Zeitschrift: Cahiers d'archéologie romande

Herausgeber: Bibliothèque Historique Vaudoise

Band: 72 (1998)

Artikel: Les occupations mésolithiques de l'abri du Mollendruz : abri Freymond, commune de Mont-la-Ville (VD, Suisse)

Autor: Pignat, Gervaise / Winiger, Ariane / Affolter, Jehanne

Kapitel: II: Le contexte environnemental et stratigraphique

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-836132

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.09.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

II. LE CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET STRATIGRAPHIQUE

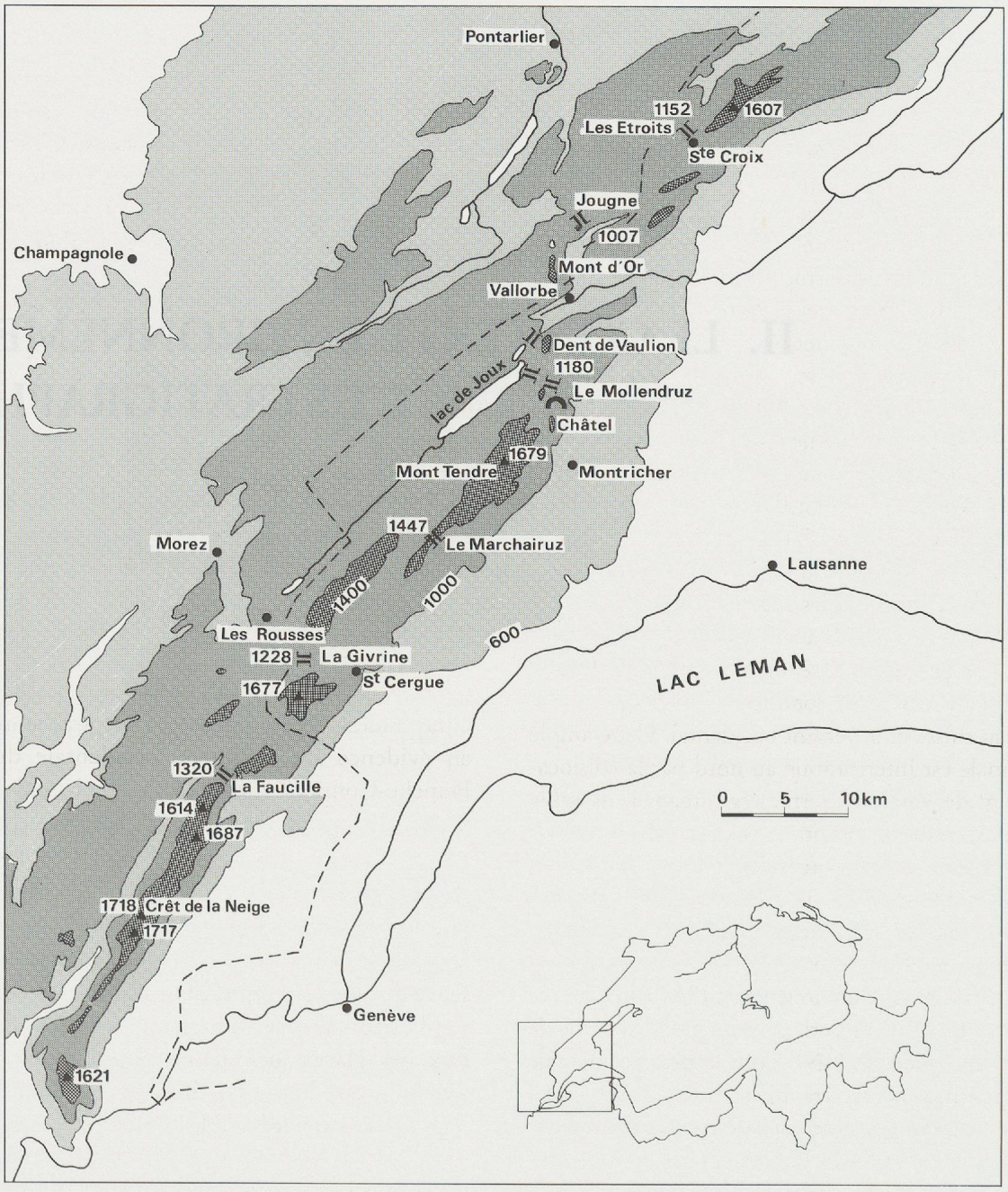


Fig. 15. Situation géographique de l'abri, en aval du col du Mollendruz, sur la bordure interne de l'arc jurassien.

1. CADRE GÉOLOGIQUE

Par Gervaise Pignat et Philippe Rentzel

La Haute Chaîne du Jura

Le massif jurassien forme un arc montagneux dont le relief est nettement dissymétrique (fig. 15). Sur son versant nord-occidental, une succession de plateaux s'élève vers la Haute Chaîne dont les plis les plus élevés forment la bordure interne de l'arc, qui s'abaisse brusquement vers le Plateau suisse. C'est au géologue Daniel Aubert que nous devons l'étude détaillée des phénomènes tectoniques, glaciaires et karstiques qui modelèrent cette région du Jura (Aubert 1943, 1965, 1969). Constituée d'un faisceau de plis parallèles et continus, la Haute Chaîne est interrompue par plusieurs grandes dislocations transversales qui provoquent un abaissement du relief: celles de St-Cergue - Les Rousses, de Vallorbe - Pontarlier ou de Ste-Croix. Le chaînon méridional est le plus élevé du croissant jurassien. Il culmine à 1718 m (Crêt de la Neige) et les cols ne s'abaissent pas au-dessous de 1200 m (col de la Faucille et col de la Givrine). Dans son prolongement, le segment du Mont Tendre (1679 m) forme une barrière continue sur plus de 30 km, entre le Plateau suisse et le versant occidental. Cette ample chaîne anticlinale est interrompue au nord par la «dislocation de la Dent de Vaulion», terme regroupant l'ensemble des accidents tectoniques compris entre Montricher et Vallorbe (Aubert 1943). La dislocation de la Dent de Vaulion résulte de deux phénomènes tectoniques successifs: des décrochements transversaux primitifs suivis de chevauchements dont témoignent les deux chaînons obliques de Châtel (1432 m) et de Haut du Mollendruz (1439 m). Le col du Mollendruz (1180 m) s'inscrit dans un grand système de failles de direction générale NNE dont la plus occidentale est bien marquée dans la topographie actuelle par la Combe de la Verrière. Cette importante rupture provoque un affaiblissement considérable de la Haute Chaîne qui se prolonge, plus au nord, par des crêtes moins élevées (Chalet-Derrière 1292 m).

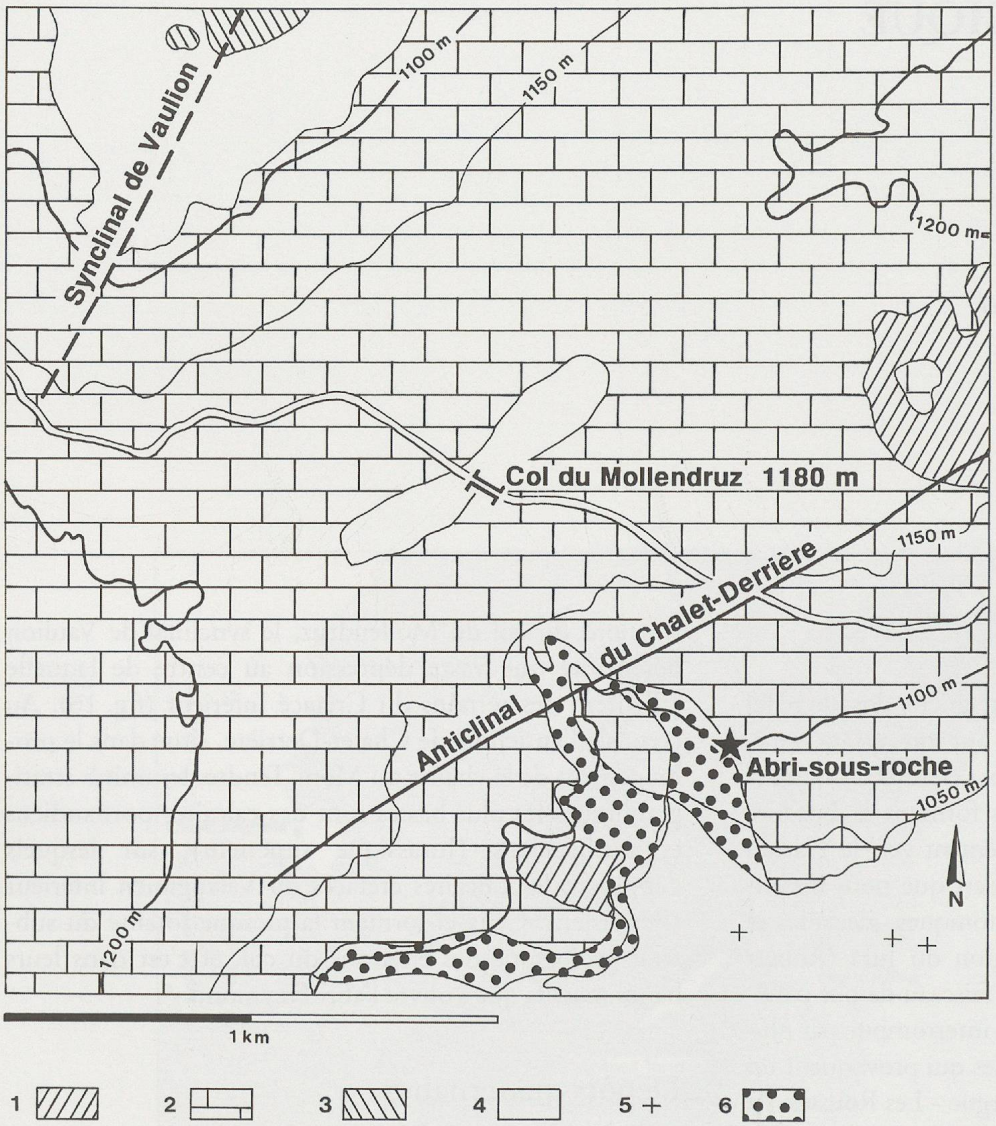
Au nord du col du Mollendruz, le synclinal de Vaulion détermine une vaste dépression au centre de laquelle affleurent des terrains du Crétacé inférieur (fig. 16). Au cœur de l'anticlinal de Chalet-Derrière, situé dans le prolongement de la chaîne du Mont Tendre, les unités stratigraphiques les plus basses sont des calcaires portlandiens et purbeckiens (Jurassique supérieur), sur lesquels s'appuient les calcaires crétacés du Valanginien inférieur (Berriasien). Ceux-ci forment la presque totalité du substrat géologique des environs du col, et c'est dans leurs bancs massifs que s'ouvre l'abri Freymond.

Dépôts quaternaires

Le col du Mollendruz, ouvert sur la vallée de Joux, est étroitement lié à l'histoire de l'importante calotte glaciaire qui se développa dans cette dépression fermée et mal drainée. Aucun vestige antéwürmien ne subsiste dans la région.

Cinq stades de retrait de la calotte jurassienne ont été mis en évidence sur la frange occidentale du glacier, en Franche-Comté (Campy 1982), mais seuls les trois derniers sont repérables dans la vallée de Joux (Aubert 1943, 1965).

Au maximum würmien une calotte glaciaire continue recouvre le Jura et fusionne avec le glacier du Rhône qui occupe le Plateau suisse. Ce contact, marqué par la présence de blocs erratiques alpins sur les flancs du Jura, n'est pas horizontal mais s'abaisse au débouché des cols où le flux des glaces jurassiennes repousse la masse rhodanienne. Cette limite est située vers 1100-1200 m dans la région du Mollendruz. Des blocs erratiques alpins sont signalés à l'altitude de 1032 m, immédiatement en aval de l'abri, alors qu'ils atteignent 1220 m à Chalet-Devant. Aucun dépôt glaciaire d'origine alpine n'est présent à



1. Purbeckien
2. Valanginien
3. Hauterivien
4. Dépôts glaciaires jurassiens (moraine et fluvio-glaciaire)
5. Blocs erratiques cristallins
6. Eboulis de pente

Fig. 16. Carte géologique simplifiée d'après l'Atlas géologique de la Suisse 1:25 000, feuille 5, Mont-la-Ville.

l'intérieur la vallée de Joux. A proximité immédiate du col (fig. 16) une moraine de fond à galets striés d'origine exclusivement jurassienne est attestée, alors que les terrains morainiques qui affleurent à une centaine de mètres en aval de l'abri-sous-roche renferment une certaine proportion d'éléments cristallins (Custer 1935). Ces dépôts témoignent d'un remaniement de la moraine alpine par les glaciers locaux; lors du retrait de la langue glaciaire rhodanienne, les glaciers jurassiens s'étendent sur ce territoire libéré jusqu'au pied du Jura (traces à Montricher et à L'Isle). Cet épisode est donc intervenu à un stade plus tardif du retrait.

Le contact entre calotte jurassienne et alpine perdure alors que deux stades de retrait (stades 1 et 2) sont mis en évidence dans le Jura franc-comtois.

Stade 3. En s'abaissant, le glacier jurassien se disloque en 3 calottes secondaires; celle de Joux se stabilise à l'altitude 1250 m (moraine des Grands-Mollards). A l'est elle rejoint le glacier du Rhône par la large dépression comprise entre la chaîne du Mont Tendre et le Mont d'Or.

Stade 4. La calotte de Joux, alimentée par une multitude de glaciers secondaires, stationne aux environs de 1100 m. Elle s'évacue dans une faible mesure vers le nord-est (seuil à 1060 m) mais ne franchit plus les cols de Pétra Félix et du Mollendruz. Néanmoins, un glacier secondaire (glacier de la Chergeaulaz) occuperait encore les environs du col du Mollendruz.

Stade 5. Les calottes jurassiennes qui subsistent dans les dépressions fondent isolément. Le glacier de Joux est désormais confiné dans la vallée, puis se retire, abandonnant des moraines de retrait (Les Crêtets, Vers-les-Moulins, Praz-Rodet).

Les éléments de datation absolue restent rares et ne permettent pas de situer précisément ces différents épisodes du retrait glaciaire. Plusieurs découvertes d'ossements de mammouths sont signalées dans la vallée de Joux. Le squelette le plus complet, découvert à Praz-Rodet sous la moraine du dernier stade (Weidmann 1969) est daté de 12 270 ±210 BP (Radiocarbone 18/1, 1976, 65).

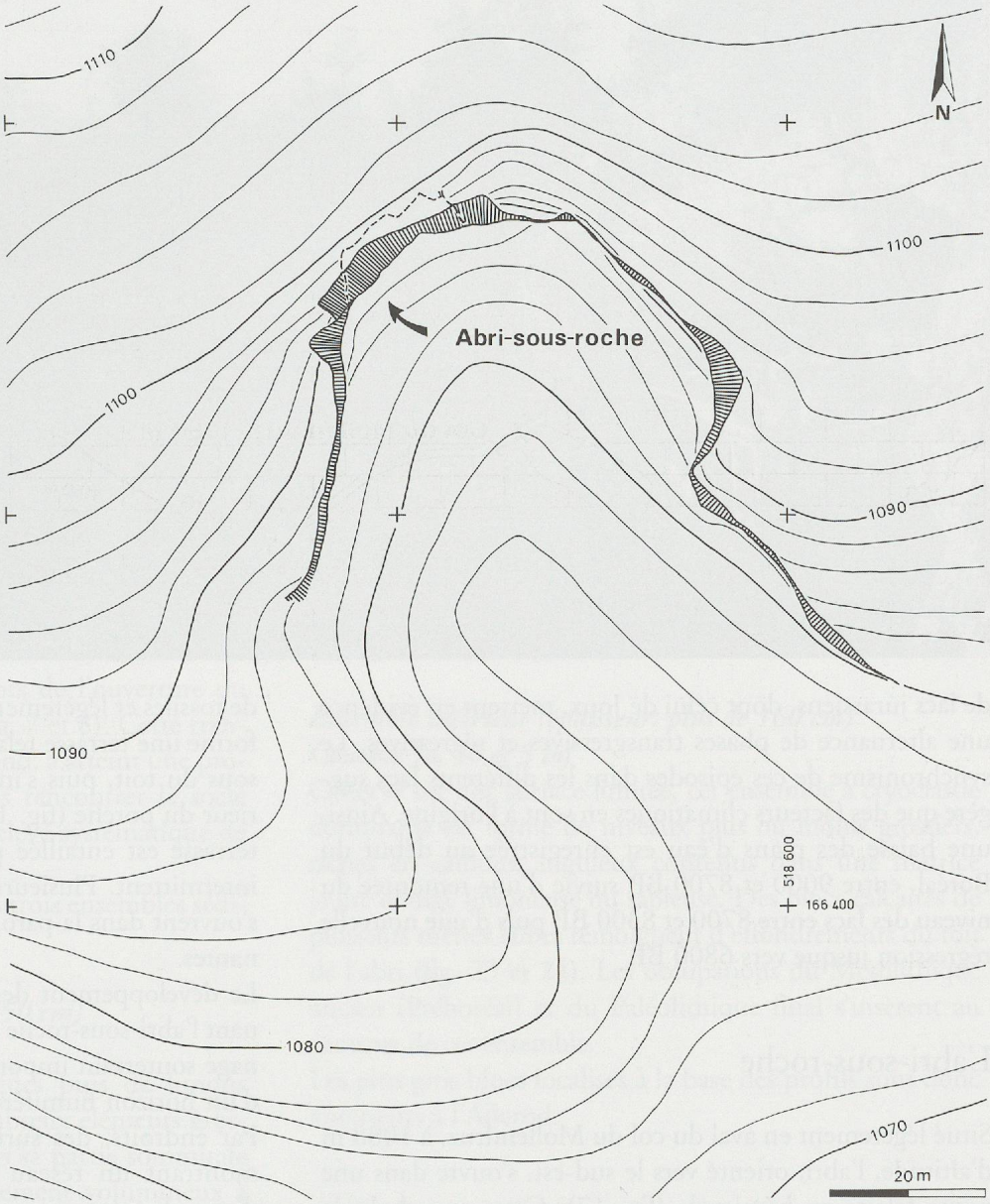


Fig. 17. Plan topographique du cirque rocheux dans lequel s'ouvre la cavité.

La calotte jurassienne a raboté le socle rocheux et évacué la couverture pédologique ancienne, créant le «Jura rocheux», par opposition au «Jura pelouse» des régions plus orientales (Aubert 1965). Aussi, le calcaire y affleure presque partout et les reliefs karstiques sont accentués. Après le retrait glaciaire, les surfaces dénudées ont été soumises à une gélivation intense, responsable des cailloutis contenus dans les sols et des éboulis en pied d'escarpements.

Lac de 1060 m. D'anciens deltas témoignent de l'existence d'un haut lac de Joux (niveau actuel 1008 m), à une époque où le glacier s'est retiré dans la partie supérieure de la vallée, jusqu'au Bas-du-Chenit, alors que des glaciers résiduels subsistent dans les chaînes du Mont Tendre et du Risoux (Aubert 1943). Cet ancien lac ne s'est pas installé dès le début du retrait glaciaire mais résulterait d'un accident hydrologique lié à l'évacuation souterraine de ses eaux. La nappe d'eau s'écoule à ciel ouvert vers le nord dans la direction de Vallorbe, par le seuil de Pierre Punex (1060 m). La découverte d'un bois de renne dans le delta de Chez Tribillet placerait cet évènement avant la disparition de cette espèce. Les fouilles de l'abri Freymond permettent actuellement d'affirmer que le renne est encore chassé dans la région vers 12 000 BP. Ce lac de 1060 m n'a vraisemblablement pas connu une longue durée d'existence.

Les fluctuations postglaciaires du niveau du lac sont reconnues précocement; Daniel Aubert (1943) décrit une craie lacustre à faune malacologique «d'époque boréale», attestant une phase de transgression du lac. Les recherches récentes de Michel Magny (1992) mènent à une connaissance plus approfondie des changements paléohydrologiques au cours de l'Holocène. Ses analyses sédimentologiques conduites de façon systématique sur une vingtaine

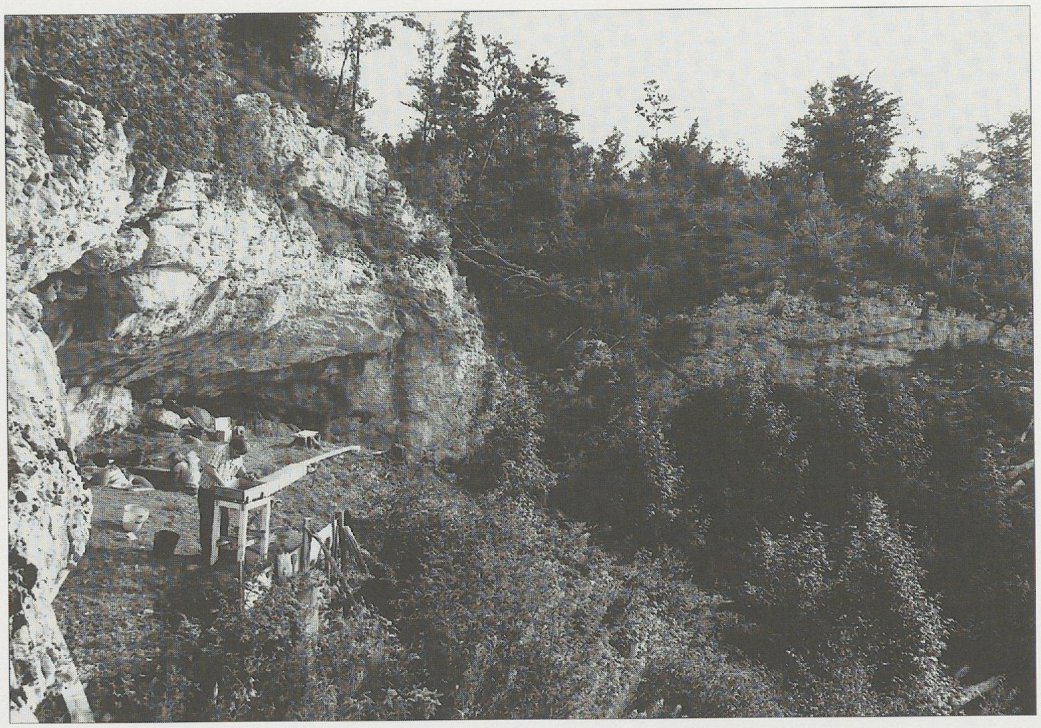


Fig. 18. L'abri-sous-roche, creusé dans une petite falaise de calcaire valanginien. Vue prise de l'ouest, lors de la première campagne de sondage (1981).

de lacs jurassiens, dont celui de Joux, mettent en évidence une alternance de phases transgressives et régressives. Le synchronisme de ces épisodes dans les différents lacs suggère que des facteurs climatiques en sont à l'origine. Ainsi, une baisse des plans d'eau est enregistrée au début du Boréal, entre 9000 et 8700 BP, suivie d'une remontée du niveau des lacs entre 8700 et 8300 BP, puis d'une nouvelle régression jusque vers 6800 BP.

L'abri-sous-roche

Situé légèrement en aval du col du Mollendruz, à 1088 m d'altitude, l'abri, orienté vers le sud-est, s'ouvre dans une petite falaise en hémicycle (fig. 17). Cette morphologie évoque un cirque d'érosion qui semble lié à la disposition des failles. La cavité, large de 18 m pour une profondeur de 4 à 5 m, est creusée dans des assises du Valanginien inférieur, un calcaire compact oolithique riche en débris de fossiles et légèrement marneux. Le remplissage de l'abri forme une terrasse relativement plane, à 2 ou 3 m au-dessous du toit, puis s'infléchit en un abrupt talus à l'extérieur du porche (fig. 18). Le long de la paroi orientale, la terrasse est entaillée par une source karstique au débit intermittent. Plusieurs exutoires de moindre importance s'ouvrent dans la paroi de l'abri et dans les falaises avoisinantes.

Le développement des sols sur le plateau calcaire dominant l'abri-sous-roche est fortement influencé par un drainage souterrain important, n'autorisant que la formation d'un horizon humifère très mince, souvent lithomorphe. Par endroits, des surfaces dénudées de bancs calcaires, montrant un réseau de diaclases élargies, témoignent d'une dissolution superficielle importante. Par contre, dans les pentes colluvionnées situées au pied des parois rocheuses, se sont développés des sols épais de type rendzine évoluée, souvent enrichis en matière organique et recimentés par des carbonates illuviaux.

2. STRATIGRAPHIE

Remplissage de l'abri

La coupe de référence fut établie lors de l'ouverture du premier sondage, en lignes 5 et 6 (fig. 7 et 8). Cette tranchée, perpendiculaire à la paroi du fond, a atteint une profondeur maximale de 3 mètres sans rencontrer le socle rocheux. Elle fut complétée par le relevé systématique de profils dans l'axe transversal.
Le remplissage peut être subdivisé en trois ensembles sédimentaires contrastés (fig. 19).

Ensemble supérieur (épaisseur: 40 à 50 cm)
Couches 1, 2 et 3
Constitué de terres brunes humiques puis de limons noirs, cet ensemble contient de nombreux éléments grossiers et blocs de gravité, surtout dans sa partie sommitale (fig. 21). Les blocs sont particulièrement volumineux à l'aplomb du porche actuel, situé entre les lignes G et H.
Ces dépôts, fortement marqués par les activités humaines, se sont édifiés de l'Atlantique récent à nos jours; ils renferment les niveaux d'occupation du Néolithique ainsi que quelques vestiges de l'âge du Bronze et des époques historiques (fig. 20).

Ensemble moyen (épaisseur: 30 à 60 cm)
Couches 4a, 4b, 4c, 4d et 4e
Cette unité contraste avec la précédente par sa coloration jaune, souvent très claire, et son caractère peu caillouteux (fig. 21 et 22). Ces limons jaunes ont été soumis à des phénomènes postdépositionnels complexes (ruissellement, concrétionnement) et correspondent aux périodes du Boréal et de l'Atlantique ancien. Ils renferment les niveaux d'occupation du Mésolithique moyen et récent.
La couche 4e, qui s'intercale à la base de cette séquence dans le secteur oriental (lignes 8 à 11) se termine en biseau dans la partie centrale de l'abri. A sa base apparaissent les vestiges d'une occupation datée de la fin du Préboréal.

Ensemble inférieur (épaisseur: plus de 160 cm)
Couches 5a, 5b et 5 inf
Observé sur une surface limitée, cet ensemble à cryoclastie dominante est formé de niveaux plus ou moins grossiers, riches en cailloux anguleux contenus dans une matrice jaune orange limoneuse ou sableuse. Des blocs calcaires de plusieurs mètres cubes témoignent d'effondrements du toit de l'abri (fig. 23 et 24). Les occupations du Mésolithique ancien (Préboréal) et du Paléolithique final s'insèrent au sommet de cet ensemble.
Les plus gros blocs localisés à la base des profils sont donc antérieurs à l'Alleröd.

Géométrie des dépôts

D'importantes variations de faciès affectent la nature des dépôts, tant dans l'axe transversal que dans l'axe longitudinal de la cavité. Certaines modifications ont un caractère constant, tels une plus forte densité de cailloux dans le talus de l'abri, un concrétionnement du sédiment et un changement de coloration à proximité des parois. D'autres, par contre, traduisent des phénomènes épisodiques, d'ampleur limitée (effondrement partiel de la voûte, sédimentation ou érosion au débouché des différents exutoires du réseau karstique).
La source karstique, qui s'écoule le long de la paroi nord orientale de la cavité, a joué un rôle déterminant dans la genèse du remplissage de l'abri (fig. 25).
L'édification des grands ensembles sédimentaires peut être appréhendée à travers une vision globale de leur géométrie et de leur variation latérale.

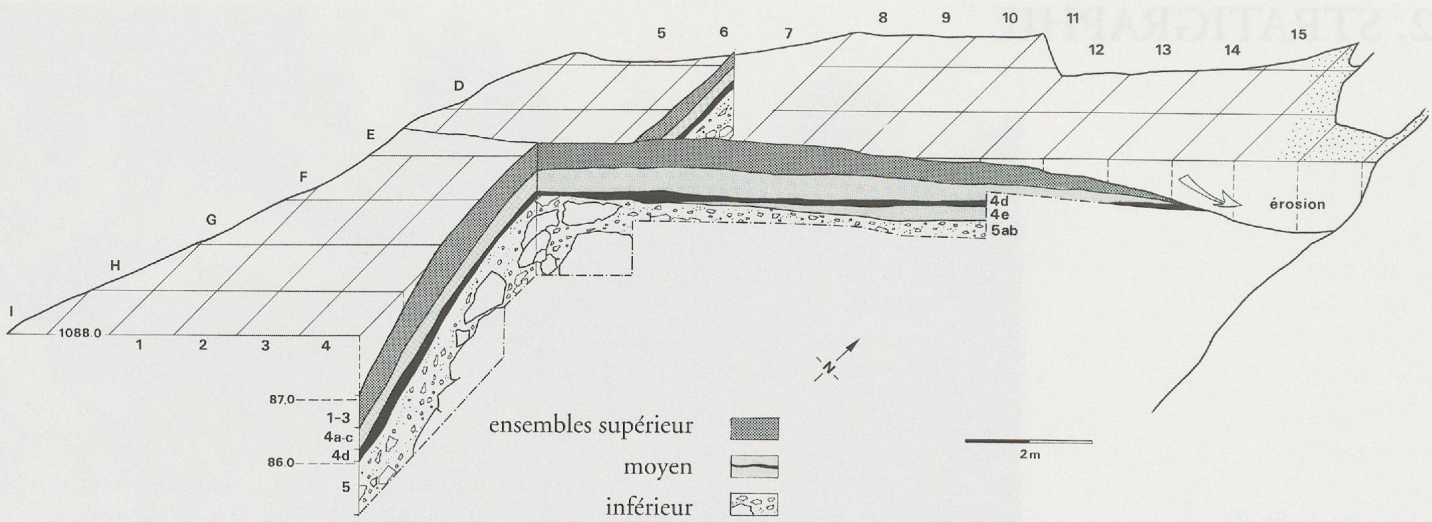


Fig. 19. Représentation schématique du remplissage de l'abri.

