



HAL
open science

Abri Pataud - sédimentogenèse, paléopédologie, chronologie des dépôts.

Arnaud Lenoble, Safia Agsous

► To cite this version:

Arnaud Lenoble, Safia Agsous. Abri Pataud - sédimentogenèse, paléopédologie, chronologie des dépôts.. Bertran P., Lenoble A. Quaternaire continental d'Aquitaine: données nouvelles., Bertran P., Lenoble A., pp.45-58, 2012. halshs-00711185

HAL Id: halshs-00711185

<https://shs.hal.science/halshs-00711185>

Submitted on 26 Jun 2012

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.



Excursion AFEQ - ASF

30 mai - 01 juin 2012

Quaternaire continental d'Aquitaine : un point sur les travaux récents

sous la direction de
Pascal Bertran^(1, 2)
Arnaud Lenoble⁽²⁾

(1) Inrap Grand Sud-Ouest

(2) PACEA, CNRS-UMR 5199, Université Bordeaux 1



Fédération
des Sciences
Archéologiques
de Bordeaux





Excursion AFEQ – ASF en Aquitaine
du 30 mai au 01 juin 2012

Quaternaire continental d'Aquitaine : Un point sur les travaux récents

Sous la direction de Pascal Bertran^{1,2} et d'Arnaud Lenoble²

¹ INRAP Grand Sud-Ouest, Pessac

² PACEA, CNRS-UMR 5199, Université Bordeaux 1

avec la collaboration de

Julie Dabkowski (LGP, Meudon)
Paul Fernandez (PACEA, Talence, Paleotime)
Dominique Genty (LSCE, Gif-sur-Yvette)
Chantal Leroyer (CReAAH, Rennes)
Marion Hernandez (IRAMAT-CRPAA, Pessac)
Nicole Limondin (LGP, Meudon)
Norbert Mercier (IRAMAT-CRPAA, Pessac)

André Morala (MNP, Les Eyzies)
Jean-Pierre Platel (BRGM, Pessac)
Jean-Luc Schneider (EPOC, Talence)
Luca Sitzia (PACEA, Talence)
Jean-Pierre Tastet (EPOC, Talence)
Jean-Pierre Texier (PACEA, Talence)
Alain Turq (MNP, Les Eyzies)
Brigitte Van Vliet-Lanoë (Domaines Océaniques, CNRS, Plouzané)

Mise en page Carole Fondeville, Inrap



31 mai matin

Abri Pataud – sédimentogenèse, paléopédologie, chronologie des dépôts

Arnaud Lenoble¹, Safia Agsous²

¹ PACEA, UMR5199, Université Bordeaux, CNRS, bâtiment de géologie, avenue des facultés, 33405 Talence (a.lenoble@pacea.u-bordeaux1.fr)

² UMR 7194, Département de Préhistoire – MNHN, 1 rue René Panhard, 75013 Paris (agsous_sophie@yahoo.fr).

1. Introduction

Fouillé entre 1953 et 1964, l'Abri Pataud a apporté une contribution importante dans la définition de la première moitié du Paléolithique supérieur français. La stratigraphie livre en superposition 14 niveaux archéologiques couvrant la seconde partie du stade isotopique (SIM) 3 et le début du SIM 2. Cette séquence, en détaillant les différents faciès de l'Aurignacien et du Gravettien, complète celles des stratotypes de La Ferrassie et de Laugerie-Haute.

Avec trente-deux datations réalisées dans les années 60 par le laboratoire de Groeningen, cette séquence a participé à illustrer l'apport des datations ¹⁴C à la détermination de l'ancienneté des cultures préhistoriques. Le site est devenu par la suite une stratigraphie de référence pour apprécier l'application des évolutions méthodologiques de la datation au ¹⁴C pour la période du Paléolithique supérieur, que ce soit les datations par accélérateur de masse dans les années 80 (Mellars *et al.*, 1987) ou, plus récemment, les datations par ultrafiltration (Higham *et al.*, 2011).

Le site, enfin, offre un enregistrement sédimentaire détaillé qui, avec quelques autres sites du sud-ouest de la France (Les Peyrugues, La Grotte XVI, Laugerie-Haute, La Ferrassie, etc), forme régionalement les principales archives documentant la succession des environnements physiques pour la seconde partie du Pléistocène supérieur.

2. Historique des recherches

Découvert à la fin du siècle dernier, l'Abri Pataud a fait l'objet de plusieurs fouilles limitées jusqu'au début du XX^{ème} siècle. Des travaux méthodiques ont été menés entre 1953 et 1964 par Movius et son équipe (Movius, 1977). Le programme de recherche s'est appuyé sur les nouvelles méthodologies de l'époque : utilisation du carroyage et recours systématique aux datations

radiocarbone. Un nombre important de vestiges archéologique a été recueilli, estimé à 1 800 000 pièces (Chiotti et Nespoulet, 2007). L'étude de ce matériel a couvert les différentes facettes du registre archéologique : étude des productions lithiques, paléontologie, paléoanthropologie. Elle s'est complétée d'études paléoenvironnementales : sédimentologie, palynologie. Une synthèse de ces travaux a été présentée dans l'ouvrage dirigé par Bricker (1995).

En 1986, le site et l'étude ont été repris par H. de Lumley et son équipe. De nombreux travaux universitaires ont complété l'étude du matériel issu de la fouille Movius, dont une grande partie restait inédite (Nespoulet et Chiotti, 2007).

En 2005, R. Nespoulet et L. Chiotti ont repris la fouille du niveau archéologique 2 à industrie du Gravettien final. Le projet de recherche se concentre en premier lieu sur l'étude contextuelle et anthropologique du nombre exceptionnel de restes humains de ce niveau (plus de 200). Il s'accompagne également d'une révision des industries du Gravettien final, des vestiges témoignant des pratiques alimentaires et cynégétiques des paléolithiques, etc. (Nespoulet *et al.*, 2008).

Les premiers travaux géologiques ont été réalisés par W. Farrand (1975, 1995). Les objectifs de cette étude ont été : 1) de déterminer les sources sédimentaires ; 2) de rechercher les variations climatiques en raisonnant sur l'abondance, les dimensions et l'état de surface de la fraction caillouteuse, d'une part, et sur la reconnaissance des pédogenèses fossiles, d'autre part, et 3) recaler la stratigraphie du site au sein de la séquence régionale proposée par Laville (1973). Si les méthodes utilisées ne diffèrent pas significativement de ses contemporains, W. Farrand se dégage des paradigmes de l'époque en refusant l'idée d'un enregistrement continu en abri-sous-roche. En conséquence, l'auteur accorde une grande importance à la mise en évidence de hiatus et à la notion de taux de sédimentation, s'appuyant pour cela sur les dates radiométriques réalisées par l'équipe américaine.

L'étude stratigraphique et sédimentologique a été reprise dans les années 2000 par S. Agsous dans le cadre de son DEA puis de sa thèse (Agsous, 2008). La méthode retenue privilégie l'analyse de la structure et de la géométrie des dépôts. La comparaison du ou des lithofaciès caractérisant chaque unité avec ceux de dépôts documentés en milieu naturel fonde la détermination des agents de sédimentation. Cette approche se complète de la caractérisation des paléosols intercalés dans la séquence. L'ensemble des observations macroscopiques s'appuie, en outre, sur une observation des microfaciès et sur une quantification des principales caractéristiques sédimentologiques : texture, taux de carbonates et de matière organique, minéraux lourds.

3. Présentation du site

Le gisement se situe au pied de la corniche de calcaire coniacien qui surplombe le village des Eyzies-de-Tayac, en rive gauche de la Vézère. A 75 m NGF, la station préhistorique surmonte le fond de la vallée d'une vingtaine de mètres. Elle se place en sommet d'un versant qui se raccorde, à sa base, à une basse terrasse alluviale rapportée au dernier cycle climatique.

L'abri-sous-roche se développe dans les calcaires gréseux de la barre inférieure de la série coniacienne. Cette dernière se poursuit sur une trentaine de mètres pour former un puissant escarpement. Cet abrupt rocheux

se raccorde, à l'amont, à de longs versants frangeant d'anciens replats alluviaux portés en altitude par inversion de relief ou, encore, à de vieilles surfaces façonnées dans la couverture détritique éocène (Konik, 1999).

