une précision annuelle les durées de fonctionnement de certaines structures, comme les thermes antiques de Jebel Oust (Tunisie).

Mots-clés : microchronologie, rythme d'occupation, succession chronologique, temps court, saisonnalité, carbonate.

Abstract

It is not easy to situate human occupations in time with micro-chronological (infra-annual to decadal) precision on the basis of archaeological data. Therefore, it is not easy to access short, "ethnographic", time. The study of limestone concretions is a new way to access this high level of precision. On Palaeolithic rock-shelter sites, the first geoarchaeological analysis show that soot deposits trapped in carbonated crusts make it possible to count a minimum number of human occupations and to deduce a rhythm of occupations (e.g. Grotte Mandrin, Drôme, France). Moreover, archaeozoological studies can indicate at which season(s) nomadic hunter-collectors occupied a site. The analysis of more recent crusts from antique hydraulic structure (aqueduct, pool) makes it possible to identify the duration of their use, the rate of their maintenance, possible changes of function, and the duration of the phases of

-
- * Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, UMR 7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité (ArScAn), équipe « Archéologies environnementales » [christophe.petit@univ-paris1.fr ; segolene.vandelde@univ-paris1.fr].
- ** CNRS, UMR 7269 Laboratoire méditerranéen de préhistoire Europe-Afrique (LAMPEA) [jacques.brochier@univ-amu.fr].
- *** Sorbonne Université, Labex RESMED ; UMR 7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité (ArScAn), équipe « Archéologies environnementales » [julien.curie@mae.u-paris10.fr].
- † Ministère de la Culture ; Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, UMR 7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité (ArScAn), équipe « Archéologies environnementales » [bruno.desachy@univ-paris1.fr].
- ** CNRS, UMR 7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité (ArScAn), équipe « Archéologies environnementales » [laure.fontana@cnrs.fr].
- *** CNRS, UMR 5608 Travaux et Recherches Archéologiques sur les Cultures, les Espaces et les Sociétés (TRACES) [slimak@univ-tlse2.fr].
-

abandonment. Thus, it is possible to propose the durations of use of some structures such as the ancient baths of Jebel Oust (Tunisia) with annual precision.

Keywords: micro-chronology, occupation rhythm, chronological succession, short time, seasonality, carbonate.



INTRODUCTION – LE TEMPS EN ARCHÉOLOGIE

Le temps, qu'il soit explicitement désigné ou non, apparaît omniprésent dans toutes les démarches archéologiques¹. Cependant, le temps perçu par les archéologues est issu d'observations et de mesures de natures différentes. Les manuels² exposent deux voies principales de construction du temps archéologique : d'une part la chronologie « relative³ » qui utilise la stratigraphie⁴, et la sériation typo-chronologique ; d'autre part, la chronologie dite « absolue⁵ », fondée sur la datation d'éléments archéologiques par les méthodes de sciences physiques et environnementales et, pour les sociétés avec écriture, par les disciplines historiques connexes⁶. Il s'agit, dans l'idéal, en croisant ces multiples données de reconstruire un temps mesuré newtonien, dans lequel inscrire les traces matérielles observées et interprétées par l'archéologue.

Les termes employés par les archéologues pour définir des unités chronologiques sont fonction des sociétés étudiées (sociétés de prédation *vs* sociétés de production). La chronologie archéologique est un problème complexe qui ne peut être résolu uniquement par des datations absolues.

L'objet de cette contribution est la recherche du temps court, grâce à l'étude des concrétions calcaires qui enregistrent les activités humaines. Dans une première partie, nous présenterons les notions de temps court et de microchronologie ; puis deux cas de formation des concrétions seront présentés : un abri-sous-roche fréquenté au Paléolithique moyen et supérieur, et un ensemble thermal romain.

À LA RECHERCHE DU TEMPS COURT

Différentes temporalités de l'homme et des sociétés

L'approche des temporalités dans les sciences historiques doit beaucoup à Fernand Braudel⁷. Les trois niveaux qu'il distingue – le temps vécu « événementiel », celui des faits immédiats politiques, militaires et religieux, celui également des activités quotidiennes et saisonnières ; la « longue durée », multiséculaire ou millénaire, des civilisations dans leur cadre géographique ; et les temporalités intermédiaires décennales à séculaires des conjonctures et cycles économiques – restent une référence⁸. Pour les sociétés préhistoriques, il a été proposé de définir un temps court (inférieur à un mois, celui des activités reconnues sur un site d'occupation temporaire), un temps moyen (année à décennies, basé sur les cycles de nomadisme) et un temps long (du siècle au millénaire) qui est le

1. GALLAY 1989 ; SCHNAPP 1993 ; OLIVIER 2004 ; BOISSINOT 2015.

2. Par exemple RENFREW et BAHN 2016.

3. Suite d'événements ordonnés mais non datés.

4. Entendue comme l'identification des étapes de formation d'un site archéologique.

5. Jours, années, siècles, millénaires.

6. Épigraphie, numismatique, étude des textes et autres.

7. BRAUDEL 1958 ; DUBAR 2008.

8. LEDUC 1999.

temps des unités culturelles⁹. Il est peut-être préférable de rester à une caractérisation newtonienne du temps puisque les termes court, moyen et long restent relatifs.

De fait, les méthodes archéologiques sont capables aujourd'hui d'appréhender le passé à différentes échelles chronologiques, depuis la très longue durée, de l'ordre du millier, voire de plusieurs centaines de milliers d'années, jusqu'à une échelle de l'ordre de l'année ou moins¹⁰ (fig. 1).

Temps humain	Espèce humaine							
	Civilisation							
	Culture							
	Génération							
	Individu							
	Temps	jour	année	décade	siècle	millénaire	dka	cka
Temps perçu par l'archéologue	Chaîne opératoire							
	Palethnologie							
	Microchronologie							
	Étude des textes							
	Datation radiocarbone							
	Autres méthodes physiques							

Fig. 1 - Les différentes temporalités humaines perceptibles par l'archéologue. La microchronologie regroupe des méthodes différentes : dendrochronologie, chronologie des dépôts de suies et des concrétions calcaires (DAO Chr. Petit).

L'échelle pluriannuelle à séculaire, porteuse d'une temporalité qui est celle de la génération et de la succession des générations, est la plus classiquement associée aux données archéologiques ; c'est celle des transformations des sites d'habitat, des évolutions de la culture matérielle et également celle des plus fines variations paléoclimatiques. À cette échelle, la typoschronologie en relation avec la datation absolue des objets et des contextes reste centrale dans certains domaines, notamment l'archéologie protohistorique¹¹. Les découpages chrono-culturels qui en résultent sont aujourd'hui confrontés à l'étude des interactions sociétés-environnement, avec la question du lien entre changements sociaux, en particulier ceux marqués par des « crises » ou ruptures culturelles, et changements climatiques¹². Il est difficile de mettre en évidence le synchronisme des phénomènes naturels et des réponses des sociétés, et quand bien même il serait possible de le faire, le lien de causalité reste à démontrer. À ce titre, l'effondrement de la civilisation maya est emblématique de la complexité de la relation sociétés-milieux¹³.

Le temps des activités journalières de l'individu peut être perçu, par exemple, grâce à la reconnaissance d'une chaîne opératoire dont l'objet est l'étude technologique, mais qui est de fait un processus temporel formé d'étapes ordonnées par des contraintes de succession¹⁴ ; la taille d'un outil en silex ne dépasse pas quelques minutes, exceptionnellement

9. PIGEOT et VALENTIN 2003.

10. DE BEAUNE et FRANCFORT 2012.

11. EVIN 1999 ; VALLADAS *et al.* 2001 ; LEHOËRFF 2008.

12. KUZUCUOGLU et TIRSONI 2015.

13. ARNAUD 2015.

14. DEGOS 1976 ; DESACHY 2008.

une journée pour certaines lames solutréennes¹⁵. L'approche ethnoarchéologique développée par André Leroi-Gourhan et ses successeurs à travers la lecture en plan des vestiges du secteur de fouille¹⁶ permet une archéologie de l'instant à la journée, à l'aide des remontages de silex¹⁷, ou de l'identification du partage d'une même carcasse de viande¹⁸. Ce temps court est aussi celui des unités et successions stratigraphiques enregistrant des actes de construction ou d'aménagement de l'espace, fréquemment de courte durée : par exemple la succession du creusement d'une tranchée de fondation et de la mise en place de la maçonnerie¹⁹.