Par convention, la dénomination ouest-est indique l'axe longitudinal qui recoupe toute la plate-forme, parallèlement à la paroi du fond. Il est illustré par la coupe 1 (fig. 26), de 11 m de long. Dans cet axe, les dépôts sont fortement influencés par l'activité de l'exutoire qui s'ouvre tout à l'est de la cavité.

Dans l'axe transversal nord-sud, perpendiculaire à la paroi du fond et représenté par la coupe 2 sur 6 m de long (fig. 27), un très fort talus se marque à l'extérieur du porche.

Sol moderne

Axe longitudinal

Il s'infléchit fortement en direction de la source, avec une pente régulière sur toute la plate-forme de l'abri: 1,5 m de dénivelé sur une distance de 14 m.

Axe transversal

Pratiquement horizontal dans l'aire abritée, il descend en pente très raide à partir de l'aplomb de la voûte (ligne G).

Ensemble supérieur (couches 1 à 3)

Axe longitudinal

Son amplitude décroît fortement d'ouest en est. Epais de 90 cm contre la paroi occidentale, il a une puissance assez constante de 40 à 50 cm sur une grande partie de la plate-forme. Une rupture nette se marque à partir de la ligne 13 où les niveaux supérieurs disparaissent. La pente W-E est moins accusée à la base de l'ensemble qu'à son sommet.

Plusieurs facteurs semblent concourir à cette situation:

- un enrichissement en blocs de gravité dans la partie occidentale de l'abri, qui résulte du mauvais état de la voûte dans ce secteur;
- un apport en sédiment fin, localisé dans cette même zone (ligne 2), provenant d'infiltrations par des fissures et par une ouverture visible dans le toit de l'abri;
- une accumulation de dépôts anthropiques (cendres, vidanges de foyers, murets) dans l'aire occidentale, au cours des occupations néolithiques et postérieures;
- une forte érosion enfin par la résurgence karstique principale, qui s'ouvre tout à l'est de la cavité.

Axe transversal

Peu épais contre la paroi du fond (40 cm), l'ensemble supérieur atteint son amplitude maximale (70 cm) à l'aplomb du porche (ligne G) puis diminue dans la pente.

Ensemble moyen (couches 4)

Cet ensemble est formé de dépôts fins lenticulaires et sa topographie diffère sensiblement de l'ensemble supérieur. Il est considérablement perturbé à son sommet par le creusement des structures d'habitat néolithiques et par un épisode d'érosion.

Axe longitudinal

Au cours de la mise en place des couches 4, on observe une inversion des tendances qui prévalent dans l'ensemble supérieur.

Dans la partie supérieure (4a-b), l'action érosive de l'exutoire reste prépondérante: les couches 4a et 4b ne sont conservées qu'à l'ouest, alors qu'à partir de la ligne 7 une forte érosion antérieure à la première occupation néolithique est responsable de leur destruction, dans toute la partie nord-orientale de la cavité.

Dans la couche 4c, un plancher concrétionné fournit un bon niveau repère qui, contrairement aux niveaux sus-jacents, est horizontal sur toute la longueur de l'abri. De même la couche d'occupation du Mésolithique moyen (couche 4d) apparaît à une altitude constante et tend même à se redresser tout à l'est où elle affleure à une dizaine de centimètres en dessous du sol moderne.

Dans ce même secteur, à proximité de l'exutoire principal, une dernière unité sédimentaire (couche 4e) vient s'intercaler localement à la base de cette séquence (fig. 25).

Axe transversal
Dans l'axe transversal, l'ensemble moyen suit une pente légère et régulière sur la surface abritée, et garde une épaisseur assez constante. A l'extérieur du porche, le talus est légèrement moins raide que pour l'ensemble supérieur.

Ensemble inférieur (couches 5)
Cette unité n'est explorée que dans un secteur très limité et sa topographie est encore mal connue.

Axe longitudinal
Le sommet de la couche 5, assez irrégulier, s'infléchit en direction de la source. Les énormes blocs d'effondrement du toit de l'abri, qui apparaissent à l'altitude 1087,30 m en ligne 5, n'ont pas été rencontrés plus à l'est où les décapages atteignent la cote 1086,80 m. S'agit-il d'un effondrement local ou d'un phénomène plus important, affectant l'ensemble de la cavité? Il n'est pas possible de se prononcer dans l'état actuel des travaux. Les dépôts moins grossiers du sommet de l'ensemble, bien développés à l'est, viennent s'appuyer contre le sommet des blocs et tendent à régulariser le relief.

Axe transversal
L'ensemble inférieur montre un pendage N-S régulier, depuis la paroi du fond, puis une inflexion marquée dès la ligne G.

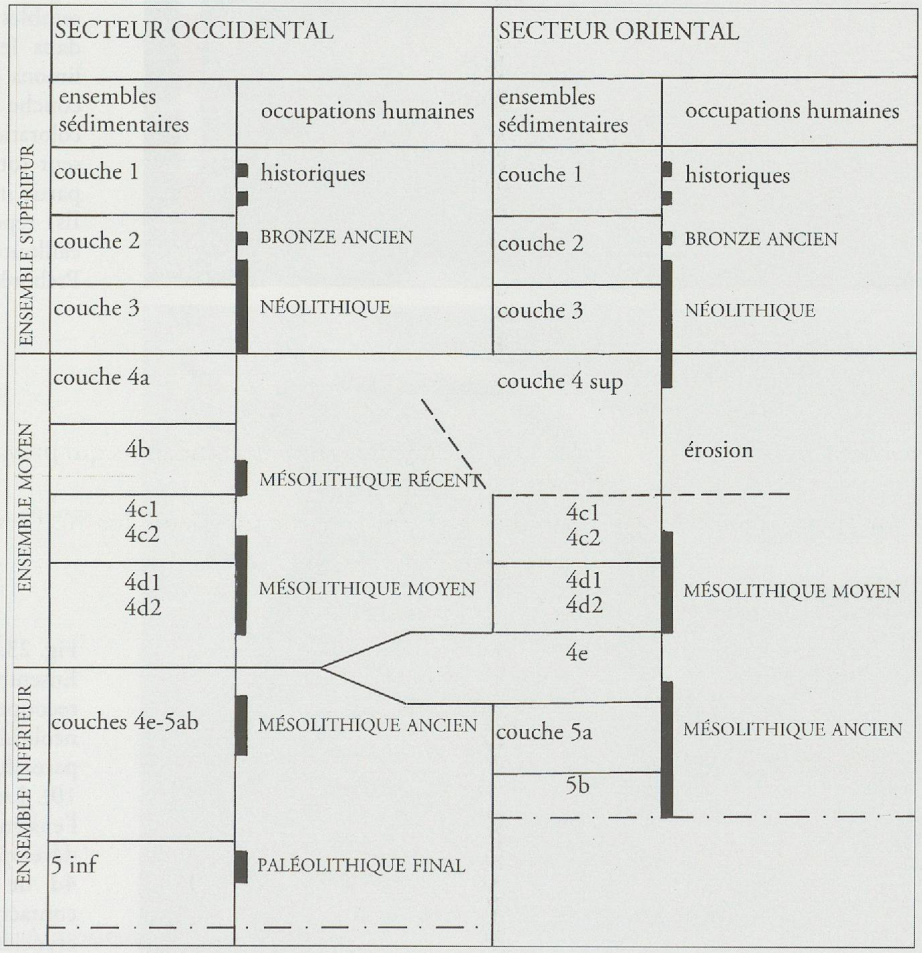


Fig. 20. Insertion des différents ensembles culturels dans le contexte sédimentaire de l'abri.

Fig. 21. Coupe 14 (FG). Sommet du remplissage de l'abri où l'on observe le contact entre ensembles supérieur et moyen. La couche 1, caillouteuse, et les limons très sombres des couches 2 et 3 ont ici une épaisseur totale de 70 cm. Un grand foyer néolithique daté vers 4500 av. J.-C. recoupe les sédiments jaune très clair de l'ensemble moyen (couche 4a).

Fig. 22. Coupe 1 (10-11). Ensembles moyen et inférieur dans le secteur oriental. Les limons jaunes, dans lesquels la couche 4d se marque par sa coloration grise, ont une épaisseur totale de 60 cm (seule la partie inférieure est visible ici). Ils reposent sur un niveau caillouteux contemporain du Préboréal.

Fig. 23. Coupe 4 (DE). Ensembles moyen et inférieur, recoupés par une large fosse néolithique, creusée près de la paroi du fond de l'abri (voir fig. 10). Les limons homogènes de l'ensemble moyen sont peu développés à l'ouest. La couche 4d de couleur grise est en contact direct avec l'ensemble cryoclastique inférieur, où apparaissent les blocs d'effondrement du toit de l'abri.

Fig. 24. Vue d'un décapage dans la couche 4c, jaune clair et souvent concrétionnée (au second plan). La couche anthropique visible sur la petite coupe centrale est datée de la fin du Boréal (couche 4d). Au premier plan, apparaissent les niveaux cryoclastiques, à la base des couches d'occupation du Préboréal (5ab).

Fig. 25. Coupe 12 (DE). A proximité de l'exutoire principal, les dépôts de limons jaunes atteignent leur amplitude maximale (couches 4c, 4d, 4e et 5ab).

Description des couches

Au-delà de la partition en grands ensembles effectuée plus haut, il est extrêmement difficile de fixer des limites stratigraphiques précises, et surtout de suivre des repères sur une certaine distance. Afin de ne pas multiplier les descriptions des quelque quinze profils relevés sur le terrain (fig. 8), nous ne reviendrons pas sur la question de configuration et de variation latérale des différentes couches. La description générale présentée ici repose en grande partie sur la lecture de la coupe 2. Quelques précisions d'ordre stratigraphique sont exposées dans les chapitres consacrés aux différents niveaux d'occupation.

Couche 1
Sédiment brun roux, sans cohésion, contenant de nombreux graviers émoussés (1-2 cm) et des pierres anguleuses ou dallettes (10-15 cm) dont la taille et le nombre augmentent dans le talus. Vers la base de la couche, le sédiment s'assombrit et devient moins graveleux. De nombreux blocs, dont certains dépassent 1 m dans leur plus grande dimension, apparaissent dans la partie inférieure de la couche. Ces pans de voûte effondrés sont très denses dans la partie occidentale de l'abri (lignes 1 à 5) ainsi que dans le talus frontal (ligne I). Ils ne sont pas tous strictement contemporains bien qu'un bon nombre d'entre eux marque la transition entre les couches 1 et 2. Aucun élément de cette taille n'a été rencontré dans les couches 2 et 3.
A côté des quelques témoins récents abandonnés principalement par les soldats, la couche 1 a livré des fragments de céramique vernissée, trois monnaies des XVIIe et XVIIIe siècles (Crotti et Pignat 1986b, fig. 15), quelques tessons des époques La Tène finale et gallo-romaine. Des fragments de jarre du Bronze ancien proviennent de la couche 1 et de la partie sommitale de la couche 2 (Crotti et Pignat 1986b, fig. 14).

Couche 2
Sédiment brun foncé, plus fin et meuble, pauvre en pierres. Le passage à la couche 3 s'effectue progressivement, avec l'apparition d'inclusions d'argile claire.
Cette couche renferme des vestiges d'occupation néolithique.
Datation C14: voir couche 3.

Couche 3
Sédiment limoneux très fin, très compact, caractérisé par de nombreuses inclusions silteuses grises, verdâtres ou beiges. Cette couche est plus caillouteuse et meuble à sa base, où apparaissent des graviers jaunes émoussés. Son aspect hétérogène résulte en grande partie de facteurs anthropiques liés à l'importante occupation néolithique: amas de pierres brûlées, chapes d'argile rubéfiée, épandages de cendres, etc.
A partir de la ligne 6 et dans tout le secteur oriental de l'abri, cette unité repose en discordance sur un niveau de plaquettes altérées (10-15 cm), associées à quelques blocs d'effondrement.
La couche 3 correspond au début de l'installation néolithique dans l'abri.
Datation C14: pour les couches 2 et 3, nous disposons actuellement d'une série de 9 mesures comprises entre 5300 et 6000 BP (5250-3945 BC cal) (Crotti, Pignat 1986, 145).

Couche 4a
Limon jaune orange très meuble, sans cailloux, observé dans la partie occidentale de l'abri. Son sommet est souvent rubéfié par l'installation des foyers néolithiques et de nombreux creusements ou infiltrations des niveaux sombres sus-jacents perturbent cette couche.
Ce dépôt est stérile.

Couche 4b
Limon coloré en gris vert par la présence de minuscules charbons de bois, limité à son sommet et à sa base par des niveaux de plaquettes de gravité altérées. Cette unité n'est clairement individualisée que dans le secteur occidental.
Les restes d'occupation du Mésolithique récent sont localisés dans la partie inférieure de la couche 4b.
Datation C14: une seule mesure vers 7200 BP.

Couche 4c
Important dépôt de limon jaune très clair soumis à des phénomènes complexes de ruissellement et de concrétionnement. Il est constitué au sommet par un limon jaune vif homogène (4c1), sans cailloux et relativement meuble, comparable à la 4a. Progressivement plus compact, il s'enrichit en concrétions calcaires et en petits cailloux émoussés et oxydés. Le sédiment lui-même présente fréquemment des traces d'oxydation. A la base, les limons très fins et plus blancs sont compactés jusqu'à former de véritables mottes indurées. Ils reposent par endroits sur un plancher de pierres de taille moyenne (5-10 cm) altérées en surface, cimentées par une mince couche de travertin (4c2).
Dans ce plancher caillouteux et concrétionné, témoin d'épisodes de ruissellement, les traces d'activité ne sont pas conservées à l'exception de très nombreux silex du Mésolithique moyen.

Couche 4d
Niveau se démarquant des précédents par une coloration grise et une granulométrie plus grossière (enrichissement en sables et en graviers). Des phénomènes d'érosion et de ruissellement ont fortement perturbé le sommet de cette unité (4d1) alors qu'à sa base, les traces d'occupation sont beaucoup mieux conservées (4d2).
La couche 4d, riche en mobilier, correspond à la plus importante occupation mésolithique de l'abri, datée de la fin du Boréal.
Datations C14: trois mesures situées vers 8000 BP.

Couche 4e
Unité sédimentaire identifiée dans la partie orientale de l'abri, constituée par un dépôt de limon jaune très homogène épais de plus de 20 cm. Ce faciès, qui renferme par endroits des cailloux à encroûtement calcaire, possède de nombreuses caractéristiques de l'ensemble moyen (4e faciès oriental).
Les restes d'une occupation du Mésolithique ancien s'insèrent à la base de cette formation, au contact de la couche 5.
Dans la partie occidentale du gisement où la séquence est compactée, la couche 4e est mal individualisée. Les vestiges, très peu denses, se confondent avec ceux du niveau d'occupation sous-jacent (5ab)[1].
Datations C14: deux mesures comprises entre 9000 et 9500 BP.

Couche 5
Cet ensemble a été rencontré à la base de la tranchée ouverte en lignes 5 et 6 et décapé sur une faible épaisseur plus à l'est, dans les lignes 8 à 11. La corrélation entre les unités sédimentaires des deux secteurs n'est pas établie de façon certaine puisque les dépôts rencontrés à l'est se terminent en biseau dans la partie centrale de l'abri.

1. Dans l'étude sédimentologique de la série V, prélevée à un endroit où la couche 4e n'est pratiquement pas identifiable, cette unité est assimilée à l'ensemble inférieur (p. 43).

Secteur oriental

Couche 5a

Niveau riche en cailloux anguleux hétérométriques, pris dans une matrice limono-argileuse jaune orange ou brune. Des dépôts lenticulaires de sables ou de graviers s'intercalent par endroits.

Ce niveau contient des vestiges d'occupation du Mésolithique ancien.

Datation C14: une mesure comparable à celles de la couche 4e, vers 9000 BP.

Couche 5b

Sommet d'un ensemble cryoclastique plus grossier, faiblement consolidé, où les blocs de gravité dépassent 20 cm de diamètre. Le sédiment interstitiel est graveleux ou sableux, très meuble, à pseudomycélium.

Le mobilier récolté au sommet de cette couche, très peu explorée à l'heure actuelle, est regroupé avec celui de la couche 5a (p. 154).

Couche 5c

Niveau de blocs d'effondrement décapé sur une surface réduite en ligne 7, qui correspondrait au sommet de la couche du Paléolithique final. Seul un prélèvement de charbons, qui se sont avérés intrusifs[2], se rapporte à cette unité. Le terme de couche 5c ne figure donc que dans l'analyse anthracologique.

Secteur occidental

Couche 4e-5ab

Niveau riche en cailloux anguleux, de taille moyenne, pris dans une matrice limoneuse beige. Le mobilier du Mésolithique ancien, très peu dense dans ce secteur, n'a pas pu être attribué à l'une ou l'autre occupation (4e et 5ab).

Un foyer (ST.80) visible sur la coupe 2 est implanté à l'interface entre cet ensemble et la couche 5 inf, beaucoup plus riche en cailloux. Il n'a pas pu être corrélé avec une occupation précise, et n'a pas fourni de matériel organique autorisant une datation.

Couche 5 inf

Alternance de plusieurs lits de blocs grossiers et de dépôts plus fins où la matrice, abondante, peut être sableuse ou argileuse. Les énormes blocs de gravité rencontrés dans ce sondage limitent considérablement les observations de la séquence. Le terme 5 inf est un vocabulaire d'attente qui devra être précisé et raccordé à la séquence du secteur oriental.

Dans le premier niveau de blocs marquant le sommet de la couche furent découverts de nombreux restes de faune, vestiges d'une occupation datée de l'Alleröd.

Datation C14: deux mesures vers 12 000 BP.

2. Voir analyse des charbons de bois, échantillon N° 133, p. 62.

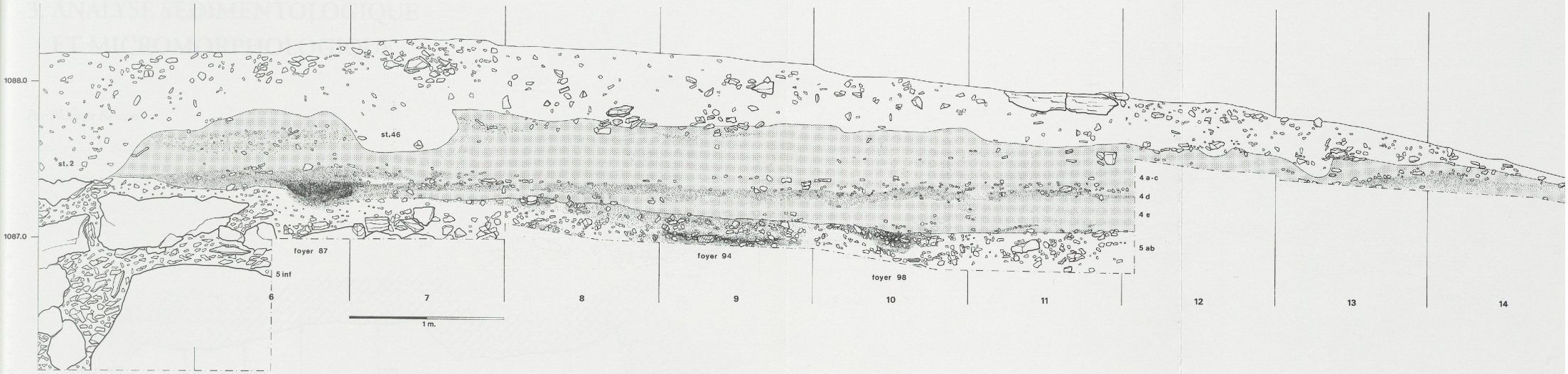


Fig. 26. Coupe 1, longitudinale, établie sur la ligne E/F.

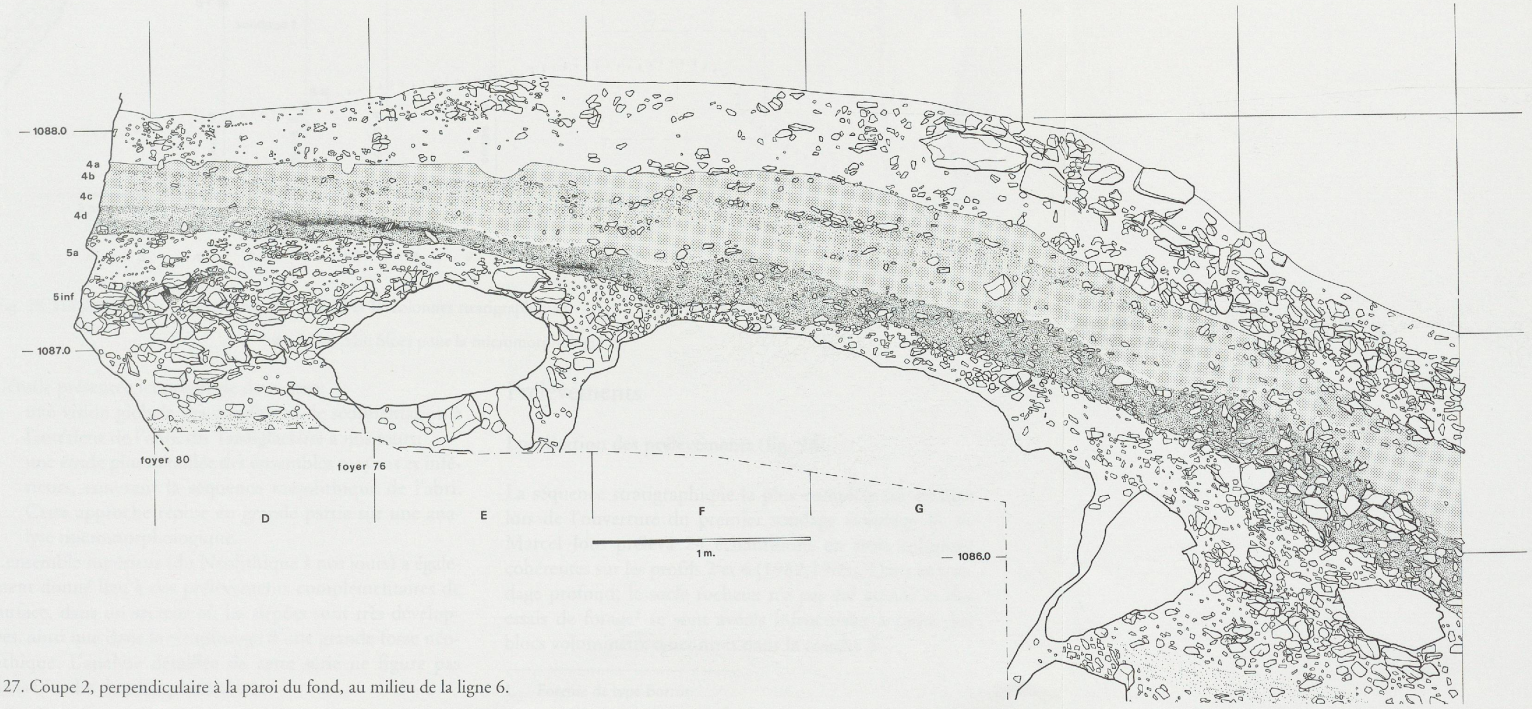


Fig. 27. Coupe 2, perpendiculaire à la paroi du fond, au milieu de la ligne 6.

3. ANALYSE SÉDIMENTOLOGIQUE ET MICROMORPHOLOGIQUE

Par Philippe Rentzel

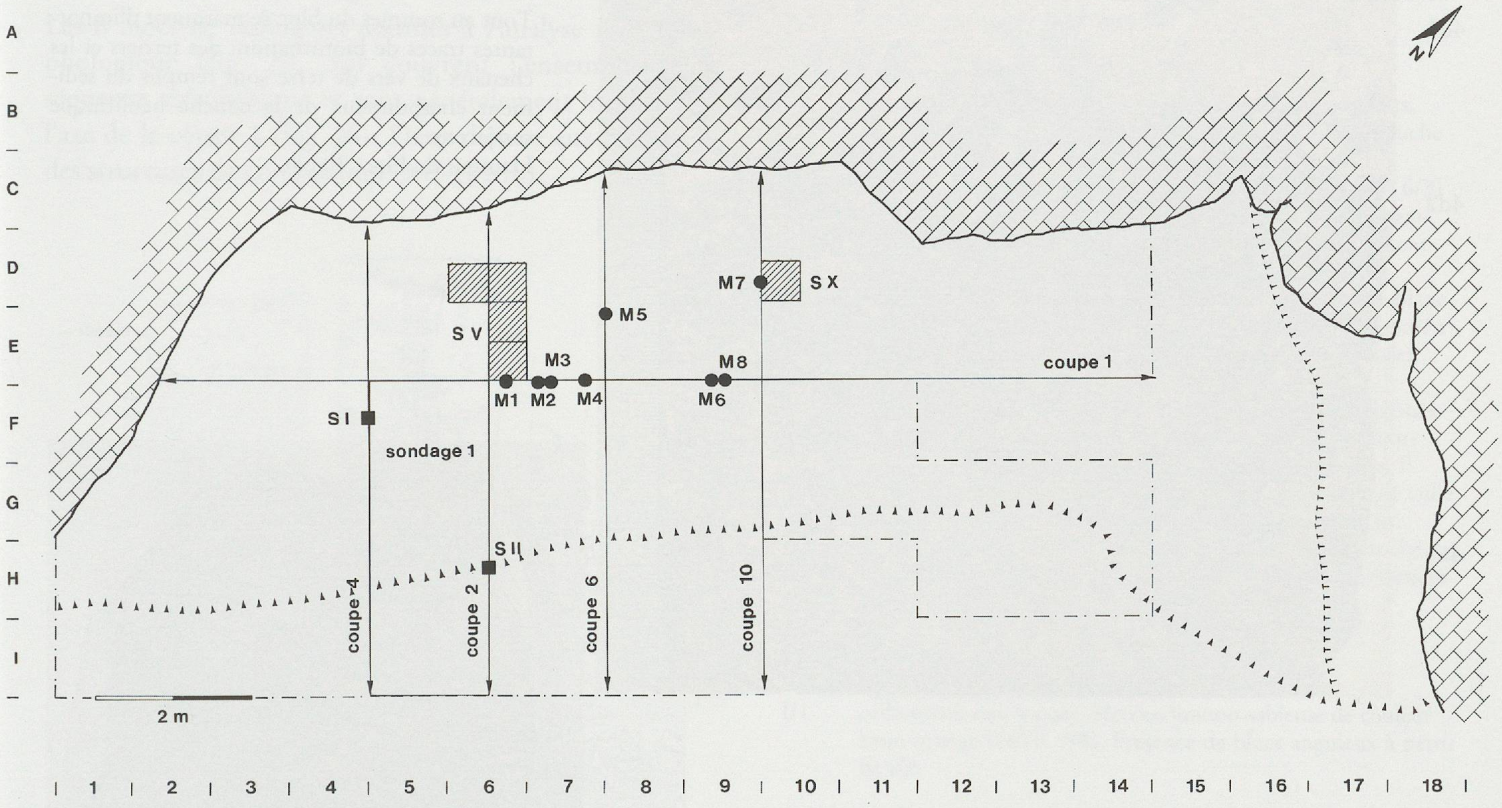


Fig. 28. Localisation des prélèvements. ■ Séries I et II: colonnes stratigraphiques ▨ Séries V et X: prélèvements en décapage ● M1 à M8: blocs pour la micromorphologie

L'étude présentée ici privilégie deux axes:

- une vision globale des conditions de sédimentation à l'intérieur de l'abri, du Tardiglaciaire à nos jours;
- une étude plus détaillée des ensembles moyens et inférieurs, couvrant la séquence mésolithique de l'abri. Cette approche repose en grande partie sur une analyse micromorphologique.

L'ensemble supérieur (du Néolithique à nos jours) a également donné lieu à des prélèvements complémentaires de surface, dans un secteur où les dépôts sont très développés, ainsi que dans le remplissage d'une grande fosse néolithique. L'analyse détaillée de cette série ne figure pas dans le cadre de cette publication.

Prélèvements

Localisation des prélèvements (fig. 28)

La séquence stratigraphique la plus complète fut étudiée lors de l'ouverture du premier sondage (sondage 1) où Marcel Joos préleva 24 échantillons en trois colonnes cohérentes sur les profils 2 et 4 (1982,1983). Dans ce sondage profond, le socle rocheux n'a pas été atteint et des essais de forage[1] se sont avérés infructueux à cause des blocs volumineux rencontrés dans la couche 5.

1. Foreuse de type Borros.

Fig. 29. Vue du bloc M6 (sédiment induré, scié et poli), recoupant les couches 4c, 4d et 4e (analyse détaillée pp. 49-53).
A la base, la couche 4e est surmontée par la couche archéologique 4d2, fortement pigmentée par des microcharbons. La bande orange témoigne de phénomènes d'oxydation en relation avec une nappe d'eau temporairement stagnante.
Noter le contact érosif à la base de la couche 4d1, dû à des ruissellements importants tronquant la couche 4d2. Cette activité de la source est attestée par l'abondance en graviers émoussés et en calcaires concrétionnés. Les calcaires gris fortement encroûtés appartiennent à la couche 4c2 et sont recouverts par les limons carbonatés homogènes de la couche 4c1.
Tout au sommet du bloc se marquent d'importantes traces de bioturbation: des terriers et les chenaux de vers de terre sont remplis du sédiment charbonneux de la couche néolithique sus-jacente.
Hauteur du bloc: 30 cm.

