Proportions des tissus 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.

*Deciduous dental tissue proportions in two individuals from Dordogne (France):
the Neanderthal child of Roc de Marsal and the late Upper Paleolithic specimen
of La Madeleine.*

Priscillia Bayle

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/bmsap/6143>

DOI : 10.4000/bmsap.6143

ISSN : 1777-5469

Éditeur

Société d'Anthropologie de Paris

Édition imprimée

Date de publication : 31 décembre 2008

ISSN : 0037-8984

Référence électronique

Priscillia Bayle, « Proportions des tissus 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* [En ligne], 20 (3-4) | 2008, mis en ligne le 26 avril 2012, consulté le 01 juin 2021. URL : <http://journals.openedition.org/bmsap/6143> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/bmsap.6143>

Les contenus des *Bulletins et mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* sont mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

**PROPORTIONS DES TISSUS 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**

**PROPORTIONS OF THE TISSUE OF DECIDUOUS TEETH IN TWO INDIVIDUALS FROM
DORDOGNE (FRANCE): THE NEANDERTHAL CHILD OF ROC DE MARSAL
AND THE LATE UPPER PALAEOOLITHIC SPECIMEN OF LA MADELEINE**

Priscilla BAYLE ^{1,2}

RÉSUMÉ

En paléanthropologie, l'emploi de techniques d'analyse microtomographique a récemment apporté des éléments quantitatifs fondamentaux à la caractérisation non invasive à haute résolution de la structure interne des dents. Par rapport aux Hommes modernes, les molaires permanentes des Néanderthaliens présentent un volume relatif d'émail comparable, mais distribué sur une superficie de dentine largement supérieure. Les proportions des tissus des dents déciduales néanderthaliennes, en particulier celles des dents antérieures, sont au contraire encore peu documentées et les caractéristiques structurales de la denture de l'humanité moderne fossile ne sont pas encore connues.

Grâce à l'utilisation d'un registre à haute résolution de type microtomographique industriel (μ CT) et à rayonnement synchrotron (SR- μ CT), nous avons eu la possibilité, pour la première fois, d'explorer en 3D et de comparer la structure interne de toute la série des dents déciduales inférieures de l'enfant néanderthalien du Roc de Marsal (Dordogne) et du spécimen du Paléolithique supérieur final de La Madeleine (La Madeleine 4, Dordogne), ainsi que de quantifier les proportions volumétriques de leurs tissus.

Les résultats montrent que, dès les premiers stades du développement, quelle que soit la position dentaire considérée, les spécimens néanderthaliens analysés (représentés ici également par des dents isolées du site de La Chaise, en Charente) présentaient une organisation tissulaire différente de la condition moderne illustrée par notre échantillon de référence, en revanche elle-même semblable à celle du représentant du Paléolithique supérieur final.

Mots-clés : tissus dentaires, proportions, dents déciduales, microtomographie, Roc de Marsal, La Madeleine, Néanderthalien, Paléolithique supérieur final.

-
1. UMR 7194, USM 204, Département de Préhistoire, Muséum national d'histoire naturelle, 1 rue René Panhard, 75013, Paris, France, email : bayle@mnhn.fr.
 2. FRE 2960, Anthropologie Moléculaire et Imagerie de Synthèse, Université Paul Sabatier Toulouse 3, 39 allées Jules Guesde, 31000 Toulouse, France.

ABSTRACT

Recent advances in the application to the human fossil record of high-resolution microtomographic analytical techniques allow the noninvasive quantitative characterization of the inner dental structure. Compared to modern humans, Neanderthal permanent molars present a relative volume of comparable enamel, but distributed over a greater surface of dentine. However, the proportions of the tissue of deciduous teeth in Neanderthals, especially those of the anterior teeth, are still poorly known, and the structural characteristics of anatomically modern fossil human teeth are not yet known.

By means of high-resolution industrial (μ CT) and synchrotron radiation (SR- μ CT) microtomography, we investigated, for the first time, the inner structure of the entire sequence of deciduous teeth in the Neanderthal child of Roc de Marsal (Dordogne) as well as the late Upper Palaeolithic specimen from La Madeleine (La Madeleine 4, Dordogne), and comparatively quantified the volumetric proportions of their tissue.

Results show that, from the early developmental stages onward, Neanderthal teeth (here represented also by isolated specimens from the site of La Chaise, in Charente) are characterized by a tissue organization different from that of modern humans, while the late Upper Palaeolithic specimen shows a pattern similar to the modern, illustrated by our reference sample.

Keywords: dental tissues, proportions, deciduous teeth, microtomography, Roc de Marsal, La Madeleine, Neanderthal, late Upper Palaeolithic.

INTRODUCTION

L'observation de différences dans la structure dentaire, notamment de variations d'épaisseur de l'émail et d'ampleur de la cavité pulpaire, a été utilisée pour caractériser la condition néanderthalienne par rapport à l'humanité moderne aux niveaux ontogénétique, paléobiologique, taxinomique, ainsi qu'en référence aux habitudes alimentaires et aux contextes paléoenvironnementaux (*e.g.*, Adloff 1907 ; Gorjanovic-Kramberger 1907, 1908 ; Keith, Knowles 1911 ; Keith 1913 ; Legoux 1966 ; Trinkaus 1983 ; Tillier *et al.* 1989 ; Zilberman *et al.* 1992 ; Zilberman, Smith 1992 ; Molnar *et al.* 1993 ; Smith, Zilberman 1994 ; Ramirez Rozzi 1996 ; Grine 2004). Les auteurs de ces études ont principalement mis en évidence une hypertrophie de la chambre pulpaire des molaires (taurodontisme) (Keith 1913 ; Blumberg *et al.* 1971 ; Mena 1971 ; Grine, Klein 1985 ; Constant, Grine 2001) et une épaisseur d'émail plus faible chez les Néanderthaliens, ces résultats étant issus de mesures bidimensionnelles réalisées sur des registres radiographiques.