Au-delà de ce temps des actes, voire des gestes des individus, le temps saisonnier ou annuel est celui des activités des groupes humains : activités de chasse, activités agropastorales et autres. L'échelle de la saison et de l'année, inscrite dans le temps calendaire quantifié, n'était auparavant accessible qu'aux historiens grâce aux données textuelles ou épigraphiques. Elle est maintenant accessible aux archéologues, y compris pour les sociétés sans écriture, grâce aux remontages de silex entre sites²⁰ ou aux écofacts végétaux ou animaux. L'étude des saisons d'abattage du gibier permet d'identifier des saisons de chasse et contribue ainsi à la reconstitution des cycles annuels de nomadisme²¹ ; ainsi, à l'échelle de la Dordogne du Paléolithique supérieur, toutes les saisons sont représentées (et parfois sur un même site) alors qu'en Auvergne, seuls des sites de belle saison ont été identifiés²². Les restes botaniques sont également de bons indicateurs de saison. L'étude de baies de raisin carbonisées lors de l'incendie au III^e siècle d'un fortin militaire du site de Mleiha (Émirats arabes unis) a permis, par exemple, de situer précisément l'incendie à la fin de l'été ou au début de l'automne²³. De la même façon, les analyses dendrochronologiques permettent d'identifier les phases de construction, d'entretien et de réfection d'un site d'habitat, ainsi que la gestion de l'approvisionnement en bois des sociétés en milieu lacustre²⁴ ou alluvial²⁵. C'est un nouvel accès à ce temps court saisonnier, à partir des encroûtements carbonatés identifiés sur les sites archéologiques, que nous présentons dans cette contribution.

La microchronologie

À la recherche d'un cadre chronographique à haute résolution

Percevoir le temps court nécessite d'établir un temps absolu de référence le plus précis possible. Nous parlerons ici de microchronologie pour désigner un tel cadre chronographique de résolution élevée (infra-annuelle à décennale), en présentant des faits dans leur déroulement chronologique, à l'échelle du temps événementiel. Le terme est utilisé dans ce sens en géoarchéologie depuis les années 1990²⁶. Ce terme a également été utilisé dans d'autres disciplines, parfois avec des résolutions temporelles différentes : en

15. TABORIN 1989 ; PELEGRIN 2002.

16. LEROI-GOURHAN et BRÉZILLON 1972.

17. BODU 1993.

18. ENLOE et DAVID 1989.

19. HARRIS 1989 ; GALINIÉ 1980.

20. CATTIN 1992 ; LEESCH 1997.

21. FONTANA 2017.

22. FONTANA *et al.* 2018.

23. DABROWSKI 2014.

24. BILLAMBOZ 2012.

25. TEGEL et VANMOERKERKE 2008 ; GIRARD-CLOS et PETIT 2011 ; PETIT *et al.* 2014.

26. BROCHIER 1997, 1999 et 2002.

littérature²⁷, en paléogénétique²⁸, en archéologie pour des visites individuelles sur un site²⁹, des séquences d'enduits muraux³⁰, des sériations de céramiques³¹, entre autres. Mais en archéologie, le terme de microchronologie est utilisé lorsque l'on souhaite augmenter la résolution temporelle (saisonniers, annuelle ou décennale), qu'elle soit absolue ou relative³² ; il pourrait ainsi désigner l'un des niveaux de résolution temporelle utilisables en sciences humaines (résolution infra-annuelle à décennale), avec la « macrochronologie » (résolution millénaire) et la « mésochronologie » (résolution centennale)³³.

Dans les dernières décennies, les colloques abordant le temps en archéologie ont souvent souligné le perfectionnement des méthodes de datation et l'utilisation des dates fournies par les archéomètres dans le cadre de la recherche archéologique³⁴. Les progrès sont en effet importants : plusieurs méthodes de datation s'appliquent aux artefacts et écofacts contenus dans les dépôts archéologiques, également aux sédiments (méthodes physiques, OSL) ; les chronologies à haute résolution ont été établies dans les milieux où la sédimentation n'était pas directement influencée par les activités humaines : sédiments marins, lacustres, éoliens ou glaces polaires. Des chronologies longues ont également été établies grâce à l'étude des coraux ou des arbres dont la croissance continue est liée de façon plus ou moins complexe au climat. La dendrochronologie a provoqué une véritable révolution en archéologie³⁵ en permettant une chronologie de haute définition (annuelle) basée sur des processus environnementaux, indépendante de l'analyse typologique (et donc de critères techniques et/ou culturels), ainsi que la calibration des dates radiocarbone. Ces progrès sont aussi ceux de la modélisation bayésienne, tirant profit des différentes informations chronologiques (relatives et absolues, culturelles, naturelles ou physiques) afin d'obtenir des datations et des probabilités de datation affinées, suivant la voie des probabilités bayésiennes appliquées à la calibration des dates depuis les années 1990. Il s'agit des logiciels Bcal et Oxcal³⁶ et, en France, du projet ChronoModel dirigé par Philippe Lanos³⁷, ou de l'analyse des probabilités fréquentistes classiques, comme pour le modèle de datation des faciès culturels développé par Lise Bellanger et Philippe Husi à partir de la céramique³⁸ ou les essais encore expérimentaux de recours à la logique des sous-ensembles flous³⁹.

Mais ces progrès ne doivent pas remplacer l'analyse de datation des dépôts archéologiques (*i.e.* du contexte de découverte des objets datés ?), afin de tirer le meilleur parti des modélisations statistiques⁴⁰. Une première précaution, souvent rappelée⁴¹ mais pas

27. LEVAILLANT 1982 ; SAMINADAYAR-PERRIN 2008.

28. STOJANOWSKI et SCHILLACI 2006.

29. KAVUR 2008.

30. MATTHEWS 2005.

31. KOWALEWSKI et WILLIAMS 1989.

32. *Ibid.* ; BROCHIER 2002 ; STOJANOWSKI et SCHILLACI 2006.

33. VANDELDELDE *et al.* 2017b.

34. Par exemple, BARRANDON *et al.* 2000.

35. LAMBERT *et al.* 1992 ; SCHWARTZ 2008.

36. BUCK *et al.* 1991 et 1996 ; BRONK RAMSEY 1995 et 2015.

37. LANOS et DUFRESNE 2012 ; LANOS 2017 ; voir aussi les pages web des logiciels [BCal, bcal.sheffield.ac.uk ; Oxcal, c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html ; ChronoModel, chronomodel.com].

38. HUSI et BELLANGER 2003 ; BELLANGER *et al.* 2008.

39. NICCOLUCCI et HERMON 2015.

40. Il est important de définir ce que date l'artefact. On peut dater la mort, le moment d'enfouissement, le moment de mise au jour, ou encore dater des processus post-dépositionnels.

41. Par exemple, GIOT et LANGOUËT 1984 ; SCHIFFER 1996 ; CARVER 2009.

toujours appliquée dans la pratique⁴², est de se poser la question de la position stratigraphique d'un élément mobilier daté contenu dans un dépôt par rapport au temps de formation du dépôt.

Une seconde précaution s'avère très importante dans la recherche d'une haute résolution temporelle : la prise en compte des durées. En effet, ce sont les dates et non pas les durées qui retiennent d'abord l'attention des archéologues et des archéomètres. Ainsi le couple « terminus post quem – terminus ante quem » (TPQ-TAQ⁴³), classiquement employé pour dater un contexte archéologique, donne un intervalle encadrant la date de fin de formation, mais il ne dit rien de la durée de formation du contexte⁴⁴. Pourtant, prendre en compte les durées de formation des unités (ainsi que les durées « absorbées » par les relations stratigraphiques marquant des discontinuités temporelles) est nécessaire à une formalisation complète du raisonnement chronologique de terrain, y compris pour un recalage optimal des dates⁴⁵. De fait, les durées de formation des unités sont au cœur de l'approche microchronologique. Ainsi les sols archéologiques, reconnus par les préhistoriens⁴⁶, relèvent d'une approche microchronologique fondée sur le postulat d'une durée de formation brève. Comme toute unité archéologique de terrain, ces sols d'occupation ne sont pas des instantanés. Comme tout dépôt archéologique, ils résultent d'un processus cumulatif et correspondent à un « bilan sédimentaire » avec ses apports variés et ses pertes⁴⁷. Dans le meilleur des cas, il s'agit d'un processus rapide reflétant une seule occupation, voire un seul moment de cette occupation, d'une durée infra-annuelle. Dans d'autres cas, plusieurs séquences d'occupation successives sont cumulées, comme l'indiquent les études micromorphologiques des couches de remplissage d'abri-sous-roche qui mettent en évidence différents niveaux d'occupation⁴⁸ impossibles à isoler en fouille⁴⁹. Ce phénomène de cumul de plusieurs occupations, parfois qualifié à tort « d'effet palimpseste⁵⁰ », n'interdit pas nécessairement une approche des temporalités courtes : ainsi dans le cas d'une couche archéologique dont la durée de mise en place peut couvrir plusieurs siècles, si l'ensemble de la faune recueillie est attribuable à une saison, on peut conclure que les chasseurs-collecteurs ont occupé cette cavité, de façon répétée, mais exclusivement durant cette saison ; cette temporalité saisonnière est alors précise même si le cadre chronographique fourni par la couche est très large⁵¹.

42. FERDIÈRE 2015.

43. TPQ = borne au plus ancien ; TAQ = borne au plus récent.

44. DESACHY 2012.

45. DESACHY 2016 ; Chronophage (Desachy), manualzz.com/doc/5127962/chronophage-0_2-mode-d-emploi.

46. Deux définitions peuvent être retenues : surface reconnaissable sur laquelle a vécu l'homme paléolithique pendant un laps de temps suffisamment court pour que l'on puisse espérer déduire de la position des vestiges quelque chose au sujet de ses activités (BORDES 1975) ou résultat d'une seule occupation de courte durée marquée par l'usage ininterrompu d'un lieu par les membres participant à un système culturel (BINFORD 1982).