Fig. 30. Vue du bloc M5 (analyse détaillée pp. 53-54).
Traces d'une structure de combustion du Mésolithique ancien (ST. 92) aménagée dans les niveaux caillouteux de la couche 5b. Il s'agit d'une accumulation de calcaires passés au feu pris dans une matrice cendreuse-charbonneuse.
Hauteur du bloc: 25 cm.

Série I: coupe 4, ligne F
Série II: coupe 2, ligne I
Série III: prélevée à une dizaines de mètres en contrebas de l'abri. Cette série qui fournit des informations morphogénétiques sur le contexte naturel, ne sera mentionnée que ponctuellement au cours de l'étude.

Des prélèvements de surface effectués en cours de fouille complètent l'étude des niveaux profonds:
Série V: niveaux mésolithiques et base de la séquence prélevés en décapage dans le secteur DE/6.
Série X: 2 prélèvements en D/10 dans des dépôts non observés à l'ouest.

Les 8 blocs de sédiments destinés à l'analyse micromorphologique (fig. 29, 30) couvrent l'ensemble de la séquence mésolithique et sont généralement localisés sur l'axe de la coupe 1 (fig. 26). Deux d'entre eux recoupent des structures de combustion (M5 et M8).

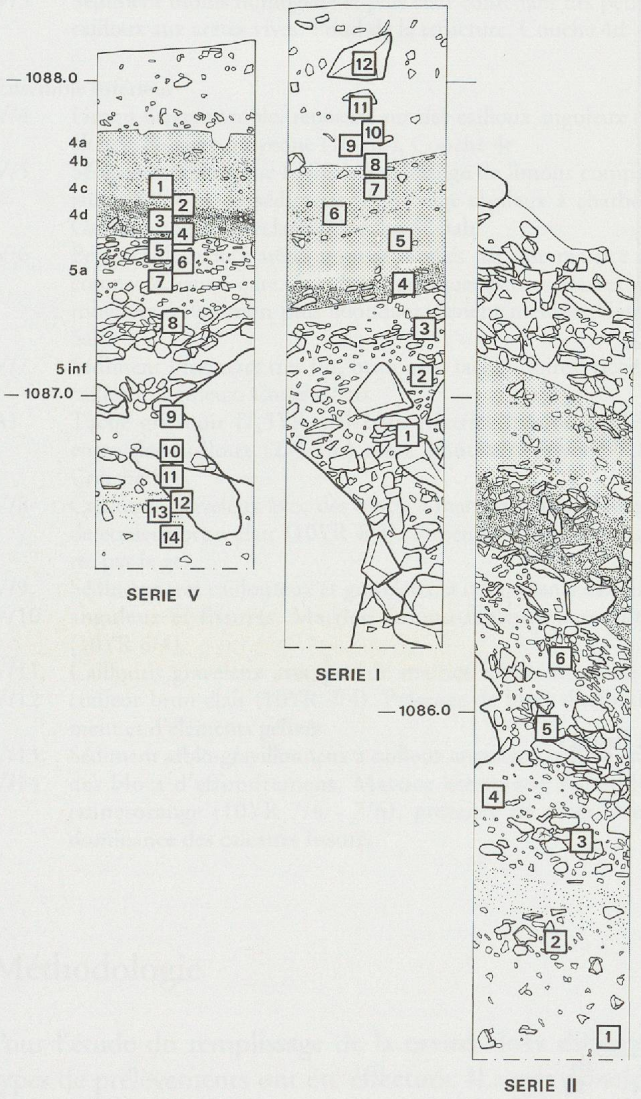


Fig. 31. Position stratigraphique des prélèvements des séries I, II et V.

Description des colonnes (fig. 31)

Série I

Ensemble supérieur

I/12 Limon compact foncé (10YR 2/2)[2], avec amas dense de cailloux anguleux jaunes et de blocs à surface bosselée. Partie inférieure de l'horizon humique d'une rendzine. Couche 1.

I/11 Limon fin grumeleux foncé (10YR 2/2) avec des mottes d'argile compacte. Sommet des taches claires cendreuses. Couche 2.

I/10 Cailloux pris dans une matrice cendreuse claire grise (10YR 4/1). Cette formation correspond à une structure de combustion néolithique riche en os brûlés (ST.56). Couche 2-3.

I/9 Limon fin noir (10YR 2/2), riche en charbons de bois. Fond de la structure ST.56. Couche 3.

I/8 Zone de transition correspondant au fond de la couche d'occupation encore très noire, avec rubéfaction du sommet des limons jaunes. Couche 3.

Ensemble moyen

I/7 Limons silteux jaunes (10YR 7/4), meubles, sans cailloux, perturbés par des creusements néolithiques. Stériles. Couche 4a.

I/6 Sédiment partiellement gris (10YR 4/1) et jaune (10YR 6/3) donnant un aspect verdâtre à la couche. Il contient des gravillons et des plaquettes très altérées et mal scellées qui marquent le sommet et la base de cette unité. Couche 4b.

I/5 Sédiment limono-argileux, de couleur très claire, jaune-blanc (10YR 7/4-8/4). Nette diminution des cailloux par rapport à la couche 4b, concrétions indurées à bords émoussés assez abondantes. Couche 4c.

I/4 Sédiment gris verdâtre (10YR 5/2) à concrétions graveleuses jaunes, peu homogène avec des zones plus argileuses compactes et des passages plus sombres, sableux et meubles. Il contient des graviers, de nombreux cailloux grossiers (de taille supérieure à 5 cm) et même des blocs, qui présentent un aspect moins émoussé que dans la couche 4c. A l'approche de la couche 5 la couleur vire à l'orange (10YR 5/2), le sédiment est plus friable et poreux. Couche 4d.

Ensemble inférieur

I/3, I/2, I/1 Sédiment cryoclastique, graveleux (I/3, I/2) et très caillouteux vers la base. Matrice limono-sableuse de couleur brun-orange (10YR 7/8). Présence de blocs anguleux à partir de I/2.

Série II

Ensemble inférieur

II/6 Sédiment graveleux fin, à constituants anguleux.

II/5 Niveau plus riche en éléments grossiers.

II/4, II/3 Sédiment à texture caillouteuse et matrice limono-gravillonneuse.

II/2 Graveleux, décomposé, avec des taches blanches, humides, présence de racines.

II/1 Sédiment jaune, à texture limono-gravillonneuse, aquifère.

Série V

Ensemble moyen

V/1 Limon jaune paille, meuble, avec traces d'oxydation. Stérile. Couche 4c.

V/2 Limon argileux homogène brun sombre, pratiquement sans pierres. Foyer riche en matériel. Couche 4d.

2. D'après MUNSELL Soil Color Charts, Baltimore (1954).

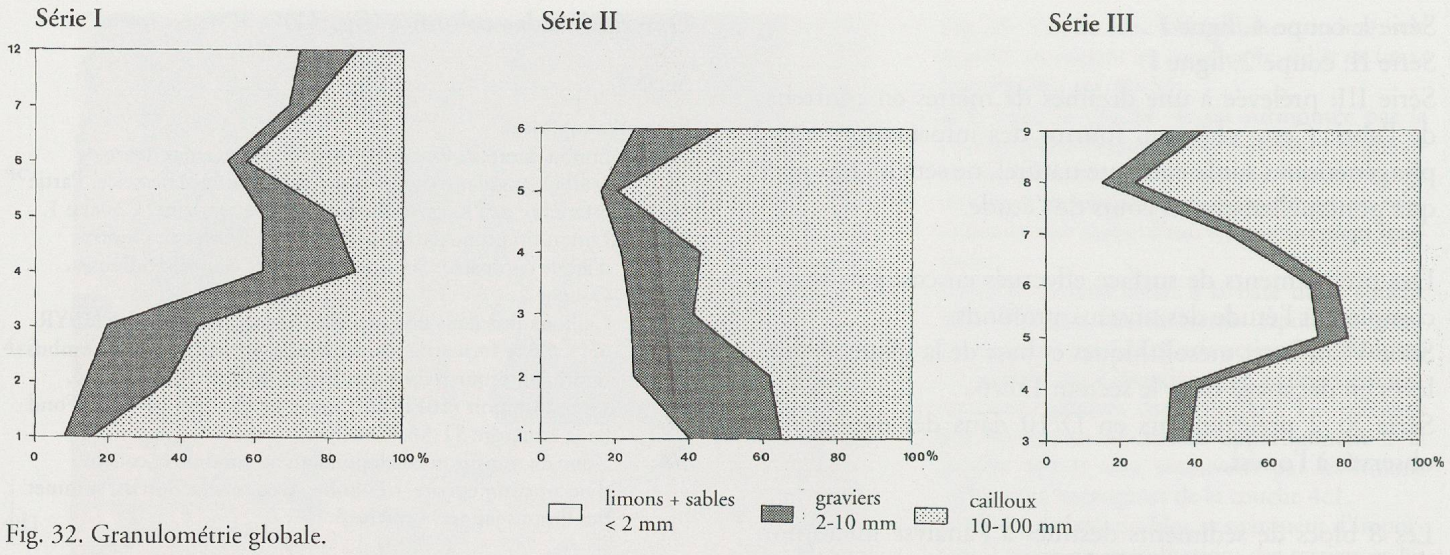


Fig. 32. Granulométrie globale.

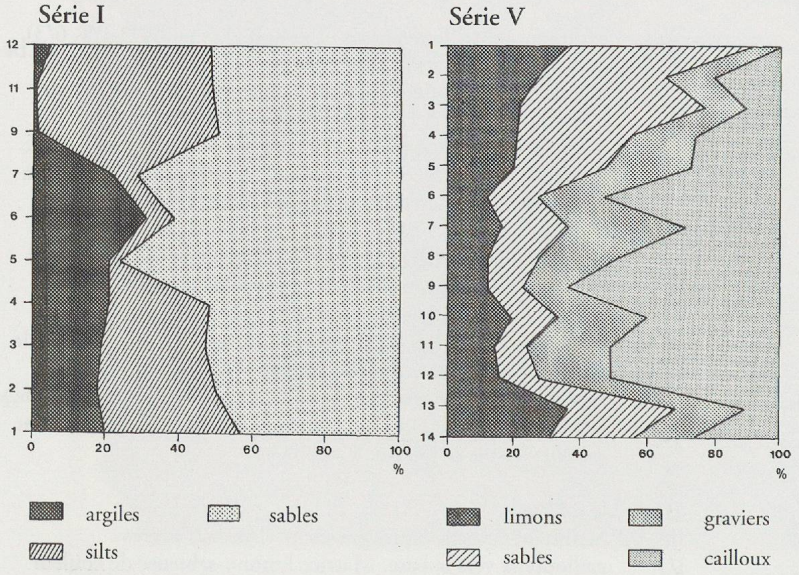


Fig. 33. Analyse granulométrique des séries I et V.

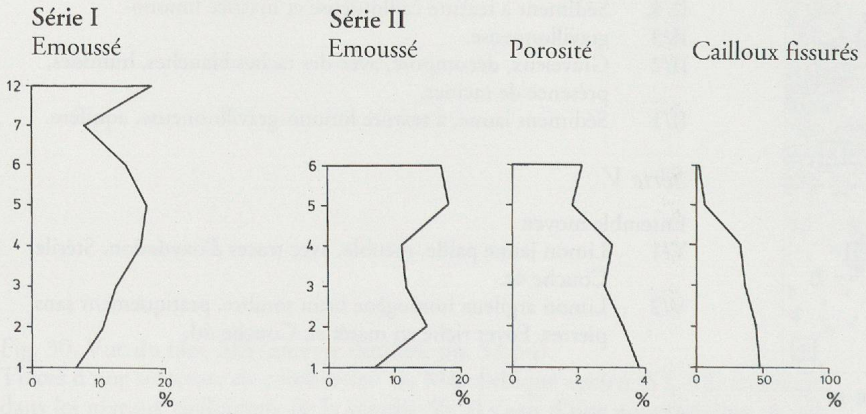


Fig. 34. Morphoscopie.

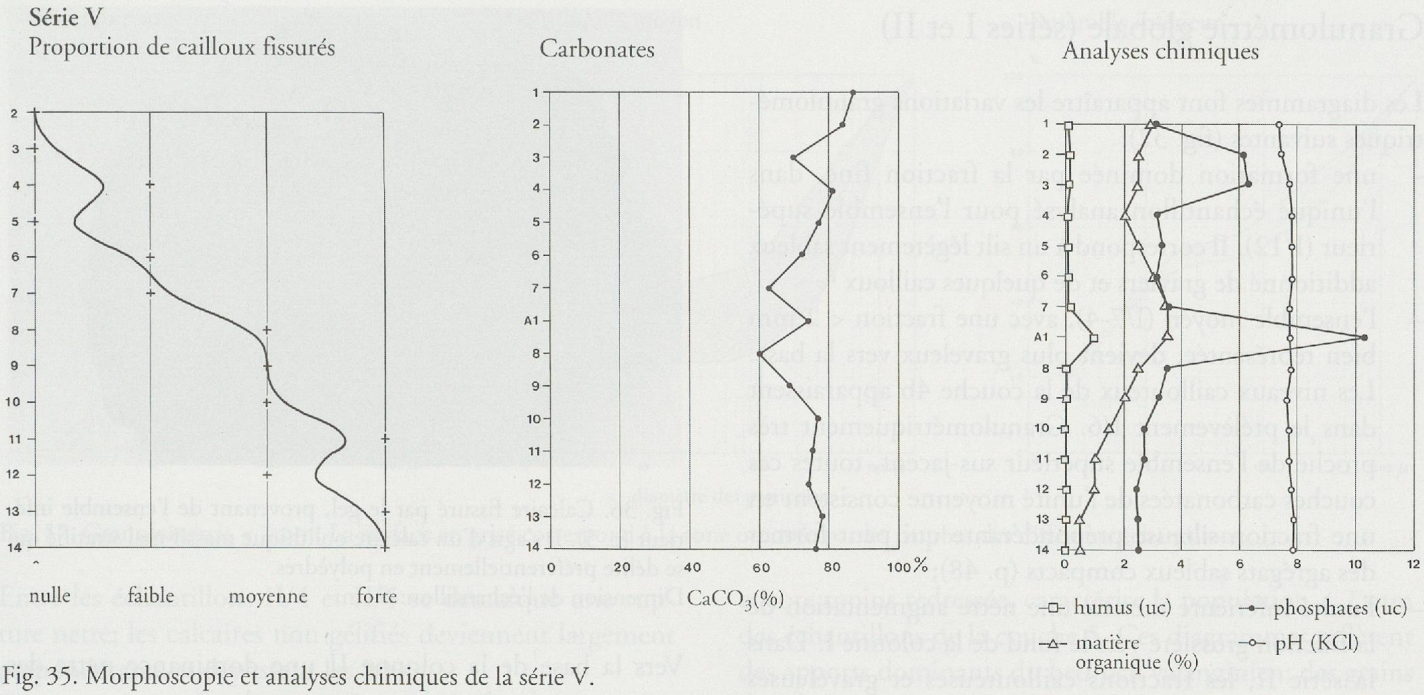


Fig. 35. Morphoscopie et analyses chimiques de la série V.

V/3 Sédiment moins homogène et plus clair contenant des petits cailloux aux arêtes vives. Fond de la structure. Couche 4d.

Ensemble inférieur

V/4 Limon beige, meuble, reposant sur des cailloux anguleux non altérés, de taille moyenne (10 cm). Couche 4e.

V/5 Sédiment hétérogène (déblais?). Mélange de limons compacts jaune-blanc et de sédiment brun-beige argileux à charbons. Cailloux anguleux éclatés. Couche 4e-5ab.

V/6 Petits cailloux aux arêtes mousses scellés par une matrice très compacte, jaune-ocre. A la base, quelques petites pierres sont rubéfiées et le limon plus abondant devient meuble. Couche 5ab.

V/7 Sédiment limoneux très fin, brun avec taches noires, riche en cailloux anguleux. Couche 5ab.

A1 Tache gris-noir (7,5YR 4/0-2/0). Matrice limono-argileuse entre des cailloux (2-5 cm) assez émoussés. Foyer ST.80. Couche 5.

V/8 Cailloutis graveleux avec des blocs, à matrice limono-sableuse de couleur brun clair (10YR 6/3). Présence de calcaires fissurés par le gel.

V/9, V/10 Sédiment très caillouteux et graveleux, à composants calcaires anguleux et fissurés. Matrice limono-sableuse jaune-brun (10YR 6/4).

V/11, V/12 Cailloutis graveleux avec peu de matrice sablo-limoneuse de couleur brun clair (10YR 7/4). Présence de blocs d'effondrement et d'éléments gélivés.

V/13, V/14 Sédiment sablo-gravillonneux à cailloux anguleux, prélevé entre des blocs d'effondrement. Matrice limoneuse de couleur jaune-orange (10YR 7/4 - 7/6), présence de vides. Nette dominance des calcaires fissurés.

Méthodologie

Pour l'étude du remplissage de la cavité, deux différents types de prélèvements ont été effectués. Il s'agit principalement d'échantillons volumineux (jusqu'à 15 kg), prélevés directement dans les profils du sondage ou lors des décapages archéologiques. Ceux-ci ont été ensuite séchés à l'air libre ou à l'aide d'une étuve.

Dans certains cas des blocs orientés pour une analyse micromorphologique ont été emplâtrés sur place et, après séchage complet, imprégnés à la résine synthétique. Les blocs de sédiment ainsi indurés ont ensuite été tronçonnés à l'aide d'une scie diamantée, puis polis sur les faces destinées à une observation macroscopique [3]. Pour les analyses micromorphologiques à la loupe binoculaire et au microscope polarisant équipé d'un système d'autofluorescence, des petites tranches de 4 cm x 6 cm ont été collées sur des porte-objets en verre et amincies jusqu'à une épaisseur de 20 à 30 microns [4].

Quant aux analyses de laboratoire, nous avons choisi les méthodes classiques (Laville 1975, Campy 1982). Dans une première étape, le prélèvement est tamisé à sec sur les mailles de 2 mm. Par la suite la fraction grossière est lavée à l'eau et divisée en différentes classes de cailloux (10-8 cm, 8-6 cm, 6-5 cm, etc.) et de graviers (10-5 mm, 5-2 mm) sur lesquelles portent les études complémentaires: détermination de la porosité (pourcentage d'eau absorbée après 24 heures de trempage) et de l'émoussé (état physique des arêtes [5]). Ensuite sont établies, sur la fraction fine (< 2 mm) la granulométrie des sables (2 mm-63 µ), des silts (63-2 µ) et des argiles (< 2 µ). En outre la fraction des sables grossiers des refus de tamis fait l'objet d'une analyse à la loupe binoculaire.

3. Une série de tranches polies des quatre plus grands blocs, recouvrant plus d'un mètre de la stratigraphie, a été fabriquée.
4. Je tiens à remercier Mme B. Van Vliet-Lanoë et M. M. Blanchet du CNRS Caen (F) pour la réalisation des lames minces.
5. Indice 1: toutes les arêtes sont vives; indice 100: émoussé complet (Bonifay 1956).

Granulométrie globale (séries I et II)

Les diagrammes font apparaître les variations granulométriques suivantes (fig. 32):

- une formation dominée par la fraction fine, dans l'unique échantillon analysé pour l'ensemble supérieur (I/12). Il correspond à un silt légèrement sableux additionné de graviers et de quelques cailloux [6];
- l'ensemble moyen (I/7-4), avec une fraction < 2 mm bien représentée, devient plus graveleux vers la base. Les niveaux caillouteux de la couche 4b apparaissent dans le prélèvement I/6. Granulométriquement très proche de l'ensemble supérieur sus-jacent, toutes ces couches carbonatées de l'unité moyenne consistent en une fraction silteuse prépondérante qui peut former des agrégats sableux compacts (p. 48);
- l'unité inférieure montre une nette augmentation de la fraction grossière vers le fond de la colonne I. Dans la série II, les fractions caillouteuses et graveleuses sont également bien développées et la population fine, située autour des 20%, s'accroît légèrement dans les niveaux inférieurs. Des phénomènes similaires s'observent pour la série V (fig. 33): des lithologies sablo-gravillonneuses avec une fraction caillouteuse variable (V/4-V/7) correspondant aux niveaux attribuées au Préboréal, tandis que dans les formations tardiglaciaires la fraction caillouteuse est toujours dominante, souvent additionnée de blocs d'effondrement (V/8, 11, 12). En revanche les échantillons récoltés à la base du sondage profond (V/13, 14) diffèrent clairement des autres par l'apparition d'une fraction limono-sableuse dominante.

Etude de la fraction grossière

Emoussé (séries I et II) (fig. 34)

En ce qui concerne la morphologie des cailloux, l'échantillon I/12, postérieur au Néolithique, possède un indice d'émoussé relativement bas (18), comparable à ce que l'on rencontre dans l'ensemble moyen sous-jacent (entre 14 et 16), si l'on excepte la couche 4a (indice 7.9) où des éléments grossiers anguleux apparaissent. Les échantillons 8 à 11, avec un nombre de cailloux statistiquement insuffisant, n'ont pas fait l'objet d'une analyse d'émoussé ni de porosité. Dans l'ensemble inférieur, les composants grossiers de la série I, montrent une tendance vers une lithologie à cailloux anguleux (indice d'émoussé 7), tandis que dans la série II, les prélèvements sommitaux (II/5,6) équivalents à la base de la colonne I (I/1), sont sensiblement plus émoussés. Ce fait peut résulter des effets de percolation et de corrosion plus intenses vers l'extérieur de l'abri.

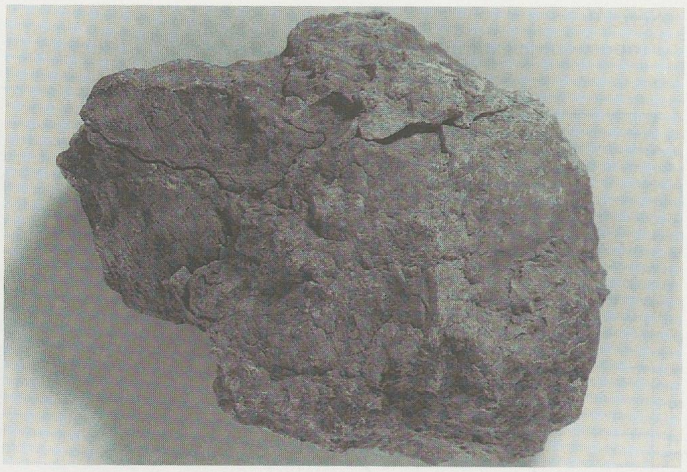


Fig. 36. Calcaire fissuré par le gel, provenant de l'ensemble inférieur (c. 5). Il s'agit d'un calcaire oolithique massif mal stratifié qui se délite préferentiellement en polyèdres.
Dimension de l'échantillon: 6 cm.

Vers la base de la colonne II une dominance nette des composants à arêtes vives se marque à nouveau.

Porosité et présence de cailloux fissurés

Pour la partie sommitale de la colonne II (complexe inférieur), la porosité est autour de 2 à 3%, vers la base aux environs de 4%. Ces résultats reflètent des formations clastiques à porosité généralement basse, donc des niveaux peu altérés. Mais, en même temps, les variations sont faibles et peu significatives et, dans le cas de l'abri du Mollendruz, ces données n'apportent pas d'information supplémentaire à la compréhension des phénomènes sédimentaires [7].

Par contre les traces de gel, qui se manifestent par la présence de cailloux fissurés ou craquelés, sont attestées dans les colonnes II et V (fig. 34 et 35). Ces éléments [8], dont la surface est parcourue par un réseau de fines craquelures évoquant l'aspect d'une mosaïque de fragments anguleux (fig. 36), sont généralement interprétés comme témoins d'une gélivation secondaire en période d'alternance de gel-dégel répétés (Laville 1975).

D'après la fig. 34, le pourcentage de cailloux fissurés est très élevé à la base de la colonne II, ce qui souligne clairement le caractère cryogénique de l'ensemble inférieur.

6. Les échantillons 11 à 8, avec un poids total trop faible, n'ont pas été pris en considération.
7. Des constatations similaires concernant la variation de la porosité ont été faites sur la séquence sédimentaire de l'abri-sous-roche des Gripons (Guélat 1991, 101).
8. A notre connaissance ils n'ont encore jamais été décrits pour les gisements du Jura (Campy 1982, 46). Par contre sur le site paléolithique de Champréveyres, Moulin (1991, 18) a mis en évidence des galets calcaires craquelés dans des dépôts du Dryas ancien inférieur.

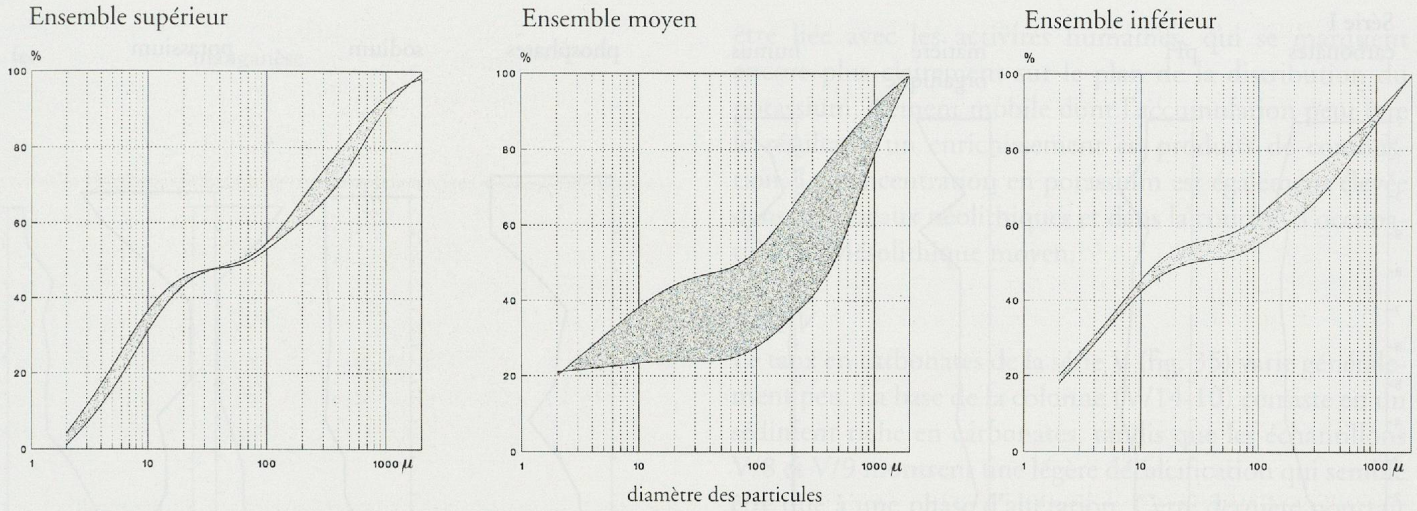


Fig. 37. Granulométrie < 2mm. La surface en grisé correspond à la zone occupée par les courbes des différents échantillons.

Entre les échantillons II/4 et II/5 se démarque une rupture nette: les calcaires non gélifiés deviennent largement prépondérants et dépassent les 90%.
De même les prélèvements inférieurs de la série V renferment une forte proportion de calcaires fissurés. Au sein des niveaux tardiglaciaires ces composants ont tendance à diminuer vers le sommet, alors que les couches attribuées au Préboréal (à partir de V/7) ne renferment qu'une faible quantité de graviers et cailloux craquelés. Ceci prouve une diminution de la fréquence et de l'intensité des cycles de gel dans les dépôts postglaciaires.

Etude de la fraction fine

Granulométrie < 2 mm (séries I et II)

Au vu des données de la granulométrie fine [9] les trois échantillons de l'ensemble supérieur (I/12,11,9) forment une unité absolument homogène. Les silts sont remarquablement bien représentés, alors que la fraction colloïdale (< 2 microns) demeure en dessous des 5%. Une fraction sableuse élevée, qui se compose surtout de petites concrétions carbonatées (voir p. 49) est attestée dans les sédiments des couches 4a à 4c.
Les courbes granulométriques de la séquence supérieure (I/9,12) ont une pente assez régulière et n'indiquent aucun classement [10] apparent du sédiment (fig. 37) .
Il en est de même pour l'ensemble moyen (I/8-4), où les différentes courbes recouvrent une zone plus étendue, résultat de l'existence de concrétions carbonatées dans les différentes fractions. En effet, les analyses granulométriques sur ces dépôts concrétionnés attestent une population limono-sableuse abondante, mais ne permettent pas de mettre en évidence des éventuelles phases de ruissellement – observées sur le terrain – ou même des apports éoliens.
Un mauvais classement, se traduisant par une courbe encore moins redressée, caractérise la population < 2 mm des échantillons de la couche 5. Ces diagrammes reflètent des apports dominants du bedrock valanginien: des grains de calcaire mal calibrés, entourés d'une matrice limoneuse également non classée. A relever encore que la fraction colloïdale atteint 20% dans l'unité inférieure et moyenne, phénomène qui semble être lié à la participation de résidus insolubles provenant de l'encaissant crétacé.

Analyses chimiques

La matrice fine (< 0,5 mm) du sédiment a été analysée chimiquement (Joos 1976, Brochier et Joos 1982, et Le Tensorer 1970). Par la détermination du carbonate de calcium, du pH, de l'humus, du fer et du manganèse, une évaluation des rapports entre les processus naturels de sédimentation, de précipitation et d'altération a été envisagée, tandis que le dosage des phosphates, du sodium et du potassium a servi pour définir l'effet des apports anthropiques sur le remplissage.

