



Kent Academic Repository

Le Luyer, Mona (2018) *La réduction des dents humaines à la transition Pléistocène-Holocène dans le sud-ouest de la France : réévaluation et apports de l'analyse de la structure interne par imagerie 3D*. *Paleo* . pp. 77-86. ISSN 2101-0420.

Downloaded from

<https://kar.kent.ac.uk/60411/> The University of Kent's Academic Repository KAR

The version of record is available from

<https://journals.openedition.org/paleo/>

This document version

Publisher pdf

DOI for this version

Licence for this version

UNSPECIFIED

Additional information

Versions of research works

Versions of Record

If this version is the version of record, it is the same as the published version available on the publisher's web site. Cite as the published version.

Author Accepted Manuscripts

If this document is identified as the Author Accepted Manuscript it is the version after peer review but before type setting, copy editing or publisher branding. Cite as Surname, Initial. (Year) 'Title of article'. To be published in *Title of Journal* , Volume and issue numbers [peer-reviewed accepted version]. Available at: DOI or URL (Accessed: date).

Enquiries

If you have questions about this document contact ResearchSupport@kent.ac.uk. Please include the URL of the record in KAR. If you believe that your, or a third party's rights have been compromised through this document please see our [Take Down policy](https://www.kent.ac.uk/guides/kar-the-kent-academic-repository#policies) (available from <https://www.kent.ac.uk/guides/kar-the-kent-academic-repository#policies>).

La réduction des dents humaines à la transition Pléistocène-Holocène dans le Sud-Ouest de la France : réévaluation et apports de l'analyse de la structure interne par imagerie 3D

Mona LE LUYER^(a)

Résumé : Une réduction de la taille des dents humaines et une simplification de leur forme ont été observées en Europe et débattues en lien avec des changements culturels et environnementaux de la fin du Pléistocène et du début de l'Holocène. Entre autres facteurs, les techniques de cuisson ou la pression démographique ont été proposées comme causes de ces modifications biologiques. Cependant, ces modèles sont toujours débattus et les mécanismes qui ont contribué à la réduction des couronnes ne sont pas entièrement compris à ce jour. Grâce à de nouvelles découvertes et la révision des contextes chronologiques et archéologiques de certains gisements du sud-ouest de la France, une réévaluation de la nature des variations des dimensions dentaires a été effectuée pour les individus datés du Magdalénien supérieur, de l'Azilien et du Mésolithique ancien. Des acquisitions microtomographiques d'une partie de l'échantillon ont été réalisées afin de caractériser de manière non invasive la structure interne des dents (épaisseur de l'émail, proportions des tissus dentaires). Si une réduction globale des dimensions dentaires est constatée pour tous les types de dents, elle est plus marquée entre l'Azilien et le Mésolithique ancien. Cette réduction est principalement liée aux changements de volume et d'épaisseur de l'émail, paramètre plastique et écosensible témoignant de variations dans la biomécanique de la mastication. Ces résultats soulignent l'impact des changements environnementaux et culturels du début de l'Holocène. Une révision des modèles impliqués dans ce phénomène de réduction dentaire est proposée. Ainsi, cette approche intégrée, combinant les aspects externe et interne des dents, a permis de dégager des facteurs potentiellement responsables de la variation dentaire observée à la transition Pléistocène-Holocène.

Mots-clés : microévolution, populations humaines, réduction dentaire, proportions des tissus, épaisseur de l'émail, transition Pléistocène-Holocène, microtomographie.

Abstract: *Human dental reduction during the Pleistocene-Holocene transition in southwestern France: reevaluation and contributions of the internal structure analysis using 3D imaging.* Based on an external analysis of their crowns, a reduction in the size of human teeth and a simplification of their shape has been observed in Europe. This finding is debated in relationship to the cultural and environmental changes that occurred at the end of the Pleistocene and beginning of the Holocene. An acceleration of this reduction and morphological simplification has been shown in human populations starting at the end of the Pleistocene, and particularly during the Upper Paleolithic. Among other factors, cooking techniques or demographic pressures have been proposed as causes for these biological modifications. The models proposed to explain dental reduction are still debated, however, and the mechanisms that contributed to this phenomenon are not yet fully understood. A characterization of the internal architecture of teeth (enamel thickness, proportions of dental tissues) can contribute information relevant to the complexity of the external modifications observed. An integrated approach, combining external and internal aspects of the teeth, sheds new light on the biological evolution of human populations and the potential impact of environmental and cultural factors. Following new discoveries and a revision of the chronological and archaeological contexts of some sites in southwestern France, the nature of the dental variations of 24 individuals dated to the Upper Magdalenian, Azilian and Early Mesolithic in the northern Aquitaine region and southern Poitou-Charentes region was reevaluated. Microtomographic acquisitions of part of the sample were realized to characterize the internal structure of the teeth in a non-invasive manner. In total, the external structure of 188 permanent teeth (all types) was analyzed, and the internal structure of 41 of them was analyzed.

(a) UMR 5199 PACEA, Université de Bordeaux, FR-33615 Pessac cedex - School of Anthropology and Conservation, University of Kent, Canterbury - m.le-luyer@kent.ac.uk

The results of this work show that at the scale of the northern Aquitaine region, a global reduction of the external dimensions of human teeth occurred at the Pleistocene-Holocene transition. This reduction is not homogeneous, however, between the different tooth types and it is greater between the Azilian and Early Mesolithic than between the Upper Magdalenian and the Azilian. In terms of the internal structure of the teeth, while the tissue volumes (enamel and dentine) and the enamel thicknesses decrease between the Upper Magdalenian and the Early Mesolithic, the most significant differences concern the enamel. The distribution of the enamel is more homogeneous over the entire crown in the Upper Magdalenian, while it is more heterogeneous in the Early Mesolithic. This study of the internal structure of teeth therefore demonstrated that the reduction of the external dimensions is probably attributable to changes in the volume and thickness of the enamel.

In accordance with previous studies, the reduction of human teeth is not uniform and varies between the arcades, the tooth types and the measured diameters. The enamel is a plastic and eco-sensitive parameter that can be linked to dietary variations and changes in the biomechanics of mastication. The differences identified between the Upper Magdalenian and Early Mesolithic, in both the external and internal architecture of the teeth, highlight the impact of cultural and environmental modifications, as well as changes in resource use patterns. Considering the data obtained for the internal tooth structure, combined with those of larger samples analyzed at the regional scale, these results suggest that functional constraints had a major impact on the dental architecture of individuals at the end of the Pleistocene and beginning of the Holocene. The reduction of the crown associated with a reduction of the enamel could be associated with an adaptation to masticatory constraints in response to environmental changes and modifications in human resource exploitation. This integrated approach, combining external and internal aspects of the teeth, has thus enabled the identification of factors that may have been responsible for the dental variability observed at the Pleistocene-Holocene transition.