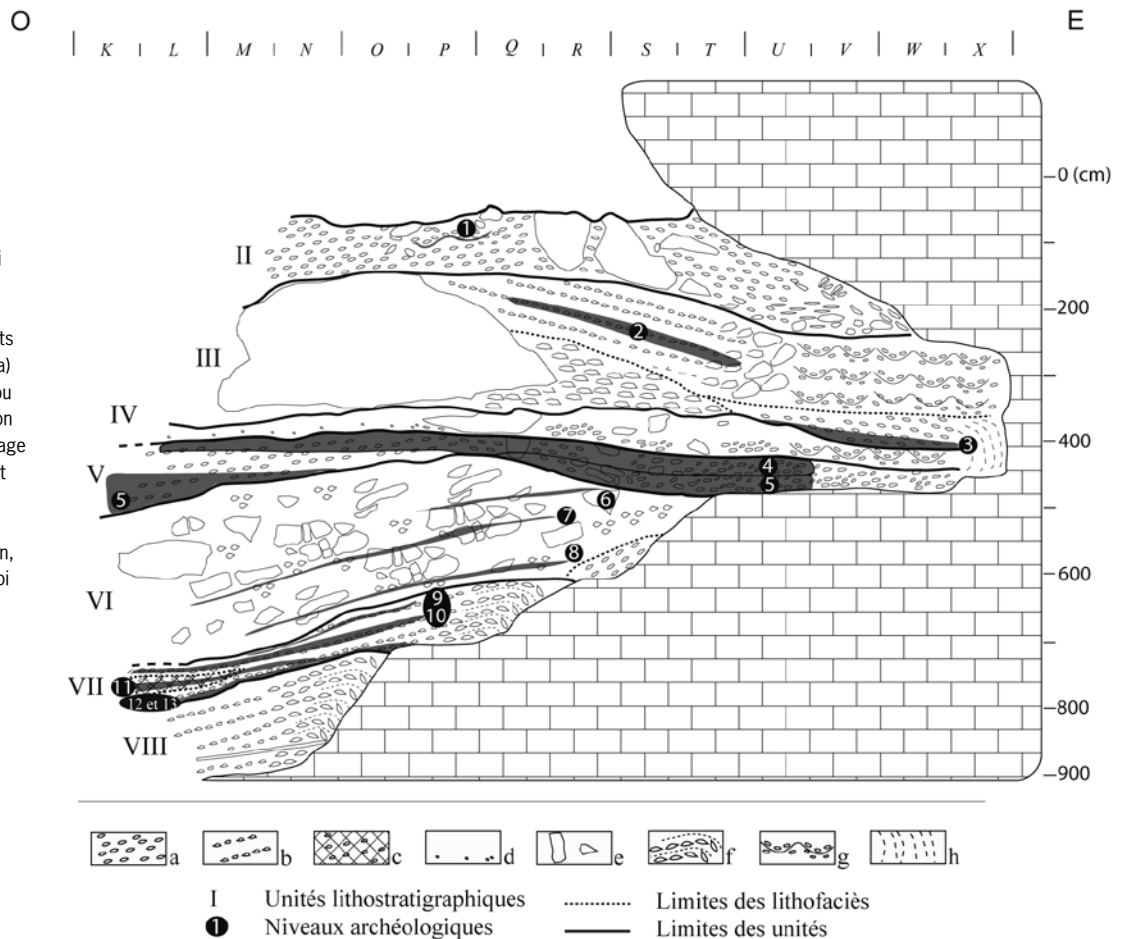
Les vieilles formations sédimentaires et les produits d'altération du bâti carbonaté alimentent les formations superficielles de versant. Ces dernières, si elles ne sont pas canalisées par les vallons encaissés qui affluent vers la Vézère, édifient des prismes colluviaux qui empâtent l'escarpement coniacien. La station préhistorique se place à la terminaison nord de l'un de ces édifices colluviaux.

L'abri s'ouvre au nord / nord-ouest. Il est formé par la gélifraction du calcaire coniacien. Ce mode de formation est attesté par le débit de la roche en séries de plaquettes sub-verticales, que ce soit à la base du remplissage ou en fond d'abri. Cette fissuration offre autant de témoignages des différentes positions du front de gel ayant généré le creusement de l'abri.

4. Lithostratigraphie

La détermination des géométries de dépôts et des hiatus, d'une part, et des faciès lithologiques, d'autre part, conduit à individualiser huit unités lithostratigraphiques (fig. 1). Les équivalences entre ces

Figure 1 : Représentation synthétique de la coupe nord du gisement. L'unité lithostratigraphique 1, qui n'est préservée que sur le témoin sud, n'est pas représentée. Les différents faciès lithologiques sont a) solifluxion sous pelouse ou cryoreptation, b) solifluxion à front pierreux, c) charriage torrentiel, d) ruissellement concentré, e) éboulis gravitaire, f) figure de fauchage, g) cryoturbation, h) affaissement de la paroi débitée en plaquettes.



unité, les subdivisions stratigraphiques de Farrand et le découpage archéologique de Movius sont portées dans le **tableau 1**.

Nous reprenons ici les principales caractéristiques sédimentologiques des unités lithostratigraphiques

et nous renvoyons le lecteur à la thèse de S. Agsous (2008) pour une description détaillée de ces dernières. L'interprétation des agents de sédimentation se base sur les contributions regroupées dans l'ouvrage dédiée aux signatures lithologiques des dépôts de pente (Bertran, 2004).

Age (intervalles C14 cal. B.P. à 2 sigma)	Stratigraphie Movius (1977)		Stratigraphie Farrand (1995)		Stratigraphie Agsous <i>et alii</i> (2006)	
	Niveaux	Attribution culturelle	Strates	Pédogenèse	Unité litho- stratigraphiques	Paléosol
	0/1		a		I	
23 280 – 25 610	1	Solutréen ancien (?) ou moyen			II	
	1/2			Sol jeune	III	P 2
25 850 - 27 740	2	Gravettien final				
	2/3 jaune			lessivage (Pataud)		
	2/3 brun rouge					
26 910 - 28 420	3	Gravettien récent			IV	P 3
	3/4 jaune			Paléosol (Tursac)		
	3/4 rouge					
	3/4 ocre					
30 910 – 32 110	4	Gravettien moyen	c	V	P 4	
	4/5		d			
31 570 – 33 290	5	Gravettien ancien	e	décarbonatation (Kesselt)	VI	
	5/6		f	décarbonation et altération des argiles (Arcy)		
34 960 - 37 460	6	Aurignacien évolué				
	6/7					
35 500 – 38 730	7	Aurignacien évolué				
	7/8					
35 010 – 38 850	8	Aurignacien évolué				
	8/9					
36 750 – 39 370	9	Aurignacien ancien				
	9/10					
36 970 – 39 950	10	Aurignacien ancien				
35	10/11 jaune					
	10/11 lavis					
	10/11 brun foncé					
36 810 – 40 960	11	Aurignacien ancien				
	11/12					
36 780 – 40 960	12	Aurignacien ancien				
	12/13					
37 670 – 41 250	13	Aurignacien ancien				
	13/14					
38 100 – 42 080	14	Aurignacien ancien				
	Eboulis de base			VII	P 5	
				VIII	P 6	

Tableau 1 : Correspondances entre la stratigraphie de Farrand (1975), l'archéostratigraphie de Movius (1977) actualisée par Nespoulet et Chiotti (2007), la stratigraphie proposée par Agsous *et alii* (2006) et la succession de paléosols déterminée par Agsous (2008). Les âges sont établis en déterminant l'intervalle couvrant l'ensemble des dates calibrées produites par Higham *et alii* (2011) pour les niveaux aurignaciens et le niveau du Gravettien moyen, l'ensemble des nouvelles dates obtenues par Henry-Gambier *et alii* (sous presse) pour le Gravettien final et les dates à faible écart-type respectant l'ordonnement stratigraphique pour les autres niveaux gravettiens.

Ces caractéristiques sédimentaires et leur interprétation sont décrites ci-dessous, du bas vers le haut.

- Unité VIII

Cette unité, épaisse de 1,2 à 1,3 m, couvre directement le substratum calcaire à l'avant de l'abri. Elle est adossée à une marche du rocher. Le faciès est celui d'un ensemble très sommairement stratifié de débris calcaires, de plaquettes et de cailloux, colmaté d'un sable fin micacé jaune pâle (10YR 8/4). On relève la présence d'une figure de fauchage par orientation progressive dans le plan de stratification des plaquettes libérées au niveau du redan rocheux. Le faciès général à stratification rudimentaire et cette figure de fauchage conduisent à reconnaître dans cette unité un dépôt de solifluxion pelliculaire, ou cryoreptation, principalement nourri par la désagrégation du calcaire encaissant.

- Unité VII

Cette unité prend naissance dans la partie médiane du gisement, appuyée sur les ressauts du rocher. Elle est inclinée d'une quinzaine de degrés en direction du versant. Le dépôt augmente progressivement d'épaisseur vers l'extérieur de l'abri pour atteindre une puissance maximale de 1,1 m à l'extrémité sud-ouest du site. Deux principaux faciès y sont observés. Le premier est un faciès d'éboulis bien stratifié (**fig. 2a**), où peuvent être relevés 1) un litage par alternance de lits grossiers à structure semi-ouverte et de lits fins dépourvus de cailloux, 2) des granoclasses normaux, inverses ou doubles, 3) des figures de fauchages associées aux marches du rocher, 4) une microstructure lamellaire triée (**fig. 3a**) et une accumulation des limons à la base des lits caillouteux (semelle limoneuse, **fig. 3b**) attestant du rôle du gel dans l'édification des dépôts. L'ensemble de ces caractéristiques conduisent à y reconnaître des dépôts liés à la progression de coulées de solifluxion à front pierreux. Des figures de fauchage comparables à celle notée dans l'unité sous-jacente caractérisent le contact entre les dépôts et les marches du rocher (**fig. 2b**). Le second faciès caractérise un corps sédimentaire de 0,5 m d'épaisseur présent dans la partie extérieure du gisement, intercalé en biseau au sein des éboulis bien stratifiés. Ce corps sédimentaire est incliné vers le nord, c'est à dire de façon oblique par rapport au versant. Les sédiments s'individualisent par leur stratification mal exprimée, leur teinte brune (7,5YR 5/6) à brun clair (7,5YR 6/4), leur forte charge en sables micacés, ainsi que par le tri et l'éroussé des cailloux calcaires et la présence de lentille à granoclassement vertical normal. Toutes ces caractéristiques permettent d'y reconnaître un dépôt de charriage torrentiel en relation avec le cône colluvial en marge duquel s'inscrit le site.