Séries I et II
L'examen des diagrammes (fig. 38) montre pour l'ensemble supérieur des teneurs élevées en carbonates (entre 80-90%), évoluant de manière parallèle avec le pH. Ces données sont en rapport direct avec la teneur en matière organique et en acides humiques, dans la mesure où les niveaux superficiels, enrichis en matière organique humique, témoignent d'une décalcification pédogénétique.

9. Les mesures de la fraction limono-argileuse des séries I et II ont été effectuées au sédigraphe 5000E par S. Scandella en 1983.
10. L'aplatissement de la courbe entre 63 et 20 microns est artificiel et dû à des problèmes techniques.

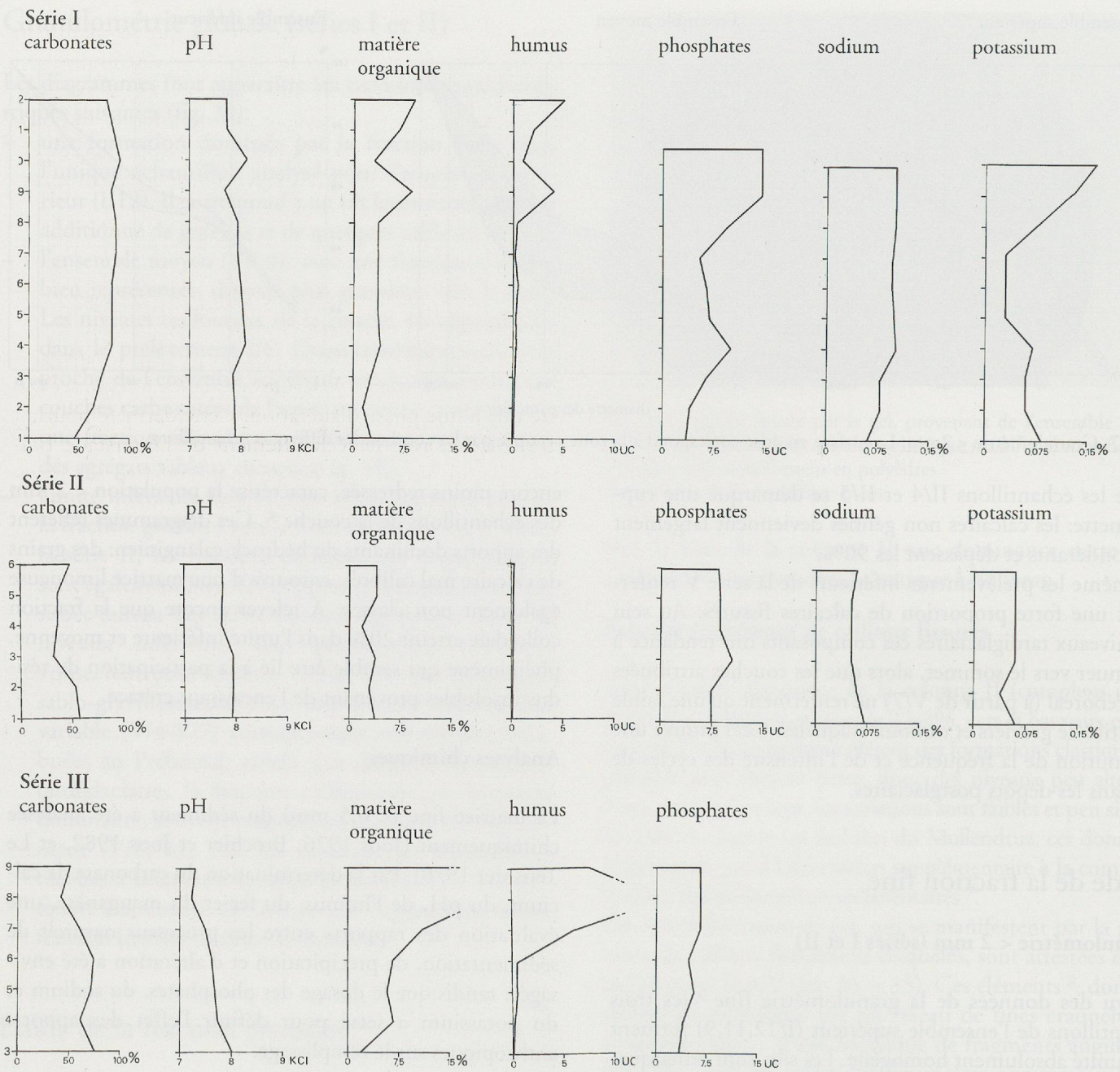
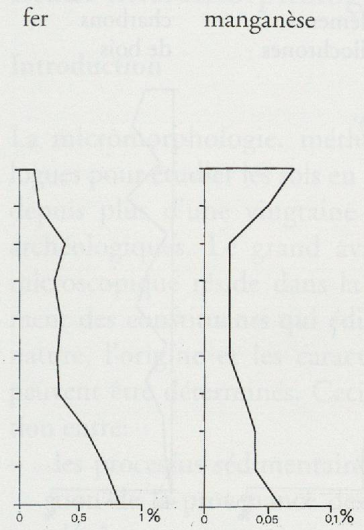


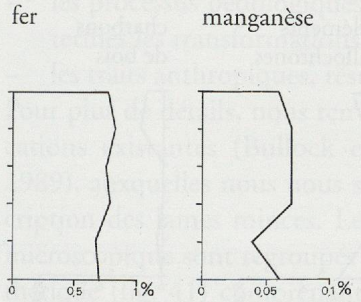
Fig. 38. Analyse chimiques des séries I, II et III.

L'échantillon I/9, fond d'une structure de combustion néolithique, se caractérise par un enrichissement en matière organique fine, tandis que le prélèvement sous-jacent (I/8), sensiblement moins riche en phosphates que tout le reste de la séquence supérieure, se démarque également par sa faible teneur en humus et en matière organique. Les données chimiques rattachent ce limon foncé à un niveau de transition situé au début de l'occupation néolithique. La formation se situe donc stratigraphiquement à la charnière entre l'ensemble moyen et supérieur.

Du point de vue chimique, les limons de la couche 4 sont assez homogènes, avec une augmentation visible de la teneur en phosphates et en matière organique vers leur base (couche 4d). Cette évolution doit être mise en relation avec des occupations humaines répétées au cours du Mésolithique moyen.

La teneur en humus de la couche 4b pourrait être interprétée comme un arrêt de sédimentation suivi de la formation d'un horizon humique discret. Cette hypothèse reste à vérifier par des analyses micromorphologiques car des phénomènes d'infiltration et de bioturbation ne sont pas exclus. En effet, l'étude microscopique des couches sous-jacentes (4c-4e) n'a pas mis en évidence des horizons humiques enfouis. La coloration noire des couches est toujours liée à la présence de microcharbons provenant des structures de combustion mésolithiques (pp. 49-52).





Dans la couche 5, la teneur en carbonates tombe en dessous de 50%. Parallèlement les valeurs d'humus, de matière organique et de phosphates deviennent négligeables, effet évident d'une absence d'apport anthropique sensible dans ce secteur ou de processus pédogénétique pendant la formation de cet ensemble.
L'interprétation des diagrammes reflétant la teneur en fer reste assez délicate. Les résultats des échantillons I/9 et 10 sont probablement imputables à des phénomènes de percolation. Le prélèvement sous-jacent (I/8) se rapproche de l'ensemble des limons jaunes où un lessivage, contemporain de la mise en place du dépôt, peut être envisagé. Un effet comparable semble abaisser le taux de fer dans le sommet de la couche 5.
Dans tous les échantillons, le contenu en manganèse reste très faible (< 0,06%) indiquant un milieu pédologique bien aéré et drainé. On note pour l'ensemble moyen (I/8-4) un léger déficit en manganèse (0,02%). Cette fluctuation correspond de nouveau à des phénomènes de lessivage pendant et après la mise en place de cette unité. La teneur en sodium, alcalin très soluble avec tendance à migrer facilement, est très légèrement élevée (0,1%) dans les échantillons I/10, 9, 8 et 4. Cette accumulation semble être liée avec les activités humaines, qui se marquent encore plus clairement sur le plan de la distribution du potassium, élément mobile dont l'accumulation peut être le résultat d'un enrichissement en produits de combustion. La concentration en potassium est également élevée dans les niveaux néolithiques et dans la couche d'occupation du Mésolithique moyen.

Série V

Le taux en carbonates de la série V (fig. 35) varie généralement peu. La base de la colonne (V/14-10) consiste en un sédiment riche en carbonates, tandis que les échantillons V/8 et V/9 montrent une légère décalcification qui semble être due à une phase d'altération. Cette dernière pourrait être corrélée avec le réchauffement de l'interstade Bölling/Alleröd. Vers le sommet de l'unité inférieure le pourcentage des carbonates s'accroît à nouveau du fait de la présence d'une matrice concrétionnée (pp. 49-52) et dépasse les 80% dans l'unité moyenne.
La richesse en carbonates de l'échantillon isolé A1, prélevé dans un foyer, est sans doute en relation avec la présence de cendres blanches. Cette structure de combustion se marque aussi par des teneurs élevées en phosphates et en matière organique. En ce qui concerne les couches archéologiques (V/8, 7, 3, 2), celles-ci sont également enrichies en phosphates et en matière organique. Les faibles valeurs de l'humus qui apparaissent à partir du prélèvement V/8 confirment cette observation.

Série III

Située au pied du talus, cette petite série de six échantillons traverse les faciès marginaux des trois unités lithostratigraphiques, reconnues à l'intérieur de l'abri.
Les prélèvements III/3 et 4 peuvent être attribués à l'ensemble moyen, alors que les échantillons III/5 à 9 correspondent à l'unité supérieure.
Les diagrammes des résultats chimiques (fig. 38) indiquent une accumulation forte en concrétions carbonatées au pied de la pente. Dans ce substrat où se trouvent les éléments du calcaire crétacé associés à des restes archéologiques colluvionnés, les manifestations de la pédogénèse récente sont très développées. Ainsi l'accumulation de matière organique humique (III/8 et 9) a mené à une décarbonatation de la partie sommitale du profil.
On en conclut que ces dépôts de pédosédiments en aval de l'abri se sont édifiés à partir de phases de colluvionnement, reprenant des couches archéologiques. Une corrélation stricte avec les couches reconnues à l'intérieur de l'abri est d'ailleurs impossible.

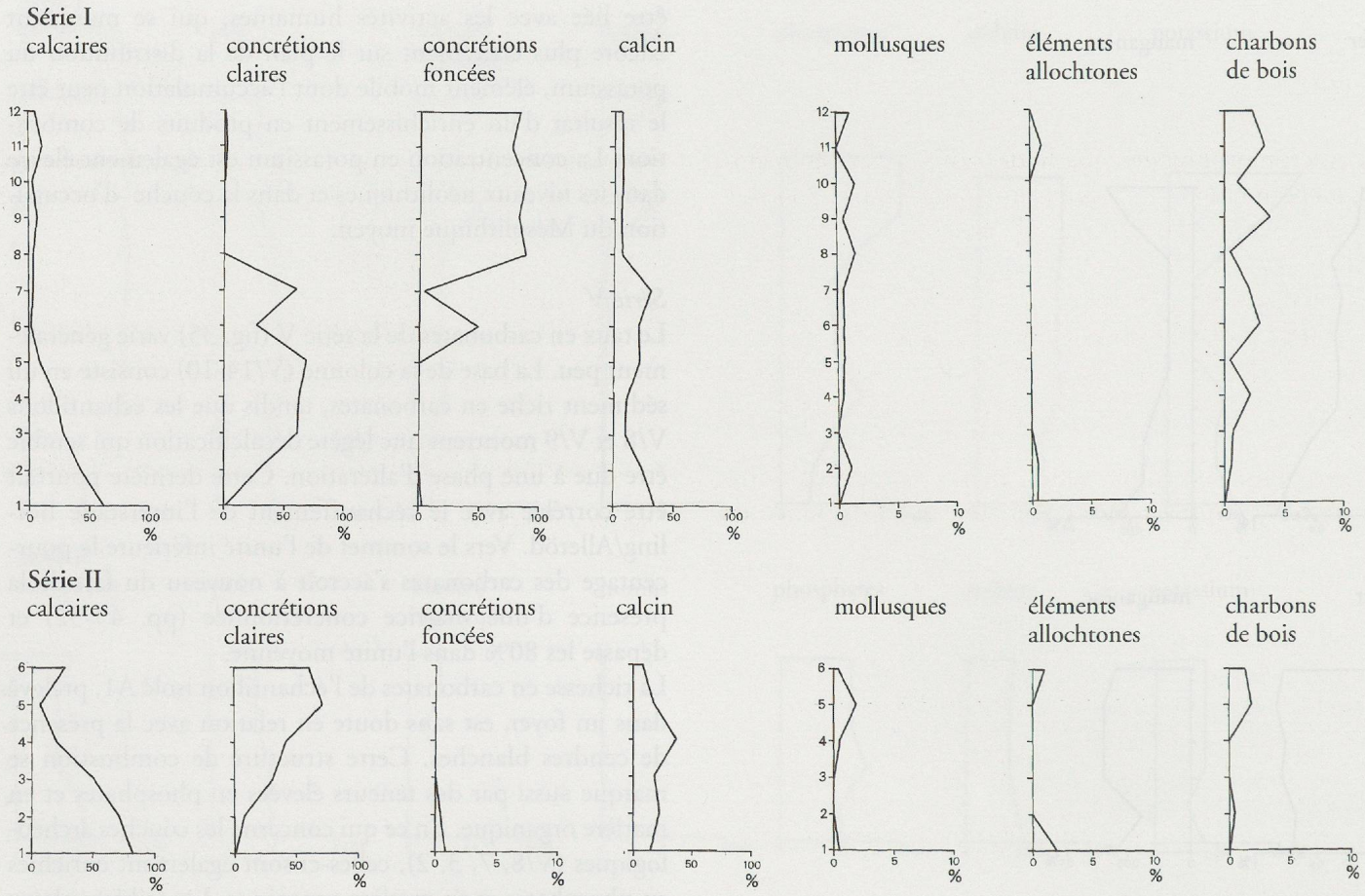


Fig. 39. Analyses optiques des séries I et II.

Analyses optiques

Le comptage d'un nombre de particules statistiquement important (env. 200 particules de la fraction sableuse) sous la loupe binoculaire a permis de définir les constituants qui entrent dans l'édification des différentes couches.

On s'aperçoit que les sédiments se composent de manière générale de trois grands groupes de constituants: les différents types de grains du calcaire local, les concrétions calcaires (au sens large) et les éléments d'origine anthropique.

Série I et II (fig. 39)

Dans l'ensemble supérieur des concrétions carbonatées de couleur foncée sont très abondantes. Celles-ci ont l'aspect d'agglomérats poreux, généralement sous forme de boulettes fragiles. A noter que les mêmes éléments se retrouvent dans la lithologie des limons jaunes où ils sont associés à une autre sorte de concrétions: il s'agit de formations carbonatées blanches, compactes et souvent de forme aplatie correspondant à des fragments de croûtes calcaires (p. 49 et fig. 40). Ce dernier type est également présent dans les niveaux de l'ensemble inférieur riche en fragments calcaires cryogènes dans sa partie basale.

La distribution de ces trois composants majeurs (concrétions carbonatées, croûtes et calcaire local) reflète d'une manière globale les apports suivants:

- ensemble inférieur: cryoclastie forte, diminuant vers le sommet. Début d'une précipitation chimique à partir de I/3;
- ensemble moyen: diminution de l'apport cryoclastique (et altération de celui-ci), suivi d'un concrétionnement;
- ensemble supérieur: poursuite du concrétionnement et réapparition de l'apport clastique. Apport de sédiment charbonneux fin reflétant des importantes activités de combustion.

Les charbons de bois apparaissent dès le sommet de la couche 5, mais sont en général plus denses dans l'ensemble supérieur.

Les fragments de mollusques sont assez rares et ne dépassent pas les 2%.

Il en est de même pour les quartz et les éléments allochtones, dont quelques grains de sables isolés proviennent du complexe inférieur et sont d'origine glaciaire (p. 53).

Etude micromorphologique

Introduction

La micromorphologie, méthode utilisée par les pédologues pour étudier les sols en lames minces, est appliquée depuis plus d'une vingtaine d'années à des sédiments archéologiques. Le grand avantage de cette technique microscopique réside dans la conservation de l'arrangement des constituants qui édifient le dépôt. En outre, la nature, l'origine et les caractéristiques des composants peuvent être déterminés. Ceci permet de faire la distinction entre:

- les processus sédimentaires, en vue d'une reconstitution de la provenance des matériaux et du mode de dépôt;
- les processus pédologiques et d'altération, en d'autres termes les transformations après la mise en place.
- les traits anthropiques, résultat de l'activité humaine.

Pour plus de détails, nous renvoyons le lecteur aux publications existantes (Bullock et al. 1985, Courty et al. 1989), auxquelles nous nous sommes référés pour la description des lames minces. Les résultats de l'observation microscopique sont regroupés sous forme de tableau synthétique (fig. 41) comprenant – de gauche à droite – la couche étudiée, les lames correspondantes, une brève description de terrain et les données analytiques. Ces dernières sont divisées en deux colonnes: la première traite des composants et de la microstructure et la deuxième les phénomènes postsédimentaires («traits pédologiques»). Enfin ces données analytiques sont accompagnées d'une interprétation partielle.

Dans le cas de l'abri-sous-roche du col du Mollendruz, les niveaux concrétionnés, renfermant une importante séquence mésolithique du Préboréal au Boréal, ont attiré toute notre attention. L'approche micromorphologique se propose principalement d'éclaircir la genèse des dépôts carbonatés et d'étudier les traits anthropiques.

Interprétations

Les couches de l'ensemble moyen et inférieur (couches 4c à 5c)

La couche 4c se constitue presque entièrement de précipitations carbonatées sous forme de nodules micritiques et de croûtes microlitées entourés d'une matrice carbonatée pulvérulente (fig. 41). Les observations en lumière fluorescente (Van Vliet-Lanoë 1980, Altemüller et Van Vliet-Lanoë 1990) indiquent qu'il s'agit de formations biogéniques, plus précisément de croûtes algaires qui se forment sur la paroi de l'abri-sous-roche, préférentiellement pendant des périodes sèches [11]. Ces revêtements peuvent ensuite être démantelés lors de gel hivernal et

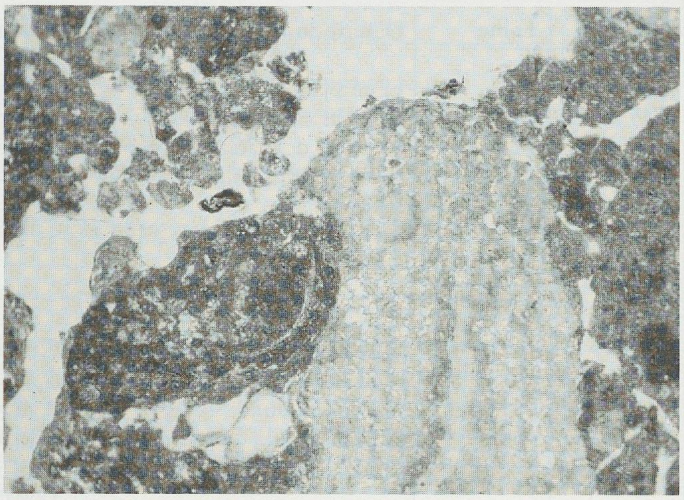


Fig.40. Vue au microscope de la couche 4c.
Au centre de la photo on distingue une croûte carbonatée litée d'origine biologique. Elle s'est formée sur la paroi de l'abri-sous-roche pendant des périodes sèches et a été détachée sous l'effet du gel hivernal. Les éléments gris représentent des fragments corrodés du calcaire encaissant et sont entourés d'une matrice carbonatée de couleur jaune. Porosité à chenaux avec traces de racines récentes (éléments brun-rouge).
Lumière analysée non polarisée (PPL). La largeur de la photo représente 40 mm.

contribuent ainsi à l'édification d'un dépôt limono-gravillonneux. De plus, des ruissellements provenant des différents exutoires du réseau karstique à débit intermittent semblent avoir affecté la couche 4c. On suppose que cette strate était faiblement colonisée par la végétation à l'intérieur de l'abri, ce qui se traduit par l'absence d'horizons humifères. En revanche les phénomènes postsédimentaires suggèrent le développement d'un sol au niveau des couches supérieures: nous avons pu observer des traces de bioturbation [12] et de dissolution des carbonates. Dans une phase ultérieure les pores du sédiment sont remplies par des carbonates micritiques de couleur jaune clair [13] qui sont couverts par des cristaux de sparite aciculaire (pseudomycélium).

On s'aperçoit alors que la couche 4c, qui par ailleurs renferme des traits anthropiques très discrets, témoigne d'une genèse et d'une évolution postdépositionnelle assez complexes. A relever que ces limons jaunes ne correspondent en tout cas pas à un dépôt loessique ni à un travertin formé sous une tranche d'eau permanente.

Par contre le développement du plancher travertineux de la couche 4c2 est directement lié à une importante activité

11. Je tiens à remercier vivement Mme B. Van Vliet-Lanoë qui a eu l'amabilité de me montrer des formations similaires à l'abri Tagliente (I). Nos remerciements pour la lecture critique du manuscrit vont également à M. Guélat.
12. Remaniement du sol par la faune et la flore.
13. Ces revêtements jaune clair correspondent à une phase d'illuviation de carbonates pédogénétiques.

Couche	Lame	Description de terrain	Microstructure et composants
4c	M1/1 M1/2	Limon jaune clair avec des concrétions graveleuses. Très peu de matériel archéologique du Mésolithique ancien III.	Limon carbonaté poreux (porosité env. 25%) avec des clastes: concrétions carbonatées blanches. Celles-ci sont microlitées et émoussées. Quelques rares fragments corrodés du calcaire valanginien. Microstructure en chenaux et chambres.
4c2 plancher	M1/2 M2/1 M2/2 M4/1	Niveau caillouteux surmonté d'un mince travertin. Matrice limoneuse jaune. Vestiges archéologiques du Mésolithique ancien III.	Calcaires corrodés avec partiellement des traces de gel. Apparition d'un mince (env. 1-5 mm) travertin avec une structure massive. Il cimente le niveau caillouteux sous-jacent. Micromasse carbonatée à rares sables cristallins (micas, amphiboles, tourmaline...). Présence de mollusques. Faibles indices anthropiques: calcaires rubéfiés, boulettes de terre cuite, rares esquilles d'os.
4d1	M2/1 M2/2 M4/1	Limon jaune très graveleux avec beaucoup de composants encroûtés. Eléments redressés et limite inférieure abrupte. Traces archéologiques du Mésolithique ancien III.	Gravier sableux à matrice carbonatée, structure de type agrégée subarrondie. Orientation chaotique des éléments: os boulettes de terre cuite, fragments de travertins, gravillons brûlés encroûtés, fragments de sol provenant de la couche sous-jacente. Gravier alpin (gneiss à tourmaline bleue).
4d2	M2/2 M4/1 M4/2 M6/1 M6/2	Couche graveleuse à matrice sablo-limoneuse de couleur jaune brun à brun foncé. Niveau archéologique du Mésolithique ancien III.	Gravillons et cailloux émoussés pris dans une micromasse carbonatée, teintée par des microcharbons. Présence de concrétions carbonatées et de calcaires gélifractés. Structure massive à chenaux, porosité env. 30%. Traces archéologiques: silex, os, os brûlés, dents, charbons de bois abondants, calcaires brûlés, fragments de sol rubéfiés par le feu.
4e (faciès oriental)	M7/1	Limon jaune graveleux en forme de petit cône se biseautant vers l'extérieur de l'abri. Vestiges archéologiques diffus du Mésolithique ancien.	Limon sableux avec rares clastes: boutons algaires, planchers travertineux et fragments du bed-rock. Matrice carbonatée avec microstructure complexe: structure lenticulaire, en chenaux et en chambres. Présence de mollusques. Boulettes de calcite fibroradiaire.
4e	M4/3 M4/4	Graviers anguleux à matrice limono-sableuse jaune abondante. Occupation du Mésolithique ancien I, daté du Préboréal.	Limon carbonaté sableux avec des gélifracts anguleux. Ces derniers sont fissurés et non encroûtés. Quelques composants cristallins (tourmaline) et fragments de stalactites. Microcharbons et éléments rubéfiés intégrés dans la matrice. Structure en chenaux et en chambres.
5a	M7/2	Gravier sableux à matrice limoneuse jaune-orange. Traces archéologiques du Mésolithique ancien I.	Graviers gélifractés entourés d'une micromasse sablo-limoneuse. Les fragments anguleux du calcaire encaissant portent souvent des croûtes stalactitiques. Présence de quelques graviers alpins altérés. Boulettes de calcite fibroradiaire.
5a	M4/4 M3/1 M3/2	Couche graveleuse, caillouteuse à matrice sablo-limoneuse jaune-orange. Présence de vides. Niveau archéologique du Mésolithique ancien I.	Graviers subanguleux gélifractés (cailloux craquelés) anguleux avec micromasse sablo-limoneuse carbonatée. Particules cristallines abondantes. Très rares encroûtements carbonatés. Porosité env. 30%. Matrice pigmentée par des microcharbons et de la matière organique.Beaucoup d'esquilles d'os et calcaires passés au feu. Présence d'un charbon de genévrier.

Traits pédologiques	Interprétation
Traces de bioturbation. Dissolution des carbonates. Phase d'illuviation carbonatée jaune suivie d'une néoformation de calcite aciculaire (pseudomycélium). Sédiment de type «pédoconstruit» (cimentation par des carbonates).	Lithologie édifiée par des précipitations carbonatées d'origine biogénique. Il s'agit de croûtes algaires formées sur la paroi. Celles-ci sont ensuite détachées lors de cycles de gel hivernal et ont subi une altération. Faible colonisation par la végétation. Milieu ouvert sous climat sec avec des conditions propices à la formation d'encroûtements carbonatés. Les observations de terrain indiquent des phases de ruissellement (activité épisodique d'une source).
Bioturbation, dissolution des carbonates, illuviation de carbonates de couleur jaune.	Niveau cryoclastique avec traces résiduelles d'une couche archéologique. Cette dernière semble être affectée par des phénomènes de ruissellement qui ont mené à la formation d'un petit plancher travertineux. A noter que certains clastes montrent deux générations d'encroûtement: la première phase comprend une croûte stalagtitique sur une face des composants, formée avant la gélifraction de la paroi rocheuse, la deuxième consiste en la formation d'un travertin sur le sol de l'abri-sous-roche. Circulation d'eaux karstiques chargées en matériaux cristallins provenant des dépôts morainiques du plateau avoisinant.
Faible bioturbation, illuviation de carbonates jaunes.	Niveau de réduction: couche remaniée par des eaux de ruissellement. Erosion de couche 4d2, accumulation des éléments graveleux. (v>= 0,5 m/sec). Fort encroûtement synsédimentaire. Augmentation de l'humidité?
Bioturbation (granules de calcite fibroradiée), phénomènes de dissolution, désilicification des artefacts. Faible illuviation de carbonates. Absence de matière humique, la coloration de la couche est essentiellement due à la présence de microcharbons.	Couche cryoclastique (calcaires et concrétions carbonatées d'origine biochimique) avec une matrice carbonatée. Les calcaires ont subi plusieures cycles de gel hivernal puis une phase d'altération (corrosion). Des importantes traces de combustion en liaison avec des occupations répétées marquent les activités humaines. L'horizon archéologique est complètement réhomogénisé par la pédofaune et les piétinements. Phénomènes d'érosion au sommet de la couche. L'observation de quelques concrétions carbonatées suggère des épisodes de ruissellement de moindre importance.
Faible bioturbation, indices de dissolution de la matrice carbonatée. Illuviation de carbonates jaunes.	Faciès très carbonaté de la couche 4e, situé sous un exutoire. Sédimentation locale: apport gravitaire et cryoclastique de concrétions et de calcaires. Ruissellement. Importantes traces de gel conservées dans la matrice fine.
Traces de bioturbation. Indices de dissolution de la micromasse carbonatée et de faible illuviation (recarbonatation). Présence de graviers oxydés de couleur orange.	Couche cryoclastique faiblement altérée. Les observations microscopiques indiquent des ruissellements temporaires (présence de matériel morainique) avec des précipitations carbonatées peu importantes (absence de concrétions carbonatées de type bouton algaire). Saisons très contrastées avec des cycles de gel hivernal répétés. Plusieures graviers oxydés témoignent de phénomènes postsédimentaires (nappe d'eau temporairement stagnante). La bioturbation et les ruissellements sont, entre autres, responsables de la faible densité de traces archéologiques.
Bioturbation, traces de dissolution dans la matrice carbonatée.	Dépôt de cryoclastes peu altérés, partiellement recouverts d'une croûte stalactitique. Evidences pour des épisodes de ruissellement, remaniant les formations morainiques du plateau. Traces de gel presque entièrement détruites par l'activité de la pédofaune.
Bioturbation, dissolution, illuviation cendreuse-charbonneuse (présence de matière organique). Clastes avec liseré d'oxydation. Calcite aciculaire dans les pores.	Phase de gélifraction très intense, dominant la sédimentation. Faible concrétionnement. Formation d'une lithologie clastique poreuse (open work) avec une matrice probablement postsédimentaire, comblant les vides primaires. Traces d'occupation humaine bien marquées: matière organique, traces de combustion, déchets de nourriture. Phénomènes d'évolution après mise en place: cycles de gel-dégel, ruissellement, bioturbation, dissolution des carbonates et illuviation de microcharbons. Traces d'oxydation résultant d'une nappe d'eau stagnante.