Key-words: microevolution, human populations, dental reduction, tissue proportions, enamel thickness, Pleistocene-Holocene transition, microtomography.

Introduction

L'évolution phénotypique de l'Homme moderne ne s'est pas arrêtée avec son arrivée en Europe (Calcagno et Gibson 1988), et l'étude des dents a largement montré cette histoire évolutive récente (Smith 2013). En particulier, une réduction des dimensions dentaires et une simplification de la forme des couronnes ont été mises en évidence sur la base d'analyses morphométriques externes et documentées tout au long de l'évolution des hominidés (Brabant et Twisselmann 1964 ; Bailit et Friedlaender 1966 ; Wolpoff 1971 ; Brace, Rosenberg et Hunt 1987 ; Bermudez de Castro et Nicolas 1995). Une accélération de cette réduction et de cette simplification morphologique a été observée dans les populations humaines à partir de la fin du Pléistocène, et particulièrement durant le Paléolithique supérieur (Brace et Mahler 1971 ; Frayer 1977, 1978 ; Calcagno 1986 ; Brace, Rosenberg et Hunt 1987 ; y'Edynak 1989 ; Pinhasi *et al.* 2006 ; Pinhasi et Meiklejohn 2011).

Entre les années 1960 et 1990, plusieurs modèles ont été proposés pour expliquer cette réduction des dimensions dentaires documentée dans plusieurs populations humaines. Parmi les facteurs discutés, les changements de techniques de cuisson (Brace 1963), les besoins énergétiques (Jolly 1970), la compétition entre les germes dentaires durant le développement (Sofaer, Bailit et MacLean *et al.* 1971), la susceptibilité aux maladies parodontales (Calcagno 1986) ou encore la pression démographique (Macchiarelli et Bondioli 1986) ont été proposés comme causes de ces modifications biologiques. Cependant, ces modèles sont toujours débattus et les mécanismes qui ont contribué à la réduction des couronnes ne sont pas entièrement compris à ce jour.

La caractérisation de l'architecture interne des dents (épaisseur de l'émail, proportions des tissus dentaires) peut apporter des éléments de réponse sur la complexité des

modifications observées au niveau externe. En effet, ces dernières sont liées à la quantité de tissu dentaire formé au cours du développement et correspondent au résidu d'information après croissance. La structure interne des dents permet d'accéder à un signal de nature ontogénétique et de mettre en évidence des différences liées au développement dentaire (Macchiarelli *et al.* 2006 ; Olejniczak *et al.* 2008 ; Smith *et al.* 2010, 2015). De plus, l'épaisseur de l'émail a été liée aux aspects fonctionnels et biomécaniques de la mastication (Molnar et Gantt 1977 ; Schwartz 2000) et est un trait plastique qui peut évoluer rapidement en réponse aux changements alimentaires, à l'usure occlusale et à la cassure (Hlusko *et al.* 2004 ; Pampush *et al.* 2013 ; Le Luyer, Rottier et Bayle 2014).

Les méthodes d'imagerie 3D offrent désormais la possibilité d'évaluer l'architecture dentaire de manière non destructive. Une approche intégrée, combinant les aspects externe et interne des dents, permet d'apporter un éclairage nouveau sur l'évolution biologique des populations humaines et sur l'impact potentiel des facteurs environnementaux et culturels (Le Luyer 2016).

Dans ce travail, la variation et l'évolution de l'architecture des dents humaines de la transition Pléistocène-Holocène (ca. 15 000-10 000 cal BP) a été caractérisée afin de réévaluer l'existence de cette réduction dentaire à l'échelle de l'espace nord aquitain et d'apporter des éléments de compréhension du phénomène grâce à l'analyse de la structure interne des dents.

Matériel et méthodes

Les dents ont été sélectionnées pour les sites du nord de l'Aquitaine et du sud du Poitou-Charentes dont l'attribution chronologique des vestiges humains est confirmée par des datations radiométriques et/ou des données archéologiques fiables. Les dents retenues appartiennent à un minimum de

24 individus datés du Magdalénien supérieur, de l'Azilien et du Mésolithique ancien (tabl. 1). Des acquisitions microtomographiques (μ CT) ont été réalisées pour 15 de ces individus possédant des dents bien préservées avec une couronne pas ou peu usée. Au total, 188 dents permanentes (tous types confondus) ont été considérées au niveau externe et 41 d'entre elles ont fait l'objet d'une analyse de leur structure interne (tabl. 2).

Pour l'ensemble des dents, le diamètre mésiodistal (MD, mm) et le diamètre buccolingual (BL, mm) des couronnes ont été mesurés selon la standardisation de Martin (dans Bräuer 1988). Les dents μ CT ont été numérisées avec une énergie de 100 kV et une intensité de 100 μ A, grâce à l'équipement Skyscan 1076 *in vivo* de la plateforme MRI de l'Université de Montpellier 2. Les volumes finaux ont été reconstruits avec un voxel isométrique allant de 17,93 μ m à 36,18 μ m en utilisant NRecon v.1.6.10 (Skyscan). Une segmentation semi-automatique (*half maximum height*, Spoor, Zonneveld et Macho 1993 ; Coleman et Colbert 2007) suivie de corrections manuelles a été réalisée avec Avizo v.7 (VSG). Les surfaces des tissus dentaires ont été reconstruites par triangulation et lissage contraint (algorithme du *Marching cube*, (Lorensen et Cline 1987). Des cartographies 3D de la distribution topographique de l'épaisseur de l'émail ont été produites à partir des

reconstructions de surfaces. Les couronnes ont été virtuellement isolées des racines selon la méthode développée par Olejniczak (2006).

Pour chaque couronne, 9 variables linéaires, surfaciques et volumiques ont été virtuellement mesurées ou calculées : le volume total de la couronne (Cvol, mm³) ; le volume de l'émail (Evol, mm³) ; le volume de la dentine coronaire (Dvol, mm³) ; le volume de la pulpe coronaire (Pvol, mm³) ; le volume de la dentine et de la pulpe dans la couronne (DPvol, mm³) ; le pourcentage du volume de la dentine et de la pulpe dans la couronne (%DPvol, %), l'aire de la jonction émail-dentine (S_{EDJ}, mm²), l'épaisseur moyenne de l'émail (AET3D, mm) et l'épaisseur relative de l'émail en (RET3D, sans dimension) (Martin 1985 ; Kono 2004 ; Macchiarelli *et al.* 2006 ; Smith *et al.* 2006 ; Bayle 2008 ; Olejniczak *et al.* 2008 ; Bayle *et al.* 2009, 2010 ; Feeney *et al.* 2010 ; Benazzi *et al.* 2014 ; Skinner *et al.* 2015).

Toutes les dents d'un même individu ont été mesurées. Pour l'analyse de la structure externe, seules les dents gauches ont été retenues lorsque les deux antérieurs étaient présents (sauf dans le cas d'une usure différentielle où la dent la moins usée a été privilégiée). Pour la structure interne, seules les dents avec une couronne complètement formée (stade D minimum, Demirjian, Goldstein et Tanner 1973) et modérément usée (stade 4 maximum, Molnar 1971) ont été analysées.

