



Cahiers d'archéologie jurassienne

# DERNIER CYCLE GLACIAIRE ET OCCUPATIONS PALÉOLITHIQUES À ALLE, NOIR BOIS

Denis Aubry  
Michel Guélat

Jean Detrey  
Blaise Othenin-Girard

Avec des contributions de:

Thierry Adatte  
Jehanne Affolter  
Louis Chaix  
Claude Guérin  
Thierry Rebmann  
Nigel Thew  
Ludwig Zöllner





R 003064564 (Guelat) n

R 003064569 (Adette) n

R 003064578 (Chaix) n

R 003064631 (Affolter) n

R 281350760

BPU Neuchâtel



1031085819

2n



Cahier d'archéologie jurassienne 10  
Collection dirigée par François Schifferdecker

# Dernier cycle glaciaire et occupations paléolithiques à Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)

Denis Aubry  
Michel Guélat

Jean Detrey  
Blaise Othenin-Girard

Avec des contributions de :

Thierry Adatte  
Jehanne Affolter  
Louis Chaix  
Claude Guérin  
Thierry Rebmann  
Nigel Thew  
Ludwig Zöllner



2001 / 1863

Office du patrimoine historique  
Société jurassienne d'Émulation  
Porrentruy 2000



La Collection des **CAHIERS D'ARCHÉOLOGIE JURASSIENNE** est publiée sous les auspices du CENTRE D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES (CER) qui réunit les principales associations et institutions du Jura en particulier l'Office du patrimoine historique et la Société jurassienne d'Emulation.

La Collection est née de la collaboration de la Section d'archéologie de l'Office du patrimoine historique et du Cercle d'archéologie de la Société jurassienne d'Emulation.

La direction scientifique de la Collection est assumée par François Schifferdecker, archéologue cantonal.

**Recherches et rédaction:**

Office du patrimoine historique  
Section d'archéologie  
Hôtel des Halles  
Case postale 64  
CH-2900 Porrentruy 2  
Tél. 032/465 74 00  
Fax 032/465 74 99

e-mail : francois.schifferdecker@jura.ch  
www.jura.ch (Etat/Administration/Education/  
Office du patrimoine/Section d'archéologie)

**Edition et diffusion:**

Cercle d'archéologie de la  
Société jurassienne d'Emulation  
Rue du Gravier 8  
Case postale 149  
CH-2900 Porrentruy 2  
Tél. 032/466 92 57  
Fax. 032/466 92 04

e-mail: sje@bluewin.ch  
www.jura.ch/agora/sje  
(commandes d'ouvrages)

Rédaction éditoriale: Laurence-Isaline Stahl Gretschi.

Traitement informatique: Marie-Claude Maître-Farine.

Maquette: Marie-Claude Maître-Farine, Line Petignat Häni, Laurence-Isaline Stahl Gretschi.

© 2000 by Société jurassienne d'Emulation et Office du patrimoine historique, CH-2900 Porrentruy.

ISBN 2-88436-010-7

ISSN 1422-5190

Publié avec le concours du Département de l'Éducation et du Département de l'Environnement et de l'Équipement de la République et Canton du Jura.

**Code de citation préconisé:**

Aubry Denis, Guélat Michel, Detrey Jean, Othenin-Girard Blaise et al. *Dernier cycle glaciaire et occupations paléolithiques à Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Emulation, Porrentruy, 2000, 176 p., 104 fig. (Cahier d'archéologie jurassienne 10).

**Illustrations de la couverture:**

Le fond représente un profil stratigraphique schématisé.

Prises de vues: pointe moustérienne (silex du Chasseral); remontage d'un nucléus laminaire magdalénien (locus 2, silex de Bendorf). Au dos de l'ouvrage: profil stratigraphique (coupe A, 58).

Prises de vues: Bernard Migy.



## PRÉFACE

Dans le puissant chambardement destructeur qu'entraîne l'érosion naturelle à la surface des terres, on continue de s'étonner que le temps ait préservé, ici ou là, des parcelles de dépôts, témoins de périodes passées et archives des environnements anciens et des hommes qui les peuplaient et les parcouraient.

**L'étonnante conservation** du site de Noir Bois sur la commune d'Alle, dans la vallée de l'Allaine, en plein canton suisse du Jura, constitue la première particularité qui en fait un site d'exception : le temps l'a épargné de la destruction. On est alors en droit de se poser la question : pourquoi là et pas ailleurs ? Quand on sait en effet que l'érosion naturelle actuelle rabote, sous nos climats, une épaisseur voisine de un mètre tous les dix mille ans ; quand on sait que les conditions des périodes froides du Quaternaire récent en érodaient au moins dix fois plus ; quand on sait enfin que les déforestations néolithiques et les pratiques agricoles récentes ont encore accentué cette érosion de surface, on ne peut que s'étonner en effet, qu'en parfaite rase campagne comme c'est le cas de Noir Bois, des conditions particulièrement favorables – j'ose dire miraculeuses – aient préservé jusqu'à nous de telles archives archéologiques. Certes, un certain nombre de sites comparables sont à ce jour découverts, exploités, voire même parfois publiés. Pour l'Europe une petite dizaine de ce type, correctement étudiés, me vient à l'esprit, en dehors des gisements de porches de grottes, plus abondants car mieux protégés par leur encaissement naturel. Certes également, un certain nombre reste à découvrir. Peut-on en espérer plus de un à deux pour chaque décennie à venir ? Quoiqu'il en soit, chacun de ces gisements peut être considéré comme une exception, d'autant plus rare que le site est ancien.

**Les circonstances de la découverte** de Noir Bois me semblent constituer la deuxième particularité exceptionnelle de ce site. Une campagne de sondages préventifs s'engage en automne 1990 sur le tracé autoroutier préalablement défini. Un habitat de La Tène ancienne et une route romaine sont détectés. Jusqu'ici aucune surprise peut-on dire, chaque tracé linéaire mettant régulièrement au jour de tels vestiges, tant leur densité est forte dans nos contrées. C'est à ce moment que se décide l'opération qui va faire passer Noir Bois du statut de site intéressant à celui de site d'exception. L'équipe de prospection décide de reconnaître toute la séquence des formations superficielles préservées, par le creusement de tranchées jusqu'au substrat calcaire. C'est cette décision et l'opération qui suit qui vont révéler la séquence d'enregistrement exceptionnelle de cette petite parcelle du territoire.

**L'exemplaire exploitation du site**, c'est-à-dire sa fouille et son étude, constitue à mes yeux la troisième particularité exceptionnelle de Noir Bois. Au cours des investigations, l'équipe de fouille détecte immédiatement l'intérêt des niveaux profonds. Puis, durant les années 1991 à 1993, des moyens appropriés permettent à une équipe compétente de conduire une campagne de fouille intelligente, moderne et efficace. Les meilleurs spécialistes de chaque domaine – sédimentologie, micromorphologie, minéralogie, archéozoologie, typologie – sont sollicités et mettent en œuvre les méthodes d'analyses de terrain et de laboratoire les mieux appropriées. Rien n'est laissé au hasard et chacun s'efforce, dans sa spécialité, d'extraire au mieux toutes les informations disponibles.

Enfin, **la qualité de la publication** proposée, étape finale indispensable sans laquelle toutes les autres n'auraient pu être valorisées, vient clore la chaîne des opérations nécessaires à la mise en mémoire du site de Noir Bois. On peut remercier l'Office du patrimoine historique et le Cercle d'archéologie de la Société jurassienne d'Émulation d'avoir su conjuguer leurs efforts pour nous offrir ce nouveau volume des Cahiers d'Archéologie Jurassienne. Lorsqu'on sait la difficulté que les archéologues rencontrent pour décider les Éditeurs et leurs responsables de tutelle à publier leurs travaux, on ne peut que louer les autorités politiques de la République et Canton du Jura d'avoir su procurer les moyens nécessaires à cette publication. Car elle fera date. Et bien au-delà des frontières de la Confédération Helvétique.

Michel Campy  
Professeur de Géologie du Quaternaire  
Centre des Sciences de la Terre  
Université de Bourgogne, à Dijon (France)



Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or title.

Second block of faint, illegible text.

Third block of faint, illegible text.

Fourth block of faint, illegible text.

Fifth block of faint, illegible text.

Sixth block of faint, illegible text.

Seventh block of faint, illegible text.

Eighth block of faint, illegible text.



## TABLE DES MATIÈRES

### PRÉFACE

<i>(Michel Campy)</i> .....	3
-----------------------------	---

TABLE DES MATIÈRES .....	5
--------------------------	---

### 1 INTRODUCTION

*(Blaise Othenin-Girard)*

1.1 Situation géographique .....	9
1.2 Historique des découvertes et des travaux, remerciements	
1.3 Méthodes de fouille	
1.4 Valeur des vestiges et intérêt du site	
1.4.1 Etude sédimentologique et micromorphologique	
1.4.2 Etude archéologique	
1.5 Bibliographie .....	14

### 2 CADRE NATUREL DU SITE

*(Denis Aubry)*

2.1 Cadre physique .....	15
2.1.1 Situation	
2.1.2 Altitude et flore actuelle	
2.1.3 Les précipitations	
2.1.4 Le niveau thermique	
2.1.5 Les vents	
2.1.6 Les sols	
2.2 Cadre géologique .....	16
2.2.1 Données générales	
2.2.2 Historique des dépôts fluviatiles rhénans et alpins en Ajoie	
2.2.3 Cadre hydrogéologique	
2.2.4 Environnement géologique local	
2.3 Bibliographie .....	18

### 3 STRATIGRAPHIE ET GÉOMÉTRIE DES DÉPÔTS

*(Denis Aubry)*

3.1 Introduction .....	19
3.2 Caractérisation lithostratigraphique des unités <i>(avec la collaboration de Michel Guélat)</i>	
3.3 La géométrie des dépôts	
3.4 Erosion et soutirages karstiques à Alle, Noir Bois	
3.5 Les structures de gel et leurs implications dans l'unité E5 .....	25
3.5.1 Positionnement et évolution géographique des formations litées pléniglaciaires et actuelles en Europe	
3.5.2 Vitesse de déplacement des convois caillouteux, observations actuelles	
3.5.3 Les cryosols	
3.5.4 Les structures et les formes observées en stratigraphie à Alle, Noir Bois	
3.5.5 Comparaison des figures d'Alle, Noir Bois avec celles d'Hauterive-Champréveyres	
3.5.6 Discussion	
3.5.7 Passage de l'unité E5 base à l'unité E5 sommet : indicateur de modifications des conditions environnementales ?	
3.5.8 Indices de cryosols dans l'unité E5	
3.5.9 Quelques définitions	
3.6 Bibliographie .....	30



## 4 CARACTÉRISATION SÉDIMENTOLOGIQUE DES DÉPÔTS

(Denis Aubry)

4.1	Introduction.....	31
4.1.1	Les limites imposées par la nature des dépôts et par l'environnement	
4.2	Granulométrie	
4.2.1	Technique d'analyse et mode de présentation des données	
4.2.2	Caractérisation granulométrique des unités E9 à E1	
4.2.3	Discussion	
4.2.4	Les lœss	
4.3	Géochimie.....	39
4.3.1	Méthodes	
4.3.2	Caractérisation géochimique des unités E9 à E1	
4.3.3	Réflexion sur les différents phosphates	
4.3.4	Préservation des lœss stadiaires carbonatés de l'acidification générale holocène	
4.3.5	Le fer	
4.4	Etude géochimique et granulométrique de cinq profils.....	45
4.4.1	Le profil I	
4.4.2	Le profil II	
4.4.3	Le profil III	
4.4.4	Le profil IV	
4.4.5	Le profil V	
4.5	Recherche d'indices sédimentologiques.....	49
4.6	Les phases reconnues par l'approche de terrain, par la sédimentologie et par les datations	
4.7	Exhaussement du plateau ajoulot et épirogénèse	
4.8	Bibliographie.....	58

## 5 APPROCHE MICROMORPHOLOGIQUE

(Michel Guélat)

5.1	Introduction.....	61
5.1.1	Etat de la question	
5.1.1.1	Données antérieures	
5.1.1.2	Chronique de la recherche	
5.1.1.3	Evolution des sols à l'Holocène	
5.1.2	Objectifs et méthode	
5.1.3	Les coupes présentées	
5.2	La zone amont : la coupe 58.....	62
5.2.1	Bref rappel stratigraphique	
5.2.2	L'altérite bariolée (unité E9)	
5.2.3	Les sables du niveau moustérien inférieur (unité E8)	
5.2.4	Les limons brun-jaune (unité E7)	
5.2.5	Les limons jaunes à mollusques (unité E6)	
5.3	La zone aval : les coupes 97 et 98.....	66
5.3.1	Bref rappel stratigraphique	
5.3.2	L'unité E7	
5.3.2.1	Les colluvions de base (unité E7c)	
5.3.2.2	Les limons tachetés (unité E7b)	
5.3.2.3	L'horizon humifère (unité E7a)	
5.3.3	L'unité E6	
5.3.4	L'unité E4	
5.4	Autres profils analysés.....	68
5.4.1	Le head (unité E5) et les unités adjacentes (E6 et E4) dans le profil 1105	
5.4.1.1	Bref rappel stratigraphique	
5.4.1.2	Le sommet de l'unité E6	
5.4.1.3	Le head E5	
5.4.1.4	La base de l'unité E4	
5.4.2	Les limons lœssiques du gisement magdalénien (unité E4)	
5.4.2.1	Bref rappel stratigraphique	
5.4.2.2	Analyse microscopique	



5.5	Interprétation paléoclimatique et chronostratigraphique. Discussion .....	71
5.5.1	Le complexe inférieur	
5.5.1.1	L'unité E9	
5.5.1.2	L'unité E8	
5.5.1.3	Attribution chronostratigraphique du niveau à silex moustériens	
5.5.2	La séquence lœssique	
5.5.2.1	L'unité E7	
5.5.2.2	L'unité E6	
5.5.3	Les formations sommitales	
5.5.3.1	Le head E5	
5.5.3.2	L'unité E4	
5.5.3.3	Attribution chronostratigraphique du niveau à silex magdaléniens	
5.6	Conclusions	
5.7	Bibliographie .....	79
<b>6</b>	<b>ETUDE MINÉRALOGIQUE DES LÆSS</b>	
	<i>(Thierry Adatte)</i>	
6.1	Echantillonnage .....	81
6.2	Méthodes employées	
6.3	Minéraux majeurs, roche totale	
6.4	Résidu insoluble, fraction 2-16 µm	
6.5	Résidu insoluble, fraction < 2 µm	
6.6	Âges apparents des micas	
6.7	Conclusions	
6.8	Bibliographie .....	88
<b>7</b>	<b>DATATIONS ABSOLUES</b>	
7.1	Datations par thermoluminescence des lœss ( <i>Ludwig Zöller</i> ) .....	89
7.1.1	Position stratigraphique des échantillons	
7.1.2	La datation par thermoluminescence	
7.1.3	Résultats	
7.1.4	Bibliographie	
7.2	Datations radiocarbone ( <i>Denis Aubry</i> ) .....	91
7.2.1	Datation des mollusques de l'unité E6	
7.2.2	Essai de datation de l'unité E4	
7.2.3	Autres essais	
7.2.4	Bibliographie	
<b>8</b>	<b>LA FAUNE</b>	
8.1	Etude malacologique des lœss de l'unité E6 ( <i>Nigel Thew et Louis Chaix</i> ) .....	93
8.1.1	Introduction et méthodes	
8.1.2	Résultats	
8.1.3	Datations relatives et absolues	
8.1.4	Climat	
8.1.5	Environnement local	
8.1.6	Conclusion	
8.1.7	Bibliographie	
8.2	Etude des dents de rhinocéros de l'unité E6 ( <i>Claude Guérin</i> ) .....	96
8.2.1	Descriptions	
8.2.2	Affinités	
8.2.3	Bibliographie	
<b>9</b>	<b>LES OCCUPATIONS MOUSTÉRIENNES</b>	
9.1	Situation et hiérarchie des gisements ( <i>Blaise Othenin-Girard</i> ) .....	99
9.1.1	Stratigraphie et état de conservation	
9.1.2	Répartition de l'industrie	



9.2	Provenance des silex moustériens ( <i>Jehanne Affolter</i> ) .....	105
9.3	Étude technologique et typologique ( <i>Jean Detrey</i> ) .....	108
9.3.1	L'industrie du niveau inférieur (unité sédimentaire E8)	
9.3.2	L'industrie du niveau supérieur (unité sédimentaire E7)	
9.3.3	L'industrie du niveau remanié	
9.3.4	L'industrie totalement remaniée	
9.4	Conclusion ( <i>Jean Detrey et Blaise Othenin-Girard</i> ) .....	125
9.5	Bibliographie .....	127
<b>10</b>	<b>L'OCCUPATION MAGDALÉNIENNE</b>	
10.1	Situation et répartition ( <i>Blaise Othenin-Girard</i> ) .....	131
10.2	Études pétrographiques	
10.2.1	Provenance des silex magdaléniens ( <i>Jehanne Affolter</i> )	
10.2.2	Détermination et provenances de la concentration de galets du niveau magdalénien; traces d'utilisation ( <i>Thierry Rebmann</i> )	
10.3	Étude typologique ( <i>Blaise Othenin-Girard</i> ) .....	140
10.3.1	Caractères généraux	
10.3.2	Insertion dans le Magdalénien régional et datation	
10.4	Étude technologique ( <i>Jean Detrey</i> ) .....	145
10.5	Conclusion ( <i>Jean Detrey et Blaise Othenin-Girard</i> )	
10.6	Bibliographie .....	152
<b>11</b>	<b>SYNTHÈSE</b>	
11.1	Introduction .....	157
11.2	Méthodologie	
11.3	Les analyses de laboratoire et leur évaluation	
11.4	Présentations des résultats	
11.5	Données archéologiques .....	160
	RÉSUMÉ, ZUSAMMENFASSUNG, RIASSUNTO, ABSTRACT .....	161
	LISTE DES ILLUSTRATIONS .....	169
	CRÉDIT ICONOGRAPHIQUE .....	171
	PUBLICATIONS DE LA SECTION D'ARCHÉOLOGIE .....	173



# 1 INTRODUCTION

(Blaise Othenin-Girard)

## 1.1 Situation géographique

Le site de Noir Bois est localisé à quelques kilomètres au nord de la chaîne jurassienne, sur la commune d'Alle, dans le canton suisse du Jura (fig. 2). La ville de Bâle et le coude du Rhin sont situés à 40 km au nord-est, la cité française de Belfort à 30 km au nord-ouest. A une altitude moyenne de 450 m, les vestiges archéologiques occupaient un replat du terrain au pied nord d'une colline allongée (anticlinal du Banné); cette éminence borde le flanc sud d'une petite plaine alluviale arrosée par l'Allaine, rivière qui se dirige vers l'ouest en direction de la ville de Porrentruy (fig. 3) pour se jeter ensuite dans le Doubs, en territoire français. Caractéristique du Jura tabulaire, la topographie actuelle révèle un paysage encore animé par de légers plissements du socle calcaire (fig. 1).

En relation avec les vestiges préhistoriques de Noir Bois, de nombreux rognons de silex existent à l'état naturel au sommet des bancs rocheux ou dans les sédiments qui les recouvrent.

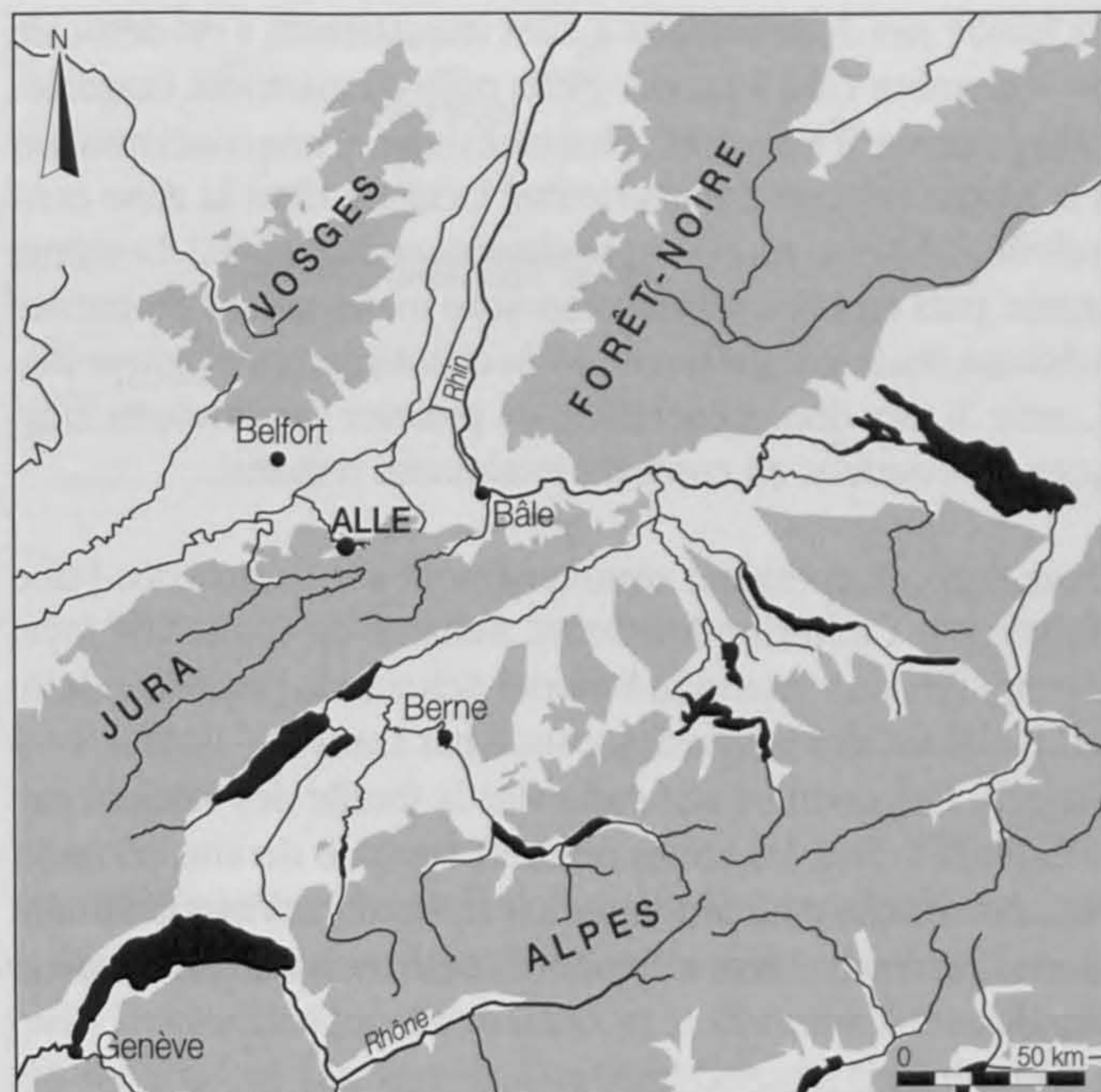


Fig. 2. Cadre géographique du site d'Alle, Noir Bois.

## 1.2 Historique des découvertes et des travaux, remerciements

Les premiers vestiges archéologiques d'Alle, Noir Bois ont été mis au jour en automne 1990, lors d'une campagne de sondages précédant la construction de l'autoroute A 16 et le déplacement d'une voie de chemin de fer (fig. 4). Ces investigations préliminaires avaient permis de mettre en évidence un habitat La Tène ancienne ainsi qu'une route romaine. Les fouilles entreprises dès mars 1991 par la section d'archéologie de l'Office du patrimoine historique du Canton du Jura, se sont déroulées sans interruption jusqu'en août 1993, sur une surface de 2,46 hectares.

Dès l'été 1991, l'intervention a été marquée par de nouvelles découvertes dans la zone occidentale du chantier; il s'agissait de vestiges gallo-romains supplémentaires, de tombes du Haut Moyen Age et de restes d'un habitat néolithique.

Au même emplacement (fig. 4, zone 1), des tranchées réalisées jusqu'au socle calcaire ont montré une sédimentation de plusieurs mètres d'épaisseur, constituée notamment de loess dans sa partie inférieure. C'est lors d'un décapage effectué au sommet de ces sédiments qu'est apparue une concentration de silex débités, sur une surface de quelques mètres carrés; cette industrie a été attribuée par la suite au Magdalénien. A quelques dizaines de mètres de là vers l'ouest, une concentration assez lâche d'artefacts siliceux moustériens a été repérée, surmontant un deuxième niveau à silex de la même phase culturelle, cette fois-ci dans des alluvions anciennes. Ces éléments nouveaux ont conduit archéologues et géologues à considérer avec intérêt les unités sédimentaires pléistocènes de la stratigraphie du site.



Fig. 1. Vue aérienne en direction du sud-est d'une partie de la plaine de l'Allaine, avec l'emplacement du site au pied de la colline boisée de Noir Bois (flèche). A l'arrière-plan, on distingue les premiers contreforts de la chaîne du Jura.



La fouille des deux niveaux à silex moustériens s'est déroulée de septembre 1991 à janvier 1992; celle du gisement magdalénien de janvier à mars 1992. Plus tardivement, une concentration d'industrie lithique moustérienne, localisée dans la zone centrale du site (fig. 4, zone 2), a été abordée en juillet 1992. La même année, puis en 1993, les investigations menées dans les parties médiane, mais surtout orientale du chantier archéologique (fig. 4, zone 3), ont donné l'occasion de prélever des artefacts lithiques moustériens en contexte totalement remanié.

Deux équipes opéraient simultanément sur le chantier, l'une dirigée par Catherine Masserey, assistée de Catherine Joye, Myriam Pineau et Maruska Federici-Schenardi, l'autre conduite par Blaise Othenin-Girard, secondé par Laurence-Isaline Stahl Gretsich. Ces derniers ont supervisé la fouille des vestiges paléolithiques dans les zones ouest et centrale du site, soutenu dans cette tâche par Judit Antoni, Jean Detrey et Vincent Friedli. L'industrie moustérienne remaniée a été recueillie par les deux équipes.

En guise d'introduction aux travaux de publication, un article présentant les diverses périodes répertoriées sur le site est paru en 1993 (Masserey et al. 1993). L'étude des six phases archéologiques de Noir Bois ne pouvait pas se réaliser en parallèle; en effet, certaines personnes devant se consacrer à plusieurs projets, dont celui du site moustérien d'Alle, Pré Monsieur. Les élaborations ont commencé entre fin 1993 et début 1994, avec successivement les vestiges campaniformes (Othenin-Girard et

al. 1997) et laténiens (Masserey et al., à paraître). L'ouvrage consacré aux périodes gallo-romaine et du Haut Moyen Age de Noir Bois est paru en 1999 (Demarez, Othenin-Girard et al. 1999), de même que celui relatif à l'industrie lithique moustérienne d'Alle, Pré Monsieur (Stahl Gretsich, Detrey et al. 1999). Ce n'est que vers le milieu de cette même année que les études concernant le Paléolithique et les niveaux pléistocènes de Noir Bois ont débuté. Cependant, certains auteurs qui avaient commencé leurs travaux auparavant ont achevé l'essentiel de leur contribution en 1998.

Résultat de l'étude des sédiments anciens et des vestiges paléolithiques de Noir Bois, cette publication a pu compter sur la compétence de nombreuses personnes qu'il faut vivement remercier.

Il s'agit en premier lieu des techniciens (-nes) de fouille qui ont participé aux opérations de terrain dans des conditions climatiques et sonores parfois extrêmes:

Isabelle Azagury, Ursule Babey, Nicolas Babey, Marc Bédard †, Alain Belin, Anne Bessire, Stève Beuret †, Pierre Bigler, Maxime Boillat, Jacqueline Bonjour, Pierre-Alain Borgeaud, Marie-José Brischoux, Françoise Lorenz, Martine Cattin, Christophe Cedolin, Angélique Cerf, Christian Cevey, François Chariatte, Thierry Châtelain, Christophe Chauvel, Florence Chavaillon, Vincent Christe, Fabien Convertini, Thierry Courtaux, Jean-Daniel Demarez, Sarah Droxler, Nathalie Duplain, Dominiek Dutoo, Piernicola

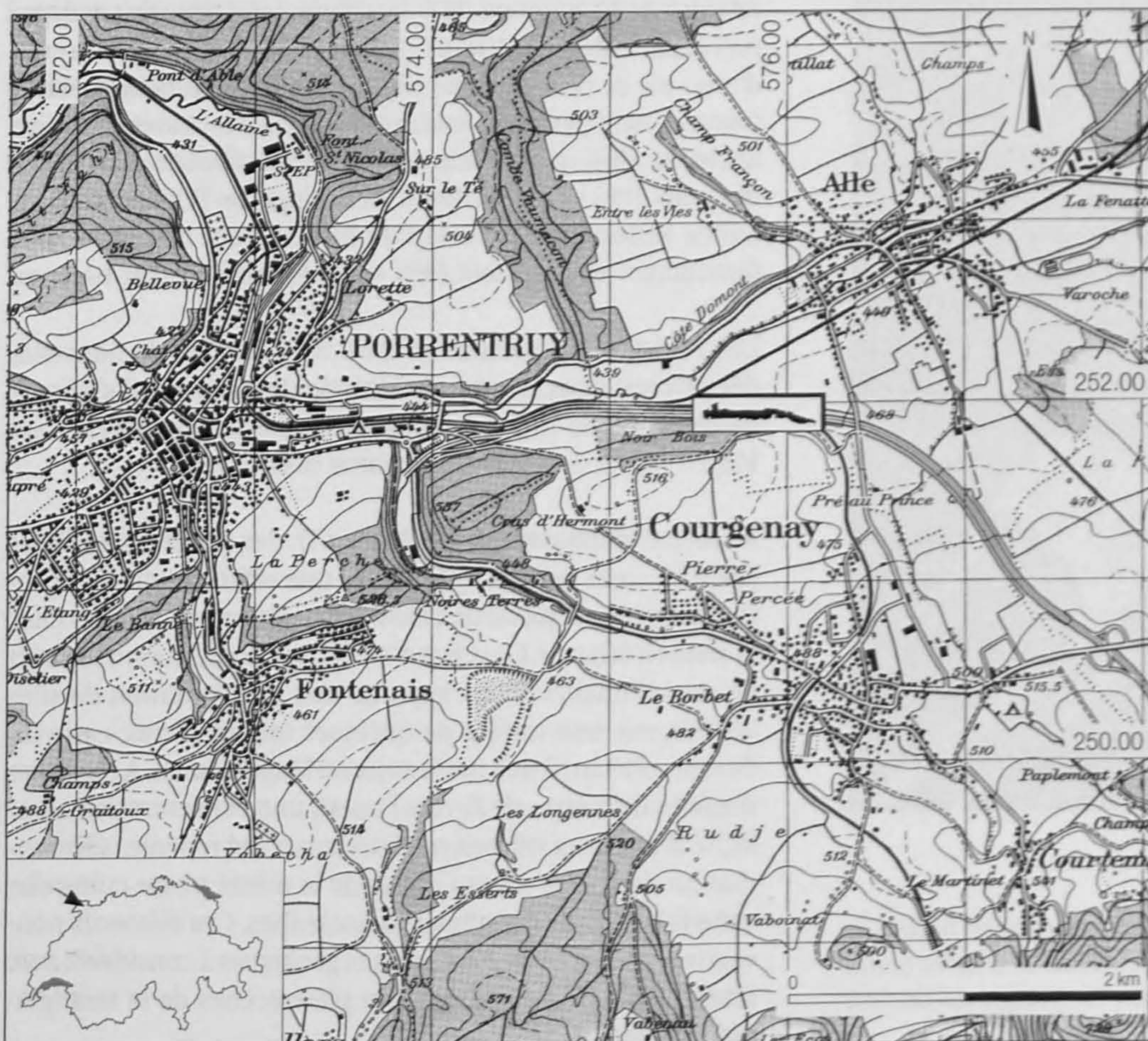
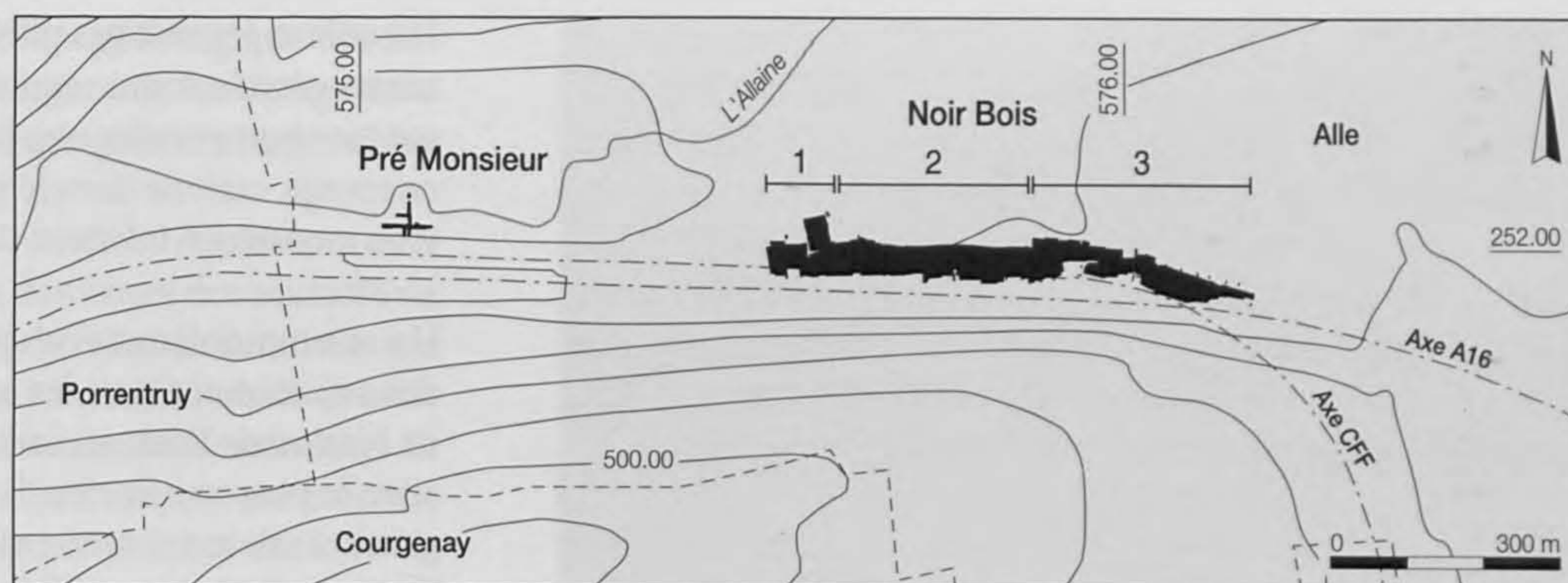


Fig. 3. Situation d'Alle, Noir Bois en Ajoie. Carte nationale 1 : 50 000, feuille 1085. Reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie (BA002076).



Fig. 4. Situation topographique et emprise du site, avec les axes de l'autoroute A16 et de la voie CFF. Zonation des vestiges paléolithiques de Noir Bois: 1. partie occidentale; 2. partie centrale; 3. partie orientale.



Federici, Robert Fellner, Laurence Frei, Anne-Marie Frund, Iann Gaume, Raphaël Gilles, Cyrille Girardin, Franceline Gisiger, Sarah Goffinet, Marie-Hélène Grau, Olympia Guillem, Roman Hapka, Andrea Hep, Ursula Hügi, Mirjam Jenny, Isabelle Joliat, Florence Joyeux, Andrea Kälin, Marc-Antoine Kaeser, Aline Kolly, Ralf Krebs, Fabienne Kunz, Marie-Christine Lachat, Danila Maillard, Yves Maître, Marie-Angélique Mertenat, Pierre-Alain Moeschler, Anne Montavon, Ralf Morosoli, Boris Oriet, Laurence Paillard, Marie-Hélène Paratte Rana, Christian Peter, Sylvie Petignat, Jocelyne Petit, Stéphanie Petitjean, Myriam Prongué, Gianna Reginelli, Didier Richard, Céline Robert-Charrue, Nicolas Roudié, Christophe Rouèche, Philippe Sabatier, Antonin Sauvage, Ruth Sawadogo, Sylvie Schmid, Béatrice Schnetz, Alexandre Schroeder, Christian Sculler, Prisca Simon-Willemin, Lucette Stalder, Daniel Streit, Pascal Taillard, Martine Thiévent, Nathalie Thimon-Eschmann, Sandrine Vallat, Hugues Voirol, Yann Voirol, Iris Wessel, Jean-Samuel Weyeneth, Emmanuel Ziehli et Antoine Zürcher.

Les diverses étapes de l'élaboration ont bénéficié de l'efficacité de collaborateurs (-trices) de la section d'archéologie auxquels les auteurs adressent toute leur gratitude.

La consolidation de deux dents de rhinocéros laineux a été assurée par Pierre Bigler, alors que Martine Thiévent a procédé aux remontages de l'industrie lithique magdalénienne, à la gestion de bases de données ainsi qu'à diverses manutentions.

Monique Baldassi Etienne a dessiné l'industrie lithique et Line Petignat Häni a réalisé l'ensemble des plans et des coupes; elle a en outre accompli les dernières corrections de l'iconographie et la maquette de l'ouvrage. Une reconstitution de taille de silex au Paléolithique est due à Tayfun Yilmaz. Bernard Migy a effectué une partie des prises de vues et l'intégralité des tirages noir-blanc de cet ouvrage. Marie-Claude Maître-Farine s'est chargée de la mise en page informatisée définitive, de même que de la réalisation de l'essentiel des tableaux et des graphiques ainsi que des dessins.

Patrick Paupe a amicalement mis à disposition le matériel lithique provenant du site moustérien de Romain-la-Roche (Doubs, France) afin de réaliser quelques comparaisons avec les industries de Noir Bois.

Maruska Federici-Schenardi, Ludwig Eschenlohr et Robert Fellner ont traduit le résumé respectivement en italien, allemand et anglais. La coordination des travaux et la direction éditoriale ont été assurées par Laurence-Isaline Stahl Gretschi; cette dernière a également réalisé les corrections des textes avec François Schifferdecker, Jean Detrey, Florence Chavaillon et Anne Montavon.

Quelques personnes extérieures à la section d'archéologie ont aussi fait profiter plusieurs contributeurs de leur expérience et de leurs conseils; il s'agit de Reto Jagher, Marcel Joos et Philippe Rentzel (Bâle), André Thévenin (Vesoul) et Brigitte van Vliet-Lanoë (Lille).

Enfin, plusieurs personnalités et les institutions qu'elles dirigent ont apporté un soutien indispensable à la bonne marche de la fouille, puis des travaux de publication. Il faut ainsi chaleureusement remercier Madame Anita Rion (Ministre de l'Éducation), Pierre Kohler (Ministre de l'Environnement et de l'Équipement), André Voutat et son successeur Jean-Philippe Chollet (chefs du Service des ponts et chaussées) ainsi que leurs collaborateurs Rodolphe Bläuer, Jacques Petignat, Denis Barthoulot et Denis Morel, les membres de la commission archéologie-A16 et ses présidents, Bernard Prongué et Michel Hauser (respectivement ancien et chef actuel de l'Office du patrimoine historique), François Schifferdecker (archéologue cantonal), de même que la Société jurassienne d'Émulation et son président central Claude Juillerat.

### 1.3 Méthodes de fouille

Comme sur toute fouille d'urgence, les méthodes ont été conditionnées par les délais impartis pour explorer six périodes archéologiques, réparties dans la plupart des couches de la stratigraphie. En outre, la surface à traiter, de même que le volume de sédiments à décaper, étaient particulièrement importants. En ajoutant le fait que les travaux de génie civil avançaient en même temps que ceux de l'intervention archéologique, il a fallu fixer des priorités. C'est ainsi que les efforts se sont concentrés sur les vestiges de la séquence holocène, alors que l'approche des industries moustérienne et magdalénienne, occupant la partie inférieure de la sédimentation, a été limitée par des délais d'intervention plus courts.





Fig. 5. Vue d'un décapage archéologique effectué à la pelle mécanique.

La fouille de trois gisements paléolithiques et l'observation de leur contexte sédimentaire ont pu se réaliser dans des conditions acceptables dans la partie occidentale du site (fig. 4, zone 1); c'est à cet endroit qu'ont été effectuées, dans les diverses unités des niveaux anciens, la majorité des prélèvements de sédiments et les datations par thermoluminescence (chap. 7.2).

Dans la zone médiane du chantier (fig. 4, zone 2), il a fallu en revanche approcher les vestiges de ces périodes de manière plus expéditive. Les couches pléistocènes n'y ont été explorées que partiellement et par sondages, dans le but de réaliser de grandes coupes structurales. Dans la zone orientale de Noir Bois (fig. 4, zone 3), la forte érosion des niveaux anciens a profondément remanié l'industrie paléolithique et l'a déplacée dans des couches holocènes; les artefacts disséminés ont simplement été prélevés lors de la fouille des occupations protohistoriques et romaine.

La démarche adoptée était néanmoins identique pour toutes les périodes du site: les vestiges mobiliers les moins bien conservés ont été décapés avec une pelle mécanique munie d'un godet à tranchant lisse. L'industrie lithique du niveau moustérien supérieur a été recueillie par ce biais dans la partie occidentale (fig. 5), avec toutefois une localisation en trois dimensions des objets effectuée au théodolite. Dans les zones centrale et orientale, les artefacts moustériens remaniés ont été prélevés de la même manière, avec un enregistrement par unités de surface variables et par altitudes relatives des décapages machine successifs. Dans le gisement moustérien de la zone centrale, on a fait intervenir à la fois la fouille manuelle et la pelleteuse. L'emploi de cet engin se révèle approprié lorsque les artefacts apparaissent en faible densité par contraste dans des sédiments meubles comme les loess.

Des méthodes de fouille analogues ont par ailleurs été menées sur des sites paléolithiques de grande surface, avec semble-t-il des pertes minimales d'objets par rapport à une intervention manuelle (Deloze et al. 1994, p. 26ss).

Par contre, les vestiges plus denses ou contenus dans des sédiments graveleux ont requis un dégagement à la main, avec un positionnement des objets en trois dimensions au sein d'un carroyage, comme dans le gisement magdalénien (fig. 6) et le niveau moustérien inférieur, dans la zone occidentale du site (fig. 7).

Un autre problème s'est manifesté lors de la fouille. En effet, dans quasiment tous les sédiments pléistocènes comprenant de l'industrie lithique, on rencontre des fragments naturels de silex, le plus souvent fractionnés ou «retouchés» par le biais du gel ou d'une autre action mécanique (charriage, piétinement?). Tous ces éléments ont été prélevés lors de la fouille, puis observés par une personne capable de distinguer les stigmates d'un débitage intentionnel ou dus à une autre action. On peut ainsi considérer le corpus des artefacts comme complet.

En définitive, la fouille extensive des gisements paléolithiques de plein air à Noir Bois a nécessité une adaptation constante de la précision des méthodes de fouille et d'enregistrement en fonction des contingences du moment, de l'état de conservation et de la densité des vestiges. Cette approche marquée par la souplesse a également été employée avec efficacité sur d'autres sites du Paléolithique moyen (Deloze et al. 1994, p. 254). Une telle démarche permet dans un premier temps d'appréhender de manière globale la sédimentation et la qualité des vestiges archéologiques, puis de se concentrer sur les emplacements les plus parlants.

#### 1.4 Valeur des vestiges et intérêt du site

Le site d'Alle, Noir Bois se distingue par une sédimentation quaternaire bien développée qui atteint parfois plus de quatre mètres d'épaisseur. La partie inférieure de cet ensemble comporte des dépôts périglaciaires pléistocènes, essentiellement de nature loessique, mais également fluviatile, qui constituent le centre d'intérêt de cet ouvrage. Ces formations anciennes sont coiffées par une séquence colluviale holocène qui a été étudiée dans les publications consacrées aux occupations du Néolithique (Aubry et Guélat 1997, p. 15-17; 24-39), de la Tène ancienne (Aubry, à paraître) et de la période romaine (Aubry 1999, p. 11-13; 117-122).

La découverte de plusieurs petits gisements de plein air, comportant des industries lithiques des cultures moustériennes et magdalénienne, a immédiatement attiré l'attention sur le contexte sédimentaire de ces vestiges. En effet, il est apparu que certains de ces niveaux archéologiques étaient stratifiés, en particulier dans la partie occidentale du site (chap. 9.1 et 10.1). La présence d'artefacts siliceux du Paléolithique moyen et supérieur dans plusieurs unités de la stratigraphie a permis, dans un premier temps, de fixer les limites temporelles d'une succession de dépôts rattachés à l'histoire sédimentaire du Quaternaire supérieur de la plaine de l'Allaine.

Lors des études ultérieures, Alle, Noir Bois a révélé, pour cet espace géographique, une somme d'informations inédites; leur valeur et leur diversité sont suffisantes pour proposer, à l'échelle du site, un modèle de synthèse (chap. 11) décrivant



les modes de sédimentation et l'évolution pédologique des différentes unités lithologiques repérées, puis de les insérer dans le cadre paléoclimatique du domaine périglaciaire régional des 100 000 dernières années.

Pour aboutir à cet objectif, plusieurs domaines des sciences de la terre, de l'environnement et des méthodes de datations ont été sollicités à des degrés divers, selon les possibilités de conservation de certains matériaux dans le terrain. La contribution de l'archéologie porte sur les repères chronologiques que peuvent livrer les différents gisements d'industries lithiques découverts, en particulier par le biais de la typologie ou de leur position stratigraphique. L'état de conservation de ces derniers fournit également des indications sur l'évolution des sols après le dépôt des vestiges.

#### 1.4.1 Etude sédimentologique et micromorphologique (chap. 2-8)

L'étude sédimentologique définit d'abord les neuf ensembles sédimentaires (E9 à E1) de la stratigraphie ainsi que leur géométrie sur le site. Ensuite, chaque unité a été individualisée par les observations faites *in situ*, puis en laboratoire sur la base de ses caractéristiques granulométriques et géochimiques (chap. 3 et 4). A partir de ces arguments, il s'agit de définir l'origine des sédiments composant les six ensembles sédimentaires du Pléistocène (unités E9 à E4), dont celle des loëss (chap. 6), leurs modes de mise en place ainsi que les phases d'érosions et de remaniements qu'ils ont subis. L'apport de la micromorphologie (chap. 5) fournit notamment de précieuses indications sur les marques pédologiques imprimées dans les diverses unités, témoignant de la succession des conditions climatiques existant au moment de leur dépôt, puis lors de leur évolution sur place.

A l'exception de quelques données relatives à la faune (chap. 8), la connaissance du paysage végétal et des espèces animales occupant la plaine de l'Allaine reste en grande partie inconnue au cours du Pléistocène supérieur. Cette carence s'explique par les conditions de conservation défavorables des sédiments.



Fig. 6. Vue de la fouille manuelle du niveau magdalénien.

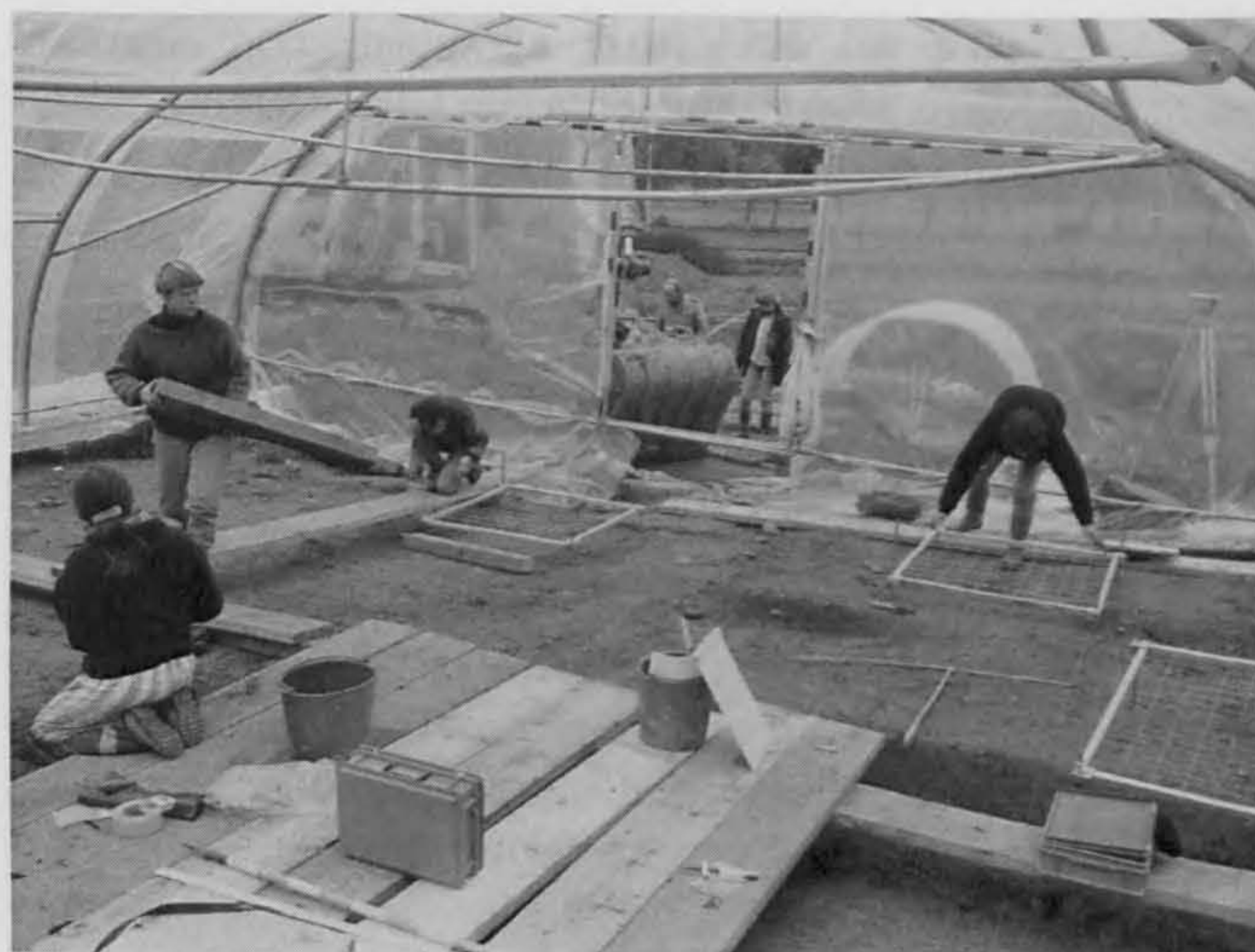


Fig. 7. Vue de la fouille manuelle du niveau moustérien inférieur.