Très récemment, l'emploi de techniques microtomographiques (μ CT, SR- μ CT) dans la caractérisation non invasive et la modélisation tridimensionnelle à haute résolution a apporté des éléments quantitatifs fondamentaux à ces thématiques (Mazurier, Macchiarelli 2005 ; Olejniczak, Grine 2005 ; Macchiarelli *et al.* 2006,

2007, 2008 ; Smith *et al.* 2007a, b ; Olejniczak *et al.* 2008). En plus des connaissances déjà acquises (Zilberman, Smith 1992 ; Zilberman *et al.* 1992 ; Molnar *et al.* 1993 ; Smith, Zilberman 1994 ; Ramirez Rozzi 1996 ; Grine 2004), les résultats de ces analyses suggèrent, qu'en référence aux molaires permanentes, les Néanderthaliens partageaient avec les individus modernes analysés des volumes relatifs d'émail comparables, mais qu'ils se distinguaient par des proportions de dentine largement supérieures (Macchiarelli *et al.* 2006, 2007, 2008 ; Olejniczak *et al.* 2008). Chez les spécimens étudiés, l'émail, réparti sur une surface plus importante et plus complexe (l'interface email-dentine), présente de ce fait une épaisseur plus faible.

Malgré les progrès de l'« anthropologie virtuelle », si les caractéristiques 3D des éléments dentaires permanents commencent à être partiellement connues, la structure interne des dents déciduales fossiles reste, quant à elle, à définir, en particulier en ce qui concerne l'arcade antérieure. Pour les quelques études menées jusqu'à présent (Mazurier, Macchiarelli 2005 ; Macchiarelli *et al.* 2006, 2007 ; Bayle *et al.* 2009a, b), les observations sont cohérentes avec celles réalisées pour les dents permanentes. En effet, une condition particulière semble caractériser les proportions des éléments constitutifs des dents déciduales néanderthaliennes, avec des volumes relatifs de dentine très importants associés à des proportions d'émail équivalentes à celles des spécimens

modernes étudiés. Néanmoins, jusqu'à présent, aucune denture complète n'a été examinée en 3D pour préciser l'ampleur des différences endo-structurales entre les Néanderthaliens et des représentants de l'humanité moderne fossile.

Grâce à l'utilisation d'un registre à haute résolution, le présent travail a pour but de comparer les caractéristiques internes des dents déciduales des mandibules de l'enfant néanderthalien du Roc de Marsal (Roc de Marsal 1) et d'un spécimen du Paléolithique supérieur final, l'enfant de La Madeleine (La Madeleine 4), ainsi que de quantifier les proportions volumétriques de leurs tissus.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le squelette du Roc de Marsal (RdM), découvert en 1961 à Campagne-du-Bugue près des Eyzies-de-Tayac (Dordogne, France) en contexte moustérien (Van Campo, Bouchud 1962 ; Turq 1985, 1989 ; Couchoud 2003 ; Thiébaud, 2003), appartient à un enfant néanderthalien (Piveteau 1962). Cet individu aurait été inhumé en contexte sépulcral (Bordes, Lafille 1962), le caractère intentionnel de la fosse étant toutefois remis en question dans une étude récente (Couchoud 2003). Bien que ce spécimen ait été attribué au stade isotopique 3 ou au début du stade 4, des analyses établies lors de la reprise récente des fouilles suggèrent plutôt une attribution au stade 5a (Sandgathe *et al.* 2005 ; cité par Tillier 2007). Ce spécimen, relativement complet et bien préservé, présente *in situ* ses 20 dents déciduales, ainsi que 21 éléments permanents (Legoux 1965 ; Tillier 1983 ; Madre-Dupouy 1992 ; Granat, Heim 2003 ; Bayle *et al.* 2009a). En comparaison avec des modèles actuels de maturation dentaire et osseuse, l'âge à la mort de cet enfant est estimé entre 2,5 et 4 ans, plus probablement entre 2,5 et 3 ans (Legoux 1965 ; Tillier 1983 ; Madre-Dupouy 1992 ; Granat, Heim 2003 ; Bayle *et al.* 2009a).

L'enfant de La Madeleine (LM4) a été découvert en 1926 à Tursac (Dordogne, France), en contexte sépulcral attribué au Magdalénien final (Capitan, Peyrony 1928). Des éléments de parure associés au squelette et du mobilier funéraire ont été découverts dans la fosse fortement ocrée (Vanhaeren, d'Errico 2001). Récemment, une analyse par ^{14}C AMS a fourni un âge de 10190 ± 100 ans BP (Gambier *et al.* 2000). La mandibule, bien conservée mais affectée par de nombreuses fractures, a été reconstruite en incluant les neuf dents déciduales retrouvées isolées dans la sépulture (Heim 1991). Sur la base de modèles

de développement modernes, l'âge dentaire et osseux de LM4 a été estimé entre 2 et 4 ans, plus probablement entre 3 et 4 ans (Heim 1991 ; Gambier *et al.* 2000 ; Bayle *et al.* 2009b).

La mandibule de RdM a été détaillée par microtomographie à rayonnement synchrotron (SR- μ CT) à l'European Synchrotron Radiation Facility de Grenoble (ESRF ligne ID17). Les images ont été réalisées à une énergie de 51 keV, les projections prises tous les $0,12^\circ$ et collectées par une caméra 2048×2048 « FRELON » (Bravin *et al.* 2003). Les sections virtuelles ont été reconstruites à partir des sinogrammes à une résolution de $45,5 \times 45,5 \times 45,7 \mu\text{m}^3$ (Mazurier *et al.* 2006).