Couche	Lame	Description de terrain	Microstructure et composants
5b	M8	Graviers à matrice sableuse, limoneuse. Traces archéologiques du Mésolithique ancien. (Prélèvement près d'une structure de combustion)	Graviers anguleux non altérés entourés d'une matrice carbonatée très riche en sables cristallins. Structure à chenaux, porosité env. 30-40%. Haute densité en microcharbons. Os brûlés, esquilles de silex et calcaires rubéfiés. Présence de matière organique et de cendres intégrées dans la micromasse.
Foyer ST. 92 (5a)	M5/2	Gravillons et graviers subarrondis à matrice sableuse, limoneuse. Eléments rubéfiés abondants. Traces d'un foyer, recoupé par une autre structure de combustion.	Graviers légèrement émoussés avec peu de matrice fine. Porosité env. 20%, structure en chenaux très développée. Eléments rubéfiés par le feu. Matrice sableuse composée de calcaires et de roches siliceuses. Micromasse brune carbonatée enrichie en matière organique. Pas de traces de feu dans la matrice.
Foyer ST. 92 (5b)	M5/3 M5/4 sommet	Gravillons subarrondis avec peu de matrice limoneuse de couleur jaune-brun. Présence de vides, quelques calcaires rubéfiés.	Graviers légèrement altérés, rare matrice carbonatée à éléments morainiques et microcharbons dispersés dans la masse. Calcaires brûlés épars. Structure en chenaux et chambres très développée, porosité env. 35%.
Foyer ST. 92 (5b fond)	M5/4 base	Graviers subanguleux à matrice sablo-limoneuse de couleur orange.	Graviers non altérés, légèrement fissurés par le gel. Matrice sableuse contenant des microcharbons épars des calcaires et des roches siliceuses. Porosité env. 30-40%, structure complexe à chenaux et chambres.

Fig. 41. Résultats et interprétation des observations microscopiques.

des exutoires. En effet la présence d'un lit de calcaires à croûtes stalagtitiques témoigne de ruissellements sur la paroi avant l'apport cryoclastique. Dans ce niveau les traces d'occupation sont mal conservées du fait de l'érosion fluviatile: il s'agit surtout d'une accumulation de composants grossiers (cailloux et calcaires brûlés) recouverts partiellement d'un mince liseré limoneux teinté par des microcharbons que nous interprétons comme les restes d'une couche archéologique. Tous ces éléments sont cimentés par un petit travertin massif (fig. 42). Pendant sa formation la couche 4c2 a été enrichie en matériel morainique fin, sans doute apporté par les eaux de ruissellement remaniant des dépôts glaciaires qui se trouvaient sur le plateau calcaire en amont du site.

Des phénomènes d'érosion similaires semblent avoir affecté la couche 4d (p. 40, fig. 29). L'analyse microscopique permet de distinguer deux couches séparées par un contact abrupt: le niveau archéologique «in situ» (4d2) recouvert d'un dépôt riche en concrétions et en sables cristallins (4d1). Ce dernier renferme également beaucoup de restes archéologiques et de boulettes de sol de la couche 4d2. A notre avis ceci prouve pour la couche 4d1 le caractère remanié – ou du moins fortement influencé par des ruissellements [14]. Le sédiment du niveau d'occupation 4d2 provient principalement de phénomènes de désagrégation de la paroi comme en témoignent les cryoclasts altérés et quelques croûtes micritiques entourés d'une matrice carbonatée. A relever que les traces d'occupation sont bien conservées. La matrice fine, très riche en microcharbons et en matière organique, n'est pas brûlée et résulte des effets de réhomogénisation par piétinement et par bioturbation [15]. Ainsi les restes des aires de combustion – cendres blanches, os et charbons de bois – se trouvent intégrés au fond matriciel. La couche renferme également des esquilles d'os brûlées et des calcaires rubéfiés montrant une fissuration subparallèle avec une libération d'oxydes de fer. Cela indique des feux d'intensité et de températures moyennes [16] (Wattez 1988). A souligner encore qu'aucun coprolithe ou concrétion phosphatée n'a été détecté.

La couche 4e, attribuée au Préboréal, se caractérise par l'apparition d'une matrice jaune carbonatée qui entoure des calcaires anguleux peu altérés. Elle résulte comme la précédente du démantèlement de la paroi lors des cycles de gel-dégel hivernal. La présence de roches cristallines témoigne d'épisodes de ruissellement qui mènent, à proximité des exutoires, à la formation de faciès très concrétionnés, comparables à la couche 4c. Ce dépôt qui correspond à un petit cône a, du fait de la faible bioturbation, conservé des traces de gel sous forme d'une structuration

14. En plus l'abondance relative en éléments grossiers disposés en lits discontinus (fig. 26) évoque des niveaux de réduction.
15. Cette réhomogénisation a détruit les éventuelles traces des différentes occupations répétées au cours du temps.
16. Des transformations en chaux, qui se font à partir d'env. 700°C (Courty et al. 1989), n'ont pas été observées.

Traits pédologiques	Interprétation
Bioturbation peu marquée, illuviation cendreuse. Désilicification.	Dépôt cryoclastique avec des traces de gel. Suintements synsédimentaires d'eaux chargées en matériel morainique. Absence de concrétionnement. Matrice carbonatée renfermant des traces d'une occupation humaine distincte. Importantes traces de combustion. Réhomogénisation de la micromasse par la pédofaune et illuviation de sédiment fin charbonneux par ruissellement. Couche archéologique non affectée par des phénomènes d'érosion.
Illuviation cendreuse-charbonneuse, bioturbation, précipitation de calcite aciculaire (pseudomycélium).	Structure de combustion remaniée. Combustible: bois et feuilles/herbes(?).
Forte illuviation cendreuse-charbonneuse, calcite aciculaire, bioturbation.	Les revêtements des pores correspondent à trois phases: 1. Formation d'un revêtement argileux de couleur orange, suite à des ruissellements et des phases d'oxydation. 2. Illuviation cendreuse-charbonneuse, provenant de la structure 111. 3. Illuviation carbonatée en liaison avec une phase de pédogenèse plus tardive.
Illuviation cendreuse, illuviation carbonatée.	

lenticulaire. Les vestiges anthropiques sont diffus, et ne se marquent que par des concentrations en microcharbons et en graviers passés au feu.

Dans le secteur central de l'abri-sous-roche (éch. M4 base, et M3 base), la couche 5a au sommet de l'ensemble inférieur montre une lithologie très graveleuse, à matrice sablo-limoneuse nettement différente de celle des couches sus-jacentes. Ce dépôt datant encore du Préboréal est très riche en cryoclasts anguleux et repose directement sur un niveau de blocs d'effondrement qui pourrait appartenir au Dryas III (fig. 26). Les graviers et les sables de cette couche 5a proviennent de la gélifraction du bedrock valanginien, tandis que l'abondance en composants fins allochtones [17] évoque des phases de ruissellement syn- et postsédimentaires. Nous ne pensons pas que cette fraction exogène dérive d'apports éoliens sur le site: d'une part, la répartition granulométrique ne parle pas en faveur d'un sédiment loessique, puisque des sables mal triés et même des graviers sont présents; d'autre part, l'activité éolienne a sans doute été faible, effet évident d'un couvert végétal assez dense à cette époque. Les observations microscopiques suggèrent des conditions climatiques différentes de celles des couches précédemment décrites, beaucoup moins propices à la formation d'encroûtements biogéniques. Par conséquent, on admet des saisons peu contrastées avec des périodes estivales moins sèches et des coups de gel hivernal violents. Quant aux traits anthropiques, ceux-ci se présentent à nouveau sous forme de traces de combustion et de déchets de nourriture: des esquilles d'os, des calcaires rubéfiés pris dans une matrice pigmentée par de la matière organique et des microcharbons (fig. 43).

Fig. 42. Vue au microscope de la couche 4c2.
A la base on observe un calcaire gris de forme triangulaire contenant des microfossiles et des veines calcitées blanches. Ce gélifract émoussé est surmonté par un mince lit brun qui contient de la matière organique et des fines particules charbonneuses. En dessus de ces traces archéologiques discrètes on distingue un sédiment hétérogène de couleur grise et blanche, correspondant à un travertin massif formé sous une tranche d'eau. Au sommet de la photo les limons carbonatés jaunes, parcourus par des biopores.
PPL. La largeur de la photo représente 40 mm.

17. Des sables et des silts cristallins surtout.

Fig. 43. Vue au microscope de la couche 5a.
Les gélifracts de calcaire sont pris dans une matrice fine teintée par des microcharbons. Suite à une phase de dissolution des carbonates, les pores (en blanc) sont partiellement comblés par une illuviation de limons fins charbonneux de couleur jaune-brun, provenant des structures de combustion sus-jacentes. Les composants morainiques de la matrice ne sont pas visibles à cet agrandissement. PPL. La largeur de la photo représente 100 mm.

Les événements postdépositionnels ayant affecté la couche 5a sont nombreux. Suite à une phase de dissolution des carbonates, les pores sont comblés partiellement par un limon fin charbonneux. Il s'agit là d'une illuviation cendreuse charbonneuse provenant de foyers abandonnés des couches supérieures. On note également des traces d'oxydation tardives en liaison avec une nappe d'eau temporairement stagnante.
La couche 5b se caractérise également par l'abondance de graviers calcaires anguleux et de sables cristallins. Sa formation résulte, comme pour la couche 5a, de phénomènes de démantèlement du bedrock accompagnés de phases de ruissellement. L'absence de concrétions carbonatées se traduit par une porosité importante de 30 à 40%, ce qui indique une sédimentation plutôt rapide. Prélevé à proximité d'une structure de combustion, l'échantillon M8 a conservé les traces d'occupations humaines répétées. La matrice carbonatée renferme des débris de matière organique, des cendres remaniées, des microcharbons, des esquilles de silex et d'os brûlés. A l'exception d'une bioturbation modeste, cette couche archéologique est assez bien conservée. Le milieu sédimentaire et les conditions climatiques semblent être très proches de ceux de la couche 5a.

La structure de combustion (foyer ST.92)
Le bloc M5 prélevé dans la coupe 6 comprend la partie centrale d'un foyer creusé dans les graviers de l'ensemble inférieur (p. 40, fig. 30). Rappelons que ce foyer n'a pratiquement pas livré de mobilier. Sur la face polie du bloc M5, la structure 92 frappe avant tout par l'apparition d'une concentration en calcaires rubéfiés pris dans une matrice brun foncé. Cette dernière est enrichie en fines particules de matière organique incomplètement brûlées auxquelles s'ajoutent de minuscules charbons de bois. A l'exception des calcaires rubéfiés, aucun autre élément passé au feu (boulettes de soles cuites ou os brûlé par exemple) n'a été observé. En l'absence de chaux et d'os calciné, la température de cuisson peut être estimée entre 500 et 650°C au maximum, ce qui correspond à un feu d'intensité moyenne. On conclut alors qu'il s'agit d'un foyer peu entretenu, probablement en liaison avec une occupation plutôt fugace [18].
Dans les couches sous-jacentes une forte illuviation cendreuse charbonneuse se manifeste. Il s'agit là d'une accumulation en particules fines ayant migré vers le bas par les eaux de ruissellement suite à l'abandon de la structure. Ces revêtements poussiéreux semblent dériver d'une phase d'illuviation ce qui pourrait parler en faveur d'une seule utilisation du foyer. Quant au combustible, le bois est attesté par la présence de cendres blanches, tandis que les résidus organiques au fond du niveau rubéfié semblent bien être d'origine différente. Ces restes correspondent-ils à des feuilles ou à des herbes ayant servi à allumer le feu?
En résumé, l'analyse micromorphologique confirme généralement les observations de terrain. Le foyer 92, presque stérile du point de vue archéologique, correspond à un feu de température moyenne avec une combustion assez complète. Avant son recouvrement, des ruissellements, mais probablement aussi des phénomènes de déflation éolienne ont affecté la structure dont il ne subsiste que les composants rubéfiés associés à une matrice cendreuse charbonneuse.

Conclusions

L'interprétation des données sédimentologiques et micromorphologiques mène aux propositions suivantes concernant la mise en place des différentes couches et leur signification paléoclimatique locale:
L'ouverture de l'abri s'est probablement faite lors du retrait [19] de la calotte glaciaire jurassienne provoquant l'effondrement massif d'une zone tectonisée, sans doute parcourue par un réseau karstique antérieur. Cet événement catastrophique se traduit par l'apparition d'énormes blocs de roche calcaire à la base de la stratigraphie.
Une cryoclastie forte avec un taux de sédimentation important, qui témoigne du maintien d'un régime périglaciaire, tend à régulariser le microrelief déterminé par les

18. Les mêmes observations micromorphologiques ont été faites sur un foyer mésolithique du site des Gripons (Pousaz 1991, 118).
19. Troisième phase du retrait, d'après Campy 1982, 493.

blocs d'effondrement à l'intérieur de l'abri. Ces conditions climatiques rigoureuses s'expriment au niveau de la stratigraphie par un sédiment non altéré, proche des grèzes litées, mais avec généralement peu de matrice fine. Les quelques graviers striés, repérés dans les niveaux profonds de la couche 5 inf, sont d'origine glaciaire. Leur présence montre que le système karstique était déjà en activité à cette période. Le fait que le pourcentage des calcaires craquelés et fissurés est très élevé à la base des séries II et V confirme l'hypothèse d'un dépôt contemporain du *Dryas I*.

Les traces d'occupation du Paléolithique final, datées du début de l'*Alleröd*, se situent dans la partie supérieure de la couche 5 inf, où une diminution brusque des éléments craquelés et des cailloux à arêtes vives implique des conditions climatiques moins rigoureuses.

Au niveau sédimentaire, l'amélioration climatique du complexe *Bölling/Alleröd* semble déclencher une phase d'altération chimique (décalcification) conjointe à une diminution relative des apports clastiques du rocher. On assiste donc à une phase de stabilité où la corrosion domine nettement sur les apports de gravité.

Les profils étudiés fournissent peu d'indices sur le contexte sédimentaire durant le *Dryas récent*. Cette dernière oscillation climatique ne semble se marquer que par des dépôts cryogéniques discrets.

Les couches datant du *Préboréal* comprennent le sommet de l'ensemble inférieur et la base de l'ensemble moyen. Leur genèse est liée à plusieurs facteurs qui mènent à un taux de sédimentation élevé: aux apports cryoclastiques graveleux s'ajoutent des sédiments de ruissellement (reprise des dépôts morainiques) et des formations carbonatées. D'origine biochimique complexe, ces dernières sont précipitées sur les parois au cours des étés secs et sont détachées par des coups de gel hivernal forts. La présence de ces précipitations à partir de la couche 5a traduit donc le début d'un réchauffement sensible dans la deuxième partie du Préboréal.

A l'époque de l'occupation du Mésolithique moyen, au *Boréal*, la topographie des niveaux carbonatés forme un plan presque horizontal à l'intérieur de l'abri. Un climat tempéré avec des hivers froids semble favoriser la précipitation des encroûtements. La sédimentation est d'une part dominée par l'apport des croûtes carbonatées, d'autre part par des phases de ruissellement qui créent des érosions considérables. Elles se manifestent par l'apparition de niveaux tronqués (couche 4d2), de couches lenticulaires, de chenaux d'érosion et de niveaux de réduction souvent cimentés par un mince plancher stalagmitique.

Pendant l'*Atlantique ancien* (occupation du Mésolithique récent) la continuité d'un milieu propice à la sédimentation de croûtes carbonatées est attestée.

Par la suite, les ruissellements et l'activité de la source karstique deviennent prédominants et provoquent à partir de *l'Atlantique récent* une érosion partielle de la couche 4b dans la partie orientale du site. Cet évènement érosif créant un léger talus vers la résurgence, est accompagné d'un effondrement partiel de la voûte, bien marqué dans le secteur central. Chronologiquement, cet apport de gros blocs se situe à la fin de la période Atlantique où le calcaire valanginien est altéré sous l'effet d'une longue phase de corrosion.

Les modalités de sédimentation à partir de l'installation néolithique sont liées à plusieurs facteurs:

- réapparition de la gélifraction, (à partir de l'Atlantique récent) qui fournit les composants calcaires grossiers de l'ensemble supérieur
- concrétionnement moins fort par rapport aux faciès des couches sous-jacentes
- érosion linéaire dans les couches archéologiques situées en dessous de l'exutoire karstique oriental
- genèse d'un sol de type rendzine, interrompue par un impact humain considérable au Néolithique se manifestant par des remaniements profonds des dépôts. Il s'agit avant tout de creusements de fosses, d'installation de grandes aires de combustion et d'apports de sédiment organique fin, cendreux et charbonneux [20].

Dès le *Subboréal* le taux de sédimentation est abaissé par rapport à l'époque précédente, résultat d'une diminution du concrétionnement et de l'apport clastique grossier au profit de phénomènes d'altération pédogénétique intenses. De plus les occupations humaines post-néolithiques ont un caractère plutôt fugace et ne laissent que peu de traces sur le remplissage de l'abri.

En résumé, on constate que la séquence sédimentaire de l'abri col du Mollendruz consiste en formations presque exclusivement autochtones dans lesquelles se situent des vestiges d'occupations humaines dès le Paléolithique final jusqu'aux temps récents. L'analyse géologique met en évidence des importantes changements non seulement dans le type, mais aussi dans le taux de sédimentation [21]. Le Tardiglaciaire est dominé par des apports cryoclastiques

20. L'analyse microscopique des niveaux néolithiques n'a pas pu mettre en évidence des coprolites d'animaux domestiques. Leur absence s'explique très probablement par des mauvaises conditions de fossilisation.
21. Le taux de sédimentation dépend directement de la cryoclastie et des phases de précipitation carbonatée qui semblent être liées en général aux conditions climatiques locales. Par contre, la présence de matériel morainique dans le remplissage n'a aucune signification paléoclimatique; cette fraction exogène dérive de l'érosion par ruissellement des formations superficielles du plateau calcaire au-dessus de l'abri-sous-roche.

souvent grossiers et semble être suivi d'un évènement d'altération durant le Bölling/Alleröd. Une reprise de la gélifraction et la déstabilisation des parois, avec une sédimentation rapide mais probablement discontinue, se poursuit jusqu'au Préboréal. Le ralentissement de la cryoclastie au profit des phénomènes de concrétionnement est attesté jusqu'à la période atlantique. Dans la partie médiane de la stratigraphie, les nombreuses lacunes, suspectées dans tout le remplissage, apparaissent de manière très nette grâce au type de sédiment. Les discontinuités évidentes dans l'ensemble supérieur sont dues, d'une part, à l'alternance de phases de concrétionnement, de gélifraction, d'érosion et d'altération, et, d'autre part, à la présence de l'homme. L'interaction de ces différents facteurs dans le temps mène donc à la formation d'une séquence complexe et lacunaire.

4. DATATIONS RADIOMÉTRIQUES

Sur l'ensemble de la séquence stratigraphique de l'abri, un total de 29 mesures radiométriques ont été effectuées au Centre de recherches géodynamiques de Thonon (CRG) et à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich, Institut für Mittelenergiephysik (ETH), par la technique de spectrométrie de masse à l'accélérateur.

Le catalogue complet des datations concernant les niveaux mésolithiques et plus anciens compte onze mesures dont deux sont à écarter [1] (fig. 44).

La discussion critique des datations s'attachera tout d'abord à replacer le prélèvement dans son contexte sédimentaire et à préciser son lien avec les industries, fait trop souvent négligé dans l'établissement de chronologies.

Le recours de plus en plus fréquent à la technique de datation par spectrométrie de masse à l'accélérateur offre désormais la possibilité extraordinaire de dater, avec des écarts standard faibles, des niveaux où le matériel organique est mal conservé. Paradoxalement, ces mesures effectuées sur une particule de charbon sont extrêmement délicates à maîtriser d'un point de vue stratigraphique. Dans un remplissage d'abri où les risques d'infiltration et de déplacement d'objets sont inévitables, les résultats aberrants ne surprennent pas.

Nous examinerons ensuite la cohérence des résultats obtenus en les replaçant dans le contexte régional. L'utilisation de datations radiométriques en série, considérées comme des ensembles statistiques, a montré tout son intérêt (Bintz, Evin et Pion 1990). Sur la base de 107 datations des cultures du couloir Rhône-Saône et des régions périphériques, entre 15 000 et 6000 BP, ces auteurs fournissent un précieux cadre chronologique pour une discussion de résultats isolés, auquel nous nous référons ici.

1. Un échantillon supplémentaire (MZ 45) porte le numéro de laboratoire ETH-5599, bien qu'aucune mesure n'ait pu être effectuée (matériel non organique).

Echantillon	Localisation topographique	Couche	Matériel daté	Année	N° de laboratoire	Age conventionnel BP
MZ 41	D/6 d.30, ST.80	couche 5	charbons	1989	ETH-4668	145 ± 50
MZ 42	D/6 d.30	couche 5	charbons	1989	ETH-4669	3365 ± 60
MZ 16	Sondage 1	couche 4b	charbons	1985	CRG-579	7190 ± 140
MZ 48	E10.128	couche 4d	charbon	1993	ETH-9570	7745 ± 85
MZ 43	D/8, ST.90	couche 4d	charbons	1989	ETH-5597	8175 ± 100
MZ 10	Sond.1, talus d.16	couche 4d	charbons	1983	CRG-431	8207 ± 206*
MZ 49	E10.144	couche 5a	charbons	1993	ETH-9571	8920 ± 90
MZ 50	E/8 d.33, ST.91	couche 4e	charbons	1993	ETH-9572	9265 ± 85
MZ 44	E/9, ST.93	couche 4e	charbons	1989	ETH-5598	9505 ± 105
MZ 46	F4.100	couche 5 inf	os	1989	ETH-5600	11760 ± 145
MZ 47	D6.255	couche 5 inf	os	1989	ETH-5601	12020 ± 120

Fig. 44. Catalogue des datations radiométriques (* âge brut BP, pas de ∂ C13).

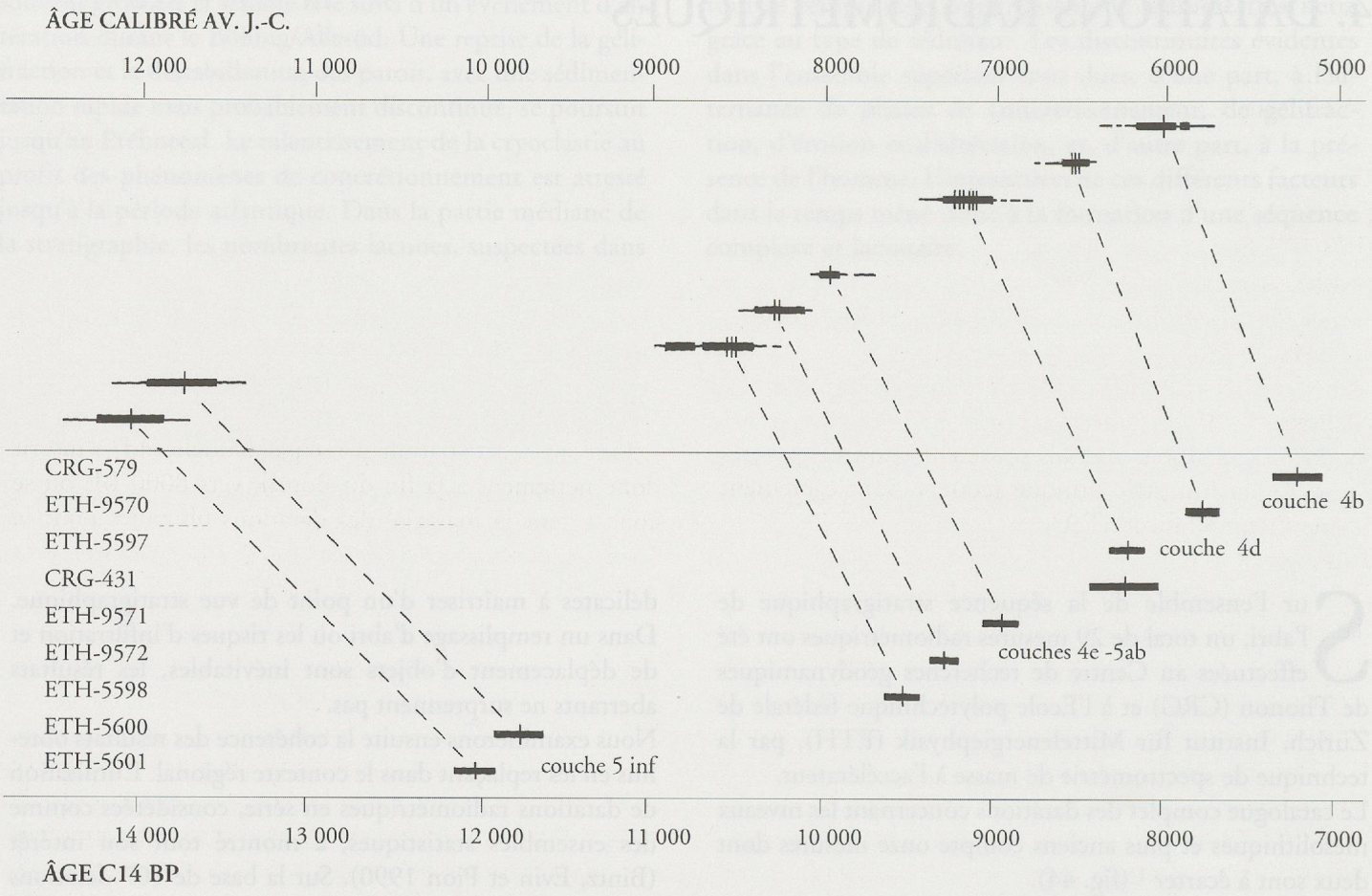


Fig. 45. Datations radiométriques des niveaux mésolithiques et tardiglaciaire du Mollendruz. Ecart standard: ± 1 σ ± 2 σ

Datations aberrantes (éch. N° 41 et 42)
Ces quelques charbons de bois soumis à une mesure à l'accélérateur ont été récoltés au sommet des niveaux cryoclastiques grossiers (couche 5), à proximité de la paroi rocheuse en D/6. A cet endroit, la base du remplissage est noyée par des eaux d'infiltration qui s'écoulent par une fissure repérée en profondeur. Une pollution par la circulation des eaux explique aisément l'âge aberrant obtenu sur ces charbons. Des spectres pollués ont également été enregistrés dans les analyses pollinique [2] et botanique [3] d'échantillons provenant des niveaux cryoclastiques de ce même secteur.

Couche 5 inf. Paléolithique final
N° 46 ETH-5600 11 760 ± 145 BP
N° 47 ETH-5601 12 020 ± 120 BP

Dans ce cas, les analyses radiométriques ont été effectuées sur du matériel osseux provenant du niveau d'occupation mis au jour dans la partie occidentale de l'abri. Ces datations, qui se placent au début de l'Alleröd, sont conformes à l'étude zoologique des ossements où domine une faune froide (renne, cheval).
Dans le contexte régional, cette période correspond à la charnière entre Magdalénien final et Azilien. Les histogrammes de distribution des datations du bassin rhodanien (Bintz, Evin et Pion 1990, 47-48) montrent que les valeurs centrales obtenues pour le Magdalénien final s'étendent sur la période Bölling-Dryas II (13 300 à 12 000 BP), alors que l'Azilien ancien présente un mode bien affirmé vers 12 000-11 800 BP. A la lumière des découvertes exceptionnelles de Champréveyres et de Monruz, Denise Leesch (1993) place l'apparition du complexe azilien sur les bords du lac de Neuchâtel à une date plus précoce, vers 12 300 BP. Il est donc impossible de s'avancer pour l'heure, dans la mesure où l'industrie lithique récoltée au Mollendruz ne permet aucun diagnostic. C'est pourquoi nous préférons le terme de Paléolithique final à une dénomination au contenu culturel plus précis.

2. Des prélèvements pour analyse palynologique ont été systématiquement effectués dans les différentes couches et secteurs de l'abri puis testés par A.-M. Rachoud-Schneider, que nous remercions chaleureusement. Les pollens sont malheureusement absents ou fortement corrodés dans l'ensemble du remplissage. L'échantillon prélevé en D/6 (couche 5 inf, fond) renfermait des pollens intrusifs de *Fagus* et de *Carpinus*.
3. Charbons de *Quercus* et *Ulmus* dans l'échantillon N° 133 (couche 5c), voir p. 67.

Couche 4e-5ab. Mésolithique ancien

N° 50 couche 4e ETH-9572 9265 ± 85 BP
N° 44 couche 4e ETH-5598 9505 ± 105 BP
N° 49 couche 5a ETH-9571 8920 ± 90 BP

Ces trois datations ont été obtenues par la technique de l'accélérateur, sur des charbons isolés d'un même secteur (E/8-10). Elles proviennent d'unités stratigraphiques très proches, soit de haut en bas:

- N° 50, charbon provenant du foyer ST.91 attribué à la couche 4e
- N° 44, charbon de bois récolté dans le remplissage du foyer ST.93, attribué à la couche 4e
- N° 49, charbons de bois provenant d'un niveau très riche en industrie lithique (couche 5a), légèrement antérieur au foyer ST.93.

La superposition de trois foyers en cuvette dans les mètres E/9-10, peut expliquer l'inversion des deux dernières datations.

Par ailleurs, signalons que toutes les mesures effectuées en 1993 sont légèrement plus jeunes que celles qui avaient été obtenues précédemment pour les mêmes niveaux, par le même laboratoire.

Ces résultats forment un ensemble cohérent (fig. 45) qui se place dans la deuxième partie du Préboréal, entre 9500 et 9000 BP, et correspond parfaitement à l'expansion du Mésolithique ancien dans la chronologie rhodanienne: pour les stations les plus proches, mentionnons l'abri de Vionnaz où les 6 mesures effectuées sur les niveaux anciens (couches 10-11) occupent le même intervalle chronologique, ainsi que l'abri de Culoz, daté de 9150 BP ± 160 (Ly-286). Dans les Alpes françaises et le Jura méridional (La Touvière, Balme-de-Thuys, Saint-Thibaud-de-Couz, Charmate et La Fru), ce techno-complexe succède à une phase récente de l'Azilien qui couvre la première partie du Préboréal.