Toutefois, les datations absolues (chap. 7) obtenues dans plusieurs ensembles de la stratigraphie, fournissent les points de repères chronologiques indispensables pour intégrer les phases repérées à Noir Bois aux séquences de références qui restituent l'histoire sédimentaire et climatique régionale du Quaternaire supérieur (chap. 4.6, 5.5 et 11).

#### 1.4.2 Etude archéologique (chap. 9 et 10)

Sur un plan archéologique, on dispose de cinq gisements de plein air (chap. 9.1 et 10.1), représentés par quatre niveaux à industrie lithique moustérienne et par un horizon magdalénien. Ils sont individualisés dans l'espace et en stratigraphie et occupent dans leur ensemble presque la totalité des surfaces décapées.

Un des objectifs recherchés est de définir la fonction de ces gisements, en partie déterminée par la présence sur le site même de rognons de silex, facilement accessibles. Mais pour les périodes concernées, l'interprétation est largement tributaire de l'état de conservation des témoins archéologiques dans les sédiments; pour cette raison, il convient d'évaluer les sources disponibles.

Parmi les gisements les mieux conservés, localisés dans la partie occidentale de Noir Bois, la composition technologique (chap. 9.3 et 10.4) et typologique (chap. 9.3 et 10.3) de l'industrie lithique, sa distribution spatiale (chap. 9.1.2 et 10.1) ainsi que la détermination de la part de silex local travaillé (chap. 9.2 et 10.2.1), sont les arguments à considérer pour établir la nature de l'activité qui s'y est déroulée, pour autant qu'elle ait été univoque (chap. 9.4 et 10.5).

Par l'apport de la typologie et des datations absolues disponibles, il s'agit également d'intégrer les industries lithiques moustérienne et magdalénienne de Noir Bois aux faciès régionaux reconnus et éventuellement datés de ces cultures (chap. 9.3 et 10.3). Cette démarche se heurte à un double obstacle.



D'abord en raison de la faiblesse numérique des corpus du site, leur définition typologique demeure peu étoffée; de plus, le gisement magdalénien ne bénéficie pas de datation absolue ni d'indices assez sûrs pour l'insérer dans une phase climatique du Tardiglaciaire. Ensuite, et en particulier pour le Moustérien, on peut se demander si les groupes culturels régionaux actuellement établis sont pertinents ou définis avec suffisamment de précision.

En définitive, l'approche sédimentologique et archéologique de la séquence du Pléistocène supérieur d'Alle, Noir Bois constitue régionalement un acquis important. Elle suggère la possibilité de rencontrer, en milieu ouvert, plusieurs phases sédimentaires de la dernière période interglaciaire et glaciaire en Ajoie, contenant éventuellement des traces de présence humaine, ou d'autres vestiges de l'environnement animal ou végétal. Cette perspective a été confirmée récemment par la découverte, en Ajoie, de restes de faune variée, parfois associés à une industrie lithique (Paupé 1999 et 2000; Stalder 2000). Par ailleurs, des dépôts de sédiments datant de la phase ancienne du Pléniglaciaire supérieur ouvrent la porte à la mise au jour éventuelle de sites archéologiques de cette période, actuellement inconnus sur le territoire suisse (Le Tensorer 1998, p. 145).

## 1.5 Bibliographie

### Abréviations

AS	Archéologie suisse, Bulletin de la SSPA, Bâle.
CAJ	Cahier d'archéologie jurassienne, Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Emulation, Porrentruy.
DAF	Documents d'archéologie française, Editions de la Maison des sciences de l'Homme, Paris.
OPH	Office du patrimoine historique, section d'archéologie, Porrentruy.
SSPA	Société suisse de préhistoire et d'archéologie, Bâle.

### Aubry Denis

à paraître Le contexte géologique. In: Masserey Catherine et al.: *Alle, Noir Bois, un habitat de La Tène ancienne*. CAJ 11.

1999 Le tronçon de la route avec recharges d'Alle, Noir Bois: étude sédimentologique. In: Demarez Jean-Daniel, Othenin-Girard Blaise et al.: *Une chaussée romaine avec relais entre Alle et Porrentruy (Jura, Suisse)*. CAJ 8, p. 117-127.

### Aubry Denis et Guélat Michel

1997 Environnement sédimentologique et analyse micromorphologique. In: Othenin-Girard Blaise et al. *Le Campaniforme d'Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. CAJ 7, p. 15-17; 24-39.

### Deloze Valérie, Depaepe Pascal, Gouédo Jean-Marc, Krier Vincent, Loch Jean-Luc et al.

1994 *Le Paléolithique moyen dans le nord du Sénonais (Yonne). Contexte géomorphologique, industries lithiques et chronostratigraphie*. DAF 47, 276 p.

### Demarez Jean-Daniel, Othenin-Girard Blaise et al.

1999 *Une chaussée romaine avec relais entre Alle et Porrentruy (Jura, Suisse)*. CAJ 8, 232 p.

### Le Tensorer Jean-Marie

1998 *Le Paléolithique en Suisse*. Millon, Aubenas, 499 p. (Collection l'Homme des origines, série Préhistoire d'Europe 5).

### Masserey Catherine, Othenin-Girard Blaise et Stahl Gretsch Laurence-Isaline

1993 Taille de silex moustérien, occupation campaniforme, habitat laténien et route gallo-romaine à Alle (JU). AS 16/1, p. 2-11.

### Masserey Catherine et al.

à paraître *Alle, Noir Bois, un habitat de La Tène ancienne*. CAJ 11.

### Othenin-Girard Blaise et al.

1997 *Le Campaniforme d'Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. CAJ 7, 208 p.

### Paupé Patrick

1999 *Restes de mammouth dans un remplissage karstique à Courtedoux (JU). Fouilles préliminaires 1998*. OPH, 61 p. (Archéologie et Transjurane 65, rapport inédit).

2000 *Sondages sur la section 2 de l'A16. Fouilles 1999*. OPH, 191 p. (Archéologie et Transjurane 71, rapport inédit).

### Stahl Gretsch Laurence-Isaline, Detrey Jean et al.

1999 *Le site moustérien d'Alle, Pré Monsieur (Jura, Suisse)*. CAJ 9, 312 p.

### Stalder Lucette

2000 *Restes de mammouths dans un remplissage karstique à Courtedoux (JU, Suisse)*. OPH, 54 p. (Archéologie et Transjurane 73, rapport inédit).



## 2 CADRE NATUREL DU SITE (Denis Aubry)

### 2.1 Cadre physique

#### 2.1.1 Situation

Géographiquement, le site d'Alle, Noir Bois est situé à la base d'un versant peu incliné matérialisant le flanc nord d'une structure anticlinale: l'anticlinal du Banné. Cette forme structurale, qui délimite le sud d'une petite plaine alluviale, est incluse elle-même dans une région calcaire au relief peu marqué: le plateau de l'Ajoie. Celui-ci constitue la terminaison nord-est de la région des plateaux jurassiens (Campy et Macaire 1989). Il est délimité au sud par la dernière chaîne du Jura plissé et au nord-est par la terminaison du Fossé rhénan correspondant aux dépôts tertiaires du Sundgau (fig. 10). Du point de vue tectonique, le plateau ajoulot constitue une entité structurale plane car peu concernée par les mouvements alpins ayant conduit au plissement du Jura. La région, affectée par plusieurs failles et par quelques plis tertiaires de faible amplitude, possède trois bassins versants majeurs, ceux de l'Allaine, de la Vendline et de la Cœuvatte.

#### 2.1.2 Altitude et flore actuelle (fig. 8)

Le site, positionné à une altitude de 450 m, appartient à la région de l'Ajoie modelée dans les calcaires du Jura tabulaire. Du point de vue paysager, cette région est constituée de petites plaines de molasse (Ajoie de l'est), de plateaux et de vallons, de combes et de vallées sèches. Les versants modérés sont majoritaires (pentes < 35°). Les quelques plaines alluviales, remblayées par des colluvions, se caractérisent par une topographie plane. Les collines et les petits plateaux présentent une altitude oscillant entre 550 m et 650 m. Les vallées, les combes et les plaines alluviales ont une altitude moyenne oscillant entre 380 m (plaine de l'Allaine) et 480 m (combe de Vâ Tche Tchâ). Ces plages



Fig. 8. Relief du Jura tabulaire avec forêt de hêtres et d'épicéas. En premier plan: la plaine du Creugenat, les collines, la vallée sèche de la Combe en Vaillard. En arrière-plan: les premiers reliefs du Jura plissé.

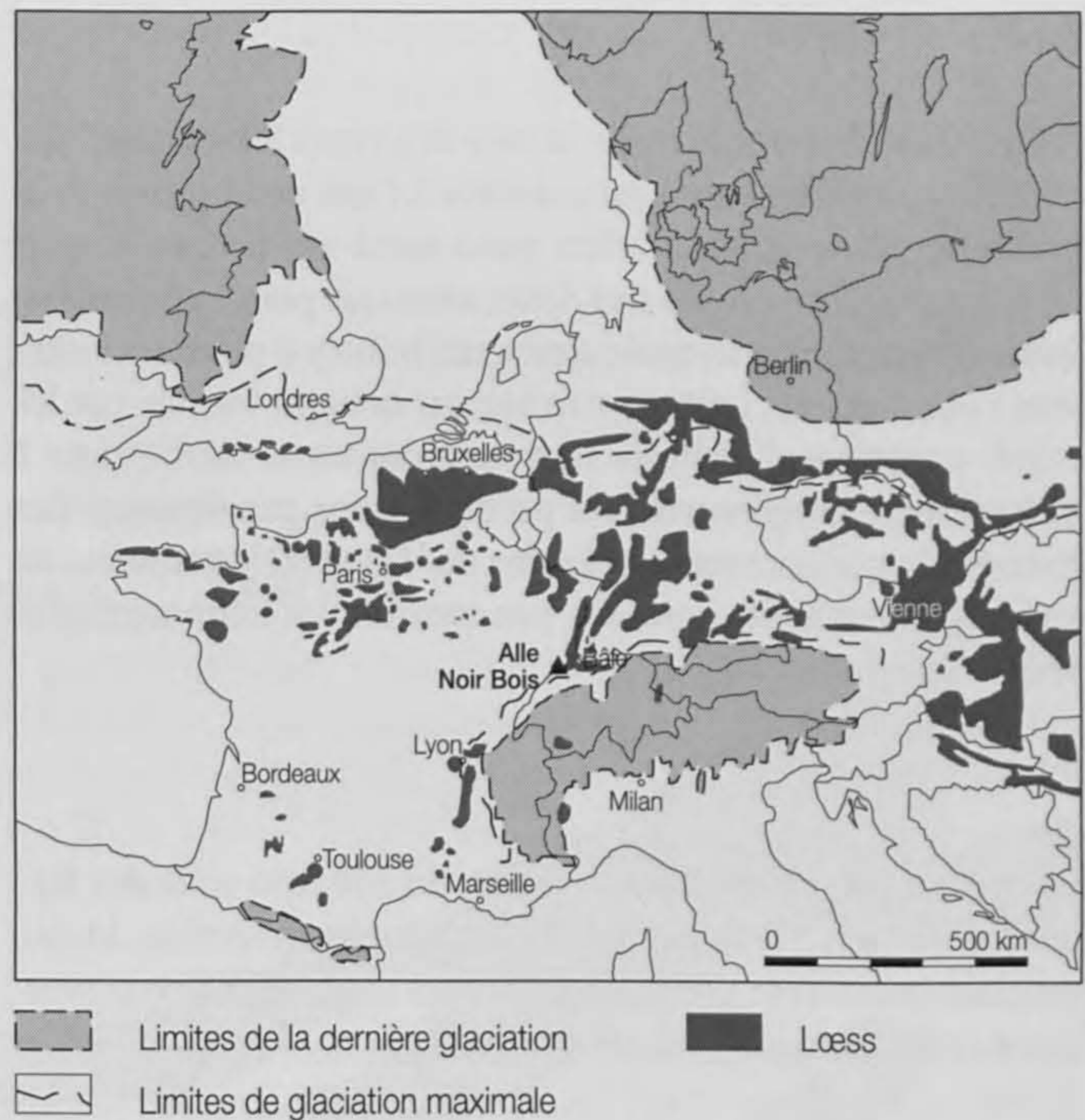


Fig. 9. Distribution des territoires loessiques et limites maximales des glaciations en Europe de l'Ouest (Campy et Macaire 1989; Jacomet et Kreuz 1999).

d'altitudes correspondent à l'étage collinéen à submontagnard des forestiers (Burnand et al. 1998). A cet étage se rattache l'association forestière potentielle de la hêtraie. En Ajoie, l'épicéa, que l'on rencontre souvent, a été introduit (plantations) par l'homme depuis fort longtemps (fort taux d'enrésinement). Sur les sols humides (gleys et pseudogleys), on rencontre la frênaie (région de Bonfol) alors que sur les sols calcaires peu épais, exposés au sud-est à sud-ouest, pousse le pin sylvestre, là où le sol est trop sec pour le hêtre.

#### 2.1.3 Les précipitations

Du point de vue climatique, la région de l'Ajoie est considérée comme modérément sèche avec des pluies réparties sur toute l'année, avec une moyenne calculée de 900 mm/an (Burnand et al. 1998, carte des régimes pluviométriques). L'Ajoie est située à la limite sud-ouest du Fossé rhénan, région au climat particulièrement sec (précipitations faibles de moins de 600 mm/an). Elle côtoie les secteurs particulièrement pluvieux de l'Arc jurassien plissé et des Vosges qui présentent des précipitations entre 1200 et 2600 mm/an (Chaïb 1997).

#### 2.1.4 Le niveau thermique

Le niveau thermique de l'Ajoie est assez doux à assez frais (de type tempéré) avec des températures moyennes annuelles comprises entre 7,5° C et 8,5° C. On peut noter une moyenne de 13° C pour la période d'avril à octobre (Burnand et al. 1998). Par comparaison, les températures moyennes annuelles en 1998 étaient égales en Suisse à 12,4° C pour Lugano et à 8,6° C pour Saint-Gall (OFS 1998, données climatiques).



### 2.1.5 Les vents

Au nord-est du pays, l'axe de la rose des vents (orientation des vents les plus fréquents) est parallèle à l'axe de la plaine alsacienne et donc d'orientation nord-nord-est sud-sud-ouest (Fiedler 1995). Au niveau de l'Ajoie, ainsi que pour la région bâloise, la direction principale des vents bifurque pour s'orienter vers l'ouest et vers l'est en arrivant sur la barre formée par les reliefs jurassiens. La vitesse moyenne des vents oscille entre 0 et 8 m/sec. Actuellement, les précipitations proviennent des masses d'air atlantiques déplacées par les vents dominants du sud-ouest. Les vents nord-est, par contre, sont nettement plus secs et plus frais.

### 2.1.6 Les sols

Les unités géologiques de la région du site, qui sont des facteurs essentiels à la formation du sol, sont les suivantes : Malm, molasse (marnes et grès), loess, graviers tertiaires siliceux (vosgiens et du Sundgau), alluvions et colluvions.

Selon la carte des aptitudes des sols, les terres agricoles sont bonnes productrices (fertiles). Les sols, en Ajoie, ont généralement été, et sont encore actuellement, fortement marqués par les défrichements et les pratiques agricoles qui se sont développés dès le Néolithique (Aubry 1997). Cet impact agricole se traduit par d'importants remblayages colluviaux dans les pentes, aux pieds des versants et dans les vallées fluviales. Dans les zones très pentues ou en relief, ainsi que sur les alluvions, les anciens profils de sols ont été fréquemment tronqués, voire éliminés. Aujourd'hui, les surfaces agricoles, où dominent l'élevage et les grandes cultures céréalières, représentent plus de 50 % du territoire. Les forêts se développent dans toute la région mais c'est sur les flancs assez raides du Jura plissé, formant la limite sud de celui-ci, qu'elles subsistent. L'activité agricole a fortement réduit la surface des prairies naturelles qui ont été converties en prairies artificielles, pâturages et terres ouvertes.

## 2.2 Cadre géologique

### 2.2.1 Données générales

En tant que région naturelle géologique, le plateau de l'Ajoie, à soubassement jurassique supérieur, est inséré entre le Jura plissé au sud, les dépôts tertiaires et quaternaires du golfe de Montbéliard au nord-ouest ainsi que ceux du golfe du Sundgau à l'est, sous lesquels il s'enfonce (Chauve et al. 1985). Les couches géologiques du Jurassique supérieur (Malm) se disposent en couches stratifiées d'alternance de bancs calcaires relativement fissurés (diaclasses) et d'épaisseur décimétrique, et de bancs marneux selon une disposition assez horizontale.

Cette région géologique est dominée par les phénomènes karstiques. Le plateau calcaire de l'Ajoie est fortement entrecoupé de nombreuses failles d'orientation nord-sud, nord-est sud-ouest ou nord-ouest sud-est, et les bancs géologiques constituent une surface d'érosion.

Les dépôts tertiaires sont en grande partie érodés mais il en subsiste des lambeaux dans la partie est de l'Ajoie, notamment les étangs de la région de Bonfol. Des lentilles de roches de l'Oligocène inférieur, composées de conglomérats, de marnes et de grès résiduels, s'ordonnent selon un sillon Bressaucourt - Porrentruy. Le Quaternaire est constitué principalement de dépôts de limons éoliens (loess) plus ou moins remaniés et altérés, de colluvions agricoles et, dans les thalwegs, d'alluvions en général comblées par des colluvions charbonneuses récentes (Holocène).

### 2.2.2 Historique des dépôts fluviaux rhénans et alpins en Ajoie

Après les dépôts jurassiques, une longue période de non dépôt (émersion du secteur au Crétacé) s'installe : le début du Tertiaire (Eocène) est marqué par le développement de sols et de leurs produits d'altération que l'on retrouve parfois dans les fissures et dans les anciennes surfaces karstiques fossiles.

A l'Oligocène, la région du site a été le siège d'affaissements liés à l'activité du fossé ou rift rhénan (Chauve et al. 1985) et a été marquée par les failles orientées nord-sud. Des mouvements du socle cristallin ont produit également des plis d'axe est-ouest qui ont donné naissance notamment à la structure anticlinale du Banné (Blanalt et Ruhland 1970).

Au Miocène, le drainage rhénan s'effectue vers l'ouest et le sud-ouest par la trouée de Belfort. Les galets alpins (provenant du drainage des Alpes en formation), vosgiens (Vogesenschotter, Mischotter et Sundgauschotter) et jurassiens se déposent sur les secteurs tabulaires depuis le Pliocène moyen jusqu'au Pléistocène ancien par des systèmes fluviaux s'écoulant selon une géométrie contrôlée par les mouvements tectoniques successifs. Cette dernière était différente de l'actuelle (Rhin, Aare). En effet, au Pliocène également, le fossé rhénan s'enfonce vers le nord ce qui modifie progressivement la direction d'écoulement du drainage rhénan qui s'oriente alors selon la direction actuelle. Le Jura plissé et dans une moindre mesure le Jura tabulaire, s'exhaussement.

A l'ère quaternaire, les Vosges et la Forêt-Noire se relèvent et le Rhin apporte ses alluvions d'origine alpine dans le fossé rhénan. Les galets siliceux alpins et vosgiens sont remaniés et ce sont eux que l'on retrouve dans les dépôts de couverture, notamment les loess. Ces matières siliceuses ont parfois été débitées ou utilisées comme percuteurs par les hommes de la Préhistoire.

### 2.2.3 Cadre hydrogéologique

Hydrogéologiquement, on peut subdiviser l'Ajoie en deux parties :

- La partie orientale de l'Ajoie est caractérisée par ses affleurements résiduels tertiaires et fini-pliocènes, relativement argileux donc imperméables. En général, les eaux pluviales, récoltées dans les ruisseaux et dans les rivières, ont tendance à rester en surface.



Fig. 10. Géologie de la région d'Alle, Noir Bois. (fig. 9).

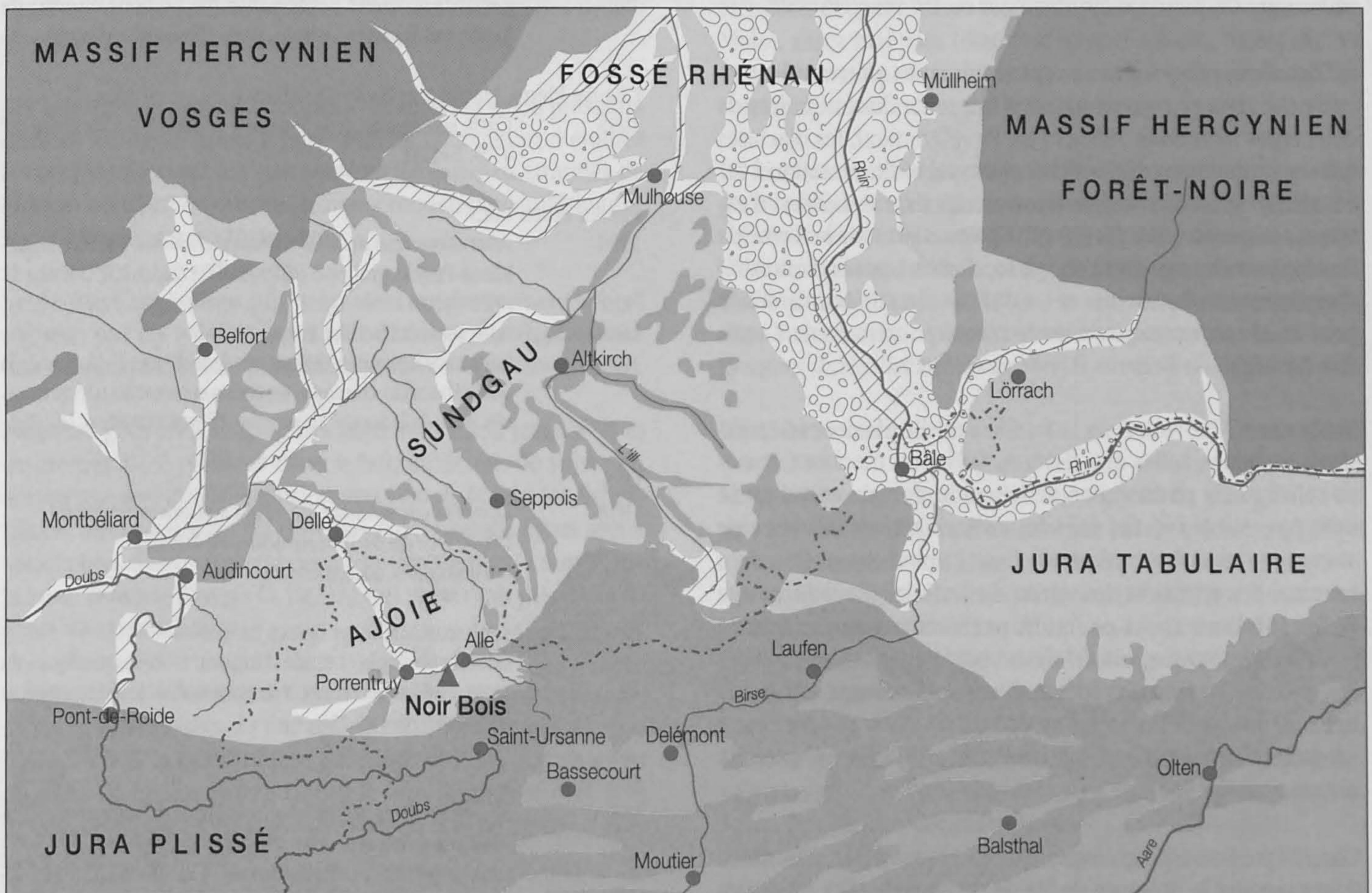
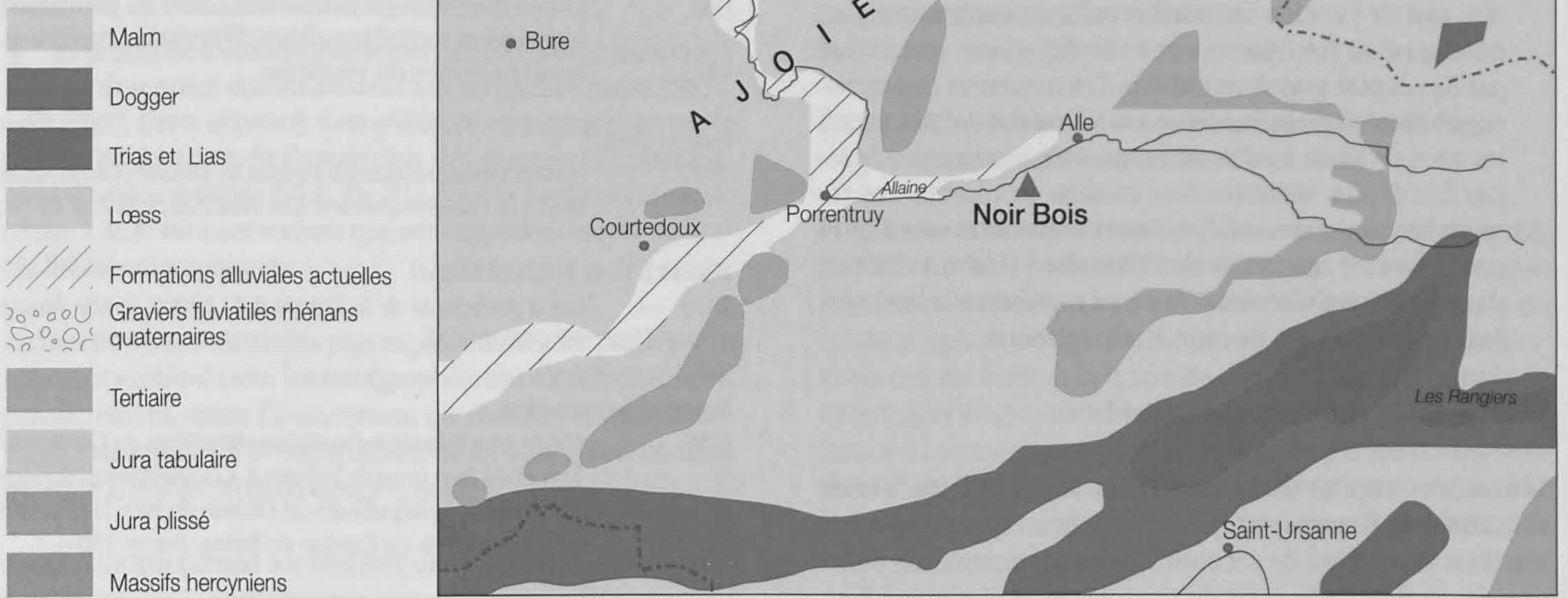


Fig. 11. Carte tectonique et géologique de la région du sud de l'Alsace et de la chaîne jurassienne suisse. On remarque la distribution des loëss qui sont canalisés entre les massifs hercyniens des Vosges et de la Forêt-Noire et qui se terminent contre le relief du Jura plissé. On constate également la position du territoire ajolot sur le Jura tabulaire, à la limite du Jura plissé (d'après la Carte tectonique de la Suisse au 1 : 500 000 et la carte géologique de la France au millionième, Editions du BRGM; modifié).



- La partie occidentale de l'Ajoie est au contraire caractérisée par la rareté, voire l'absence des cours d'eau permanents. La charpente subtabulaire calcaire (Oxfordien à la base, Séquanien puis Kimméridgien, généralement en affleurement en Ajoie) est entrecoupée de vallées sèches, parfois témoins de l'ancien réseau fluvial de surface qui s'est développé au Pléni-glaciaire et au Tardiglaciaire, matérialisé par des dépôts graveleux enfouis. Les structures caractéristiques de ce paysage karstique sont donc des dolines par où les eaux de pluie s'infiltrent et qui sont souvent comblées par des dépôts sédimentaires anciens ou récents. Les réseaux karstiques sont évidemment nombreux et sont limités par la couche marneuse de l'Oxfordien (Malm inférieur) d'une épaisseur d'environ 80 m qui représente la limite inférieure (aquiclude) des aquifères régionaux.

#### 2.2.4 Environnement géologique local

Les roches calcaires du Kimméridgien forment l'ossature de l'anticlinal du Banné; le site d'Alle, Noir Bois repose au pied de son flanc nord. L'axe de cet anticlinal peu prononcé, de direction est-ouest dans la zone du site, plonge et disparaît à l'est, dans la région de Pré au Prince (fig. 3). La roche constituant le soubassement du site est constituée de bancs de calcaires fins, micritiques bioclastiques blanc-beige, compacts avec en intercalation des calcaires un peu crayeux. Les plans de stratification présentent un pendage approximatif de 15° vers 345/360°.

A l'échelle du site, les structures tectoniques affectant les terrains calcaires se présentent sous forme de discontinuités de deux types (Schindler 1987a et b). Premièrement, les diaclases qui se groupent en trois familles principales d'orientation 240/85, 155/80 et 105/85 et, deuxièmement, les zones faillées, d'extension régionale. Ces dernières se présentent sous la forme de fissures fermées pouvant s'élargir localement, par corrosion, en cheminements karstiques et en dolines. La surface karstifiée peut ainsi communiquer avec le réseau souterrain de l'aquifère karstique du Betteraz (Lièvre et al. 1992).

Sur le site d'Alle, Noir Bois, la fouille a révélé plusieurs dépressions rocheuse, telles que fissures, failles ou diaclases, mises en relief par le phénomène de l'érosion dorsale et qui ne se sont pas toutes avérées être des dolines actives (absence de soutirages importants récents). Dans l'une d'entre elles, on a retrouvé des argiles et des sables du Tertiaire (Eocène, coupe D, fig. 15). Les travaux de fouille ont montré qu'une zone de faiblesse tectonique, matérialisant parfois d'anciens soutirages, se situe au pied d'un décrochement développé selon une ligne est-ouest, délimitant l'amont du site. Elle s'apparente à un front d'un gradin dans une morphologie en cuestas (Perritaz et al. 1993).

Comme particularité géologique du gisement d'Alle, Noir Bois, il faut signaler la présence de lits de rognons de silex intercalés entre les bancs géologiques du Kimméridgien. Le pendage de ceux-ci, subparallèle à la topographie du terrain (pente monoclinale), permet aux éléments de silex d'affleurer aisément. Ils ont ainsi été accessibles à l'homme préhistorique et ont pu constituer une source importante de matière première pour leur outillage.

## 2.3 Bibliographie

Abréviations utilisées:

- BRGM Bureau de Recherches géologiques et minières, Service géologique national, Orléans.  
 CAJ Cahier d'archéologie jurassienne, Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Emulation, Porrentruy.  
 (dir.) Sous la direction de, réunis par.

Aubry Denis

- 1997 Environnement sédimentologique. In : Othenin-Girard Blaise et al. : *Le Campaniforme d'Alle, Noir Bois*. CAJ 7, p. 15-39.

Blanalt J. G. et Ruhland Michel

- 1970 *Carte géologique de la France à 1 : 80 000, feuille Ferette (n° 115)*. BRGM.

Burnand Jacques et al.

- 1998 *Clé de détermination des stations forestières du Canton du Jura et du Jura bernois. Volume 2. Commentaires*. Service des forêts de la République et Canton du Jura, Delémont; Office des forêts du Canton de Berne, Berne, 150 p.

Campy Michel et Macaire Jean-Jacques

- 1989 *Géologie des formations superficielles : géodynamique. Faciès, utilisation*. Editions Masson, Paris, 433 p.

Chaïb Jérôme

- 1997 *Les eaux pluviales. Gestion intégrée*. Editions du Sang de la Terre et Foncier Conseil, Paris (Ecologie urbaine).

Chauve Pierre, Martin J. et Bailly Christian

- 1985 *Carte géologique de la France à 1 : 50 000, feuille Delle (n° 475)*. BRGM.

Fiedler Franz (dir.)

- 1995 *Atlas climatique du fossé rhénan méridional*. REKLIP, Regio-Klima-Projekt, groupe d'éditeurs: ETH Zürich IGF, Offenbach.

Lièvre Ami, Fernex Jean et Gretillat Pierre-Alain

- 1992 Les eaux souterraines du Jura tabulaire d'Ajoie. Evolution de la qualité bactériologique, évolution et protection des ressources. *Actes de la Société Jurassienne d'Emulation* 95, p. 187-250.

OFS

- 1998 *Données climatiques*. In: Espace et environnement. Office fédéral de la statistique, Neuchâtel. [www.statistik.admin.ch/stat](http://www.statistik.admin.ch/stat).

Perritaz Luc, Monbaron Michel et Brasey Jacques

- 1993 Géomorphologie et étude d'impact: trois cas pratiques en Ajoie. *Cahiers de l'Institut de géographie de l'Université de Fribourg* 9, p. 130-156.

Schindler B.

- 1987a *Etude géologique générale du tracé Porrentruy Est-Courgenay*. Routes nationales et Départements de l'Environnement et de l'Équipement. Canton du Jura, Delémont, 31 p. (rapport inédit).

1987b

- Reconnaissances géologiques et hydrogéologiques complémentaires 1987, Porrentruy Est-Courgenay*. Routes nationales et Départements de l'Environnement et de l'Équipement. Canton du Jura, Delémont, 15 p. (rapport inédit).



### 3 STRATIGRAPHIE ET GÉOMÉTRIE DES DÉPÔTS

(Denis Aubry)

#### 3.1 Introduction

Les profils de référence présentés correspondent à un choix qui s'est opéré durant les deux ans de fouilles (mars 1991 à août 1993). Cette sélection s'est effectuée en premier lieu sur le terrain, en fonction de l'apparition des gisements paléolithiques stratifiés (coupes A à B, fig. 15) dans la partie occidentale (chap. 1.3). C'est à cet endroit que sont apparues toutes les unités lithostratigraphiques.

En fonction des contraintes plus expéditives sur les parties centrale et orientale du site, les stratigraphies ont été sélectionnées, premièrement, selon l'avancement du chantier et, deuxièmement, par rapport à la matérialisation du plus grand nombre possible d'unités lithostratigraphiques.

Sur un site qui s'étend sur une longueur d'est en ouest de presque 600 m, et sur une largeur moyenne d'environ 50 m, soit sur une surface d'environ 2,5 ha (chap. 1), il a fallu procéder à un choix draconien de coupes et de prélèvements, car la masse de travail à gérer sur le terrain était considérable pour un seul géologue (Michel Guélat, puis Denis Aubry) qui, en plus, était appelé sur d'autres sites archéologiques. Un choix définitif des profils s'est ensuite effectué en deuxième lieu au bureau.

Sur le terrain, le choix des coupes s'est aussi fait selon plusieurs critères techniques, mis à part celui de l'obligation d'étudier les profils traversant les gisements archéologiques stratifiés de la zone occidentale du site (niveaux moustériens inférieur et supérieur, niveau magdalénien).

Seules les stratigraphies qui atteignaient impérativement le fond rocheux ont été sélectionnées afin d'obtenir une représentation stratigraphique complète de la portion de terrain investiguée.

Plusieurs grandes stratigraphies nord-sud, allant jusqu'à 50 m de long, ont été réalisées dans le but, au début, de suivre en amont une éventuelle extension vers l'est de la terrasse fluviale E8, terrasse qui n'a du reste pas été retrouvée. Nous avons sélectionné, dans cette publication, notamment une coupe dans la zone centrale (coupe D, fig. 15) qui présentait de nettes figures de cryoturbation.

Le danger que représentent des stratigraphies pouvant aller jusqu'à 4 m de hauteur a dû être pris en compte, bien que les loess d'Alle, Noir Bois aient montré généralement une bonne tenue de paroi de fouille, même sous une forte humidité, avec une grande cohésion et un angle de frottement interne des matériaux favorable.

De nombreuses stratigraphies, au travers des dolines actives, n'ont pas pu non plus être relevées pour des questions de sécurité, car les couches anciennes, intéressantes, se situaient parfois sous plusieurs mètres de colluvions anthropogènes qui constituent les unités E3/E1.

Dans la zone orientale du site, la sélection était tributaire de l'absence de niveaux archéologiques paléolithiques stratifiés. De plus, les stratigraphies (coupes F, G et H, fig. 15) devenaient monotones et comprenaient de moins en moins d'unités. Les coupes F à G sont donc fortement semblables bien qu'elles représentent une extension de 200 m.

#### 3.2 Caractérisation lithostratigraphique des unités

(avec la collaboration de Michel Guélat)

Cette caractérisation se base sur l'observation de terrain, préliminaire à toute étude sédimentologique. Elle ne tient pas compte des résultats des analyses sédimentologiques ou micromorphologiques. Il est à noter que certaines observations ont été faites à la loupe de terrain. Elles ont permis de déterminer seize ensembles au sein des unités principales E9 base à E1 sommet, qui ont été confirmées par les études sédimentologiques. Elles ont également montré qu'une approche soigneuse sur le terrain était capitale dans le processus de l'étude sédimentologique.

##### Unité E9 base

Elle est composée de graviers calcaires assez émoussés, insérée dans une matrice sablo-limoneuse peu abondante. Ce sont des éléments de provenance régionale, calcaires du Dogger et du Malm, assez mal triés (diamètre moyen 3-6 cm, maximum 10 cm), montrant parfois des craquelures polygonales de gel. Le corpus n'est pas atteint par la dissolution.

La matrice contient par endroits des inclusions silteuses (origine lœssique ?) et des boulettes d'argiles brunes. Le cailloutis a été observé dans la coupe D (fig. 15) où il repose sur un replat d'érosion marqué dans le bed-rock jurassique. Cette incision, d'une altitude d'environ 447 m, se retrouve du reste à l'extrémité ouest du site. Epaisseur décimétrique.

*Graviers fluviatiles calcaires.*

##### Unité E9 sommet

Cette unité comprend des sables argileux un peu graveleux, mal triés et très altérés, à matrice bariolée, enrichie en hydroxydes de fer et manganèse. La matrice est friable et contient des lentilles argilo-silteuses jaunâtres (10YR 7/6) et déformées (galets calcaires décalcifiés et déformés). Cette formation se trouve par endroits piégée dans les irrégularités du fond rocheux, de manière discontinue sur l'ensemble du site.

Dans la coupe D (fig. 15), l'unité E9 sommet recouvre directement les graviers fluviatiles calcaires E9 base. Epaisseur assez faible (maximum décimétrique).

*Altérite bariolée.*

##### Unité E8

Elle est formée de sables grossiers, graveleux et compacts, à galets et à matrice argilo-silteuse de couleur brune légèrement orangée (7.5YR 5/6). Les sables, relativement bien classés, sont



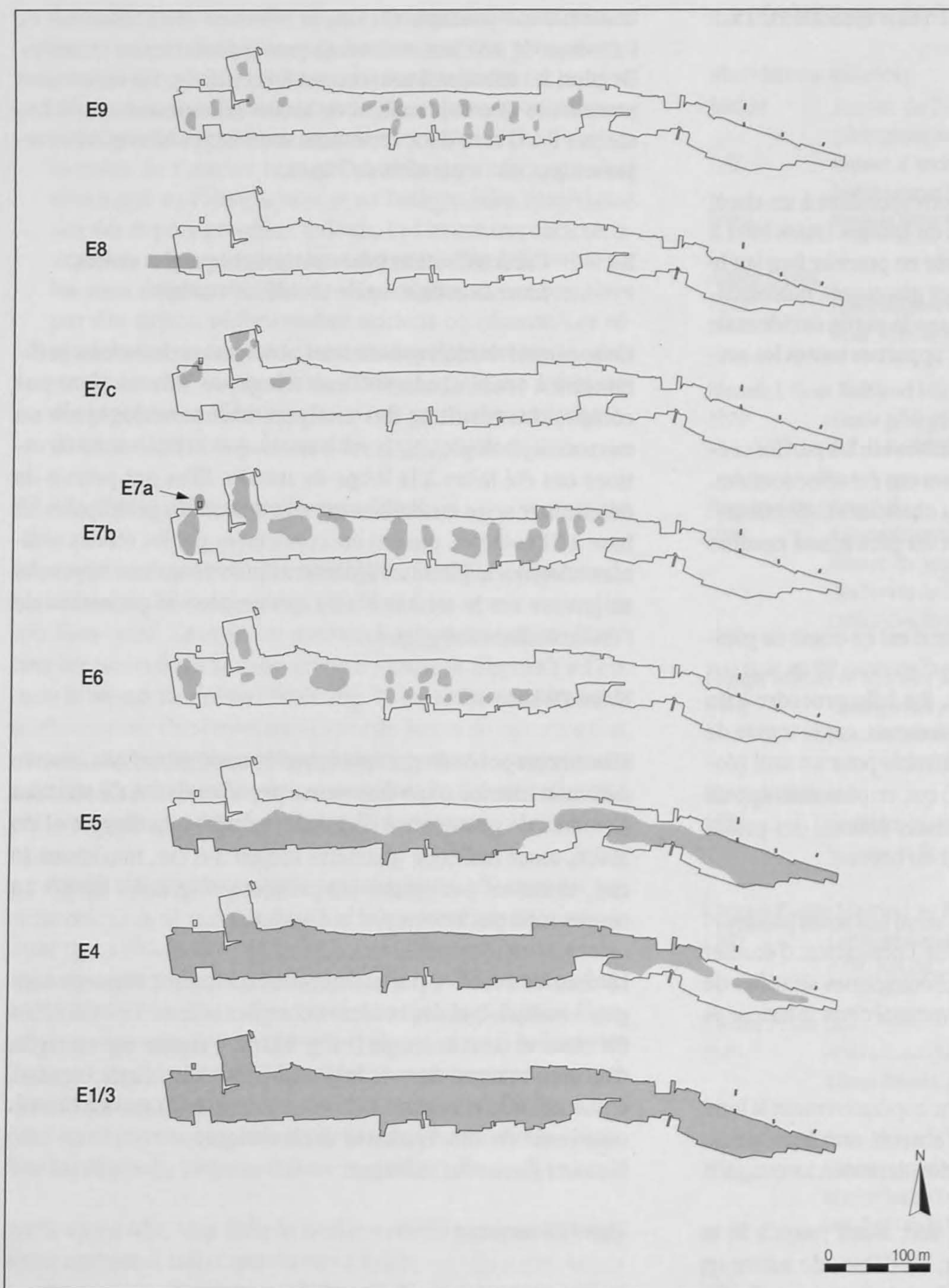


Fig. 12. Etendue en plan des sédiments des principales unités reconnues sur le site. On remarque la faible extension des unités inférieures E9 à E7c et l'extension importante des dépôts sédimentaires constituant les unités supérieures, particulièrement celle des unités E5 à E1/3.

de nature siliceuse (vosgienne) et contiennent des éléments ovoïdes à remplissage fin siliceux, qui sont d'anciens éléments calcaires totalement décalcifiés. Les graviers, accompagnés de quelques galets décimétriques, sont relativement abondants. Ils sont également d'origine vosgienne (quartzite, grès, etc.). On trouve par endroits des graviers sablo-limoneux avec des galets vosgiens et des rognons de chaille locale (silex). La couche contient des artefacts moustériens répartis à proximité du contact supérieur qui est net (contact d'érosion). On trouve également de petits charbons encroûtés (Fe/Mn). Le contact inférieur est également assez net. On ne rencontre cette couche qu'à l'ouest du site, en disposition horizontale sur l'unité E9 sommet, à la faveur d'un replat du substratum rocheux. Epaisseur décimétrique.

*Alluvions sableuses altérées (niveau moustérien inférieur).*

#### Unité E7c

Elle est constituée de sables limoneux brun rouille (7.5YR 6/3) mal classés et argileux, à gravillons siliceux épars d'origine vosgienne (éléments identiques à ceux du faciès E8). Assez compact et peu poreux, le sédiment contient des charbons encroûtés (Fe/Mn) et parfois des inclusions ovoïdes de loess fins. On note aussi quelques fragments de chaille (silex) et des éléments résiduels (fossiles siliceux) provenant d'une décarbonatation ancienne. Cette formation est retrouvée uniquement dans la zone occidentale du site (coupe A et B, fig. 15). Le contact supérieur est net, il est notamment marqué par un contraste de compacité. La limite inférieure est parfois irrégulière sur les lambeaux de l'unité E8.

*Colluvions sableuses de base.*



## Unité E7b base

Elle est composée de limons sableux compacts et friables, assez mal triés, parfois à pédostructure lamellaire bien développée. Le sédiment contient par endroits des charbons de bois encroûtés de Fe/Mn, quelques lits de sablons siliceux, de nombreux nodules (Fe/Mn) et des petits galets de quartzite.

On note localement des lits de sables siliceux vosgiens et des taches ovoïdes claires. Le dépôt, d'une épaisseur variable (décimétrique), est parfois disposé en placage dans les dépressions du karst. Couleur orange brun (7.5YR 5/8).

*Colluvions sableuses à matrice lœssique, ayant subi le gel.*

## Unité E7b sommet

Elle contient des silts micacés devenant de moins en moins sableux et de mieux en mieux triés. La pédostructure lamellaire se présente progressivement sous une forme plus fine. On peut noter la présence de nodules de Fe/Mn et de petits charbons émoussés et encroûtés. La couche contient des artefacts lithiques remaniés (niveau moustérien supérieur). On remarque parfois une persistance de petites bandes argileuses oxydées, alternant avec des limons très fins et clairs. L'épaisseur est variable avec un maximum d'un mètre. Couleur brun-jaune (10YR 5/8).

*Lœss remaniés, ayant subi le gel (niveau moustérien supérieur).*

## Unité E7a

Cette unité est composée de silts micacés très peu sableux et un peu argileux, à pédostructure lamellaire. Le sédiment, de couleur brun rougeâtre clair à brun orangé (2.5Y 5/6 à 7.5YR 5/6), contient des agrégats de couleur légèrement rouille (tendance 5YR 5/6) ainsi que de petits agrégats scoriacés noirs, et d'enduits bruns sur les faces des éléments structuraux.

On trouve enfin quelques nodules de fer et de manganèse. Il s'agit d'un horizon discontinu qui a été reconnu uniquement dans une coupe située dans la partie orientale du site (coupe A, fig. 15; profil 98, fig. 13). Epaisseur maximale 20 cm.

*Horizon légèrement humifère, enfoui.*

## Unité E6

Elle est constituée de silts fins, micacés, homogènes et compacts, finement poreux et faiblement argileux. Elle possède des nodules d'oxydes de Fe/Mn «propres» répartis dans toute la couche. Sa pédostructure lamellaire, de plus en plus fine, s'estompe au sommet. Elle est de couleur jaune orangé à brun-jaune (10YR 5/6 à 2.5Y 5/8).

Le sédiment, peu organique, contient quelques charbons encroûtés de fer et de manganèse. A l'ouest du site, l'horizon possède des fragments osseux remaniés (dents de rhinocéros laineux, chap. 8.2). Le contact supérieur est assez net, alors que l'inférieur est plus graduel. L'épaisseur est variable avec 1,50 m maximum.

*Lœss stadias.*

## Unité E6

Elle contient des silts micacés carbonatés, faiblement argileux, à coquilles de mollusques. On la trouve en position de comblement de dépression et de replat taillé dans le versant rocheux, en amont du site. On note la présence de petits lits de limons décantés horizontaux. Le sédiment, peu organique, contient des coquilles de mollusques à surface peu corrodée et non recristallisée. Il possède également quelques graviers anguleux de calcaire autochtone présentant des traces de gel en surface, sous forme de craquelures polygonales et des encroûtements carbonatés en forme de tube (manchons racinaires ?). Ce faciès affleure en différents endroits du site, toujours en relation avec le head (unité E5 sommet).