47. BROCHIER 1999 ; CAMPY *et al.* 2013 ; TEXIER 2001.

48. Par exemple BOIVIN 2000.

49. BROCHIER 1999, p. 5 ; ALDEIAS *et al.* 2012, p. 2422.

50. BAILEY 2007.

51. FONTANA 2017.

LES CONCRÉTIONS CALCAIRES UN ARCHIVAGE CONTINU DU TEMPS COURT

Les deux cas présentés ici, l'un en abri (site paléolithique de la Grotte Mandrin, France), l'autre au sein même de structures anthropiques (site romain de Jebel Oust, Tunisie), illustrent les analyses de concrétions calcaires. Formés par des processus biophysico-chimiques, les encroûtements carbonatés se rencontrent en grotte ou en abrisous-roche (spéléothèmes, stalagmites, stalactites ou enduits de paroi) et dans certains milieux aquatiques, sources chaudes ou froides, ou encore rivières où l'eau est encroûtante, déposant avec un rythme régulier une fine couche de calcaire qui forme des tufs ou travertins⁵².

L'étude des concrétions pariétales des cavités

À la recherche des traces de suie piégées dans les concrétions fuligineuses

Il existe des traces de suie témoignant d'activités humaines passées sur les parois des cavités et à l'intérieur de spéléothèmes. L'étude chronologique de ces films de suie peut être dénommée fuliginochronologie⁵³. Ces dépôts noirs, qui résultent de feux d'origine anthropique, sont composés de suie, éventuellement de particules charbonneuses, emprisonnées sous des voiles de carbonates de calcium. Autrement dit, les fumées déposent sur les parois des grottes et des abris, des films de suie qui, dans des situations favorables, sont conservés dans les encroûtements carbonatés et qui constituent un matériau particulièrement adapté aux études microchronologiques. La mention de la présence de suie et/ou de charbon de bois sur les parois des cavités ou dans des formations de type spéléothème est rare dans la littérature archéologique⁵⁴, quand il ne s'agit pas des pigments noirs utilisés dans l'art rupestre.

Dans ces cavités, les encroûtements observés peuvent être considérés comme des constructions stromatolithiques de paroi (« calcin de paroi ») recouvrant la surface externe des clastes issus de la dégradation mécanique des parois, qui constituent la majeure partie du remplissage sédimentaire de ces abris. Leur structure stromatolithique bourgeonnante montre la nature biochimique de leur genèse ; elle dépend des précipitations et plus généralement, de l'humidité qui conditionne l'activité des organismes vivants (algues, lichens et bactéries). La lamination de ces concrétions est liée aux variations hydrologiques saisonnières, qui conduisent à la formation de doublets où lamines micritiques (petits cristaux) et sparitiques (grands cristaux) alternent.

Les quelques études réalisées sur les lamines noires prisonnières des encroûtements ont conclu que ces dépôts de suie constituaient un très bon marqueur de la présence humaine. Ils ont parfois été directement datés⁵⁵. Le caractère saisonnier des occupations a également pu être précisé à partir de la position des films dans les doublets⁵⁶.

Les études microchronologiques ont été conduites pour des périodes récentes : Dominique Genty et ses collaborateurs⁵⁷ ont identifié au moins 73 visites estivales touristiques de la

52. PENTECOST 2005.

53. L'adjectif fuligineux se rapporte à la suie.

54. VANDEVELDE *et al.* 2018 et à paraître b.

55. Par exemple, à la grotte Domica : PETRÁNEK et POUBA 1951 ; GRADZIŃSKI *et al.* 2001 ; GRADZIŃSKI *et al.* 2003 et 2007.

56. Par exemple, GENTY *et al.* 1997 ; VERHEYDEN *et al.* 2006 ; MARTÍNEZ-PILLADO *et al.* 2010 et 2014.

57. GENTY *et al.* 1997.

grotte Han-sur-Lesse (Belgique) au XIX^e siècle. Les premières études conduites sur un site préhistoriques sont celles du site azilien de la Balma de la Margineda⁵⁸. Dans la succession des nombreux doublets, seules les lamines micritiques portent des films de suie. Les caractères climatiques locaux actuels et les processus hydrologiques associés, largement conditionnés par le relief et l'enneigement, confirment le caractère annuel des doublets. La couche archéologique azilienne témoignent du cumul de nombreuses occupations (n > 30), toujours à la même période de l'année⁵⁹, à la fin de la période sèche, entre la fin du mois de novembre et la mi-janvier, comme l'indiquaient les données archéozoologiques. Ces dernières confirment le résultat mais n'apportent quant à elles aucune information à propos du nombre minimum d'occupations ou du rythme d'occupation.

L'étude de la grotte Mandrin

Fouillé depuis les années 1990, le site de la Grotte Mandrin⁶⁰ (Drôme, France) est un abri-sous-roche situé dans la moyenne vallée du Rhône une dizaine de kilomètres au sud de Montélimar (fig. 2). Son remplissage est composé de 10 couches stratigraphiques divisées en 13 niveaux archéologiques. La partie inférieure de la séquence (couches J à G) est attribuée à des occupations moustériennes classiques, tandis que la partie supérieure de la stratigraphie documente les occupations tardives du Paléolithique moyen (niveaux F à B2) et du début du Paléolithique supérieur⁶¹. Au sommet se trouve un niveau néolithique (couche A), qui a enregistré de multiples événements de crémations humaines. D'après des observations actualistes réalisées à la grotte Mandrin, la suie peut être recouverte par un voile calcaire en quelques mois ou bien ne jamais l'être, puisque la vitesse de croissance du concrétionnement varie en fonction de l'état hydrique aux différents points de la voûte⁶².

Des milliers de fragments clastiques issus du plafond de la cavité ont été systématiquement recueillis dès 2006 par L. Slimak dans tous les niveaux archéologiques de l'abri. Certains sont encroûtés par des carbonates qui précipitaient sur les parois de la cavité, qui a pu être noircie par de la suie issue de la fumée des foyers préhistoriques. Les croûtes calcaires enregistrant des dépôts de suie sont parfois présentes sur certaines de leurs surfaces (fig. 3). Ces dépôts apparaissent en lame mince ou section polie sous forme de fines lamines noires. Il est possible de les relier aux unités archéologiques identifiées lors de la fouille⁶³. Sur une section de ces encroûtements, l'identification et le comptage des multiples films de suie très fins sont réalisés par analyse d'image, puis la succession des films de suie est transformée en diagrammes en codes-barres. La desquamation ne se faisant pas non plus partout au même moment, les plaquettes analysées portent des séquences fuligineuses différentes. Il est logique de proposer que ces différentes séquences soient corrélables entre elles puisqu'elles sont les témoins des mêmes événements. Les séquences les plus anciennes, détachées en premier de la paroi, recourent des séquences enregistrées par des fragments dont la chute fut plus tardive. De même, certaines plaquettes ont enregistré avant leur détachement une longue séquence de films de suie ; d'autres, plus courtes, se révèlent souvent n'être que des extraits de séquences plus longues. À la grotte Mandrin, le