Site	Période	Référence attribution chronologique	NMI	Spécimen*	Âge	N dents	N dents μ CT	Références mesures externes / internes
Peyrazet (Creysse, Lot)	Magdalénien supérieur	Langlais et Laroulandie (2016)	1	PRZ2-NA6, PRZ14-K6D	Immature	2	2	Original / Original
La Madeleine (Tursac, Dordogne)	Magdalénien supérieur	Bouvier (1972)	1	LM1	Adulte	3		Fraye (1978) / Original
Le Morin (Pessac-sur-Dordogne, Gironde)	Magdalénien supérieur	Barshay-Szmidt <i>et al.</i> (2016)	4	A2, A3-5, A4-15, A4-16	Adulte et immatures	7	7	Original / Original
Bois Ragot (Gouex, Vienne)	Azilien	Chollet et Dujardin (2005)	1	BR-I6-n°2	Adulte	1	1	Henry-Gambier (2005) / Original
Le Peyrat (Saint-Rabier, Dordogne)	Azilien	Drucker (2001)	1	LP5	Adulte	24		Fraye (1978) / Original
Roc de Cave (Saint-Cirq-Madelon, Lot-et-Garonne)	Azilien	Gambier <i>et al.</i> (2000)	1	1	Immature	22		Bresson (2000) / Original
Rochereil (Grand-Brassac, Gironde)	Azilien	Jude (1960)	2	R1, maxillaire-1972	Adulte et immature	33	4	Fléchier <i>et al.</i> (1976), Original / Original
Pont d'Ambon (Bourdeilles, Dordogne)	Azilien	Célérier (1998)	1	n°1-H9, n°4-I9	Immature	2		Gambier (1994) / Original
Les Fieux (Miers, Lot)	Mésolithique ancien	Champagne <i>et al.</i> (1990)	2	D-7XI, D2-5XII, D2-1020	Immatures	3	3	Original / Original
Houleau 2 (Sainte-Florence, Gironde)	Mésolithique ancien	Hedges <i>et al.</i> (1997)	6	Dents isolées R8 à R24	Immatures	55	8	Original / Original
La Vergne (La Vergne, Charente-Maritime)	Mésolithique ancien	Duday <i>et al.</i> (1998)	4	St7-1, St7-2, St7-3, St10-1	Adultes et immatures	36	16	Original / Original

* Pour le détail des dents par individus, voir Le Luyet (2016).

Tableau 1 - Site et attribution chronologique des échantillons dentaires sélectionnés.

Table 1 - Site and chronological attribution of the selected dental samples.

Période	N dents (μ CT)	I1		I2		C		P3		P4		M1		M2		M3	
		sup	inf	sup	inf	sup	inf	sup	inf	sup	inf	sup	inf	sup	inf	sup	inf
Magdalénien supérieur	12 (9)								3 (2)		1 (1)	2 (2)	3 (2)	1 (1)	1		1 (1)
Azilien	82 (5)	3	4	5 (1)	6	6 (1)	5	6 (1)	6	6 (1)	6	7	5	5	6	1	5 (1)
Mésolithique ancien	94 (27)	13 (4)	5 (3)	9 (2)	10 (2)	8 (1)	6 (1)	11	5	4	1	7 (4)	6 (6)	2 (1)	4 (2)	2	1 (1)
Total (Total μCT)	188 (41)	16 (4)	9 (3)	14 (3)	16 (2)	14 (2)	11 (1)	17 (1)	14 (2)	10 (1)	8 (1)	16 (6)	14 (8)	8 (2)	11 (2)	3	7 (3)

Tableau 2 - Composition de l'échantillon par type de dents permanentes supérieures (sup) et inférieures (inf) pour chaque période. Les dents μ CT sont indiquées entre parenthèses.

Table 2 - Sample composition per tooth type for upper (sup) and lower (inf) permanent teeth of each period. μ CT teeth are indicated in brackets.

Résultats

Une réduction des dimensions des couronnes est observée entre le Magdalénien supérieur, l'Azilien et le Mésolithique ancien pour l'ensemble des dents permanentes (fig. 1). Cette réduction dentaire est moins prononcée entre le Magdalénien supérieur et l'Azilien qu'entre l'Azilien et le Mésolithique ancien. Pour les deux diamètres, les différences sont plus marquées pour les dents supérieures que pour les dents inférieures (fig. 1). En majorité, la réduction du diamètre MD est plus importante que celle du diamètre BL, excepté pour les incisives centrales (UI1 et LI1) et les canines (UC). Notamment, les premières (UM1) et secondes (UM2) molaires du Magdalénien supérieur possèdent des diamètres MD légèrement supérieurs à ceux des molaires aziliennes tandis que leurs diamètres BL sont comparables, et cette réduction du diamètre MD est particulièrement marquée pour les molaires supérieures du Mésolithique ancien. Pour les dents inférieures, la réduction est prononcée pour le diamètre MD des prémolaires (LP3 et LP4) alors que le diamètre BL montre un signal moins clair. Ainsi, la réduction observée n'est pas uniforme entre les types de dents et n'est pas similaire entre les trois périodes considérées.

Pour la structure interne, étant donné l'échelle géographique considérée, les types de dents sont peu représentés au sein de chacune des périodes. Les résultats sont présentés uniquement pour les premières molaires supérieures (UM1) et inférieures (LM1), dont les effectifs sont les plus importants. Pour ces molaires, il y a une réduction du volume de l'émail (Evol) et du volume de dentine et de pulpe dans la couronne (DPvol) entre le Magdalénien supérieur et le Mésolithique ancien (fig. 2). Pour les UM1, la réduction du volume d'émail est plus importante que celle du DPvol, et se traduit par une augmentation du pourcentage de ces deux tissus dans la couronne (%DPvol). En revanche, si la réduction des volumes est similaire entre les deux tissus des LM1 (fig. 2), l'émail est globalement plus épais pour les LM1 du Magdalénien supérieur que pour celles du Mésolithique ancien (fig. 3). De plus, la répartition de l'émail est plus homogène sur l'ensemble de la couronne du Magdalénien supérieur, alors qu'elle est plus hétérogène pour celles du Mésolithique ancien.

Discussions et conclusions

Sur la base des mesures externes de la couronne, une réduction des dimensions dentaires est mise en évidence en Europe à partir de la fin du Pléistocène (Brace et Mahler 1971 ; Frayer 1977, 1978 ; Calcagno 1986 ; Brace, Rosenberg et Hunt 1987 ; y'Edynak 1989 ; Pinhasi *et al.* 2006 ; Pinhasi et Meiklejohn 2011 ; Le Luyer 2016). Les résultats du présent travail montrent qu'à l'échelle de l'espace nord aquitain, ce phénomène de réduction dentaire est également présent à la transition Pléistocène-Holocène, et plus prononcé entre l'Azilien et le Mésolithique ancien. L'étude de la structure interne des dents permet d'identifier que cette réduction est plutôt attribuable à des changements au niveau de l'émail, à la fois en volume et en épaisseur.