Couche 4d. Mésolithique moyen

N° 10 CRG-431 8207 ± 206 BP
N° 43 ETH-5597 8175 ± 100 BP
N° 48 ETH-9570 7745 ± 85 BP

La première mesure (N° 10) fut réalisée sur des charbons recueillis lors du sondage initial (1982), dans la couche archéologique qui s'étend dans le talus frontal de l'abri (HI/5-6). Elle fut confirmée par un datage à l'accélérateur (N° 43), effectué sur un charbon provenant du remplissage de la fosse ST.90, très riche en mobilier. La dernière mesure enfin (N° 48), plus jeune, concerne un charbon isolé récolté en fond de couche archéologique, dans le secteur oriental de l'abri. Cette inversion est un peu gênante dans la mesure où cette date ne recoupe pas les deux précédentes, même avec un intervalle de 2 σ. La présence de structures creuses et de terriers dans le remplissage de l'abri pourrait expliquer ce résultat.

Le niveau d'occupation principal (couche 4d) s'inscrit donc nettement à la fin du Boréal, vers 8000 BP, où se concentrent la majorité des datations obtenues pour le Mésolithique moyen du bassin rhodanien et des régions périphériques.

Couche 4b. Mésolithique récent

N° 16 CRG-579 7190 ± 140 BP

Ces charbons furent également prélevés lors du premier sondage, dans les mètres FG/5-6. Nous regrettons de n'avoir pas pu confirmer ce résultat par d'autres mesures, notamment sur les différents foyers.

La position de cet horizon à l'extrême fin du 8e millénaire BP fut une surprise, dans la mesure où les repères chronologiques sont très rares à partir de 7500 BP. Dans le couloir rhodanien, les complexes du Mésolithique récent fournissent des dates aux environs de 7800 BP (Charmate, Couffin), puis un hiatus chronologique général, et encore inexpliqué, apparaît entre 7500 et 6500 BP, date à laquelle se mettent en place des faciès Epicastelnovien ou «Méso-Néolithique» (Bintz et Picavet 1994).

Pour le Mésolithique récent de Suisse, Nielsen (1994) propose une révision critique des datations. Celles de Birsmatten, Liesbergmühle et Tschäpperfels ne seraient pas utilisables pour des motifs méthodologiques, alors que la courte occupation de l'abri des Gripons a fourni deux dates relativement récentes et séparées par un écart de près

Couche	Age conventionnel BP		Age calibré BC	
			1 σ	2 σ
4b	CRG-579	7190 ± 140	6170-5879	6352-5723
4d	ETH-9570	7745 ± 85	6606-6458	6754-6407
	ETH-5597	8175 ± 100	7302-7034	7475-6774
4e-5ab	ETH-9571	8920 ± 90	8034-7921	8086-7704
	ETH-9572	9265 ± 85	8405-8097	8491-8081
	ETH-5598	9505 ± 105	8934-8419	9009-8269
5 inf	ETH-5600	11760 ± 145	11961-11573	12177-11404
	ETH-5601	12020 ± 120	12260-11886	12473-11719

Fig. 46. Dates C14 et calibration, d'après Stuiver et Reimer (1993).

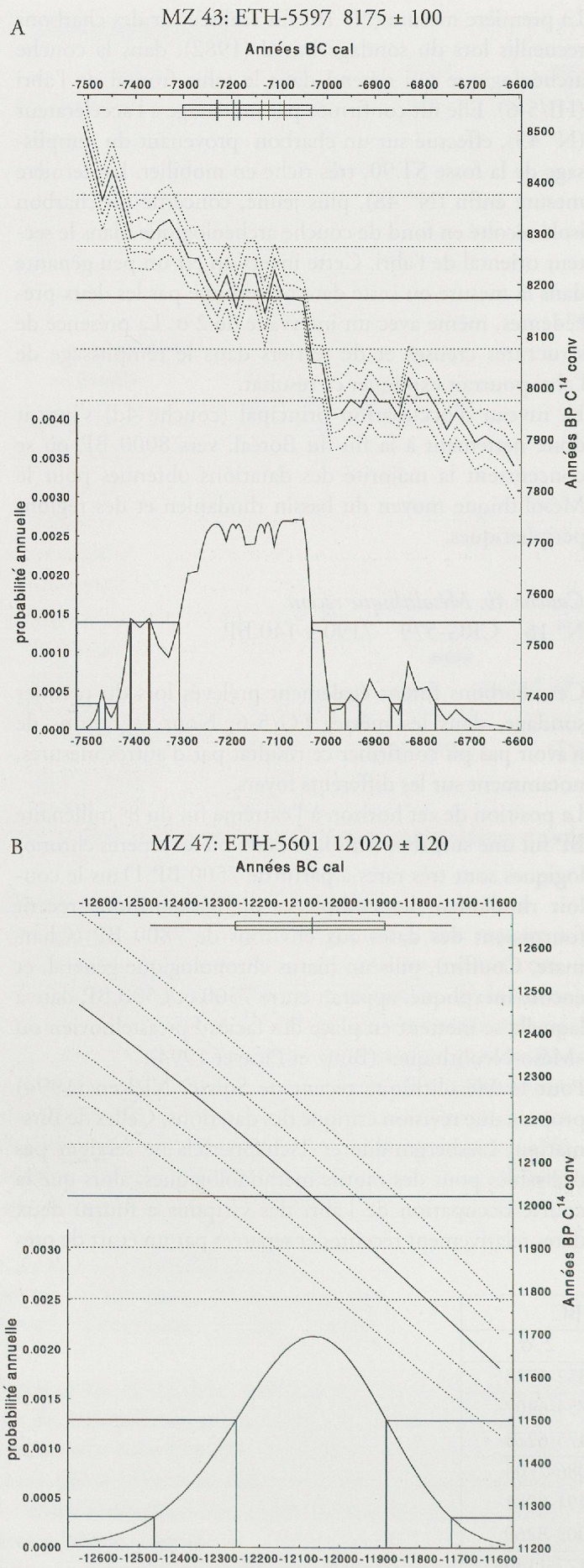


Fig. 47. Courbes de calibration vers 8000 BP (A) et 12 000 BP (B)

de 500 ans (ETH-3695: 6510 ± 110; ETH-4714: 5965 ± 80 BP). Les résultats qui peuvent être retenus sont ceux de Schötz 7 (7080 ± 130; 6980 ± 90 BP), ainsi qu'une mesure d'âge tout à fait comparable à celle du Mollendruz, obtenue pour l'horizon récent de l'abri-sous-bloc de Château-d'Œx (ETH-9659: 7190 ± 85 BP, Crotti et Pignat 1995).

Calibration (fig. 46)

Bien que des courbes de calibration remontant à 7000-7500 BP soient disponibles depuis plusieurs années, la notion d'années calendaires est encore peu utilisée dans le langage des Mésolithiciens. La dendrochronologie et la calibration ont entraîné de profonds bouleversements, en faisant notamment reculer de quelque mille ans la limite du Néolithique ancien. Il est donc intéressant d'examiner les répercussions de la calibration sur le Mésolithique, ou sur le Tardiglaciaire, même si les courbes disponibles à l'heure actuelle (fig. 47B) n'ont pas encore atteint un haut degré de précision. La calibration a été effectuée grâce au programme 3.0.3 du Quaternary Isotope Laboratory, University of Washington, élaboré par M. Stuiver et P. J. Reimer (Radiocarbone 35,1993, 215-230).

Ces résultats rassurent quant à la durée du Mésolithique et quant à l'échelle chronologique traditionnelle: toutes les dates C14 sont vieillies d'environ mille ans, de façon assez systématique (fig. 45 et 46).

L'écart qui sépare le Mésolithique récent du Mollendruz de l'horizon du Néolithique ancien reste considérable et représente plus de 800 ans: les dates les plus anciennes obtenues sur des foyers néolithiques [4] sont de 5066-4689 et 4938-4723 av. J.-C. La séquence du Mésolithique ancien et moyen se développe sur plus de 2000 ans, durée extrêmement longue pour une évolution culturelle en apparence bien modeste. Enfin, entre le Mésolithique ancien et le niveau du début de l'Alleröd, l'écart semble se creuser, laissant un intervalle de quelques 2500 ans au développement des cultures épipaléolithiques.

4. Foyer 41 et 46 (Crotti et Pignat 1986b, 145). Les dates sont données avec un écart standard de 1 σ.

5. ANALYSE DES CHARBONS DE BOIS

Par Werner H. Schoch

Le prélèvement systématique des charbons de bois lors des fouilles de l'abri du Mollendruz, a permis d'analyser plus de 2000 fragments provenant des couches mésolithiques (fig. 48).

Méthode

L'état de conservation des charbons de bois est en général bon voire très bon. Seuls quelques fragments sont vitrifiés par la combustion; dans ce cas, leur structure n'est pratiquement plus observable. Les particules de charbons de bois trop mal préservées pour permettre une identification sont très rares. Dans certains cas, il s'agit d'écorce dont la détermination spécifique, déjà problématique sur du matériel récent, devient impossible sur des fragments carbonisés ou très petits.

La détermination des charbons de bois est effectuée sous microscope à lumière réfléchie. Tous les indices nécessaires à la détermination proviennent de cassures fraîches. Avant l'observation sous microscope stéréoscopique, les charbons sont cassés à la main, sous la loupe binoculaire,

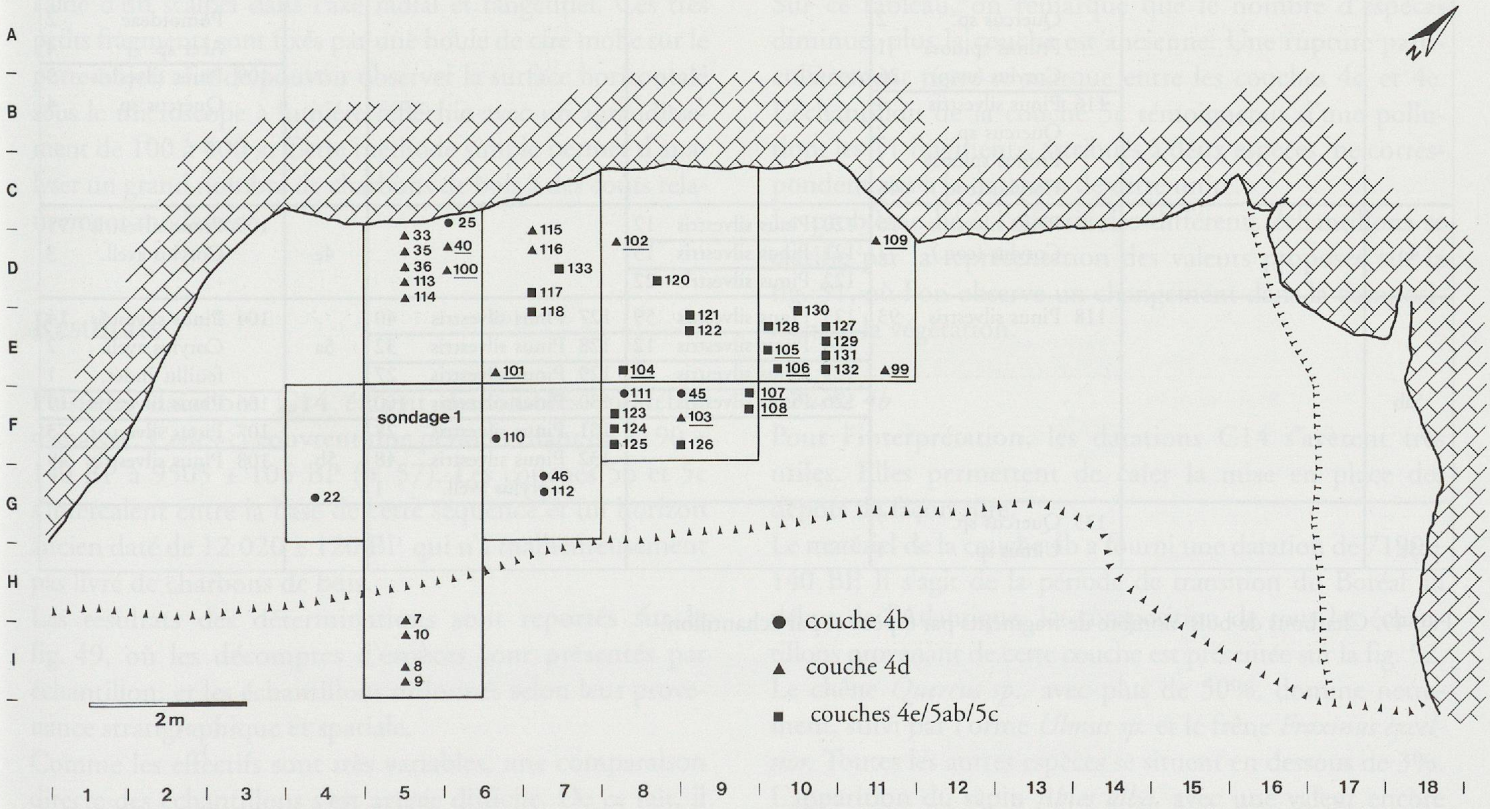


Fig. 48. Localisation des prélèvements de charbons de bois. Les numéros d'échantillons soulignés proviennent de foyers ou de fosses.

Couche	Sondage 1			CDE/5.6.7			DEF/8.9; G/6.7			E/10			Couche	Structures		
	n°	Espèces	N	n°	Espèces	N	n°	Espèces	N	n°	Espèces	N		n°	Espèces	N
4b	22	Ulmus sp.	2	25	Ulmus sp.	13	46	Quercus sp.	10				4b	45 +	Quercus sp.	10
		écorce indét.	2		Quercus sp.	8	110	Quercus sp.	48					111	Abies alba	1
					Fraxinus exc.	8		Ulmus sp.	3						écorce indét.	3
					Abies alba	2		Acer sp.	2							
					Corylus avell.	1		Prunus sp.	1							
								Corylus avell.	1							
								Corylus (coq.)	43							
							112	Quercus sp.	17							
								Prunus sp.	3							
4d	7	Corylus (coq.)	107	33	Quercus sp.	2							4d	40	Corylus (coq.)	70
		Pinus silvestris	91	35	Corylus (coq.)	75									Quercus sp.	1
	8	Quercus sp.	23		Quercus sp.	5									Pomoideae	2
		Fraxinus exc.	5		Pomoideae	2									Abies alba	2
	9	Fagus silvat.	3		Prunus sp.	2								99	Pinus silvestris	60
		Pomoideae	2		Abies alba	2									Corylus (coq.)	48
	10	Betula sp.	1		Fraxinus exc.	1								100	Pinus silvestris	80
				36	Corylus (coq.)	20									Corylus (coq.)	10
					Quercus sp.	2								101	Pinus silvestris	20
					Ulmus sp.	1									Corylus avell.	11
					Prunus sp.	1									Corylus (coq.)	12
					Abies alba	1									Quercus sp.	18
					Fraxinus exc.	1									Pomoideae	3
				113	Pinus silvestris	3									Ulmus sp.	1
					Quercus sp.	13									Lonicera sp.	1
					Tilia sp.	2								102	Pinus silvestris	6
					Acer sp.	1									Corylus avell.	27
					Prunus sp.	1									Pomoideae	4
					Prunus spinosa	1									Acer sp.	2
				114	Pinus silvestris	3									Quercus sp.	5
					Quercus sp.	30									Ulmus sp.	1
					Fraxinus exc.	1								103	Pinus silvestris	33
					Acer sp.	1									Corylus avell.	3
					Corylus avell.	1									Corylus (coq.)	6
				115	Pinus silvestris	4									Quercus sp.	26
					Quercus sp.	2									Pomoideae	2
					Prunus spinosa	1									Acer sp.	4
					Corylus (coq.)	26								109	Pinus silvestris	9
				116	Pinus silvestris	4									Quercus sp.	4
					Quercus sp.	2										
					Prunus spinosa	1										
					Corylus (coq.)	46										
4e				117	Pinus silvestris	16	120	Pinus silvestris	12				4e	105	Pinus silvestris	95
					Corylus (coq.)	1	121	Pinus silvestris	13						Corylus avell.	3
							122	Pinus silvestris	22							
5ab				118	Pinus silvestris	93	123	Pinus silvestris	59	127	Pinus silvestris	40	5a	104	Pinus silvestris	14
							124	Pinus silvestris	12	128	Pinus silvestris	32			Corylus avell.	2
							125	Pinus silvestris	19	129	Pinus silvestris	27			feuillu indét.	1
							126	Pinus silvestris	58	130	Pinus silvestris	100		106	Pinus silvestris	19
										131	Pinus silvestris	28	5b	107	Pinus silvestris	73
										132	Pinus silvestris	48		108	Pinus silvestris	49
											Corylus avell.	1				
5c				133	Quercus sp.	7										
					Ulmus sp.	4										

Fig. 49. Charbons de bois: nombre de fragments par espèce et par échantillon.

Couches Dates C14 BP	4b 7190 ± 140		4d 8207 ± 206 8175 ± 100 7745 ± 85		4e 9505 ± 105 9265 ± 85		5ab/5a/5b 8920 ± 90		5c <12020 ± 140	
Espèces	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Abies alba	3	1.7	5	0.5						
Acer sp.	2	1.1	8	0.8						
Betula sp.			1	0.1						
Corylus (bois)	2	1.1	42	4.4	3	1.9	3	0.4		
Corylus (coq.)	43	24.2	420	43.7	1	0.6				
Fagus silvatica			3	0.3						
Fraxinus ex.	8	4.5	8	0.8						
Lonicera sp.			1	0.1						
Pinus silvestris			313	32.6	158	97.5	671	99.4		
Pomoideae			15	1.5						
Prunus sp.	4	2.2	4	0.4						
Prunus spinosa			3	0.3						
Quercus sp.	93	52.2	133	13.8					7	63.6
Tilia sp.			2	0.2						
Ulmus sp.	20	11.2	3	0.3					4	36.4
indét.	3	1.7					1	0.1		
Total	178	100%	961	100%	162	100%	675	100%	11	100%

Fig. 50. Charbons de bois: distribution des espèces par couche (nombre de fragments et pourcentages).

afin de pouvoir observer la coupe transversale. Dans la plupart des cas, cette coupe transversale est insuffisante pour une détermination. Les particules sont alors fractionnées à l'aide d'un scalpel dans l'axe radial et tangentiel. Ces très petits fragments sont fixés par une boule de cire molle sur le porte-objet, afin de pouvoir observer la surface horizontale sous le microscope à lumière réfléchie avec un agrandissement de 100 à 400 x. Cette méthode simple permet d'analyser un grand nombre de charbons de bois à des coûts relativement modestes.

Résultats

Plusieurs datations C14 étaient disponibles en début d'analyse. Celles-ci couvrent une période allant de 7190 ± 140 BP à 9505 ± 105 BP (p. 57). Les couches 5b et 5c s'intercalent entre la base de cette séquence et un horizon ancien daté de 12 020 ± 120 BP, qui n'a malheureusement pas livré de charbons de bois.

Les résultats des déterminations sont reportés sur la fig. 49, où les décomptes d'espèces sont présentés par échantillon, et les échantillons ordonnés selon leur provenance stratigraphique et spatiale.

Comme les effectifs sont très variables, une comparaison directe des échantillons s'est avérée difficile. De ce fait, il n'a pas été possible de mettre en évidence une différence significative entre la composition des espèces ligneuses provenant des structures d'habitat ou celle des charbons de bois dispersés dans le sédiment. C'est pourquoi les charbons ont été regroupés par couche (fig. 50).

Sur ce tableau, on remarque que le nombre d'espèces diminue, plus la couche est ancienne. Une rupture particulièrement nette se marque entre les couches 4d et 4e. L'échantillon de la couche 5c témoignerait d'une pollution: les 11 fragments, attribués à deux espèces, ne correspondent pas à la datation de cette unité.

Le problème lié à l'effectif des différents échantillons se clarifie par la représentation des valeurs proposée sur la fig. 51, où l'on observe un changement dans la composition de la végétation.

Couche 4b

Pour l'interprétation, les datations C14 s'avèrent très utiles. Elles permettent de caler la mise en place des dépôts de façon sûre.

Le matériel de la couche 4b a fourni une datation de 7190 ± 140 BP. Il s'agit de la période de transition du Boréal au début de l'Atlantique. La composition de tous les échantillons provenant de cette couche est présentée sur la fig. 52. Le chêne *Quercus sp.*, avec plus de 50%, domine nettement, suivi par l'orme *Ulmus sp.* et le frêne *Fraxinus excelsior.* Toutes les autres espèces se situent en dessous de 3%. L'apparition du sapin *Abies alba,* avec une valeur encore inférieure à 2%, pourrait indiquer la fin de l'Atlantique ancien ou le début de l'Atlantique récent. Bien qu'à cette

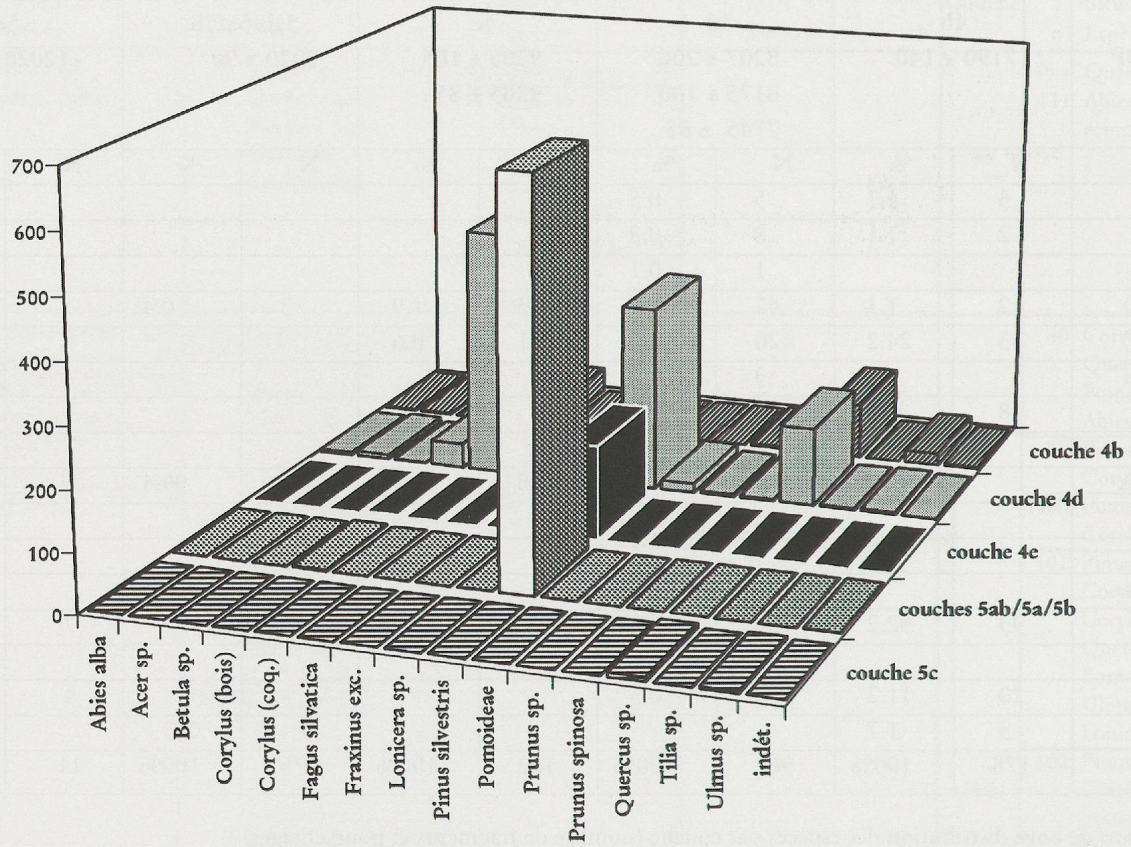


Fig. 51. Charbons de bois: spectre des espèces par couche.

époque le noisetier *Corylus avellana* soit fréquent, les restes de bois ne représentent que 1%.

Les fragments de coquilles de noisettes, avec plus de 24%, forment une part importante des charbons prélevés dans cette couche. Ils proviennent sans exception d'un seul échantillon (N° 110). On peut supposer que ces restes attestent la cueillette de ces noisettes riches en calories et que les coquilles, probablement rejetées dans les braises d'un feu, ont de ce fait été conservées. Les coquilles ne peuvent être quantifiées au même titre que

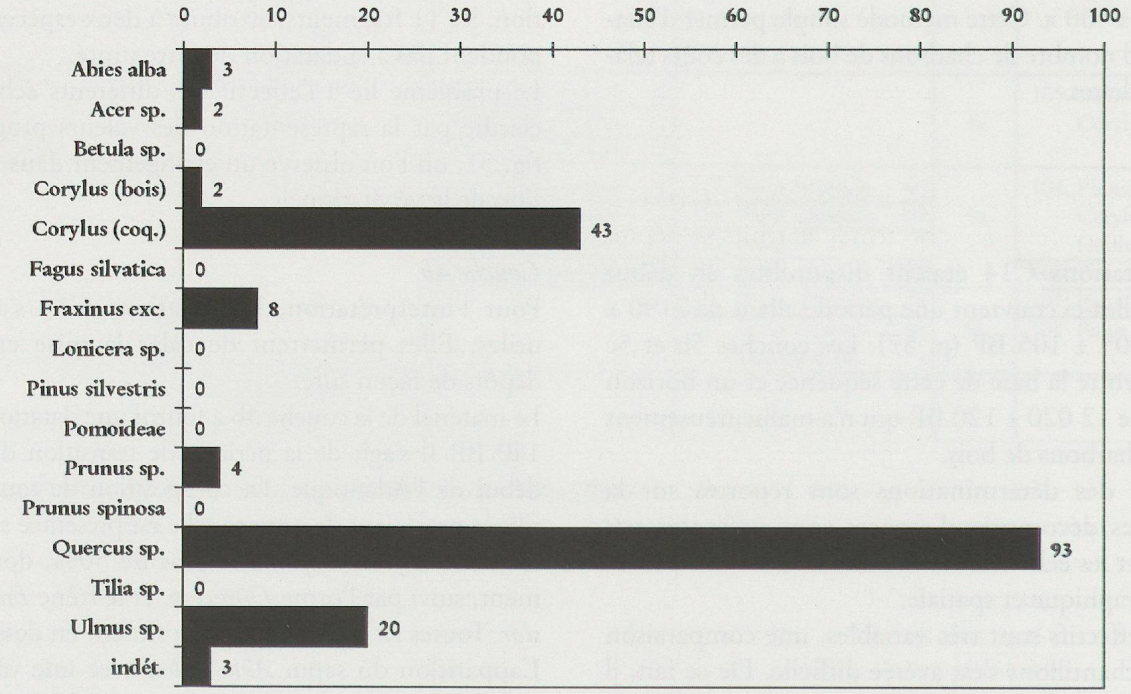


Fig. 52. Charbons de bois: spectre des espèces dans la couche 4b.

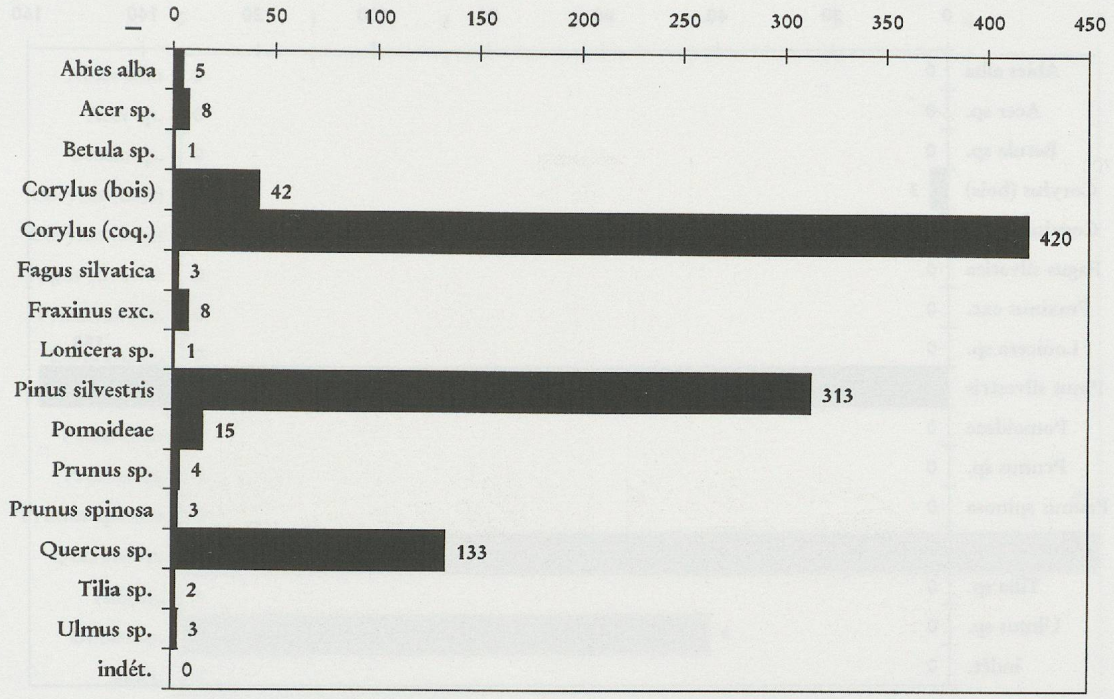


Fig. 53. Charbons de bois: spectre des espèces dans la couche 4d.

les espèces ligneuses: elles ont pu être ramassées par l'homme sur un territoire relativement éloigné du site et être ainsi surreprésentées.