- Unité VI

Cette unité a une morphologie de prisme épais de 2 m à son apex, barrant transversalement l'abri à son entrée. Sa limite inférieure est nette, inclinée d'une dizaine de degrés en direction du versant. Il s'agit pour l'essentiel d'un dépôt massif formé d'une imbrication de blocs,

de cailloux hétérométriques et de dalles calcaires dans lequel on reconnaît un éboulis gravitaire. En partie supérieure de ce dépôt peut être observée une série de dalles juxtaposées dont certaines, fragmentées *in situ*, témoignent du détachement de bancs entiers du toit de l'abri. Quelques fins lits limoneux beiges (10YR 7/4), intercalés dans l'éboulis supportent les nappes de vestiges archéologiques. Ces intercalations témoignent du caractère graduel de l'édification de l'unité.

- Unité V

Unité épaisse de 0,4 à 1 m, à limite inférieure nette, inclinée du sud vers le nord et se déversant transversalement vers le fond d'abri, d'une part, et en direction du versant, d'autre part. Le faciès est celui d'un dépôt massif à support matriciel et à orientation des débris conforme au plan de stratification. Un litage rudimentaire s'exprime par l'abondance variable en débris cailloux, granules et en vestiges préhistoriques, ainsi que par les variations de couleur s'échelonnant du brun (10YR 4/4) au jaune (10YR 7/6) en passant par le brun rougeâtre (5YR 5/6). La stratification grossière, l'absence de tri et la fabrication des débris conduisent à y reconnaître un dépôt de solifluxion sous pelouse. Une figure sédimentaire remarquable corrobore ce diagnostic. Elle est formée de la déformation et du rebroussement des lits au contact et en contrebas d'un bloc métrique (**figure 2c**). On reconnaît dans cette figure un bourrelet de bloc laboureur.

- Unité IV

Unité à limite inférieure nette principalement formée d'un ensemble de limons sableux massifs brun jaune (10YR 6/6) de 0,4 m d'épaisseur. Des lentilles pluricentimétriques riches en granules s'individualisent en partie supérieure du dépôt. La dimension, la texture du comblement et la morphologie à base concave de ces figures permet d'y reconnaître des rigoles. Ces dernières et l'observation, sous le microscope, d'une lamination par alternance de passées sableuses et limono-sableuses (**fig. 3d**), permet de reconnaître un dépôt de ruissellement. A la base et dans la partie arrière du site se rencontre une accumulation plurimétrique de 0,7 m de puissance de petites dalles semi-métriques et de cailloux d'orientation quelconque colmatés par un sable limoneux jaune brun (10YR 6/6). On y reconnaît un épisode de d'accumulation de débris détachées des parois et de la voûte (éboulis gravitaire). Au sommet de cet éboulis, des poches décimétriques aux bordures soulignées par une disposition en arc de cercle des cailloux calcaires (**fig. 2d**) permettent de reconnaître des petites cryoturbations. Ces dernières témoignent d'un gel pénécotemporain.

- Unité III

Unité épaisse de 2,5 m à limite inférieure nette. Sa morphologie est celle d'un talus à double pente dont le sommet est situé sous la ligne d'auvent. Le dépôt livre une double série de faciès disposés en toposéquence. La base de l'unité est soulignée par des dalles métriques

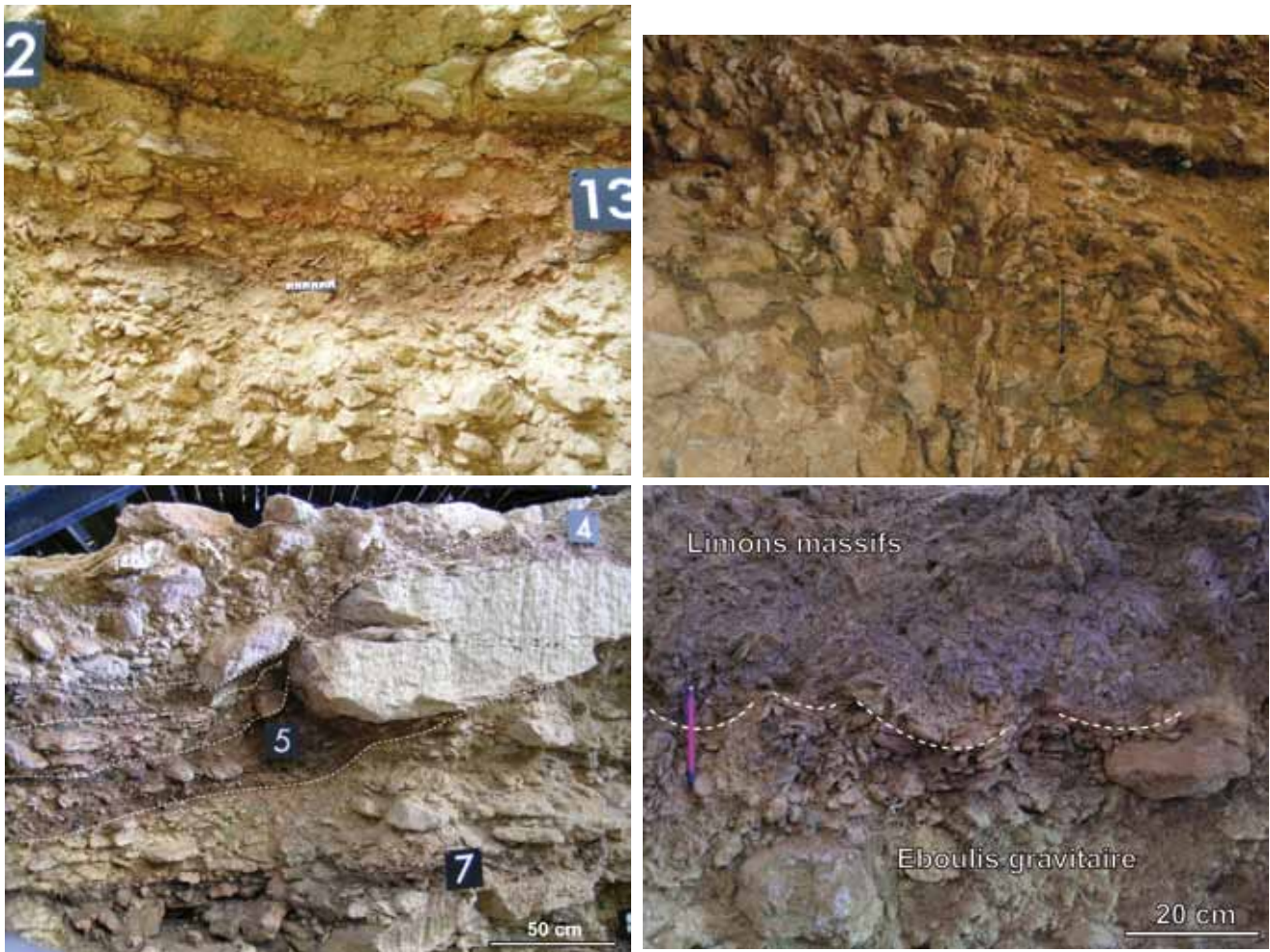


Figure 2 : Lithofaciès et figures sédimentaires. A - faciès lités de la base de l'unité VII. Noter la superposition de lits caillouteux et de lits « gras » ainsi que les granoclassements développés au contact des différents lits. B - figure de fauchage observée dans l'ensemble VII, au niveau d'un redan du substratum rocheux. L'échelle est donnée par le crayon. C - figure de déformation et de compression des lits de l'unité V en contrebas d'un bloc métrique. On reconnaît dans cette figure l'expression d'un bloc laboureur dans un environnement de solifluxion sous pelouse. D - petites cryoturbations observées en fond d'abri et développées au sommet des dépôts gravitaire de l'unité IV.

à supra-métriques et par un très gros bloc localisé à l'aplomb de la ligne d'égouttement. Cette accumulation de débris calcaires non triés signe un épisode gravitaire témoignant d'une mise en équilibre du profil de voûte. En direction de la paroi, un dépôt massif de cailloux et plaquettes à support clastique et à structure fermée chevauche et relaie le précédent faciès. La matrice sablo-limoneuse présente une microstructure vésiculaire. Des variations de teinte, allant du jaune (10YR 7/6) au jaune brun (10YR 6/6) voire au brun (10YR 5/6), confèrent au dépôt un aspect rubané. On rapproche ce faciès de celui de l'unité V pour y reconnaître, de la même façon, un dépôt de solifluxion sous pelouse.

La partie supérieure de l'unité est constituée d'un dépôt de cailloux et de plaquettes bien stratifiés par superposition de lits caillouteux et de lits matriciels. Ce faciès est développé sur la pente interne du talus d'entrée. Il présente les critères diagnostiques : litage, granoclassements normaux ou inverses, structure lamellaire (fig. 2e), qui permettent d'y reconnaître des dépôts de solifluxion à front pierreux. A proximité de la paroi, le dépôt est subhorizontal. Le litage disparaît alors pour laisser place à un diamicton à support

matriciel et fabrique isotrope des débris (fig. 4). On y reconnaît un dépôt cryoturbé dans la zone déprimée de fond d'abri. Le contact entre les deux secteurs correspond à une zone riche en cailloux de grande taille dont certains sont inclinés à contre-pente. Ces accumulations de cailloux signent les fronts des coulées. C'est au sein de ces dépôts bien stratifiés que s'intercalent les niveaux archéologiques du Gravettien final (« Protomagdalénien ») qui font l'objet d'une reprise de fouille depuis quelques années.