*Lœss carbonatés stadias.*

## Unité E5 base

Il s'agit plutôt d'un assemblage de sédiments fins remaniant les unités sous-jacentes (unités E9, E7 et E6) et intégrant parfois un cailloutis calcaire autochtone (Kimméridgien) formé par mouvements de cryoturbation. La couleur résulte de l'assemblage sédimentaire (valeur moyenne: 7,5YR 5/6 à 5/8 - brun-jaune). Dans ce faciès, l'évolution sur place peu marquée, se résume aux traces d'hydromorphie (reprécipitations de Fe/Mn) et aux minces lits de silts fins et de sables fins siliceux. Ces dépôts lités, rubanés, sont souvent déformés et contiennent parfois des pierres calcaires de nature identique à celle du cailloutis supérieur (unité E5 sommet). L'épaisseur varie en fonction de l'intensité des déformations. Le contact supérieur avec l'unité E5 sommet forme des plis couchés.

*Dépôts lœssiques cryoturbés et géliflués.*

## Unité E5 sommet

Elle est constituée de graviers caillouteux calcaires assez serrés, dont la taille est comprise entre 2 et 6 cm, avec quelques éléments allant jusqu'à 15 cm. La matrice limoneuse, de couleur brun-jaune (10YR 5/8), présente parfois des lits argileux oxydés. On peut également trouver quelques gravillons vosgiens. Les éléments graveleux calcaires sont assez anguleux, quoique légèrement arrondis par une dissolution sur place (pédogénèse ultérieure ?). Leur surface présente parfois des craquelures de gel. Ils sont issus de la gélifraction du bed-rock amont (Kimméridgien moyen). L'orientation préférentielle du grand axe se fait selon un angle de 15 à 20° par rapport à l'horizontale, en direction de la pente, avec une tendance au redressement vers le sommet. La limite supérieure est nette, l'inférieure est abrupte. La sédimentation en nappe, très continue dans l'axe est-ouest, s'amincit vers le nord, pour disparaître en bas de pente. Epaisseur moyenne décimétrique, voire métrique (coupe B, fig. 15).

*Dépôt de pente géliflué, head.*

## Unité E5 sommet

Elle est composée de graviers caillouteux siliceux parfois assez serrés, souvent lâches, contenus dans une matrice limoneuse de couleur brun-jaune sombre (10YR 5/4). La grande majorité



du résidu lithique est constituée par des éclats de silex et des rognons de chaille présentant souvent des cupules de gel. La taille des éléments est comprise entre un et dix centimètres.

On relève la présence de quelques gravillons vosgiens. La proportion d'artefacts (silex taillés) est très faible. Les éléments sont issus du karst amont où les nodules de chaille sont enchâssés à la surface des bancs kimméridgiens. Dans la matrice, on relève la présence de petites inclusions de silts argileux jaunes déformés par cryoturbation. Cette unité est située à l'est du site et prend le relais du dépôt caillouteux calcaire de l'unité E5 sommet (faciès head). Épaisseur assez faible et irrégulière (généralement décimétrique, maximum un mètre).

*Dépôt de pente géliflué, à éléments siliceux gélifractés.*

#### Unité E4

Cette unité est constituée de limons fins, faiblement sableux, plus argileux que dans l'unité E3, micacés, assez homogènes. Elle est de couleur brun-jaune (10YR 5/6 à 5/8). On trouve dans la partie supérieure, plus compacte, des traces de bioturbation. Les nodules et les concrétions de Fe/Mn sont nombreux dans la partie sommitale où l'on voit se développer une pédostructure polyédrique. Dans la zone occidentale du site (coupe B, fig. 15; profil 74, fig. 13), la partie supérieure de l'unité E4 contient des silex magdaléniens. Le contact supérieur correspond à une limite d'érosion, alors que l'inférieur est matérialisé par le cailloutis constituant l'unité E5 sommet, lorsqu'il existe. À la disparition de ce dernier en aval, au nord du site, on relève seulement un contraste de compacité. L'épaisseur est variable, de quelques centimètres à deux mètres au maximum.

L'unité E4, qui montre un placage limoneux déposé sur une paléotopographie figée (glacis), correspond au sommet du head E5 sommet et se développe depuis la partie occidentale du site (coupe A, fig. 15) jusqu'à l'est, au niveau de la coupe E (fig. 15), où elle devient peu épaisse et difficile à distinguer.

*Limons lœssiques supérieurs pédogénisés: horizon Btg (niveau magdalénien).*

#### Unité E3

Elle est constituée de silt un peu micacé, peu argileux et humique (résidus de matière organique fine). Elle est de couleur brune (10YR 4/4). Sa structure, massive est peu poreuse. Le sédiment contient quelques graviers et pierres calcaires altérés et des graviers siliceux disséminés ainsi que des débris végétaux et des nodules de Fe/Mn. Il contient également de nombreux charbons millimétriques et centimétriques accompagnés de fragments de terre brûlée et de céramiques. La limite inférieure est abrupte, mais très irrégulière. La limite supérieure varie de diffuse à nette, souvent avec un contraste de compacité: le niveau supérieur E2 est moins compact. L'épaisseur est décimétrique mais peut atteindre plus de deux mètres dans certaines dolines.

*Horizon humifère enfoui, à caractère colluvial, avec niveaux archéologiques (Néolithique, Protohistoire, Gallo-romain et Haut Moyen Age).*

#### Unité E2

Elle contient des silts peu micacés décarbonatés, lœssiques, peu argileux, brunifiés et un peu humiques. Elle possède des graviers et des cailloux calcaires disséminés. Elle est de couleur brune (10YR 4/4). On note la présence de fibres végétales altérées (débris de radicules). La structure est assez massive mais moins compacte que dans les horizons sous-jacents. Le sédiment est poreux et contient les mêmes éléments que l'unité E3, à la différence qu'ils sont disséminés et altérés. L'épaisseur va de quelques dizaines de centimètres à un mètre, voire plus dans les grandes dépressions. On retrouve ce niveau sur tout le site. *Colluvions agricoles récentes.*

#### Unité E1

C'est un horizon organo-minéral de texture limoneuse contenant des graviers calcaires et siliceux dispersés. Il est de couleur brune (10YR 4/4). Il s'agit d'un niveau assez compact sous prairie, mais parfois artificialisé par les labours au nord du site. *Terre végétale.*

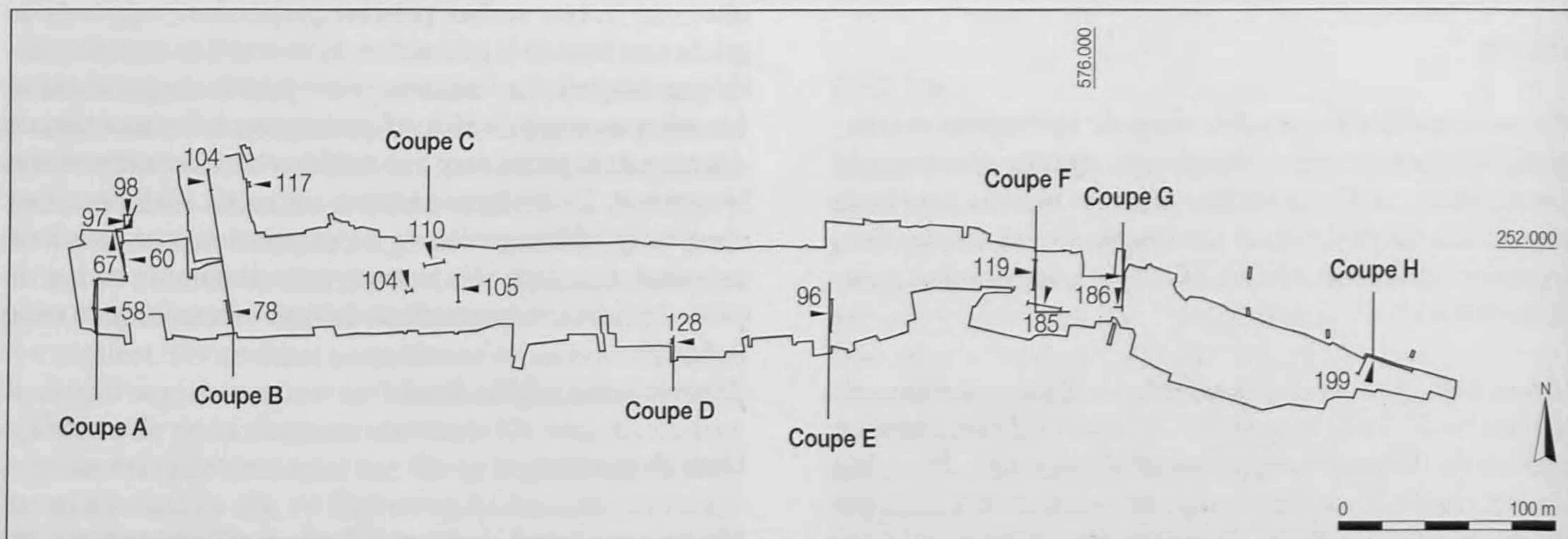


Fig. 13. Plan de situation des coupes et profils examinés dans les chapitres 3 et 4.



### 3.3 La géométrie des dépôts

L'établissement de la géométrie des unités sédimentaires E9 à E3/E1 a été basé sur une reconstitution axée d'une part sur l'observation de terrain et, d'autre part, sur les résultats des analyses sédimentologiques. Cette géométrie concerne une extension de 600 m de terrain. La reconstitution proposée dans le dépliant (fig. 15) montre la situation exceptionnelle de la coupe A sur laquelle on remarque l'unité inférieure E8, constituée des alluvions sableuses à mobilier moustérien, qui se développe de façon unique sur le site. Elle montre également la matérialisation importante des unités E5 (faciès cryoturbés), E4 (limons loessiques supérieurs) et E3/E1 (horizons humifères enfouis et colluvions agricoles récentes) que l'on peut suivre sur l'ensemble du site.

#### Unité E9 base, graviers fluviatiles calcaires

Les graviers calcaires, originaires du Malm et Dogger régionaux du Jura plissé, ont été retrouvés uniquement dans un profil stratigraphique (coupe D, fig. 13), en position de léger replat karstique à une altitude de 447 m. Dans cette coupe, ils étaient surmontés des altérites bariolées de l'unité E9 sommet. Cette superposition pourrait correspondre à une relation directe d'ordre pédologique où l'unité E9 sommet siliceuse correspondrait à l'altération du faciès E9 base calcaire.

#### Unité E9 sommet, altérite bariolée

Les dépôts se retrouvent piégés dans les irrégularités du fond rocheux, de manière discontinue sur pratiquement l'ensemble du site. Ils correspondent à un faciès d'altération ancien qui devait se développer fortement dans la région. Ils ont été remaniés par les mouvements de gélifluxion de la phase 10 (chap 4.6) et leurs constituants ferrugineux ont ainsi marqué les figures de déformations qui ont été plus aisément visualisées en stratigraphie.

#### Unité E8, alluvions sableuses altérées

Ces alluvions sableuses ont été retrouvées uniquement dans la zone occidentale du site (coupe A, fig. 15), en position de replat karstique, limité vers l'amont par une doline. Le dépôt correspond à un lambeau partiellement fluviatile, induré par la pédogénèse, puis préservé des érosions ultérieures.

#### Unité E7c, colluvions sableuses de base

De la même manière, cette formation n'a été retrouvée que dans la zone occidentale du site (coupes A et B, fig. 15) toujours en pied de versant. L'unité E7c, dans la coupe B, correspond au démantèlement direct des alluvions sableuses constituant l'unité E8. Il n'a pas été retrouvé d'autres témoins de ces sédiments sur le reste du site, ce qui implique qu'ils matérialisent une période de ruissellement et d'érosion karstique importante.

#### Unité E7b, colluvions sableuses et loess remaniés

Ces sédiments se répartissent de façon irrégulière sur une grande partie du site, surtout en ce qui concerne le faciès silteux E7b sommet. Ils n'affleurent plus depuis la coupe F (fig. 15) dans

la zone orientale du site. Ils se positionnent principalement près du fond rocheux ou en remplissage de dépression, sauf dans la zone occidentale où ils recouvrent les sédiments des unités E7c et E8, avec à leur sommet les sédiments E7b. Ces derniers ont parfois été tronqués par une phase d'érosion (phase 4, chap. 4.6), voire déformés ou déplacés par les mouvements de gélifluxion (cryoturbation) de l'unité E5 base (phase 10, chap. 4.6).

#### Unité E7a, horizon humifère enfoui

Il s'agit de l'unité située au sommet du dépôt éolien qui constitue l'unité E7b. L'horizon pédogénisé E7a (sol de Lohne, chap. 7.1) a été relevé uniquement dans un profil de la zone occidentale du site (coupe A, fig. 15; profil 98, fig. 13). A cet endroit, il présente une épaisseur décimétrique. Cette faible extension est certainement due à une érosion ultérieure (chap. 4.6).

#### Unité E6, loess stadiaires

Présents dans la zone occidentale, les sédiments de cette unité n'ont pas pu véritablement être reconnus dans la zone orientale car ils ont été certainement érodés ou fortement bioturbés (phases 10 et 15, chap. 4.6). En fait, cette unité paraît moins développée sur le site que l'unité E4. Les causes sont soit simplement un non-dépôt éolien, soit un remaniement par les cryoturbations matérialisant l'unité E5 base, soit une bioturbation et une dégradation par l'érosion ultérieure d'origine anthropique holocène (phase 15, chap. 4.6).

Le niveau n'a jamais présenté de soutirage visible en stratigraphie, ce qui signifie qu'il n'est pas associé à une phase karstique active mais qu'il est au contraire le propre d'un contexte climatique froid et relativement sec, avec un karst bloqué.

#### Unité E6, loess stadiaires à faciès carbonaté

Le faciès carbonaté est associé à des dépressions karstiques particulières s'échelonnant dans les zones occidentales et centrales du site (coupes A à D, fig. 15). Ces dépressions se suivent selon une ligne est-ouest qui délimite l'amont, vers le sud. Elles pourraient caractériser une zone de faiblesse tectonique et un réseau latéral est-ouest de dolines (chap. 2).

L'apparition de l'unité E6 carbonatée est donc conditionnée aux emplacements des dépressions karstiques. Sa limite orientale d'extension paraît correspondre à la terminaison orientale de l'unité E5 sommet carbonatée (head calcaire).

#### Unité E5 base, loess cryoturbés et géliflués

Ces dépôts loessiques ont été reconnus sur une grande partie du site, de l'extrémité occidentale (coupe A, fig. 15) à l'extrémité orientale (coupe H, fig. 15). Ils constituent l'expression de déplacements sédimentaires et de mouvements importants dus à l'alternance du gel et du dégel (cryoturbations) plutôt qu'un dépôt proprement dit. Ces mouvements ont remanié principalement les unités E6 et E7, mais également l'unité E9 sommet dans la partie orientale du site.



### Unité E5 sommet, head calcaire

Il s'agit d'un dépôt étalé sur la partie en pied de versant: son extension correspond aux parties occidentale et centrale du site. D'une épaisseur irrégulière, le cailloutis E5 sommet ne suit pas véritablement le bed-rock, mais paraît dessiner une ancienne surface topographique correspondant de fait à la disposition et au développement en épaisseur du faciès E5 base cryoturbé qui, à un moment de son histoire, s'est figé (glacis). On assiste, en amont du site, à la gélifraction des bancs rocheux.

Dans la même zone les sols devaient être peu épais et peu végétalisés, ils se sont pas la suite étalés en pied de versant sur les parties occidentale et centrale du site.

### Unité E5 sommet, faciès siliceux

Il s'agit de l'extension orientale du dépôt E5 sommet carbonaté qui devient ici siliceux (coupes F à H, fig. 15). Elle est composée de chaille et de graviers siliceux, dont des éléments vosgiens, provenant à l'origine du bed-rock comme c'est le cas pour le cailloutis carbonaté, ainsi que de quelques artefacts taillés remaniés. Le faciès siliceux de l'unité E5 se positionne près du karst et affleure de manière discontinue et lenticulaire.

### Unité E4, limons lœssiques pédogénisés

Les sédiments de l'unité E4, qui se sont matérialisés sur la surface fixée des faciès carbonaté et siliceux de l'unité E5, ne constituent pas vraiment un horizon de nivellement. On les

retrouve pratiquement sur l'ensemble du site. D'une épaisseur très variable pouvant être métrique, l'unité E4 est par endroits, très mince, notamment dans la zone orientale du site. L'irrégularité du dépôt pourrait être due soit à une fixation irrégulière des lœss à l'époque de leur dépôt, soit à l'érosion ultérieure consécutive aux pratiques agricoles (phase 15, chap. 4.6).

De plus, l'unité E4 paraît subir quelquefois des soutirages internes avant l'installation de la bioturbation de la phase 14, au début de l'Holocène (chap. 4.6). Dans la coupe B (fig. 15), le sédiment de l'unité E4 paraît combler une paléo-dépression matérialisée par le sommet fixé du head de l'unité E5 sommet carbonatée.

### Unités E3/E1, colluvions agricoles

Constitués de colluvions agricoles associées parfois à des horizons humifères enfouis, les sédiments des unités E1/E3 se retrouvent sur toute l'étendue du site. Ils se développent particulièrement lors du comblement des dolines. Ils ont contribué au nivellement général du relief, et donc à son aspect actuel.

### Le fond rocheux

La géométrie des unités a été conditionnée par une succession de dépôts et d'érosion sédimentaire (chap. 4.6) et également par la position particulière du site en pied de versant calcaire (fig. 16). Le fond rocheux est relativement peu incliné mais fortement karstifié. Celui-ci représente donc une ancienne surface d'érosion qui évolue encore à l'heure actuelle.

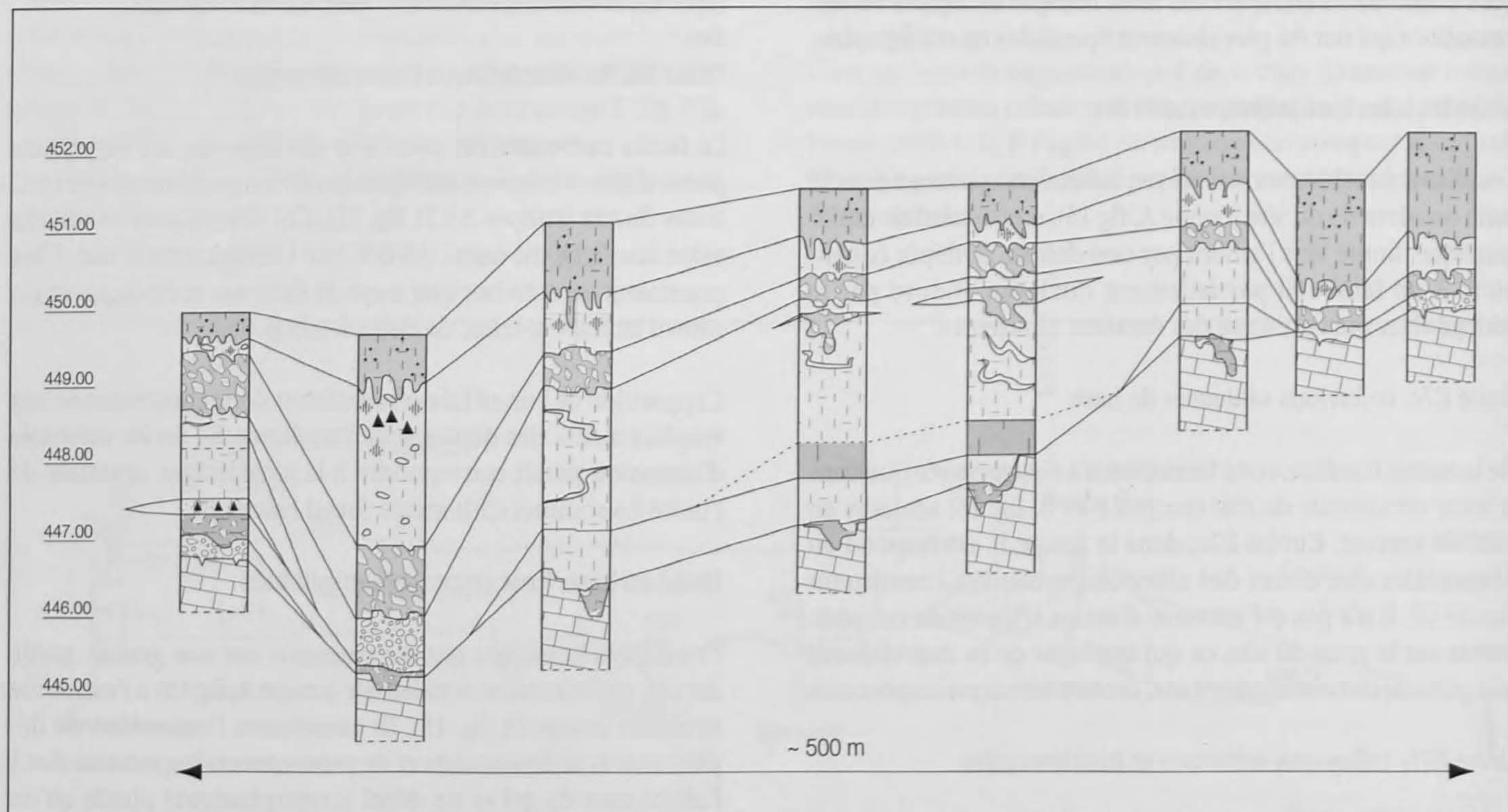
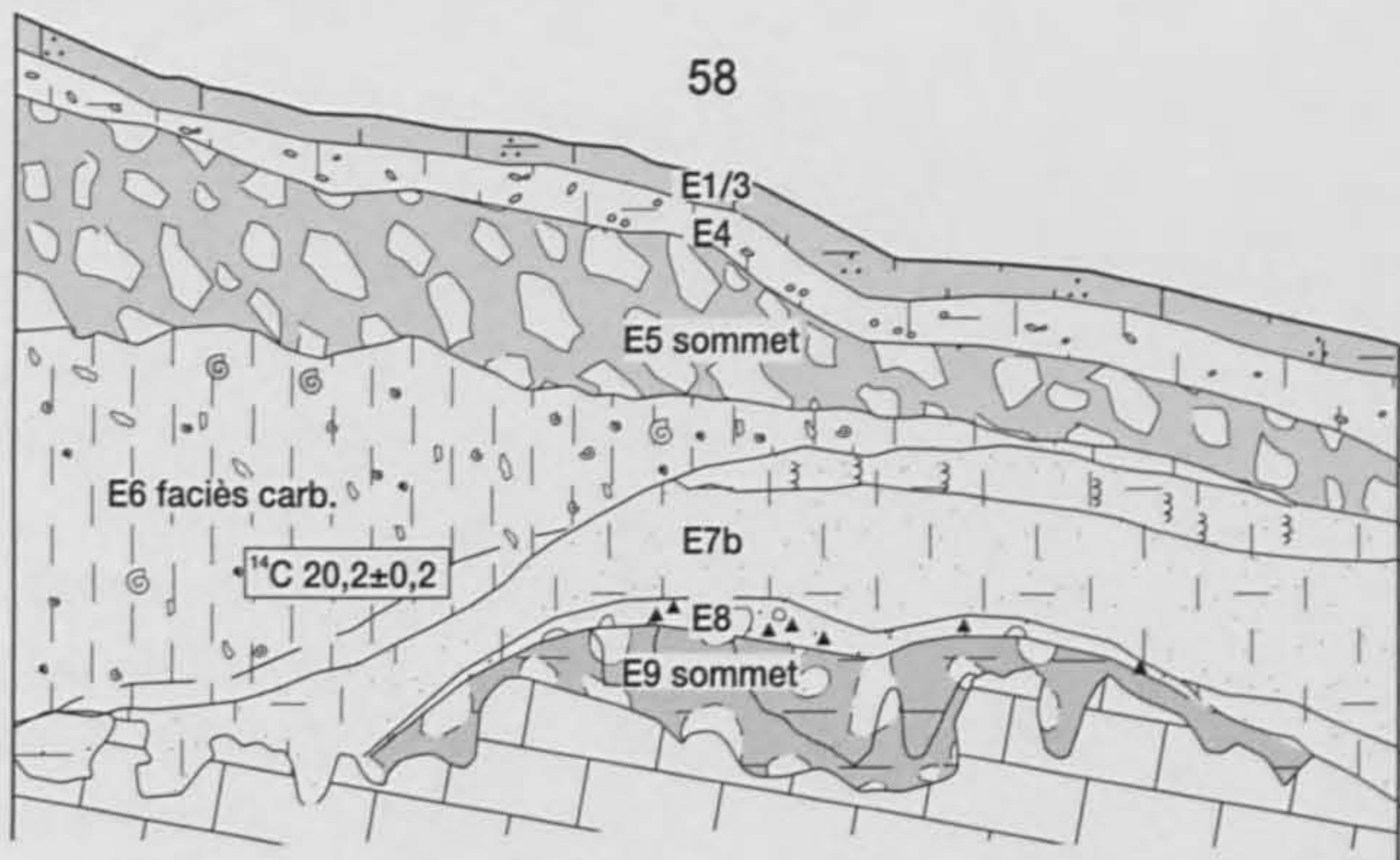


Fig. 14. Profil longitudinal passant par les coupes A à H de la figure 15.



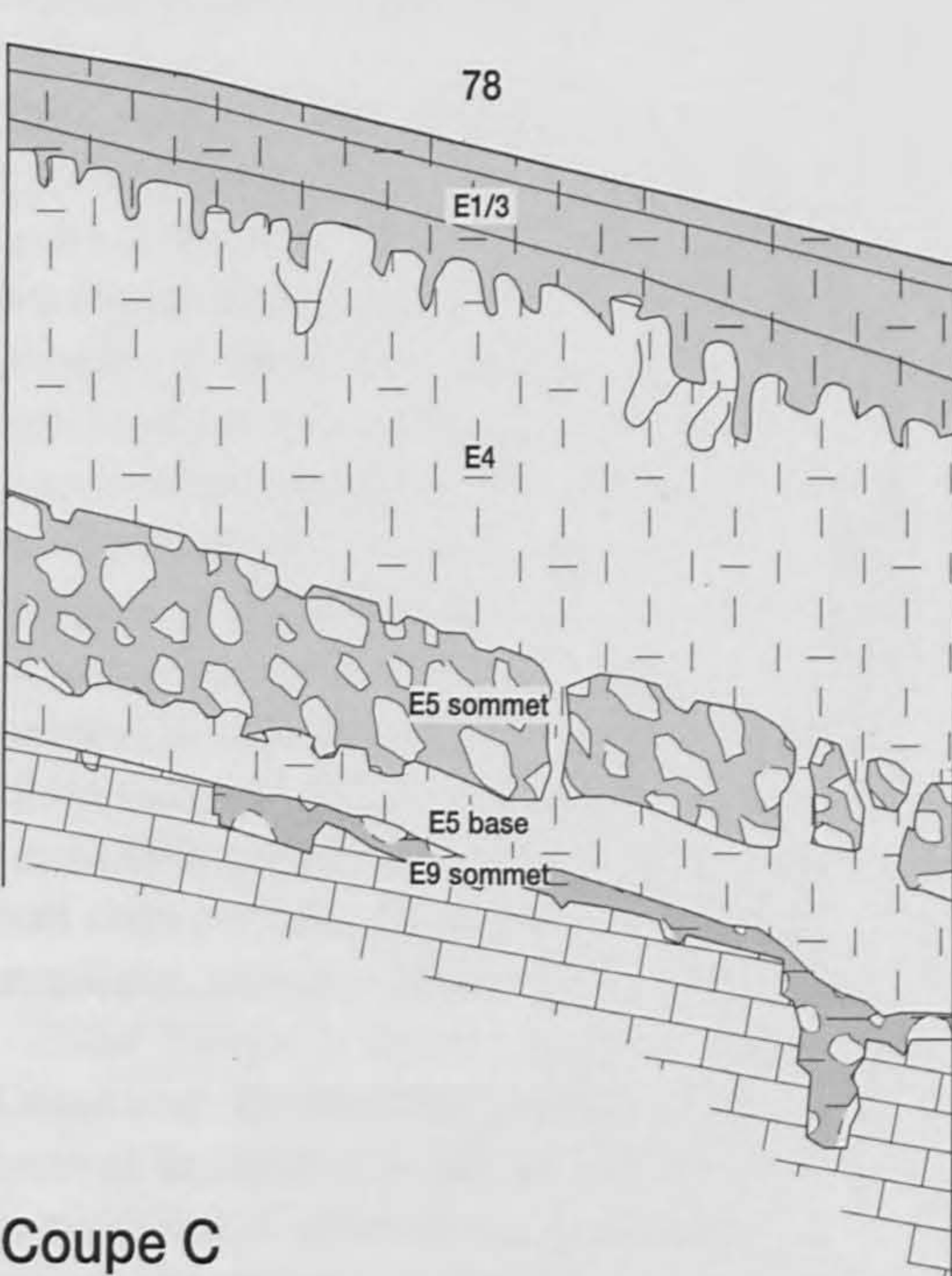
### Coupe A

450.00  
449.00  
448.00  
447.00  
446.00



### Coupe B

450.00  
449.00  
448.00  
447.00  
446.00  
445.00



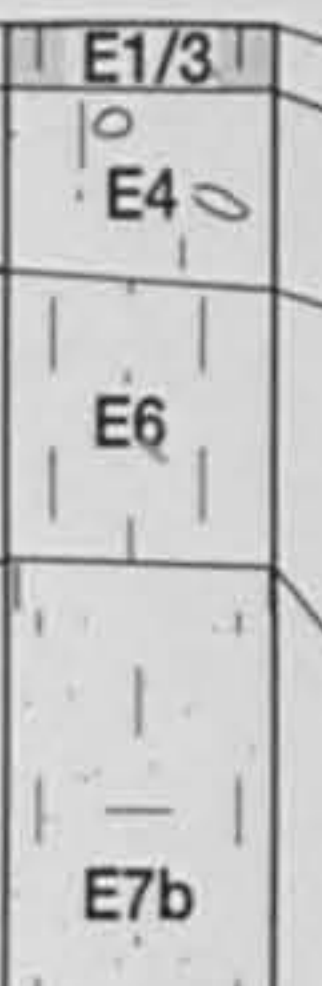
60



67



97



TL 1: 49,2 ± 4,1

### Coupe C

450.00  
449.00  
448.00  
447.00  
446.00

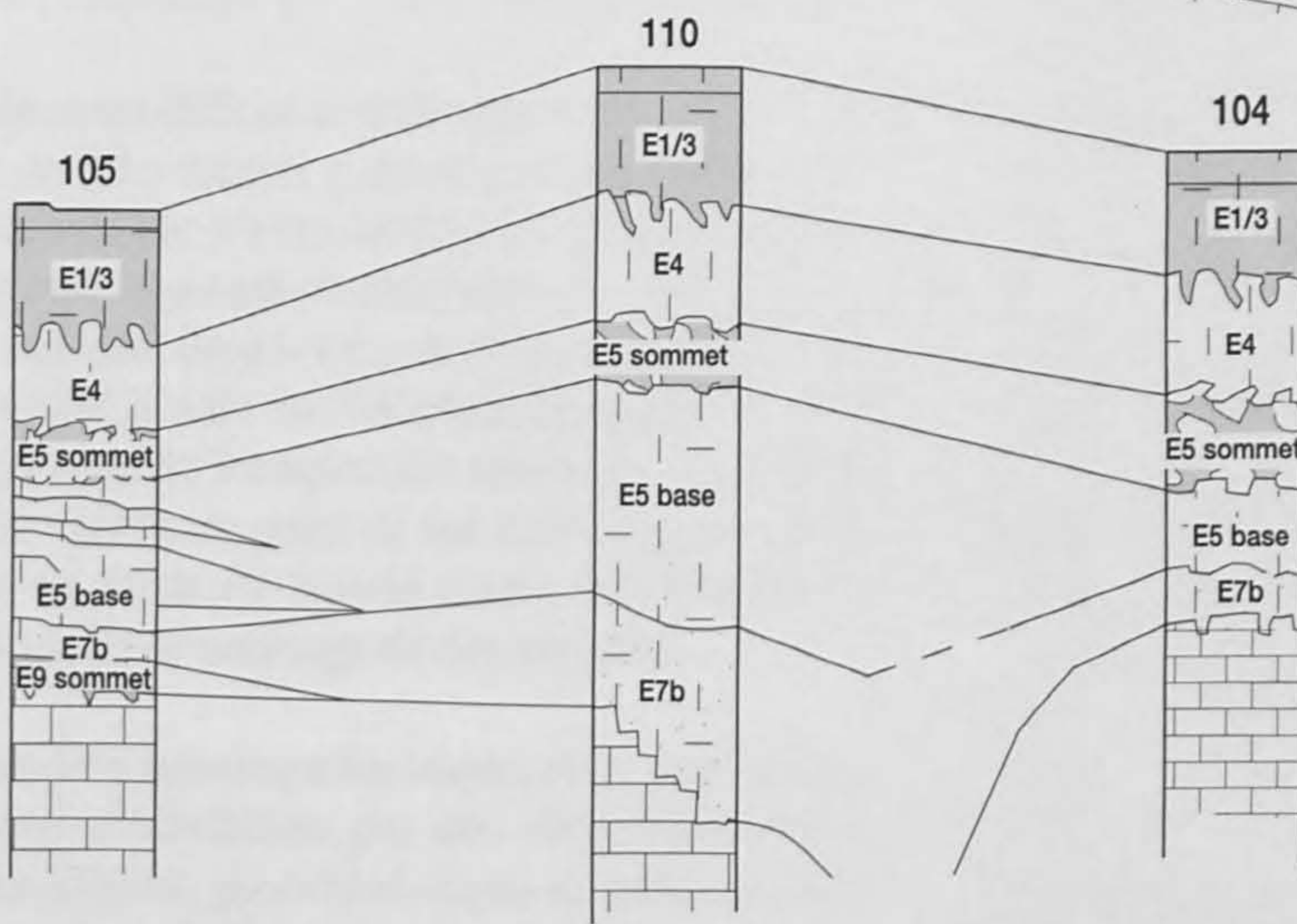








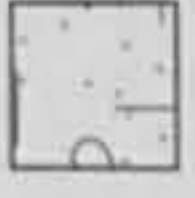



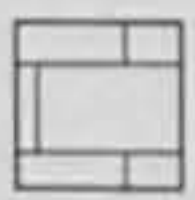
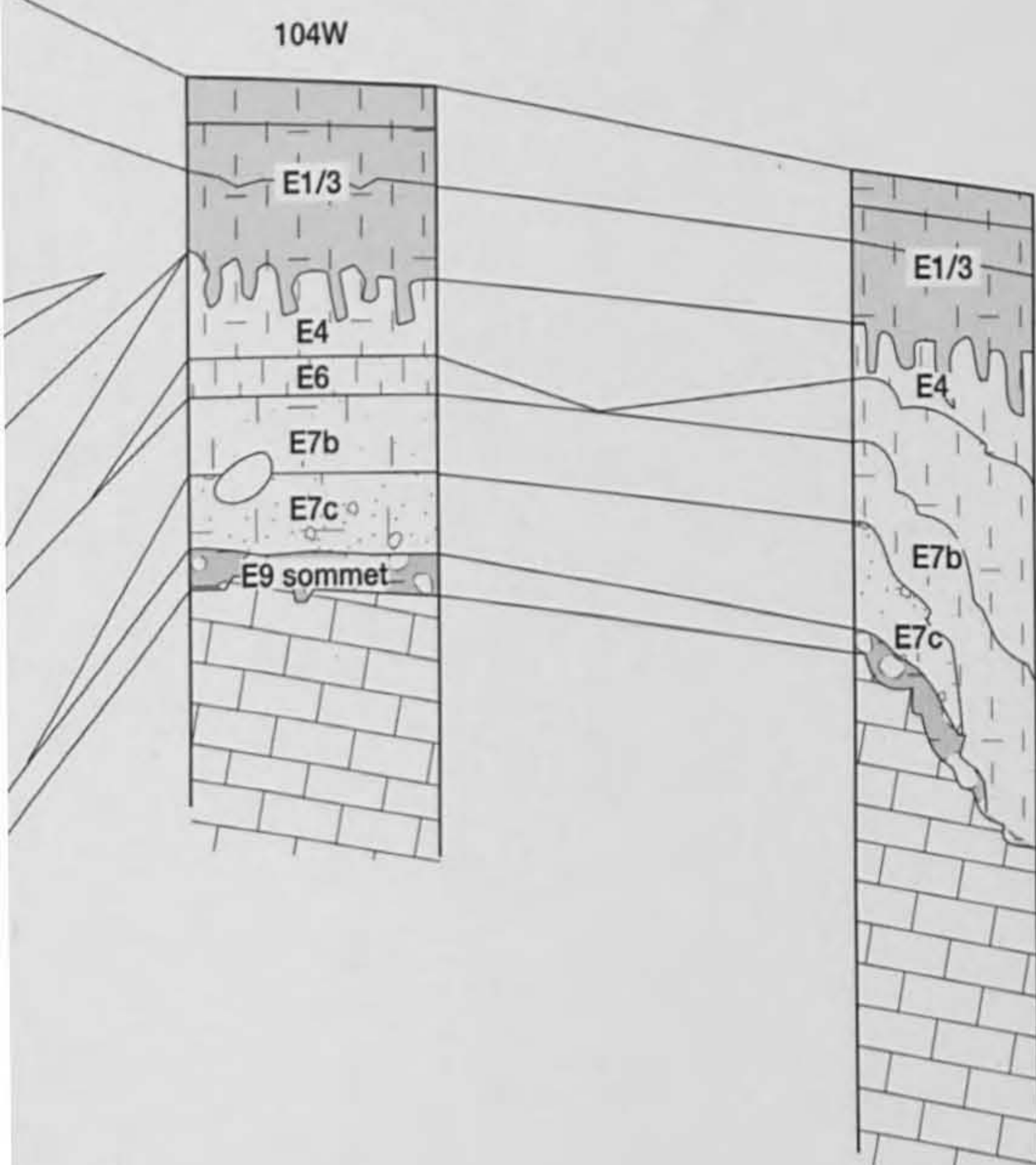
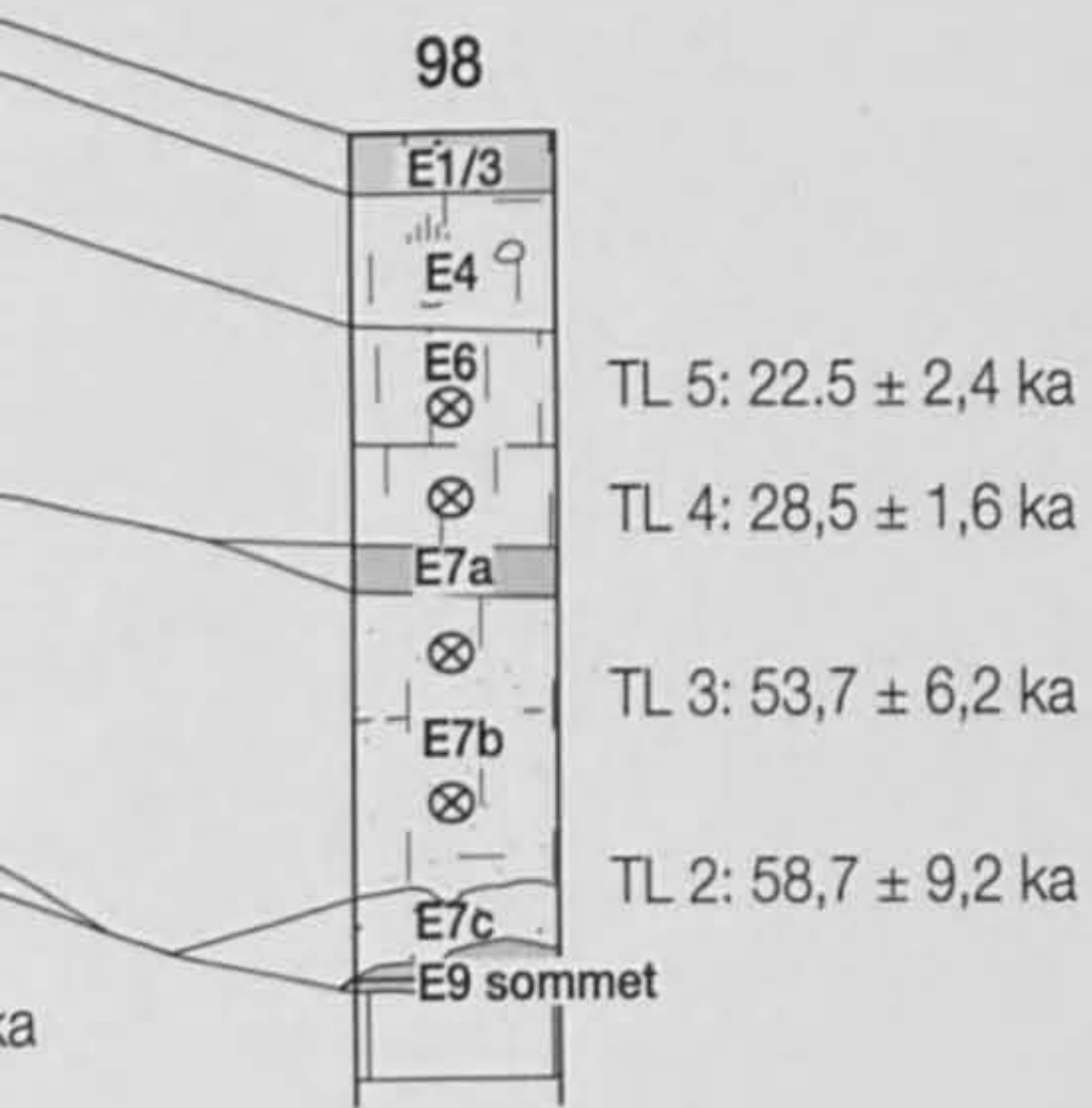


Fig. 15. Profils géologiques orientés sud-nord (coupes A, B, D à H) et ouest-est représentatifs des positions des unités E9 à E1/3 depuis l'extrémité occidentale. On constate un net amincissement des sédiments depuis la coupe 5 où l'on remarque la terminaison orientale du faciès calcaire de l'unité E5, jusqu'à la coupe 104. La première coupe étudiée sur le site (coupe A) était également celle où se sont développées le plus d'unités (E9 à E1). La distance séparant la coupe A de la coupe 104 est de 49,2 ± 4,1 km.