Couche 4d

La couche 4d, où plus de mille particules de charbons de bois ont été déterminées, est bien documentée. Ce matériel a permis d'effectuer plusieurs datations C14 vers 8000 BP. La sédimentation de ce dépôt a dû avoir lieu entre la fin du Boréal et le début de l'Atlantique. On peut affirmer avec plus ou moins de certitude que la quantité élevée de charbons de bois provenant de cette couche a permis d'y relever une plus grande variété d'espèces ligneuses (fig. 53).

Six espèces, le bouleau *Betula sp.*, le hêtre *Fagus silvatica,* le chèvrefeuille *Lonicera sp.*, des arbres à fruits à pépins *Pomoideae*, le prunellier *Prunus spinosa* et le tilleul *Tilia sp.*, ne sont attestés que dans ce complexe, ne serait-ce que par un nombre infime de fragments ou par un unique exemplaire.

Les échantillons récoltés sur la totalité de la surface fouillée ont livré une proportion élevée de restes de coquilles de noisettes. Pour l'ensemble de la couche 4d, ces fragments représentent 43% du matériel carbonisé. Parmi les charbons de bois, le pin sylvestre *Pinus silvestris* domine, représentant plus de 30% des fragments. Le chêne *Quercus sp.* suit quantitativement, avec un peu plus de 13%, puis le noisetier *Corylus avellana,* qui atteint encore 4%. Le spectre des espèces est conforme à l'image de la transition du Boréal à l'Atlantique ancien. Cette seule analyse ne permet cependant pas de savoir si le rapport observé, entre charbons de pin sylvestre et de chêne, reflète la fréquence réelle de ces espèces dans la végétation ou s'il résulte d'une sélection par l'homme. Le rôle de la sélection des espèces ligneuses par les hommes préhistoriques ne peut être nié. Ceci est particulièrement valable pour l'apparition de bois de hêtre *Fagus silvatica,* et de sapin *Abies alba,* souvent absents, ou faiblement représentés, dans les diagrammes polliniques de cette période. Avec respectivement trois et cinq charbons de bois, ces espèces seraient apparues très précocement. Cette affirmation peut néanmoins être nuancée dans la mesure où la durée d'installation sur le site ne peut être connue avec précision; ces charbons pourraient être plus récents que l'occupation principale.

Couche 4e

La couche 4e, datée par le C14 de 9595 ± 105 BP, se place dans le Préboréal. Le pin sylvestre *Pinus silvestris* et le bouleau *Betula sp.* sont les espèces prédominantes durant cette phase, mais le bouleau n'a pas été identifié dans les échantillons provenant de la couche 4e (fig. 54).

Le pin *Pinus silvestris* forme 97,5% du total, avec 158 charbons de bois. Le reste du matériel carbonisé appartient à une seule espèce, le noisetier *Corylus avellana.* Mis à part un unique fragment de coquille, trois charbons appartenant à du bois de noisetier ont pu être identifiés. L'apparition de fragments de coquilles indique la cueillette, alors que la présence de bois impliquerait que le noisetier est déjà implanté dans la région.

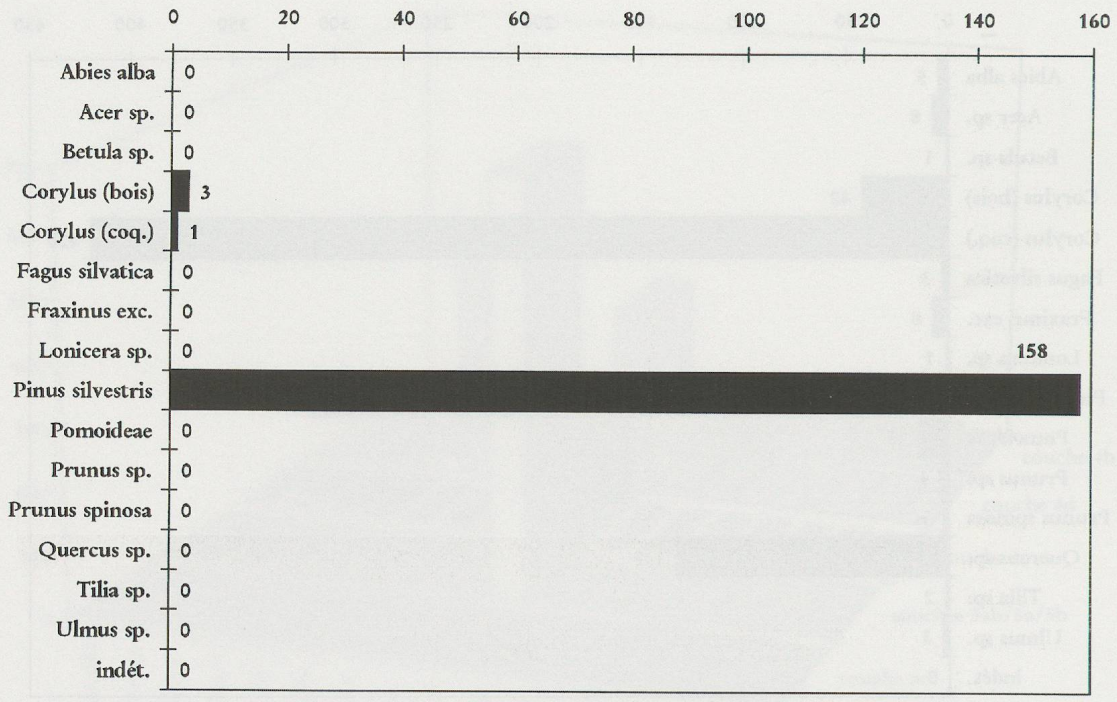


Fig. 54. Charbons de bois: spectre des espèces dans la couche 4e.

Couches 5a, 5b

Les couches 5a et 5b ont été regroupées dans notre interprétation. Au vu du spectre des espèces établi sur un total de 676 charbons de bois, ces couches ne paraissent guère plus anciennes que la couche 4e (fig. 55).

La présence du noisetier *Corylus avellana* est attestée par trois charbons de bois seulement (0,4%), alors que les fragments de coquilles de noisettes font défaut. Tous les autres fragments sont du bois carbonisé de pin sylvestre *Pinus silvestris*. La position de ces niveaux dans le Préboréal semble vraisemblable.

Couche 5c

Seuls 11 charbons de bois proviennent de la couche 5c. Les espèces identifiées suggèrent une perturbation de la couche (fig. 56).

Le chêne *Quercus sp.* et l'orme *Ulmus sp.* ne se développent qu'au Boréal. Comme ces 11 charbons proviennent

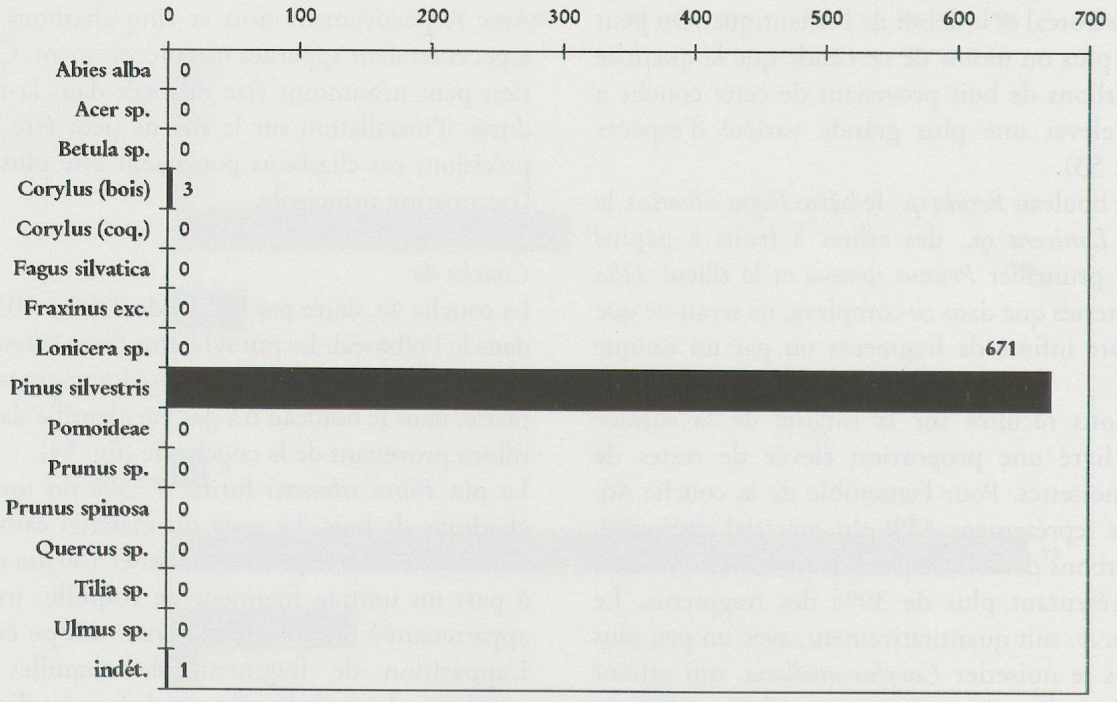


Fig. 55. Charbons de bois: spectre des espèces dans les couches 5ab/5a/5b.

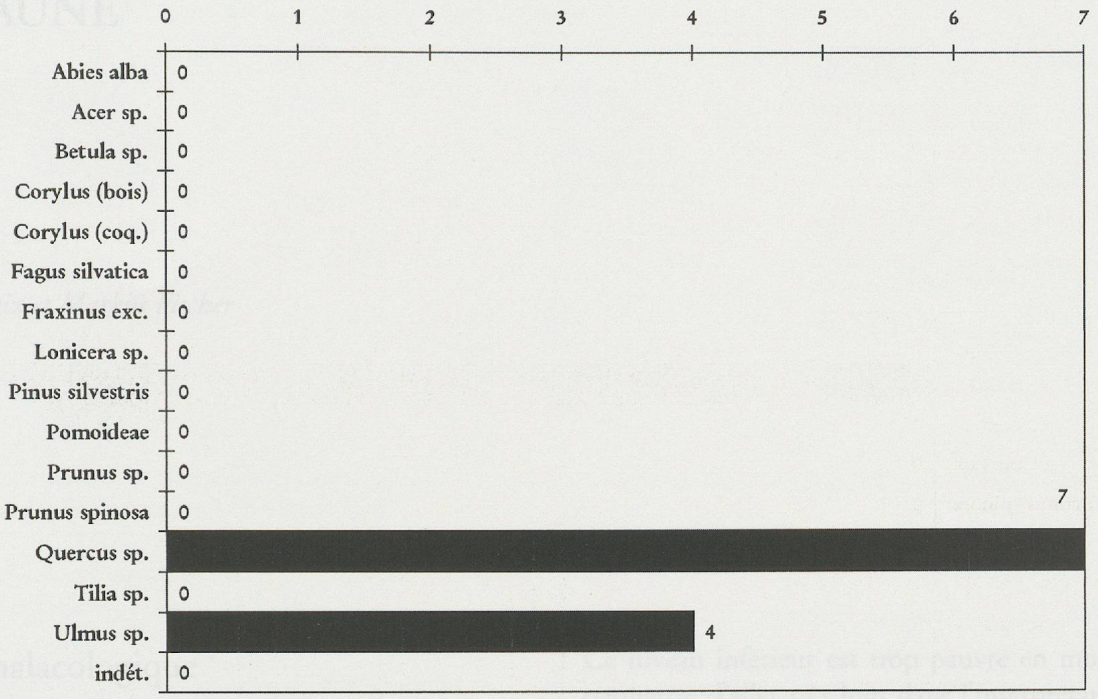


Fig. 56. Charbons de bois: spectre des espèces dans la couche 5c.

d'un même prélèvement, il est probable qu'il s'agisse de particules infiltrées à partir d'un niveau plus récent. Il n'est cependant pas possible de déterminer de quelle manière cela s'est produit (activité des fouisseurs, arbre déraciné).

En résumé, l'analyse des charbons de bois des couches mésolithiques confirme leur attribution à l'Holocène ancien, du Préboréal à l'Atlantique. Les datations C14 permettent de préciser les résultats obtenus sur le développement de la végétation post-glaciaire.

Les couches les plus anciennes contiennent essentiellement du charbon de bois de pin sylvestre *Pinus silvestris,* avec une part minime de noisetier *Corylus avellana.* Par le spectre des espèces, les couches plus récentes correspondent à la fin du Boréal et au début de l'Atlantique.

Au cours de cette séquence, on remarque une diminution du pin sylvestre *Pinus silvestris* dans l'Atlantique ancien au profit du chêne *Quercus sp.* et de l'orme *Ulmus sp.*

Traduction: Karin Cavin

6. LA FAUNE

Par Louis Chaix et Markus Fischer

La faune malacologique

Par Louis Chaix

Quelques indications sur l'environnement ancien du site nous sont apportées par les mollusques recueillis dans divers niveaux. Au total 5 échantillons ont été prélevés :

1. Couche 5, base du sondage (Paléo. final)
2. Couche 4c1 (Mésolithique moyen, fin Boréal - début Atlantique.)
3. Couche 4b (Mésolithique récent)
4. Couche 4a (stérile, entre le Mésolithique récent et le Néolithique)
5. Actuel

Comme on peut le voir sur la fig. 57 les nombres totaux de mollusques sont variables. Seuls les échantillons correspondant au Mésolithique moyen et à la période actuelle permettent de calculer des pourcentages.

Nous avons réparti les diverses espèces dans les groupes écologiques définis par Puisségur (1976). La représentation des résultats visible sur la fig. 58 est basée sur le calcul d'une moyenne par groupe tenant compte du nombre d'individus ainsi que du nombre d'espèces.

Le Paléolithique final

Dans ce niveau, on note la présence de *Discus rotundatus* . Cette espèce a été trouvée dans d'autres sites de la fin du Paléolithique comme à l'abri des Grenouilles, à Veyrier, daté de 9945 ± 200 BP (Blanc et al. 1977; Favre 1927) et attribuable au début du Préboréal. Nous n'avons pas noté la présence de *D. ruderatus* , présent sur d'autres sites du bassin lémanique comme la gravière Achard (Veyrier) dont les limons jaunes magdaléniens recèlent cette espèce (Jayet 1946; Chaix 1986).

Ce niveau inférieur est trop pauvre en mollusques pour permettre d'aller très loin dans l'interprétation. On peut noter cependant que ce sont les groupes forestiers et semi-forestiers qui sont représentés, ainsi que quelques mollusques aquatiques, témoignant d'écoulements dans la zone de l'abri. Nous retrouverons ce groupe aquatique représenté exclusivement par *Galba truncatula* dans tous les autres niveaux, sauf l'actuel.

Le Mésolithique moyen

C'est l'échantillon le plus riche avec 197 coquilles. Les fig. 57 et 58 montrent un fort développement du couvert végétal (groupe 1 et 2). Toutes les espèces du groupe 1 sont caractéristiques d'un environnement forestier humide et chaud (sous-groupe F2) (Puisségur 1976), ambiance renforcée par la présence de *Iphigena ventricosa* . On note aussi la relative abondance des indicateurs d'eau de ruissellement et de flaques (*G. truncatula*).

Le type d'environnement déduit de la malacofaune est tout à fait compatible avec les espèces chassées, à savoir essentiellement cerf et sanglier. On peut supposer que le couvert forestier était dominé par les feuillus, aptes à fournir alimentation et couvert aux diverses espèces sylvatiques présentes.

Le Mésolithique récent

La faiblesse de l'échantillon (N=53) permet cependant de ne voir que peu de changements par rapport au Mésolithique moyen. On peut noter la présence d'une espèce steppique, *Candidula* cf. *unifasciata* , déjà attestée dans les niveaux antérieurs. Elle signale la présence proche de prés secs. Peut-être les exemplaires trouvés dans l'abri proviennent-t-ils d'un apport de litières?

Le niveau 4a, de par son extrême pauvreté, ne permet pas de commentaires.

Période	Paléo.		Méso. moyen		Méso. récent		Méso./Néo.		Actuel	
Groupe écologique	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Groupe 1: FORESTIER										
Acanthinula aculeata			1		1				2	
Aegopinella nitidula	3		20		6				27	
Cochlodina laminata									1	
Ena montana			5						3	
Ena obscura									1	
Helicodonta obvoluta			3							
Iphigena lineolata			1						1	
Iphigena plicatula									4	
Orcula doliolum	1		3		2				10	
Trichia edentula			3							
Vitrea subrimata									8	
Total	4		36	18.2	9				57	16.9
Groupe 2: SEMI-FORESTIER										
Acicula lineata									14	
Acicula polita									1	
Arianta arbustorum	2									
Cepaea cf. sylvatica			1						1	
Clausilia sp.	3		1		7				37	
Cochlostoma septemspirale									56	
Discus rotundatus	5		42		10		1		24	
Vitrea crystallina					9				29	
Total	10		44	22.3	26		1		162	48.2
Groupe 3: FORESTIER-HYGROPHILE										
Iphigena ventricosa			2							
Total			2	1						
Groupe 4: STEPPIQUE										
Candidula cf. unifasciata			2		8					
Pyramidula rupestris									47	
Total			2	1	8				47	13.9
Groupe 7: MÉSOPHILE										
Abida secale			11							
Clausilia parvula			2						35	
Cochlicopa lubrica			1						4	
Helicigona lapicida			2						2	
Limacelles									3	
Trichia hispida			3						18	
Vitrea contracta			7							
Total			26	13.2					62	18.4
Groupe 8: HYGROPHILE										
Carychium tridentatum									8	
Total									8	2.4
Groupe 10: AQUATIQUE										
Galba truncatula	2		87		10		1			
Total	2		87	44.1	10		1			
Total par ensemble	16		197		53		2		336	

Fig. 57. Décompte malacologique classé par groupes écologiques de cinq échantillons.

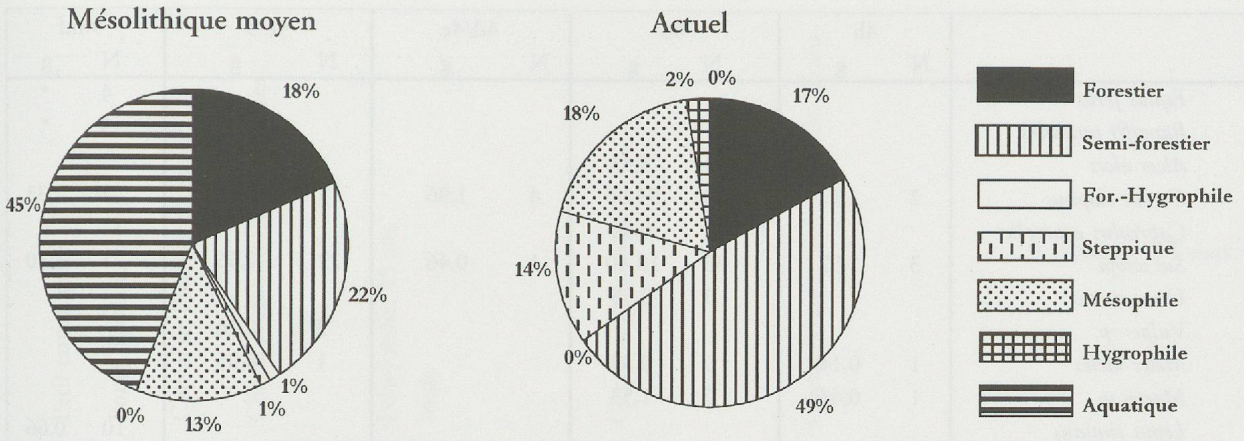


Fig. 58. Représentation en pourcentages des sept groupes écologiques de la faune malacologique, dans un échantillon du Mésolithique moyen et dans un échantillon de contrôle actuel.

Le prélèvement actuel montre quelques changements par rapport au Mésolithique moyen (fig. 58).
Nous noterons principalement l'apparition de deux espèces du groupe 2, *Acicula lineata* et *Cochlostoma septemspirale* et d'une espèce steppique, *Pyramidula rupestris.* Ces observations confirment celles de Favre (1927) sur l'immigration tardive de ces mollusques dans le bassin lémanique. Il s'agit de trois espèces dont la calcicolie est connue. Elles semblent indiquer, surtout *P. rupestris* , une sécheresse et une températures plus fortes que celles des niveaux mésolithiques.
Les éléments aquatiques ont disparu. Le prélèvement actuel ayant été fait dans divers loci du site, il ne semble pas qu'il s'agisse ici d'un artefact.

Les restes de vertébrés

Par Louis Chaix et Markus Fischer

Nous présenterons ici les données concernant les phases anciennes, paléolithiques et mésolithiques. L'état de conservation du matériel osseux est variable d'un niveau à l'autre; il sera traité avec chaque ensemble.

Les niveaux du Paléolithique final

Ils correspondent à la couche 5 inf qui a été atteinte par un sondage limité de 4 m par 1,5 m. Le sédiment est caractérisé par une dominance d'éléments cryoclastiques et par la présence d'énormes blocs provenant de l'effondrement de la voûte.
Deux niveaux ont été distingués, ceci d'après la projection des restes osseux (fig. 177). Un ensemble supérieur avec plusieurs restes osseux et deux fragments d'outils et un ensemble situé 50 cm plus bas, pauvre en faune, sous un niveau de gros blocs. Le niveau supérieur a été daté de 12 000 ans BP. Il est possible que le matériel osseux trouvé sous les blocs provienne du niveau supérieur. Nous traiterons les deux ensembles groupés.
Un très petit échantillon de 40 restes osseux a été étudié. Les ossements présentent une couleur jaunâtre. Leur surface est fortement érodée mettant parfois à nu l'os spongieux. L'état de surface suggère une altération de type physico-chimique (fig. 59). Cette érosion rend la lecture de traces anthropiques très difficile, voire impossible.
Sur les 40 restes, 22 ont pu être attribués à une espèce ou à une famille. La fig. 60 résume ces résultats. On y observe d'une part la présence d'espèces caractéristiques de la fin du Tardiglaciaire comme le cheval (*Equus ferus)*, le renne (*Rangifer tarandus*) et le lièvre variable (*Lepus timidus*), mais aussi de rares restes de formes plus tempérées comme le cerf (*Cervus elaphus)* et le sanglier (*Sus scrofa*).

Le cheval

Il est représenté par quatre ossements dont un pelvis, un talus, un calcaneus et un sésamoïde. Talus, calcaneus et

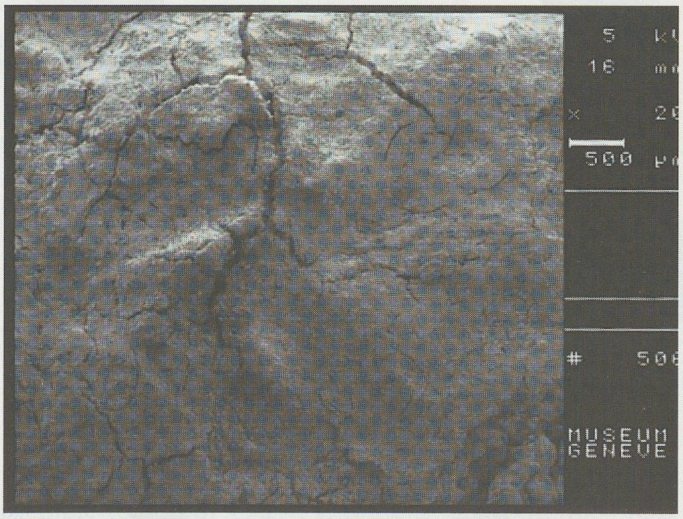


Fig. 59. Photographie au microscope électronique de la surface d'un sésamoïde de cheval (F5.23, couche 5 inf.).

		4b		4d		4d/4e		4e-5		5 inf	
		N	g	N	g	N	g	N	g	N	g
Cheval	*Equus ferus*									4	*
Renne	*Rangifer tarandus*									5	*
Elan	*Alces alces*			1	3,43						
Cerf	*Cervus elaphus*	2	2,32	50	83,66	4	1,96	13	3,27	2	2,33
Chevreuil	*Capreolus capreolus*			1	0,84						
Sanglier	*Sus scrofa*	3	1,52	33	18,40	1	0,46	22	2,56	1	1,30
Ours	*Ursus arctos*			1	0,55						
Renard	*Vulpes sp.*							2	0,26		
Blaireau	*Meles meles*	1	0,14	2	0,33			1	0,05		
Martre/Fouine	*Martes sp.*	1	0,43	7	1,53						
Lièvre variable	*Lepus timidus*									10	0,66
		7	4,41	95	108,74	5	2,42	38	6,14	22	
grands ruminants				2	1,12			1	1,07		
petits ruminants		3	2,51	24	5,66	1	0,03				
carnivores				3	0,06						
fragments taille 1		6	8,10	72	103,38	4	4,88	27	74,69	1	0,94
fragments taille 2		1	0,95	34	20,28	1	0,76				
fragments taille 3				6	1,18			3	0,44		
indéterminés		11	4,35	392	120,75	20	3,97	51	11,70	15	6,86
		21	15,91	533	252,43	26	9,64	82	87,90	16	7,80
bois de cerf		1	0,52	23	18,25	1	0,16	2	1,36		
microfaune		1	0,00	20	0,35			3	0,09	2	0,08
oiseaux				1	0,03						
batraciens				1	0,01						
		30	20,84	673	379,81	32	12,22	125	95,49	40	

Fig. 60. Résultats de l'étude ostéologique en (N) nombre de restes et (g) en poids total par couches.

sésamoïde sont issus du même pied droit. Tous les ossements sont attribuables à un individu adulte au minimum. Le pelvis est une pièce exceptionnelle car les deux demi-bassins ont pu être prélevés ensemble grâce à une consolidation au cours de la fouille. La fig. 61 montre cet élément anatomique rarement trouvé dans cet état en contexte archéologique. La conformation et l'épaisseur de la symphyse pubienne semblent indiquer un mâle. La rareté d'une telle trouvaille explique aussi que la mesure entre les deux cavités cotyloïdes que nous avons prise ne se trouve pas dans la littérature consacrée au matériel fossile. Nous présentons, dans la fig. 63, quelques données comparatives prises sur diverses pièces du Muséum de Genève.

Les rares mesures montrent qu'il s'agit d'un cheval de petite taille, qui s'intègre bien dans les valeurs de divers sites du Paléolithique supérieur d'Europe occidentale (fig. 62; fig. 63A, B et C). Toutes les mesures sont prises en millimètres selon les normes de von den Driesch (1976).

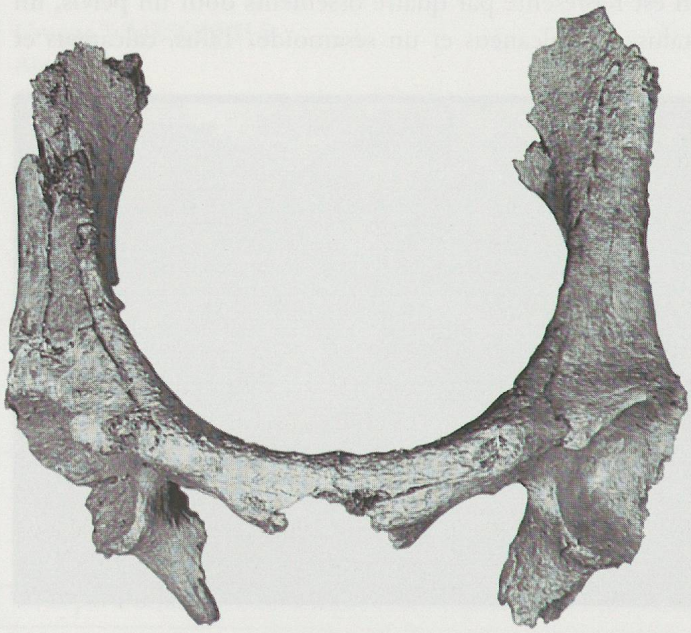


Fig. 61. Le bassin de cheval du niveau Paléolithique final.

BASSIN:	
DT entre cavités cotyloïdes	230.0
Longueur acetabulum (avec lèvres)	70.0
Longueur acetabulum (sur lèvres)	63.0
TALUS:	
Hauteur max.	59.6
DT max.	65.0
DT facette art. dist.	53.3
Long. ext. trochlée	58.4
CALCANEUS:	
Long.	104.1

Fig. 62. Mesures des os de cheval.