En accord avec les précédentes études, la réduction des dents humaines n'est pas uniforme et varie entre les arcades, les types de dents et les diamètres mesurés (Brace 1967 ; Wolpoff 1971 ; Frayer 1977, 1978 ; Calcagno 1986 ; Brace, Rosenberg et Hunt 1987 ; Christensen 1998 ; Le Luyer 2016). En revanche, à cette échelle locale, la réduction est plus prononcée pour le diamètre mésiodistal que pour le diamètre buccolingual (*contra* y'Edynak 1978 ; Calcagno 1986 ; Pinhasi, Eshed et Shaw 2008 ; Pinhasi et Meiklejohn 2011 ; Le Luyer 2016). Si la taille et la forme des couronnes sont influencées par des facteurs génétiques, épigénétiques et environnementaux (Hughes et Townsend 2013), le diamètre buccolingual a été décrit comme moins influencé par les facteurs environnementaux que le diamètre mésiodistal (Calcagno 1986), suggérant un contrôle génétique différent entre ces deux dimensions (Potter et Nance 1976 ; Potter *et al.* 1976).

Les différences dans l'épaisseur de l'émail chez les hominoïdes actuels ont été reliées à des régimes alimentaires distincts (Molnar et Gantt 1977 ; Martin 1985 ; Schwartz 2000 ; Smith *et al.* 2008, 2012). L'émail est un trait plastique et écosensible (Hlusko *et al.* 2004 ; Pampush *et al.* 2013 ; Zanolli 2015) qui peut évoluer en réponse à l'usure occlusale et aux contraintes fonctionnelles de la mastication (Le Luyer, Rottier et Bayle 2014). De plus, une répartition asymétrique des épaisseurs de l'émail sur la couronne a été reliée à des différences dans les forces masticatoires (Spears et Macho 1995 ; Le Luyer, Rottier et Bayle 2014).

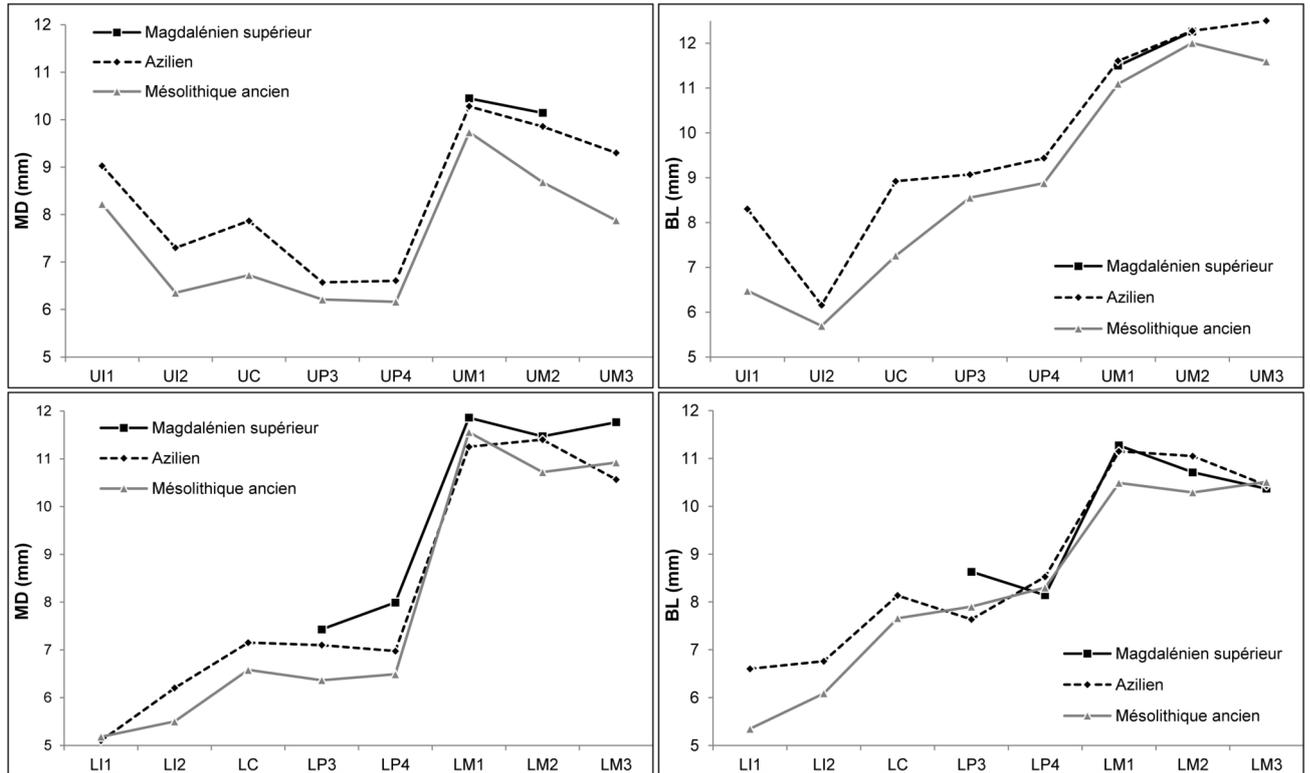


Figure 1 - Évolution des diamètres mésiodistal (MD) et buccolingual (BL) pour les dents permanentes supérieures (en haut) et inférieures (en bas).

Figure 1 - Evolution of mesiodistal (MD) and buccolingual (BL) diameters of upper (top) and lower (bottom) permanent teeth.