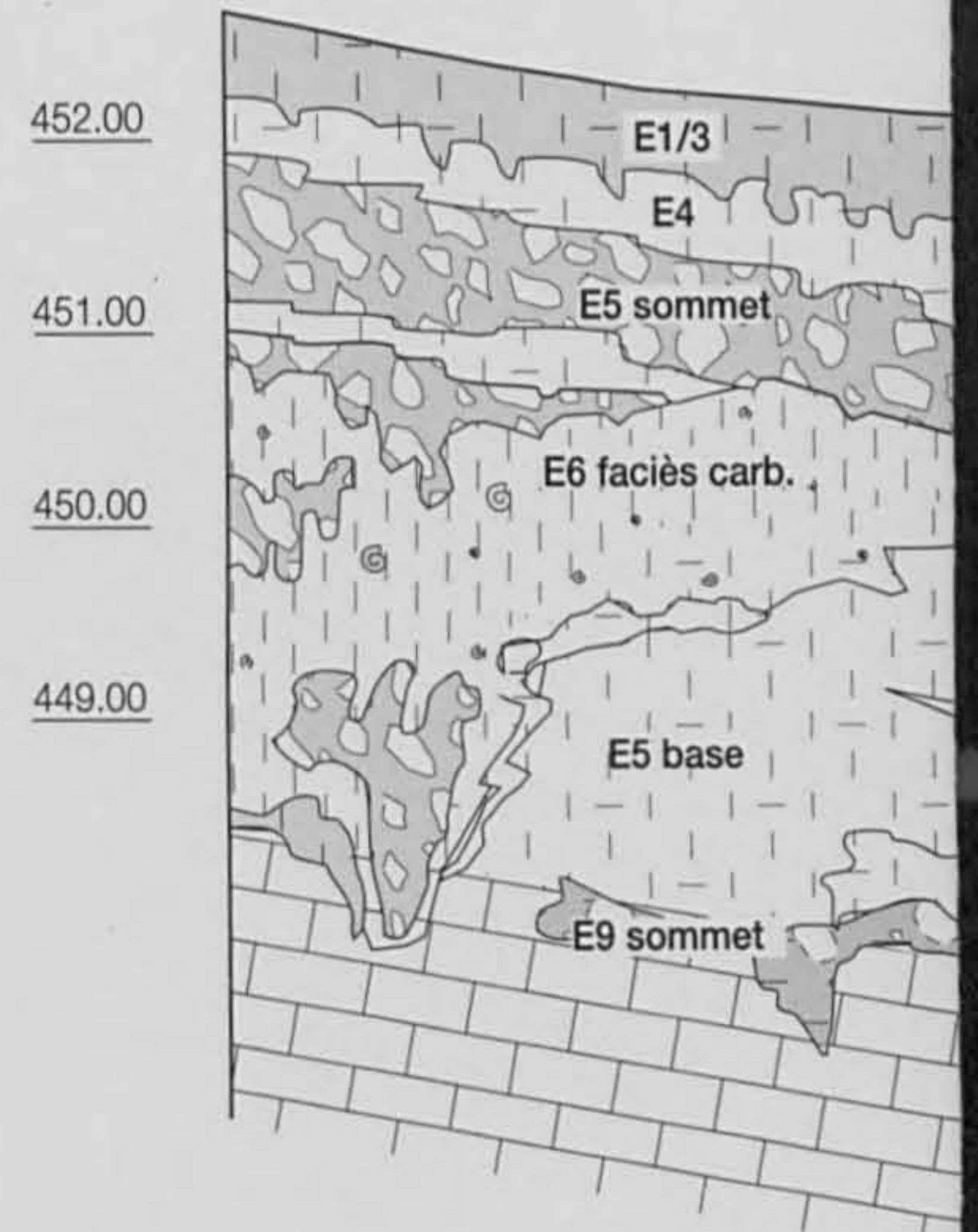


### Légende

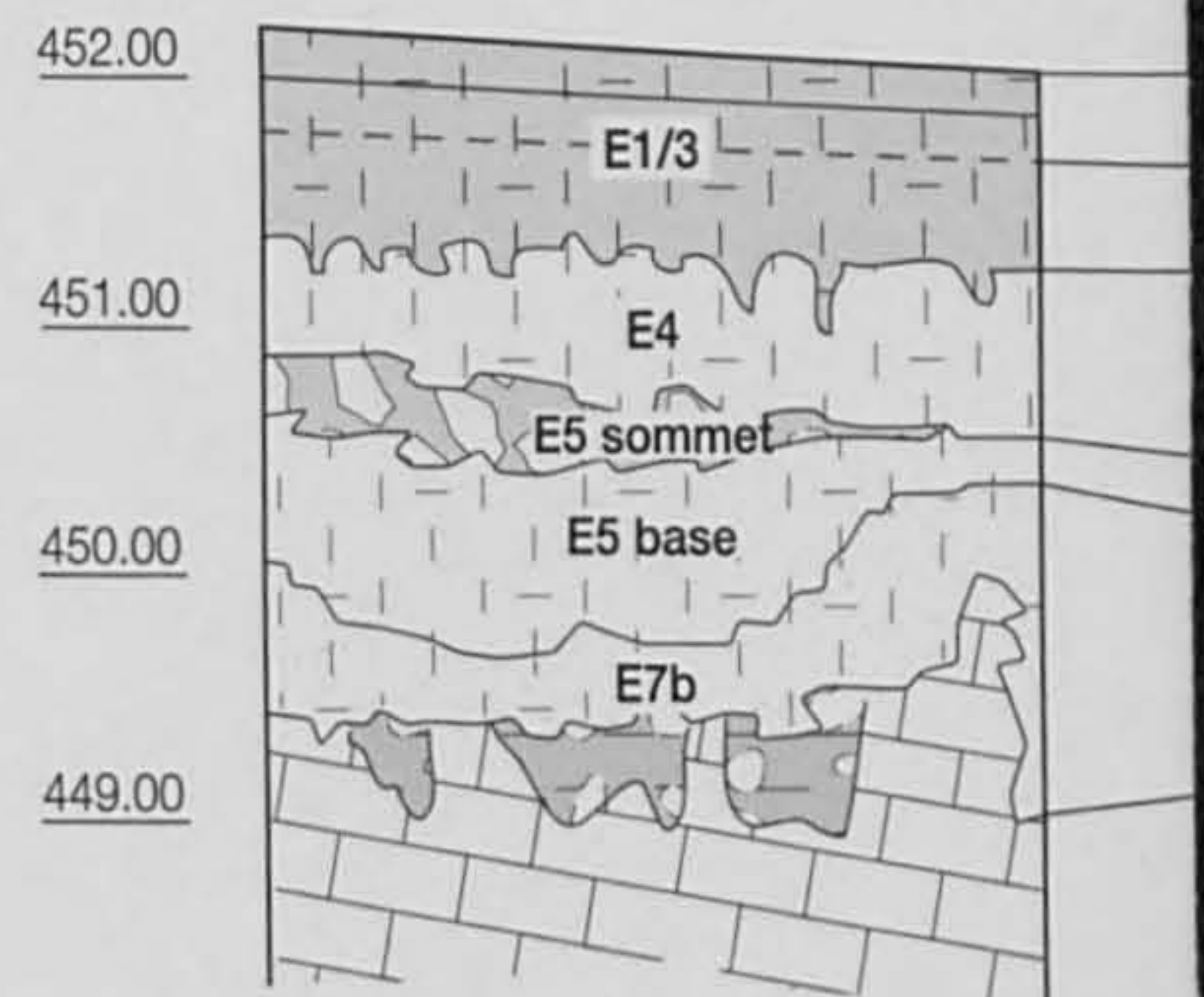
-  E1/3
-  E4
-  E5 sommet
-  E5 base
-  E6 carbonaté
-  E6
-  E7a
-  E7b
-  E7c
-  E8
-  E9 sommet
-  E9 base
-  Kimméridgien



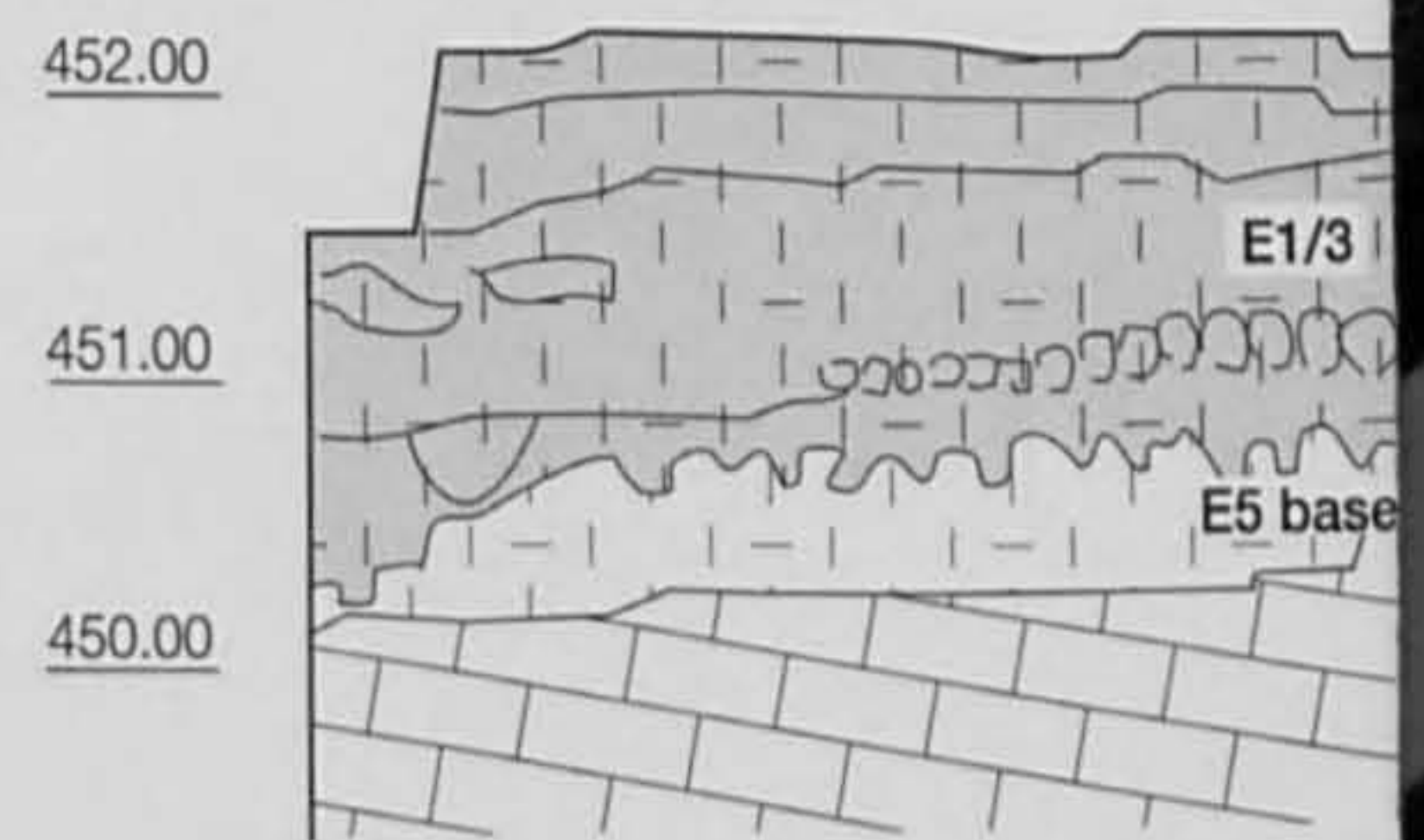
### Coupe D



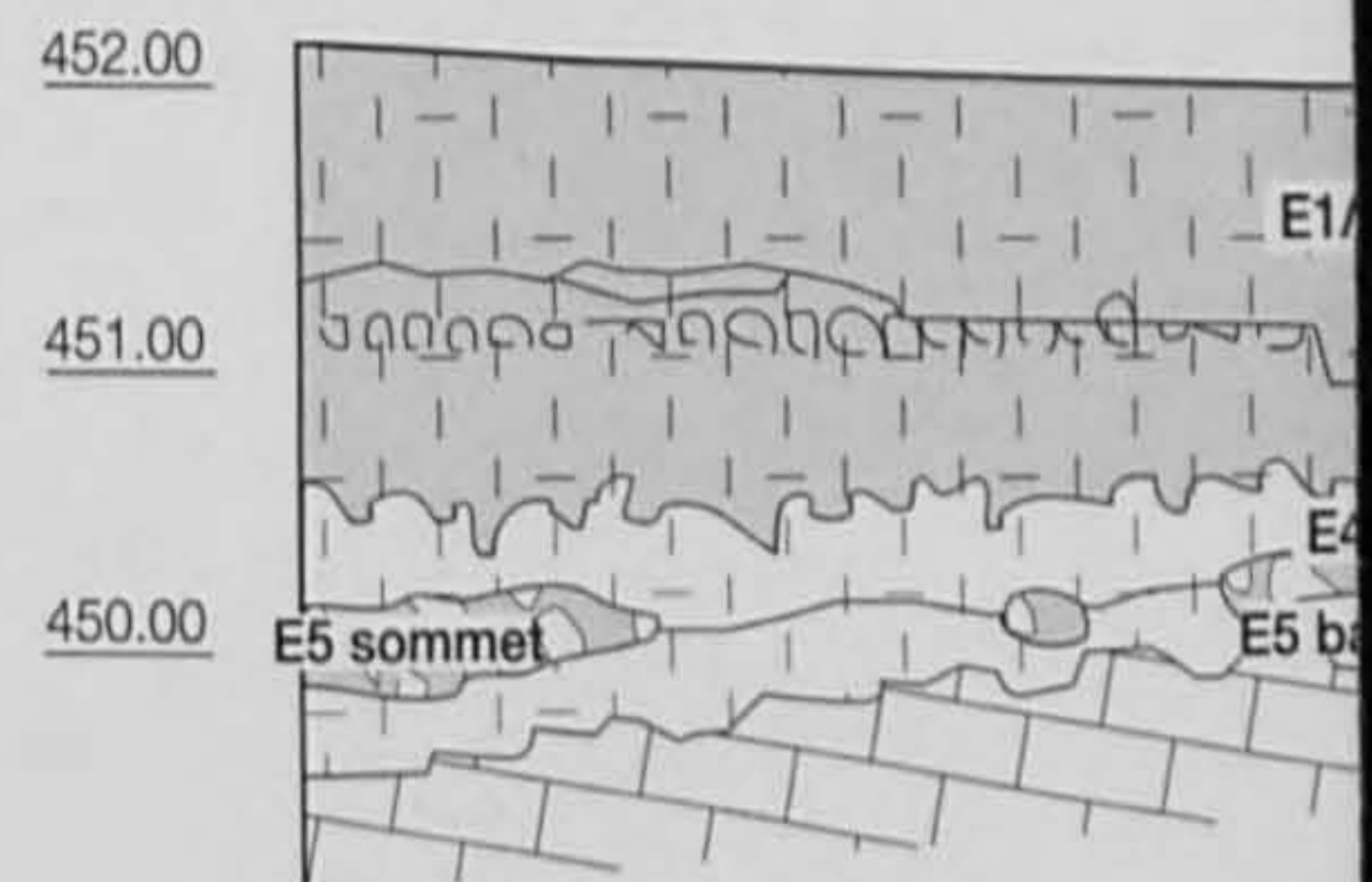
### Coupe E 96



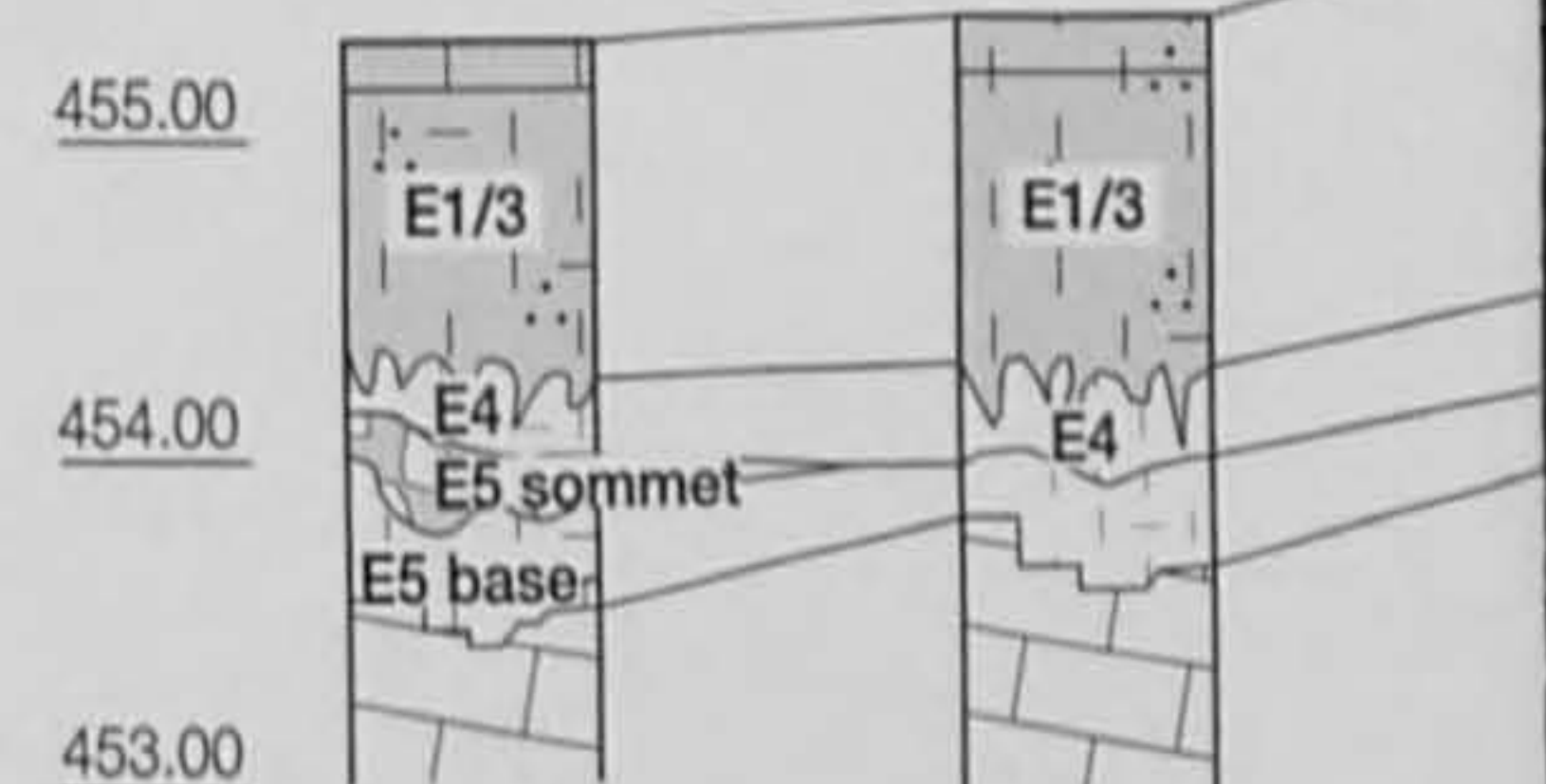
### Coupe F 119



### Coupe G 18

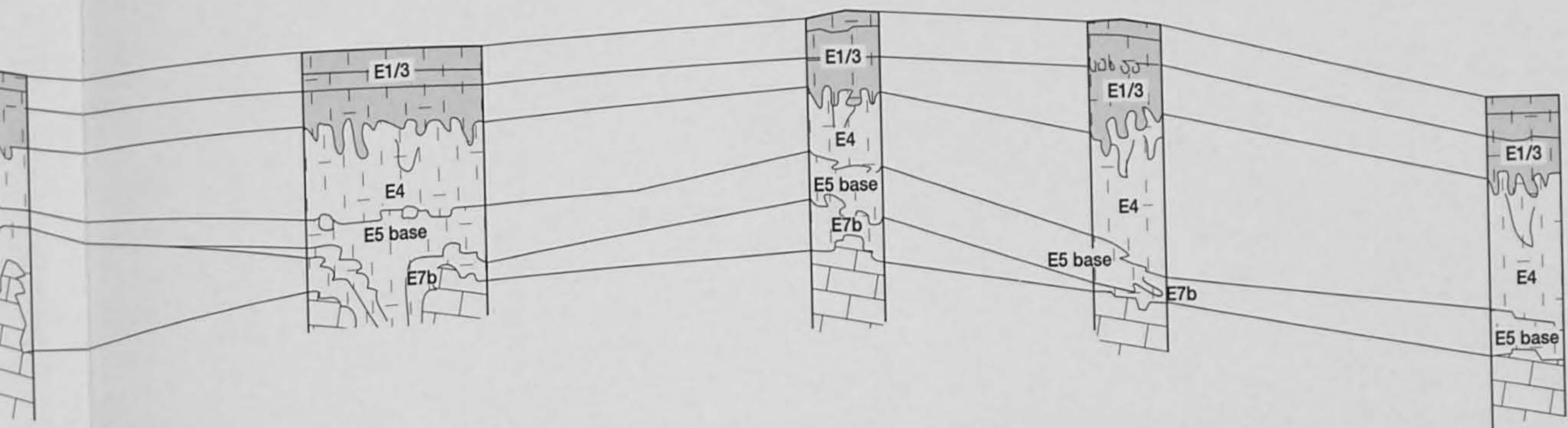
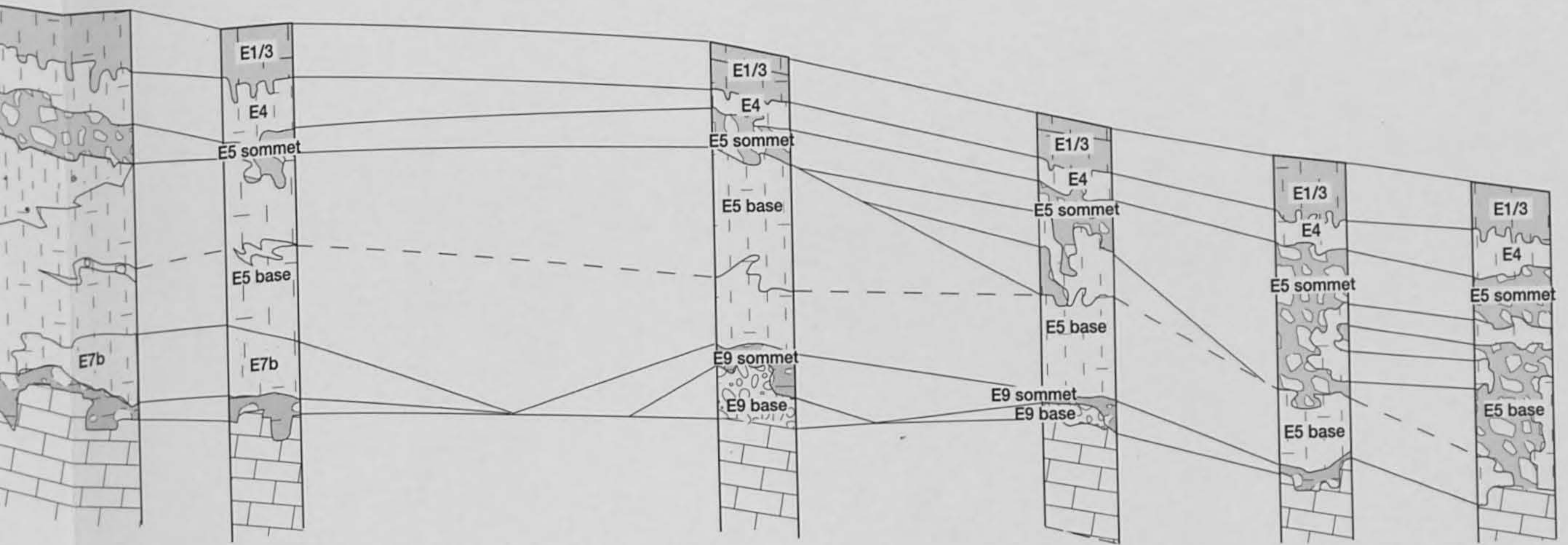


### Coupe H

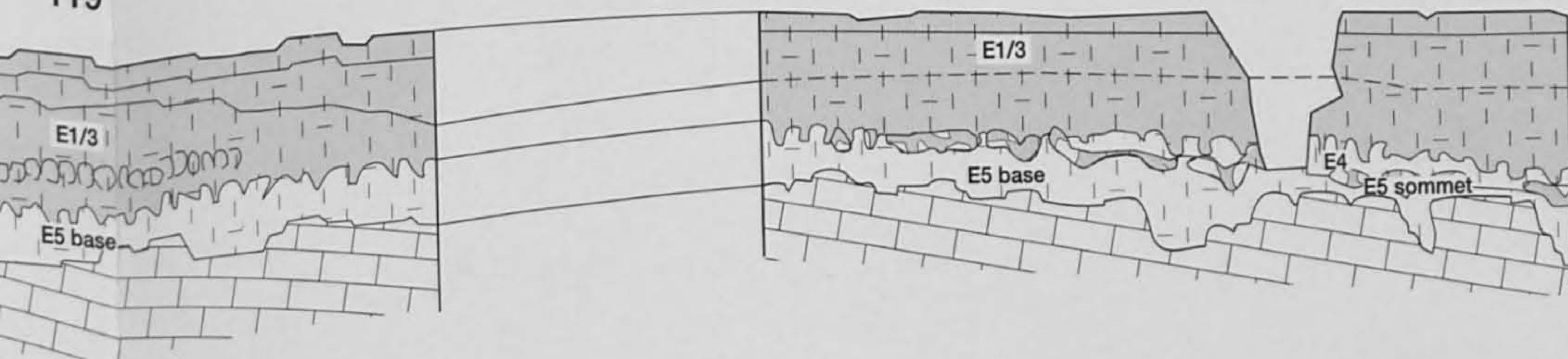


entale du site (coupe A) vers l'extrémité orientale du site (coupe H). On à la coupe 8 où seuls subsistent des lambeaux de formations E5 et E4. coupe A de la coupe H est de 500 mètres.

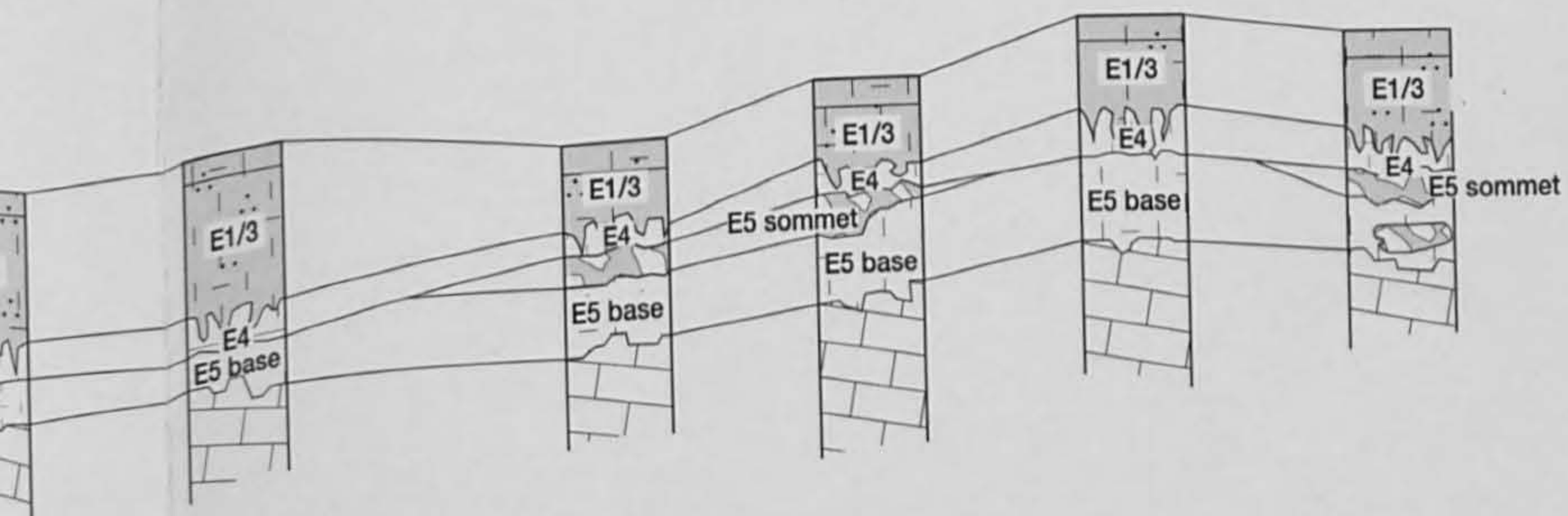
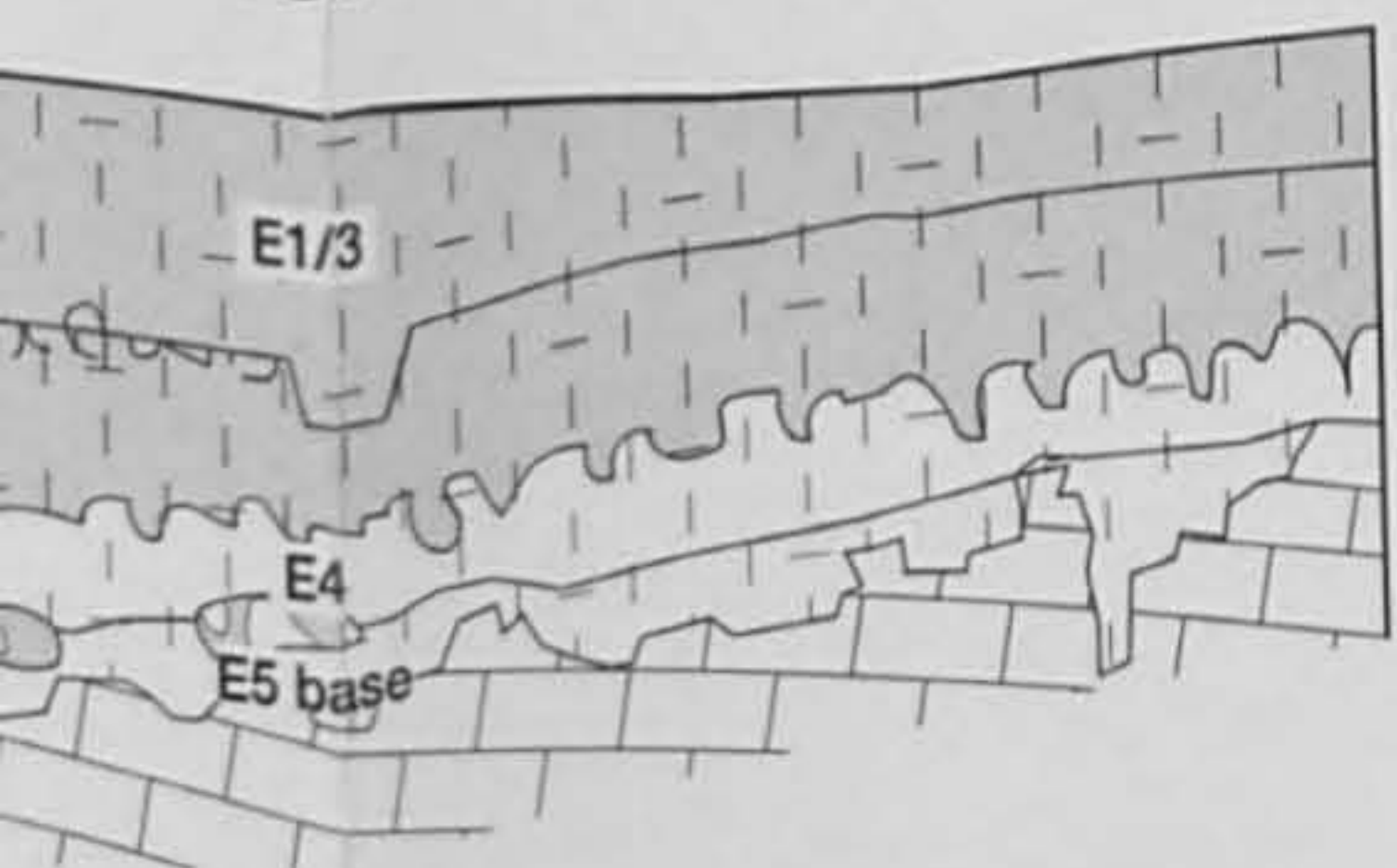




119



186





### 3.4 Erosion et soutirages karstiques à Alle, Noir Bois

A l'échelle du site (chap. 2.2.4), les structures tectoniques affectant les terrains calcaires se présentent sous forme de discontinuités de deux types : des diaclases ou des zones faillées d'extension régionale. Ces dernières sont constituées de fissures fermées qui peuvent s'élargir localement, en cheminements karstiques et en dolines, par corrosion due aux eaux agressives. Dans la région d'Alle, Noir Bois, la surface karstifiée communique avec le réseau souterrain de l'aquifère karstique du Betteraz. Lors des fouilles, plusieurs dépressions rocheuses ont été découvertes, l'une d'entre elles contenait des dépôts remaniés provenant du Tertiaire (coupe D, fig. 15). Ces dépressions ont généralement fossilisé des déplacements de sédiments par soutirages, matérialisant certaines séquences d'activation du réseau karstique au cours du Pléniglaciaire, du Tardiglaciaire et de l'Holocène.

Plusieurs séquences ont été reconnues par l'observation de terrain. Notamment celle associée à l'érosion et à la disparition de la majeure partie des sédiments de l'unité E8 (alluvions sableuses altérées); elle a été attribuée à la fin de l'interstade tempéré de l'Odderade (érosion II, chap. 4.6). Durant cette période et pendant le Pléniglaciaire inférieur également (érosion III, chap. 4.6), une certaine activité karstique associée à des ruissellements très importants se sont certainement produits. Ces deux mécanismes, ruissellements et soutirages ont fait disparaître une grande partie des sédiments anciens des unités E8 et E7c. Une meilleure conservation des sédiments constituant l'unité E7b, partiellement préservés sur tout le site et datés du Pléniglaciaire moyen, indique une baisse progressive de l'activité karstique et de l'érosion durant cette période. Par contre, la quasi-disparition du sol interstadiaire, reconnu seulement à l'ouest du site et estimé par L. Zöller (coupe A, fig. 15; profil 96, fig. 13) de l'interstade de Denekamp (fin du Pléniglaciaire moyen, stade isotopique 3), pourrait indiquer une reprise érosive au début du Pléniglaciaire supérieur. A cette phase, pourraient correspondre les soutirages observés en stratigraphie, ayant affecté les sédiments de l'unité E7b.

Après cet épisode, assez difficile à reconnaître sur le terrain, une nouvelle phase de déformation et de ruissellements modérés de surface est signalé par les importants mouvements de déformation dus au gel (cryoturbation) observés en stratigraphie (chap. 3.5). Cet épisode, dont les traces se sont exprimées sur tout le site, a été situé à la fin du Pléniglaciaire supérieur, voire dans la première partie du Tardiglaciaire (phase 10, chap. 4.6 et chap. 5.5.3.1). Par contre, du point de vue karstique, aucun véritable soutirage n'a été décelé associé aux mouvements de gel et dégel, il s'agit plutôt de bourrage de dépressions.

La dernière période d'activation karstique, et la plus spectaculaire, parce que matérialisée par des effondrements de niveaux archéologiques, protohistorique et gallo-romain, correspond à la période de l'Holocène. Au cours de ces événements, les sédiments des unités E4 et E5 ont été quelquefois soutirés dans de grandes dolines réactivées reconnues sur l'ensemble du site. Aujourd'hui, on observe parfois, dans les champs cultivés, des effondrements localisés attestant d'un système karstique encore actif.

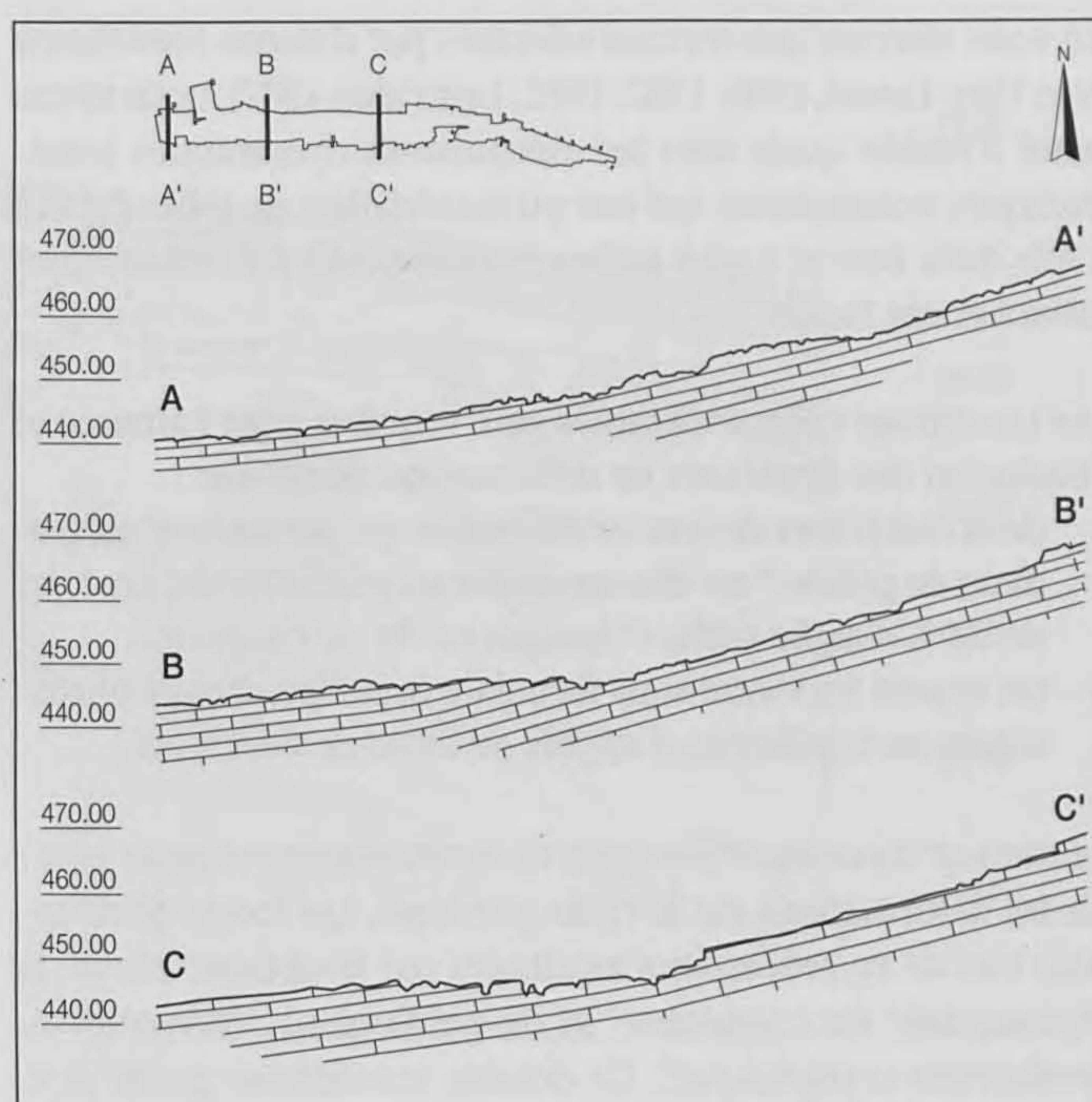


Fig. 16. Aperçu du fond rocheux karstifié en travers du site. On remarque la rupture de pente du plancher rocheux avec les dépressions karstiques et la faible inclinaison des couches du Kimméridgien du flanc nord de l'anticlinal du Banné. Ces trois profils sont issus d'un relevé de terrain après ablation totale des couches à la pelle rétro.

### 3.5 Les structures de gel et leurs implications dans l'unité E5

L'étude de la séquence sédimentaire d'Alle, Noir Bois, et particulièrement les travaux effectués en relation avec l'étude stratigraphique des dépôts anciens (coupes A à H, fig. 15), ont démontré l'existence de phases de déformations et de dépôts dont la forme et la nature ne peuvent pas être expliquées par des mécanismes qui se produisent aujourd'hui sous nos latitudes. Par contre, on les retrouve dans les régions arctiques actuelles.

Suite à une observation ciblée de structures de déformation fossilisées apparues en stratigraphie (coupe D, fig. 15), il a été effectué des comparaisons avec les données concernant des phénomènes soit actifs en milieux froids actuels (Groenland, Spitzberg, etc.), soit anciens et correspondant à des dépôts associés à une dynamique périglaciaire fossilisée.

Cette démarche a permis de reconnaître une dynamique de dépôts correspondant à un environnement froid qui a prévalu dans la région avant l'actuelle période tempérée. Les corrélations stratigraphiques horizontales sur le site, le mobilier archéologique découvert dans la partie ouest du site (chap. 10), les analyses par thermoluminescence dans deux profils (chap. 7.1) et une date radiocarbone (chap. 7.2) ont permis de situer ces déformations dans le Pléniglaciaire supérieur (phase 10, chap. 4.6).



En nous référant aux travaux effectués par d'autres chercheurs (van Vliet-Lanoë, 1985, 1987, 1992; Lautridou 1987), nous avons tenté d'établir quels sont les mécanismes dynamiques (cinématiques notamment) qui ont pu matérialiser de telles figures à Alle, Noir Bois et à quel milieu environnemental (climatique) rattacher ces faciès.

Les conditions cadres suivantes sont requises pour l'amorce et l'évolution des structures de déformation observées :

- deux matériaux de texture différente qui présentent un gradient de gélimité\* ou une sensibilité au gel différente, un écart de 0,5 % d'argile suffit. (\* lexique en fin de chapitre)
- un apport hydrique sous forme de drainage, d'eaux phréatiques ou capillaires, d'apport de fonte de névés, etc.).

Le moteur thermique (énergie) de fonctionnement pour obtenir les déformations est le cycle gel/dégel. Les forces développées lors de ce processus s'expriment par le phénomène de la cryosuction\* ou cryosmose\* et du gonflement différentiel ou gonflement cryogénique\*. Ce dernier mécanisme paraît être, d'après les expériences et les observations de terrain en milieu actuellement actif menées par différents auteurs, le seul processus permettant d'expliquer les phénomènes conduisant à la genèse d'involutions, d'injections déversées et de sols structurés (dépôts lités de cailloutis), ceci dans un contexte de milieu terrestre froid. En fonction de la topographie locale du terrain (sol en pente ou horizontal) ou selon la géométrie des couches en contact entre elles, des contraintes verticales ou obliques vont s'exprimer et conduire aux formes fossilisées dans les stratigraphies du site (van Vliet-Lanoë 1985).

### 3.5.1 Positionnement et évolution géographique des formations litées pléniglaciaires et actuelles en Europe

Plusieurs modèles de dépôts cryoturbés anciens (déformations, heads, convois à blocs) se basent sur des observations actuelles réalisées sur la façade océanique française, en Belgique, dans les Alpes, en Norvège ou au Spitzberg. Lorsque l'on se déplace vers notre région, comme dans l'est du Massif central, les

anciens cailloutis, soit de gélifluxion (axe dans tous les sens), soit de cryoreptation (axe dans le sens de la pente), sont estimés présents pendant tout le Pléniglaciaire, de 75 ka BP à 18 ka BP, avec une préférence pour la cryoreptation au Pléniglaciaire supérieur. Dans le sud-est du Massif central ou sur le versant alsacien des Vosges, l'apparition de la gélifluxion est limitée car la dynamique périglaciaire s'effectue dans un contexte plus sec et froid de tendance continentale (van Vliet-Lanoë 1988). Actuellement, on rencontre des cryosols dans les régions tempérées du Groenland.

### 3.5.2 Vitesse de déplacement des convois caillouteux: observations actuelles

Les vitesses relevées actuellement en milieu actif, exprimées en cm par cycle de gel/dégel sont les suivantes :

- 1 cm/cycle: cryoreptation rapide,
- 10 cm/cycle: gélifluxion lente,
- 50 cm/cycle: gélifluxion rapide,
- 2 m/cycle: coulée boueuse.

Des grand déplacements de quelques centaines de mètres peuvent s'échelonner sur plusieurs milliers d'années (van Vliet-Lanoë 1987). Le head d'Alle, Noir Bois paraît plutôt relever du mouvement par cryoreptation ou gélifluxion (chap. 5.4).

### 3.5.3 Les cryosols

Les cryosols sont des sols développés en milieux froids périglaciaires, dans un contexte climatique peu favorable au développement d'une strate végétale continue et où un pergélisol est susceptible d'exister (van Vliet-Lanoë 1995). Actuellement, on trouve ces sols en climat froid à haute latitude où, du point de vue stationnel, on constate une limitation du couvert végétal (< 50 % surface), une subsistance en profondeur d'une couche gelée en permanence (permafrost\*) ou d'un horizon de blocage (plancher argileux ou calcaire, par exemple) ainsi qu'un dégel saisonnier d'une partie du sol, en général la partie supérieure.

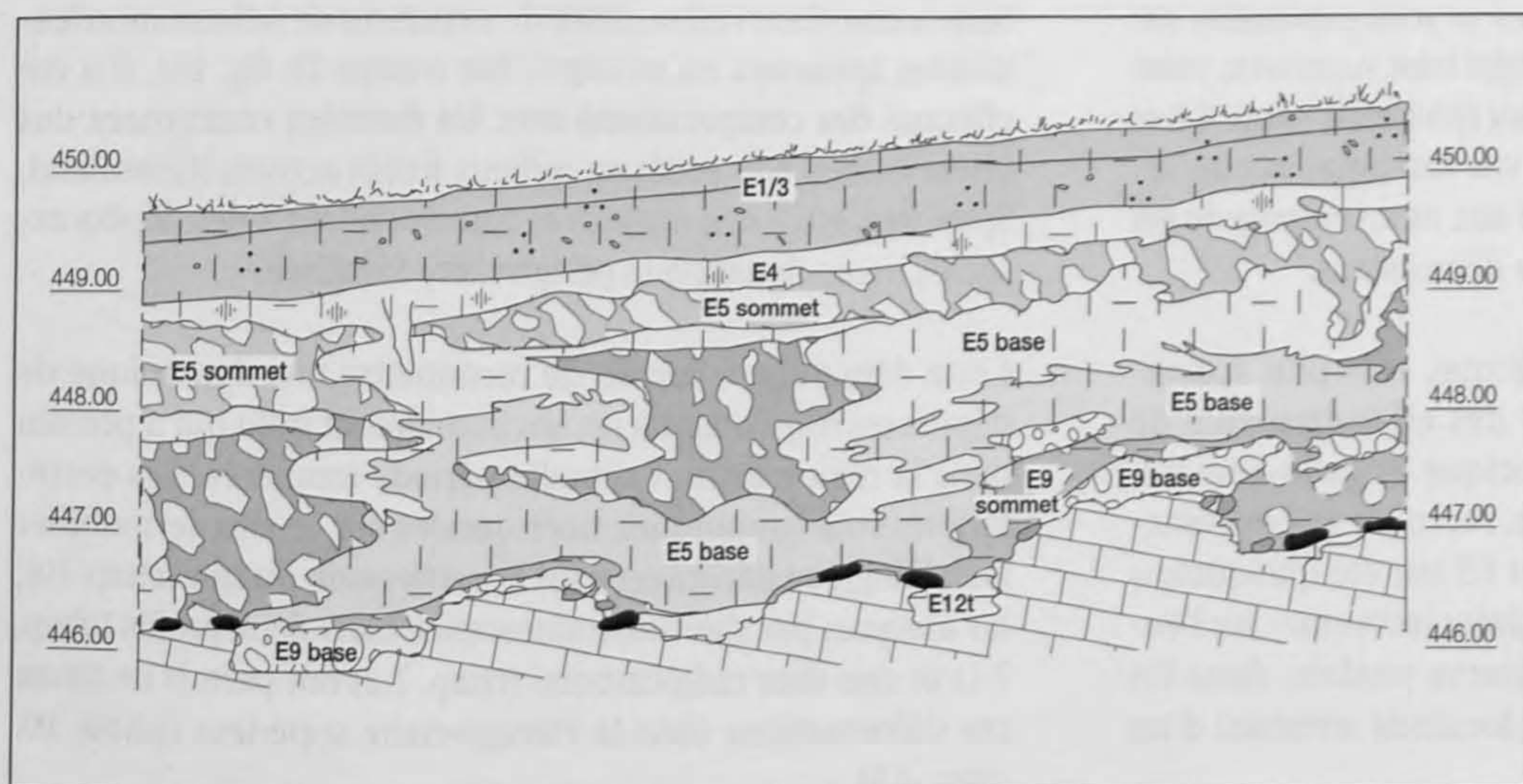


Fig. 17. L'unité E5 et les structures de gel (partie médiane, coupe D). On observe les mouvements de cryoturbation qu'ont subi le cailloutis et les sédiments inférieurs (E5 base). Les figures de déformation et d'injection ont été matérialisées par la présence du cailloutis et par la coloration marquée des sédiments contenant des résidus remaniés de E9 sommet-altérites bariolées et plus argileux que les silts. On remarque une poche résiduelle de graviers anciens E9 base recouverts des sédiments de l'unité E9 sommet (en foncé). Le head (E5 sommet) apparaît étalé en surface des formes déformées.



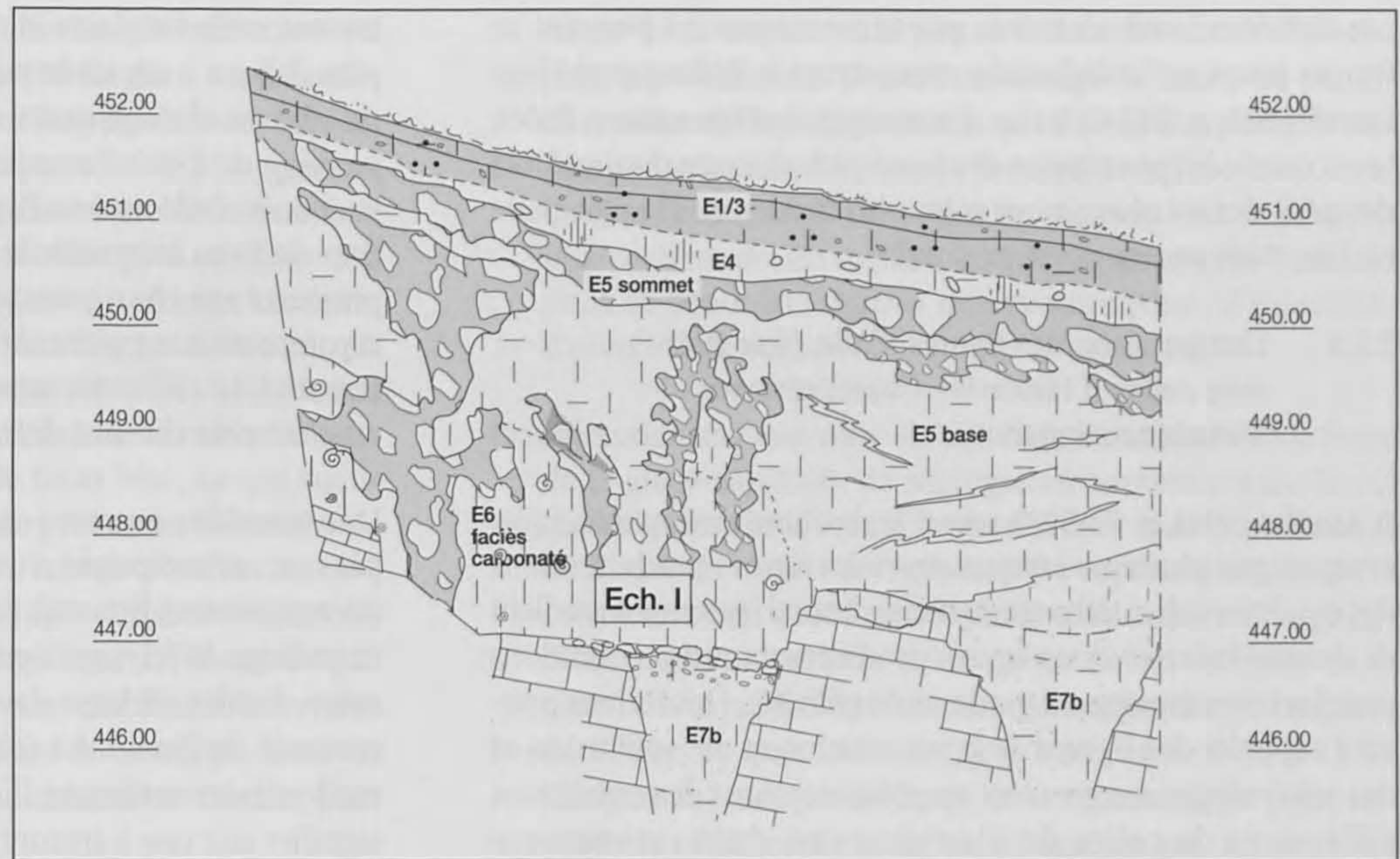


Fig. 18. Structure de déformation par le gel identique à celle de la figure 17. On constate ici que les dépressions karstiques n'ont apparemment pas influencé les mouvements de déformation par le gel. Sur la coupe figure l'un des deux prélèvements (éch. 1) de mollusques non déformés datés du Pléniglaciaire supérieur. Fixés dans les dépressions karstiques, des sédiments E7b.

Au printemps, l'engorgement du sol, principalement en bas de pente, est fréquent et conditionne les caractères physico-chimiques de la partie supérieure de celui-ci: le potentiel d'oxydo-réduction est bas par l'effet conjugué de l'engorgement et de la faible activité biologique. La saison biologique, qui est de courte durée, implique une activité bactérienne limitée aux précipitations organo-ferriques et à une dissolution et reprécipitation de la calcite, si le milieu en contient. L'altération minérale est très faible, ce qui implique, entre autres, une production argileuse limitée (fig. 33 et chap. 4.2.2). Cet environnement devait prévaloir en Ajoie au Pléniglaciaire supérieur.

#### 3.5.4 Les structures et les formes observées en stratigraphie à Alle, Noir Bois

##### L'unité E5 base

En stratigraphie, ont été reconnues (coupe D, fig. 15; fig. 17 et 18) des figures de déformation qui pourraient être associées à un système à gradient de gélivité différentiel. Elles rappellent certaines formes relevées dans un contexte de déformation plastique en milieu sursaturé (Moulin 1991), formes qui sont en relation avec des figures de charge dans des systèmes de gradient de densité inverses, et non pas de gélivité. Des structures, ressemblant à celles de type involution (structures en poches, en diapire, ondulées, etc.) et affectant l'interface entre deux sédiments (par exemple, entre la base du cailloutis et l'encaissant) ont ainsi été reconnues.

On y a également décelé des structures ressemblant aux figures d'injection de type *slump*, associées, dans le cas des milieux plastiques, à des mouvements dont les contraintes ne sont plus verticales, mais tributaires d'une pente: déversement asymétrique de figures injectées (Moulin 1991). Le système global matérialisé par l'unité E5 base semble tendre vers le modèle à gradient de gélivité négatif du schéma d'évolution des sols cryoturbés (van Vliet-Lanoë 1985).