58. BROCHIER 1997, 1999, 2002 et 2007.

59. GUILAINE et MARTZLUFF 1995 ; BROCHIER 1997, 1999, 2002 et 2007 ; GUILAINE *et al.* 2007.

60. SLIMAK 2004.

61. HIGHAM *et al.* 2014, p. 34-38 SOM.

62. VANDELVEDE *et al.* 2018 et à paraître b.

63. VANDELVEDE *et al.* 2017b.

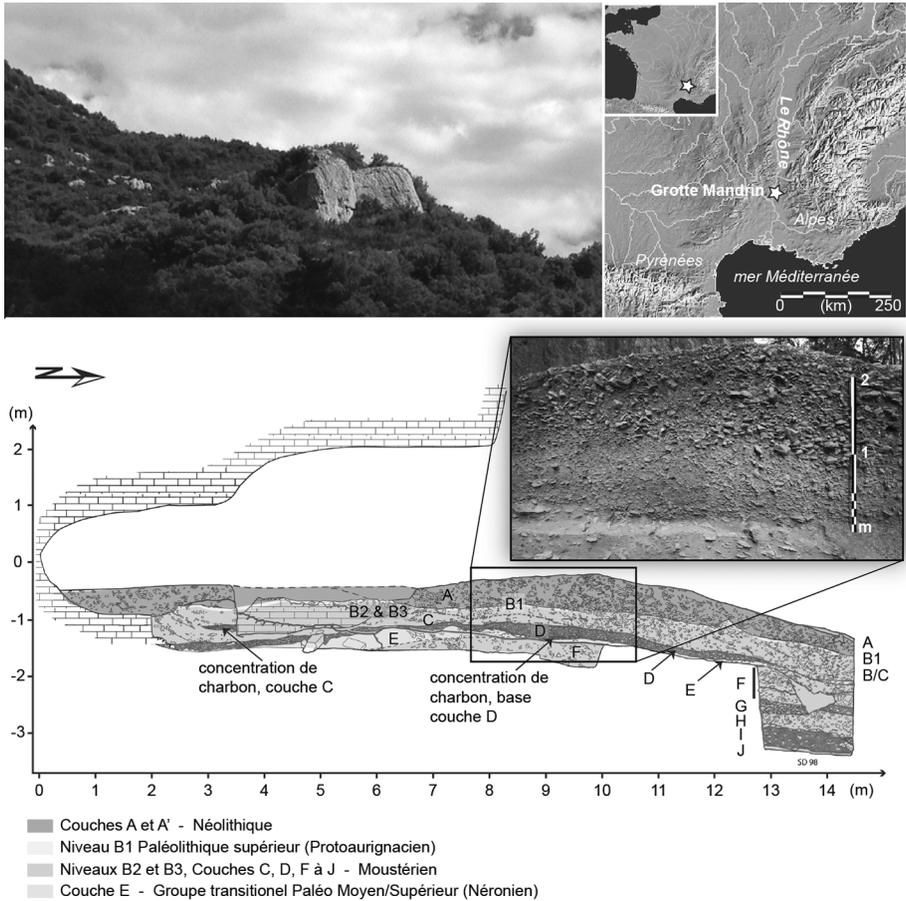


Fig. 2 - Les dépôts de la grotte Mandrin contenant de nombreux fragments de parois encroûtés ayant piégé des films de suie (DAO S. Vandevelde).

délitement des parois est assez rapide pour que les plaquettes retrouvées dans un niveau archéologique soient contemporaines de ces niveaux⁶⁴.

Pour construire ces chroniques, les codes-barres individuels de chaque échantillon doivent être synchronisés afin de retracer la séquence complète de la succession des films de suie pour chaque niveau archéologique. La synchronisation des séquences individuelles de clastes peut se faire graphiquement, mais en utilisant des traitements statistiques la validité des chroniques reconstruites est plus assurée⁶⁵. Il est également possible de synchroniser ces codes-barres de façon statistique et non plus uniquement graphique. C'est le rythme de succession des films de suie qui permet les correspondances entre les schémas. Ce calcul d'indicateur informe l'opérateur des positions de correspondances probables de séries deux à deux. Il peut aussi servir d'aide à la décision⁶⁶.

64. Discussion dans *ibid.*

65. GL conception, 2015 : Datawald, module LnSeq [glconception.com/datawald].

66. Détail de la méthode dans VANDEVELDE *et al.* à paraître a, 2017b et 2018. Les étapes de cette méthode

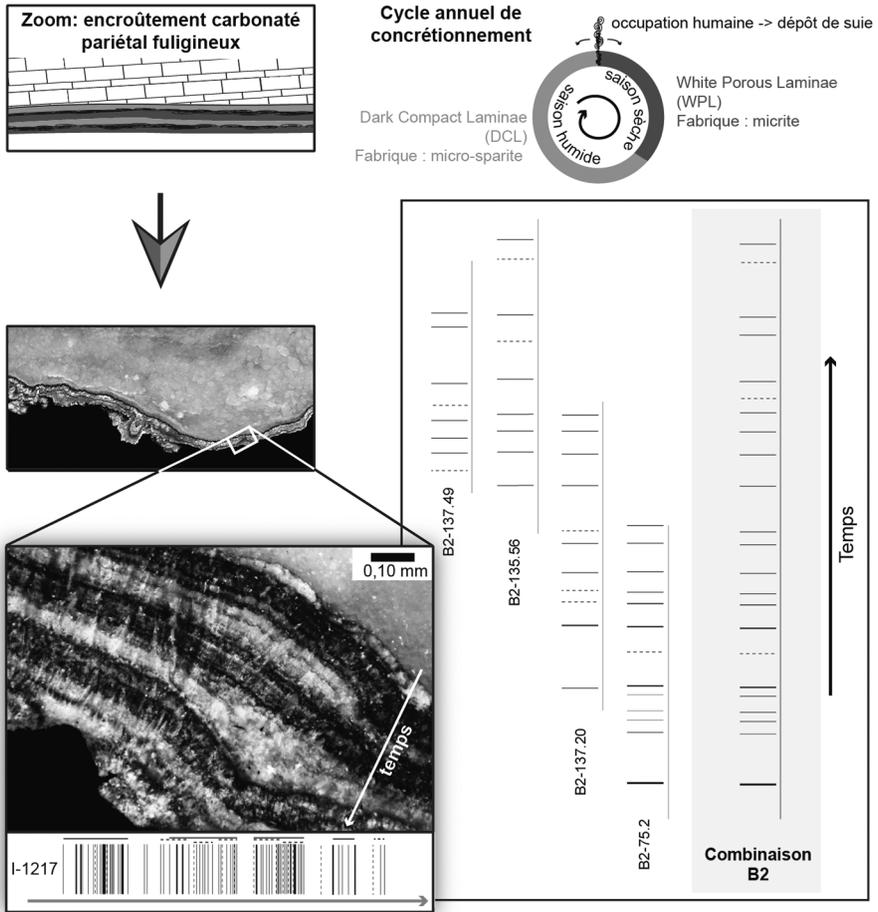


Fig. 3 - Modèle géoarchéologique : piégeage des suies dans des encroûtements de parois à croissance continue et laminés en fonction des conditions hydrologiques des parois de la grotte Mandrin (Drôme, France) ; établissement d'une chronologie des occupations par mise en correspondance des schémas en codes-barres (DAO S. Vandevelde).

Même si l'on ne connaît pas encore précisément le temps à partir des encroûtements carbonatés de la grotte Mandrin (la nature annuelle des doublets DCL/WPL à démontrer), il a été possible grâce au décompte des films de suie, de déterminer un nombre minimum d'occupation (NMO) : les 13 niveaux archéologiques correspondent à un minimum de 273 occupations dont au moins 243 pour les 12 niveaux paléolithiques (fig. 2). Par exemple, la couche E correspond à un minimum de 18 occupations. Par ailleurs, ces données contribuent à la compréhension de la transition du Paléolithique moyen au Paléolithique supérieur en France⁶⁷. En effet, l'étude microchronologique des films de suie qui a permis d'atteindre la haute résolution chronologique a démontré qu'il n'y eut pas un long arrêt de fréquentation de la grotte Mandrin entre les dernières occupations du

ont été illustrées dans un court film d'animation présenté au colloque : VANDEVELDE et DUPUIS 2017 ; VANDEVELDE *et al.* 2017a.

67. VANDEVELDE *et al.* 2017a, 2017b et à paraître b.

Paléolithique moyen et les premières du Paléolithique supérieur. Les deux groupes se sont succédé dans un même lieu en très peu de temps, que l'on peut évaluer à quelques années ou saisons, en tout cas moins d'une génération humaine. Seule l'approche microchronologique permet de démontrer la rapidité d'un changement, ici un véritable remplacement de population.

Les travertins anthropiques

Les travertins sont des roches sédimentaires calcaires qui se forment, dans un contexte naturel, par la précipitation de carbonates présents dans les eaux de source (chaudes ou froides : dans le second cas on parlera de tuf). Les travertins sont qualifiés d'« anthropique » lorsque leurs caractéristiques pétrosédimentaires sont influencées par les activités humaines, indirectes ou directes⁶⁸. Leur préservation au sein de structures archéologiques permet une analyse des conditions de leur formation. Leur puissance est très souvent liée aux propriétés chimiques de l'eau exploitée (peu carbonatée à sursaturée en carbonates) et à la vitesse de dépôt⁶⁹. Le cas exposé ici illustre les possibilités qu'offre la lecture géo-archéologique dans la chronologie relative des structures hydrauliques, la nature et la fonction des structures, la nature des eaux et leurs gestions⁷⁰.

Les analyses microchronologiques conduites sur le site de Jebel Oust (Tunisie)

Le site antique de Jebel Oust est établi sur le versant oriental de la montagne homonyme, à une trentaine de kilomètres au sud de Tunis, sur la route de Zaghouan. Sur le flanc oriental de la montagne, une source hydrothermale présente un événement naturel qui est à l'origine de l'implantation antique d'un temple et dont les propriétés physico-chimiques ont engendré la précipitation de dépôts carbonatés (travertins) au sein des structures anthropiques. Dans les années 1960, une grande partie du site a été mise au jour et en particulier les trois secteurs échelonnés, le long du versant, temple, thermes et villa, qui font l'objet d'une recherche en cours⁷¹. La première occupation peut être datée du début du I^{er} siècle et l'abandon, certainement lié au tarissement de la source, de la fin du VI^e siècle⁷². Depuis la zone culturelle, l'eau chaude de la source était acheminée en contrebas du versant par le biais d'un profond aqueduc creusé dans le substrat géologique, afin d'alimenter un édifice thermal. Cinq grandes phases de fonctionnement ont été individualisées. Les quatre premières correspondent à des agrandissements successifs de l'édifice lors de son fonctionnement en tant qu'édifice public lié au sanctuaire païen et la dernière phase est liée à des transformations puis des régressions progressives relatives à son utilisation en tant que bain privé, suite aux constitutions de Gratien et Théodose autorisant le démantèlement des biens religieux publics⁷³.