L'arcade dentaire inférieure de LM4 a été numérisée par microtomographie (μ CT) au Centre de Microtomographie de l'Université de Poitiers (équipement X8050-16 « multi-échelle » Viscom AG ; caméra 1004×1004), à l'aide d'une énergie de 95 kV, d'une intensité de $395 \mu\text{A}$, de 32 intégrations/projection et en réalisant 1800 projections (une tous les $0,2^\circ$). Le volume final d'images a été reconstruit au format 984×984 , par l'intermédiaire du logiciel DigiCT v.1.15 (DIGISENS), à une résolution de $50,9 \times 50,9 \times 50,9 \mu\text{m}^3$ (Mazurier comm. pers.).

Toutes les dents déciduales ont fait l'objet d'une segmentation semi-automatique complétée de corrections manuelles, grâce aux logiciels AMIRA v. 3.1 et 4.1.2 (Mercury Computer Systems, Inc.) et ArtecCore v.1.0 (NESPOS Society), d'après la méthodologie décrite par Spoor *et al.* (1993) et adaptée ici à un traitement tridimensionnel des images. Les couronnes ont été virtuellement isolées des racines selon la méthode proposée par Olejniczak *et al.* (2008) et les rendus surfaciques des éléments dentaires obtenus par triangulation et lissage contraint à partir des données volumétriques (algorithme de « marching cube ») (Lorensen, Cline 1987).

La reconstruction virtuelle des mandibules de RdM et LM4 est présentée en figure 1.

Les tailles absolues et relatives et les proportions des éléments constitutifs des dents ont été estimées par l'intermédiaire des variables suivantes : V_t = volume total de la dent (mm^3) ; V_e = volume de l'émail (mm^3) ; V_d = volume total de la dentine (mm^3) ; V_p = volume total de la pulpe (mm^3) ; V_{cdp} = volume de dentine dans la couronne (incluant la pulpe) (mm^3) ; V_{cd} = volume de dentine dans la couronne (à l'exclusion de la pulpe) (mm^3) ; V_{cp} = volume de pulpe dans la couronne (mm^3) ; V_c = volume total de la couronne (mm^3) ;

V_{cdp}/V_c = pourcentage du volume de la couronne étant constitué de dentine et de pulpe ; S_{edj} = aire de l'interface émail-dentine (mm^2) ; AET = épaisseur moyenne de l'émail (mm) ; RET = épaisseur relative de l'émail (mesure sans dimension) (pour les détails méthodologiques, voir Kono 2004 ; Macchiarelli *et al.* 2006 ; Olejniczak *et al.* 2008 ; Bayle *et al.* 2009b).

Fig. 1 - Reconstruction virtuelle des mandibules de Roc de Marsal (a) et de La Madeleine (b).

Fig. 1—Virtual reconstruction of the Roc de Marsal (a) and the La Madeleine (b) mandibles.

La fiabilité et la reproductibilité des mesures ont été évaluées par deux observateurs (PB et un observateur indépendant). Les différences enregistrées pour les variables linéaires, surfaciques et volumétriques n'excèdent jamais 5 %, ce qui est compatible avec les résultats d'études précédentes utilisant le même type de méthodologie et des protocoles analytiques comparables (Kono 2004 ; Suwa, Kono 2005 ; Olejniczak, Grine 2006). De plus, les résultats obtenus par différentes techniques de microtomographie ont été récemment comparés et leur compatibilité validée (Olejniczak *et al.* 2007).

Dans le cas des incisives, les dents de notre échantillon les plus affectées par l'usure occlusale, les valeurs maximales entre les antérieures ont été retenues dans la mesure des variables linéaires, surfaciques et

volumétriques. Étant donné que la canine gauche de RdM est mal préservée (cassure de l'apex de la racine) et que la canine droite de LM4 est absente, leurs antérieures ont été utilisés. Par contre, compte tenu de la très bonne préservation des molaires, les valeurs moyennes entre les antérieures ont été calculées dans les deux cas.

À titre comparatif, les mandibules de huit enfants récents issus de trois collections ostéologiques françaises ont également été détaillées par microtomographie et analysées selon la méthodologie décrite précédemment. Dans cet échantillon, deux mandibules proviennent de la collection d'individus immatures d'âge et de sexe connus conservée à l'Institut d'Anatomie de Strasbourg ; cinq sont issues de la fouille de sauvetage du cimetière médiéval d'Usseau dans les Deux-Sèvres ; et une appartient à la collection de l'équipe Paléobiologie et Paléoanthropologie numérique de l'Université de Poitiers. Dans le tableau et les figures concernées, la valeur moyenne entre ces huit individus a été retenue (HM).

RÉSULTATS

Pour chaque élément dentaire, les résultats des douze variables virtuellement mesurées ou calculées pour les enfants du Roc de Marsal (RdM) et de La Madeleine (LM4) sont présentés dans le tableau I et comparés aux valeurs estimées pour l'échantillon actuel de comparaison (HM).

Les volumes totaux (V_t) de RdM excèdent systématiquement les valeurs modernes, qu'elles soient fossiles (LM4) ou actuelles (HM), avec des rapports décroissant dans le sens mésio-distal. Comme le montre la figure 2, l'incisive centrale néanderthaliennne est plus de deux fois plus volumineuse que la moyenne des incisives actuelles (HM) et environ 1,8 fois supérieure à celle de l'enfant magdalénien. En direction des éléments postérieurs, les rapports tendent à s'équilibrer progressivement, avec des valeurs approchant l'unité. Les différences observées dans les volumes totaux sont principalement dues aux variations de volume de la dentine (V_d) et de la pulpe (V_p), les volumes de l'émail (V_e) présentant des valeurs assez similaires dans les trois cas (*tabl. I*).