Il faut noter que les figures de déformations évoquées plus haut (involutions de type diapires\*, structure en poche et structures d'injection, Moulin 1991) induites par le contact entre deux éléments de texture différente, tels que les cailloutis et les silts de l'unité E5 base, ne correspondent jamais, à Noir Bois, à leur base, à un quelconque soutirage ou dépression du substratum rocheux basal (fig. 17 et 18). Il est permis de penser qu'il s'agit ici de déformations matérialisées dans un horizon appelé couche active (*active layer*, van Vliet-Lanoë 1985), et piégées entre un plancher imperméable, qui n'est pas en l'occurrence un permafrost mais le karst, et une ancienne surface de sol gelée par intermittence (paléosurface). Ce phénomène correspond aux figures de déformation complexes profondes (Campy et Macaire 1989, p. 79).

##### L'unité E5 sommet (head calcaire)

Sur les structures de déformations par cryoturbation profonde décrites ci-dessus et caractéristiques de l'unité E5 base qui est devenue stable, a été relevé un deuxième dépôt cryoturbé en nappe cette fois-ci. Il s'agit d'un gravier caillouteux calcaire assez serré (chap. 3.2). Ce cailloutis présente comme particularité une absence de déformations verticales. Il est étalé et continu selon un plan conforme à la paléopente, globalement de même orientation que l'actuelle. La matrice du cailloutis est silteuse, d'origine lœssique, argileuse et légèrement rubanée (hydroxydes ferriques en bandes). De par sa nature, ce dépôt évoque les formations litées ou les convois de cailloutis de type heads décrits par B. van Vliet-Lanoë (1988). Les pierres du cailloutis calcaire ont tendance à présenter leur grand axe selon une direction légèrement relevée par rapport à la pente, c'est-à-dire en contre-pente. Cette direction pourrait constituer la résultante géométrique entre une composante parallèle à la pente, indiquant des forces de fluage, et une composante verticale, résultant de forces développées par le gonflement cryogénique. Cette position, modérément relevée, est le cas le plus courant dans ce type de dépôts et indique une humidité du milieu.



Les derniers heads dominés par la cryoreptation peuvent se former jusqu'au Tardiglaciaire, mais avant le Bölling (van Vliet-Lanoë 1988, p. 657-658). La dynamique des formations litées, tout comme la constitution des heads, a beaucoup diminué lors des périodes les plus sèches et les plus froides du Pléniglaciaire où l'on avait peu de dégel profond.

### 3.5.5 Comparaison des figures d'Alle, Noir Bois avec celles d'Hauterive-Champréveyres (Neuchâtel, Suisse)

B. Moulin (1991, p. 73-91) a relevé la similitude morphologique, évoquée par plusieurs auteurs, entre les figures produites dans des conditions de surcharge en milieu littoral (système à gradient de densité inverse) et les figures produites dans des conditions périglaciaires (système à gradient de gélivité). Des formes pouvant rappeler des figures de cryoturbation et de solifluxion et des sols polygonaux peuvent se présenter dans des conditions différentes de celles du Pléniglaciaire, dans un contexte environnemental (chap. 3.5; chap. 4.6, phase 10) où le mécanisme du gradient de gélivité est remplacé par celui du gradient de densité: un sédiment fin inférieur peu compact et un sédiment supérieur en surcharge en milieu sursaturé (Moulin 1991). A Alle, Noir Bois, les figures de déformation observées, qui sont attribuées avec certitude à la fin du Pléniglaciaire supérieur (chap. 4.6, phase 10), paraissent dans certains cas effectivement ressembler à celles proposées dans un milieu littoral par B. Moulin. En fait, il n'est pas impossible que certaines figures relevées sur le site de Hauterive-Champréveyres, et attribuées à un milieu littoral relativement tempéré, soient plutôt à rattacher à un contexte froid et humide.

### 3.5.6 Discussion

Bien qu'il y ait une ressemblance entre des figures de gel et des figures de surcharge en milieu littoral (Moulin 1991), on est sûr que les structures relevées en stratigraphie à Alle, Noir Bois sont l'indice d'un gel saisonnier (van Vliet Lanoë 1988, p. 657-658). Les formations cryoturbées inférieures de l'unité E5 base et le head caillouteux de l'unité E5 sommet permettent de définir un contexte thermique et hydrique de milieu humide à gel saisonnier profond qui reflète un milieu périglaciaire bien installé, milieu qui constituait un environnement favorable au développement des cryosols\* et des déformations injectées. Un décapage préalable par érosion des sols en amont a été nécessaire afin que les bancs rocheux puissent affleurer et produire les géli-fracts constituant le cailloutis fortement déformé de l'unité E5 base (faciès cryoturbé) et le cailloutis étalé de l'unité E5 sommet (head calcaire).

### 3.5.7 Passage de l'unité E5 base à l'unité E5 sommet: indicateur de modifications des conditions environnementales ?

Le passage de l'unité E5 base cryoturbée fortement déformée à l'unité E5 sommet (head), peu déformée mais étalée, exprime peut-être une modification des conditions environnementales. D'après B. van Vliet-Lanoë, les formes actives que constituent les formations cryoturbées sont susceptibles d'être fossilisées

en une sorte de glacis et d'être enfouies par de nouveaux dépôts éoliens à un stade particulier de leur évolution en raison de sévères changements dans les conditions climatiques. Le passage de l'unité cryoturbée E5 base à l'unité E5 sommet (cailloutis étalé ou head), est peut-être le signe d'une diminution de l'eau interstitielle de la nappe capillaire, ce qui a pu produire un changement dans la dynamique de dépôt, la cryoreptation supplantant alors le gonflement cryogénique différentiel. Le cailloutis supérieur (head, unité E5 sommet) n'est en effet plus du tout déformé après son dépôt.

Une transition entre un climat froid humide et un climat froid, plus sec, accompagné d'un blocage des eaux d'infiltration (barrière capillaire), pourrait s'être produit à Alle, Noir Bois. Lors de ce passage, le paysage a eu tendance à se figer morphologiquement, l'unité E5 base devenant un glacis. Le dépôt lœssique remanié de l'unité E4 (chap. 4.2.2 et 5.5.3.2), succédant au cailloutis constituant l'unité E5 sommet (head), pourrait signifier soit une interruption du dépôt caillouteux par le tarissement de la production de cailloutis calcaires en amont, soit un changement des conditions environnementales (climat, approvisionnement d'eau).

### 3.5.8 Indices de cryosols dans l'unité E5

Au sein des sédiments cryoturbés de l'unité E5 base (chap. 3.2), on a observé de nombreux liserés horizontaux matérialisés par des dépôts de précipitations d'hydroxydes de Fe/Mn associés à des sablons siliceux et à des silts très fins. Il n'est pas interdit de penser que des ruissellements précoces sur un sol encore gelé aient pu apporter des dépôts sableux siliceux en pellicules et des nodules, avant que ne s'effectue une précipitation bactérienne ferrique marquée par un encroûtement ferro-manganique superposé aux nodules. Toutefois, ces ruissellements ont été limités dans l'espace. Par la suite, ces bandes hydromorphes de ruissellement, peut-être à l'origine d'anciennes surfaces de cryosol, ont été déformées par le gel (formes en involutions, slumps, etc.). De la même manière, des dépôts sableux siliceux non déformés ont été reconnus au sommet du dépôt de l'unité E5 sommet siliceux, dans la partie orientale du site, impliquant que des ruissellements ont pu se produire avant le dépôt des limons lœssiques remaniés de l'unité E4.

### 3.5.9 Quelques définitions

*Couche active (active layer)* : c'est une couche située entre une couche gelée en permanence en profondeur ou un plancher rocheux, et la couche de surface qui se rigidifie lors de gel. La différence de gélivité entre les matériaux dans la couche active induit des tensions qui créent des contraintes intrasédimentaires (modèle de Sharp, Boardman 1985, p. 142). Ces dernières produisent des formes de cryoturbation profonde en milieu périglaciaire (van Vliet-Lanoë 1985). Un niveau éolien (lœss) humide est susceptible d'une consolidation superficielle rapide en cas de regel et, lorsque le front de gel descend, les pressions provoquent alors un stress dans les sédiments plus profonds avec des injections verticales. A Alle, Noir Bois, il semble que ce mécanisme ait prévalu dans l'unité E5 base.



*Involutions, slumps* : il s'agit de mécanismes de formation qui apparaissent lors du dégel. La couche de glace superficielle fond, mais le front froid subsiste et il se produit des ruissellements (Boardman 1985, p. 142). Quand le dégel augmente, le reste de l'eau s'infiltré et reste prisonnière de la masse, et le milieu devient sursaturé. Ce processus peut conduire aux figures de charge de type involutions ou slumps crénelés. Elles peuvent ressembler parfois à celles produites en milieu de fluctuation lacustre (Moulin 1991). Les involutions fossiles montrent à l'occasion des traces de rubanements (recristallisation d'hydroxydes de Fe et Mn), ce qui signifie une hydromorphie active avec processus bactérien de précipitation du fer. Les sites potentiels pour les involutions sont les matériaux de textures différentes, même légèrement, qui présentent une gélivité différentielle superposée (susceptibilité au gel). Ces matériaux intercalés sont situés dans la frange capillaire de la nappe, avec ou sans permafrost à la base, un soubassement calcaire peut faire l'affaire.

*Les heads et dépôts lités de cailloutis* : les dépôts de solifluxion sont nettement plus caillouteux et plus riches en matrice fine que les arènes et les grèzes. La mise en place en pied de versants implique une dynamique initiale par solifluxion, parfois retouchée par le ruissellement et les coulées boueuses. Localement, un déplacement relativement lent caractérisé par une cryoreptation peut se produire. Le gel profond requis pour la formation des heads est combiné avec un dégel lent, dans un contexte relativement sec. Les heads ont une matrice limoneuse, une agrégation granulaire et une teneur en cailloux importante, orientés selon le grand axe de la pente et, à l'aval, souvent en position relevée. Les blocs sont les témoins d'un décapage préalable et d'une cryoclastie. La présence d'une matrice limoneuse peut témoigner d'une importation éolienne, ou du résultat d'un apport par drainage latéral en bas de versant. Les ruissellements ont été probablement fréquents mais peu importants en volume, et réintégrés rapidement dans la dynamique de versant par la cryoreptation omniprésente. La dynamique des heads a beaucoup ralenti lors des périodes les plus sèches du Pléniglaciaire (van Vliet-Lanoë 1988).

*Cryosuccion* : il s'agit du phénomène de l'aspiration de l'eau non gelée vers le front de gel (Lautridou 1987, p.119). La zone meuble en contact avec le front de gel s'appauvrit en eau, se consolide et produit des éléments de sol très stables avec le temps. La transformation de l'eau déplacée, de l'état liquide à l'état solide, s'accompagne d'un accroissement de volume de 9 %, il y a gonflement. Le mouvement de l'eau dans les sédiments, notamment dans les capillaires vers les espaces libres près du front de gel (porosité, etc.), produit un flux qui exerce des pressions et des contraintes qui peuvent être énormes.

*Déformations dues au gel* : dans les couches dégelées bloquées entre le sol gelé en profondeur, ou toutes surfaces bloquantes et le gel saisonnier de surface, les contraintes de pressions, si le sol est hétérogène (gradient de gélivité), peuvent provoquer des déformations importantes. Lors du dégel, à

cause de la sursaturation en eau dans les zones du front gelé, les sédiments peuvent atteindre la limite de plasticité, voire de liquidité. Une couche peut alors migrer sur une pente (gélifluxion, ruissellement, creep) ou bien, lorsque le système est fermé et que les surpressions ne peuvent plus se détendre en surface, une déformation des horizons peut se produire: figures de cryoturbation, d'injection, d'involutions, etc.)

*Cryoreptation ou Frostcreep* : il s'agit de la reptation liée à la fonte de la glace capillaire de ségrégation contenue dans le sol qui s'exprime sous forme de gonflement et de mobilisation de masse en milieu dévégétalisé; il y a perte partielle de la couverture herbeuse lors des phénomènes de surcharge hydrostatique en période de fonte nivale ou de fonte de la glace). La cryoreptation est caractéristique des pentes modérées telles que celles de Noir Bois: entre 5 % et 15 %. L'origine mécanique du litage et le contact entre deux ensembles sédimentaires de sensibilité au gel différent. Le contraste textural peut être faible, une différence de 0,5 % de teneur argileuse suffit. Les formations solifluées, dont la mise en place est dominée par la cryoreptation, sont l'indice indubitable d'un gel saisonnier (unité E5 sommet).

*Cryosmose* : c'est le mécanisme de l'eau migrant du front non gelé vers le sol qui gèle que l'on nomme front froid ou front de gel.

*Déplacements cryogéniques différentiels* : ils s'expriment en fonction du degré de gélivité: les graviers très peu gélifs, mais plus poreux, conduisent plus vite le froid à la fin de l'automne et constituent un front de gel local qui attire les eaux interstitielles mobilisées par le mécanisme de la cryosuccion dans les sédiments fins; l'eau se dirige volontiers vers le gel, on dit qu'elle « aime aller geler ». Ce phénomène conduit à une déformation du sol.

*Gélifluxion* : il s'agit d'un mouvement de cryoreptation très accéléré (van Vliet-Lanoë 1987).

*Ruissellement* : en contexte périglaciaire, il a probablement été fréquent mais peu important en volume, et réintégré rapidement dans la dynamique de versant par la cryoreptation\* omniprésente. Par le mécanisme de la cryosuccion, lors du dégel, la couche de glace superficielle fond, mais le front froid subsistant reste près de la surface, il se produit des ruissellements. Lorsque le dégel augmente, le reste de l'eau s'infiltré.

*Solifluxion* : il s'agit d'une lente déformation du sol, quelques cm/an, par des mouvements structuraux résultant des gradients de gélivité en milieu sursaturé en période humide. Dans un tel contexte, un véritable sol n'arrive pas à se développer (croûte cryptogamique). La présence d'une source d'humidité suffisante est un facteur déterminant. Actuellement, on rencontre un tel type de situation dans les parties « chaudes » du Groenland. En contexte arctique, la solifluxion est liée à des étés chauds et humides, permettant la fonte du pergélisol.



### 3.6 Bibliographie

#### Abréviations :

AFEQ	Bulletin de l'Association française pour l'Etude du Quaternaire, CNRS, Paris.
AFES	Association française pour l'étude des sols, Paris.
CNRS	Centre national de la Recherche scientifique, Paris.
(dir.)	Sous la direction de, réunis par.
INRA	Institut national de la recherche agronomique, Paris.

#### Boardmann John (éd.)

1985 *Soils and Quaternary Landscape Evolution*. John Wiley and Sons, Chichester, 391 p.

#### Campy Michel et Macaire Jean-Jacques

1989 *Géologie des formations superficielles : géodynamique. Faciès, utilisation*. Masson, Paris, 433 p.

#### Claridge G. G. C. et Campbell I. B.

1988 Loess sources and aeolian deposits in Antarctica. In : Eden D. N. et Ferkert R. J. (dir.) : *Loess. Its distribution, geology and soils*. International symposium on loess, Nouvelle-Zélande, 14-21 février 1987, Rotterdam, p. 33-45.

#### Lautridou Jean-Pierre

1987 Dépôts périglaciaires. In : Miskowsky Jean-Claude (dir.) : *Géologie de la préhistoire*. Géopré, Maison de la géologie, Paris, p. 117-124.

#### Moulin Bernard

1991 *Hauterive-Champréveyres 3. La dynamique sédimentaire et lacustre durant le Tardiglaciaire et le Postglaciaire*. St-Blaise, Editions du Ruau, 142 p. (Archéologie neuchâteloise 9).

#### van Vliet-Lanoë Brigitte

1985 Frosts effects in soils. In : Boardman John (dir.) : *Soils and Quaternary Landscape Evolution*. John Wiley and Sons, Chichester, p. 117-158.

1987 Dynamique périglaciaire actuelle et passée. Apport de l'étude micromorphologique et de l'expérimentation. *AFEQ* 31/3, p. 113-132.

1988 *Le rôle de la glace de ségrégation dans les formations superficielles de l'Europe de l'Ouest*. Thèse de doctorat d'Etat, Université de Paris I, Sorbonne, 845 p.

1995 Cryosols : In : Baize Denis et Girard Michel-Claude (dir.) : *Référentiel pédologique. Techniques et pratiques*. AFES, INRA, p.131-142.

#### van Vliet-Lanoë Brigitte et Valadas Bernard

1992 Formations de pente litées héritées, cryoreptation et illuvation de particules. Mise au point. *AFEQ* 3/3-4, p. 147-152.

#### van Vliet-Lanoë Brigitte et al.

1992 Soil erosion in Western Europe : from the last interglacial to the present. In : Bell Martin et Boardman John : *Past and present soil erosion*. Oxford, p. 101-114 (*Oxbow monograph* 22).



## 4 CARACTÉRISATION SÉDIMENTOLOGIQUE DES DÉPÔTS

(Denis Aubry)

### 4.1 Introduction

A Alle, Noir Bois, mis à part les éléments figurés sableux et graveleux, la matrice est constituée, pour une bonne partie, de silts finement poreux et argileux. Du point de vue technique, ces caractéristiques auront plusieurs conséquences, notamment:

1. sur la perméabilité de faible à assez faible;
2. sur la sensibilité au gel (en général assez élevée);
3. sur une conservation assez bonne des figures de bioturbation (négatifs de racines, traces de mésofaune, etc.);
4. sur la bonne conservation des traits hydromorphiques;
5. sur la cohésion de la partie superficielle des sols (modération de l'action de l'érosion);
6. sur la préservation des traits pédologiques hérités (agrégats de sols hérités).

#### 4.1.1 Les limites imposées par la nature des dépôts et par l'environnement

Les sédiments d'Alle, Noir Bois, présentent une porosité potentielle faible, latérale (entre 5% et 15%, chap. 5) et, dans une moindre mesure, verticale. Ainsi, les sols ne sont pas préservés des influences atmosphériques. De plus, les remaniements, déformations et altérations chimiques ainsi que les lessivages subis par les niveaux de sols successifs au cours de leur histoire sédimentaire, sont des phénomènes qui n'ont évidemment pas facilité la conservation des marqueurs géochimiques et organiques d'origine. Dans une telle ambiance, les analyses sont donc délicates à mener et les résultats difficiles à interpréter.

La corrosion des matières organiques et la dissolution des carbonates ont été actives tout au long de l'histoire sédimentaire, car la porosité des dépôts terrestres est investie par l'air et l'eau de percolation contenant de l'oxygène (facilement soluble) et du gaz carbonique. Ces deux éléments chimiques favorisent l'activité des micro-organismes ainsi que la production d'acides inorganiques et organiques qui sont nuisibles, entre autres, pour la conservation de la matière organique (os, pollens) et des carbonates.

Les résultats obtenus par les analyses granulométriques, même s'ils sont moins concernés par les facteurs énumérés ci-dessus, peuvent être également influencés par la dissolution et le lessivage d'éléments sableux et graveleux carbonatés (par exemple, les fantômes de galets fluviatiles calcaires dans l'unité E9, chap. 4.2.2). Ce phénomène peut impliquer une modification de la courbe granulométrique par disparition de l'un des constituants d'origine.

Malgré ces handicaps qui peuvent paraître décourageants *a priori*, nous présentons dans cet ouvrage les résultats les mieux décryptés, obtenus à partir des analyses sédimentologiques et micro-morphologiques réalisées sur un certain nombre d'échantillons

ciblés en fonction de la problématique posée: caractériser les ensembles sédimentaires et percevoir les évolutions des traits pédologiques enregistrés dans différents profils de sol.

### 4.2 Granulométrie

#### 4.2.1 Technique d'analyse, mode de présentation des données

Le tamisage de la fraction grossière du sédiment (fraction > 63  $\mu\text{m}$ ) a été réalisé au laboratoire du Séminaire de préhistoire de l'Université de Bâle par Madame Ritter, selon la technique classique par colonne de tamis. La fraction fine (fraction < 63  $\mu\text{m}$ ) a été traitée au moyen de l'appareillage Malvern par Philippe Rentzel au laboratoire Ciba-Geigy à Bâle. Les résultats ont été reportés graphiquement sous forme de courbes cumulatives en mode semi-logarithmique: abscisse logarithmique relative au diamètre des particules en microns et ordonnée arithmétique relative au pour-cent du poids.

Les paramètres de Trask suivants ont ensuite été évalués (Reinek et Singh 1980):

- Q1 (premier quartile), intersection entre la courbe et l'ordonnée à 25 %;
- Q3 (troisième quartile), intersection entre la courbe et l'ordonnée à 75 %;
- Md (médiane), taille relative à 50 % des grains sur la courbe cumulative. Ce paramètre reflète la distribution granulométrique et l'énergie cinétique du sédiment;
- So (*sorting index*, degré de tri des particules;  $So = (Q3/Q1)^{1/2}$ ). C'est un paramètre dont la valeur est fonction inverse de la qualité du classement;
- Sk (*skewness* ou coefficient de d'asymétrie;  $Sk = Q3 \times Q1 / Md^2$ ). C'est un paramètre indicateur de la qualité de l'environnement (tri mécanique, tri pédologique). Un indice  $Sk > 1$  indique que les particules dont le diamètre est inférieur à la médiane (Md) – fraction fine – sont mieux triées que celles de la fraction grossière (diamètre supérieur à la médiane). Un indice  $Sk < 1$  indique que les particules qui ont un diamètre supérieur à la médiane (Md) – partie grossière – sont mieux triées que celles de la fraction fine (diamètre des particules inférieur à la médiane).

Les paramètres énumérés ci-dessus (So, Md, Sk), qui sont calculés à partir de la courbe cumulative, peuvent donner des indices sur le mode du transport subi par un sédiment: éolien, fluviatile, ruissellement, etc. Ces indices peuvent être hérités de mouvements antérieurs. En effet, un sédiment peut avoir été déposé à une époque selon un certain mode de transport (alluvionnement par exemple), puis déplacé ultérieurement selon un nouveau mode de transport (par exemple, par gélifluxion ou ruissellement). Dans le nouveau sédiment, on retrouvera donc des indications sur la nature du premier dépôt.

Les indices constituent ainsi autant d'indicateurs qui peuvent être lus sur une courbe granulométrique cumulative (fig. 22) unimodale (un seul indice), bimodale (deux indices), voire trimodale (trois indices). La courbe granulométrique



peut refléter, dans un cas de figure idéal, l'histoire sédimentaire de chacun des composants granulométriques d'un échantillon de sol remanié.

Finalement, les résultats de l'analyse granulométrique obtenus sous forme de courbes cumulatives, qui permettent ensuite de calculer les coefficients de Trask, peuvent non seulement donner une vision de la composition globale du sédiment, mais également aider à cerner les phénomènes qui ont contribué à son dépôt: climat, énergie du milieu de transport, agent de transport et action de l'homme. Parfois, dans certaines conditions, l'observation d'une courbe granulométrique peut même révéler une évolution pédologique héritée ou développée *in situ* (enrichissement en argiles et silts fins, Aubry 1997).

Dans la présente étude, les descriptions granulométriques sont basées sur la classification du M.I.T. (Massachusetts Institut of Technology, Costet et Sanglerat 1981) selon le mode suivant:

- Argiles: particules de taille inférieure à 2 microns (0,002 mm).
- Silts fins: particules comprises entre 2 et 6 microns.
- Silts moyens: entre 6 et 20 microns.
- Silts grossiers: entre 20 et 63 microns.
- Sables fins: entre 63 microns et 0,2 mm.
- Sables moyens: entre 0,2 et 0,6 mm.
- Sables grossiers: entre 0,6 et 2 mm.
- Graviers fins: entre 2 et 6 mm.
- Graviers moyens: entre 6 mm et 2 cm.
- Graviers grossiers: entre 2 et 6 cm.
- Pierres et galets: taille supérieure à 6 cm.

Granulométrie totale et granulométrie des particules fines (argiles et silts): un problème de méthode

Lorsque l'on étudie les relevés granulométriques issus de la méthode Malvern, qui est une comptabilisation au laser, on constate une variation conjointe des valeurs argileuses (toutes les particules inférieures à 2 microns) et des valeurs argiles et silts fins (toutes les particules inférieures à 6 microns). Il existe donc une corrélation entre les argiles et les silts fins. Sur le site de la Combe Châtron, à Boncourt (Paupe 1998), nous avons prélevé en collaboration avec Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (P. du Pasquier, Institut de pédologie IAETE), deux échantillons de sol (sondage 442 du 11 juin 1997) provenant d'un niveau loessique très argileux identique à ceux de Noir Bois. Un des échantillons a été soumis à l'analyse classique par la méthode Robinson et l'autre selon la méthode de traitement au laser Malvern. Le résultat a été surprenant en ce sens que l'estimation de la teneur en argile, selon la méthode Robinson (communication personnelle de P. du Pasquier du 26.03.98), s'est révélée très élevée (56 %) alors que la méthode Malvern a donné une valeur de 22 % d'argile. Mais si l'on calcule, sur la même courbe Malvern, la valeur cumulée des argiles et des silts fins, c'est-à-dire toutes les particules inférieures à 6 microns, on obtient une valeur de 55 % pratiquement identique à celle de l'EPFL. Si cette constatation devait se vérifier pour toutes les analyses, une des deux méthodes soit sous-estime la teneur réelle en particules granulométriques argileuses (méthode Malvern), soit la surestime (méthode Robinson).

#### 4.2.2 Caractérisation granulométrique des unités E9 à E1

Unité E9 base: graviers fluviatiles calcaires

Ces alluvions ont été observées dans la coupe D (fig. 15), associées aux altérites bariolées E9 sommet. La courbe granulométrique est étalée avec 50 % d'éléments d'un diamètre supérieur à 2 cm (graviers grossiers et galets). Les sables représentent 10 % du sédiment et les fines (silts et argiles) 12 %. Le mauvais tri des particules ( $S_o = 4,8$ ) résulte soit d'une mise en place selon un système torrentiel, soit d'un remaniement (courbe granulométrique cumulative étalée) du corpus graveleux d'origine par des déformations ultérieures dues au gel (chap. 3.5; chap. 4.6, phase 10). Par comparaison, les mesures granulométriques réalisées sur des échantillons provenant de l'Allaine protohistorique et actuelle, s'écoulant en méandre en aval du site (Aubry 1999b), ont donné des  $S_o$  oscillant entre 2 et 6 (tri moyen à médiocre des éléments) avec un redressement des courbes granulométriques cumulatives dans les graviers grossiers (diamètre entre 2 à 6 cm).

Unité E9 sommet: altérites bariolées

Le sédiment, qui contient de nombreux éléments de fantômes de galets totalement décarbonatés, et enrichi en précipitation ferriques, est constitué de silts généralement fins (environ 50 % de silts, dont 35 % de silts fins), sableux (environ 30 %) et argileux (environ 20 %) avec quelques galets décimétriques: galets d'origine vosgienne (10 à 20 cm), galets calcaires déformés et déminéralisés, et pierres isométriques déformées et totalement corrodées d'origine indéfinie. Aucun signal loessique net (pic à 15-45  $\mu\text{m}$ ) sur le diagramme de fréquence Malvern (fig. 19) ni aucun redressement significatif dans la courbe cumulative n'ont été observés. Le  $S_o$  (environ 5) donne un très mauvais classement des particules (indice remanié). Le  $S_k$  calculé, qui s'élève à 1,56, indique que la partie fine du sédiment est mieux classée (indice pédologique?). La médiane ( $M_d$ ) est à 13  $\mu\text{m}$  (classe des silts moyens). On observe un très léger tri dans la classe des sables grossiers (0,6 mm à 1,5 mm).

Unité E8: alluvions sableuses altérées

Les sédiments de l'unité E8 sont interprétés comme étant des alluvions altérées ayant subi une ou plusieurs pédogénèses (chap. 4.6, phase 4 et chap. 5.5.1.2). Ils sont sableux (43 %), silteux (28 %), graveleux (22 %) et un peu argileux (7 %). Il faut noter que si l'on prend en considération uniquement la fraction fine (particules < 63  $\mu\text{m}$ ), on constate qu'elle contient 22 % d'argile. Cette forte proportion de la matrice des alluvions, marquée par l'accumulation de particules argileuses, pourrait constituer un indice de pédogénèse. La courbe de fréquence obtenue à partir des résultats Malvern (fig. 19) laisse entrevoir deux légers pics: un pour les argiles et les silts fins (2  $\mu\text{m}$  à 6  $\mu\text{m}$ , indice pédogénétique) et l'autre pour les silts moyen (15 à 45  $\mu\text{m}$ , indice loessique). La courbe granulométrique cumulative totale est de type trimodale: on observe un redressement (correspondant à un tri des particules) de la courbe dans la classe des sables grossiers (0,3 à 2 mm, indice fluviatile) et les deux légers redressements, cités plus haut, dans les silts fins



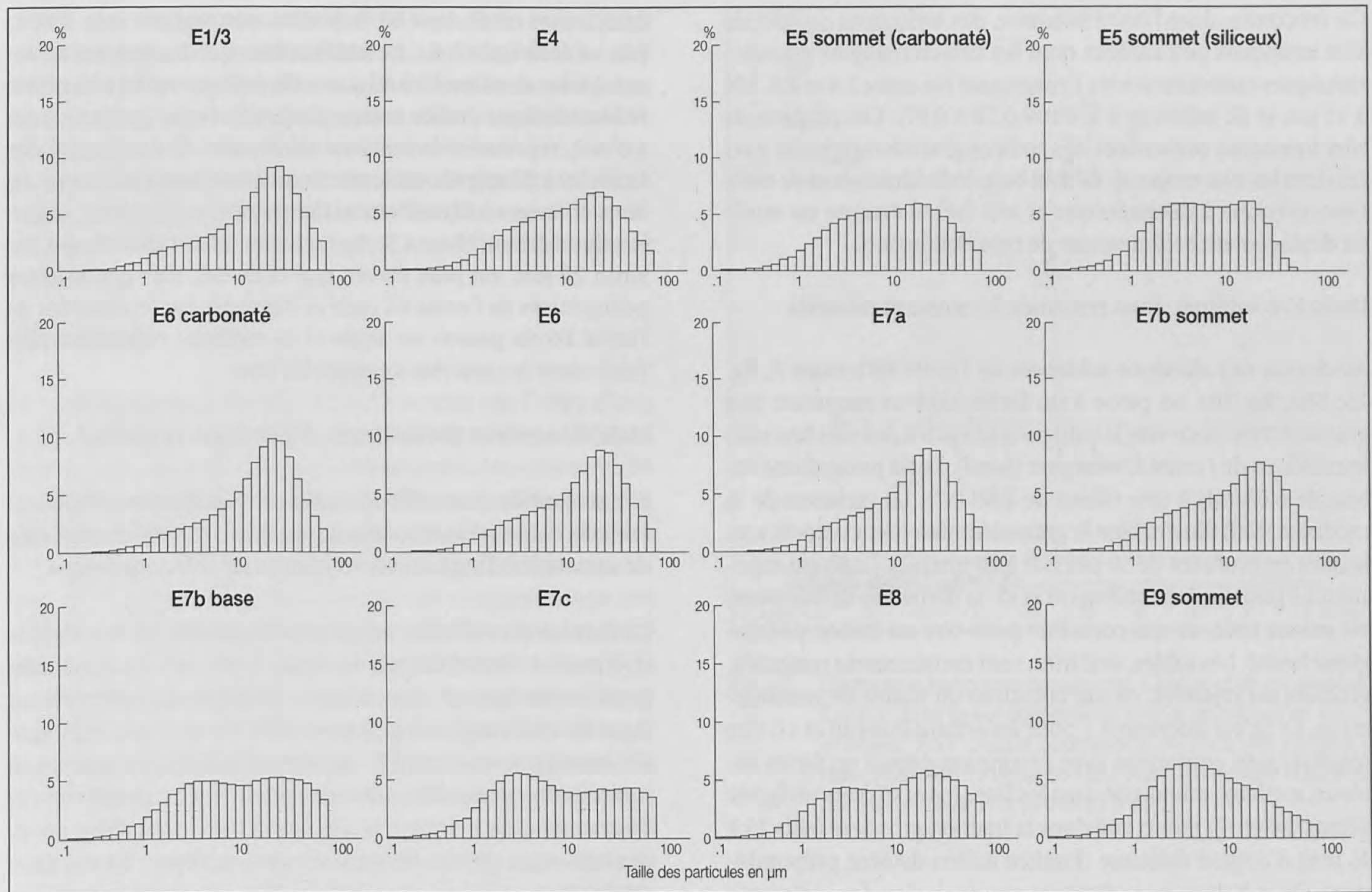


Fig. 19. Diagrammes de fréquence relative à la fraction inférieure à 63  $\mu\text{m}$  des unités E1 à E9 (analyse selon la méthode Malvern). En ordonnée sont reportés les pour-cent pondéraux et en abscisse, la taille des particules en microns. Globalement, on reconnaît deux domaines principaux de tri : le domaine défini par le tri des particules entre 1 et 5 microns environ (souvent c'est un indice de tri pédologique) et le domaine défini entre 15 et 44 microns (indice de tri éolien).

argileux (indice pédologique) et les silts grossiers (indice éolien). Le classement global des particules est médiocre ( $S_o = 10$ ). Le coefficient  $S_k$  donne une valeur particulièrement faible ( $S_k = 0,25$ ) indiquant un meilleur tri dans la partie grossière du sédiment (indice fluviatile). Des valeurs également faibles du  $S_k$  (0,45 à 0,60, indice fluviatile évident) ont été calculées pour les graviers actuels de l'Allaine, (Aubry 1999b). La médiane ( $M_d$ ) se situe à 350  $\mu\text{m}$  (classe des sables moyens).

#### Unité E7c : colluvions sableuses de base

Cet ensemble silteux et gravelo-sableux, contenant de petits charbons fossiles érodés et encroûtés de fer et de manganèse, se retrouve en aval, à l'ouest du site (coupes A et B, fig. 15). Il est issu de l'érosion associée à des mouvements de soutirages karstiques des sédiments de l'unité E8. Il contient des silts (44 %), des graviers (30 %), des sables (19 %) et est un peu argileux. Les diagrammes de fréquence de la fraction fine (fig. 19) présentent une bimodalité avec un redressement dans les silts fins (2-6  $\mu\text{m}$ , indices pédologiques hérités) et un redressement dans les silts grossiers (15-45  $\mu\text{m}$ , indice lœssique). Le redressement dans les sables grossiers (indice fluviatile hérité ?), qui se laisse deviner dans la courbe, est moins net que dans le cas du faciès sablo-graveleux amont (unité E8). L'étalement des courbes (indice colluvial) reflète le démantèlement de l'unité E8 (colluvions

ruisselées) et un mélange de sédiments. Le  $S_o$ , oscillant entre 11 et 16, indique un très mauvais classement des particules (fort indice de colluvionnement). La médiane ( $M_d$ ) se situe entre 55 et 60  $\mu\text{m}$  et le coefficient d'asymétrie  $S_k$ , supérieur à 1 (1,71 à 10), indique un classement meilleur de la partie fine.

#### Unité E7b base: colluvions sableuses ruisselées ayant subi le gel

Le faciès amont est composé de silts (59 à 71 %), de sables (17 à 30 %) et d'un peu d'argile (11 % à 12 %), alors que le faciès aval est très silteux (73 à 86 %), peu sableux (3 à 15 %) et légèrement argileux (11 à 12 %). Positionnés directement au-dessus des sédiments de l'unité E8 en amont du profil (coupe A, fig. 15), ou au-dessus du faciès sablo-graveleux en aval (coupe B, fig. 15), les sédiments de cette unité ont été définis comme étant des colluvions silteuses et sableuses s'apparentant à un faciès de type *Niedererschbacher Zone* par L. Zöller (chap. 7.1). Sur le terrain, une granodécroissance se laisse deviner en direction du haut, celle-ci étant confirmée par la granulométrie. Les courbes granulométriques de fréquence présentent un pic dans les silts moyens à grossiers (10 à 40 %), caractéristique du signal éolien lœssique. Le  $S_o$ , entre 5,7 et 2,4, indique un classement moyen à mauvais des éléments, avec un degré de tri qui s'améliore vers le haut ; le  $S_k$  est supérieur à 1, meilleur tri dans les fines.



On rencontre, dans l'unité E7b base, des inclusions ovoïdes de silts lœssiques peu sableux dont les caractéristiques granulométriques contrastent avec l'encaissant (So entre 2,4 et 2,8, Md à 13 µm et Sk inférieur à 1, entre 0,78 à 0,97). Ces paquets de silts lœssiques présentent des indices granulométriques nets (tri dans les silts moyens). Ils sont bien individualisés et de taille centimétrique à décimétrique et leur forme évoque un mode de déplacement sédimentaire de type solifluxion.

Unité E7b sommet: lœss remaniés, localement ruisselés

Au-dessus des alluvions sableuses de l'unité E8 (coupe A, fig. 15; 58b, fig. 26), on passe à un faciès sableux montrant une granodécroissance vers le haut pour aboutir à des silts fins sous le cailloutis de l'unité E5 sommet (head). Le So passe d'une valeur de 6,03 (s4) à une valeur de 2,60 (s7). La variation de la médiane (Md) illustre bien le granodécroissement vertical vers le haut en évoluant de 30 µm (s4) à 20 µm (s7). Le Sk est supérieur à 1 pour les échantillons s4 et s5: la partie fine du sédiment est mieux triée, ce qui constitue peut-être un indice pédologique hérité. Les sables, mal triés, sont certainement remaniés, géliflués ou ruisselés, ce qui constitue un indice de remaniement. Le Sk est inférieur à 1 pour les échantillons s6 et s7. Ces résultats sont conformes avec l'évolution depuis un faciès sableux, argileux, mieux trié dans les fines (s4 et s5) vers un faciès silteux (s6 et s7) mieux trié dans la fraction grossière (silts 15 à 45 µm) d'origine éolienne (l'indice éolien devient prépondérant). On voit donc ici se dessiner une évolution des sédiments colluviés vers des sédiments éoliens dominant vers le haut. Cette évolution a aussi été relevée dans la partie aval de la coupe A (fig. 15).

Unité E7a : horizon légèrement humique enfoui

Apparaissant en stratigraphie en tant que niveau un peu humifère (petits placages brun rouille entre les polyèdres millimétriques de la structure), ce niveau a été interprété par L. Zöller (chap. 7.1) comme étant un *Löhnerboden* (sol brun arctique). Il est composé de silts assez purs (87 %), est peu argileux (10%) et très peu sableux (1,8 %) (fig. 29). Cet horizon, relevé uniquement dans la partie aval de la coupe 1 (coupe A, fig. 15), ne présente pas de contraste granulométrique par rapport aux sédiments qui lui sont supérieurs ou inférieurs. Les paramètres de Trask (So = 2,37, Sk = 0,87 et Md = 13,5 µm) ne se démarquent pas, en effet, des silts sous-jacents de l'unité E7b et des silts supérieurs de l'unité E6. Par contre, l'analyse optique, à la loupe binoculaire, de la fraction sableuse montre certaines différences: nombreux agrégats de couleur rouille de natures différentes, des nodules de manganèse habituellement rencontrés, et agrégats silteux ocre rubéfiés. Ces éléments laissent deviner les traces d'une certaine activité pédologique.

Unité E6: lœss stadias

Généralement fins, homogènes, finement poreux, peu organiques et fortement micacés, les sédiments constituant l'unité E6, bien représentés dans la partie ouest du site de Noir Bois, montrent deux faciès: l'un carbonaté (unité E6, faciès carbonaté) et l'autre sans carbonate (unité E6, chap. 3.2). Le sédiment de ces

deux unités est fin (env. 90 % de silts), peu argileux (env. 7 %) et peu sableux (env. 3 %). La fraction fine, qui domine, est nettement triée dans les 15 à 45 µm: cela indique un fort caractère éolien lœssique (indice éolien, chap. 4.5). Le So, qui varie entre 1,8 et 2, représente le meilleur classement de l'ensemble des faciès E9 à E1 relevés sur le site (indice lœssique dominant). Le Sk est inférieur à 1 (meilleur tri des particules grossières, indice lœssique éolien, chap. 4.5). La médiane (Md), qui se situe à environ 20 µm, est plus élevée que celle des silts peu sableux pédogénisés de l'unité E4 (voir ci-dessous), car le sédiment de l'unité E6 est pauvre en argile et sa médiane représente plus fidèlement le caractère lœssique de base.

Unité E5 sommet (faciès head): dépôt de pente géliflué

Elle est formée d'un cailloutis assez serré, étalé selon un plan et emballé dans une matrice lœssique parfois rubanée, constituée de minces lits d'argiles avec oxydes de fer et limons beiges.

La matrice du cailloutis est composée de silts (80 %), d'argile (environ 14 %) et d'un peu de sables (environ 6 %). La courbe granulométrique de cette matrice présente un redressement dans les silts moyens à grossiers (10 à 40 µm) caractéristique des lœss. Le So (environ 2,8) indique un classement de moyen à mauvais des particules (indice de remaniement du sédiment et d'accumulation d'argile). Le Sk, égal à 0,85, caractérise un signal lœssique (particules grossières mieux triées). La médiane (Md) à 9 µm est basse et proche du domaine des silts fins.

Le cailloutis lui-même, issu du débitage du Kimméridgien qui affleure en amont, présente en majorité des éléments entre 2 et 6 cm avec quelques éléments décimétriques (maximum 15 cm).

Unité E5 sommet (faciès à éléments siliceux)

Ces dépôts à éléments siliceux, qui succèdent latéralement aux dépôts calcaires de l'unité E5 sommet, se développent sur environ 200 mètres, principalement dans la partie orientale du site. Ils se composent de 50 à 75 % de silts, d'environ 14 % d'argiles et d'environ 10% de sables, on rencontre également des graviers (2 à 21 %) et quelques pierres de nature siliceuse.

On peut lire un signal lœssique (pic à 10-40 mm) sur le diagramme de fréquence relatif à la fraction fine (fig. 19). Le So, qui varie entre 2,8 et 3, indique un classement moyen à mauvais des particules (signal de remaniement et de mélange de matrices). Le Sk (0,75) est inférieur à 1 (partie grossière mieux triée, signal éolien). La médiane (Md) se situe entre 12 et 15 µm dans le domaine des silts moyens.

Unité E4: limons lœssiques supérieurs

Dans la partie amont de la coupe B (fig. 15; col. 2, fig. 14), l'unité E4 présente deux faciès: un relativement peu argileux et un supérieur plus argileux, bioturbé (négatifs de racines) et plus compact. On rencontre des silts fins assez francs (environ 82 %), des argiles (près de 13 % pour la partie supérieure) et peu de sables (environ 6 %). La courbe granulométrique présente un redressement dans les silts moyens à grossiers (signal



éolien, 10 à 40 mm) caractéristique des lœss. Le  $So$  est entre 2,3 et 2,6 (classement moyen des éléments), le  $Sk$  inférieur à 1 (0,8 à 0,9) et la  $Md$  entre 10 et 14  $\mu m$  (classe des silts moyens). Les caractéristiques granulométriques des sédiments de l'unité E4 se démarquent de celles du lœss stadiaire de l'unité E6 par leur plus forte teneur en argiles, surtout dans la partie supérieure (signal pédologique) et par un moins bon classement des particules (signal colluvial). Il s'agit d'un sédiment lœssique remanié.

#### Unités E3 à E1

Les colluvions des unités E3, E2 et E1 ne font pas l'objet d'une étude spécifique dans la présente publication. Ces sédiments sont issus du remaniement par ruissellement des sédiments E9 à E4 (Aubry et Guélat 1997). Ces ruissellements se sont produits à la suite de défrichements et de mises en culture des versants lœssiques qui, à l'origine, étaient sous le couvert forestier holocène. Ils constituent en fait la continuité stratigraphique des profils vers le haut jusqu'au sol actuel. Ils ont une assez forte proportion de silts (70 à 90 %) et sont faiblement argileux (8 % à 12 %). Ils contiennent un peu de sable (en majorité siliceux) ainsi que des pierres calcaires du Kimméridgien local, des galets siliceux vosgiens remaniés et de nombreux charbons. La courbe granulométrique présente toujours un redressement assez net dans les silts moyens à grossiers (signal éolien). La médiane ( $Md$ ) se situe entre 13 et 17  $\mu m$ , dans la classe des silts moyens. Le  $So$  varie entre 2,3 et 2,6, ce qui indique un classement très moyen des particules (signal colluvial). Le  $Sk$  (env. 0,75) est inférieur à 1. Il s'agit du meilleur classement des particules grossières silteuses (signal éolien).

#### 4.2.3 Discussion

##### Les unités E9 et E7 sableuses et graveleuses

##### Le degré de tri des particules ( $So$ ) (fig. 21)

Dans les unités E9 et E7, la présence de sables et de graviers abaisse automatiquement la qualité ou degré de tri de l'ensemble des particules prises globalement. Le  $So$  augmente donc avec la proportion de sables et de graviers. En effet plus la valeur numérique du  $So$  s'élève, moins le sédiment est trié.

##### Le degré d'asymétrie ( $Sk$ ) (fig. 21)

Le degré d'asymétrie ( $Sk$ ) est positif avec une proportion de sables et de graviers supérieure à 15 %. Ceci indique que le corpus sablo-graveleux (particules d'un diamètre supérieur à 63  $\mu m$ ) est mal trié et que les particules fines (d'origine éolienne lœssique avec argiles dans le cas de E7c) sont par contre mieux triées (héritage du tri éolien).

Le mauvais tri du corpus grossier ( $So > 4$  et  $Sk > 1$ ) s'explique par son état soit remanié, soit déplacé, ceci autant par une éventuelle décarbonatation (une perte des grains carbonatés peut impliquer un déséquilibre granulométrique) que par des mouvements dus à des facteurs climatiques et gravitaires (ruissellements, solifluxion, gélifluxion, etc.). Les mouvements évoqués ci-dessus sont formateurs de colluvions au sens large et sont des sédiments par essence mal triés (Courty et al. 1989).

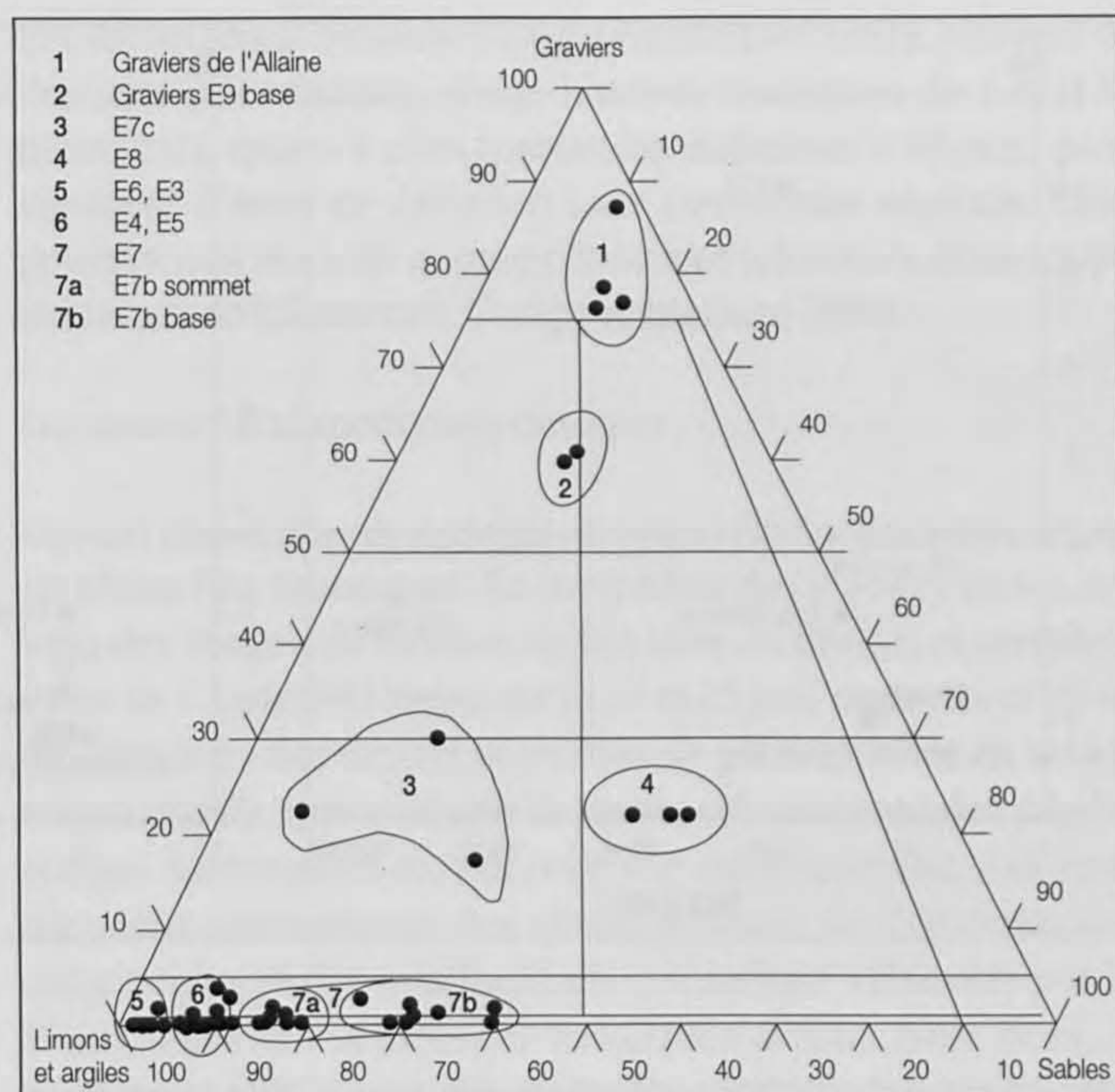


Fig. 20. Diagramme triangulaire des textures. Chaque unité est située en fonction de sa teneur pondérale en gravier, en sable et en limons et argiles. Pour chaque pourcentage on trace une parallèle à l'axe précédent. L'intersection des trois axes désigne la zone de texture des sédiments (unités E1 à E9).