L'analyse microchronologique présentée ici concerne deux salles des thermes, T1 et T5. Elle permet l'estimation de la durée de fonctionnement de certaines structures hydrauliques comme des piscines et constitue une aide à l'analyse complexe du bâti.

68. CURIE 2013.

69. La vitesse de croissance est souvent rapide pour les travertins hydrothermaux, et extrêmement variable pour les tufs calcaires qui précipitent dans les eaux froides.

70. CURIE et PETIT 2014.

71. BEN ABED et SCHEID 2003.

72. CURIE *et al.* 2015.

73. BROISE et CURIE 2014.

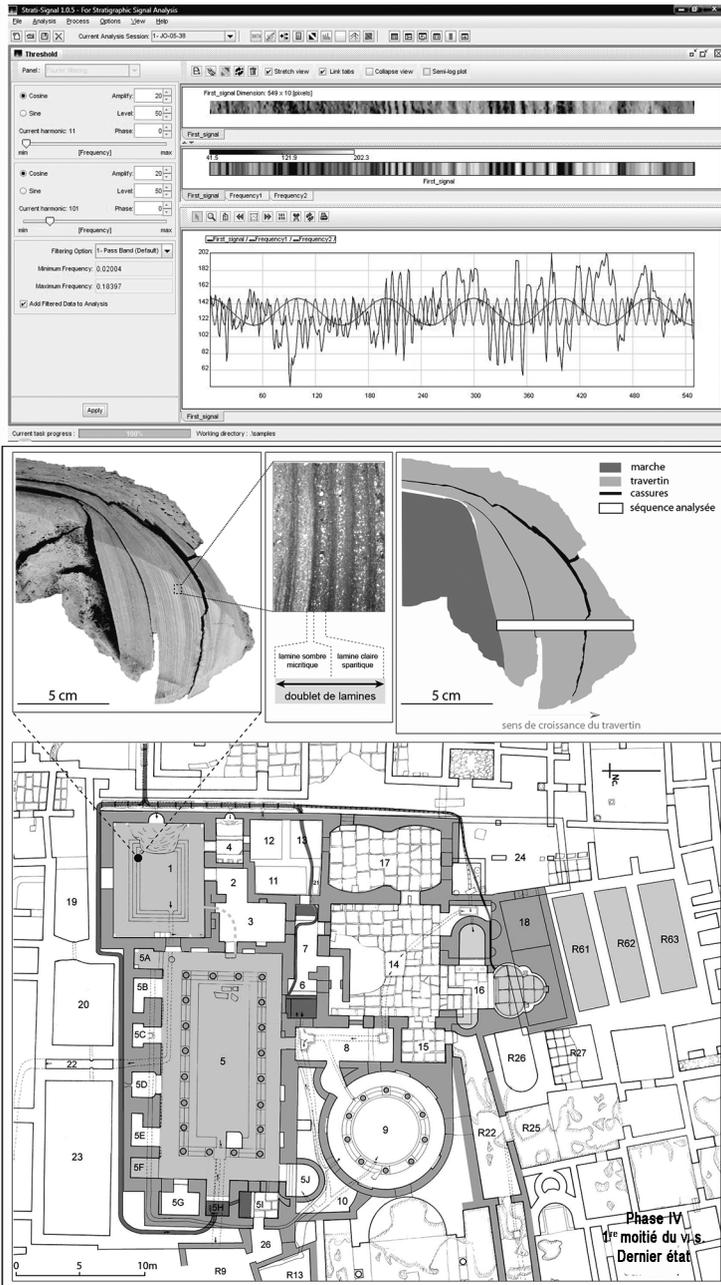


Fig. 4 - Encroûtement de la salle T1 des thermes antiques de Jebel Oust (Tunisie)
(DAO H. Broise et J. Curie).

Estimation de la durée de fonctionnement de la piscine

Les dépôts calcaires recouvrant les marches de la piscine de la salle T1 montrent un aspect laminé (fig. 4). À partir d'une photo à haute résolution de l'échantillon prélevé et après un traitement et une analyse d'image, nous avons analysé les variations du niveau de

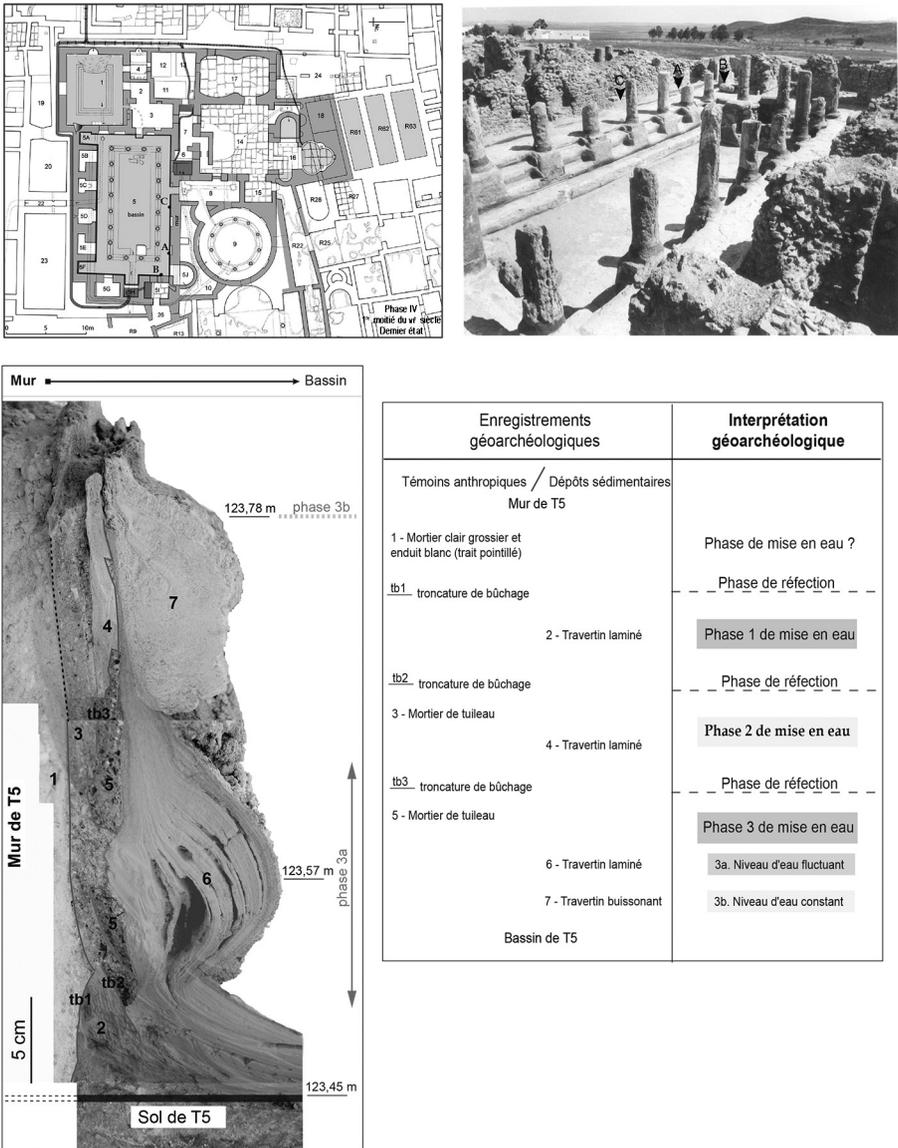


Fig. 5 - Encroûtements des pieds des murs de la piscine T5 dont l'analyse géoarchéologique a mis en évidence plusieurs bûchages des concrétions entre chaque phase de réfection des enduits muraux (DAO J. Curie).

gris le long de la séquence laminée, afin de compter le nombre de lamines. Les 84 lamines, alternativement sombres et claires, correspondent ainsi à 42 doublets⁷⁴. Cette succession de lamines reflète des variations saisonnières dans la précipitation du carbonate correspondant probablement aux variations pluviométriques dans la région, où sont attestées deux saisons bien contrastées, une période très sèche et une période humide, contraste typique d'un climat méditerranéen⁷⁵. La formation d'un doublet lamine claire / lamine

74. CURIE 2013.

75. *Ibid.*

sombre serait le résultat de ce contraste saisonnier annuel ; nous aurions donc enregistré dans cette séquence laminée, une période de fonctionnement de 42 années.