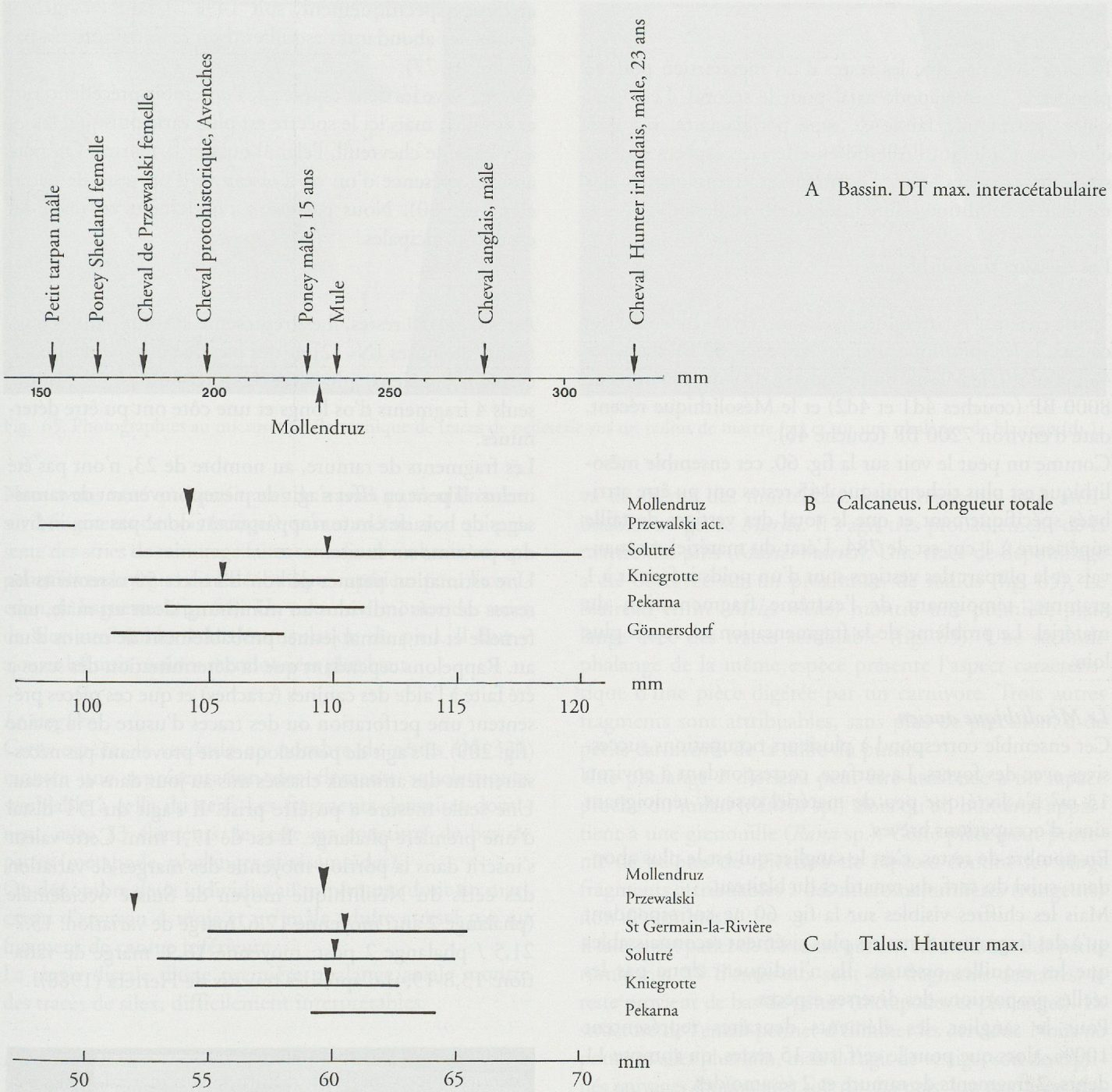


Fig. 63. Métrique des os de cheval d'après les données de Musil (1969, 1974), Poplin (1976) et Prat (1968).

Le renne

Il est représenté par cinq ossements dont un fragment dentaire, trois carpiens et un fragment distal de métapode probablement juvénile. Aucune mesure n'a pu être prise.

Les lagomorphes

Ce sont les vestiges les plus nombreux, mais ils sont essentiellement représentés par des dents. La morphologie d'une prémolaire et de deux molaires nous a permis l'attribution au lièvre variable, ceci d'après les critères de Koby (1959, 1960) et de Stampfli (1983). Plusieurs autres dents proviennent du niveau inférieur et leur position stratigraphique fait que nous les avons attribuées aussi à *Lepus timidus*.

Le lièvre variable est fréquent dans les sites du Paléolithique final de Suisse, comme Rislisberghöhle par exemple (Stampfli 1983). Il indique des conditions plus montagnardes qu'aujourd'hui car il vit actuellement à des altitudes supérieures à 1500 mètres.

Le cerf et le sanglier
Ils sont présents avec les restes d'un métatarsien pour le premier et un métapode axial pour le second. Leur présence, parmi une faune de type périglaciaire, n'a rien d'étonnant. Durant l'Alleröd en effet, ces espèces ont été souvent chassées par l'homme et témoignent des meilleures conditions climatiques de cette période.

Les niveaux mésolithiques

Trois ensembles mésolithiques ont livré du matériel osseux: le Mésolithique ancien, daté de 9500 BP (couches 4e, 5a et 5b), le Mésolithique moyen, daté des environs de 8000 BP (couches 4d1 et 4d2) et le Mésolithique récent, daté d'environ 7200 BP (couche 4b).
Comme on peut le voir sur la fig. 60, cet ensemble mésolithique est plus riche puisque 145 restes ont pu être attribués spécifiquement et que le total des vestiges de taille supérieure à 1 cm est de 784. L'état du matériel est mauvais et la plupart des vestiges sont d'un poids inférieur à 1 gramme, témoignant de l'extrême fragmentation du matériel. Le problème de la fragmentation est repris plus loin.

Le Mésolithique ancien
Cet ensemble correspond à plusieurs occupations successives avec des foyers. La surface, correspondant à environ 13 m^2 n'a livré que peu de matériel osseux, témoignant ainsi d'occupations brèves.
En nombre de restes, c'est le sanglier qui est le plus abondant, suivi du cerf, du renard et du blaireau.
Mais les chiffres visibles sur la fig. 60 ne correspondent qu'à des fragments dentaires plus aisément reconnaissables que les esquilles osseuses. Ils n'indiquent donc pas les réelles proportions des diverses espèces.
Pour le sanglier, les éléments dentaires représentent 100%, alors que pour le cerf, sur 15 restes, on compte 11 dents, 2 fragments de ramure et 2 sésamoïdes.
L'intérêt de ce petit échantillon est de montrer la présence exclusive des deux espèces dominantes au Mésolithique, à savoir sanglier et cerf, les formes du Tardiglaciaire étant complètement absentes.

Le Mésolithique moyen
Cet ensemble est le plus riche. Il correspond à une occupation humaine plus importante et durable, marquée par la richesse du mobilier mais aussi par de grands foyers en creux et des fosses.
Les niveaux sont souvent érodés et altérés et les vestiges osseux déterminés proviennent essentiellement d'une zone de rejet (talus) et d'une fosse (ST.90).
673 restes ont été étudiés dont 95 seulement ont pu être attribués spécifiquement, soit 14%. Il faut en outre y ajouter les abondantes esquilles dont le décompte n'a pas été fait (p. 77).
On retrouve les deux espèces de l'ensemble précédent, cerf et sanglier, mais ici le spectre est plus varié puisqu'il faut y adjoindre le chevreuil, l'élan, l'ours et la martre. On note aussi la présence d'un os d'oiseau et d'un reste de batracien (fig. 60). Nous passerons rapidement en revue les espèces principales.

Le cerf
Attesté par 50 restes, il est représenté surtout par des fragments dentaires (N=12) et des bas de pattes (métapodes, carpiens, tarsiens, phalanges et sésamoïdes). En outre, seuls 4 fragments d'os longs et une côte ont pu être déterminés.
Les fragments de ramure, au nombre de 23, n'ont pas été inclus. Il peut en effet s'agir de pièces provenant de ramassages de bois de chute n'appartenant donc pas aux individus présents sur le site.
Une estimation permet de voir dans ces 50 ossements les restes de trois individus au minimum, dont un mâle, une femelle et un animal jeune, probablement de moins d'un an. Rappelons cependant que la détermination des sexes a été faite à l'aide des canines (craches) et que ces pièces présentent une perforation ou des traces d'usure de la racine (fig. 209). Il s'agit de pendeloques ne provenant pas nécessairement des animaux chassés mis au jour dans ce niveau.
Une seule mesure a pu être prise. Il s'agit du DT distal d'une première phalange. Il est de 17,1 mm. Cette valeur s'inscrit dans la portion moyenne des marges de variation des cerfs du Néolithique moyen de Suisse occidentale (phalange 2 ant: moyenne 17,6, marge de variation: 13,7-21,5 / phalange 2 post: moyenne 16,9, marge de variation: 13,8-19,4) d'après les travaux de Herrera (1988).

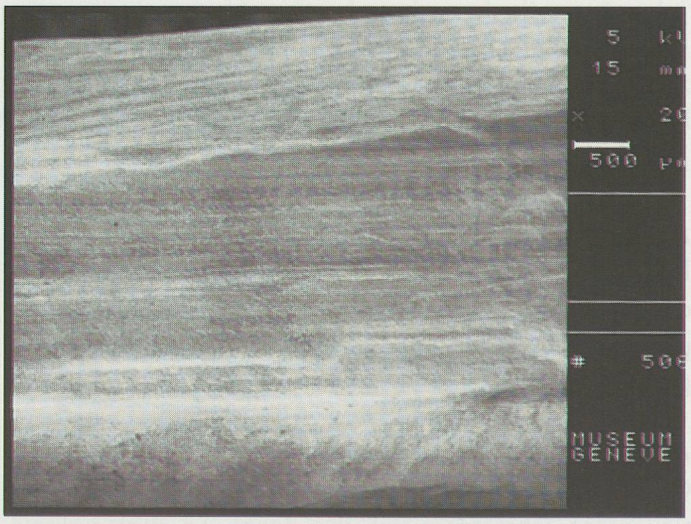


Fig. 64. Trace de sciage sur un métapode de cerf (D8.115).

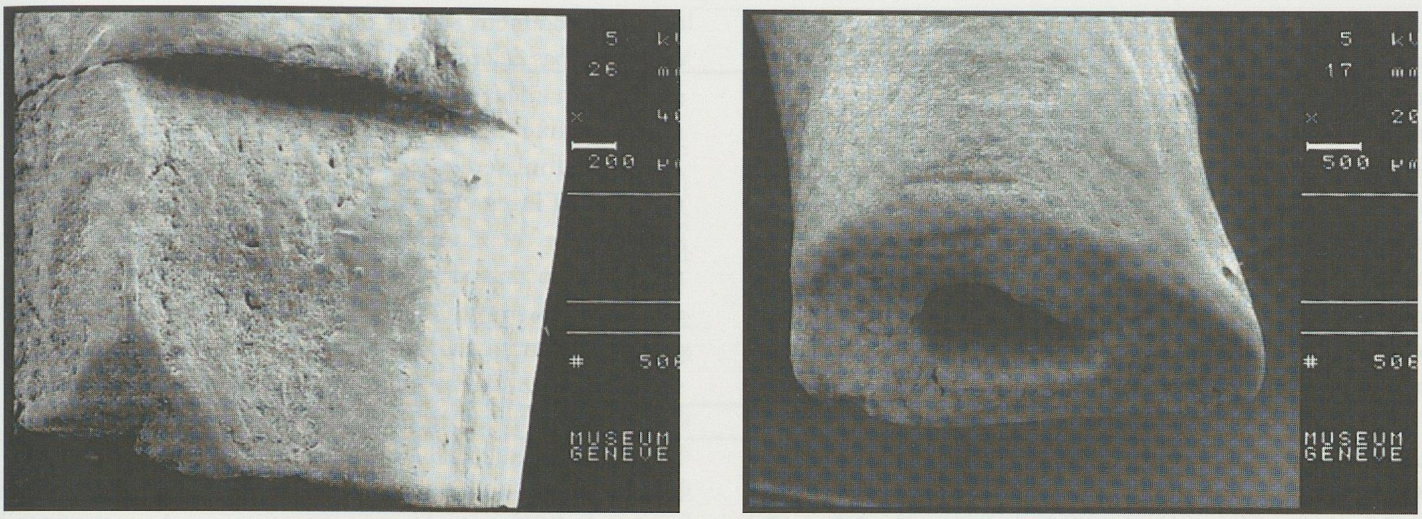


Fig. 65. Photographies au microscope électronique de traces de pelleterie sur un radius de martre (g.) et sur une phalange de blaireau (dr.).

Nous avons noté quelques traces de travail, particulièrement sur 2 fragments de bois (sciage?), sur un métatarsien qui présente des stries de rainurage faites sans doute au burin et rappelant les techniques du Paléolithique supérieur pour l'extraction de baguettes (fig. 64). Un calcaneus montre des stries de silex attribuables à la désarticulation du pied. Il faut y ajouter les trois canines mentionnées plus haut.

Le sanglier

Cette espèce, la seconde en nombre de restes (N=33), montre une représentation des éléments squelettiques semblable à celle du cerf. Les fragments dentaires dominent, avec 23 éléments, le reste est constitué de bas de pattes (métapode, phalanges et sésamoïdes).

On dénombre deux individus au minimum, dont un marcassin d'environ 4 mois et un mâle adulte attesté par un fragment de canine inférieure.

La partie distale d'une première phalange axiale montre des traces de silex, difficilement interprétables.

Les autres espèces

Elle ne sont représentées que par de rares restes, à l'exception des petits ruminants indéterminés dont nous reparlerons plus loin.

L'élan (*Alces alces*) est attesté par une prémolaire supérieure appartenant à un animal de 10 à 12 mois.

Le chevreuil (*Capreolus capreolus*) l'est par un fragment de première phalange. Elle est brûlée. Nous avons néanmoins mesuré son DT distal qui est de 10,8 mm. Cette valeur est comparable par exemple à celles des chevreuils du site mésolithique moyen de Falkensteinhöhle en Allemagne (Boessneck 1978) avec une valeur moyenne de 10,57 et une marge de variation entre 10,0 et 11,5.

A côté des ruminants on observe plusieurs espèces dont la fourrure fut exploitée. Une deuxième phalange d'ours brun (*Ursus arctos*) présente une trace de pelleterie. Il en va de même des mustélidés. Sept fragments sont attribuables au genre *Martes*. Il s'agit très probablement de la martre des pins (*Martes martes*). Une trace de dépouillage a été observée sur un proximum de radius (fig. 65). Le blaireau enfin (*Meles meles*) montre une première phalange avec des traces semblable (fig. 65). Une seconde phalange de la même espèce présente l'aspect caractéristique d'une pièce digérée par un carnivore. Trois autres fragments sont attribuables, sans plus de précision, à de petits carnivores de la taille du putois.

Une phalange 2 d'oiseau peut être attribuée à un rapace proche du milan (*Milvus* sp.) alors qu'un humérus appartient à une grenouille (*Rana* sp.). Cette pièce peut provenir de pelotes de réjection de rapaces comme les vingt fragments attribuables à des micromammifères (rongeurs) non déterminés.

Il faut enfin parler de 24 restes qui ont été attribués à de petits ruminants. 19 d'entre eux sont des fragments dentaires, le reste provient de bas de pattes (métapodes et phalanges). La structure de l'émail permet d'éliminer les cervidés. Nous ne pouvons aller plus loin, mais il s'agit de vestiges soit de caprinés sauvages (bouquetin) soit de chamois. Les trop rares éléments à disposition ne permettent pas la diagnose.

Parmi les restes non attribués spécifiquement (fig. 60), on peut observer que les restes de taille 1 (cf. cerf et sanglier) sont dominants, suivis par ceux de taille 2 (cf. petits ruminants) reflétant ainsi les proportions observées sur les fragments déterminés.

Les petits ruminants n'ont pu être déterminés spécifiquement. On peut cependant penser que tous n'appartiennent pas au chevreuil dont les restes sont fort peu abondants. Il est possible qu'ils appartiennent aussi au chamois et au bouquetin, qui furent également des gibiers des Mésolithiques dans cette zone (Chaix 1988).

De rares éléments apportent des informations sur les saisons d'occupation de cet ensemble du Mésolithique

moyen. La dent d'élan indique un animal abattu entre la mi-février et la mi- avril alors qu'une dent de marcassin d'environ 4 mois suggère une occupation entre juillet et septembre, en supposant une seule portée annuelle.
Avant d'aborder l'étude du Mésolithique récent, signalons que les restes décrits sous l'appellation «4d/4e» proviennent de niveaux qui n'ont pu être attribués plus précisément et qui se situent à la transition entre le Mésolithique ancien et le Mésolithique moyen. Ils ont livré 32 restes osseux parmi lesquels le cerf, le sanglier et les petits ruminants sont attestés (fig. 60).

Le Mésolithique récent
Cet ensemble, attribuable à l'Atlantique, montre de rares et brèves occupations caractérisées par de petits foyers, des trous de piquet et une faune très peu abondante. Le niveau 4b a en effet livré un total de 30 ossements dont 7 ont pu être attribués spécifiquement.
Peu de remarques à faire, si ce n'est de signaler la présence du cerf, avec un minimum de 2 individus dont un jeune d'environ 20 mois, de deux sangliers dont un mâle adulte et un marcassin de 4 à 5 mois. On note aussi la présence de petits ruminants et de mustélidés (blaireau et martre).
Une indication de la saison d'occupation est donnée par le marcassin. Comme pour le Mésolithique moyen, on peut supposer une chasse entre juillet et septembre.

La fragmentation de la faune

Les restes osseux des couches du Mésolithique sont extrêmement mal conservés. En effet, il s'agit pour la plupart de petits fragments brûlés ne dépassant guère le dixième de gramme, qui ne peuvent donc plus être déterminés. S'il est habituel d'observer une forte fragmentation dans les restes de faune du Mésolithique, le cas du Mollendruz est tout de même extrême à cet égard, et ne peut être expliqué simplement par une technique de boucherie et une pratique culinaire particulière.
Entre l'abattage d'un animal lors de l'occupation du site et l'étude archéozoologique, un grand nombre de facteurs peuvent influencer la fragmentation des restes.
La découpe de la carcasse ne produit des fragments que lorsque le boucher dispose d'instruments tranchants, lourds et solides. On peut imaginer par contre une pratique culinaire faisant intervenir un concassage par percussion de l'os, avec ou sans la viande. Les esquilles produites de la sorte doivent néanmoins atteindre quelques grammes, et les extrémités articulaires, plus solides, restent identifiables.
Lors du rejet des déchets culinaires, la fragmentation n'est plus intentionnelle. C'est sans doute à ce stade qu'a eu lieu la carbonisation visible sur la majorité des pièces, soit pendant la consommation elle-même – les esquilles sont rejetées dans le feu – soit peu de temps après – un foyer est établi directement sur les reliefs d'un repas. Les os brûlés qui n'ont pas éclaté sous l'effet de la chaleur sont fragilisés sur le plan mécanique et résistent donc mal au piétinement ou aux remaniements.
Après l'enfouissement primaire, trois causes de destruction faisant intervenir l'eau peuvent être envisagées: l'érosion directe du sédiment avec un remaniement plus ou moins important des vestiges; l'alternance de gels et de dégels détruisant rapidement toute matière pouvant se gorger d'eau; l'attaque chimique enfin d'une eau corrosive. Le site du Mollendruz abritant une source, il est probable que l'explication de la forte fragmentation se trouve là.
De nombreux os très altérés ont été observés lors de la fouille. Ils étaient identifiables en tant que tel uniquement par une différence de coloration et par leur structure interne partiellement préservée, mais ils avaient totalement perdu toute cohésion, ce qui fait qu'ils n'ont pu ni être déterminés sur place, ni prélevés pour l'étude. Les pierres calcaires ayant subi un sort semblable, il ne fait aucun doute que la dégradation physico-chimique ait été la cause principale de destruction. Les restes brûlés semblent avoir mieux résisté à cette attaque, ce qui expliquerait leur très grande importance dans les restes retrouvés.
La technique de fouille doit aussi être mentionnée. Le tamisage à l'eau systématique du sédiment – habituel pour les sites aussi anciens – a permis le prélèvement de ces milliers de petits fragments, qui auraient disparu dans les déblais de la fouille sans cela. D'autre part, les ossements déjà très altérés n'ont évidemment pas résisté à ce traitement vigoureux, ce qui renforce la conservation différentielle favorisant les fragments brûlés.
La dernière étape est l'étude ostéologique elle-même. Il n'était absolument pas réaliste de vouloir décrire individuellement chaque petit morceau de matière osseuse, et l'étude s'est donc concentrée sur quelques centaines de fragments d'une certaine taille ou alors réputés déterminables. Pour aborder tout de même le problème de la fragmentation, une zone test a été choisie au centre de l'abri, où chaque pièce, aussi petite soit-elle, a été pesée au centième de gramme et si possible classée grossièrement dans une catégorie de taille d'animaux.
Si l'on ne tient compte que des fragments étudiés normalement, c'est-à-dire ceux qui ont été trouvés *in situ* lors de la fouille et ceux qui ont été isolés parmi les fragments récoltés au tamisage – étant perçus comme étant «intéressants» ou déterminables par le trieur – nous obtenons la fig. 60. La première partie du tableau, le décompte des pièces qui ont pu être attribuées à une espèce, correspond à une réalité et peut être interprétée et commentée (disparition des espèces froides après l'Alleröd, prédominance du cerf et du sanglier dans la faune chassée du Mésolithique, etc.). De même, la seconde partie, détaillant les déterminations approximatives de fragments, présente des

		4d			4e-5			5 inf		
		N	Ntot	g	N	Ntot	g	N	Ntot	g
Cheval	*Equus ferus*							3	3	0,00
Renne	*Rangifer tarandus*							5	5	0,00
Cerf	*Cervus elaphus*	15	17	20,00	13	13	3,27			
Chevreuil	*Capreolus capreolus*	1	1	0,84						
Sanglier	*Sus scrofa*	21	22	10,48	22	24	2,61	1	1	1,30
Ours	*Ursus arctos*	1	1	0,55						
Renard	*Vulpes sp.*				2	2	0,26			
Blaireau	*Meles meles*	2	2	0,33	1	1	0,05			
Martre/Fouine	*Martes sp.*	5	5	0,91						
Lièvre variable	*Lepus timidus*							10	10	0,66
		45	48	33,11	38	40	6,19	19	19	
grands ruminants		1	5	1,57	1	1	1,07			
petits ruminants		2	8	2,49						
carnivores		2	2	0,03						
rongeurs			2	0,01						
fragments taille 1		44	180	134,47	26	145	114,89			
fragments taille 2		12	73	21,28		10	3,96			
fragments taille 3		1	14	0,67	3	4	0,46			
indéterminés		144	8188	776,47	47	723	64,24	15	103	10,23
		206	8472	936,99	77	883	184,62	15	103	10,23
bois de cervidés		16	191	58,60	2	4	1,69			
microfaune		13	24	0,49	3	4	0,11	2	2	0,08
batraciens			3	0,02						
		280	8738	1029,21	120	931	192,61	36	124	10,31

Fig. 66. Résultats de l'enregistrement systématique des fragments osseux dans le centre de l'abri. N: nombre de restes provenant de l'étude ostéologique «classique»; Ntot: nombre total de fragments; g: poids total.

proportions légèrement différentes pour les divers groupes d'animaux qui peuvent être expliquées (les petits ruminants sont en réalité plus nombreux, mais les fragments de leurs os n'ont pu être déterminés plus précisément, etc.). Par contre, la comparaison entre les deux totaux intermédiaires ou le nombre de fragments indéterminés ne correspond à aucune réalité archéologique. Il reflète dans une certaine mesure la finesse de la technique de fouille et la compétence de la personne ayant trié les os «déterminables» soumis à l'étude ostéologique.

Si l'on s'intéresse au problème de la fragmentation des restes osseux, il convient de tenir compte du poids des fragments. En prenant l'exemple des couches du Mésolithique moyen (c. 4d), on peut estimer un «pourcentage de restes déterminés» de 14% sur les effectifs, alors qu'il monte à 28% si l'on considère les poids. Cela est dû évidemment au fait que les petits fragments sont plus difficiles à déterminer.

Dans le but de mieux comprendre les problèmes de la fragmentation et du «pourcentage de restes déterminés», une zone a été choisie dans le centre de l'abri, dans laquelle tous les fragments récoltés ont été pesés et décrits. La fig. 66 présente pour les trois couches étudiées: (N) les résultats «classiques» pour cette zone, comparables à la fig. 60, (Ntot) le décompte détaillé de *tous* les fragments récoltés et (g) leur poids total. Une première constatation s'impose: les résultats fondamentaux de l'étude ostéologique ne changent évidemment pas – en négligeant les fragments de bois de cervidés. Par contre, le «pourcentage de restes déterminés», qui aurait été de 16% pour l'étude «classique» de la couche 4d dans cette zone, passe à près de 1/2% sur les effectifs et à quelque 3% sur les poids. L'histogramme de ces minuscules fragments (fig. 67) montre en effet qu'ils ne pèsent pour la plupart que quelques centièmes de gramme.

On sait encore peu de choses sur les courbes de fragmentation du matériel osseux. L'idéal serait de pouvoir reconstituer le poids total des os déposés dans le site à partir de la courbe des fragments déterminables, sous l'hypothèse que la fragmentation a été le seul facteur de destruction. Dans ce cas, le poids total des fragments – y compris la poussière d'os! – serait égal au poids total des ossements déposés, et il devrait être possible de reconstituer la courbe complète d'après les fragments déterminés uniquement. Pour l'instant, la forme mathématique de ces courbes n'a pas encore été déterminée, mais il semblerait qu'il puisse s'agir d'une courbe dite lognormale (Morel 1986). Quoi qu'il en soit, l'hypothèse de départ ne peut être retenue pour ce site, puisqu'il semble que seuls les os brûlés aient été conservés.

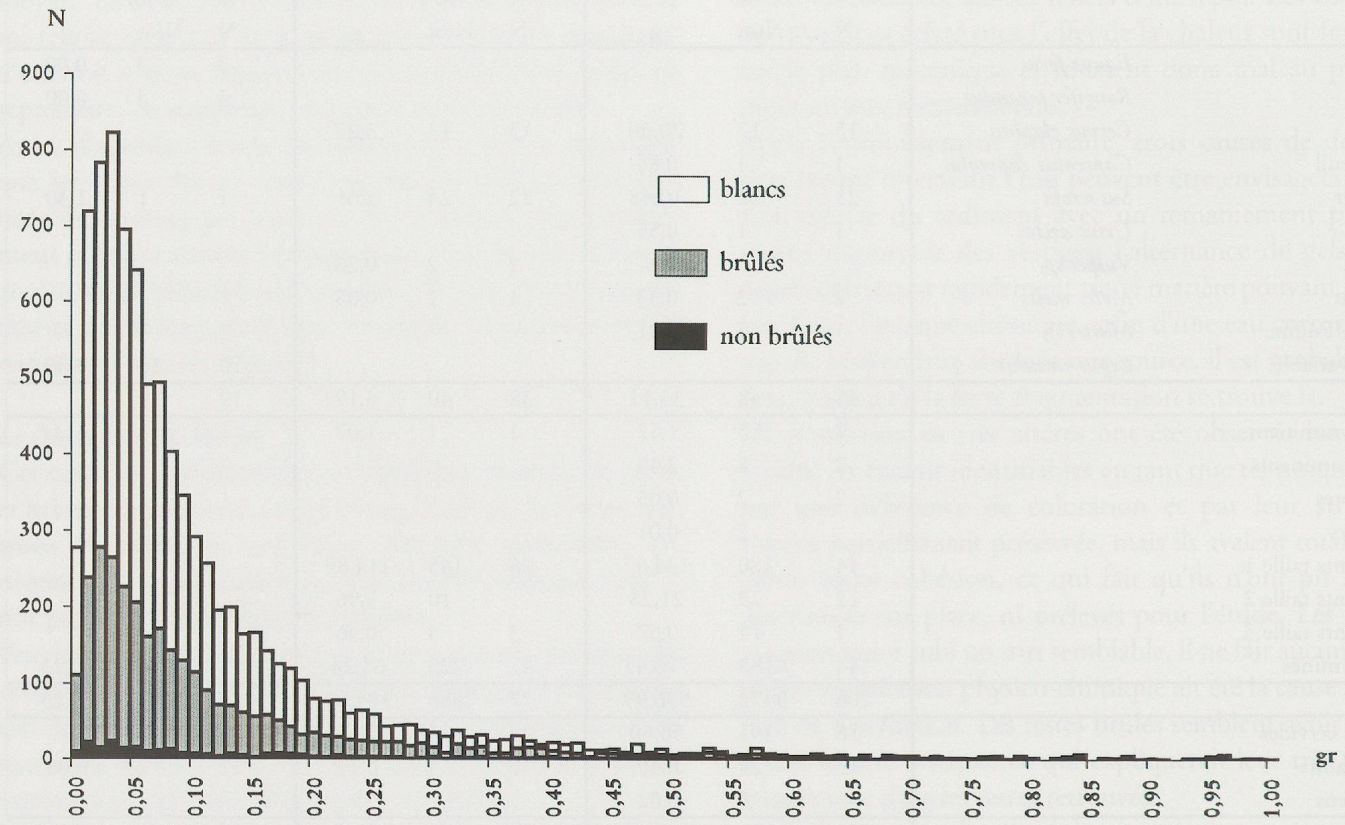


Fig. 67. Histogramme par classes de 0,01 gramme de tous les fragments osseux de la couche 4d dans la zone centrale de l'abri, tronqué à un gramme.

La fig. 67 montre également que la majorité des fragments des couches du Mésolithique sont plus ou moins brûlés. Cela ne signifie pourtant pas, pour les couches 4d à nouveau, que seulement neuf fragments sur cent auraient échappé au feu. Bien au contraire, il semblerait que l'essentiel des restes osseux ait subi une destruction de type physico-chimique liée à la présence d'eau dans le site. Des restes fortement altérés – presque réduits à l'état de poussière d'os – ont pu être prélevés dans les couches datant de l'Alleröd. Des restes similaires ont également été observés dans les couches postérieures, mais leur état ne permettait plus de les prélever. Tout porte à croire que la rubéfaction des os ait provoqué une transformation chimique telle que l'os résiste mieux aux attaques physico-chimiques.

En comparaison, les vestiges osseux des couches du Paléolithique semblent relativement mieux conservés et sont donc les témoins d'une occupation particulièrement ténue. Les fragments brûlés provenant des couches du Mésolithique, par contre, sont probablement les restes de populations d'animaux beaucoup plus importantes, dont il est malheureusement impossible de déterminer même approximativement les effectifs, si ce n'est en estimant que chaque individu ramené sur le site n'est représenté au mieux que par quelques grammes de matière osseuse conservée.