#### La particularité granulométrique de l'unité E8

La situation granulométrique évoquée ci-dessus pour les unités E9 et E7, ne se retrouve pas dans le faciès sablo-graveleux de l'unité E8 contenant le niveau moustérien inférieur. Malgré des fractions sableuses et graveleuses, respectivement 43 % et 22 %, la teneur en argile à 20 % de la fraction fine (< 63  $\mu m$ ) et un mauvais tri (le  $So$  s'élève à environ 11 dans la coupe 58b), le degré d'asymétrie ( $Sk$ ) reste nettement inférieur à 1 dans cet ensemble. Ceci signifie que le corpus sablo-graveleux est mieux trié que le corpus fin et atteste ainsi d'une situation se rapprochant d'un état fluviale peu ou non remanié, état qui présente généralement des graviers et des sables assez bien triés (chap. 4.5). Les sédiments fins (< 63  $\mu m$ ) sont par contre moins bien triés et le diagramme de fréquence Malvern (fig. 19) présente une bimodalité, c'est-à-dire un léger pic au niveau des argiles et des silts fins (chap. 5.2.3) et un pic au niveau des silts moyens à grossiers: la matrice contient également des sédiments d'origine lœssique.

#### Le corpus sablo-graveleux de l'unité E8

Lorsque nous parlons du corpus sableux et graveleux, constitué d'éléments vosgiens siliceux, de chailles locales et de galets déminéralisés (chap. 3.2), on peut se demander si celui-ci ne représente en fait le résidu insoluble (RI) d'un ancien corpus fluviale carbonaté et siliceux altéré. Dans un tel cas, pour les unités E8 et E7, nous aurions uniquement des courbes granulométriques d'éléments résiduels siliceux ayant résisté à l'altération (RS) et pouvant s'éloigner des courbes granulométriques d'origine. Cependant, à ce sujet, il n'est pas interdit de penser que les grains siliceux et d'éventuels anciens éléments



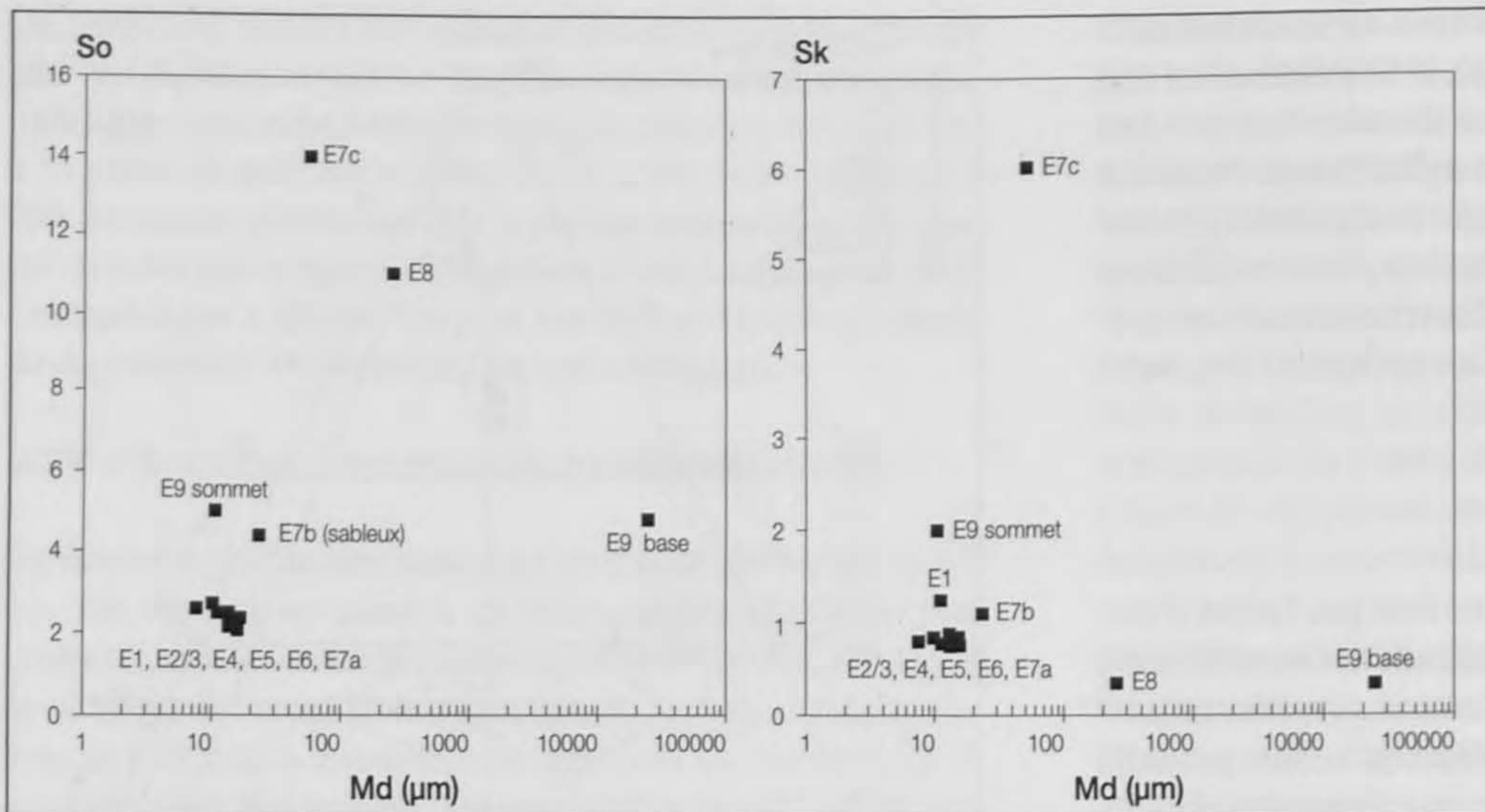


Fig. 21. Représentations de l'indice de classement ( $S_o$ ) en fonction de la médiane ( $Md$ ), à gauche; indice de l'asymétrie ( $S_k$ ) en fonction de la médiane ( $Md$ ), à droite, des sédiments des unités E1 à E9. On remarque que les groupes situés au dessous de la valeur 1 (en ordonnée) de  $S_k$  présentent par définition un meilleur tri dans la partie grossière du sédiment.

calcaires qui constituaient le fluviatile avant altération, aient été emportés par le même vecteur de transport (les courants d'eau). Ces éléments auraient donc été triés d'une égale manière, ce qui signifierait que la courbe RI serait globalement le fidèle reflet de l'ancienne courbe totale avant altération.

Discussion sur la signification de la teneur argileuse des unités E7 et E8

Le corpus sablo-graveleux est proportionnel, nous l'avons vu plus haut, à la teneur en argiles pour les unités E7 et E8. La présence de ces argiles influe également sur le degré de tri global, faisant évidemment abaisser l'influence du tri éolien dans la partie fine de l'analyse granulométrique (fig. 19). L'accumulation des particules argileuses dans les loëss peut souvent être liée à une origine biostasiqne, c'est-à-dire qu'elle se développe lors des périodes climatiques tempérées. Des particules d'argiles peuvent se concentrer par l'altération des minéraux, par la décalcification et par la translocation ou accumulation texturales. En général, les particules qui sont déplacées lors de la pédogénèse dans les sédiments, par illuviation ou éluviation, appartiennent aux classes granulométriques des argiles et silts fins (Baize et Jabiol 1995). La présence d'une accumulation argileuse peut donc, sous certaines conditions, signifier des indices pédologiques qui peuvent s'être constitués *in situ* ou être hérités d'une pédogénèse antérieure. Cependant, il faut rappeler que l'analyse granulométrique effectuée sur les particules < 63  $\mu\text{m}$  (méthode Malvern) ne permet pas de différencier des phases de pédogénèse, ce que seule l'analyse micromorphologique peut faire. L'analyse Malvern permet uniquement d'en déceler les indices.

L'unité E6, indice climatique froid

A l'opposé des caractéristiques argileuses des sédiments des unités E8 et E7, les loëss carbonatés de l'unité E6, déposés lors du Pléniglaciaire supérieur (chap. 4.6, phases 8 et 9) et préservés de l'altération après leur dépôt, contiennent très peu de particules argileuses. Il pourrait s'agir ici d'un indice granulométrique exprimant un milieu froid avec une pédogénèse (altération) très limitée, de type cryosol, par exemple.

#### 4.2.4 Les loëss

##### Caractéristiques

Le corpus fin, constituant soit l'ensemble d'un faciès (unité E6), soit le liant (matrice) des particules sableuses et graveleuses d'un faciès (unités E8, E7c, E7b base), est toujours composé, pour une bonne partie, de grains silteux que l'analyse granulométrique (redressement dans les courbes granulométriques totales, fig. 22) et l'analyse minéralogique (chap. 6) ont défini comme étant d'origine éolienne. Des sédiments apportés par les vents se sont donc déposés, de façon certainement non continue, depuis plus de 100 000 ans sur le site d'Alle, Noir Bois. La nature allochtone de ces dépôts, par rapport au substrat géologique ajoulot, a influencé, et influence encore par leurs caractéristiques géotechniques propres, l'évolution pédologique et le comportement des sols face au gel et face à l'érosion due au ruissellement.

##### Définition

M. Campy et J.-J. Macaire (1989, p. 276) donnent la définition suivante: « Un loëss est un sédiment d'origine éolienne, de couleur brun-jaune, friable mais cohérent, dont les particules de la taille des limons (taille entre 2 et 50  $\mu\text{m}$ ) représentent 60 à 80 % du sédiment avec un peu d'argile et du sable fin. La construction des loëss résulte du piégeage des particules par la végétation herbacée dense. Celle-ci repousse ensuite par-dessus. Les périodes les plus froides ou stadiques ont été les plus favorables à de tels dépôts pendant le Pléniglaciaire en milieu subdésertique périglaciaire ».

Pour H.E. Reineck et I.B. Singh (1980), les loëss montrent une forme granulométrique de tendance uniforme à travers le monde, avec une médiane ( $Md$ ) variant entre 20  $\mu\text{m}$  et 60  $\mu\text{m}$ , et une fraction silteuse représentant entre 60 et 80 % du sédiment. La taille maximale des particules pour une poussière éolienne se cantonne dans les sables fins (0,06-0,2 mm). Pour H.E. Reineck et I.B. Singh, en général, les faciès loëssiques présentent un  $S_k$  inférieur à 1, ce qui se confirme à Alle, Noir Bois (fig. 104).



On constate une mauvaise conservation de la matière organique dans les lœss. En général, l'acidité des sols implique que les os ou les autres matériaux organiques sont souvent dissous ou très altérés (Loyer et al. 1995). Les mesures radiocarbone ne sont donc que rarement applicables, il est plus profitable d'avoir recours à la thermoluminescence.

#### Genèse de la fraction limoneuse lœssique et facteurs de formation lœssique

Le façonnement des grains limoneux lœssiques est réalisé par la pulvérisation des minéraux grâce au jeu de la cryoclastie, par le remaniement de dépôts fins périglaciaires (reste de farine glaciaire) et par une autoconstitution texturale par saltation, les éclats silteux étant produits par les chocs de grain à grain. Les facteurs responsables de la formation des lœss sont le climat, la nature de la source minérale et la topographie. Le climat doit être froid et sec avec des vents fréquents, à proximité d'une zone englacée, car un couvert végétal trop développé tempère les effets du vent. Depuis le nord de l'Europe jusque vers le sud, on observe généralement que la sédimentation éolienne décroît. La plupart des sédiments éoliens se trouvent dans les régions d'altitudes peu élevées (quelques centaines de mètres au maximum) et les principaux dépôts se font sous le vent.

#### Mécanismes du transport éolien

La granulométrie a révélé l'essence éolienne de la matière première du corpus sédimentaire à Alle, Noir Bois. La fraction fine des sédiments a donc été importée par les vents, contrairement à la partie grossière, c'est-à-dire les sables grossiers, les pierres et les blocs qui ont été intégrés dans la masse sédimentaire par d'autres vecteurs de transport que le vent (ruissellements, solifluxion ou cryoturbation). En effet, on sait que sous fort vent en milieu dévégétalisé, les graviers et les sables grossiers (>0,6 mm) restent statiques, mais leur surface est usée par les microchocs.

Les sables fins et moyens (0,06 à 0,6 mm) par contre, peuvent se déplacer par saltation, d'une hauteur maximum de 1 m. Les poussières, quant à elles (particules éoliennes < 50 µm), proviennent d'aires de déflation sans couverture végétale. Elles peuvent parcourir de grandes distances (plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres, Campy et Macaire 1989).

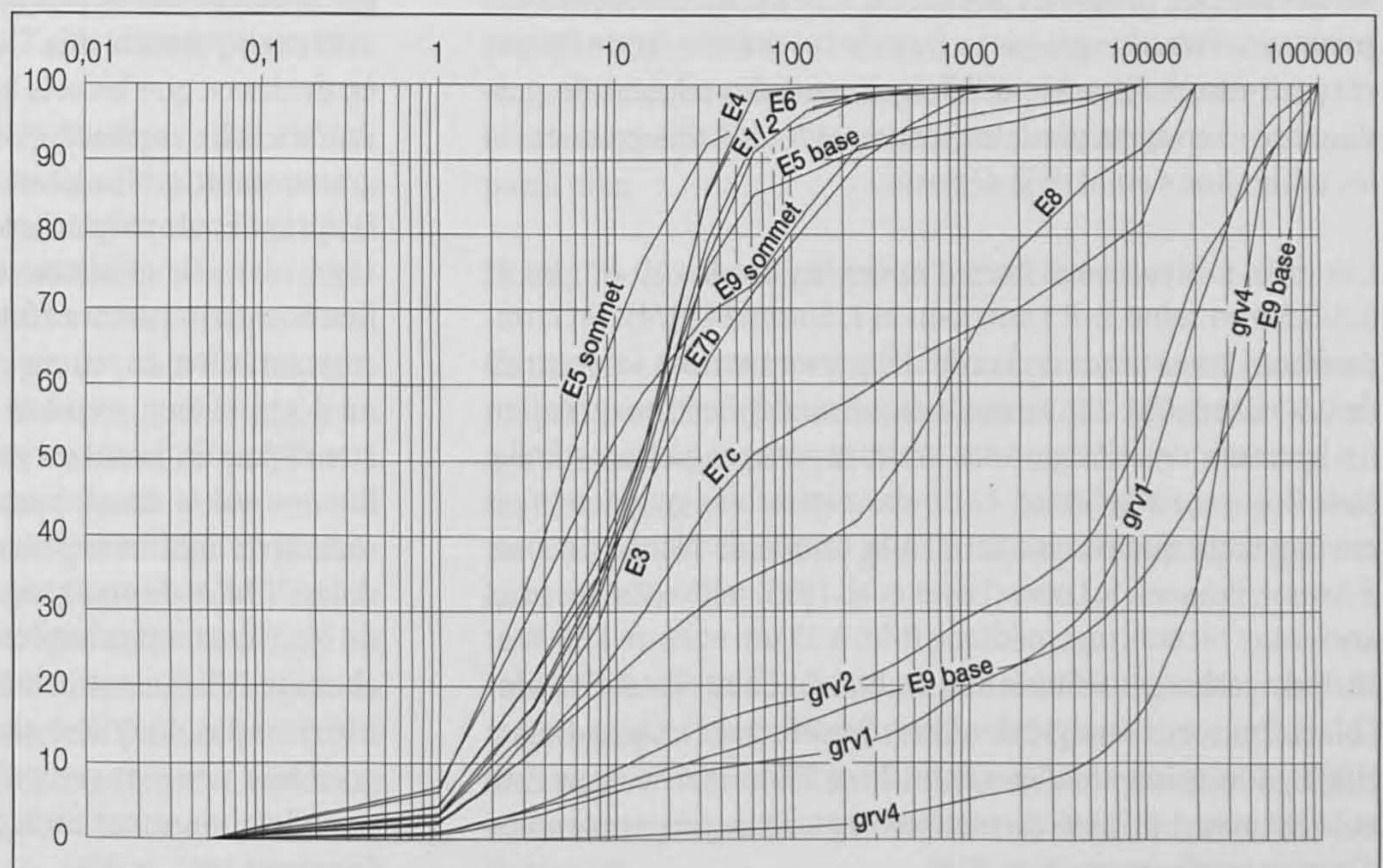
#### Les sources d'alimentation des lœss

Ce sont souvent les épandages alluviaux fluvio-glaciaires riches en phase fine limoneuse. En périphérie des glaciers alpins, les lœss des Vosges, de Bavière, de la vallée du Rhône, et certainement de l'Ajoie (Md basse, entre 10 et 25 µm) ont cette origine. Les alluvions des fleuves et rivières de plaine, riches en sables mieux classés (par exemple le Rhin), ont alimenté des dépôts éoliens hétérogènes du point de vue minéralogique. Les lœss alsaciens contiennent des glaucophanes, de l'épidote, des chloritoïdes et des minéraux du volcanisme véhiculés par le Rhin. Dans les sédiments lœssiques d'Alle, Noir Bois, F. Convertini (1997) a vu des grains de goethite, des grains argileux (kaolinite, illite, smectite), des grains de zircon, de grenat, de rutile, de tourmaline, d'andalousite, de staurotide et des épidotes vertes, ainsi que de la monazite, du disthène, des sphènes, de la zoïsite, des hornblendes vertes et de l'actinote, c'est-à-dire une bien vaste palette minéralogique issue de la multiplicité minéralogique des dépôts périglaciaires et fluviaux régionaux.

#### Provenance alpine d'une partie du corpus éolien

En général, les alluvions des fleuves et des rivières de plaine, qui sont riches en sables, ont certainement alimenté des dépôts éoliens hétérogènes. Dans ce cas, la couverture lœssique garde le cortège minéralogique des alluvions. Dans notre région, les alluvions du Rhin de la plaine alsacienne ont collecté des matériaux (sables, limons, galets) allochtones provenant

Fig. 22. Courbes granulométriques cumulatives caractérisant les unités E1 à E9. On remarque le regroupement serré des courbes de forme sigmoïde unimodale (E1/2, E3, E4 et E6). La courbe E8 est de nature bimodale avec un redressement dans les silts et les sables grossiers. Elle se démarque nettement de la courbe E7c dont les sédiments sont issus du remaniement de E8. A droite du graphique sont représentées la courbe caractérisant l'unité E9 base (graviers fluviaux calcaires) ainsi que les courbes grav1 à grav4 représentant des prélèvements de graviers dans la stratigraphie de l'Allaine holocène et actuelle.





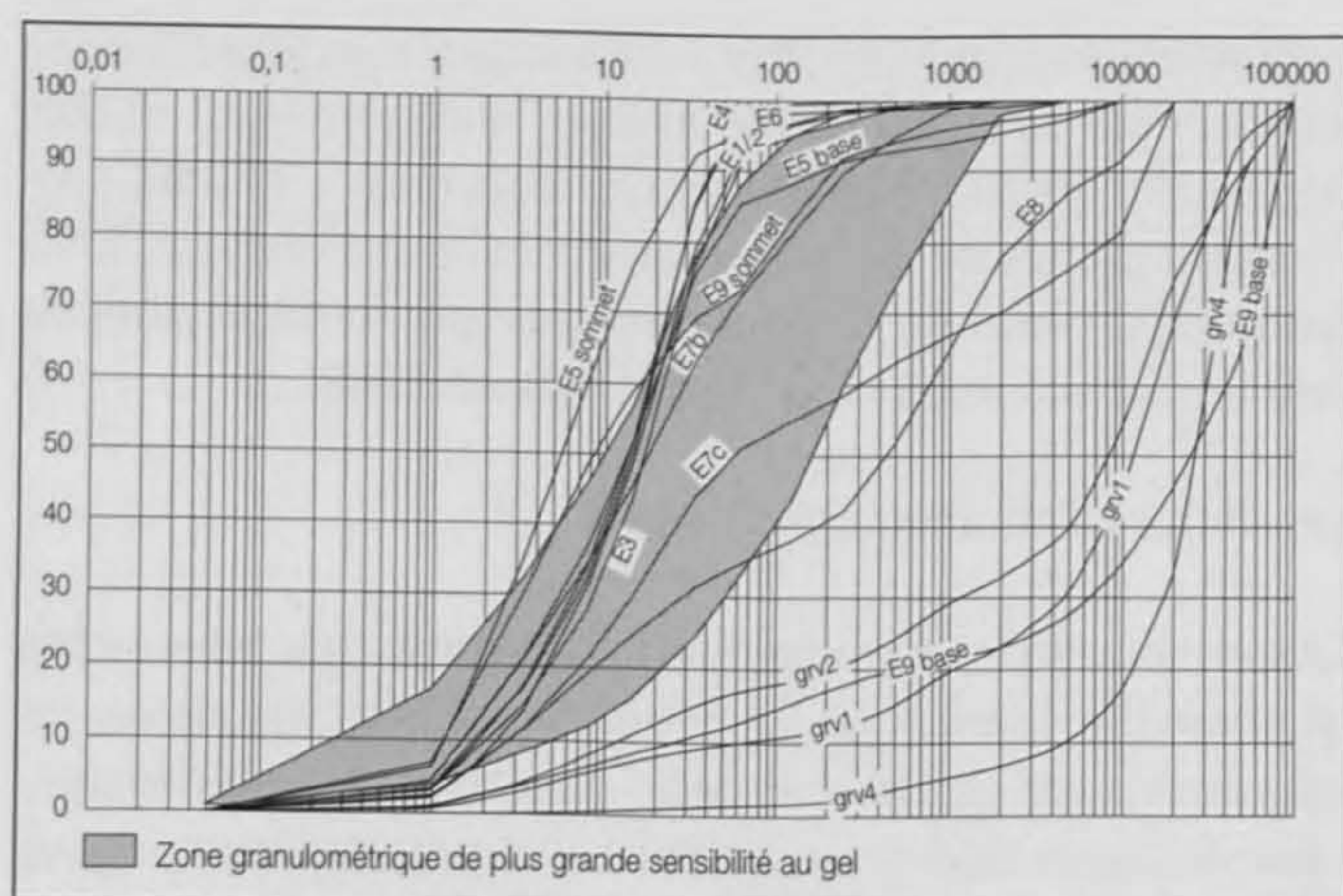


Fig. 23. Courbes granulométriques cumulatives caractérisant les unités E1 à E9. En ombré, le fuseau granulométrique représentant le domaine de la susceptibilité au gel des sols (sols les plus gélifs, Costet et Sanglerat 1981). On remarque que les unités E7c et E8 se situent relativement en dehors de la zone ombrée et que les graviers ne sont pas sensibles au gel. Par contre les sédiments des unités E1 à E7b et E9 sommet se situent en partie ou totalement dans la zone des sols les plus gélifs.

non seulement des Vosges, mais également des Alpes (chap. 6). Donc, s'agissant de l'origine des grains, il faut se garder de conclure trop vite : la présence de minéraux alpins dans le loess n'implique par obligatoirement que des vents aient apporté ces minéraux sous forme de poussières directement depuis les Alpes, ceux-ci pouvant provenir d'éléments alpins acheminés dans la région alsacienne par l'ancien régime fluvial de la fin du Pliocène.

#### Discussions et comparaisons avec d'autres sites

La finesse des loess des faciès peu sableux des unités E7b sommet, E7a, E6 et E4 (Md entre 10 et 15  $\mu\text{m}$  en moyenne) se démarque des médianes relevées sur des loess européens qui paraissent être plus grossiers. Dans le cas présent, cette finesse est peut-être à rattacher à l'éloignement des sources de production – Sundgau, pied des Vosges, etc. – les silts grossiers et les sables fins s'étant déjà déposés.

Les loess sableux sont triés d'après les modes 20-50  $\mu\text{m}$  et 0,2-0,5 mm selon J.-P. Lautridou et J. Sommé (1974). En comparaison, les courbes de l'unité E8 présentent des sables triés de 0,5 à 2 mm (fig. 22), ce qui indique un dépôt autre qu'éolien (tri hydraulique). L'origine des sables moyens et grossiers d'Alle, Noir Bois est autochtone. Le tri dans les sables grossiers n'est envisageable que par les eaux. A la Coupe de Nantois (Côtes d'Armor, France), S. Loyer (Loyer et al. 1995) relève sur des loess anciens et récents une médiane (Md) à 35  $\mu\text{m}$  et entre 12,5 % et 16 % de carbonates. Sur le site de Biache-Saint-Vaast (Pas-de-Calais, France), l'analyse des loess, étudiés par N. Cuna-Bogué (1988), donne une médiane entre 20 et 35  $\mu\text{m}$ , un So entre 2,46 et 10,80 avec 1 à 2,5 % de matière organique. Le pourcentage d'argiles oscille entre 20 et 30 %.

#### La perméabilité et la porosité des loess

La constitution texturale des sédiments détermine en grande partie la porosité et la perméabilité de ceux-ci. Il est généralement admis que les limons et les sables argileux présentent une perméabilité comprise entre  $10^{-3}$  et  $10^{-7}$  darcy [cm/sec] et que la limite d'hydromorphie pour un sol s'établit autour de  $10^{-5}$  darcy (Costet et Sanglerat 1981; Recordon 1984). Il faut rappeler que, par exemple,  $10^{-6}$  cm/sec représente une vitesse de filtration théorique de 30 cm par an. Dans la réalité, les loess présentent une porosité effective plus développée que ne le laisserait supposer la porosité calculée uniquement sur la base des données texturales. Ceci est dû notamment à l'activité biologique au sein du sédiment, qui produit, par l'activité racinaire, de petits canaux ramifiés et de petites galeries inférieurs au millimètre. A l'opposé, les mécanismes de déplacement des particules fines (argiles et silts fins), lors de la pédogénèse, peuvent conduire à un blocage (colmatage) de la porosité. Dans ce cas, la porosité effective est plus faible que celle calculée. C'est ce qui se produit notamment lors de la constitution de l'horizon illuvial Bt, (chap. 5.5.2). A Alle, Noir Bois, la matrice des formations loessiques est de texture principalement silteuse et contient en moyenne 10 à 20 % d'argiles (chap. 4.2). L'analyse micromorphologique (chap. 5) donne une valeur de porosité entre 5 % et 15 %, ce qui caractérise des sédiments peu à moyennement poreux selon la norme AFNOR -ISO 92 (Baize et Jabiol 1995). Les sédiments du site d'Alle, Noir Bois ont donc une tendance à être relativement peu perméables, le drainage interne est plutôt limité, bien plus que le serait celui d'un sable limoneux par exemple. Cette propriété explique l'abondance des traits hydromorphes observés dans les profils d'Alle, Noir Bois (en milieu périglaciaire comme en milieu tempéré).

#### La gélivité des silts loessiques

D'après des critères granulométriques anglais (expériences du Laboratoire des recherches routières de Londres en 1957, Recordon 1984), les sols les plus sensibles au gel contiennent au moins 10 à 15 % d'éléments inférieurs à 2  $\mu\text{m}$  (limite des argiles), alors que les sols contenant plus de 30 % d'argiles ne le sont pratiquement pas. Ces expériences ont permis de mettre en évidence que les sols les plus gélifs sont constitués par des limons (silts argileux) et des sables limoneux dont la courbe granulométrique se situe dans le fuseau ombré de la figure 23. D'après l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (Recordon 1984), les sols gélifs se congèlent en présentant une modification de structure (formation de lentilles de glace), une augmentation de teneur en eau et un gonflement important. Au dégel, la teneur en eau est élevée, la limite de liquidité peut être dépassée. Le sol est engorgé en surface ce qui aura une influence sur le développement pédologique (milieu stagnant réducteur : hydromorphie-décoloration et cristallisation de nodules de fer et de manganèse). Cette sensibilité au gel des limons de Noir Bois a produit les figures de déformation décrites au chapitre 3.5. Pour conclure, il faut préciser que la granulométrie n'est pas un critère absolu à l'égard du gel. Même des sols graveleux peuvent geler s'ils contiennent un excès d'eau dû à un afflux important de liquide précédant les gelées (Costet et Sanglerat 1981, p. 87).



### 4.3 Géochimie

#### 4.3.1 Méthodes

Au vu des limites imposées par un milieu de type ouvert (chap. 4.1), il était inutile de procéder à une surmultiplication d'essais de laboratoire qui n'auraient pas élargi la qualité de notre réflexion technique. En effet, mis à part les résultats obtenus sur le fer et sur les phosphates, les autres marqueurs géochimiques tels que le pH, les teneurs en carbonates ou en matière organique, n'ont généralement pas permis de caractériser les ensembles sédimentaires, contrairement à l'étude granulométrique qui a donné de meilleurs résultats (chap. 4.2).

Malgré ces restrictions, nous avons tout de même procédé à une étude géochimique ciblée sur chaque unité définie (E9 à E1). Différents échantillons de sols prélevés dans les colonnes stratigraphiques de références, mais également dans quelques autres profils du site, ont ainsi été soumis à l'analyse des teneurs en carbonates, en matière organique, en phosphates et en acides humiques ainsi qu'à la mesure du pH. Ces analyses ont été réalisées au laboratoire du Séminaire de préhistoire de l'Université de Bâle par Madame Ritter que nous tenons à remercier ici.

- Les valeurs en *résidus humiques* (matière organique fine) sont obtenues par colorimétrie (réaction avec le fluorure de sodium). Les résultats sont donnés en unités de couleur (u.c.).
- Les teneurs en *matières organiques* sont obtenues par la combustion à 1000° C, dans un four, avec correction du carbone non organique (carbonates). Les résultats sont donnés en %. Cette mesure de laboratoire ne précise pas quelle matière, organique ou minérale, est éliminée lors de la perte au feu (perte de poids) par la calcination à haute température : une déshydratation des hydroxydes de Fe/Mn pourrait par exemple entraîner une perte de poids.
- Les teneurs en *phosphates* sont obtenues par colorimétrie (réaction avec le molybdate d'ammonium). Les valeurs sont restituées en unités de couleur (u.c.). On procède à l'extraction au peroxydisulfate d'ammonium (dosage du phosphore total). Après la minéralisation et la coloration du résidu, on mesure les concentrations (u.c.) à l'aide d'un spectromètre réglé à 800 nanomètres.
- Le *pH* varie de 0 à 14. On mesure au pH-mètre l'acidité d'une suspension de sol dans une solution de chlorure de potassium ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ). C'est une analyse qui est relative à l'état chimique actuel des fluides interstitiels et à l'état du complexe absorbant du sol actif, il s'agit donc, en principe, d'une mesure non fossile. En fait, deux types de pH ( $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ ) peuvent être mesurés dans le sol : le  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  et le  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ . Le premier rend compte de l'activité des ions  $\text{H}^+$  présents à l'état dissocié dans la phase aqueuse du sol, le second mesure à la fois les ions  $\text{H}^+$  déjà dissociés et les ions  $\text{H}^+$  fournis par le complexe organo-minéral par l'action du KCl. Sa valeur est plus faible et plus stable que celle du  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ . En général, le  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  varie d'une unité inférieure par rapport au  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ . Toutefois, dans les faciès anciens (unités E4 à E8), il est permis de supposer que les complexes organo-minéraux sont rares ou inexistantes et que, dans ce cas, le  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  doit être proche du  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ .

#### 4.3.2 Caractérisation géochimique des unités E9 à E1

##### Unité E9 sommet: altérites bariolées

La teneur en matière organique est élevée (8%). En comparaison, celle d'un échantillon prélevé dans l'horizon A1p (sol actuel) atteint 7,5 %. Dans l'unité E9 sommet, cette augmentation de la matière organique, associée à une forte teneur argileuse et à la présence en abondance de fer, pourrait signifier une prise en compte des hydroxydes de fer abondant dans cette couche (analyse optique à la loupe binoculaire) plutôt qu'une présence de matière organique difficile à imaginer dans un faciès aussi ancien et dépourvu de charbons.

##### Unité E8: alluvions sableuses altérées

Les sédiments de l'unité E8 contiennent moins de fer et de manganèse que les altérites fluviatiles plus anciennes (Fe t: 4,12 %). La teneur en matière organique (5 %) est moins importante que pour les altérites fluviatiles de base (unité E9 sommet). Du point de vue géochimique, l'unité E8 ne se démarque pas des autres unités E7 à E4. Toutefois des traces de racines observées dès l'apparition de ce niveau, la compacité plus élevée et surtout l'étude micromorphologique (chap. 5.2) révèlent des indices du développement de plusieurs pédogénèses au niveau de l'unité E8. Les indices pédologiques n'ont donc pas été mis en évidence par l'analyse géochimique.

##### Unité E7c: colluvions sableuses de base

La teneur en matière organique (5%) est moyenne mais plus élevée que dans les loess purs de l'unité E6 (3,5%). Le sédiment ne contient pas de carbonates. Ce niveau ne présente pas un contraste géochimique particulier par rapport aux unités E8 et E7b.

##### Unité E7b: colluvions sableuses à matrice lœssique et lœss remaniés

Géochimiquement l'unité E7b se situe, tout comme E8 et E7c, dans la moyenne des unités E8 à E4. La teneur en matière organique atteint 3,5 % et l'on constate l'absence de carbonates et de résidus humiques, alors que le pH oscille entre 5,8 et 7. Ce niveau ne présente pas non plus de contraste géochimique particulier.

##### Unité E7a: horizon légèrement humifère enfoui

Ce niveau a été interprété sur le terrain comme étant un niveau un peu humifère. Les carbonates ainsi que les résidus humiques (matière organique fine) sont absents et la teneur en matière organique est moyenne (3,5 %). Ce niveau ne présente pas non plus de contraste géochimique particulier par rapport à l'unité E7b.

Une éventuelle pédogénèse qui pourrait être signalée par quelques agrégats de couleur rouille différents des nodules de manganèse habituellement rencontrés et quelques agrégats silteux ocre, n'a pas pu être mise en évidence, tout comme pour l'unité E8.



### Unité E6: lœss stadiaires

Les sédiments de l'unité E6 sont peu organiques et fortement micacés. Ils présentent deux faciès (chap. 3.2): le premier, disposé en amont du site, est carbonaté et contient des mollusques appartenant à une faune froide périglaciaire (unité E6 faciès carbonaté), le second, déposé en aval, est décarbonaté. Le faciès carbonaté contient un pH alcalin ( $> 7$ ), 5 à 20% de carbonates et très peu de matière organique (2,5 %). Le faciès sans carbonate donne des valeurs légèrement supérieures en matière organique (3,5 %); la pédogénèse paraît donc très discrète.

### Unité E5 base: lœss cryoturbés

Cet ensemble constitue une reprise des sédiments des unités E9 et E7, voire E6, par les importants mouvements de déstabilisation sédimentaire, associés au gel, survenus au Pléniglaciaire supérieur (chap. 4.6, phase 10). Les caractéristiques sédimentologiques (géochimiques) des ensembles sont donc diluées, mais subsistent. Finalement, les caractéristiques géochimiques et granulométriques de base des sédiments remaniés ne sont pas modifiées fondamentalement par le mélange des matrices induit par les mouvements de gélifluxion. Durant les phases froides du Pléniglaciaire, il semble se produire une faible altération et une légère modification géochimique des sédiments pendant et après les mouvements de gélifluxion des sols. L'action mécanique peut, par contre, être marquée; elle déplace des particules (translocations argileuses, ruissellements) et des sédiments entiers (mélanges ou inclusions de paquets de matrices différentes).

### Unité E5 sommet: dépôt de pente géliflué à éléments siliceux

Le manganèse et le fer, qui sont des éléments assez abondants dans ce faciès siliceux, se présentent notamment sous forme d'agrégats et d'enduits sur les parties corticales des rognons de chaille siliceuse. La couleur brune du sédiment (teneur en Fe d, 26,3 ‰) a d'abord amené à considérer ces sédiments comme pouvant être récents, éventuellement brunifiés, pédogénisés. En fait, la forme complexée organo-minérale et organique du fer, extrait au pyrophosphate, reste très faible: 0,30 ‰. Cela implique que le sédiment a les caractères d'un milieu peu organique, peu pédogénisé et « stérile ». La teneur en matière organique, relativement élevée (5,5 %) comparativement à celle des lœss E6 (2% de m.o pour le faciès carbonaté), reflète peut-être une plus forte teneur en hydroxydes de fer (chap. 4.3.1). On note une absence de carbonate et de résidu humique (m.o. fine) dans la matrice du cailloutis siliceux (chailles).

### Unité E5 sommet: dépôt de pente géliflué à éléments calcaires

Le cailloutis est emballé dans une matrice lœssique parfois rubanée (minces lits d'argiles avec oxydes de fer et limons beiges). Cette matrice, dépourvue de carbonate, est assez peu organique (5% de m.o.). Les éléments graveleux et pierreux (cryoclastes) sont carbonatés; ils sont issus du débitage du Kimméridgien qui affleure en amont. Le pH alcalin (environ 7,3) reflète l'état actuel des fluides dont la concentration en protons  $[H^+]$  est influencée par la présence d'un peu de sable et du cailloutis calcaire (chap. 4.3.4).

### Unité E4: limons lœssiques supérieurs

Les sédiments de l'unité E4, constitués du dernier dépôt mixte de silts lœssiques et de colluvions de lœss, sont très peu sableux et graveleux dans leur partie inférieure. Ils deviennent bioturbés et compacts dans la partie supérieure marquée par le développement de l'activité de la faune et de la végétation ainsi que par de l'hydromorphie dans la partie sommitale. La teneur en matière organique de la partie inférieure est assez faible (environ 3,5 %) et la teneur en phosphate (entre 3 et 5 u.c.) parfois plus conséquente est à associer au lessivage et à la fixation des phosphates provenant des amendements agricoles actuels en surface (chap. 4.3.3). Le milieu est modérément acide (pH = entre 5,8 et 6,8) et la teneur en fer totale reste dans la moyenne des unités E8 à E5 (3,99 %).

### Unités E3 et E2

Il s'agit de colluvions issues de l'occupation humaine. Contrairement à tous les faciès inférieurs, les sédiments des unités E3 et E2 contiennent des matières organiques fines en décomposition (humus: entre 0,05 et 1 u.c.) et de la matière organique qui oscille entre 3,5 % et 4,5 %. L'acidité est modérée, avec des pH oscillant entre 5,5 et 6,5. La matrice est toujours décarbonatée, mais on constate la présence de sables, de graviers et de pierres carbonatés en général altérés.

### Unité E1

Il s'agit de l'horizon pédologique de surface actuel. Il est décarbonaté et son pH oscille entre 6 et 6,5. Il est enrichi en fragments végétaux tels que des fibres et des radicelles (entre 5 et 8 % de m.o.), mais il contient relativement peu d'humus (entre 0,15 et 0,5 u.c.) car c'est un horizon non forestier.

#### 4.3.3 Réflexion sur les différents phosphates

La méthode utilisée pour l'analyse des phosphates est celle du dosage du phosphore total qui prend en compte toutes les formes du phosphore d'origine organique ou minérale. Dans les sols, les réserves de phosphore utilisables à longue échéance par les plantes sont de deux types: soit organique avec des débris de litière végétale ( $HPO_4^{2-}$  ou  $H_2PO_4^-$  libres, Gobat et al. 1998), certains engrais, des débris d'os, soit minérales avec de l'apatite (phosphate de calcium), de la vivianite (phosphate de fer hydraté).

#### Immobilisation de l'ion phosphate ( $PO_4^{3-}$ )

Dans les sols acides, les hydroxydes de fer et d'aluminium ont un pouvoir absorbant élevé. Les argiles, dans certaines conditions, peuvent fixer l'ion phosphate ( $PO_4^{3-}$ ) par l'intermédiaire de certains cations:  $Ca^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ , etc. Les acides humiques peuvent former également des complexes avec le phosphore.

Dans les sols neutres ou basiques, ce sont les formes carbonatées qui prédominent. On parle de la *rétrogradation apatitique* (Duchaufour 1995) lorsque l'on observe la formation de phosphates tricalciques insolubles associés au calcaire actif fin (2 à 150  $\mu m$ : argiles-sables fins).



L'immobilisation de l'ion phosphate a, comme conséquence finale, une non-assimilation potentielle par les végétaux (phénomène d'insolubilisation). En réalité, on peut constater une remobilisation du phosphore par les plantes. La rhizosphère, associée à de nombreuses bactéries et certaines associations mycorhiziennes (Gobat et al. 1998), peut jouer un rôle très important pour remobiliser le phosphore insolubilisé aussi bien dans le cas des sols saturés en calcium, ce qui est le cas de la plupart des sols agricoles, que dans les sols acides. Le fonctionnement pédologique évoqué ci-dessus implique que les phosphates sont donc moins stables dans la zone d'influence des racines.

#### Evolution du phosphore minéral au cours de la pédogénèse

La pédogénèse, qui se développe dans les sols ayant une couverture végétale, implique que le phosphore anciennement contenu dans les minéraux primaires est remplacé par du phosphore autodiffusible (Duchaufour 1995). Cependant, dans nos régions, la présence importante de phosphates dans les sols est toujours un indicateur de pollution (engrais, usage domestique) ou de décomposition des matières organiques (végétaux, animaux), car on ne le rencontre pas en quantité suffisante comme minéral primaire, ni dans les roches jurassiques, ni dans les couvertures quaternaires lœssiques (Lièvre et al. 1992).

Généralement, la concentration en phosphore dans les débris de litière du sol est dix fois moindre que dans la plante (Duchaufour 1995). A ce déficit naturel, s'ajoute l'exportation des végétaux pour les besoins de la production agricole. Cette exploitation appauvrit donc rapidement le sol en phosphore. Mais, à la suite des apports massifs d'engrais phosphatés, les réserves en phosphore du sol excèdent les besoins des plantes, et les phosphates incorporés au sol, même s'ils sont à l'origine solubles, s'immobilisent rapidement; il se crée alors une accumulation (Lièvre et al. 1992). Lors de fortes pluies, ceux-ci sont

entraînés avec les particules fines. Ce mécanisme de lessivage est certainement à l'origine de l'accumulation des phosphates matérialisée par certaines courbes des profils (fig. 24).

#### Les profils: évolution des phosphates

##### Profil I

Dans le profil I (coupe 58b, fig. 24), l'augmentation significative des phosphates (3,8 à 4 u.c.) correspond de façon très nette à l'apparition du faciès carbonaté de l'unité E6 (5 à 20% de carbonates). La présence des phosphates en plus grande quantité est donc en corrélation avec la notion de rétrogradation apatitique (fixation des ions phosphates par le calcaire actif fin). Par contre, l'origine des ions phosphatés fixés n'est pas clairement définie. Elle peut provenir soit d'un apport d'ions provenant d'engrais et fixés ensuite par le calcaire fin, soit d'un apport éolien en minéraux d'apatite.

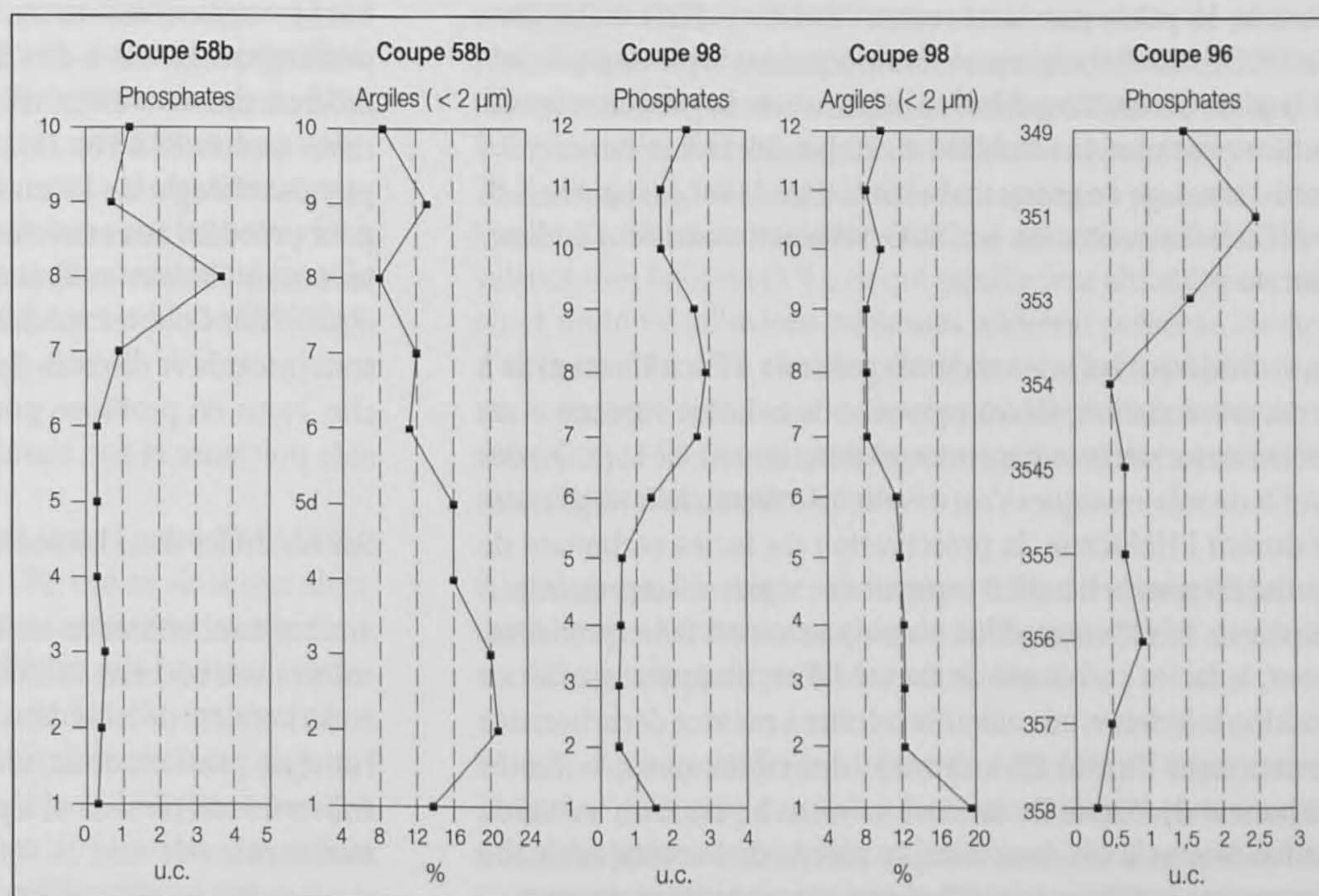
##### Profil II

Dans le profil II (coupe 98, fig. 24), on constate également un bombement de la courbe de teneur en phosphates dans la partie supérieure des profils (dans le profil II, la teneur monte à 2,9 u.c. par rapport à une teneur « bruit de fond » de 0,5 u.c.). La comparaison des courbes argiles-phosphates, qui varient de façon inverse, montre nettement le blocage des phosphates au niveau du plancher imperméable plus argileux (blocage de la porosité par les mouvements texturaux, chap. 5). Cette accumulation phosphatée, qui ne se répercute nullement dans les autres paramètres géochimiques (pH, carbonates, m.o), correspond à une accumulation phosphatée d'origine agricole.

##### Profil III

Dans le profil III, situé plus à l'est du site (coupe 96, fig. 24), l'analyse géochimique présente une variation des teneurs en phosphates. Ces derniers doivent représenter également une infiltration et une fixation de phosphates d'origine agricole récente.

Fig. 24. Evolution verticale de l'accumulation du ion phosphate dans différentes coupes (58b, 98 et 96) par rapport à la variation de la teneur en argile des mêmes coupes. On remarque que l'accumulation en phosphates (en principe récente) paraît bloquée en profondeur par l'augmentation de la fraction argileuse du sédiment (plancher imperméabilisé). Par contre, l'augmentation de la teneur en phosphates au bas de la coupe 98 n'est pas clairement expliquée.