- Unité II

Unité de 0,85 m, à limite inférieure progressive, disposée en dièdre incliné en direction de la paroi et vers l'extérieur de l'abri. Le faciès est celui d'un diamicton à support matriciel (faciès « Head »), riche en cailloux émoussés à arrondis vers l'extérieur du site et en plaquettes anguleuses bien orientées à proximité de la paroi. La microstructure est vésiculaire. Les nombreuses coiffes limoneuses et le redressement des éléments allongés témoignent d'un gel synsédimentaire (figure 2f). On y reconnaît un dépôt de solifluxion pelliculaire ou cryoptation.

- Unité I

Unité de 2 m d'épaisseur à limite inférieure nette inclinée en direction de la paroi. Le faciès est celui d'un dépôt de dalles se chevauchant, parfois très grosses et fragmentées *in situ*. Le chevauchement des dalles et

leur colmatage par des blocs et des cailloux anguleux, non triés et imbriqués, indiquent que l'éboulisation est responsable de l'édification de cette unité.

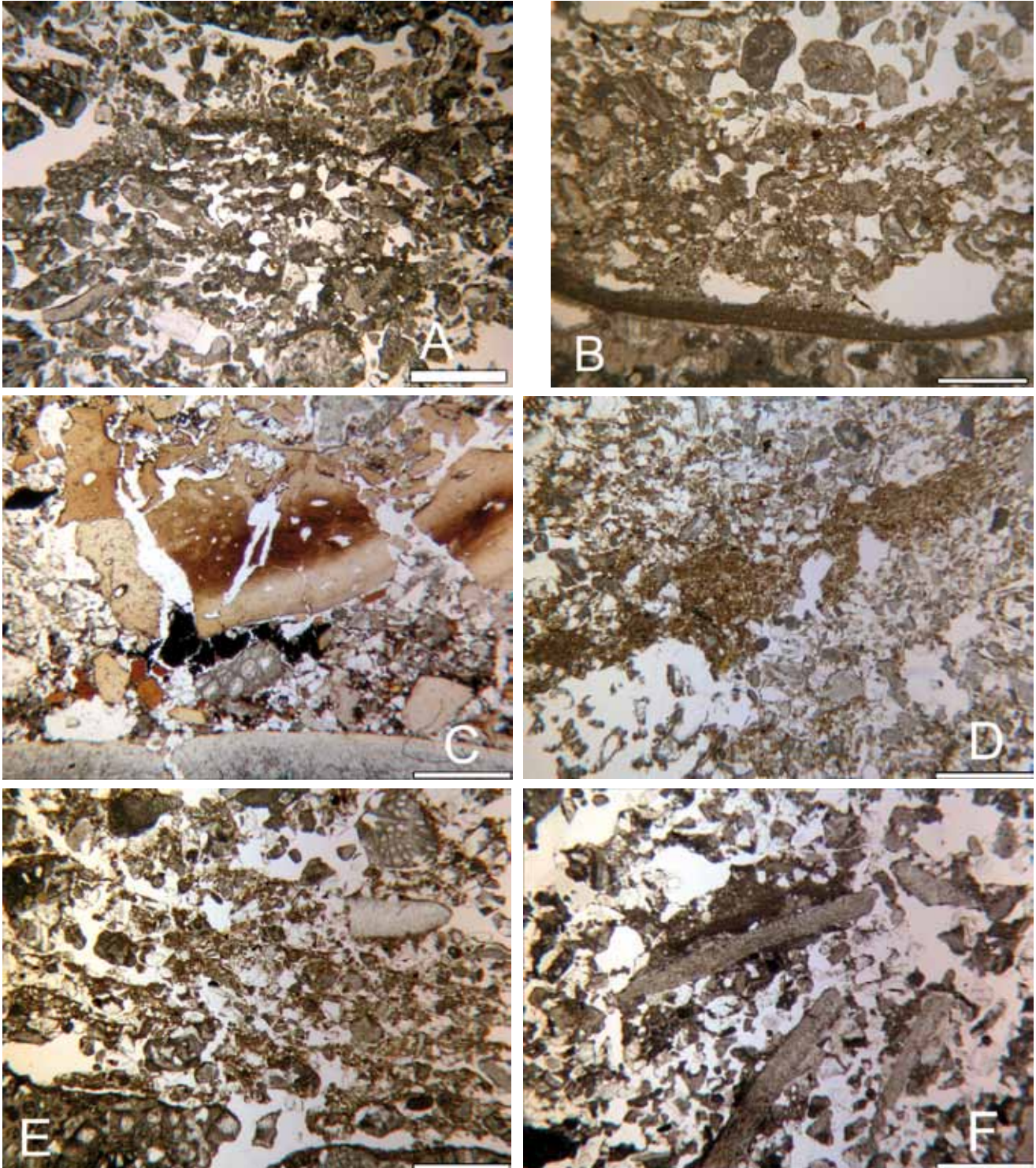
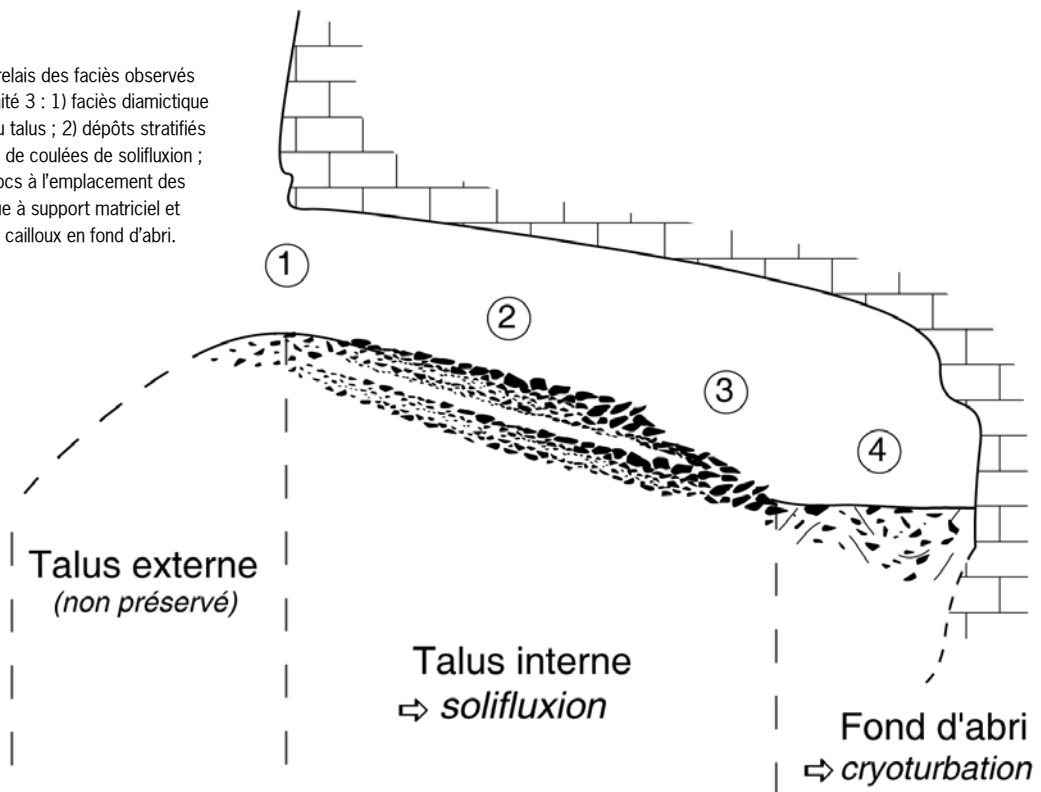


Figure 3 : Traits micromorphologiques des dépôts de l'Abri Pataud, selon Agsous (2008). A - Unité VII, faciès d'éboulis bien stratifié, structure lamellaire triée (trait 1 mm). B - Unité VII, faciès d'éboulis bien stratifiés, semelle limoneuse développée à l'interface entre un lit caillouteux et un lit matriciel (trait 0,4 mm). C - Unité V, os altéré. Noter la fragmentation et l'étalement des éléments archéologiques imputés à la déformation et l'étirement des sédiments par solifluxion (trait 1,2 mm). D - Unité IV, microstructure litée par alternance de lamines limoneuses et sableuses (trait 1,5 mm). E - Unité III, faciès de dépôts à stratification rudimentaire, ébauche de microstructure lamellaire triée (trait : 1,7 mm). F - Unité II, coiffes et éléments allongés redressés témoignant du rôle de la ségrégation de glace dans la formation du dépôt (trait 1,7 mm).

Figure 4 : Organisation en relais des faciès observés en partie supérieure de l'unité 3 : 1) faciès diamictique observé en partie amont du talus ; 2) dépôts stratifiés générés par la progression de coulées de solifluxion ; 3) lentilles de cailloux et blocs à l'emplacement des fronts ; 4) faciès diamictique à support matriciel et orientation quelconque des cailloux en fond d'abri.