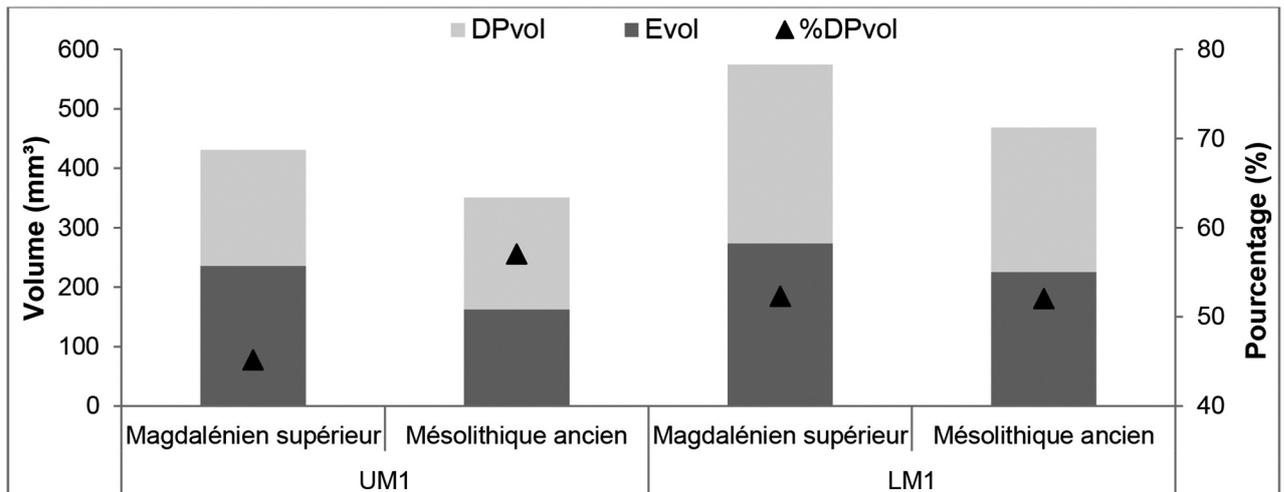


Figure 2 - Évolution du volume d'émail (Evol), du volume de dentine et de pulpe (DPvol) et du pourcentage de dentine et de pulpe dans la couronne (%DPvol) pour les premières molaires permanentes supérieures (UM1, à gauche) et inférieures (LM1, à droite).

Figure 2 - Evolution of enamel volume (Evol), dentine and pulp volume (DPvol) and percentage of crown that is dentine and pulp (%DPvol) of upper (UM1, left) and lower (LM1, right) permanent first molars.

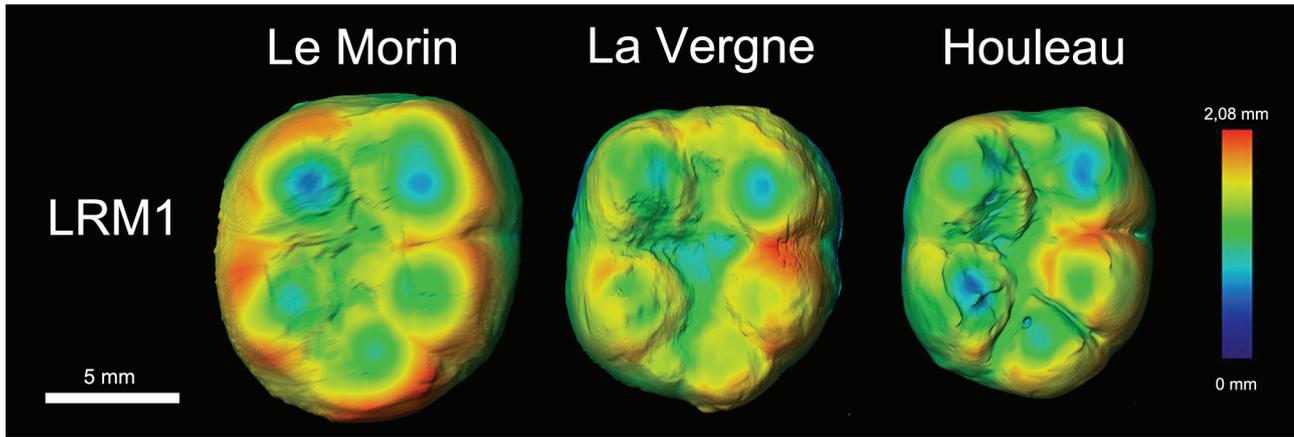


Figure 3 - Cartographies comparatives de l'épaisseur de l'émail des premières molaires permanentes inférieures droites (LRM1) du Morin, de Houleau et de La Vergne en vues occlusales. La variation topographique est visualisée par une échelle colorimétrique allant du bleu pour les épaisseurs d'émail les plus faibles au rouge pour les épaisseurs les plus fortes.

Figure 3 - Comparative enamel thickness cartographies of lower right permanent first molars (LRM1) from Le Morin, Houleau and La Vergne in occlusal views. Topographic variation is rendered by a tooth-specific thickness-related scale ranging from dark blue for relatively thinner enamel to red for relatively thicker enamel.

Cependant, les paramètres de la structure interne ont été peu évalués chez les populations humaines. Ainsi, la réduction de volume et d'épaisseur de l'émail entre le Magdalénien supérieur et le Mésolithique ancien peut témoigner de changements dans les régimes alimentaires et/ou la mastication.

Majoritairement associée aux changements culturels de la transition vers le Néolithique, la réduction des dimensions externes des dents a été considérée comme universelle et évaluée d'un point de vue macroévolutif, à partir d'échantillons d'origines géographiques et chronologiques très larges. Pour évaluer la complexité de ce phénomène et progresser dans sa compréhension, il est nécessaire de se focaliser sur une échelle microévolutive et locale. Bien que des spécificités individuelles puissent être mises en avant par des effectifs plus réduits, les facteurs responsables de cette variation dentaire sont plus identifiables à une échelle locale. Notamment, des parallèles peuvent être réalisés avec les différences dans les régimes alimentaires et les stratégies de chasses. En effet, un élargissement et une intensification de l'exploitation de la mésofaune sont perceptibles à partir du Magdalénien supérieur (Cochard 2004 ; Costamagno *et al.* 2008 ; Laroulandie 2009 ; Szmidt *et al.* 2009), puis à l'Azilien et au Laborien, par exemple sur le site de Pont d'Ambon (Célérier 1998). Les raisons envisagées pour cette diversification du régime alimentaire au Paléolithique final, qui n'est pas un phénomène global, sont une réduction de mobilité ou une augmentation démographique (Langlais *et al.* 2012 ; Marchand 2014). En revanche, suite à l'amélioration climatique de l'Holocène (Magny 1997, 2004 ; Magny, Miramont et Sivan 2002) et la fermeture du couvert végétal progressivement dominé par la chênaie caducifoliée (Delhon *et al.* 2010), les sociétés mésolithiques ont diversifié leur économie de prédation et de stockage avec, en plus de la chasse et de la pêche, une

intensification inédite des activités de cueillette et de collecte dans les stratégies de subsistance (Valdeyron 2013).

Contrairement à ce qui est attendu dans les modèles expliquant la réduction dentaire par les changements de technique de cuisson (Brace 1963) ou l'augmentation de la densité de la population (Macchiarelli et Bondioli 1986), les individus du Mésolithique ancien montrent une réduction dentaire conséquente alors même qu'ils n'utilisaient pas la poterie et n'étaient pas agriculteurs. À la lumière des données obtenues pour la structure interne des dents, combinées à celles d'un échantillon plus important à plus large échelle (Le Luyer 2016), ces résultats suggèrent un effet majeur des contraintes fonctionnelles sur l'architecture dentaire des individus de la fin du Pléistocène et du début de l'Holocène. La réduction de la couronne associée à une réduction de l'émail pourrait être une adaptation aux contraintes masticatoires, en réponse aux modifications environnementales et d'exploitation des ressources par les populations humaines.