Mise en évidence de phases d'entretien de la salle thermale

Situé au pied du mur ceinturant la salle thermale T5, un bourrelet périphérique présente une succession de mortiers et de concrétions calcaires qui se forment quand la piscine est en eau. Cette stratigraphie (fig. 5), attribuée à la phase IV des thermes, datée du début du V^e siècle apr. J.-C., permet de construire une chronologie fine des réfections et des usages de cette salle thermale. Le mortier clair et grossier (1), recouvert d'une fine couche d'enduit blanc et lisse, traduit une phase de construction de la salle T5. Suite à l'application du premier mortier du mur (1), les dépôts calcitiques ont été bûchés avant l'installation de nouveaux enduits (3 et 5). Les travertins laminés (2, 4, 6) sont contemporains des phases successives d'utilisation de cette piscine comme bain ou comme citerne ; en revanche, le travertin biologique d'aspect buissonnant (7) s'est développé lors d'une ultime phase de mise en eau de la salle T5, lorsque le sol du portique de la salle est ennoyé et que le niveau d'eau moyen demeure à une altitude constante (phase 3b). Les tronçatures (tb1, tb2, tb3) témoignent d'une volonté d'entretien à travers le bûchage des dépôts antérieurs et la mise en place d'une couche de mortier hydraulique pour une nouvelle mise en eau de la pièce. Ces phases de réfection se distinguent d'un entretien quotidien de la salle.

CONCLUSION

La construction d'un cadre chronologique n'est pas un but en soi, mais il est nécessaire à la reconstitution des systèmes sociaux, culturels, techniques, économiques et environnementaux qui évoluent à différentes échelles de temps. Les deux exemples d'analyse de concrétions carbonatées présentées dans cet article témoignent que le temps événementiel est enregistré dans les stratigraphies archéologiques et qu'il est en partie accessible. Il est donc indispensable de collecter ces précieux témoignages du temps court, d'autant plus que ces deux exemples montrent que l'on peut documenter la succession d'événements dans le temps à l'échelle de la génération humaine. On se rapproche ici du temps de l'ethnologie, en y ajoutant une profondeur temporelle. Le temps à l'échelle quotidienne est également perceptible pour l'archéologue mais seulement *via* des événements isolés, comme par exemple lors de la découverte d'ateliers de taille, où l'on peut reconstituer un nucléus débité en quelques heures. Avec l'approche microchronologique, ce sont des chroniques d'événements qui deviennent accessibles et à travers elles un pan de l'histoire d'un groupe.

Bibliographie

- ALDEIAS V., GOLDBERG P., SANDGATHE D., BERNA Fr., DIBBLE H. L., MCPHERRON Sh. P., TURQ A. et REZEK Z. (2012), « Evidence for Neandertal Use of Fire at Roc de Marsal (France) », *Journal of Archaeological Science*, 39, 7, p. 2414-2423.
- ARNAUD M. Ch. (2015), « Le cas des maya : positions récentes », *Les Nouvelles de l'archéologie*, 142, p. 55-59.
- BAILEY G. (2007), « Time Perspectives, Palimpsests and the Archaeology of Time », *Journal of Anthropological Archaeology*, 26, 2, p. 198-223.

- BARRANDON J.-N., GUIBERT P., MICHEL V., éd. (2000), *Datation, Actes des XXX^e Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire, Antibes, 19-21 oct. 2000*, Antibes, Éd. APDCA.
- BEAUNE S. de et FRANCFORT H.-P. (2012), *L'Archéologie à découvert*, Paris, CNRS Éditions.
- BELLANGER L., TOMASSONE R. et HUSI Ph. (2008), « A Statistical Approach for Dating Archaeological Contexts », *Journal of Data Science*, 6, p. 135-154.
- BEN ABED A. et SCHEID J. (2003), « Sanctuaires des eaux, sanctuaire de source, une catégorie ambiguë : l'exemple de Jebel Oust (Tunisie) », in CAZANOVE O. de et SCHEID J., éd., *Sanctuaires et sources dans l'Antiquité. Les sources documentaires et leurs limites dans la description des lieux de culte, Actes de la table ronde, Naples, 30 nov. 2001*, Naples, Centre Jean Bérard, p. 7-14.
- BILLAMBOZ A. (2012), « Le temps court en archéologie », in DE BEAUNE et FRANCFORT 2012, p. 231-237.
- BINFORD L. R. (1982), « The Archaeology of Place », *Journal of Anthropological Archaeology*, 1, 1, p. 5-31.
- BODU P. (1993), *Analyse typo-technologique du matériel lithique de quelques unités du site magdalénien de Pincevent (Seine-et-Marne). Applications spatiales, économiques et sociales*, Thèse de doctorat, Paris, Université de Paris I.
- BOISSINOT Ph. (2015), *Qu'est-ce qu'un fait archéologique ?*, Paris, Éd. de l'EHESS.
- BOIVIN N. (2000), « Life Rhythms and Floor Sequences: Excavating time in rural Rajasthan and Neolithic Catalhoyuk », *World Archaeology*, 31, 3, p. 367-388.
- BORDES F. (1975), « Sur la notion de sol d'habitat en préhistoire paléolithique », *Bulletin de la Société préhistorique française : comptes rendus des séances mensuelles*, 72, 5, p. 139-144.
- BRAUDEL F. (1958), « Histoire et sciences sociales : la longue durée », *Annales. Économies, sociétés, civilisations*, 13, p. 725-753.
- BROCHIER J. É. (1997), « Couches archéologiques ou "sols d'habitat" ? Quelques observations micro-chronologiques dans un abri-sous-roche pyrénéen », Communication à l'International Workshop on Archaeological Soil Micromorphology, Bâle, 23-24 août 1997.
- (1999), « Couche archéologique, sol archéologique et distributions spatiales : quelques réflexions géoarchéologiques sur un vieux problème », *Geoarqueologia i Quaternari litoral, Memorial Maria Pilar Fumanal*, Valence, Universitat de València, p. 91-95.
- (2002), « Les sédiments anthropiques : méthodes d'étude et perspectives », in MISKOVSKY J.-C., éd., *Géologie de la préhistoire : méthodes, techniques, applications*, Paris, Presses universitaires de Perpignan, p. 453-477.
- (2007), « Estudi geoarqueològic dels dipòsits tardiglacials de la Balma de la Margineda (Capes de la 6 a la 11) », in GUILAINE J. et al. 2007, IV, p. 34-52.
- BROISE H. et CURIE J. (2014), « L'étude de travertins carbonatés du sanctuaire de Jebel Oust (Tunisie) : une contribution à l'analyse diachronique, fonctionnelle et architecturale des thermes », in BOUSSAC M.-Fr., DENOIX S., FOURNET Th. et REDON B. (2014), éd., *25 siècles de bain collectif en Orient : Proche-Orient, Égypte et péninsule Arabique. Balaneia, thermae, hammāmāt*, Le Caire, Ifao-Ifpo, p. 573-583.
- BRONK RAMSEY Chr. (1995), « Radiocarbon Calibration and Analysis of Stratigraphy: The OxCal program », *Radiocarbon*, 37, 2, p. 425-430.
- (2015), « Bayesian Approaches to the Building of Archaeological Chronologies », in BARCELO J. A. et BOGDANOVIC I., éd., *Mathematics and Archaeology*, Londres, CRC Press, p. 272-292.
- BUCK C. E., CAVANAGH W. G. et LITTON C. D. (1996), *Bayesian Approach to Interpreting Archaeological Data*, Chichester, Wiley & Sons.

- BUCK C. E., KENWORTHY J. B., LITTON C. D. et SMITH A. F. M. (1991), « Combining Archaeological and Radiocarbon Information: A Bayesian approach to calibration », *Antiquity*, 65, p. 808-821.
- CAMPY M., MACAIRE J.-J. et GROBOIS C. (2013), *Géologie de la surface. Érosion, transfert et stockage dans les environnements continentaux*, Paris, Dunod.
- CARVER M. O. H. (2009), *Archaeological Investigation*, Londres – New York, Routledge.
- CATTIN M.-I. (1992), « Un raccord entre deux sites magdaléniens », *Préhistoire européenne*, 1, p. 35-42.
- CURIE J. (2013), *Les Travertins anthropiques, entre histoire, archéologie et environnement : étude géoarchéologique du site antique de Jebel Oust, Tunisie*, Thèse de doctorat, Dijon, Université de Bourgogne.
- CURIE J. et PETIT Chr. (2014), « Geoarchaeology of “Anthropogenic” Travertine: A story of water and life etched in stone », *European Geologist*, 38, p. 21-24.
- CURIE J., PETIT Chr., BEN ABED A. et SCHEID J. (2015), « Étude géoarchéologique d'un lieu de culte romain implanté sur une source thermale : le sanctuaire de Jebel Oust, Tunisie », in DECHEZLEPRÊTRE T., GRUEL K. et JOLY M., éd. (2015), *Agglomérations et sanctuaires – Réflexions à partir de l'exemple de Grand, Actes du colloque, Grand, 20-23 oct. 2011*, Épinal, Conseil départemental des Vosges, p. 275-289.
- DABROWSKI V. (2014), *Production et approvisionnement en denrées végétales dans la péninsule d'Oman à la période préislamique récente (3^e s. AD) : approches archéobotanique et archéoentomologique sur le site de Mleiha (Émirats arabes unis)*, Mémoire de master 2, Paris, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne.
- DEGOS J.-G. (1976), « Les méthodes d'ordonnement de type PERT et MPM : quelques éléments essentiels », *Techniques économiques, Institut national de recherche et de documentation pédagogique*, 81, p. 19-24.
- DESACHY Br. (2008), *De la formalisation du traitement des données stratigraphiques en archéologie de terrain*, Thèse de doctorat, Paris, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- (2012), « Formaliser le raisonnement chronologique et son incertitude en archéologie de terrain », *Cybergeo, European Journal of Geography*, rubrique « Systèmes, Modélisation, Géostatistiques », document 597 [URL : cybergeo.revues.org/25233].
- (2016), « From Observed Successions to Quantified Time: Formalizing the basic steps of chronological reasoning », *ACTA IMEKO*, 5, p. 4-13.
- DUBAR Cl. (2008), « Temporalité, temporalités : philosophie et sciences sociales », *Temporalités*, 8 [URL : journals.openedition.org/temporalites/137].
- ENLOE J. G. et DAVID F. (1989), « Le remontage des os par individus : le partage du renne chez les magdaléniens de Pincevent », *Bulletin de la SPF*, 86, p. 275-281.
- EVIN C., éd. (1999), *¹⁴C et archéologie, Actes du 3^e congrès international, Lyon, 6-10 avr. 1998*, Paris, SPF (coll. Mémoires de la SPF, XXVI ; Suppl. à la *Revue d'archéométrie*).
- FERDIÈRE A. (2015), « Comment datent les archéologues (et céramologues) : révision d'une question de méthode », in LEMAÎTRE S. et BATIGNE VALLET C., éd., *Abécédaire pour un archéologue lyonnais, Mélanges offerts à Armand Desbat*, Autun, Éd. Mergoïl (coll. Archéologie et histoire romaine, 31), p. 47-54.
- FONTANA L. (2017), « The Four Seasons of Reindeer: Non-migrating reindeer in the Dordogne region (France) between 30 and 18 k? data from the Middle and Upper Magdalenian at La Madeleine and methods of seasonality determination », *Journal of Archaeological Science: Reports*, 12, p. 346-362.