## Conclusions

Les phosphates, déposés en trop grande quantité au niveau du sol, ne sont pas directement assimilés par la végétation qui est constamment exportée (production végétale agricole) et ne sont pas trop dissous par les micro-organismes car l'ion  $\text{PO}_4$ , adsorbé, est peu assimilable (Gobat et al. 1998). Ils s'accumulent donc dans les profils et leur présence en surnombre n'est pas imputable à un héritage éolien ou à un paléotrait pédologique fossilisé. Par conséquent, l'accumulation de phosphates constatée dans les profils évoqués ci-dessus est une résultante des amendements agricoles et non d'une accumulation de grains d'apatite d'origine éolienne par exemple.

### 4.3.4 Préservation des lœss stadias carbonatés de l'acidification générale holocène

Hormis les faciès carbonatés des unités E5 et E6 (chap. 3.2) et la présence de calcite très fine d'origine pédogénétique, relevée par T. Adatte dans l'analyse minéralogique de la fraction  $< 2 \mu\text{m}$  (chap. 6.5), nous n'avons reconnu aucun autre faciès carbonaté dans les ensembles E9 à E4 sur le site d'Alle, Noir Bois. La présence des faciès carbonatés est donc d'autant plus surprenante.

Dans les coupes 58a et 58b (fig. 26), on constate dans le faciès carbonaté de l'unité E6 une concordance entre le comportement des carbonates et celui du pH. A la présence de carbonate est associée une augmentation du pH dans le domaine de l'alcalinité.

Dans les sols calcaires, le facteur principal de la variation du pH est la pression en gaz carbonique ( $\text{pCO}_2$ ) de l'atmosphère aqueuse du sol (Bruckert et Rouiller 1979). Dans la formule (1)  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$ , on constate une relation entre le gaz carbonique et l'eau pour former de l'acide carbonique. Si la  $\text{pCO}_2$  baisse, l'équilibre (1) est déplacé vers la gauche et l'acidité ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) diminue, ce qui fait monter le pH. La variation de la concentration en carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) du sol est également fonction de la  $\text{pCO}_2$  par la réaction (2)  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  (ion bicarbonate en solution dans la phase aqueuse). Si la  $\text{pCO}_2$  baisse, l'équilibre se déplace vers la gauche et le carbonate précipite; la solubilité du carbonate baisse donc, et il y aura davantage de grains carbonatés dans le sol. En conclusion, le pH et la concentration en  $\text{CaCO}_3$  varient tous les deux en fonction du  $\text{pCO}_2$ .

En considérant qu'une tendance générale à l'acidification et à la décarbonatation (développement de la litière végétale et de l'activité des micro-organismes, et donc hausse de la  $\text{pCO}_2$ ) des profils de sols loessiques s'est développée depuis le Tardiglaciaire et durant l'Holocène, la préservation du faciès carbonaté de l'unité E6 sous le head E5 sommet est, *a priori*, surprenante. A ce niveau de réflexion, deux remarques sont à faire: premièrement, le faciès carbonaté de l'unité E6 est toujours associé, en position inférieure, au cailloutis calcaire à matrice décarbonatée constituant l'unité E5 sommet; deuxièmement, le faciès carbonaté de l'unité E6 se situe souvent à plus d'un mètre de profondeur et il est donc hors de portée de l'activité racinaire récente et actuelle qui acidifie le sol (formule (1) ci-dessus).

Il est possible d'élaborer une hypothèse relative à la préservation du faciès carbonaté de l'unité E6 qui s'avère être un phénomène identique à celui observé dans les grès lités (Puisségur 1976). Elle est basée sur l'observation de terrain et sur la chimie du sol: la présence du cailloutis de l'unité E5 sommet (head) a pu constituer un milieu à effet tampon selon la formule (2), avec une lente dissolution des éléments calcaires de l'unité E5 sommet (head). Cette réaction a donc pu retenir une partie des ions  $\text{H}^+$  émis par l'acide carbonique ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) provenant de l'activité pédologique, au travers de l'augmentation de  $\text{pCO}_2$  due à l'activité de la rhizosphère selon la réaction (1). Il s'est ainsi produit une stabilisation du pH dans le domaine de l'alcalinité en profondeur. Il pourrait donc s'agir d'un phénomène d'autoprotection du calcaire fin présent dans le faciès carbonaté de l'unité E6 inférieure. Ce phénomène a pu fonctionner depuis environ 13 000 BP, la décarbonatation du lœss intervenant dès le Pré-Bölling, avant l'amorce de l'illuviation argileuse durant le Bölling (van Vliet-Lanöe 1988 et chap. 5.5.3).

### 4.3.5 Le fer

Les différentes formes du fer dans les sédiments d'Alle, Noir Bois

Le fer, colorant principal des sols (Pochon 1974; Baize et Jabiol 1995), est responsable des teintes de base des sédiments de Noir Bois qui se situent généralement dans les plages 7.5YR à 10YR du code Munsell (Masatada et Hideo 1967). Sur le terrain, la coloration a permis de différencier certaines couches, particulièrement les niveaux anciens 10YR 5/6 à 5/8 des niveaux anthropogènes 10YR 4/6. De plus d'abondants traits ferrugineux ont été observés sous forme de rubanements, de nodules ou de *glébules* (Bruckert et Gaiffe 1985), de taches et d'auréoles de racines.

Réalisée sur plusieurs échantillons concernant les unités E3, E4, E5, E7 et E8, l'étude du fer se place dans le cadre d'une démarche qui a également concerné le site d'Alle, Pré Monsieur (Aubry 1999a). Le but était d'observer l'évolution des diverses formes extractibles du fer, susceptibles d'être des marqueurs pédologiques, c'est-à-dire de matérialiser le développement, la différenciation et éventuellement l'âge des horizons sédimentaires (unités E3 à E8). Le Laboratoire d'écologie végétale et de phytosociologie de l'Université de Neuchâtel a été mandaté pour procéder aux extractions des formes différentes du fer sur les échantillons énumérés ci-dessus. En ce qui concerne le site d'Alle, Noir Bois, les résultats et les interprétations (Vadi 1998) sont intégrés et discutés dans notre problématique de recherche. Nous en profitons pour remercier ici l'auteur pour son aide précieuse et son travail efficace.

### Source du fer dans les sédiments d'Alle, Noir Bois

Aucune contamination en fer, par le fer tertiaire ou par le fer du substratum rocheux (Kimméridgien moyen micritique pauvre en fer), n'a été décelée dans les unités. Le fer pris en compte par l'analyse provient donc, en principe, uniquement des sources éoliennes alsaciennes et alpines (chap. 6) et ses différentes formes exprimées sont la conséquence de la réutilisation d'un stock de base à disposition dès le départ.



Fig. 25. Tableau des teneurs des formes du fer des unités E3 à E8. On remarque l'évolution des rapports Fe d/Fe t qui augmentent vers le bas (état croissant d'altération) et Fe o/Fe d dont les valeurs diminuent vers le bas (âge de plus en plus ancien).

Unités	Fe p (%)	Fe d (%)	Fe t (%)	Mn t (%)	Fe d/Fe t (x100)	Argile (%)	Mat. org. (%)	Feo/Fed (x100)
E3	0,72	11,20	25,10	1,20	44,60	9,5	3,75	42,40
E4	0,31	23,47	39,90	2,43	58,80	13	4	22,30
E5	0,30	26,34	40,00	1,06	65,90	15-20	4 - 5	14,10
E7	0,58	26,86	40,10	0,88	67,00	15-20	5	14,70
E8	0,29	28,47	41,20	1,65	69,10	15-25	6,5	9,90

### Les différentes formes du fer

Les résultats concernent plusieurs types de fer (fig. 25):

- le fer libre *Fe d* est extrait selon la méthode Mehra-Jackson. C'est le fer mobilisable qui correspond à l'ensemble des formes du fer pédogénétiquement actives dans le sol;
- le fer total *Fe t*, ainsi que le manganèse total *Mn t*, issus de l'analyse par fusion au métaborate de strontium. Il s'agit du fer et du manganèse libres (*Fe d* et *Mn d*) auxquels viennent s'ajouter le fer et le manganèse inclus dans le réseau des silicates;
- le fer pyro *Fe p* est obtenu par le pyrophosphate de sodium. Il représente le fer lié à la matière organique (formes complexées du fer: argiles-fer-humus);
- le fer amorphe *Fe o* est extrait à l'oxalate selon la méthode de Tamm. Il prend en compte les formes amorphes et mal cristallisées du fer.

### Le fer libre (Fe d)

La teneur en fer libre (*Fe d*) augmente régulièrement avec la profondeur des couches (fig. 25) et passe de 1,12 % dans l'unité E3, pour osciller entre 2,34 % (E4) et 2,84 % (E8). On remarque que la valeur du *Fe d* se stabilise (environ 2,6 à 2,8 %) pour les unités E5, E7a et E8. M. Pochon (1978) relève dans les sols du Jura, des taux de fer libre oscillant entre 1,9 % et 4,3 %, qu'il trouve également élevés. En ce qui concerne l'homogénéité relative des valeurs des unités E5 à E8, E.Havliceck (communication 22.11.1999) pense que, au moment où le sédiment est enfoui suffisamment profondément pour être soustrait à l'action de la pédogénèse, le fer cesse d'être altéré et recristallisé. Le taux de *Fe d/Fe t* pour ces unités (il s'agit du taux de fer libre [*Fe d*] car le Fer total [*Fe t*] est constant), a tendance à se stabiliser. Ceci peut expliquer des valeurs du taux de fer libre, certes croissantes, mais qui restent assez proches pour les unités E8 à E5, malgré le laps de temps important qui s'est écoulé entre le dépôt de l'unité E8 (Eémien, chap. 5.5.1) et celui de E5 (Pléni-glaciaire supérieur, chap. 4.6).

### Le fer total (Fe t)

La valeur en fer total est la plus basse dans l'unité E3 (2,51 %). Pour les faciès anciens (unités E4 à E8), elle se situe aux alentours de 4%. Le taux de fer total est relativement stable dans tous les échantillons anciens (E4 à E8) et cela pourrait confirmer une même origine au niveau du fer. Ces valeurs sont similaires à celle obtenues par E. Havliceck (entre 3 et 5 %, communication orale Havliceck 1999) pour les sols du Haut-Jura sur matériel allochtone éolien. M. Pochon (1974) relève une valeur entre 4,3% et 7% de fer total, valeur qu'il estime élevée.

### Le fer pyro (Fe p)

Décelé dans les échantillons en faible quantité (environ un centième de la valeur) par rapport aux autres formes du fer (fer libre et fer total), les variations du fer extrait au pyrophosphate (*Fe p*) pourraient ne pas être discriminantes (Vadi 1998). Toutefois lorsque l'on regarde la figure 25, on constate que la teneur en *Fe p* liée à la matière organique (formes organo-minérales du fer, état complexé) est la plus élevée dans l'unité E3 (0,72 ‰) qui est d'origine colluviale (colluvions associées à l'occupation des sols), alors que les teneurs en matière organique (3,75%) et en argile (9,5%) restent faibles.

Le sédiment de l'unité E3 contient de la matière organique fine (humus) alors qu'elle est inexistante dans les faciès anciens des unités E4 à E9. Dans les colluvions anthropogènes charbonneuses de l'unité E3, le fer pyro pourrait donc être associé à cette matière organique dégradée fine.

### L'indice Fe d/Fe t: l'indice d'altération

Avec l'âge croissant du sol, le taux de fer silicate diminue au profit des formes amorphes et oxydes (Havliceck 1999) et certains auteurs (Arduino et al. 1984; Vadi 1998) utilisent le rapport du fer libre (*Fe d*, extractible) au fer total (*Fe t*, le fer extractible plus le fer des silicates) comme indicateur du degré d'altération pédogénétique d'un niveau sédimentaire.

Pour G. Vadi (1998): « plus l'indice *Fe d/Fe t* est élevé, plus le sol aura été altéré, la part des formes actives prenant de plus en plus d'importance par rapport au fer piégé dans les minéraux silicatés au fur et à mesure de la décomposition de ceux-ci ». Pour les unités E4 à E8 (fig 25), les valeurs se situent entre 58 et 70 % (ce qui signifie une altération moyenne à poussée). Pour l'unité E3 (horizon humifère enfoui à caractère colluvial), les valeurs sont faibles (45%), ce qui signifie une altération modérée. L'unité E8 (alluvions sableuses altérées) présente l'indice d'altération *Fe d/Fe t* le plus élevé du lot. Ce faciès sédimentaire constitue également le dépôt estimé le plus ancien de cette série. L'unité E4 (limons loessiques supérieurs) présente un indice d'altération intermédiaire.

Globalement, les valeurs des rapports *Fe d/Fe t* sont relativement hautes, l'altération est bien installée (potentiel d'altération accéléré par la petite taille des particules ?).

Pour M. Pochon (1978), le rapport *Fe d/Fe t* est en relation avec la durée d'évolution du sol. Les formations les plus récentes qu'il a étudiées présentent des valeurs inférieures à 50 alors que les formations anciennes ont des valeurs supérieures à 50. Ses données



sont concordantes avec nos résultats: l'unité E3 récente donne un rapport Fe d/Fe t inférieur à 50, alors que les unités anciennes E4 à E8 donnent un rapport Fe d/Fe t supérieur à 50. Il faut préciser toutefois que nous ne sommes pas dans le même contexte lœssique, celui étudié par M. Pochon étant un contexte de dépôts lœssiques sur les reliefs jurassiens.

L'indice Fe o/Fe d: l'indice d'ancienneté

La présence de fer amorphe (Fe o) dans les sols est considérée comme une preuve de jeunesse et d'une évolution encore faible du matériau d'origine. Avec l'âge des couches sédimentaires, dans un horizon donné, donc avec la profondeur dans un profil, le rapport Fe o/Fe d devrait diminuer. Selon E. Arduino et al. (1986), l'indice Fe o/Fe d peut être employé pour discriminer l'âge des sols. Ce rapport aurait en effet tendance à augmenter dans les sols récents et à diminuer dans les sols anciens. Etant donné qu'il représente le pourcentage du fer amorphe (Fe o) par rapport à l'ensemble du fer extractible mobilisable pour les sols (Fe d), cette tendance se justifie avec l'évolution des amorphes (Fe o) en formes de plus en plus cristallines (oxy-hydroxydes tels que la goethite par exemple) avec le temps (Vadi 1998).

Lorsque l'on analyse les données relatives aux unités E3 à E8, on constate effectivement que le rapport Fe o/Fe d baisse en fonction de l'ancienneté des couches avec respectivement 42,4 pour E3 et un saut à 22,3 pour E4, 14,1 pour E5 base, 14,7 pour E7a et finalement 9,9 pour E8 (alluvions sableuses altérées). Ici, la valeur la plus faible (9,9) correspond effectivement à l'unité la plus ancienne (E8).

Corrélations entre fer et argiles

La teneur en fer total (Fe t) n'est pas directement corrélable avec les teneurs en argile et en matières organiques (fig. 25). Par contre, les valeurs en fer libre (Fe d) varient avec le pourcentage d'argiles: l'unité E3 possède 9,5% d'argile et 1,12% de fer libre (Fe d), les unités E4 à E8 ont quant à elles 13 à 25 % d'argile et 2,34 à 2,84 % de fer libre (Fe d), ce qui laisse supposer un lien direct argiles-fer, lien que M. Pochon (1978) a également observé dans certains de ses profils jurassiens.

Le passage entre la valeur Fe d d'environ 1% dans l'unité E3 à environ 2,3% dans E4 pourrait signifier que le fer libre est associé, entre autres, avec les argiles illuviales du Bt qui ont été détectées par l'analyse micromorphologique (chap. 5.5.3.2).

On considère généralement que le fer et l'argile sont associés au phénomène de la brunification (Duchaufour 1995; Lozet et Mathieu 1990; Havliceck, communication personnelle) qui est un processus pédologique tempéré. Or, dans les faciès anciens de Noir Bois, il n'est évidemment pas possible d'imputer la relation directe fer-argile à une quelconque forme de pédogénèse actuelle. Peut-être est-ce là l'expression d'une pédogénèse héritée, comme par exemple l'horizon Bt dans l'unité E4 ou comme les indices pédologiques de l'unité E8, qui a été interprétée comme pédocomplexe (chap. 5.5.1.2) de l'Interglaciaire *sensu lato* (chap. 5.5.1).

Le fer dans les sols en milieu froid

Les mobilisations du fer en milieux tempérés sont connues, avec les mécanismes de la brunification (association fer-humus-argiles) et de l'illuviation argilo-ferrique jaune, mais qu'en est-il du fer dans les environnements périglaciaires tels qu'ils ont existé au Pléniglaciaire ?

En conditions périglaciaires, avec une température estivale clémente, les précipitations bactériennes de fer sont dominantes (van Vliet-Lanoë, 1988); tous les sédiments meubles contiennent en effet une flore microbienne importante. On observe donc une mobilité du fer exceptionnelle en milieu froid; ceci est en fait le corollaire d'une biodégradation réduite des produits végétaux: le fer reste donc disponible pour les réactions de mise en solution/reprécipitation. L'irisation (saturation en fer soluble) superficielle des eaux stagnantes, associée à l'activité microbologique ferro-oxydante, conduisent à la formation de nodules et glébules (van Vliet-Lanoë 1988, p. 182; Pochon 1978) et d'encroûtements divers (van Vliet-Lanoë 1988, p. 182). Ce mécanisme a pu, par exemple, conduire à l'encroûtement des charbons dans les unités E8 et E7 (chap. 3.2) et expliquer les très nombreux nodules de fer et de manganèse observés dans les sédiments anciens de E4 à E8. Finalement, cette mobilité du fer n'a pas influé sur les concentrations en fer total et en fer libre qui présentent des valeurs assez homogènes pour des unités éloignées dans le temps (E4 à E8).

Le manganèse dans les sols

Le manganèse, qui existe à l'origine dans les minéraux ferromagnésiens et certaines smectites (Duchaufour 1995), est libéré par altération sous la forme soluble  $Mn^{2+}$  échangeable et assimilable par les plantes. Par le jeu du recyclage répété des litières, il peut atteindre des concentrations non négligeables. Dans le sol, le manganèse se concentre par oxydation au sein de concrétions (forme insoluble  $MnO_2$ ) et il est très souvent associé au fer dans les agrégats ferromanganiques. Dans les sédiments du site, la concentration en manganèse total (Mn t) ne varie pas en fonction de l'unité où il se trouve; elle oscille entre 0,088 % (E7) et 0,240 % (E4). La plus haute valeur se retrouve dans l'unité E4 présentant des traits nombreux d'hydromorphie.

Conclusions

L'analyse du fer, appliquée aux sédiments d'Alle, Noir Bois, démontre que cette méthode est fiable. Dans cette étude, on peut constater que les variations de teneur en fer et en manganèse (discrimination entre l'unité E3 anthropogène et celles de E4 à E8) et que les variations des rapports entre les différentes formes du fer (Fe d/Fe t Fe o/Fe d) ne sont pas totalement aléatoires mais paraissent bien correspondre à un découpage stratigraphique. Il semblerait finalement que l'analyse des formes du fer par le biais des rapports Fe d/Fe t et Fe o/Fe d recèle des indications sur l'ancienneté et le degré d'altération des formations en présence. Toutefois, cette méthode d'analyse reste à utiliser avec prudence dans les sédiments anciens, car la source des différentes formes du fer peut provenir d'une évolution sur place ou d'un héritage de sols démantelés.



#### 4.4 Etude géochimique et granulométrique de cinq profils

##### 4.4.1 Le profil I: coupe 58b (fig. 26)

###### Géochimie

Dans ce profil, l'unité E6 faciès carbonaté (s8), se distingue par sa faible teneur en matière organique (2 à 2,5 %). A la présence des carbonates correspond une augmentation significative des phosphates (3,8 à 4 u.c.) et cette relation pourrait signifier une fixation de ceux-ci par le calcaire fin (chap. 4.3.3); celui-ci est signalé par un pH plus élevé (7,6). L'ensemble du profil présente du reste un pH proche de la neutralité. Il n'est pas interdit de penser que la présence de cailloutis calcaire (unité E5) soit à l'origine de la préservation des carbonates de calcium de l'action acidifiante de la rhizosphère (augmentation du pCO<sub>2</sub> et de l'activité bactérienne) dans les sédiments situés au-dessous de lui (chap. 4.3.3).

Les sédiments des unités plus profondes E7 (s4 et s5), E8 (s3) et E9 (s2) dans la coupe 58b ne présentent aucune particularité relevée par nos méthodes de mesures, hormis une teneur en matières organiques plus élevée pour E9 (7,6), valeur qu'il faut peut-être relativiser (chap. 4.3.1).

###### Granulométrie

L'unité E6 faciès carbonaté (s8) se distingue par sa faible teneur en argile (7,5 %) qui est à mettre en relation avec l'activité pédologique discrète qu'a subi le sédiment (van Vliet-Lanoë 1995). Les sédiments des unités E7 à E8 présentent une augmentation des argiles (de 16 à 20%) en corrélation avec l'augmentation des sables (E7 à E8: 17,6% à 43%). Ceux-ci présentent un granoclassement (voir les valeurs des médianes Md),

depuis s6 (E7) jusqu'à s3 (E8). Ce granoclassement se matérialise par l'évolution du degré de tri (So) qui augmente de s5 (E7) à s3 (E8). L'unité E8, dont les sédiments sont mal triés (So 10,9), contient une fraction graveleuse (22 %) non négligeable.

Le Sk (degré d'asymétrie) du sédiment s3 (E8), est particulièrement bas (nettement inférieur à 1) indiquant un tri meilleur dans la fraction grossière, c'est-à-dire dans les graviers fluviaux. Ici, il s'agit probablement d'un tri hydraulique. La fraction fine est par contre mal triée. Cette caractéristique ne se retrouve pas dans les faciès sableux supérieurs mal triés de l'unité E7b (So de 4,47 à 6,03), dont le Sk est par contre positif (Sk environ 1,2). Les sables sont mal triés alors que les fines (particules loessiques) le sont mieux (fig. 22). En fait, il faut donc rester prudent avec le traitement des valeurs de l'asymétrie (Sk): par exemple, dans les faciès silteux des unités E7, E6 et E4, le Sk est inférieur à 1 (entre 0,7 et 0,9) ce qui indique, comme pour les faciès fluviaux, que les particules grossières sont mieux triées que les fines mais ce sont ici des particules d'origine éolienne.

##### 4.4.2 Le profil II: coupes 97 (fig. 28) et 98 (fig. 29)

###### Géochimie

On constate une augmentation des phosphates dans la partie supérieure des deux profils: la teneur monte à 2,9 u.c. par rapport à une teneur moyenne de 0,5. Par contre, il n'y a pas de lien, contrairement au profil I, entre phosphates et carbonates.

La forte teneur en phosphates correspond certainement aux amendements agricoles (chap. 4.3.3). L'augmentation en matière organique au niveau de l'échantillon 12 (coupe 97) est expliquée par le fait qu'il s'agit d'un prélèvement près de l'horizon agricole de surface.

Stratigraphie coupe 58a	Ensembles	Echantillons	Carbonates (%)	Matière organique (%)	Phosphates (u.c.)	Humus (u.c.)	pH	Argiles (%)	Fines < 6 µm (%)	Sables (%)	Graviers (%)	Médiane Md (µm)	So (tri des particules)	Asymétrie Sk
	E6carb.	s14	20	2	4	0	7,7	8	22	2,4	0	6	2,07	0,82
	E6	s13	5	3,5	2,7	0	7,5	12	34	7,2	0	12	2,70	0,80
	E7	s12	0	5,5	2	0	7,4	15	38	7,2	0,8	11	2,76	0,91
		s11	0	6	1,2	0	7,3	16	40	8,2	3,8	11	2,80	0,89
<b>coupe 58b</b>														
	E1/3	s10	0	8	1,2	0,4	6,6	9	23	7,4	0	11	2,45	1,24
	E4	s9	0	6	0,8	0,02	7	13	36	2	0	10	2,50	0,77
	E6carb.	s8	12	2,5	3,8	0	7,6	7,5	30	3	0	15	2,15	0,86
	E6	s7	0	4,5	0,9	0	7,1	12	34	4,6	0	12	2,60	0,86
	E7b	s6	0	4,5	<0,4	0	6,9	11	31	17,6	0	16	2,86	0,80
		s5	0	5	<0,4	0	6,8	16	40	30,4	0	20	4,47	1,25
		s4	0	4,5	<0,4	0	6,8	16	44	40,6	1,6	30	6,03	1,22
	E8	s3	0	5	0,5	0	6,8	20	48	43	22	450	10,90	0,13
	E9s	s2	0	7,5	0,4	0	6,8	21	50	28,6	28,6	12	4,84	1,66
	E10	s1	0	4	<0,4	0	6,8	14	35	5	5	11	2,68	0,90

Fig. 26. Résultats des analyses géochimiques et granulométriques effectuées sur les sédiments prélevés sur les coupes 58a et 58b (fig. 13) selon le profil synthétique II (chap. 4.4).



Stratigraphie coupe 67	Ensembles	Echantillons	Carbonates (%)	Matière organique (%)	Phosphates (u.c.)	Humus (u.c.)	pH	Argiles (%)	Fines < 6 µm (%)	Sables (%)	Graviers (%)	Médiane Md (µm)	So (tri des particules)	Asymétrie Sk
	E1/3	s1	2	4,5	1,4	0,15	6,8	9	30	8,2	-	13	2,45	0,88
	E4	s2	0	5	0,6	0,10	6,1	11	33	3,8	-	11	2,58	0,97
		s3	0	4	2,9	0	5,9	10	26	1,6	-	13	2,34	0,90
	E5_base	s4	0	4	3,2	0	5,9	11	28	2	-	12	2,37	0,90
		s5	0	4	2,9	0	5,8	10	28	1,8	-	14	2,40	0,74
		s6	0	4	2,0	0	5,7	10	29	1	-	13,5	2,40	0,80
	E7b	s7	0	4	1,2	0	5,8	10	27	2,4	-	12,5	2,40	0,92
		s8	0	3,5	1,0	0	5,9	10	29	2,2	-	12,5	2,40	0,93
		s9	0	4	0,6	0	6,1	12	32	2,6	-	12	2,64	0,77
		s10	0	3,5	0,6	0	5,9	13	33	4,6	-	12	2,70	0,80
	E7b_sabl.	s11	0	3	0,5	0	6,2	14	31	21,6	-	20	2,88	0,75

Fig. 27. Résultats des analyses géochimiques et granulométriques effectuées sur les sédiments prélevés sur la coupe 67 (fig. 13).

### Granulométrie

Du point de vue granulométrique, on constate une variation de la teneur en argiles qui augmente de s6 à s2 dans la coupe 98 et de s3 à s2 dans la coupe 97. Tous les échantillons énumérés ci-dessus sont relatifs au faciès sableux de l'unité E7. A cette augmentation argileuse correspond une augmentation des sables dans l'unité E7b, et des sables et graviers dans l'unité E7c. Notons finalement que les variations marquantes du tri (So = 16) et de la médiane (60 µm) relevées dans le profil 98 sont liées au corpus sédimentaire E7c (s3) du faciès sablo-graveleux provenant du démantèlement de l'unité E8 (chap. 4.6, phase 5).

#### 4.4.3 Le profil III: synthèse des coupes 117E et 104W (fig. 30)

### Géochimie

On constate une croissance de la teneur en phosphates dans la partie supérieure du profil (s141 à s143). Cette croissance cesse dès l'augmentation de la teneur en argile de l'unité E7 sableux (s143, s144). Elle correspond donc à une accumulation et à une fixation phosphatée stoppée par un plancher plus imperméable.

L'apparition des acides humiques dans les unités supérieures E3 à E1 (s106 à s102) traduit l'impact anthropique. On remarque l'augmentation de la matière organique dans l'unité E9 (s149, fig. 30) et l'augmentation des phosphates (présence de minéraux phosphatés ?) dans l'unité inférieure sablo-graveleuse E7c.

### Granulométrie

L'augmentation de la teneur en argile des unités E7b sableuse (s144) et E7c sablo-graveleux (s146 et s148), qui progresse de 17,5% (s144) à une valeur assez élevée de 23% (s148), exprime une association argile-sable et graviers déjà rencontrée dans d'autres profils.

L'augmentation d'environ 3% d'argile entre les unités E1 à E3, constituées de pédosédiments colluviés anthropogènes, et le sédiment de l'unité E4 pourrait éventuellement correspondre à un horizon d'accumulation d'argiles illuviales (Bt, chap. 5.5.3.2) selon une situation analogue à celle présentée lors de l'étude de l'occupation campaniforme d'Alle, Noir Bois (Aubry et Guélat 1997, p. 32, fig. 22).

Stratigraphie coupe 97	Ensembles	Echantillons	Carbonates (%)	Matière organique (%)	Phosphates (u.c.)	Humus (u.c.)	pH	Argiles (%)	Fines < 6 µm (%)	Sables (%)	Graviers (%)	Médiane Md (µm)	So (tri des particules)	Asymétrie Sk
	E1/3	s12	0	5	0,5	0	5,8	10	26	4	0	14	2,33	0,84
	E4	s11	0	4	2,3	0	5,7	13,5	33,5	2	0	11	2,64	0,92
		s10	0	3,5	2,6	0	5,7	10	26	0,8	0	14	2,32	0,74
	E6	s9	0	3,5	2,7	0	5,6	10	25	0,8	0	14	2,21	0,81
		s8	0	3,5	2,3	0	5,6	10	27	1	0	13	2,38	0,87
		s7	0	3,5	1,7	0	5,6	11	30	1,6	0	12	2,49	0,87
		s6	0	4	1	0	5,6	9	28	2	0	13	2,36	0,83
	E7b	s5	0	4	0,8	0	5,7	10	30	2,8	0	12	2,42	0,86
		s4	0	4	0,5	0	5,7	11	30	3,4	0	12	2,49	0,87
		s3	0	4	0,5	0	5,8	12	33	5,4	0	11,5	2,64	0,88
	E7c	s2	0	5,5	0,5	0	5,8	15	39	9,6	0,4	11	2,80	0,94
	E10	s1	0	4	2,4	0	6,7	10	31	4,2	0	14	2,27	0,88

Fig. 28. Résultats des analyses géochimiques et granulométriques effectuées sur les sédiments prélevés sur la coupe 97 (fig. 13) selon le profil synthétique II (chap. 4.4).



Stratigraphie coupe 98	Ensembles	Echantillons	Carbonates (%)	Matière organique (%)	Phosphates (u.c.)	Humus (u.c.)	pH	Argiles (%)	Fines < 6 µm (%)	Sables (%)	Graviers (%)	Médiane Md (µm)	So (tri des particules)	Asymétrie Sk	
	E4	s12	0	3,5	2,2	0	5,6	10	30	1,2	-	12	2,39	0,88	
		s11	0	4	1,7	0	5,6	9	27	1,6	-	12,5	2,36	0,90	
	E6	s10	0	3,5	1,7	0	5,6	8	28	2,4	-	13	2,38	0,87	
	E7a	s9	0	3,5	2,6	0	5,7	10	27	1,8	-	13,5	2,37	0,87	
	faciès éolien	E7b	s8	0	3,5	2,9	0	5,7	9	25	2,4	-	14,5	2,31	0,80
			s7	0	3,5	2,7	0	5,8	9	25	2	-	14,5	2,31	0,80
			s6	0	3,5	1,4	0	5,7	11	30	2	-	12	2,43	0,98
	faciès colluv. sabl.	E7c	s5	0	4	0,6	0	5,7	13	33	3,2	-	11,5	2,12	0,54
			s4	0	3,5	0,5	0	5,7	13	34	8,8	-	7	2,40	0,80
			s3	0	3,5	0,5	0	5,8	12	33	15,4	0,1	15	2,72	0,82
	E7c	s2	0	4	0,5	0	5,9	13	35	19	30	60	16	10	
	E10	s1	0	4,5	1,3	0	6,3	20	45	30,8	0,8	19	5,36	1,27	

Fig. 29. Résultats des analyses géochimiques et granulométriques effectuées sur les sédiments prélevés sur la coupe 98 (fig. 13) selon le profil synthétique II (chap. 4.4).

Dans le profil stratigraphique situé en aval de la coupe B (fig. 15), on a remarqué la présence de paquets de silts lœssiques de forme ovoïde inclus dans la matrice sableuse.

Les analyses géochimique et granulométrique ont permis de montrer l'indépendance totale des caractéristiques sédimentologiques de ces paquets: la matière organique baisse brusquement en s145 et s147 par rapport à l'encaissant s146 et s148. On constate une décroissance brusque des argiles et des sables dans s145 et s147 par rapport à l'encaissant s146 et s148.

Il n'est pas interdit de penser que cette « isolation » traduise une conservation des qualités du sédiment original de ces paquets de lœss déplacés par cryoturbation dans un milieu froid. Ce phénomène a également été observé sur le site moustérien de Pré Monsieur (Aubry 1999a), il paraît exclure des déplacements par ruissellements. Une origine par remplissage silteux (épigénie) après dissolution de galets paraît par contre difficile à expliquer dans un contexte estimé froid.

#### 4.4.4 Le profil IV : coupe 96 (fig. 13 et 31)

Ce profil, situé nettement plus à l'est du site, représente la zone de terminaison ultime du faciès d'épandage subhorizontal de l'unité E5 sommet (head).

##### Géochimie

L'analyse géochimique présente ici des résultats non significatifs. On observe une variation non conjointe des teneurs en matière organique par rapport à celles des phosphates. Ces derniers doivent représenter des infiltrations et une fixation de phosphates d'origine agricole récente (chap. 4.3.3).

##### Granulométrie

Ici, l'unité E5 sommet (head, chap. 3.4) se présente sous la forme d'un cailloutis peu serré (type *matrix supported*). La teneur en argile est élevée (14,5 à 20 %, s353 et s354). Les sédiments des

Stratigraphie coupes 104 et 117	Ensembles	Echantillons	Carbonates (%)	Matière organique (%)	Phosphates (u.c.)	Humus (u.c.)	pH	Argiles (%)	Fines < 6 µm (%)	Sables (%)	Graviers (%)	Médiane Md (µm)	So (tri des particules)	Asymétrie Sk
	E1/3	s102	0	4,5	1,5	0,25	5,3	7	26,5	5	-	15	2,32	0,80
		s103	0	3,5	0,8	0,15	5,4	9	25	6	-	16	2,30	0,76
		s104	0	4	1,3	0,25	5,5	9	24	4	-	17	2,32	0,78
		s105	0	3,5	1,1	0,15	5,5	10	25	4,5	-	16	2,32	0,76
		s106	0	3,5	1,1	0,10	5,4	10,5	26	8	-	15	2,31	0,74
	E4	s141	0	4	1,1	0	6	11,5	32	8	-	13	2,49	0,75
		s142	0	4	2,2	0	5,6	12	31	6,4	-	13,2	2,58	0,78
	E6	s143	0	3,5	2,9	0	5,9	12,5	32	10,4	-	13,4	2,70	0,83
	E7b	s144	0	3,5	1,1	0	5,9	17,5	42	30,8	1	20	4,70	1,13
	E10	s145	0	3,5	1,2	0	5,7	10	26	6,2	-	14	2,28	0,66
	E7c	s146	0	5	1,0	0	5,8	22	46	29,2	17,2	55	11,10	1,71
	E10	s147	0	3,5	2,8	0	5,7	12,5	34	11,8	-	12,5	2,87	0,84
	E7c	s148	0	5	2,5	0	5,7	23	48	39,4	0,2	28	5,70	0,66
	E9s	s149	0	7,5	3,2	0	6,5	26	58	24	2,8	9	5,11	2,18

Fig. 30. Résultats des analyses géochimiques et granulométriques effectuées sur les sédiments prélevés sur les coupes 117E et 104W (fig. 13) selon le profil synthétique III (chap. 4.4).




Stratigraphie coupe 96	Ensembles	Echantillons	Carbonates (%)	Matière organique (%)	Phosphates (u.c.)	Humus (u.c.)	pH	Argiles (%)	Fines < 6 µm (%)	Sables (%)	Graviers (%)	Médiane Md (µm)	So (tri des particules)	Asymétrie Sk
	E4	s349	0	3	1,5	0	5,8	-	-	6,6	-	-	-	-
		s351	0	3,5	2,6	0	6	-	-	9,4	0,4	-	-	-
	E5 sommets	s353	0	5	1,1	0	6,6	14,5	40	6,8	-	9	2,76	0,85
		s354	0	3,5	0,5	0	7,4	20	55	4,5	-	6	2,52	0,80
	E5 base	s3545	0	3,5	0,7	0	7,2	-	-	5,6	0,6	-	-	-
		s355	0	4	0,7	0	7,3	-	-	9,5	1,4	-	-	-
		s356	0	4,5	0,9	0	6,6	18	58	8,2	-	-	-	-
	E7b	s357	0	4,5	0,5	0	6,7	-	-	19,1	-	-	-	-
	E9 sommets	s358	0	6	0,3	0	6,6	30	52	14,6	-	-	-	-

Fig. 31. Résultats des analyses géochimiques et granulométriques effectuées sur les sédiments prélevés sur la coupe 96 (fig. 13) selon le profil IV (chap. 4.4).

faciès inférieurs remaniés par les mouvements de cryoturbation de l'unité E5 base (18 % d'argile, s356) sont également argileux. Les sédiments de l'unité E7 (s357) sont caractérisés par l'accroissement de la teneur en sable (de 8,2 % à 19,1 %, s356 et s357). L'unité E9 sommet (*terra fusca*) se démarque également par l'augmentation de la teneur en matières organiques (6 %, s358) et par sa forte teneur en argiles (30 %, s358).

#### Bilan

Le profil IV montre la persistance de l'unité E7 sous sa forme sableuse, disposée selon les caprices du karst (dépressions) et du cailloutis supérieur de l'unité E5 sommet, moins riche en éléments calcaires et plus silteux qu'à l'ouest. Le faciès cryoturbé E5 base reste toujours difficile à décrire car il est matérialisé par un mélange de matrices.

Dans ce profil, comme pour ceux situés plus à l'ouest du site (fig. 13), on trouve la relation entre matière organique et teneur en argile sans qu'il soit possible, à l'heure actuelle, d'en tirer des conclusions d'ordre paléopédogénétique concrètes.

#### 4.4.5 Le profil V, coupe 199 (fig. 32)

Il se situe à la terminaison orientale du secteur stratigraphique étudié d'Alle, Noir Bois. Dans cette partie, la variété des faciès se raréfie et on constate également un amincissement notable de ceux-ci.

#### Géochimie

L'unité E3 (fig. 32), qui contient des paillettes et micropaillettes de charbons, se distingue du point de vue géochimique par la teneur en humus (m.o. fine dégradée), élément que l'on ne retrouve jamais dans les unités anciennes E4 à E9. La teneur en matière organique dans l'unité E3 est plus faible (4 à 5 %) que celle de l'unité E5 sommet (à cailloutis siliceux, entre 5 et 6 %). Il faut préciser que l'analyse de la matière organique par la méthode de la perte au feu ne prend en compte que la fraction inférieure à 500 µm du sédiment et ne comptabilise donc pas d'éventuels fragments organiques plus grossiers, fragments mis en évidence par l'étude à la loupe binoculaire. La teneur réelle en matière organique est peut être sous-estimée (Aubry 1994, p. 25).

#### Granulométrie

L'unité E5 sommet siliceux (s199a, b et c) est assez argileuse (entre 14 % et 23 %) avec à nouveau une augmentation de la teneur en matière organique qui s'élève entre 5 et 6 %. On observe à nouveau le lien argile-m.o. Les paramètres granulométriques, tels que le degré de tri et la médiane, varient assez peu. Plus les éléments graveleux ou caillouteux (fragments de silex et gravillons vosgiens) sont abondants et moins le sédiment est trié (augmentation de la valeur du So). On remarque la nette baisse de la teneur en argile (13 %) dans le faciès des unités E3/E1 (colluvions charbonneuses anthropogènes) par rapport à celle du faciès de l'unité E5 (23 % dans E5 sommet siliceux).


Stratigraphie coupe 199	Ensembles	Echantillons	Carbonates (%)	Matière organique (%)	Phosphates (u.c.)	Humus (u.c.)	pH	Argiles (%)	Fines < 6 µm (%)	Sables (%)	Graviers (%)	Médiane Md (µm)	So (tri des particules)	Asymétrie Sk
	E1/3	s1	0	4	1,8	0,05	6,7	12	28	7	0	15	2,30	0,76
		s2	0	4,5	1	0,05	6,9	13	32	5	0	13	2,32	0,78
		s199d	0	5	0,6	0	7	15	42	9	0	11	2,74	0,99
	E5 sommets siliceux	s199a	0	6	< 0,3	0	7	23	54	6,2	0	6	2,45	1,04
		s199b	0	5	0,4	0	7	16	36	8,2	22,3	13	2,95	0,83
		s199c	0	5,5	0,3	0	7	14	35	11,2	0	14	2,82	0,65

Fig. 32. Résultats des analyses géochimiques et granulométriques effectuées sur les sédiments prélevés sur la coupe 199 (fig. 13) selon le profil V (chap. 4.4).



#### 4.5 Recherche d'indices sédimentologiques

Les données géochimiques couplées avec les données granulométriques peuvent, après un décriptage soigneux des résultats, représenter des traits sédimentologiques caractéristiques que l'on pourrait qualifier d'indices sédimentologiques des différents ensembles définis sur le site. Ces indices matérialisent une origine probable des sédiments ou une évolution pédologique (*in situ* ou héritée). Les indices principaux relevés par l'analyse sédimentologique et optique sont les indices alluviaux ou fluviaux, les indices lœssiques ou éoliens, les indices de colluvionnement et les indices pédologiques ou d'altération.

Les indices lœssiques (éoliens):

- Un redressement observé entre 15 et 40  $\mu\text{m}$  dans les courbes granulométriques cumulatives est typique de celui des courbes des formations lœssiques (Campy et Macaire 1989; Reineck et Singh 1980). Ce redressement a également été constaté dans l'étude sédimentaire du site campaniforme d'Alle, Noir Bois (Aubry et Guélat 1997) et dans celle du site moustérien d'Alle, Pré Monsieur (Aubry 1999a).
- Le degré d'asymétrie  $Sk$  inférieur à 1, calculé sur le corpus fin (l'ensemble des particules inférieur à 63  $\mu\text{m}$ ), indique que la partie grossière des sédiments est mieux triée que la fraction fine. Cela matérialise le tri éolien qui s'effectue dans la plage 15 à 45  $\mu\text{m}$  et qui ici représente la fraction grossière.
- Un degré de tri bas ( $So = 2$  à 2,3).
- Une abondance des nodules de Fe/Mn ainsi que des micas blancs dans la fraction des silts fins.
- Sédiment peu argileux avec moins de 8% d'éléments à 63  $\mu\text{m}$ .
- Peu de matière organique (lien avec la teneur en argile).
- Présence de carbonates (calcaire fin) dans l'unité E6, préservés de l'altération.

Ces indices sont les mieux représentés dans les faciès de l'unité E6, mais le redressement entre 15 et 45  $\mu\text{m}$  a également été constaté dans le corpus fin (< 63  $\mu\text{m}$ ) de l'ensemble des unités E8 à E1.

Les indices alluviaux (fluviaux):

- Le redressement de la courbe cumulative, qui correspond au meilleur tri des particules dans la classe des sables grossiers dans l'unité E8, constitue également un signal. Dans les graviers de l'Allaine récente (Holocène, Aubry 1999b), on a également constaté, sur les courbes cumulatives, un redressement systématique dans la classe des sables grossiers au sein du corpus sablo-graveleux.
- Le degré d'asymétrie,  $Sk$  inférieur à 1, indique que la fraction grossière est mieux triée que la fraction fine. Il constitue aussi un indice fluvial pour les unités E8 et E9 base relevé dans les graviers de l'Allaine récente (Aubry 1999b).
- Une présence majoritaire de sables graveleux dans les unités E9 base, E8, E7c et E7b sableuse.
- L'éroussé des éléments dans le cas du corpus calcaire du faciès E9 base. Il faut préciser que l'éroussé observé des éléments siliceux composant l'unité E8, et celui observé dans les éléments siliceux apparaissant particulièrement dans les unités E7c et E7b sableuse, sont des éroussés hérités car les éléments siliceux proviennent de la formation des galets vosgiens (grès, quartzites).

Ces indices ont été retrouvés particulièrement dans les faciès fluviaux constituant les unités E9 base, E8 et également E7c et E7b faciès sableux.

Les indices colluviaux anciens (remaniement sédimentaire):

- Le degré d'asymétrie  $Sk$  supérieur à 1 indique que la fraction fine est mieux triée que la fraction grossière.
- $So$  élevé (> 3). Le sédiment est généralement mal à très mal trié.
- Teneur en argile élevée (15 à 25 %). Ceci concerne les unités E7b et E7c.
- Courbe granulométrique étalée (traduit par un  $So$  élevé).

Ces indices ont été retrouvés dans les unités E7c et E7b faciès sableux.

Les colluvions anthropogènes des unités E3/E1 ne présentent pas d'indice granulométrique caractéristique. Le  $So$  est moyen (2,5), ils présentent un  $Sk$  inférieur à 1 et une courbe non étalée; ils sont peu argileux. Les indices sont définis ici plutôt par la géochimie (Fe p, teneur en humus) et par l'optique (charbons, calcaires corrodés, etc.).

Les indices pédologiques et d'altération, *in situ* ou hérités:

- Le degré d'asymétrie  $Sk$  supérieur à 1 indique que la fraction fine est mieux triée que la fraction grossière. Ceci indique une accumulation argileuse (E9 sommet et E7c).
- En général, la teneur argileuse augmente (valeur supérieure à 13 %).
- On constate un enrichissement en particules fines (diamètre < 6  $\mu\text{m}$ ) parmi le corpus inférieur à 63  $\mu\text{m}$  (entre 40 et 50 % de fines).  
Dans le faciès lœssique stadiaire froid de l'unité E6, qui présente de très faibles indices pédologiques, on a relevé entre 22 et 30 % de fines seulement.
- L'analyse optique révèle des agrégats corrodés de Fe/Mn et des nodules de Fe/Mn très altérés.
- Présence de fer pyro et de résidus humiques, mais uniquement dans les unités holocènes E3/E1.

On a relevé des indices pédologiques dans les unités E9 sommet, E8, E7c, dans la partie supérieure de E4 et dans les unités E3/E1.

L'indice des particules fines

La présence de particules d'une taille inférieure à 6  $\mu\text{m}$  (argiles et silts fins) dans un sédiment peut être aussi bien un héritage d'argiles provenant, soit d'une roche mère (argiles tertiaires, marnes, particules transportées par le vent), soit d'une pédogénèse ancienne héritée, qu'une évolution pédologique *in situ* matérialisée par une altération et un enrichissement par accumulation dans le profil.

La seule détection par la granulométrie d'une certaine quantité d'argiles ou de particules fines dans un sédiment ne permet donc pas d'en préciser la signification. Pour cela, il faut recourir à d'autres moyens comme l'analyse micromorphologique, par exemple.