Cette conformation est illustrée par la figure 3, présentant, à titre d'exemple, la reconstruction 3D de la dm_2 de chaque spécimen fossile et d'un des spécimens actuels de comparaison, décomposée entre émail, dentine et cavité pulpaire. Il est possible de constater la

particularité de la dent néanderthalienne, caractérisée par une expansion relative et absolue de la dentine entre le collet et la bifurcation des racines. Aussi, le volume global de la cavité pulpaire est sensiblement plus important, notamment en raison de l'hypertrophie de la chambre. À ce propos, les dimensions réduites de la molaire

déciduale magdalénienne sont notables, et ce également en comparaison avec le spécimen humain récent (*tabl. I*).

Au niveau de la couronne, les volumes relatifs d'émail (Ve) et de dentine (Vcdp) sont comparés dans les diagrammes de la figure 4. Pour tous les éléments dentaires, le pourcentage de couronne étant constitué de

		Vt (mm ³)	Ve (mm ³)	Vd (mm ³)	Vp (mm ³)	Vcdp (mm ³)	Vcd (mm ³)	Vcp (mm ³)	Vc (mm ³)	Vcdp/Vc (%)	Sedj (mm ²)	AET (mm)	RET
<i>di₁</i>													
	RdM	125,35	12,72	100,63	12,00	40,53	37,42	3,11	53,25	76	60,48	0,21	6,12
	LM4	71,20	10,16	55,03	6,01	18,94	17,50	1,44	29,10	65	31,66	0,32	12,04
	HM	73,04	12,45	53,46	7,13	16,59	14,63	1,95	29,04	58	33,42	0,38	14,78
<i>di₂</i>													
	RdM	159,01	18,49	123,04	17,48	44,47	40,55	3,92	62,96	71	67,61	0,27	7,72
	LM4	100,75	16,96	75,67	8,12	25,86	24,12	1,74	42,82	60	47,11	0,36	12,17
	HM	94,66	18,58	65,23	10,85	21,06	18,65	2,42	39,65	53	43,77	0,43	15,68
<i>dc</i>													
	RdM	281,37	33,16	187,56	60,65	79,57	70,35	9,22	112,73	71	96,05	0,35	8,03
	LM4	210,01	32,87	150,80	26,34	59,76	56,16	3,60	92,63	65	70,76	0,46	11,88
	HM	186,05	32,49	122,55	31,01	48,51	44,25	4,26	81,00	60	65,23	0,50	13,84
<i>dm₁</i>													
	RdM	405,38	55,11	281,80	68,47	142,22	122,18	20,05	197,33	72	135,26	0,41	7,81
	LM4	285,34	56,82	196,14	32,38	101,26	89,99	11,27	158,08	64	99,78	0,57	12,22
	HM	286,35	54,22	185,31	46,81	87,92	76,76	11,16	142,15	62	95,01	0,57	12,91
<i>dm₂</i>													
	RdM	563,52	102,14	359,12	102,26	204,67	177,46	27,22	306,81	67	191,07	0,53	9,07
	LM4	517,80	129,94	327,75	60,11	178,02	163,96	14,06	307,96	58	152,85	0,85	15,11
	HM	472,51	104,79	288,36	79,36	155,82	140,46	15,36	260,61	60	138,07	0,76	14,17

Tabl. I - Mesures linéaires, surfaciques, volumétriques et proportions (%) des tissus des dents déciduales inférieures des enfants du Roc de Marsal (RdM ; Bayle et al. 2009a) et de La Madeleine (LM4 ; Bayle et al. 2009b) comparées à la condition humaine actuelle (HM). di₁ = incisive centrale déciduale inférieure ; di₂ = incisive latérale déciduale inférieure ; dc = canine déciduale inférieure ; dm₁ = première molaire déciduale inférieure ; dm₂ = seconde molaire déciduale inférieure. Vt = volume total de la dent (mm³) ; Ve = volume de l'émail (mm³) ; Vd = volume total de la dentine (mm³) ; Vp = volume total de la pulpe (mm³) ; Vcdp = volume de dentine dans la couronne (incluant la pulpe) (mm³) ; Vcd = volume de dentine dans la couronne (à l'exclusion de la pulpe) (mm³) ; Vcp = volume de pulpe dans la couronne (mm³) ; Vc = volume total de la couronne (mm³) ; Vcdp/Vc = pourcentage du volume de la couronne étant constitué de dentine et de pulpe ; Sedj = aire de l'interface émail-dentine (mm²) ; AET = épaisseur moyenne de l'émail (mm) ; RET = épaisseur relative de l'émail (sans dimension) (pour détails méthodologiques, voir Kono 2004 ; Macchiarelli et al. 2006 ; Olejniczak et al. 2008 ; Bayle et al. 2009a, b).

Table I—Linear, surface, volumetric measurements and tissue proportions (%) in the lower deciduous teeth of the Roc de Marsal (RdM; Bayle et al. 2009a) and La Madeleine (LM4; Bayle et al. 2009b) children compared to the present human condition (HM). di₁ = lower deciduous central incisor; di₂ = lower deciduous lateral incisor; dc = lower deciduous canine; dm₁ = lower deciduous first molar; dm₂ = lower deciduous second molar. Vt = total tooth volume (mm³); Ve = volume of the enamel cap (mm³); Vd = total volume of the dentine (mm³); Vp = total volume of the pulp (mm³); Vcdp = volume of crown dentine (including crown pulp) (mm³); Vcd = volume of crown dentine (excluding crown pulp) (mm³); Vcp = volume of crown pulp (mm³); Vc = total volume of the crown (mm³); Vcdp/Vc = percent of crown volume that is dentine and pulp; Sedj = surface area of the enamel-dentine junction (mm²); AET = average enamel thickness (mm); RET = relative enamel thickness (without measurement) (for methodological details, see Kono 2004; Macchiarelli et al. 2006; Olejniczak et al. 2008; Bayle et al. 2009a, b).

dentine et de pulpe (V_{cdp}/V_c) est toujours supérieur chez RdM, les valeurs étant comprises entre 67% et 76% chez le spécimen néanderthalien et entre 53% et 65% chez les modernes.