- FONTANA L., AUBRY T., CHAUVIÈRE Fr.-X., DIGAN M., MANGADO LLACH X., PETIT Chr. et TEURQUETY G. (2018), « Système économique et mobilité des chasseurs-collecteurs du Massif Central au Paléolithique supérieur : un état de la question », in TROUBAT O., éd., *Préhistoire de la France centrale, Actes du colloque interrégional, Montluçon, 19 nov. 2016*, Montluçon, Cercle archéologique de Montluçon et de la région, p. 103-120.
- GALINIÉ H. (1980), « De la stratigraphie à la chronologie », in SCHNAPP A., éd., *L'Archéologie aujourd'hui*, Paris, Hachette (coll. Bibliothèque d'archéologie, 2), p. 63-85.
- GALLAY A. (1989), « Place et fonction du temps dans les constructions archéologiques », in MOHEN 1989, p. 80-83.
- GAUCHER G. (1989), « Cultures et chronologie », in MOHEN 1989, p. 68-70.
- GENTY D., DAUPHIN Y., DEFLANDRE G. et QUINIF Y. (1997), « Exemples de particules d'origine anthropique piégées dans les lamines de croissance de stalagmites – Intérêt pour la reconstitution des environnements humains anciens », *Quaternaire*, 8, 2, p. 149-157.
- GIOT P.-R. et LANGOUËT L. (1984), *La Datation du passé : la mesure du temps en archéologie*, Rennes, GMPCA.
- GIRARDCLOS O. et PETIT Chr. (2011), « Dendro-archaeological Contribution to the History of Forest Exploitation. The Case of the Gallo-Roman Settlement of Oedenburg (Alsace, France) Between 10 and 180 AD », in FRAITURE P., *Tree Rings, Art, Archaeology, Proceedings of an International Conference, Brussels, 10-12 Feb. 2010*, Bruxelles, Institut royal du patrimoine artistique (coll. Scientia Artis, 7), p. 77-95.
- GRADZIŃSKI M., GÓRNY A., PAZDUR A. et PAZDUR M. F. (2003), « Origin of Black Coloured Laminae in Speleothems from the Kraków-Wieluń Upland, Poland », *Boreas*, 32, 3, p. 532-542.
- (2007), « Age of Black Coloured Laminae within Speleothems from Domica Cave and its Significance for Dating of Prehistoric Human Settlement », *Geochronometria*, 28, 1, p. 39-45.
- GRADZIŃSKI M., HERCMAN H., NOWICKI T. et BELLA P. (2001), « Dark Coloured Laminae within Speleothems as an Indicator of the Prehistoric Man Activity: Case study from Domica cave (Slovakia), preliminary results », in *13th International Congress of Speleology, 4th Speleological Congress of Latin America and Caribbean, 26th Brazilian Congress of Speleology*, p. 263-267.
- GUILAINE J. et MARTZLUFF M., éd. (1995), *Les Excavacions a la Balma de la Margineda (1979-1991)*, Andorre, Edicions del Govern d'Andorra, I-III.
- GUILAINE J., MARTZLUFF M. et BARBAZA M., éd. (2007), *Les Excavacions a la Balma de la Margineda (1979-1991)*, Andorre, Edicions del Govern d'Andorra, IV et V.
- HARRIS E. C. (1989), *Principles of Archaeological Stratigraphy*, Londres, Academic Press.
- HIGHAM T., DOUKA K., WOOD R., BRONK RAMSEY Chr., BROCK F., BASELL L., CAMPS M., ARRIZABALAGA Á., BAENA J., BARROSO-RUIZ C., BERGMAN Chr., BOITARD C., BOSCATO P., CAPARRÓS M., CONARD N. J., DRAILY Chr., FROMENT A., GALVÁN B., GAMBASSINI P., GARCÍA MORENO A., GRIMALDI St., HAESAERTS P., HOLT Br., IRIARTE-CHIAPUSSO M.-J., JELINEK A., JORDÁ PARDO J. F., MAÍLLO-FERNÁNDEZ J.-M., MAROM A., MAROTO J., MENÉNDEZ M., METZ L., MORIN E., MORONI A., NEGRINO F., PANAGOPOULOU E., PERESANI M., PIRSON St., RASILLA M. de la, RIEL-SALVATORE J., RONCHITELLI A., SANTAMARIA D., SEMAL P., SLIMAK L., SOLER J., SOLER N., VILLALUENGA A., PINHASI R. et JACOBI R. (2014), « The Timing and Spatiotemporal Patterning of Neanderthal Disappearance », *Nature: Letter and supplementary information*, 512, p. 306-309 et 34-38 SOM.
- HUSI P. avec la collab. de BELLANGER L. (2003), « Estimer la datation, la durée et les discontinuités de l'occupation des sites archéologiques à l'aide de la modélisation des faciès céramiques », *Les Petits Cahiers d'Anatole*, 13, p. 1-30.

- KAVUR B. (2008), « Implementing, Writing and Thinking Palaeolithic Archaeology in Slovenia », *Annales: Anali Kopskega primorja in bližnjih pokrajin = Annali del litorale capodistriano e delle regioni vicine. Series historia et sociologia*, 18, p. 1-14.
- KOWALEWSKI S. A. et WILLIAMS M. (1989), « The Carroll Site: Analysis of 1936 excavations at a Mississippian farmstead in Georgia », *Southeastern Archaeology*, 8, p. 46-67.
- KUZUCUOGLU C. et TIRSONI Z. (2015), « Changements climatiques et comportements sociaux dans le passé : quelles corrélations ? », *Les Nouvelles de l'archéologie*, 142, p. 49- 55.
- LALLEMENT M. (2008), « Une antinomie durkheimienne... et au-delà », *Temporalités*, 8 [URL : journals.openedition.org/temporalites/72].
- LAMBERT G., LAVIER C. et GUIBAL F. (1992), « La dendrochronologie, une méthode précise de datation », *Mémoires de la Société géologique de France*, 160, p. 109-117.
- LANOS Ph. (2017), « Dates, durées et rythmes : composer le temps en archéologie », Conférence plénière lors du 14^e Colloque annuel de la Maison Archéologie et Ethnologie René-Ginouvès, 7 juin 2017.
- LANOS Ph. et DUFRESNE Ph. (2012), « Modélisation statistique bayésienne des données chronologiques », in DE BEAUNE et FRANCFORT 2012, p. 238-248.
- LEDUC J. (1999), *Les Historiens et le temps : conceptions, problématiques, écritures*, Paris, Éd. du Seuil (coll. Points Histoire, 259).
- LEESCH D. (1997), *Hauterive-Champréveyres*, 10, *Un campement magdalénien au bord du lac de Neuchâtel : cadre chronologique et culturel, mobilier et structures, analyse spatiale (secteur 1)*, Neuchâtel, Musée cantonal d'archéologie (coll. Archéologie neuchâteloise, 19).
- LEHOËRFF A. (2008), « Les enjeux de la construction du temps en archéologie », in LEHOËRFF A., éd., *Construire le temps. Histoire et méthodes des chronologie et calendriers des derniers millénaires avant notre ère en Europe occidentale, Actes du XXX^e colloque international de Halma-Ipel, Lille, 7-9 déc. 2006*, Glux-en-Glenne, Centre archéologique européen (coll. Bibracte, 16), p. 9-16.
- LEROI-GOURHAN A. et BRÉZILLON M. (1972), *Fouilles de Pincevent. Essai d'analyse ethnographique d'un habitat magdalénien (la section 36)*, Paris, CNRS (coll. Suppl. à *Gallia Préhistoire*, VII).
- LEVAILLANT J. (1982), *Écriture et génétique textuelle – Valéry à l'œuvre*, Lille, Presses universitaires de Lille.
- MARTÍNEZ-PILLADO V., ARANBURU A., ARSUAGA J. L., RUIZ-ZAPATA B., GIL-GARCÍA M., STOLL H., YUSTA I., IRIARTE E., CARRETERO J., EDWARDS R. et CHENG H. (2014), « Upper Pleistocene and Holocene Palaeoenvironmental Records in Cueva Mayor Karst (Atapuerca, Spain) from Different Proxies: Speleothem crystal fabrics, palynology, and archaeology », *International Journal of Speleology*, 43, 1, p. 1-14.
- MARTÍNEZ-PILLADO V., ARANBURU A., YUSTA I., STOLL H. et ARSUAGA J. L. (2010), « Clima y ocupaciones en la Galería de Estatuas (Atapuerca, Burgos) en los últimos 14.000 años: relatos de una estalagmita », *Munibe (Antropología-Arkeología)*, 61, p. 89-102.
- MATTHEWS W. (2005), « Micromorphological and Microstratigraphic Traces of Uses and Concepts of Space », in HODDER I., éd., *Inhabiting Çatalhöyük: Reports from the 1995-99 seasons*, Cambridge, McDonald Institute for Archaeological Research, p. 355-398.
- MOHEN J.-P., éd. (1989), *Le Temps de la préhistoire*, I, Dijon, Éd. Archéologia.
- NICCOLUCCI F. et HERMON S. (2015), « Time, Chronology and Classification », in BARCELO J. A. et BOGDANOVIC I., éd., *Mathematics and Archaeology*, Boca Raton (FL) – Londres – New York, CRC Press, p. 257-271.
- OLIVIER L. (2004), *Des vestiges*, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Paris, Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne.