Remerciements

Les données utilisées dans cette étude ont été produites grâce à l'équipement microCT de la plateforme MRI et du LabEx CeMEB (Université de Montpellier 2). Pour l'accès aux échantillons dentaires et les discussions, je remercie Priscilla Bayle, Bruno Boulestin, Patrice Courtaud, Henri Duday, Dominique Henry-Gambier, Mathieu Langlais, Renaud Lebrun, Roberto Macchiarelli, Anne-marie Tillier, Nicolas Valdeyron, Sébastien Villotte et Clément Zanolli. Ce travail de recherche a bénéficié du soutien du projet DHP (dir. Stéphane Rottier; Université Bordeaux 1, LaScArBx; ANR-10-LABX-52) et d'une allocation doctorale du Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

Références bibliographiques

- BAILIT H.L., FRIEDLAENDER J.S. 1966 – Tooth size reduction: a hominid trend. *American Anthropologist*, 68, p. 665-672.
- BARSHAY-SZMIDT C., COSTAMAGNO S., HENRY-GAMBIER D., LAROU LANDIE V., PÉTILLON J.-M., BOUDADI-MALIGNE M., KUNTZ D., LANGLAIS M., MALLYE J.-B. 2016 – New extensive focused AMS ¹⁴C dating of the Middle and Upper Magdalenian of the western Aquitaine/Pyrenean region of France (ca. 19–14 ka cal BP): Proposing a new model for its chronological phases and for the timing of occupation. *Quaternary International*, 414, p. 92-91.
- BAYLE P. 2008 – Proportions des tissus dentaires des dents déciduales chez deux individus de Dordogne (France) : l'enfant néanderthalien du Roc de Marsal et le spécimen du Paléolithique supérieur final de La Madeleine. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 20, p. 151-163.
- BAYLE P., BRAGA J., MAZURIER A., MACCHIARELLI R. 2009 – Brief communication: high-resolution assessment of the dental developmental pattern and characterization of tooth tissue proportions in the late Upper Paleolithic child from La Madeleine, France. *American Journal of Physical Anthropology*, 138, p. 493-498.
- BAYLE P., MACCHIARELLI R., TRINKAUS E., DUARTE C., MAZURIER A., ZILHÃO J. 2010 – Dental maturational sequence and dental tissue proportions in the early Upper Paleolithic child from Abrigo do Lagar Velho, Portugal. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, p. 1338-1342.
- BENZAZZI S., PANETTA D., FORNAI C., TOUSSAINT M., GRUPPIONI G., HUBLIN J.-J. 2014 – Technical note: guidelines for the digital computation of 2D and 3D enamel thickness in hominoid teeth. *American Journal of Physical Anthropology*, 153, p. 305-313.
- BERMUDEZ DE CASTRO J.M., NICOLAS M.E. 1995 – Posterior dental size reduction in Hominids: the Atapuerca evidence. *American Journal of Physical Anthropology*, 96, p. 335-356.
- BOUVIER J.-M. 1972 – Les restes humains de La Madeleine (Dordogne). *Bulletin de la Société d'Anthropologie du Sud-Ouest*, 8, p. 1-12.
- BRABANT H., TWIESEL MANN F. 1964 – Observations sur l'évolution de la denture permanente humaine en Europe occidentale. *Bulletin du Groupement International pour la Recherche Scientifique en Stomatologie et Odontologie*, 7, p. 11-84.
- BRACE C.L. 1963 – Structural reduction in evolution. *American Naturalist*, 97, p. 39-49.
- BRACE C.L. 1967 – Environment, tooth form and size in the Pleistocene. *Journal of Dental Research*, 46, p. 809-816.
- BRACE C.L., MAHLER P.E. 1971 – Post-Pleistocene changes in the human dentition. *American Journal of Physical Anthropology*, 34, p. 191-203.
- BRACE C.L., ROSENBERG K.R., HUNT K.D. 1987 – Gradual change in human tooth size in the Late Pleistocene and Post-Pleistocene. *Evolution*, 41, p. 705-720.
- BRÄUER G. 1988. Osteometrie. In : R. Knußmann, I. Schwidetzky, H.W. Jürgens & G. Ziegelmayer (Eds.), *Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen*. New York: Gustav Fischer Verlag Stuttgart, p. 160-232.
- BRESSON F. 2000 – Le squelette du Roc-de-Cave (Saint-Cirq-Madelon, Lot). *Paleo*, 12, p. 29-59.
- CALCAGNO J.M. 1986 – Dental reduction in Post-Pleistocene Nubia. *American Journal of Physical Anthropology*, 70, p. 349-363.
- CALCAGNO J.M., GIBSON K.R. 1988 – Forty-thousand years of tooth size reduction: evidence, mechanisms, and controversy. *American Journal of Physical Anthropology*, 75, p. 193.
- CÉLÉRIER G. 1998 – L'abri sous roche de Pont d'Ambon à Bourdeilles (Dordogne, France). Perspectives synthétiques. *Paleo*, 10, p. 233-264.
- CHAMPAGNE F., CHAMPAGNE C., JAUZON P., NOVEL P. 1990 – Le site préhistorique des Fieux à Miers (Lot). *Gallia Préhistoire*, 32, p. 1-28.
- CHOLLET A., DUJARDIN V. 2005 – *La grotte du Bois-Ragot à Gouex (Vienne) : Magdalénien et Azilien. Essais sur les hommes et leur environnement*. Paris : Mémoire 38 de la Société Préhistorique Française, 423 p.
- CHRISTIENSEN A.F. 1998 – Odontometric microevolution in the Valley of Oaxaca, Mexico. *Journal of Human Evolution*, 34, p. 333-360.
- COCHARD D. 2004 – *Les Léporidés dans la subsistance des Paléolithiques du Sud de la France*. Bordeaux : Université de Bordeaux 1, 2004. 1t., Thèse de Doctorat, 346 p.
- COLEMAN M.N., COLBERT M.W. 2007 – Technical note: CT thresholding protocols for taking measurements on three-dimensional models. *American Journal of Physical Anthropology*, 133, p. 723-725.
- COSTAMAGNO S., COCHARD D., FERRIÉ J.-G., LAROU LANDIE V., CAZALS N., LANGLAIS M., VALDEYRON N., DACHARY M., BARBAZA M., GALOP D., MARTIN H., PHILIBERT S. 2008 – Nouveaux milieux, nouveaux gibiers, nouveaux chasseurs ? Évolution des pratiques cynégétiques dans les Pyrénées du Tardiglaciaire au début du Postglaciaire. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 105, p. 17-27.