5. Paléosols

Ont été reconnus comme paléosols les horizons témoignant d'une altération postérieure au dépôt ou les horizons pour lesquels un enrichissement en matière organique d'origine naturelle a pu être établi. Cette diagnose se base sur la mesure du carbone organique sur la fraction des limons et argiles (fig. 5). Le caractère naturel de ces apports est déterminé par l'observation des microfaciès, d'une part, et par la constatation d'une absence de corrélation entre taux de matière organique et abondance en vestiges archéologiques, d'autre part. Sept paléosols ont été reconnus, dénommés P0 à P6 du sommet à la base du remplissage. Ils se regroupent en trois catégories.

- **Sol humifère jeune** : Ces sols se caractérisent par une teinte plus sombre du dépôt et une augmentation corrélative du taux de carbone organique, ainsi que par une absence de variation notable du taux de carbonates vis-à-vis des sédiments sous et sus-jacents. Trois horizons relevant de cette catégorie ont été reconnus. Ils forment des lits colorés épais d'une dizaine de centimètres au sein des faciès de dépôts massifs type *head*, à la base (P6, unité VIII) ou au sommet (P0 et P1, unité II) du remplissage. Ces paléosols sont interprétés comme des sols jeunes (horizon humique) liés au développement d'une couverture végétale vraisemblablement discontinue.

- **Sol humifère carbonaté** : Ces sols ont en commun avec les précédents une teinte plus sombre que les sédiments encaissants ainsi qu'une plus forte valeur du taux de

carbone organique. Ils s'en distinguent toutefois par leur épaisseur plus importante, leurs caractères chromatiques plus affirmés : brun rouge, brun sombre à brun noir, et par une altération des débris calcaires attestant de l'amorce de formation d'un horizon d'altération. Les horizons relevant de ce type de sols livrent également, sous le microscope, des figures d'attaque bactérienne des ossements (fig. 2c), ainsi que des traits biologiques - chenaux et déjection de la faune du sol. Ces sols sont rapprochés des rendosols ou des rendisols (Baize et Girard, 1995 ; Bertran, 2005).

Trois sols de ce type sont reconnus : le paléosol P5 se superpose aux dépôts de charriage torrentiel de l'unité 7 tandis que les paléosols P2 et P4 sont associés au faciès de solifluxion sous pelouse de la base de l'unité III et de l'unité V, respectivement.

- **Gélisol** : La plupart des microstructures de gel observées dans les sédiments sont syngénétiques. Un unique profil épigénétique a été reconnu. Il est formé d'une structure lamellaire superposée aux limons bruns de l'unité IV. L'épaississement graduel des lamelles et la profondeur limitée du profil (0,15 m) permettent d'y reconnaître un sol formé par succession de gels saisonniers (Van Vliet-Lanoë, 1987).

6. Evolution du système morpho-sédimentaire

L'Abri Pataud offre un bel exemple d'évolution du système morpho-sédimentaire. La prise en compte de la topographie dans laquelle les dépôts s'édifient, du rapport entre comblement et creusement de l'abri au fur et à mesure de son développement, et de l'évolution des sources sédimentaires conduisent à distinguer quatre stades.

Stade de jeunesse : Ce stade se caractérise par une croissance du volume de l'abri. Il correspond à la mise en place des unités lithostratigraphiques VII et VIII. Au cours de cette phase, l'abri est ouvert et présente un sol incliné en direction de la vallée. Les débris issus des parois sont évacués en dehors de l'abri par des dynamiques de redistribution au premier plan desquelles la solifluxion à front pierreux. L'évacuation des débris assure alors une augmentation du volume de l'abri au fur et à mesure de son creusement. La prédominance des apports liés au creusement de l'abri se signe par des teneurs toujours significatives des minéraux lourds présents dans l'encaissant calcaire : staurotide, tourmaline et minéraux du titane (fig. 5). Le caractère

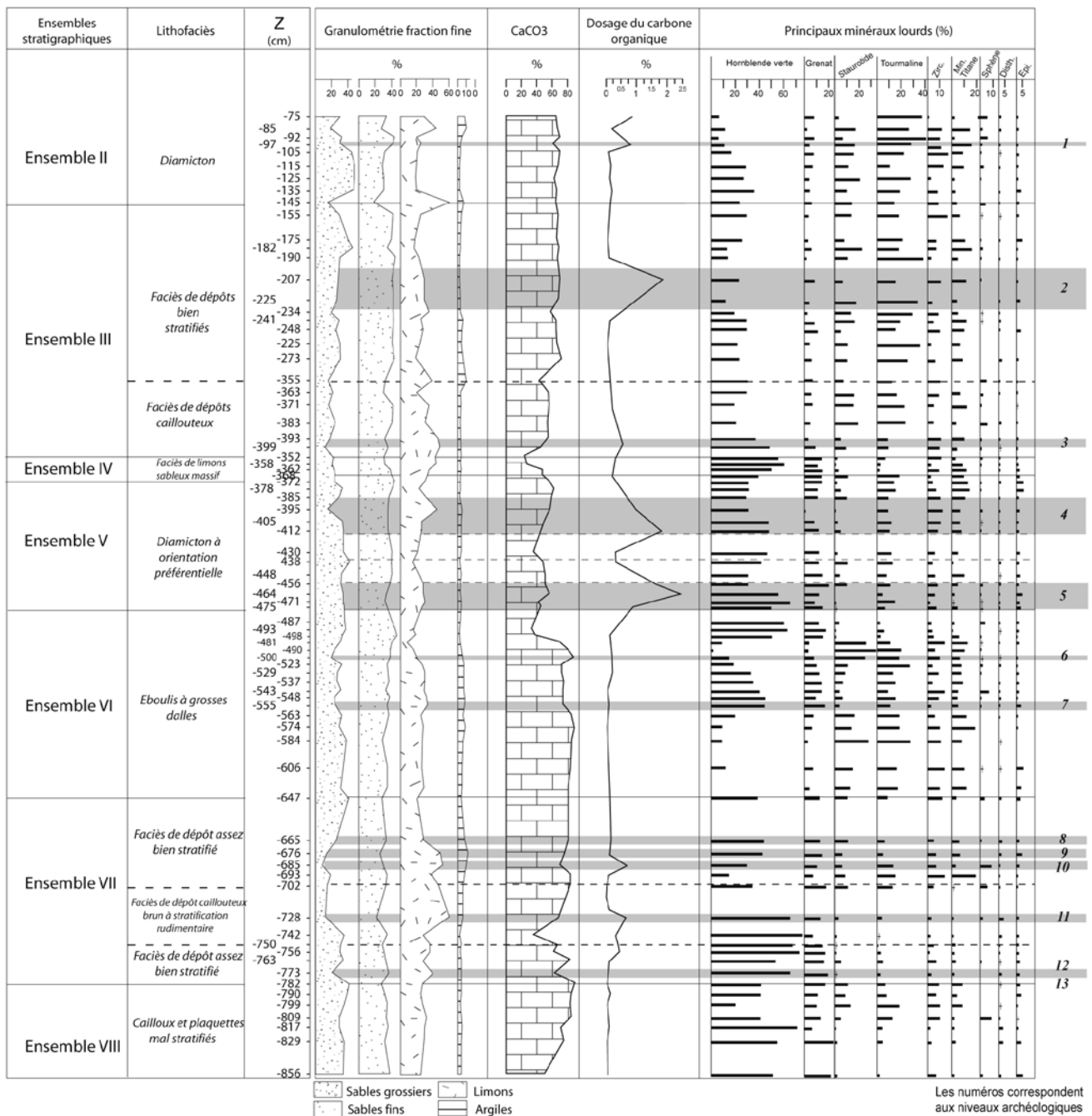


Figure 5 : Evolution des taux de carbonates, de carbone organique et de la minéralogie de la fraction lourde des sables au sein du remplissage de l'abri, selon Agsous (2008). Les échantillons ont été prélevés sur la coupe nord du gisement. L'unité I et le niveau archéologique 14 ne sont en conséquence pas représentés.

ouvert de l'abri et sa situation en regard de la vallée le rendent sensible aux apports extérieurs d'origine éolienne. Cela se traduit par un taux variable et parfois élevé de minéraux issus des alluvions de la Vézère (hornblende, grenat et épidote). Cette situation cesse avec la mise en place de l'unité VI, dominée par une sédimentation gravitaire. La production d'un volume important de bloc et cailloux conduit à la mise en place d'un prisme détritique qui ferme l'abri. Cet éboulement, qui se fait en partie par effondrement de bancs entiers de la voûte, est une réponse du système morphodynamique à cette phase de croissance, en particulier lorsque la capacité de portance des bancs du rocher est dépassée suite à l'accroissement de l'abri.

Stade de maturité : Ce stade se caractérise par un maintien du volume de l'abri où apport de sédiment et creusement de la roche se compensent. Au cours de cette phase se mettent en place les unités V et IV. La sédimentation se fait selon une géométrie complexe où entre en jeu un système de double talus (interne et externe) exprimant le développement d'un éventail détritique. Ce dernier est nourri par des apports latéraux en provenance du cône colluvial situé au sud de l'abri et, dans une moindre mesure, par une fraction caillouteuse issue de la dégradation des parois et de la voûte. La signature minéralogique des dépôts se caractérise par des teneurs élevées et assez constantes de la fraction exogène où se mêlent apports éoliens (hornblende, grenat) et minéraux résistants (zircon et minéraux du titane). L'association de ces catégories traduit une mixité où les produits dérivés des altérites sont mélangés au saupoudrages éoliens dans les colluvions en transit sur les versant avant que ces derniers ne soient détournés dans le site via le cône colluvial qui alimente l'abri en sédiments.