- OLIVIER L. (2012), « Temps des vestiges et mémoire du passé », in DE BEAUNE et FRANCFORT 2012, p. 259-265.
- PELEGRIN J. (2002), « La production des grandes lames de silex du Grand-Pressigny », in GUILAINE J., éd., *Matériaux, productions, circulations, du Néolithique à l'Âge du bronze*, Paris, Errance, p. 125-141.
- PENTECOST A. (2005), *Travertine*, Londres, Springer.
- PETIT Chr., REDDÉ M., GIRARDCLOS O. et OLLIVE V. (2014), « Milieux humides et aménagements anthropiques dans la plaine du Rhin : le site d'Oedenburg (Haut-Rhin) », in BERNARD V., FAVORY F. et FICHES J.-L., éd., *Silva et saltus en Gaule romaine : dynamique et gestion des forêts et des zones rurales marginales, Actes du colloque AGER VII, Rennes, 27-28 oct. 2004*, Besançon, Presses universitaires de Franche-Comté (coll. Environnement, sociétés, archéologie, 19), p. 31-44.
- PETRÁNEK J. et POUBA Z. (1951), « Pokus o datování vývoje jeskyně Domice na základě studia tmavých zon v krápnících a sintru (Dating of the Development of the Domica Cave, Based on the Study of the Dark Zones in the Travertine Formations) », *Sborník Ústředního ústavu geologického*, 18, p. 245-272.
- PIGEOT N. et VALENTIN B. (2003), « Les chronologies de la Préhistoire dans le bassin parisien au Tardiglaciaire : acquis récents, questions et bilan », in WIDEMANN Fr. et TABORIN Y., éd., *Chronologies géophysiques et archéologiques du Paléolithique supérieur, Actes du Colloque international de Ravello, 3-8 mai 1994*, Bari, Edipuglia, p. 327-344.
- RENFREW C. et BAHN P. (2016), *Archaeology: theories, methods and practice*, New York, Thames and Hudson Ltd.
- SAMINADAYAR-PERRIN C., éd. (2008), *Qu'est-ce qu'un événement littéraire au XIX^e siècle ?*, Saint-Étienne, Publications de l'université de Saint-Étienne.
- SCHIFFER M. B. (1996), *Formation Processes of the Archaeological Record*, Salt Lake City, University of Utah Press.
- SCHNAPP A. (1993), *La Conquête du passé. Aux origines de l'archéologie*, Paris, Éd. Carré.
- SCHWARTZ Gl. M. (2008), « Problems of Chronology: Mesopotamia, Anatolia, and the Syro-Levantine region », in ARUZ J., BENEZEL K. et EVANS J. M., *Beyond Babylon. Art, Trade, and Diplomacy in the Second Millennium B.C.*, New York – New Haven – Londres, The Metropolitan Museum of Art – Yale University Press, p. 450-452.
- SLIMAK L. (2004), *Les dernières expressions du Moustérien entre Loire et Rhône*, Thèse de doctorat, Aix-en-Provence, Université de Provence.
- STOJANOWSKI Chr. M. et SCHILLACI M. A. (2006), « Phenotypic Approaches for Understanding Patterns of Intracemetery Biological Variation », *American Journal of Physical Anthropology*, 131, p. 49-88.
- TABORIN Y. (1989), « Du temps long au temps court », in MOHEN 1989, p. 94.
- TEGEL W. et VANMOERKERKE J. (2008), « Le bois en archéologie », *Bulletin de la Société archéologique champenoise*, 2, 2006, p. 36-47.
- TEXIER J.-P. (2001), « Sédimentogenèse des sites préhistoriques et représentativité des datations numériques », in BARRANDON *et al.* 2000, p. 159-175.
- VALLADAS H., TISNÉRAT-LABORDE N. et OBERLIN C. (2001), « Datation carbone 14 en spectrométrie de masse par accélérateur et archéologie », in BARRANDON *et al.* 2000, p. 81-92.
- VANDELDELDE S., BROCHIER J. É., DESACHY Br., PETIT Chr. et SLIMAK L. (2018), « Sooted Concretions: A new micro-chronological tool for high temporal resolution archaeology », *Quaternary International*, 474, B, p. 103-118.

- VANDEVELDE S., BROCHIER J. É. et SLIMAK L. (à paraître a), « Couche archéologique, sol archéologique et films de suie pariétaux : une approche micro-chronologique de l'occupation des cavités », in PETIT Chr. et CURIE J., éd., *Les Dépôts carbonatés en contexte archéologique, une mémoire de la gestion de l'eau, Actes des journées d'étude géoarchéologiques, Nanterre, 18-19 sept. 2014*, Nanterre, Arche@ (Archéologies, Sociétés, Environnements).
- (à paraître b), « Micro-chronologie des occupations de la Grotte Mandrin – Résultats préliminaires de l'étude des dépôts de suie pariétaux », in SLIMAK L., éd., *Monographie de la Grotte Mandrin*, Aix-en-Provence, MMSH (coll. Artisanats et territoires).
- VANDEVELDE S., BROCHIER J. É., PETIT Chr. et SLIMAK L. (2017a), « Voyage au bout de la suie. Étude microchronologique des occupations humaines dans la Grotte Mandrin », in CLEYET-MERLE J.-J. et SHUNKOV M. V., éd., *Le troisième homme. Préhistoire de l'Altai*, Catalogue d'exposition, Les Eyzies-de-Tayac, Musée national de Préhistoire, 1^{er} juil. – 13 nov. 2017, Paris – Les Eyzies-de-Tayac, Réunion des musées nationaux – Musée national de préhistoire, p. 160-162.
- (2017b), « Establishment of Occupation Chronicles in Grotte Mandrin Using Sooted Concretions: Rethinking the Middle to Upper Paleolithic transition », *Journal of Human Evolution*, 112, p. 70-78.
- VANDEVELDE S. et DUPUIS C. (2017), « Voyage au bout de la suie. Chroniques des occupations humaines à la Grotte Mandrin », in CLEYET-MERLE J.-J. et SHUNKOV M. V., éd., *Le troisième homme. Préhistoire de l'Altai*, Catalogue d'exposition, Les Eyzies-de-Tayac, Musée national de Préhistoire, 1^{er} juil. – 13 nov. 2017, Paris – Les Eyzies-de-Tayac, Réunion des musées nationaux – Musée national de préhistoire [URL : halshs.archives-ouvertes.fr/medihal-01580618].
- VERHEYDEN S., BAELE J. M., KEPPENS E., GENTY D., CATTANI O., CHENG H., LAWRENCE E., ZHANG H., VAN STRIJDONCK M. et QUINIF Y. (2006), « The Proserpine Stalagmite (Hansur-Lesse Cave, Belgium): Preliminary environmental interpretation of the last 1,000 years as recorded in a layered speleothem », *Geologica Belgica*, 9, 3-4, p. 245-256.