- DELHON C., THIÉBAULT S., BROCHIER J.-L., BERGER J.-F. 2010 – Dynamiques de végétation au Tardiglaciaire et à l'Holocène ancien en moyenne vallée du Rhône d'après les données anthracologiques. *Quaternaire*, 21, p. 281-293.
- DEMIRJIAN A., GOLDSTEIN H., TANNER J.M. 1973 – A new system of dental age assessment. *Human Biology*, 45, p. 211-227.
- DRUCKER D. 2001 – *Validation méthodologique de l'analyse isotopique d'ossements fossiles et apports aux reconstitutions paléocéologiques du Paléolithique supérieur du sud-ouest de la France*. Paris : Université Paris 6, 2001. 1t., Thèse de doctorat, 222 p.
- DUDAY H., COURTAUD P., ROBIN K., DUJARDIN V., GRUET Y., GOURAUD G., MARTIN H., SAN JUAN-FOUCHER C. 1998 – La Vergne, La Grande Pièce. (Déviation de Saint-Jean-d'Angély, Charente-Maritime). *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 95, p. 433-434.
- FEENEY R.N.M., ZERMENO J.P., REID D.J., NAKASHIMA S., SANO H., BAHAR A., HUBLIN J.-J., SMITH T.M. 2010 – Enamel thickness in Asian human canines and premolars. *Anthropological Science*, 118, p. 191-198.
- FLÉCHIER J.P., LEFÈVRE J., VERDÈNE J. 1976 – Mensurations dentaires des Hommes du Paléolithique supérieur français. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 3, p. 383-400.
- FRAYER D.W. 1977 – Metric dental change in the European Upper Paleolithic and Mesolithic. *American Journal of Physical Anthropology*, 46, p. 109-120.
- FRAYER D.W. 1978 – *Evolution of the dentition in Upper Paleolithic and Mesolithic Europe*. Lawrence : University of Kansas, 201 p.
- GAMBIER D. 1994 – Annexes I. Les vestiges humains. *Gallia Préhistoire*, 36, p. 108-112.
- GAMBIER D., VALLADAS H., TISNÉRAT-LABORDE N., ARNOLD M., BRESSON F. 2000 – Datation de vestiges humains présumés du Paléolithique supérieur par la méthode du Carbone 14 en spectrométrie de masse par accélérateur. *Paleo*, 12, p. 201-212.
- HEDGES R.E.M., PETTITT P.B., BRONK RAMSEY C., VAN KLINKEN G.J. 1997 – Radiocarbon dates from the Oxford AMS system: Archaeometry datelist 24. *Archaeometry*, 39, p. 445-471.
- HENRY-GAMBIER D. 2005 - Le Bois-Ragot, Gouex (Vienne) : les vestiges humains. In : A. Chollet & V. Dujardin (Eds.), *La grotte du Bois-Ragot à Gouex (Vienne) : Magdalénien et Azilien. Essais sur les hommes et leur environnement*. Paris: Mémoire 38 de la Société préhistorique française, p. 396-397.
- HLUSKO L.J., SUWA G., KONO R.T., MAHANEY M.C. 2004 – Genetics and the evolution of primate enamel thickness: a baboon model. *American Journal of Physical Anthropology*, 124, p. 223-233.
- HUGHES T.E., TOWNSEND G.C. 2013 - Twin and family studies of human dental crown morphology: genetic, epigenetic, and environmental determinants of the modern human dentition. In : G.R. Scott & J.D. Irish (Eds.), *Anthropological perspectives on tooth morphology: genetics, evolution, variation*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 31-68.
- JOLLY C.J. 1970 – The seed-eaters: a new model of hominid differentiation based on a baboon analogy. *Man*, 5, p. 5-26.
- JUDE P.-É. 1960 – *La grotte de Rochereil, station magdalénienne et azilienne*. Paris : Masson et Cie, 76 p.
- KONO R.T. 2004 – Molar enamel thickness and distribution patterns in extant great apes and humans: new insights based on a 3-dimensional whole crown perspective. *Anthropological Science*, 112, p. 121-146.
- LANGLAIS M., LAROULANDIE V. 2016 – La grotte-abri de Peyrazet (Creysse, Lot, France) : Une séquence tardiglaciaire pour le Quercy. In : *Annales des XXIV^e Journées archéologiques de Saint-Céré (Lot)*, p. 63-67.
- LANGLAIS M., COSTAMAGNO S., LAROULANDIE V., PÉTILLON J.-M., DISCAMPS E., MALLYE J.-B., COCHARD D., KUNTZ D. 2012 – The evolution of Magdalenian societies in South-West France between 18,000 and 14,000 calBP: changing environments, changing tool kits. *Quaternary International*, 272-273, p. 138-149.
- LAROULANDIE V. 2009 - De la plume à l'œuf : exploitation des ressources aviaires au Magdalénien dans le Sud de la France. In : L. Fontana, F.-X. Chauvière & A. Bridault (Eds.), *In search of Total Animal Exploitation. Cases Studies in Upper Palaeolithic and Mesolithic*. Proceedings of the XVth UISPP World Congress, Lisbonne, Portugal (4-6 septembre 2006). Oxford, BAR International Series 2040, p. 71-89.
- LE LUYER M. 2016 – *Évolution dentaire dans les populations humaines de la fin du Pléistocène et du début de l'Holocène (19000 – 5500 cal. BP) : une approche intégrée des structures externe et interne des couronnes pour le Bassin aquitain et ses marges*. Bordeaux : Université de Bordeaux, 2016. 1t., Thèse de Doctorat, 456 p.
- LE LUYER M., ROTTIER S., BAYLE P. 2014 – Brief communication: comparative patterns of enamel thickness topography and oblique molar wear in two Early Neolithic and medieval population samples. *American Journal of Physical Anthropology*, 155, p. 162-172.