Stade de sénescence : Ce stade se caractérise par une diminution progressive du volume de l'abri. Il correspond à la mise en place des unités III et II. La poursuite des apports gravitaires à l'entrée de l'abri et, surtout, la chute de blocs très volumineux au niveau de l'auvent, rendent prééminent l'influence du prisme développé à l'aplomb de la ligne d'égouttement. Les agents de sédimentation, la solifluxion en particulier, sont à l'origine d'une redistribution des débris vers le fond de l'abri. La sédimentation est alors plus rapide que le creusement de l'abri. Il en résulte un comblement progressif de ce dernier. La réponse minéralogique de cette évolution est nette : les minéraux issus de l'encaissant coniacien sont majoritaires (staurotide, tourmaline, minéraux du titane), reflétant le caractère dominant des apports liés à la dégradation du rocher.

Stade de fossilisation : Cette étape correspond à la disparition complète de l'abri sous les grandes dalles formant l'unité 1. A la suite de ce dépôt, l'abri n'apparaît plus dans le paysage.

Du point de vue archéologique, on constate que les occupations préhistoriques correspondant au stade de jeunesse et de sénescence sont considérées comme de « courtes haltes », tandis que les occupations en relation avec le stade de maturité correspondent à de très riches niveaux archéologiques considérés comme le reflet d'habitats de longue durée. Cette correspondance est telle que l'on est tenté d'y voir une influence directe de la morphologie de l'abri sur son mode d'occupation par les Préhistoriques.

7. Paléoenvironnement

Les conditions paléoenvironnementales accompagnant la mise en place des dépôts sont portées dans le **tableau 2**. Les dépôts de solifluxion à front pierreux se forment à l'actuel, dans des environnements où la température moyenne annuelle est inférieure à -1 ou -2°C (Harris, 1982 ; Bertran *et al.*, 1995). Leur occurrence, dans l'abri, signe des environnements froids. Les dépôts de solifluxion sous pelouse correspondent à une colonisation du site par une végétation continue, marquant ainsi une amélioration climatique. Ces dépôts caractérisent un milieu de prairie ou de toundra à gels saisonniers plus ou moins profonds. L'étagement pyrénéens des formes périglaciaires montre qu'à l'actuel, ces morphologies se rencontrent pour des températures moyennes annuelles pouvant être 4 à 5°C supérieures à celles à partir desquelles la solifluxion à front pierreux apparaît (Feuillet, 2010). C'est à ces dépôts que sont associés les principaux horizons humifères.

Un terme médian entre ces deux faciès est représenté par les dépôts massifs ou à stratification rudimentaire, rapporté à une solifluxion en nappe ou cryoreptation. La mise en place de ces dépôts s'accompagne de gels peu profonds et d'un couvert végétal discontinu. La présence de sols jeunes peut tout autant y marquer de légères améliorations climatiques que des variations locales de la production de débris (Bertran et Texier, 1999).

Enfin, certains faciès n'admettent pas de signification paléoenvironnementales particulières. C'est le cas des éboulis gravitaires qui s'observent à plusieurs reprises au sein du remplissage. Leur occurrence peut répondre à un effet cumulé des cycles de gel et dégels mais, également, à une augmentation des pressions d'eau interstitielles, à une dégradation des caractéristiques mécaniques de la roche ou, seulement, à un dépassement des seuils de portance des bancs calcaires par agrandissement de l'abri.

Stratigraphie Movius (1977)		Lithostratigraphie									
Niveaux	Attribution culturelle	Unité	Faciès	Mécanisme	Paléosol	Paléoenvironnement					
0/1		I	Dalles entuilées	Effondrement et éboulisation		<i>Indéterminé</i>					
1	Solutréen	II	« Head »	cryoreptation	P0 / P1	Environnement périglaciaire <i>s.l.</i> et couverture végétale variable (amélioration climatique ?)					
1/2											
2	Gravettien final	III	Eboulis bien stratifiés	Solifluxion à front pierreux		Environnement périglaciaire désertique à semi-désertique					
2/3 jaune			Dépôt caillouteux brun à stratification rudimentaire et orientation des débris	Solifluxion sous pelouse	P2	Toudra herbacée ou pelouse (amélioration climatique)					
2/3 brun rouge											
3	Gravettien récent		Eboulis à blocs	Éboulisation		<i>Indéterminé</i>					
3/4 jaune		IV	Limons sableux massifs	ruissellement	P3	<i>Indéterminé</i>					
3/4 rouge			Eboulis	Éboulisation et effondrement modéré		Environnement à gélisols (cryoturbations)					
3/4 ocre											
4	Gravettien moyen	V	Dépôt caillouteux brun à stratification rudimentaire et orientation des débris	Solifluxion sous pelouse	P4	Toudra herbacée ou pelouse (amélioration climatique)					
4/5											
5	Gravettien ancien	VI	Eboulis à grosses dalles	Éboulisation et effondrement		<i>Indéterminé</i>					
5/6											
6	Aurignacien évolué										
6/7											
7	Aurignacien évolué										
7/8											
8	Aurignacien évolué										
8/9											
9	Aurignacien ancien	VII	Eboulis bien stratifiés	Solifluxion à front pierreux		Environnement périglaciaire désertique à semi-désertique					
9/10											
10	Aurignacien ancien										
10/11 jaune							Dépôts caillouteux brun à stratification rudimentaire	Ruissellement (charriage torrentiel)	P5	Amélioration climatique	
10/11 lavis											
10/11 brun foncé											
11	Aurignacien ancien							Eboulis bien stratifiés	Solifluxion à front pierreux		Environnement périglaciaire désertique à semi-désertique
11/12											
12	Aurignacien ancien										
12/13											
13	Aurignacien ancien										
13/14											
14	Aurignacien ancien	VIII	Eboulis mal stratifiés	Solifluxion pelliculaire	P6	Environnement périglaciaire <i>s.l.</i> et amélioration climatique intercalée (?)					
Eboulis de base											

Tableau 2 : Implications paléoenvironnementales associées aux dépôts de l'Abri Pataud, selon Agsous (2008) modifié.

8. Chronologie

Avec plus de cent datations ¹⁴C, l'Abri Pataud est l'un des gisements les mieux datés du Paléolithique supérieur. Cette abondance de mesures radiométriques ne rend pour autant pas la détermination de l'âge des dépôts aisée. Même après exclusion des dates jugées aberrantes par les fouilleurs, une quinzaine selon Chiotti et Nespoulet (2007), les résultats présentent une dispersion importante (fig. 6).

Cette dispersion reflèterait la difficulté à séparer du carbone daté une fraction d'acides humiques plus jeunes (Waterbolk, 1971). La mesure, dans les années 80, des rapports isotopiques au spectromètre de masse (AMS), se heurte au même problème (Mellars *et al.*, 1987). Plus récemment, la purification de la fraction mesurée de collagène par sélection des composés moléculaires de

grande taille (ultrafiltration) laisse espérer de progrès sensibles. Les âges moyens sont vieillis de un à deux millénaires mais, surtout, les dates semblent fiables au regard de leur absence de dispersion (fig. 6). La précision des mesures reste cependant identique. Elle atteint un demi-millénaire pour les vestiges issus des niveaux archéologiques les plus profonds. Une fois calibrés à deux écarts-type, les âges sont inclus dans un intervalle compris entre 1500 et plus de 3000 ans. En conséquence de quoi les âges présentent toujours de forts recouvrements d'un niveau à l'autre (fig. 6). La corrélation de la stratigraphie du gisement avec les enregistrements paléoclimatiques globaux nécessite donc de faire appel à des critères supplémentaires. Higham et collaborateurs (2011) recourent pour cela aux statistiques bayésiennes. Cette approche, qui corrige les superpositions d'âge entre les différentes dates, fait toutefois appel deux hypothèses implicites.

La première est que deux niveaux archéologiques successifs représentent autant d'occupations préhistoriques distinctes. La seconde postule que les séries archéologiques constituées par la fouille prélèvent assurément chacune de ces occupations. On peut

s'interroger sur la validité de ces hypothèses. On ne sait par exemple pas si les niveaux archéologiques 13 et 14, inclus dans des coulées de solifluxion (fig. 2a), représentent des occupations archéologiques distinctes ou, seulement, une même nappe de vestiges dédoublée