Quelle que soit la position de la dent dans l'arcade, l'aire de l'interface émail-dentine (S_{edj}) est systématiquement supérieure chez RdM, avec des proportions très importantes pour l'incisive centrale (*tabl. I*).

Tous les éléments de la denture de l'enfant néanderthalien présentent des épaisseurs moyennes et

relatives d'émail (AET et RET) inférieures à celles des individus modernes de comparaison, avec des valeurs relatives (RET) comprises entre 6,12 et 9,07 pour RdM et entre 11,88 et 15,68 pour LM4 et HM (*fig. 5*). Dans tous les cas analysés, l'épaisseur moyenne d'émail (AET) augmente depuis les couronnes antérieures vers les dents postérieures de l'arcade, une telle tendance n'étant toutefois pas identifiable pour les valeurs d'épaisseur relative (RET).

Fig. 2 - Comparaison des volumes totaux (V_t) des dents déciduales inférieures de Roc de Marsal 1 (RdM) et de La Madeleine 4 (LM4) par rapport à la condition humaine actuelle (HM).

Fig. 2—Comparison of total volumes (V_t) of the lower deciduous teeth of Roc de Marsal 1 (RdM) and La Madeleine 4 (LM4) compared to the present-day human condition (HM).

Fig. 3 - Reconstruction numérique des secondes molaires déciduales inférieures gauches (dm_2) de Roc de Marsal 1 (a), de La Madeleine 4 (b) et d'un spécimen humain actuel (c), réparties entre émail, dentine et cavité pulpaire.

Fig. 3—Digital reconstruction of the lower left deciduous second molars (dm_2) of Roc de Marsal 1 (a), La Madeleine 4 (b), and of a present-day human specimen (c), separated into enamel, dentine, and pulp cavity.

Fig. 4 - Comparaison des volumes des tissus de la couronne (V_e et V_{cdp}) des dents déciduales inférieures de Roc de Marsal 1 (RdM) et de La Madeleine 4 (LM4) par rapport à la condition humaine actuelle (HM).

Fig. 4—Comparison of crown tissue volumes (V_e and V_{cdp}) of the lower deciduous teeth from Roc de Marsal 1 (RdM) and La Madeleine 4 (LM4) with respect to the present-day human condition (HM).

Fig. 5 - Épaisseurs moyennes (AET ; mm) et relatives (RET ; sans dimension) de l'émail des dents déciduales de Roc de Marsal 1 (RdM) et de La Madeleine (LM4) en comparaison avec la condition humaine actuelle (HM).

Fig. 5—Average (AET; mm) and relative (RET; unitless) enamel thickness of the deciduous teeth from Roc de Marsal 1 (RdM) and La Madeleine (LM4), compared to the present-day human condition (HM).

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

L'étude radiographique de 25 molaires néanderthaliennes et 91 molaires du Paléolithique supérieur et du Mésolithique, proposée par Zilberman *et al.* (1992), reste la plus vaste analyse comparative réalisée jusqu'à présent sur les proportions des tissus des dents déciduales. Selon cette étude, en comparaison avec les dents modernes considérées, les spécimens néanderthaliens présentent des hauteurs de dentine comparables, mais des hauteurs et largeurs d'émail inférieures, et des hauteurs entre le collet et la base de la chambre pulpaire et des largeurs de dentine supérieures (Zilberman *et al.* 1992).

Des études récentes ont montré qu'une comparaison bidimensionnelle directe des hauteurs d'émail et de dentine, ne prenant pas en compte les différences structurales volumétriques de l'ensemble des tissus dentaires, ne reflétait pas la complexité (paléo)biologique de l'indicateur (*e.g.* Macchiarelli *et al.* 2007). L'analyse 3D à haute résolution de quelques dents néanderthaliennes antérieures et postérieures (Mazurier, Macchiarelli 2005 ; Macchiarelli *et al.* 2006, 2007), tend à confirmer les résultats obtenus par Olejniczak *et al.* (2008) sur 88 molaires permanentes (17 M1, 13 M2 et 12 M3 néanderthaliennes ; 7 M1, 15 M2 et 24 M3 actuelles), à savoir que des proportions de dentine très importantes associées à des volumes d'émail équivalents à ceux des humains modernes singulariseraient également les éléments de la denture primaire des Néanderthaliens.

Les résultats de la présente étude montrent que la denture déciduale de l'enfant du Roc de Marsal (RdM) présente, quelle que soit la position de l'élément dans l'arcade, des volumes totaux supérieurs à ceux mesurés chez le spécimen du Paléolithique supérieur final de La Madeleine (LM4) et chez huit individus actuels (HM), et ce selon des rapports décroissant mésio-distalement. Les volumes d'émail étant assez proches entre RdM et les individus modernes, ces différences seraient liées à des proportions de dentine et de pulpe nettement supérieures chez le Néanderthalien (Macchiarelli *et al.* 2006, 2007 ; Olejniczak *et al.* 2008), ce qui corrobore les observations réalisées pour deux dents déciduales, la canine S45 et la seconde molaire S14-5 du site moustérien de La Chaise (Charente, France, OIS 6) (Macchiarelli *et al.* 2006, 2007).