- LORENSEN W.E., CLINE H.E. 1987 – Marching cubes: a high-resolution 3D surface construction algorithm. *Computer Graphics (ACM)*, 21, p. 163-169.
- MACCHIARELLI R., BONDIOLI L. 1986 – Post-Pleistocene reductions in human dental structure: a reappraisal in terms of increasing population density. *Human Evolution*, 1, p. 405-418.
- MACCHIARELLI R., BONDIOLI L., DÉBÉNATH A., MAZURIER A., TOURNEPICHE J.-F., BIRCH W., DEAN M.C. 2006 – How Neanderthal molar teeth grew. *Nature*, 444, p. 748-51.
- MAGNY M. 1997 – Éléments pour une histoire du climat entre 13000 et 6000 BP. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 94, p. 161-167.
- MAGNY M. 2004 – Holocene climate variability as reflected by mid-European lake-level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements. *Quaternary International*, 113, p. 65-79.
- MAGNY M., MIRAMONT C., SIVAN O. 2002 – Assessment of the impact of climate and anthropogenic factors on Holocene Mediterranean vegetation in Europe on the basis of palaeohydrological records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 186, p. 47-59.
- MARCHAND G. 2014 – *Préhistoire atlantique. Fonctionnement et évolution des sociétés du Paléolithique au Néolithique*. Paris : Errance, 519 p.
- MARTIN L. 1985 – Significance of enamel thickness in hominoid evolution. *Nature*, 314, p. 260-263.
- MOLNAR S. 1971 – Human tooth wear, tooth function and cultural variability. *American Journal of Physical Anthropology*, 34, p. 175-190.
- MOLNAR S., GANTT D.G. 1977 – Functional implications of primate enamel thickness. *American Journal of Physical Anthropology*, 46, p. 447-454.
- OLEJNICZAK A.J. 2006 – *Micro-computed tomography of Primate molars*. Stony Brook : Stony Brook University, 2006. 1t., PhD dissertation, 256 p.
- OLEJNICZAK A.J., SMITH T.M., FEENEY R.N., MACCHIARELLI R., MAZURIER A., BONDIOLI L., ROSAS A., FORTEA J., DE LA RASILLA M., GARCIA-TABERNERO A., RADOVCIC J., SKINNER M.M., TOUSSAINT M., HUBLIN J.-J. 2008 – Dental tissue proportions and enamel thickness in Neanderthal and modern human molars. *Journal of Human Evolution*, 55, p. 12-23.
- PAMPUSH J.D., DUQUE A.C., BURROWS B.R., DAEGLING D.J., KENNEY W.F., MCGRAW W.S. 2013 – Homoplasy and thick enamel in primates. *Journal of Human Evolution*, 64, p. 216-224.
- PINHASI R., ESHED V., SHAW P. 2008 – Evolutionary changes in the masticatory complex following the transition to farming in the southern Levant. *American Journal of Physical Anthropology*, 135, p. 136-148.
- PINHASI R., MEIKLEJOHN C. 2011. Dental reduction and the transition to agriculture in Europe. In : R. Pinhasi & J.T. Stock (Eds.), *Human bioarchaeology of the transition to agriculture*. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd, p. 421-474.
- PINHASI R., TESCHLER-NICOLA M., PROSSINGER H., SHAW P. 2006 – *Diachronic trends in dental dimensions of Late Pleistocene and Early Holocene European and Near Eastern populations*. In : *Biennial books of EAA*. Budapest, Eötvös Loránd University Press, p. 117-138.
- POTTER R.H., NANCE W.E. 1976 – A twin study of dental dimension. I. Discordance, asymmetry, and mirror imagery. *American Journal of Physical Anthropology*, 44, p. 391-396.
- POTTER R.H., NANCE W.E., YU P.-L., DAVIS W.B. 1976 – A twin study of dental dimension. II. Independent genetic determinants. *American Journal of Physical Anthropology*, 44, p. 397-412.
- SCHWARTZ G.T. 2000 – Taxonomic and functional aspects of the patterning of enamel thickness distribution in extant large-bodied hominoids. *American Journal of Physical Anthropology*, 111, p. 211-244.
- SKINNER M.M., ALEMSEGED Z., GAUNITZ C., HUBLIN J.J. 2015 – Enamel thickness trends in Plio-Pleistocene hominin mandibular molars. *Journal of Human Evolution*, 85, p. 35-45.
- SMITH T.M. 2013 – Teeth and human life-history evolution. *Annual Review of Anthropology*, 42, p. 191-208.
- SMITH T.M., OLEJNICZAK A.J., REH S., REID D.J., HUBLIN J.J. 2008 – Brief communication: enamel thickness trends in the dental arcade of humans and chimpanzees. *American Journal of Physical Anthropology*, 136, p. 237-241.
- SMITH T.M., OLEJNICZAK A.J., TAFFOREAU P., REID D.J., GRINE F.E., HUBLIN J.J. 2006 – Molar enamel thickness, volume, and development in South African Middle Stone Age humans. *South African Journal of Science*, 102, p. 513-517.
- SMITH T.M., OLEJNICZAK A.J., ZERMENO J.P., TAFFOREAU P., SKINNER M.M., HOFFMANN A., RADOVCIC J., TOUSSAINT M., KRUSZYNSKI R., MENTER C., MOGGI-CECCHI J., GLASMACHER U.A., KULLMER O., SCHRENK F., STRINGER C., HUBLIN J.J. 2012 – Variation in enamel thickness within the genus *Homo*. *Journal of Human Evolution*, 62, p. 395-411.
- SMITH T.M., TAFFOREAU P., LE CABEC A., BONNIN A., HOUSSAYE A., POUÉCH J., MOGGI-CECCHI J., MANTHI F., WARD C., MAKAREMI M., MENTER C.G. 2015 – Dental ontogeny in Pliocene and Early Pleistocene hominins. *PLoS One*, 10, e0118118.

SMITH T.M., TAFFOREAU P., REID D.J., POUECH J., LAZZARI V., ZERMENO J.P., GUATELLI-STEINBERG D., OLEJNICZAK A.J., HOFFMAN A., RADOVIC J., MAKAREMI M., TOUSSAINT M., STRINGER C., HUBLIN J.-J. 2010 – Dental evidence for ontogenetic differences between modern humans and Neanderthals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, p. 20923-20928.

SOFAER J.A., BAILIT H.L., MACLEAN C.J. 1971 - A developmental basis for differential tooth reduction during hominid evolution. *Evolution*, 25, p. 509-517.

SPEARS I.R., MACHO G.A. 1995 - The helicoidal occlusal plane - a functional and biomechanical appraisal of molars. In : R.J. Radlanski & H. Renz (Eds.), *Proceedings of the 10th International Symposium on Dental Morphology*. Berlin. "M" Marketing Services, p. 391-297.

SPOOR F., ZONNEVELD F., MACHO G.A. 1993 – Linear measurements of cortical bone and dental enamel by computed tomography: applications and problems. *American Journal of Physical Anthropology*, 91, p. 469-484.

SZMIDT C.C., LAROULANDIE V., DACHARY M., LANGLAIS M., COSTAMAGNO S. 2009 – Harfang, renne et cerf : nouvelles dates 14C par SMA du Magdalénien supérieur du Bassin aquitain au Morin (Gironde) et Bourrouilla (Pyrénées-Atlantiques). *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 206, p. 583-601.

VALDEYRON N. 2013 – *Of Men and Nuts. Essai sur le Mésolithique et sur la place qu'y tient le végétal*. Toulouse : Université Toulouse 2 Le Mirail, 2013. 1t., Habilitation à Diriger des Recherches, 169 p.

WOLPOFF M.H. 1971 – *Metric trends in hominid dental evolution*. Cleveland : Press of Case Western Reserve University, 244 p.

Y'EDYNAK G. 1978 – Culture, diet and dental reduction in Mesolithic forager-fishers of Yugoslavia. *Current Anthropology*, 19, p. 616-618.

Y'EDYNAK G. 1989 – Yugoslav Mesolithic dental reduction. *American Journal of Physical Anthropology*, 78, p. 17-36.

ZANOLLI C. 2015 – L'épaisseur de l'émail comme indicateur adaptatif écosensible. Comment varie-t-elle entre dents déciduales et permanentes chez les hominidés actuels et fossiles ? *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 27, p. S28.