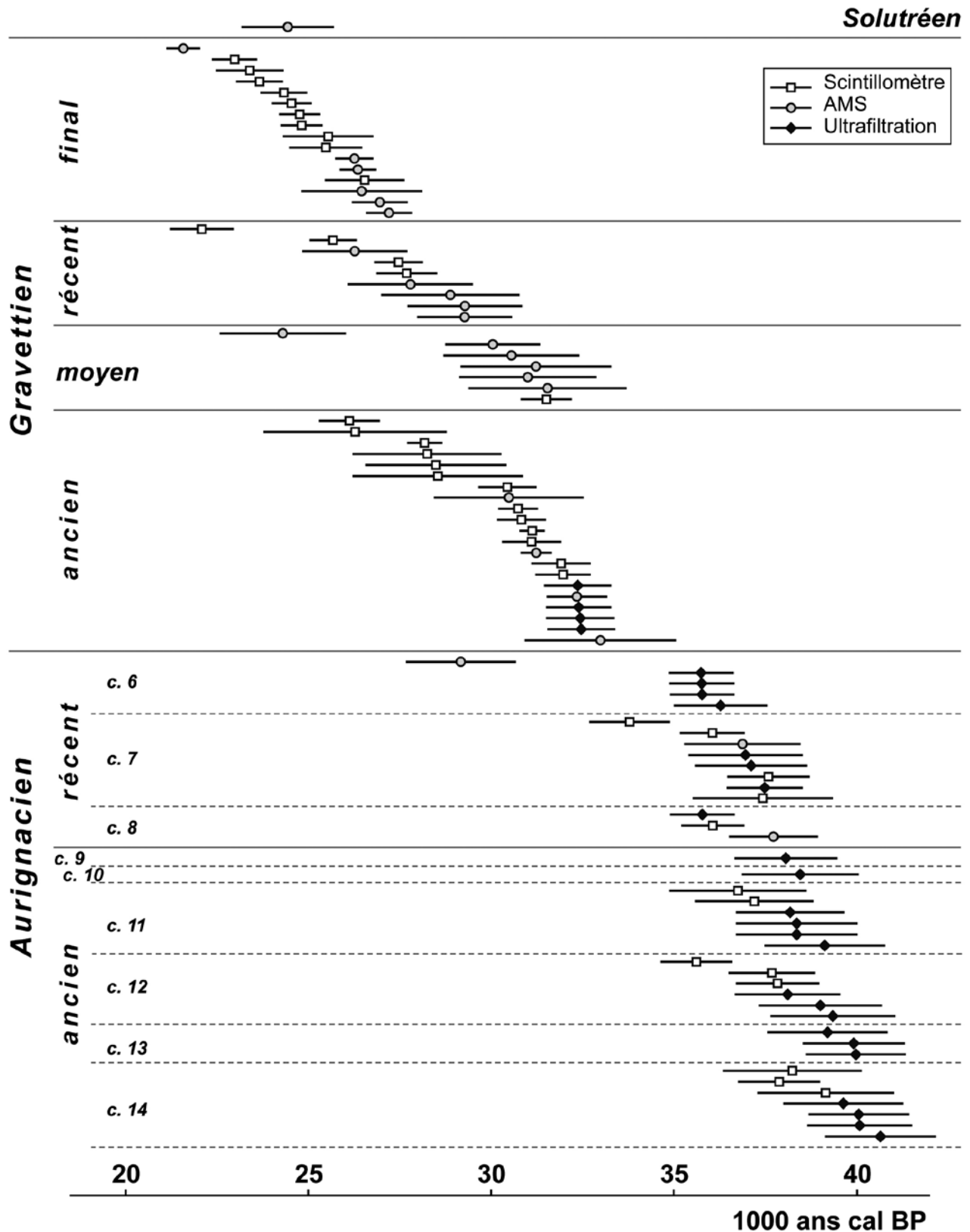


Figure 6 : Datations ^{14}C des différents niveaux archéologiques de l'Abri Pataud. Les dates retenues sont celles publiées par Bricker (1987), Higham *et alii* (2011) et Gambier *et alii* (sous presse). L'intervalle porté est celui des dates calibrées à deux écarts-type en utilisant la courbe intcal09 (Reimer *et al.*, 2009).

par la progression des coulées. On peut également douter que les différentes nappes de vestiges, qui sont parfois en contact, aient été bien séparées à la fouille. Pour ces raisons, nous privilégions ici une approche que nous jugeons plus fiable, fondée sur la signification paléoenvironnementale des dépôts.

La corrélation entre la stratigraphie du site et l'enregistrement isotopique glaciaire est illustrée par la **figure 7**. En sommet de séquence, les faciès de cryoptation incluant le niveau 1 solutréen représentent la sédimentation pléniglaciaire. Il est difficile de déterminer l'intervalle de temps couvert par cette unité. De tels dépôts massifs sont fréquemment retrouvés au sommet des talus de dépôts de pente régionaux (Ozouf *et al.*, 1995). Sur le site des Peyrugues, ils prennent le relais des dépôts de solifluxion à fronts pierreux en seconde partie du dernier pléniglaciaire.

Les dépôts stratifiés rapportés à la solifluxion à front pierreux, qui incluent le niveau archéologique 2 et se superposent au paléosol P2, peuvent être mis en relation avec le stadiaire du Groenland (GS) 3. Il est intéressant de relever ici que les datations du niveau archéologique 2 permettent de situer ce dernier soit juste avant, soit

au début de l'évènement de Heinrich 2 (Gambier *et al.*, sous presse). Dans la mesure où la solifluxion à front pierreux apparaît bien avant ce niveau archéologique, on en déduit que ce mécanisme de dépôt couvre tout le GS3. L'évènement d'Heinrich 2 ne se traduit pas, quant à lui, par un changement de style sédimentaire dans l'abri.

Ces mêmes faciès de dépôts stratifiés sont retrouvés en base de séquence, pour des âges compris entre 37 et 42 ka cal BP. S'intercale dans ces éboulis stratifiés un dépôt colluvial supportant un paléosol humifère. La succession d'environnements qu'implique cette superposition de faciès permet de rattacher les éboulis stratifiés de l'unité VII aux GS 9 et 10, et la mise en place des colluvions à l'interstadaire GI 9. Dans la mesure où seul le GS 9 s'accompagne d'un épisode de débâcle d'icebergs (événement d'Heinrich 4), on retrouve ici la même indépendance entre solifluxion à front pierreux et événement d'Heinrich. Cette observation redondante permet de formuler le constat empirique selon lequel le seuil environnemental permettant l'expression de la solifluxion à front pierreux peut être franchi au cours des stadiaires. En revanche, une fois ce seuil franchi, aucune variation

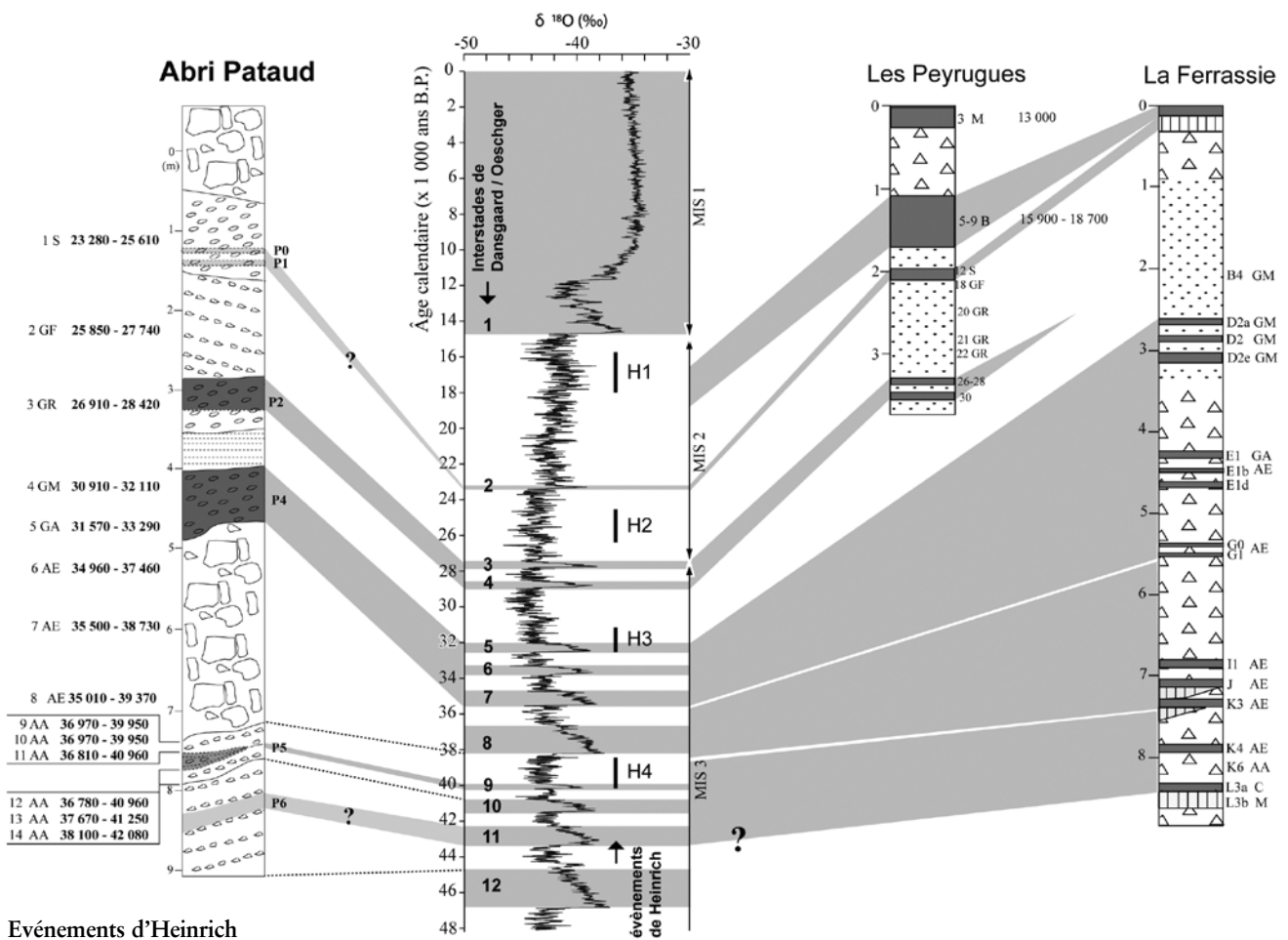


Figure 7: Corrélation proposée avec la courbe NGRIP (Andersen *et al.*, 2006) et comparaison avec les sites des Peyrugues et de la Ferrassie.

dans le style sédimentaire ne permet de reconnaître une intensification d'une rigueur climatique qui pourrait accompagner les épisodes de débâcle d'icebergs.