De la même façon, au niveau de la couronne, les données issues de cette étude appuient les résultats obtenus par l'étude des molaires permanentes, à savoir que le pourcentage de couronne constitué par de la dentine

et de la pulpe est systématiquement plus grand chez les Néanderthaliens que chez les individus modernes étudiés jusqu'à présent, et ce à toutes les positions de la denture postérieure (Olejniczak *et al.* 2008). L'émail des dents déciduales, à l'instar de celui des dents permanentes, est réparti sur une interface émail-dentine plus grande, tout en présentant des volumes similaires. Dans cette étude, comme dans celle d'Olejniczak *et al.* (2008), les épaisseurs moyennes et relatives d'émail présentent ainsi des valeurs inférieures chez les Néanderthaliens. Une augmentation de l'épaisseur moyenne de l'émail des éléments antérieurs vers l'arcade postérieure, déjà signalée pour les dentures permanentes d'Hommes modernes et de chimpanzés (Smith *et al.* 2008), est également observée pour les dentures déciduales néanderthaliennes et modernes incluses dans la présente étude (*contra* Olejniczak *et al.* 2008 pour les molaires permanentes). Toutefois, une telle tendance n'a pas été identifiée pour les valeurs d'épaisseur relative d'émail des dentures déciduales de la présente étude (*cf.* Olejniczak *et al.* 2008).

Bien que les investigations ne concernent pour le moment que six spécimens (ceux de cette étude et les dents isolées de La Chaise) (Macchiarelli *et al.* 2006, 2007), les résultats suggèrent que, dès les premiers stades de la croissance, les Néanderthaliens présentaient une organisation tissulaire différente de la condition moderne, incluant celle du Paléolithique supérieur final, et ce quelle que soit la position dentaire considérée.

Comme l'ont observé Olejniczak *et al.* (2008) pour les dents permanentes, la nature de ces différences n'est pas actuellement comprise. Bien que les travaux soient encore peu nombreux (Richards *et al.* 2001), une modification des habitudes alimentaires a pu entraîner une évolution des adaptations fonctionnelles des tissus dentaires (Olejniczak *et al.* 2008). D'autre part, des auteurs ont suggéré que des interfaces émail-dentine plus larges et plus complexes, comme celles présentées par les Néanderthaliens étudiés jusqu'à présent pour ce caractère, aient pu occasionner, lors de la croissance et du développement de l'organe dentaire, des forces de tension et de compression hétérogènes, entraînant des formes tissulaires (conformation et taille) distinctes (Suwa, Kono 2005 ; Macchiarelli *et al.* 2006 ; Olejniczak *et al.* 2008).

Enfin, des différences dans les mécanismes ontogénétiques entre les Néanderthaliens et les Hommes modernes pourraient être en relation avec ces contrastes dans la taille absolue et relative des dents et dans les proportions des tissus. Notamment, des variations dans les séquences de développement dentaire pourraient être

liées à des distributions volumétriques distinctes au sein des arcades dentaires. À ce propos, des observations préliminaires chez l'enfant du Roc de Marsal ont montré qu'un décalage dans la maturation des incisives (relativement retardée) par rapport à celle des molaires (relativement avancée) pouvait éventuellement être mis en relation avec des incisives plus de deux fois plus volumineuses associées à des molaires à peine plus volumineuses que celles des spécimens actuels de par notre échantillon de comparaison (Bayle *et al.* 2009a). Cependant, les études ayant caractérisé en 3D et à haute résolution la structure interne des dents fossiles et actuelles, et surtout sa variabilité intra- et inter-populationnelle, restent encore peu nombreuses, et il est probable que l'extension des recherches en « odontologie virtuelle » à ce niveau de précision dans le registre paléanthropologique, notamment dans celui du Paléolithique supérieur ancien, fournira des éléments permettant de préciser, dans une perspective paléobiologique et fonctionnelle, la nature de la « condition néanderthaliennne ».

Remerciements

Recherche financée par les projets européens EVAN (MRTN-CT-2005-019564), TNT, et le GDR 2152 du CNRS. Merci au Musée National de Préhistoire des Eyzies-de-Tayac (J.-J. Cleyet-Merle) pour l'accès aux spécimens du Roc de Marsal et de La Madeleine, à

l'Institut d'Anatomie de Strasbourg (J.-L. Kahn) et à l'UMR 5199 PACEA, équipe LAPP (M. Bessou, B. Maureille, P. Murail) pour le prêt des spécimens comparatifs inclus dans cette étude. Merci également aux équipes de l'ESRF, Grenoble (A. Bravin, C. Nemoz) et du Centre de Microtomographie de l'Université de Poitiers (R. Macchiarelli, P. Sardini) pour les acquisitions de ces spécimens, ainsi qu'à celle de la Société Études Recherches Matériaux, Poitiers (A. Mazurier) pour sa collaboration. Enfin, pour leur aide analytique et leurs commentaires sur le manuscrit, je tiens à remercier J. Braga, R. Macchiarelli et A. Mazurier. Le présent manuscrit a nettement bénéficié des commentaires de deux lecteurs anonymes. Les examens (SR-)μCT des mandibules du Roc de Marsal et de La Madeleine sont disponibles sur la plateforme NESPOS (<https://www.nespos.org/display/openspace/Home>).

BIBLIOGRAPHIE

- ADLOFF (P.) 1907, Die Zähne des *Homo primigenius* von Krapina, *Anatomischer Anzeiger* 31: 273-282.
- BAYLE (P.), BRAGA (J.), MAZURIER (A.), MACCHIARELLI (R.) 2009a, Dental developmental pattern of the Neanderthal child from Roc de Marsal: a high-resolution 3D analysis, *Journal of Human Evolution* 56: 66-75.
- BAYLE (P.), BRAGA (J.), MAZURIER (A.), MACCHIARELLI (R.) 2009b, Brief communication: High-resolution comparative analysis of the dental development in the Late Paleolithic child from La Madeleine, *American Journal of Physical Anthropology* 138: 493-498.
- BLUMBERG (J.E.), HYLANDER (W.L.), GOEPP (R.A.) 1971, Taurodontism: a biometric study, *American Journal of Physical Anthropology* 34: 243-256.
- BORDES (F.), LAFILLE (J.) 1962, Découverte d'un squelette d'enfant moustérien dans le gisement du Roc de Marsal, commune de Campagne-du-Bugne (Dordogne), *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 254 : 714-715.
- BRAVIN (A.), FIEDLER (S.), COAN (P.), LABICHE (J.-C.), PONCHUT (C.), PETERZOL (A.), THOMLINSON (W.) 2003, Comparison between a position sensitive germanium detector and a taper optics CCD "FRELON" camera for diffraction enhanced imaging, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 510: 35-40.
- CAPITAN (L.), PEYRONY (D.) 1928, *La Madeleine : son gisement, son industrie, ses œuvres d'art*, Librairie E. Nourry, Paris, 125 p.
- CONSTANT (D.A.), GRINE (F.E.) 2001, A review of taurodontism with new data on indigenous southern African populations, *Archives of Oral Biology* 46: 1021-1029.
- COUCHOUD (I.) 2003, Processus géologiques de formation du site moustérien du Roc de Marsal (Dordogne, France), *Paléo* 15 : 51-68.
- GAMBIER (D.), VALLADAS (H.), TISNERAT-LABORDE (N.), ARNOLD (M.), BESSON (F.) 2000, Datation des vestiges humains présumés du Paléolithique supérieur par la méthode du carbone 14 en spectrométrie de masse par accélérateur, *Paléo* 12 : 201-212.
- GORJANOVIC-KRAMBERGER (D.) 1907, Die Kronen und Wurzeln der Mahlzähne des *Homo primigenius* und ihre genetische Bedeutung, *Anatomischer Anzeiger* 31: 97-134.
- GORJANOVIC-KRAMBERGER (D.) 1908, Über prismatische Molarwurzeln rezenter und diluvialer Menschen, *Anatomischer Anzeiger* 32: 401-413.
- GRANAT (J.), HEIM (J.-L.) 2003, Nouvelle méthode d'estimation de l'âge dentaire des Néandertaliens, *L'Anthropologie* 107 : 171-202.
- GRINE (F.E.) 2004, Geographic variation in human tooth enamel thickness does not support Neandertal involvement in the ancestry of modern Europeans, *South African Journal of Science* 100: 389-394.
- GRINE (F.E.), KLEIN (R.G.) 1985, Pleistocene and Holocene human remains from Equus Cave, South Africa, *Anthropology* 8: 55-97.
- HEIM (J.-L.) 1991, L'enfant magdalénien de La Madeleine, *L'Anthropologie* 95 : 611-638.
- KEITH (A.) 1913, Problems relating to the teeth of the earlier forms of prehistorical man, *Proceedings of the Royal Society of Medicine* 6: 103-119.
- KEITH (A.), KNOWLES (F.) 1911, A description on teeth of Paleolithic men from Jersey, *Journal of Anatomy and Physiology* 46: 12-27.
- KONO (R.) 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: 121-146.
- LEGOUX (P.) 1965, Détermination de l'âge dentaire de l'enfant néandertalien du Roc-Marsal, *Revue Française d'Odonto-Stomatologie* 10 : 1-24.
- LEGOUX (P.) 1966, *Détermination de l'âge dentaire de fossiles de la lignée humaine*, Maloine SA, Paris, 307 p.
- LORENSEN (W.E.), CLINE (H.E.) 1987, Marching cubes: a high-resolution 3D surface construction algorithm, *Computer Graphics (ACM)* 21: 163-169.