Les sols humifères accompagnant la mise en place de dépôts de solifluxion sous pelouse, sur la base des vestiges archéologiques qu'ils contiennent, sont aisément corrélés aux interstadiers. Le faible taux d'accrétion de ces paléosols ne permet cependant pas de déterminer dans quelle mesure ces événements cumulent plusieurs de ces interstades. Le sol humifère P2 se superposant aux industries du Gravettien supérieur est ainsi rapporté aux GI 3 et 4 et le sol P4 contenant les vestiges du Gravettien ancien aux GI 5, 6 et, peut-être, 7.

Les éboulis gravitaires dominent la sédimentation entre 38 et 36 ka cal BP. Ils couvriraient ainsi le GI 8 ainsi que le GS 8 suivant. Ce résultat n'est pas contredit par l'absence de signification environnementale de ce type de dépôt. Il est en accord avec le caractère polyphasé de cette unité.

Du point de vue sédimentaire, les résultats obtenus concordent avec les interprétations proposées sur d'autres sites (les Peyrugues, La Ferrassie). Il en ressort que l'Aquitaine septentrionale, au cours des SIM 3 et 2, a vu alterner des environnements périglaciaires semi-désertiques lors des stadiers et des environnements marqués par le développement d'une couverture végétale herbacée lors des interstadiers.

Du point de vue archéologique, s'il n'est qu'un point à retenir de cette corrélation, c'est que l'Aurignacien ancien, présent des niveaux archéologiques 14 à 9, couvre à minima deux stadiers et un interstade. Cette phase culturelle se développerait donc sur plusieurs millénaires, à cheval sur plusieurs épisodes climatiques dont l'événement d'Heinrich 4 mais, également, le GI 9 et le GS 10. L'Abri Pataud est le seul site, à notre connaissance, qui permette de situer aussi précisément sur un canevas chrono-climatique cette culture marquant l'arrivée de l'homme anatomiquement moderne en Europe occidentale.

Bibliographie

Agsous S., 2008 : *Sédimentologie de l'Abri Pataud (Les Eyzies de Tayac, Dordogne, France). Contribution à l'étude des paléoenvironnements des cultures du Paléolithique supérieur ancien du Périgord*. Thèse de doctorat, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 263 p.

Agsous S., Lenoble A., Nespoulet R., 2006 : L'Abri Pataud. *Sédimentogenèse des sites préhistoriques classiques du Périgord*, J.-P. Texier (dir.), Pôle International de Préhistoire, édition numérique, p. 31-43.

Andersen K., Svensson A., Johnsen S., Rasmussen S., Bigler M., Thlisberger R., Ruth U., Siggaard-Andersen M.-L., Steffensen J., Dahl-Jensena D., Vinther B., Clausen H. 2006 : The Greenland Ice Core Chronology 2005, 15–42 ka. Part 1: Constructing the time scale. *Quaternary Science Reviews*, 25, p. 3246-3257.

Baize D., Girard M. C. 1995 : *Référentiel pédologique*. INRA, Paris, 332 p.

Bertran P. (dir.), 2004 : *Dépôts de pente continentaux : dynamiques et faciès*. Quaternaire, hors série n°1, 258 p.

Bertran P., 2005 : Stratigraphie du site des Peyrugues (Lot), une coupe de référence pour le dernier Pléniglaciaire en Aquitaine. *Quaternaire*, 16 (1), p. 25-44.

Bertran P., Francou B., Texier J.P., 1995 : Stratified slope deposits : the stone-banked sheets and lobes model. *Steepland Geomorphology*, O. Slaymaker (ed.), Wiley, p. 147-169.

Bertran P., Texier J.-P., 1999 : Sedimentation processes and facies on a semi-vegetated talus, Lousteau, Southwestern France. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, p. 177-187.

Bricker H. M. (dir.), 1995 : *Le Paléolithique supérieur de l'Abri Pataud, Dordogne, les fouilles de H.L. Movius Jr.* Maison des Sciences de l'Homme, Documents d'Archéologie Française, n°50, 328 p.

Chiotti L., Nespoulet R. 2007 : L'apport méthodologique des fouilles L. Movius à l'Abri Pataud (Les Eyzies de Tayac, Dordogne). *Actes du XXVI^e Congrès préhistorique de France*, Société Préhistorique Française, Paris, vol. 1, p. 185-195.

Farrand W. R., 1975 : Analysis of the Abri Pataud Sediments. *Excavation of the Abri Pataud, Les Eyzies (Dordogne)*, Movius (dir.), American School of Prehistoric Research, Peabody Museum, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, bulletin 30, p.27-68.

Farrand W. R., 1995 : Etude sédimentologique du remplissage de l'Abri Pataud. *Le Paléolithique supérieur de l'Abri Pataud (Dordogne) : les fouilles de H. L. Movius Jr.*, H.M. Bricker (dir.), Document d'Archéologie Française n° 50, p. 31-65.

Feuillet T., 2010 : *Les formes périglaciaires dans les Pyrénées centrales françaises : analyse spatiale, chronologique et valorisation*. Thèse de doctorat, université de Nantes, 400 p.

- Gambier D., Chiotti L., Nespoulet R., Drucker D., Lenoble A. sous presse : Datations. *Le Gravettien final de l'Abri Pataud (Dordogne, France). Fouilles et études 2005-2009*, R. Nespoulet, L. Chiotti et D. Gambier (dir), British Archaeological Report, Oxford.
- Harris C., 1982 : The distribution and altitudinal zonation of periglacial landforms, Okstindan, North Norway. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 26, p. 283-304.
- Higham T., Jacobi R., Basell L., Bronk Ramsey C., Chiotti L., Nespoulet R. 2011 : Precision dating of the Palaeolithic: A new radiocarbon chronology for the Abri Pataud (France), a key Aurignacian sequence. *Journal of Human Evolution*, 61 (5), p. 549-563.
- Konik S., 1999 : *Les dépôts de pente du Périgord Noir : Distribution et mise en place ; Origine des matériaux et étapes de l'évolution des versants*. Thèse de doctorat, Université de Paris I, Panthéon – Sorbonne, 473 p.
- Laville H., 1973 : *Climatologie et chronologie du Paléolithique en Périgord. Etude sédimentologique de dépôts en grottes et sous abris*. Thèse d'état, n°400, Université de Bordeaux, 720 p.
- Lenoble A., Agsous S., sous presse : Etude géoarchéologique de la couche 2. Implications sur la préservation des nappes des vestiges. *Le Gravettien final de l'Abri Pataud (Dordogne, France). Fouilles et études 2005-2009*, R. Nespoulet, L. Chiotti et D. Gambier (dir), British Archaeological Report, Oxford.
- Mellars P., Bricker H.M., Gowlett A.J., Hedges R., 1987 : Radiocarbon accelerator dating of French Upper Paleolithic sites. *Current Anthropology*, vol. 28 (1), p. 128-133.
- Movius H.L., 1977 : Excavation of the Abri Pataud, Les Eyzies (Dordogne), *Bulletin of American School of Prehistoric Research*, 31, 165 p.
- Nespoulet R., Chiotti L., 2007 : 1953-2004 – la collection Movius de l'Abri Pataud (Les Eyzies de Tayac, Dordogne). *Actes du XXVI^e Congrès Préhistorique de France*, Société Préhistorique Française, Paris, vol. 2, p. 185-196.
- Nespoulet R., Chiotti L., Henry-Gambier D., Agsous S., Lenoble A., Morala A., Guillermin P., Vercoutère C., 2008 : L'occupation humaine de l'Abri Pataud (Les Eyzies-de-Tayac, Dordogne) il y a 22 000 ans : problématique et résultats préliminaires des fouilles du niveau 2. *Les sociétés paléolithiques d'un grand Sud-Ouest : nouveaux gisements, nouvelles méthodes, nouveaux résultats*, J. Jaubert, J.G. Bordes, I. Ortega (dir.), Société Préhistorique Française, Mémoire XLII, p. 325-334.
- Ozouf J.-C., Texier J.-P., Bertran P., Coutard J.-P., 1995 : Quelques coupes caractéristiques dans les dépôts de versant d'Aquitaine septentrionale: faciès et interprétation dynamique. *Permafrost and Periglacial Processes*, 6 (2), p. 89-101.
- Reimer P.J., Baillie M., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., C E Buck C.E., Burr G.S., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., McCormac F.G., Manning S.W., Reimer R.W., Richards D.A., Southon J.R., Talamo S., Turney C., van der Plicht J., Weyhenmeyer C.E., 2009 : Intcal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 51 (4), p. 1111-1150.
- Van Vliet-Lanoë B., 1988 : *Le rôle de la glace de ségrégation dans les formations superficielles de l'Europe de l'Ouest. Processus et héritages*. Thèse d'Etat, Université Paris I – Sorbonne, 854 p.
- Waterbolk H. T., 1971 : Working with radiocarbon dates. *Proceedings of the Prehistoric Society*, 37, p. 15-33.