- MACCHIARELLI (R.), BONDIOLI (L.), DEBÉNATH (A.), MAZURIER (A.), TOURNEPICHE (J.-F.), BIRCH (W.), DEAN (C.) 2006, How Neanderthal molar teeth grew, *Nature* 444: 748-751.
- MACCHIARELLI (R.), MAZURIER (A.), VOLPATO (V.) 2007, L'apport des nouvelles technologies à l'étude des Néandertaliens, in B. Vandermeersch, B. Maureille (éds), *Les Néandertaliens, Biologie et cultures*, Éditions du CTHS, Paris, p. 169-179.
- MACCHIARELLI (R.), BONDIOLI (L.), MAZURIER (A.) 2008, Virtual dentitions: touching the hidden evidence, in J.D. Irish, G.C. Nelson (eds), *Technique and application in dental anthropology*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 426-448.
- MADRE-DUPOUY (M.) 1992, *L'enfant du Roc de Marsal, Étude analytique et comparative*, Cahiers de Paléanthropologie, Éditions du CNRS, Paris, 299 p.
- MAZURIER (A.), MACCHIARELLI (R.) 2005, Anterior deciduous dentition in Neanderthals: topographic variation in enamel thickness and inner structural morphology, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 17 : 280 (abstract).
- MAZURIER (A.), VOLPATO (V.), MACCHIARELLI (R.) 2006, Improved noninvasive microstructural analysis of fossil tissues by means of SR-microtomography, *Applied Physics A* 83: 229-233.
- MENA (C.A.) 1971, Taurodontism, *Oral Surgery* 22: 812-823.
- MOLNAR (S.), HILDEBOLT (C.), MOLNAR (I.M.), RADOVCIC (J.), GRAVIER (M.) 1993, Hominid enamel thickness, I, The Krapina Neanderthals, *American Journal of Physical Anthropology* 92: 131-138.
- OLEJNICZAK (A.J.), GRINE (F.E.) 2005, High-resolution measurement of Neanderthal tooth enamel thickness by micro-focal computed-tomography, *South African Journal of Science* 101: 219-220.
- OLEJNICZAK (A.J.), GRINE (F.E.) 2006, Assessment of the accuracy of dental enamel thickness measurements using microfocal X-ray computed tomography, *Anatomical Record A* 288: 263-275.
- OLEJNICZAK (A.J.), TAFFOREAU (P.), SMITH (T.M.), TEMMING (H.), HUBLIN (J.-J.) 2007, Technical note: compatibility of microtomographic imaging systems for dental measurements, *American Journal of Physical Anthropology* 134: 130-134.
- OLEJNICZAK (A.J.), SMITH (T.M.), FEENEY (R.N.M.), 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: 12-23.
- PIVETEAU (J.) 1962, Apports nouveaux en paléontologie humaine, *Annales de Paléontologie* 48 : 289-297.
- RAMIREZ ROZZI (F.V.) 1996, Comment on the causes of thin enamel in Neanderthals, *American Journal of Physical Anthropology* 99: 625-626.
- RICHARDS (M.P.), PETTITT (P.B.), STINER (M.C.), TRINKAUS (E.) 2001, Stable isotope evidence for increasing dietary breadth in the European mid-Upper Paleolithic, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98: 6528-6532.
- SANDGATHE (D.), DIBBLE (H.L.), MCPHERRON (S.J.P.), TURQ (A.) 2005, *Roc de Marsal (Campagne du Bugue, Dordogne)*, Rapport d'opération pour l'année 2005, <http://www.oldstoneage.com>.
- SMITH (P.), ZILBERMAN (U.) 1994, Thin enamel and other tooth components in Neanderthals and other hominids, *American Journal of Physical Anthropology* 95: 85-87.
- SMITH (T.M.), TAFFOREAU (P.), REID (D.J.), GRÜN (R.), EGGINS (S.), BOUTAKIOUT (M.), HUBLIN (J.-J.) 2007a, Earliest evidence of modern human life history in North African early *Homo sapiens*, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 6128-6133.
- SMITH (T.M.), TOUSSAINT (M.), REID (D.J.), OLEJNICZAK (A.J.), HUBLIN (J.-J.) 2007b, Rapid dental development in a Middle Paleolithic Belgian Neanderthal, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 20 220-20 225.
- SMITH (T.M.), OLEJNICZAK (A.J.), REH (S.), REID (D.J.), HUBLIN (J.-J.) 2008, Enamel thickness trends in the dental arcade of humans and chimpanzees, *American Journal of Physical Anthropology* 136: 237-241.
- SPOOR (C.F.), ZONNEVELD (F.W.), MACHO (G.A.) 1993, Linear measurements of cortical bone and dental enamel by computed tomography: applications and problems, *American Journal of Physical Anthropology* 91: 469-484.

- SUWA (G.), KONO (R.T.) 2005, A micro-CT based study of linear enamel thickness in the mesial cusp section of human molars: reevaluation of methodology and assessment of within-tooth, serial, and individual variation, *Anthropological Science* 113: 273-289.
- THIÉBAUT (C.) 2003, L'industrie lithique de la couche III du Roc de Marsal (Dordogne) : le problème de l'attribution d'une série lithique au Moustérien à denticulés, *Paléo* 15 : 141-168.
- TILLIER (A.-M.) 1983, L'enfant néanderthalien du Roc de Marsal (Campagne du Bugue, Dordogne), Le squelette facial, *Annales de Paléontologie* 69 : 137-149.
- TILLIER (A.-M.) 2007, Naître et grandir en Europe au Paléolithique moyen. L'exemple des Néandertaliens, in B. Vandermeersch, B. Maureille (éds), *Les Néandertaliens, Biologie et cultures*, Éditions du CTHS, Paris, p. 139-149.
- TILLIER (A.-M.), ARENSBURG (B.), DUDAY (H.) 1989, La mandibule et les dents du Néanderthalien de Kebara (Homo 2) Mont Carmel, Israël, *Paléorient* 15 : 39-58.
- TRINKAUS (E.) 1983, *The Shanidar Neandertals*, Academic Press, New York, 502 p.
- TURQ (A.) 1985, Le Moustérien de type Quina du Roc-de-Marsal (Dordogne), *Bulletins de la Société Préhistorique Française* 82 : 46-51.
- TURQ (A.) 1989, Le squelette de l'enfant du Roc de Marsal. Les données de la fouille, *Paléo* 1 : 47-54.
- VAN CAMPO (M.), BOUCHUD (J.) 1962, Flore accompagnant le squelette moustérien découvert au Roc de Marsal, commune du Bugue, (Dordogne) et première étude de la faune du gisement, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 254 : 897-899.
- VANHAEREN (M.), D'ERRICO (F.) 2001, La parure de l'enfant de La Madeleine (fouilles Peyrony), Un nouveau regard sur l'enfance au Paléolithique supérieur, *Paléo* 13 : 201-237.
- ZILBERMAN (U.), SKINNER (M.), SMITH (P.) 1992, Tooth components of mandibular deciduous molars of *Homo sapiens sapiens* and *Homo sapiens neanderthalensis*: a radiographic study, *American Journal of Physical Anthropology* 87: 255-262.
- ZILBERMAN (U.), SMITH (P.) 1992, A comparison of tooth structure in Neanderthals and early *Homo sapiens sapiens*: a radiographic study, *Journal of Anatomy* 180: 387-393.