Unités	Géochimie	Granulométrie	Optique (sur fraction > 63 µm)
<b>E1/E3</b> Sols et colluvions anthropogènes	Présence d'humus (m.o. fine) entre 0,1 et 0,25 u.c. Matière organique (m.o.) 3,5 à 4,5% (E1, horizon labouré, m.o.: 6% et horizon forestier: m.o.: 11%). Fe t: 2,5%. Fe d: 1,1%. Présence Fe o : 0,072%.	Silts (80 à 90%) peu argileux (7 à 11%) et peu sableux (4 à 8%) avec pierres disséminées. So = 2,4 (tri moyen). Asymétrie (Sk) < 1, partie grossière du sédiment mieux triée.	Paillettes et micropaillettes de charbons de bois (taille inférieure à 0,5 mm). Fibres végétales. Nodules de Fe et Mn. Pierres calcaires corrodées brûlées, mobilier archéologique (céramique). Sables et graviers vosgiens siliceux.
<b>E4</b> Limons loessiques supérieurs	Teneur en m.o. 4%. Traces de résidus humiques amenés par bioturbation. Décarbonaté: pH env. 6, modérément acide. Phosphates: 1 u.c., parfois variables (amendements agricoles) jusqu'à 3 u.c. Fe t: 4%, Fe d: 2,3%.	Silts (80 à 85%) argileux (11 à 14%) faiblement sableux (6%). Rares graviers siliceux dispersés. So = 2,3 à 2,5 (tri moyen). Sk < 1 (tri éolien). Médiane (Md) = 10 (silts moyens).	Présence de micas blancs dans la fraction des sables fins. Nombreux nodules et concrétions de Fe et Mn dans la partie supérieure. Fibres végétales dans la partie supérieure. Quelques charbons encroûtés (bioturbation ?).
<b>E5 sommet</b> Cailloutis calcaires géliflués	Matrice décarbonatée (quelques % à 0%), assez organique: m.o. 5%. Phosphates peu abondants (0,5 à 1 u.c.). Aucun humus. pH > 7, contrôlé par le cailloutis calcaire. Fe t: 4%, Fe d: 2,6% (valeurs pour le faciès est à chaille).	Cailloutis calcaire local, principalement de taille 3 à 6 cm dans une matrice silteuse assez argileuse (14 à 20 % de la fraction < 63 µm). Sables 6 %. So (tri) = 2,6 et Sk < 1 (caractère loessique de la matrice).	Pierres calcaires du Kimméridgien, un peu émoussées, traces de gel (craquelures). Nombreux agrégats argileux et silteux. Micas blancs dans fraction sables fins (63-124 µm). Sables siliceux vosgiens. Nodules de Fe et Mn peu corrodés.
<b>E5 sommet</b> Cailloutis siliceux géliflués	Faciès E5 sommet est du site avec gravier siliceux. Fe t: 4%. Fe d: 2,6%. Mêmes données géochimiques que E5 sommet à cailloutis calcaire.	Silts (77 à 86 % de la fraction < 63 µm) peu sableux (6 à 11 %) argileux (14 à 23 % de la fraction < 63 µm) avec graviers de chaille (jusqu'à 20 %). So de 2,4 à 3. Sk ≤ 1.	Quelques rares charbons encroûtés. Sables et graviers: fragments lithiques vosgiens et gélifractions de silex (chaille) accompagnés de rares artefacts lithiques.
<b>E6</b> Loess stadias carbonatés	Silts fins micacés carbonatés à mollusques. Entre 12 et 20% de CaCO <sub>3</sub> . Sédiment très peu organique (m.o.: 2 à 2,5%). Phosphates abondants: 4 u.c., (agradation apatitique). pH > 7,5, contrôlé par le milieu. Pas d'humus.	Silts (90 %) faiblement argileux (7 à 8 %) très peu sableux. Quelques cailloux calcaires (1 à 2 cm). Silts bien triés (So = 2,1) entre 15 à 45 µm (fort indice loessique). Particules fines (< 6 µm) = 22 à 30 % (sur fraction < 63 µm). Md = 15 µm. Sk < 1 (indice éolien).	Coquilles de mollusques entières ou fragmentées, non encroûtées. Cailloutis calcaire (Kimméridgien) dispersé très anguleux (gélifractions). Manchons racinaires et granules de lombrics. Agrégats fins type «choux-fleurs». Nodules de Fe et Mn abondants et peu altérés. Grains de Qz.
<b>E6</b> Loess stadias décarbonatés	Silts fins micacés décarbonatés. Teneur moyenne en m.o.: 3,5 %. Phosphates relativement peu abondants (entre 1 et 2 u.c.).	Silts (85 %) faiblement argileux (8 %) très peu sableux, quelques graviers siliceux. Sédiment trié: So: 2,3. Silts fins: Md = 13 µm. Sk < 1 (indice éolien). Fines (< 6 µm) = 28 % (sur fraction < 63 µm).	Micas alumineux (micas blancs) assez abondants dans la fraction 63 µm-125 µm. Quelques charbons fossiles encroûtés (Fe et Mn). Nodules Fe et Mn non corrodés.
<b>E7a</b> Horizon légèrement humifère enfoui	Petit sol interstadiaire peu marqué. Valeurs géochimiques non significatives. m.o. 3,5%. Phosphates: 0,5 u.c. (pouvant monter jusqu'à 3 en cas de lessivage agricole). Aucun carbonate. pH à 5,6, un peu acide.	Sédiment silteux (85 à 90% de silts) peu argileux (entre 9 et 11% d'argiles), très rares sables et graviers. Silts fins: Md = 11,5 à 14,5 µm. Particules fines (< 6 µm) entre 25 et 33 % de la fraction inférieure à 63 µm. So à 2,1 à 2,3 et Sk < 1 (indice loessique).	Nombreux agrégats argilo-silteux de couleur rouille. Micas blancs abondants dans la fraction 63 µm-125 µm. Quelques rares charbons très encroûtés (Fe et Mn). Quelques scories carbonées noires. Présence de nodules de Fe et Mn altérés.
<b>E7b</b> Colluvions sableuses et loess remaniés	La teneur en m.o. (entre 3,5 et 4,5%) varie en fonction de la teneur en argile qui augmente avec la profondeur et parallèlement avec la teneur en sable. Phosphates: 0,4 u.c à 1 u.c. pH neutre à modérément acide (5,7 à 6,8).	<i>Partie sup.</i> : silts peu sableux (4,6%) peu argileux (11%), tri moyen (So = 2,86) et Sk < 1 (indice loessique). Md = 16 µm. <i>Partie inf.</i> : silts sableux (30 à 40 % de sables). Argiles fonction sables (16 à 23 % du corpus < 63 µm). Baisse So (2,86 à 6,03). Sk > 1 (indice colluvial). Md: 30µm.	Contient, dans la partie inférieure sableuse, des inclusions ovoïdes de loess. Petits charbons (mm) encroûtés de Fe et Mn sur toute la couche. Micas blancs dans sables fins (fraction 63 µm-125 µm). Sable siliceux (quartz, vosgien). Quelques nodules de Fe et Mn.
<b>E7c</b> Colluvions sableuses de base	Mêmes caractéristiques géochimiques que E7b mais un peu plus de m.o. (5%). Teneur en Fe t: 4%. Manganèse total: 0,09%. Fe d: 2,85%. Fe d/Fe t: 0,65.	Sable (20 à 30 %) graveleux (17 à 30 %) siliceux, argileux (15 à 22% de la fraction < 63 µm). Particules fines (< 6 µm) = 35 à 42 % (fraction < 63 µm). Mauvais classement des particules (So: 11 à 16) et Sk élevé: 10 (indice de colluvionnement). Md = 60 µm.	Petits charbons (mm) érodés et encroûtés de Fe et Mn. Inclusion d'ovoïdes de loess (en paquets). Sables et graviers siliceux vosgiens altérés. Nodules de Fe et Mn. Fragments de silex. Résidus insolubles (R.I.) provenant du Kimméridgien.
<b>E8</b> Alluvions sableuses altérées	Mêmes caractéristiques géochimiques que E7c. Teneur en Fe t (amorphes, oxydes, hydroxydes et silicates) Fe t: 4%. Fe d (extractible): 2,7%. Fe d/Fe t: 0,70	Sable (43%) graveleux (22%) siliceux et argileux (20% de la fraction < 63 µm). Particules fines (< 6 µm): 48% de la fraction < 63 µm (indice pédologique). Très mauvais classement des particules (So: 11) mais Sk < 1 (0,13): fraction grossière mieux triée (indice fluvial). Md = 450 µm.	Sables et graviers siliceux (galets vosgiens, fragments de rognons de chaille encroûtés de manganèse. Silex taillés sans encroûtements (postdépôt). Fragments de R.I. du Kimméridgien. Petits charbons encroûtés et émoussés.
<b>E9 sommet</b> Altérites bariolées	Sédiment argilo-sableux riche en hydroxydes de Fe/Mn. m.o.: 7,5%. Teneur en phosphate de 0,5 à 3 u.c. (minéraux phosphatés ?). pH proche de la neutralité (pH: 6).	Sables (24 à 28 %) un peu graveleux (3 %). Argiles: 21 à 26 % et fines = 35 à 60 % fraction inférieure à 63 µm. Sédiment peu silteux (10 %). Degré de tri bas (So: 5) et Sk spécialement élevé: 2.	Nombreux agrégats de Fe et Mn corrodés brun rouille. Nombreux grains siliceux corrodés. Quelques nodules Fe/Mn altérés. Corpuscules tubulaires encroûtés de Fe/Mn (négatifs de racine fossiles ?).
<b>E9 base</b> Graviers fluviatiles calcaires	Graviers calcaires à matrices composées de sables carbonatés et siliceux (résidus insolubles R.I. et éléments vosgiens). Milieu carbonaté. Forme aplatie type f. Reineck et Singh (1980).	Graviers (60%) composés de 50 % de grains > 2cm. Peu de sable (14%). Md = 2,4 cm. So: (mal triés). Sk < 1 (0,36) partie grossière (graviers 3 à 6 cm) mieux triée que partie fine (situation analogue à E8 et graviers de l'Allaine récente).	Inclusions loessiques et inclusions de fragments de E9a. Pas de charbon. Graviers à éléments émoussés sans encroûtements carbonatés, composés de calcaire du Kimméridgien et du Dogger. Quelques traces de gel (craquelures).
Kimméridgien	Calcaire du Kimméridgien moyen avec rognons de silex.	Bancs décimétriques.	Calcaires fins (micritiques), couleur de la pâte 7.5YR 8/2.

Fig. 33. Tableau synthétique récapitulatif des chapitres 3 et 4.



Caractérisation et mode de dépôt	Géométrie des dépôts	Erosion - phénomènes karstiques
Premiers défrichements néolithiques et début des dépôts ruisselés charbonneux sous condition climatique tempérée. Evolution de sols <i>in situ</i> .	Modification ultime du relief topographique. Colluvions agricoles sur toute l'étendue du site. Tendance au nivellement des reliefs.	Période d'érosion et de ruissellements, système karstique actif. Nombreux témoignages d'effondrements (soutirages d'horizon archéologiques).
Absence d'indices nets de colluvionnement, rareté des éléments sableux et graveleux. So = 2,3, tri moyen. Mobilier magdalénien.	Epaisseur variable. Dépôt présent sur l'ensemble du site, très mince dans la partie est, car érodé par les pratiques agricoles.	Dépôt irrégulier, peut-être dès l'origine (fixation irrégulière des lœss). Forte érosion ultérieure consécutive aux pratiques de l'homme (défrichements et agriculture).
Dépôt en milieu froid par gélifluxion ou cryoreptation. Dépôt lité avec mélange de matrice lœssique et de cailloutis calcaire.	Dépôt étalé sur l'amont sud (pied de versant) dans la partie ouest du site. Forte déformation de la partie inférieure (E5 base) par les alternances gel/dégel.	Débitage par le gel des bancs rocheux en amont du site. Sols en amont peu épais, peu végétalisés, voire absents. Puis étalement en pied de versant sur la moitié ouest du site. Ruissellements de surface (cryosols).
Dépôt identique par gélifluxion ou cryoreptation. Dépôt lité de chaille siliceuse avec incorporation de silts lœssiques.	Dépôt étalé sur la moitié est du site (pied de versant). Extension est du dépôt de l'unité E5 sommet qui devient siliceux (chailles, éléments vosgiens, quelques silex taillés remaniés).	Dépôt étalé en pied de versant sur la moitié ouest du site. Incorporation par ruissellement et gélifluxion de la matrice lœssique et argileuse.
Piégeage de silts lœssiques dans des dépressions karstifiées rocheuses préalablement déblayées par érosion. Dépôt par vannage de lœss et par accumulation éolienne <i>in situ</i> , en milieu froid humide.	Faciès carbonaté associé aux dépressions karstiques amonts, irrégulier mais présent sur une bonne partie du site, toujours coiffé par l'unité E5 sommet carbonatée.	Après une phase d'érosion/soutirage, dépôt des sédiments de l'unité E6 carbonatée. Remanié ultérieurement par les mouvements de gélifluxions de l'unité E5 base.
Dépôt éolien typique très peu remanié (piégeage des particules par la couverture herbacée) avec pédogénèse de type cryosols (sols de steppes).	Niveau atteint parfois par les cryoturbations E5 base et atteint par l'érosion ultérieure anthropogène holocène. Présent dans la partie ouest du site.	Dépôt lors d'une phase peu érosive dans un contexte climatique froid et relativement sec. Karst inactif (pas de soutirage).
Fixation d'un sol peu évolué sur la partie sommitale des silts éoliens lœssiques peu remaniés de la partie supérieure de l'unité E7b.	Sommet du dépôt éolien E7, horizon pédogénisé de l'unité E7a (sol de Lohne) relevé uniquement dans le profil 98.	A la fin de la période de tendance biostasiq (fixation végétale meilleure), érosion du sol de l'unité E7a, non retrouvé sur le reste du site.
Séquence sédimentaire commençant par des dépôts sableux à indice de colluvionnement et gélifluxion. Dépôt de lœss de plus en plus dominants (augmentation de l'indice lœssique).	Faciès base et sommet de l'unité E7b retrouvés de façon irrégulière sur une grande partie du site, souvent plaqués dans les dépressions ou près du fond rocheux.	Sédiments E7 souvent érodés par la phase d'érosion IV ou remaniés et érodés par les mouvements de gélifluxion de l'unité E5 base en direction de l'est du site.
Accumulation en pied de versant des produits d'érosion des sables graveleux de l'unité E8. Indice colluvial (ruissellement) et indice de gélifluxion (déplacement de portions de lœss déformées).	Unité retrouvée uniquement dans la partie ouest du site (coupe A et coupe B), en pied de versant. Faciès non visible sur le reste du site.	Phase érosive majeure sur le site (phase érosive II). Correspond à un déplacement au nord et à une descente du profil d'équilibre de base des circulations fluviales. Soutirages karstiques.
Dépôt de sables et graviers d'origine alluvial (régional), relativement épargnés par l'altération mais dépourvus d'éléments calcaires. Mise en place par ruissellement (sables triés, indice alluvial). Pédogénèse ultérieure <i>in situ</i> (compaction racines).	Unité retrouvée uniquement dans un secteur tout à l'ouest du site (coupe A) en position de replat karstique limité à l'arrière par une doline. Correspond à un lambeau préservé des érosions ultérieures.	Sédimentation d'une nappe sablo-graveleuse déposée par un régime hydraulique (indices de tri torrentiel ou fluvial). Sables graveleux mis en place dans une période relativement rigoureuse.
Sédiment, en partie d'origine fluviale, très altéré, correspondant à une phase biostasiq forte. Indices de remaniement (corpus grossier mal trié).	Se retrouve piégé dans les irrégularités du fond rocheux, de manière discontinue sur pratiquement l'ensemble du site. Correspond à un faciès ancien qui devait se développer fortement régionalement.	Forte érosion mécanique (notamment gélifluxion) de ces altérites après la longue phase d'érosion pédologique ancienne (décarbonatation, concentration d'hydroxydes de fer et de manganèse).
Dépôt de graviers et sables calcaires d'origine locale (Kimméridgien) et régionale (Dogger du Mont Terri). Faciès épargnés par l'altération. Mise en place par alluvionnement (indice alluvial analogue à celui du faciès E8 et à celui de l'Allaine (fluviale récent).	Graviers calcaires E9 base retrouvés uniquement dans la coupe D, figure 15 en position de léger replat rocheux.	Faciès fluviale ancien, antérieur à la phase 3. Partie supérieure altérée par pédogénèse. Correspond à une ancienne surface de base de la circulation des eaux.
Jurassique supérieur (150-154 ma).	Bancs subparallèles à la topographie. Pendage 10° nord.	Surface d'érosion karstique (RQD > 25%) et réseau karstique profond.



#### 4.6 Les phases reconnues par l'approche de terrain, par la sédimentologie et par les datations

##### Phase 1 (formation fluviatile perchée, unité E9 base)

Il s'agit de la période du dépôt des graviers (E9 base) constitués d'éléments du Malm et du Dogger à matrice lœssique. Leur position est surélevée par rapport au fluviatile plus récent et actuel. Ces graviers correspondent éventuellement à un ancien niveau de base et à un paléoaxe d'écoulement des eaux qui paraît se matérialiser par un ressaut dans le profil karstique. Ces graviers, qui sont de même provenance que les graviers récents de l'Allaine (éléments Malm et Dogger), sont positionnés à une altitude de 447 m, ils affleurent environ sept mètres plus haut que le niveau de l'Allaine actuelle. Il n'est pas interdit de penser que leur dépôt corresponde à une très ancienne phase de fin de période froide glaciaire, matérialisée par d'anciennes alluvions anté-éemiennes.

##### Phase 2 (unité E9 sommet)

Elle correspond au dépôt des altérites bariolées en partie d'origine fluviatile avec de nombreux fantômes de galets déminéralisés, de nombreux graviers et galets siliceux vosgiens. Cette formation sablo-graveleuse et argileuse, très altérée, enrichie en fer et en manganèse se développe sur pratiquement tout le site. On la retrouve soit plaquée sur le karst, soit recouvrant des poches silteuses en plaquage lœssique, soit totalement remaniée dans la matrice sédimentaire du faciès cryoturbé et géliflué de l'unité E5 base. L'unité E9 sommet correspond à une phase de biostasie ancienne caractérisée par un paléosol complexe, correspondant à une forte altération pédologique sur des matériaux fluviatiles (Lozet et Mathieu 1986). L'état poussé d'altération du corpus indique une date certainement plus ancienne que l'Eemien. Ce niveau, omniprésent sur le site, correspond donc aux restes d'une formation, fortement érodée depuis, qui se développait dans une bonne partie de la région (Guélat 1987, p. 21; Guélat 1990, p. 61).

##### Erosion I

Il s'agit en partie de l'érosion des dépôts de l'unité E9 sommet qui affleurent généralement uniquement en placage sur le fond rocheux. C'est une période de rhexistasie anté-éemienne.

##### Phase 3 (dépôt des alluvions sableuses de l'unité E8)

Le dépôt des sables graveleux à matrice silteuse de l'unité E8, se fait en contact érosif avec l'unité E9. Il est composé de graviers moyennement triés et de sables qui le sont mieux. Ils sont constitués uniquement d'éléments siliceux vosgiens assez émoussés et éventuellement d'éléments décarbonatés (inclusions d'ovoïdes à remplissage secondaire, siliceuses). Bien qu'un certain état d'altération du corpus soit relevé par l'étude du fer (chap. 4.3.5), les dépôts de l'unité E8 se démarquent nettement de ceux de l'unité E9 sommet par un aspect plus frais. Ils sont dépourvus d'argiles fortement rubéfiées (associées à du fer et du manganèse). Leur mise en place s'est probablement faite par ruissellement ou alluvionnement, au cours d'une période

froide, éventuellement en association avec des feux (incendies?). Cette mise en place, en l'absence de datation, (celle, imprécise, de l'insertion du mobilier moustérien ne suffisant pas, voir phase 4 ci-dessous), et étant donné que l'unité E8 est recouverte de sédiments (E7 base) estimés du Pléniglaciaire moyen (chap. 7.2), pourrait s'être faite lors d'un épisode froid au début de l'Eémien (stade 5e des isotopes marins) ou par exemple à la fin de la période froide précédente (stade isotopique 6).

On peut situer la mise en place physique des sables graveleux de l'unité E8 lors d'une période rigoureuse à la fin de l'avant-dernier Glaciaire ou pendant l'Eemien s.s, avant la phase tempérée de la fin du stade 5e (chap. 5.5). Par comparaison, sur le site lointain de la Coupe de Nantois (Côtes d'Armor, France), S. Loyer (Loyer et al. 1995) place un faciès sableux littoral à 103 ka BP (TL 103,3 ± 17,3 ka BP) remanié par la suite par gélifluxion. Sur le site d'Achenheim (Bas-Rhin, France), J. Sommé présente un système sédimentaire, appelé Achenheim I, correspondant à l'Interglaciaire s.l. (unités 6 à 9, p. 100), où il observe un complexe de sols et dépôts humifères correspondant au stade isotopique 5 de la stratigraphie océanique (Sommé et al. 1986).

##### Phase 4 (niveau moustérien inférieur)

Cette phase est caractérisée par le dépôt d'artefacts lithiques moustériens (chap. 9.1) dans le corpus sablo-graveleux. Ces silex ne font pas partie du lot sableux et graveleux arrivé sur le site, mais se sont insérés dans la couche après dépôt. Ils matérialisent certainement un débitage sur place. En effet, les éléments figurés constituant le lot sableux et graveleux de l'unité E8 sont tous imprégnés d'hydroxyde de fer et de manganèse alors que les artefacts lithiques n'en sont pas imprégnés. Les éléments figurés E8 ont donc subi une imprégnation bactérienne de fer et manganèse dans des conditions hydrodynamiques mouvementées, peut-être en milieu froid, avant la mise en place des artefacts. L'attribution chronostratigraphique du niveau contenant les silex taillés est placée dans l'Interglaciaire éémien s.s. (chap. 5.5.1.3).

##### Phase 4b (pédogénèse développée dans l'unité E8)

C'est lors de cette phase qu'ont été déposés les artefacts du niveau moustérien inférieur. L'unité E8 a subi au moins une pédogénèse (phase 5 ci-dessous) matérialisée macroscopiquement par des auréoles de fer et de manganèse, caractéristiques des liserés respectivement intérieur et extérieur des négatifs de racines, modelant un remplissage silteux fin déferréifié (2.5Y 5/6). La phase 4b est donc apparemment postérieure au dépôt des artefacts (observation lors de la fouille).

##### Les petits nodules charbonneux encroûtés

La présence de minuscules charbons de bois, visibles à la loupe binoculaire, pourrait indiquer un affaiblissement du couvert forestier ayant entraîné des feux, en fin de phase tempérée (Woillard 1975). Par la suite, les conditions géochimiques du sol ont entraîné un concrétionnement de fer et de manganèse de ces charbons en milieu froid. Les considérations émises ci-dessus restent toutefois à vérifier et sont du ressort de l'hypothèse de travail.



Finalement, l'observation sédimentologique ne permet pas d'insérer chronologiquement la bioturbation importante observée macroscopiquement et matérialisée par les traces de racines. Seule l'analyse micromorphologique (chap. 5.5.1) a pu séparer deux phases pédologiques: l'une estimée éémienne s.s. et l'autre plus tardive estimée de l'Eemien s.l. ou Glaciaire ancien par une coupure d'érosion (chap. 5.5.1.2). L'impossibilité, par le biais de l'observation de terrain et de l'analyse sédimentologique, de différencier les deux phases pédologiques, signifie qu'elles n'ont pas été séparées par un événement érosif aussi brutal que celui matérialisé par la phase Erosion II. A ce sujet, pour J. Buraczynski et J. Butrym (1984), aucune coupure sédimentologique majeure durant l'Eemien s.l. (Eémien et Glaciaire ancien) n'a été observée dans les stratigraphies européennes. On trouve les vestiges d'une continuité et une évolution constante des sols interglaciaires (Eemien s.s.) qui s'est poursuivie sans rupture majeure pendant les stades Brörup (St. Germain I, Woillard 1975) et Odderade (St. Germain II, Woillard 1975).

#### Erosion II (érosion post-Odderade, stade isotopique 5a/4)

Il s'agit de l'importante érosion du niveau Eemien s.l. (unité E8) au début du stade isotopique 4 (chap. 5.5.1.2). Hormis le secteur occidental (coupe A, fig. 15), on ne retrouve plus du tout le faciès de l'unité E8 sur tout le reste du site d'Alle, Noir Bois. Cette érosion importante est certainement accompagnée de soutirages karstiques (observations de terrain). Un déplacement de l'axe des écoulements vers le nord et un abaissement altimétrique du niveau de base des eaux se sont certainement produits. Sur le terrain, lors de la fouille, la coupure d'érosion a été décelée par un fort contraste de dureté entre le sommet de l'unité E8 qui était compacté (par la pédogénèse ?) et les dépôts moins compacts des sables silteux appartenant à l'unité E7b base déposés au-dessus. Du point de vue environnemental, les soutirages relativement actifs observés en stratigraphie excluraient l'établissement d'une phase très froide et sèche, accompagnée d'un blocage du karst.

La phase érosive II pourrait se rattacher à celle observée par G. Zollinger (1991), appelée *Niedererschbacher Zone*, à la base du Würm II (Pléniglaciaire moyen). H. Laville, J.P. Raynal et P. J. Texier (1986) ont placé chronologiquement un seuil climatique à 70 ka BP dans le Massif central. Ces auteurs constatent des érosions importantes à la fin de l'Odderade (stade isotopique 5a), accompagnées de charbons dans les dépôts remaniés. A la Grande Pile (Haute-Saône, France), pour cette période, G. Woillard (1974) constate que les groupements forestiers sont éliminés des diagrammes polliniques dans le massif vosgien: «c'est la première fois depuis la glaciation de Linxert (Riss ?) que le taux de boisement est aussi bas et que les herbacées héliophiles deviennent dominantes». G. Woillard et W. G. Mook (1982) remarquent, également à la Grande Pile, qu'une forte régression des pollens arboréens se situe aux environs de 73 ka BP; E. Bibus et al. (1991, p. 196) observent de même sur le profil loessique de Heitersheim (Bade-Wurtemberg, Allemagne) une couche d'érosion (*Abschlag*) remaniée qui surmonte un ancien horizon illuvial Bt, correspondant à l'Interglaciaire éémien s.l. (horizon 1.fBt daté du «Riss/Würm»).

#### Phase 5 (dépôt des colluvions sableuses de la base de l'unité E7c)

Des dépôts de colluvions sableuses, composées de matériaux issus du faciès de l'unité E8, ont été observés dans les coupes A et B (fig. 15, 29 et 30). Ce sont des dépôts de sables graveleux mal triés présentant une courbe granulométrique proche de celle qui caractérise l'unité E8, mais déformée (étalée).

L'étalement de la courbe, reflété par un degré de tri médiocre de la partie sableuse du sédiment (fig. 22), est un indice de transport et de dépôt par ruissellement; dans l'unité E8, les sables étaient mieux triés.

L'indice d'une éventuelle gélifluxion, associée au mouvement de ruissellement, est matérialisé par des inclusions ovoïdes de loess déformées (cryoturbation ?), observées en stratigraphie, notamment dans le profil III (coupe B, fig. 15). Du point de vue environnemental, ces indices de ruissellement et de gélifluxion indiquent un climat froid et humide, associé à un affaiblissement drastique de la couverture végétale. De nombreux charbons millimétriques encroûtés de fer et de manganèse ont été observés lors de l'étude à la loupe binoculaire dans l'unité E7c. Ils indiquent soit un remaniement de ceux décelés dans le faciès amont de l'unité E8, soit de nouvelles marques de feux (de forêt ?) associés à la phase érosive II.

#### Erosion III

Il s'agit d'un épisode de reprise locale de l'érosion, peut-être modérée, aux dépens des sédiments de l'unité E7c. Cet épisode s'est matérialisé sur le terrain par une induration du sommet de l'unité E7c, qui contenait un étalement de graviers siliceux (coupe A, partie aval, fig. 15, profil 96,) et par le soutirage de ce faciès observé dans la coupe 104W. Sur le terrain, on ne retrouve le faciès E7c que dans la partie ouest du site (coupes A et B, fig. 15).

#### Phase 6 (dépôts des sédiments de l'unité E7b: les colluvions sableuses E7b base et les loess remaniés E7b sommet)

Après les épisodes d'érosion II et III, on assiste au dépôt des colluvions sableuses et argileuses mal triées à matrice loessique (indice granulométrique colluvial), constituant le faciès sableux de la partie basale de l'unité E7b. Les colluvions sableuses sont suivies par un dépôt de moins en moins sableux, présentant un caractère de plus en plus éolien (particules de mieux en mieux triées) en direction du sommet. Il s'agit de l'unité E7b partie sommitale (faciès silteux).

Globalement, l'unité E7b a été reconnue sur une partie un peu plus étendue du site que ne l'ont été les unités inférieures E7c et E8 (fig. 12).

L'évolution vers un degré de tri (So) meilleur, une baisse progressive des sables et des charbons encroûtés vers le haut et le renforcement du signal loessique dans les courbes granulométriques, sont autant d'indices indiquant une mise en place selon un mode de moins en moins colluvial et de plus en plus éolien. Ceci pourrait indiquer une évolution vers un environnement de plus



en plus froid et de moins en moins humide, peu végétalisé. Les sédiments de l'unité E7b qui se sont déposés durant le stade isotopique 3 (chap. 7.2), ne présentent pas de déformation de type géfluxion. Les cryoturbations, matérialisées sous forme de glace de ségrégation en lentille, correspondent probablement à une phase ultérieure de grands froids (Pléniglaciaire supérieur, voir phase 10). La présence de minces dépôts rubanés et d'ovoïdes de silts fins dans l'unité E7b base, implique des ruissellements locaux caractérisés par des précipitations de fer et des concentrations de dépôts lités de silts fins et de sables siliceux.

#### Insertion chronologique

L'unité E7b base, qui a été datée de  $58,7 \pm 9,2$  ka BP (mesure TL2, chap. 7.2), correspond à la période du Pléniglaciaire inférieur à moyen et l'unité E7b sommet, qui a été datée de  $53,7 \pm 6,2$  ka BP (mesure TL3, chap. 7.2), correspond au Pléniglaciaire moyen.

#### Insertion dans le domaine européen nord-occidental

L'unité E7 pourrait correspondre globalement aux couches 15 et 16 d'Allschwill (Bâle-Campagne, Suisse) (Zollinger 1991, p. 742, fig. 2). B. van Vliet-Lanoë (1992) évoque le dépôt de lœss prévalant dans beaucoup de provinces européennes.

J. Buraczynski et J. Butrym (1984) placent, dans le système des «lœss Vistulien II», les lœss récents moyens, qu'ils appellent lœss arides, et datés de  $48 \pm 5,8$  à  $56 \pm 7$  ka BP par la thermoluminescence. G. Zollinger (1991) constate, qu'après l'érosion post-Odderade (faciès Niedereschbacher Zone de la base du «Vistulien moyen» ou Pléniglaciaire moyen), des sols sont déplacés par solifluxion avec des bandes rubanées et des lamelles; ceci exprime la tendance solifluidale sous climat froid. La prédominance du processus d'accumulation lœssique (Zollinger 1991) au Pléniglaciaire moyen (unité E7b, partie supérieure), correspond aux lœss du «Vistulien II» (43-63 ka BP) pour J. Buraczynski et J. Butrym (1984) ou aux lœss inférieurs humides d'Achenheim (unité 5) pour J. Sommé (1986, p.102; 1990), où un faciès à faune malacologique froide a été daté de  $51 \pm 10,6$  ka BP. Ces dépôts correspondent à la phase Lanterne II de la Grande Pile de G. Woillard (1974). Pour la fin du Pléniglaciaire moyen, C. Pujol et J.-L. Turon (1986, p. 17-25) parlent de «désert polaire» en Hollande entre 43 et 37 ka BP.

#### Phase 6b (unité E7b, niveau moustérien supérieur)

La partie supérieure de l'unité E7b, correspond à un dépôt d'artefacts lithiques pendant le Pléniglaciaire moyen (chap. 9.1).

#### Phase 7 (unité E7a, formation d'un niveau légèrement humifère)

Dans la coupe 98 (fig. 29), une couche de limons argileux présente de petits agrégats bruns et de discrets placages de fines particules de couleur brune dans la structure. L'analyse sédimentologique (granulométrie et géochimie) n'a montré aucune distinction particulière de cet horizon, d'une vingtaine de

centimètres d'épaisseur, par rapport à l'unité E7b sommet. La pédologie qui s'est développée sur le sommet des lœss de l'unité E7 est restée discrète. L'analyse micromorphologique (chap. 5.5.2) a confirmé la présence d'un petit sol humifère qui présente les caractéristiques du sol interstadiaire de Lohne (chap. 7.2). La structure lamellaire développée dans la couche correspond à une phase ultérieure de cryoturbation (phase 10). Le petit sol interstadiaire E7a est inséré chronologiquement entre  $53,7 \pm 6,2$  ka BP (mesure TL3, chap. 7.2) et  $28,5 \pm 1,6$  ka BP (phase 8, chap. 7.2). Sur la partie sommitale des dépôts lœssiques E7b sommet, s'est donc installé un sol interstadiaire qui pourrait être mis en parallèle avec l'interstade du Denekamp (environ 30 ka BP), à la fin du stade isotopique 3 (sol de Lohne, chap. 7.2).

#### Insertion de l'unité E7a dans le domaine européen nord-occidental

Dans leur comparaison des cycles climatiques en domaine marin et continental dans l'hémisphère nord, C. Pujol et J.-L. Turon (1986) parlent d'une longue période qui, caractérisée par son instabilité climatique et par son évolution, présente les caractères d'un système interstadiaire (Hengelo-Denekamp) entre 39 ka BP et 28 ka BP (Pujol et Turon 1986, p. 23). A Achenheim, les lœss humides de la partie supérieure de l'unité 5 traduisent une période d'adoucissement du climat et une humidité en augmentation au cours des interstades Hengelo-Denekamp, où J. Sommé (1990) reconnaît la constitution d'un sol de toundra. B. van Vliet-Lanoë (1988) voit l'installation d'une couverture végétale presque continue et des précipitations en augmentation, ainsi que des sols qui se forment dans l'ouest de l'Europe.

On peut également les suivre depuis le sud des Pays-Bas, à travers l'Allemagne, jusqu'au sud de la Pologne. A ces latitudes le climat est arctique (van Vliet-Lanoë 1992), il n'est pas interdit de supposer qu'il pouvait être un peu plus tempéré, donc subarctique, sous nos latitudes. G. Woillard (1974) reconnaît également à la fin du Mésowurm (Pléniglaciaire moyen) une amélioration climatique à la Grande Pile avec l'expansion du pin, du bouleau et une formation de tourbe. Sur le profil lœssique de Heitersheim, E. Bibus et C. Pasda (1991) observent un sol brunifié (*Verbraunungszone*) ressemblant à celui d'Allschwill et qu'ils nomment *Lohner Boden* (sol de Lohne).

#### Erosion IV

Dans la coupe 58 (coupe A, fig. 15), une phase d'érosion, associée à un sous-tirage karstique, précède le dépôt des lœss de l'unité E6 de la phase 8. L'analyse sédimentologique n'a pas mis en évidence cette phase érosive, néanmoins le sol E7a n'a jamais été retrouvé sur le terrain. Ceci confirme l'existence d'une phase érosive avant le dépôt des lœss francs E6 ( $28,5 \pm 1,6$  ka BP, phase 8) matérialisant une période froide et sèche. En amont du site, on constate un soutirage des sédiments dans une doline : la paléodépression qui s'est dessinée a permis l'accumulation des silts fins carbonatés (lœss carbonatés stadiaires E6).



Après 28 ka BP, selon B. van Vliet-Lanoë (1992), le refroidissement abrupt correspond à une phase érosive importante qui reprend les sols interstadiers et même les lœss récents de l'Europe de l'Ouest. Du fait d'une action érosive moins prononcée, ces lœss sont mieux conservés dans l'Est. E. Bibus et C. Pasda (1991) observent à Heitersheim une couche d'érosion hydromorphe remaniée surmontant le sol de Lohne (*Verlässungs- und Umlagerungszone*).

#### Phase 8 : dépôt des lœss francs au Pléniglaciaire supérieur

C'est une période marquée par le dépôt des lœss francs de l'unité E6, très compacts, bien triés, très peu argileux, fins et micacés (fig. 33), au sein desquels se développe une fine structure lamellaire. Ces lœss s'insèrent chronologiquement dans le Pléniglaciaire supérieur (stade isotopique 2); ils ont été datés par la thermoluminescence à  $28,5 \pm 1,6$  ka BP (mesure TL4, chap. 7.2) dans la partie basale de l'unité E6, et à  $22,5 \pm 2,4$  ka BP (mesure TL5, chap 7.2) dans la partie médiane. Le dépôt des lœss de l'unité E6 matérialise un retour vers des conditions climatiques froides et arides (sédimentation éolienne steppique).

#### Insertion dans le domaine européen nord-occidental

La période du Pléniglaciaire supérieur (Eowürm, Woillard 1974) correspond globalement à l'optimum de la glaciation. Il s'agit du stade glaciaire récent de H. Laville (1986), comportant une phase froide et sèche lœssique. Pour B. van Vliet-Lanoë, nous entrons dans le «désert polaire européen». A la Grande Pile (Woillard 1974), le froid détruit en partie la couverture végétale. Le maximum d'extension des glaces en Europe est associé à une période particulièrement aride que l'on peut estimer entre 25 et 15 ka BP. Elle doit correspondre au maximum de l'extension du glacier rhodanien au Pléniglaciaire.

#### Phase 9 : dépôt du faciès carbonaté de l'unité E6

Des dépôts silteux fins, peu remaniés, carbonatés (entre 10 % et 20 %), très peu argileux, constituant le faciès carbonaté de l'unité E6 et contenant des mollusques datés par  $^{14}\text{C}$  de  $20\,240 \pm 200$  BP (UZ-3813/ETH-14410), ont été piégés par le paléorelief déprimé en amont du site. Ils reflètent des conditions écologiques locales précises (chap. 8.1) : un environnement froid, une source d'humidité (névés en amont?) et la présence de rochers affleurant en amont qui implique une dénudation préexistante des sols, peut être associée à la phase érosive IV. La présence de cailloutis calcaires locaux anguleux et géoliffractés dans la matrice conforte l'insertion de l'unité E6 dans des conditions environnementales froides.

De plus, la présence de petits dépôts de silts fins vannés confirme une forte humidité du milieu. Cette dépression humide a certainement été favorable au piégeage et à l'accumulation des particules éoliennes. Cet événement a pu se produire en fait après 20 ka BP, c'est-à-dire dans la partie finale du Pléniglaciaire supérieur. En effet, l'adjonction de carbonates fossiles a pu produire un vieillissement artificiel de la date  $^{14}\text{C}$  effectuée sur des coquilles de mollusques (chap. 7.1).

#### Phase 10: matérialisation de l'unité E5 base cryoturbée et E5 sommet (head calcaire)

##### Unité E5 base

En stratigraphie, la phase 10 est matérialisée par un fort remaniement (mélange mécanique d'éléments des unités E9-E6) et par des déformations sédimentaires unissant des masses caillouteuses calcaires locales selon le mécanisme de la cryoturbation profonde (Campy et Macaire 1989), sur une hauteur pouvant être métrique (coupe D, fig. 15 et fig. 17). Les sédiments sont peu structurés, décompactés, contenant des bandes de silts très fins et des précipitations ferriques et manganiques, témoignant d'une accumulation de fer de ségrégation (chap 5.4.1.3). Ces structures sont déformées par les mouvements dus au gel. Les mouvements de cryoturbation ont pu se produire durant la phase finale du Pléniglaciaire, car ils ont remanié directement les silts lœssiques à mollusques de l'unité E6 (phase 9).

##### Unité E5 sommet

Sur l'unité déformée E5 base, qui paraît se figer, se dépose un cailloutis étalé, à éléments calcaires locaux assez anguleux (taille comprise entre 3 et 6 cm), de nature analogue à ceux constituant la phase E5 base. Les éléments du cailloutis portent parfois des craquelures de gel, et la matrice silto-argileuse est en partie d'origine lœssique (fig. 19). La mise en place s'est probablement faite selon les mécanismes de la cryoreptation ou de la gélifluxion (chap. 3.5). Le dépôt supérieur correspond à la définition du head selon B. van Vliet-Lanoë (1988).

#### Environnement climatique

Les dépôts de l'unité E5 correspondent à une phase froide (cryoturbation) et humide (stock d'eau suffisant pour permettre les déformations par gel-dégel). Les structures lamellaires de gel, qui se développent dans les sédiments des unités E6 et E7 et qui sont corrélées aux mouvements de cryoturbation de l'unité E5, attestent également d'un environnement qui reste très froid. Lors de la phase 10, l'environnement paraît caractérisé par le développement d'une hydromorphie (blocage poreux du sédiment par les cryoturbations répétées?) et par une écologie de type cryosol (lits rubanés ferriques et manganiques, importante mobilisation du fer par les bactéries, van Vliet Lanoë 1988 et 1995).

L'insertion chronologique est définie par :

- une limite inférieure donnée par la date TL relevée dans la partie médiane de l'unité E6 ( $22,5 \pm 2,4$  ka BP, mesure TL5, chap. 7.1) et par la date  $^{14}\text{C}$  ( $20\,240 \pm 200$  BP, UZ-3813/ETH-14410, chap. 7.2) relevée dans l'unité E6 carbonatée située directement sous les sédiments de l'unité E5, dont les sédiments ont été directement remaniés par les mouvements de cryoturbation de la phase 10.
- une limite supérieure donnée par le dépôt du faciès à éléments lœssiques de l'unité E4, contenant à son sommet du mobilier lithique magdalénien (chap. 10.1) et recouvrant le cailloutis de l'unité E5 sommet.

La phase 10 se développe donc entre 20 ka BP et environ 15 ka BP, c'est-à-dire à la fin du Pléniglaciaire supérieur.



### Insertion dans le domaine européen nord-occidental

Dans le Bassin parisien, dans le Nord de la France et en Belgique, J.P. Lautridou et J. Sommé (1974) voient, au Pléniglaciaire supérieur, des dépôts de cailloutis et des fentes de gel s'intercaler entre des limons et des lœss de couverture, alors que dans le Bassin parisien s'accumule une succession de limons à doublets sur un cailloutis de base avec fentes de gel. En Normandie, au-dessus des cailloutis, se constituent les limons à doublets du Pléniglaciaire supérieur. C'est à cette phase que s'individualisent le mieux des provinces climato-sédimentaires. Finalement, l'unité E5 s'insère dans la problématique des lœss supérieurs récents ou lœss de couverture du Nord de la France que les auteurs s'accordent à placer entre 27 et 12 ka BP.

En ce qui concerne les déformations par cryoturbations qui requièrent une humidité suffisante, B. van Vliet-Lanoë signale, pour le nord-ouest de l'Europe, qu'après une période très aride située vers 25-23 ka BP, l'humidité augmente progressivement après l'épisode de Kesselt et que le climat s'améliore légèrement (van Vliet-Lanoë 1988, 1992). Les horizons de cryoturbation et de solifluxion du Pléniglaciaire supérieur représentent des marques dont le caractère morphosédimentaire se suit sur de longues distances. B. van Vliet-Lanoë place cet épisode après 23 ka BP. En fait, les mouvements de la phase 10 paraissent, par l'insertion chronostratigraphique évoquée plus haut, postérieurs à tous ces événements. A ce sujet, B. van Vliet-Lanoë (1988, p. 770) situe une ultime poussée glaciaire au Stade de Poméranie, aux alentours de 15-16 ka BP, accompagnée de dépôts cryoturbés marquée par un froid sec devenant plus humide.

### Phase 11 : les lœss remaniés de couverture de l'unité E4

Il s'agit du dernier dépôt des sédiments limoneux éoliens remaniés selon une surface topographique constituée par le sommet du head. Si l'on suit la logique d'insertion chronostratigraphique, ceux-ci doivent être, tout comme le sont les sédiments de l'unité E5, obligatoirement postérieurs à 20 ka BP (mesures TL, chap 7.2; mesure  $^{14}\text{C}$  sur mollusques, chap. 7.1). En effet, ils se trouvent stratigraphiquement au-dessus des sédiments qui appartiennent à l'unité E6, datés de  $22,5 \pm 2,4$  ka BP (chap. 7.2) et au-dessus du cailloutis supérieur de l'unité E5 (head). Les sédiments de l'unité E4 sont également directement délimités chronologiquement à leur sommet par le dépôt du mobilier magdalénien (chap. 10 et fig. 104). L'insertion chronostratigraphique correspond donc à un dépôt qui s'est constitué à la fin du Pléniglaciaire supérieur ou pendant le Tardiglaciaire.

J.J. Puisségur (1976) signale le dépôt des lœss supérieurs entre 17 et 15 ka BP avec une industrie du Paléolithique final (Magdalénien) et des dépôts de lœss carbonatés contenant des mollusques *Columella columella*, *Succinea* et *Pupilla*. Au Bölling, dans le nord de l'Europe occidentale, apparaît un milieu boréal continental à gel saisonnier peu végétalisé avec des sols encore instables. La disparition des glaces sur le Plateau suisse est estimée à 15 ka BP et le boisement de la bordure des Alpes à 12,5 ka BP (Wohlfarth 1993, Ammann 1993).

Dans la coupe du Nantois, S. Loyer et al. (1995, couche D4, p. 30) placent les lœss homogènes très bien classés (médiane à  $33,5 \mu\text{m}$ ), carbonatés (16 % de carbonates), et micacés, à la fin du Pléniglaciaire supérieur, vers 18 ka BP, juste avant le Stade de Poméranie. J. Buraczynski et J. Butrym (1984) ont déterminé à Achenheim des lœss supérieurs récents (Vistulien III); ils sont carbonatés et leur accumulation est associée à la période du maximum de froid entre 20 et 12 ka BP (datations TL). J. Sommé et al. (1986, p. 102) y ont reconnu une faune à *Columella columella* avec *Succinea oblonga* et *Pupilla alpicola* dans une couche lœssique (lœss supérieur de couverture) datée de  $17 \pm 3,2$  ka BP. J. Buraczynski et J. Butrym obtiennent un âge de  $15,4 \pm 2,2$  ka BP dans une couche supérieure très carbonatée (30 à 40 % de  $\text{CaCO}_3$ ), appartenant aux lœss récents supérieurs du Vistulien III (Würm III ou Pléniglaciaire supérieur).

Les lœss de l'unité E4 s'insèrent donc dans la problématique des lœss supérieurs récents en milieu aride, que les auteurs s'accordent à placer entre 20 et 12 ka BP. Cependant, si une partie du stock éolien formant l'unité E4 a pu se mettre en place lors d'épisodes froids et relativement secs, la décompaction, l'absence nette de traces de cryoturbation de type lamellaire, telles que celles qui ont été observées dans l'unité E6 (phase 8 et chap. 5.5.2.2), la teneur argileuse plus conséquente que pour l'unité E6 et le moins bon tri que celui relevé dans les sédiments de l'unité E6 (chap 4.2.2), indiquent également une mise en place par colluvionnement et un remaniement ultérieur par la pédogénèse (phases 13 et 14).

### Phase 12: occupation magdalénienne, partie sommitale de l'unité E4

Dans la partie supérieure, mais non pas sommitale, des sédiments de l'unité E4 contenant quelques charbons de bois, un gisement peu remanié du Paléolithique supérieur (Magdalénien) a été reconnu. Le faible remaniement de l'industrie lithique indique certainement un niveau paléotopographique (niveau physique de circulation). Le dépôt archéologique a été ensuite recouvert par une certaine tranche de sédiments remaniés (limons lœssiques remaniés, chap. 5.4.2.2); elle constitue la partie sommitale de l'unité E4.

Le fait que les artefacts magdaléniens n'ont pas été érodés par les défrichements ultérieurs (phase 15) indique peut-être que le dépôt du mobilier était bien ancré dans le sédiment, et donc qu'il relève d'une certaine « ancienneté » (notion subjective il est vrai) par rapport aux marques pédologiques holocènes ultérieures (phases 13 et 14). Leur présence effective en stratigraphie indique qu'ils n'ont pas été déposés juste sous l'humus forestier holocène, cette partie sédimentaire ayant été érodée par les défrichements néolithiques (Aubry 1997). Une tranche de limons recouvre les vestiges magdaléniens, ceci indique que le colluvionnement et le dépôt éolien se sont encore poursuivis après l'occupation du site.

### Phase 13: fixation progressive du paysage

Après la fin de la mise en place des sédiments de l'unité E4, la pédogénèse se développe. Durant les interstades de Bölling et d'Alleröd (Woillard 1974, van Vliet-Lanoë 1992) se produisent



une décarbonatation et une illuviation argileuse aux dépens des sols pléniglaciaires supérieurs (chap. 5.5.3.). Ceci se déroule avant l'établissement de la couverture végétale continue. Cette illuviation (enrichissement par translocation d'argiles) peut parfois être détectée par la granulométrie au travers de l'augmentation des particules fines dans certains profils (Aubry et Guélat 1997).

En ce qui concerne la végétation du nord-est de la France, G. Woillard signale, pour le Dryas, des paysages particulièrement ouverts avec une végétation herbeuse à graminées. Lors des oscillations Bölling et Alleröd, l'épicéa, le hêtre et le sapin, qui s'étaient très faiblement maintenus durant le Dryas, se développent (Woillard 1974, p. 101).

Après l'ultime épisode froid du Dryas récent, entre 10 et 11 ka BP (qui ne se marque pas à Alle, Noir Bois), les sols ont tendance à se fixer définitivement, jusqu'à la phase importante de déstabilisation anthropique au Néolithique (défrichements, agriculture).

Du point de vue alluvial, durant la période tardiglaciaire, on observe une ultime incision du thalweg, dont l'axe correspond à l'Allaine actuelle, accompagnée d'un remblayage alluvial grossier (Aubry 1999b). A ce sujet, B. van Vliet-Lanøe (1992) cite le lien entre une couverture végétale qui s'installe progressivement et une phase d'incision des vallées fluviales pléniglaciaires, lors du réchauffement au Tardiglaciaire (Bölling-Alleröd).

#### Phase 14: fixation du paysage

A partir de 10 ka BP, on constate un réchauffement rapide du climat qui coïncide avec le début de l'Holocène (Magny 1995; Delpech 1999). Durant la première partie de l'Holocène, les sols, sous couverture forestière, sont fixés et restent stables même en forte pente. L'évolution de ceux-ci est uniquement gérée par une pédogénèse biochimique. L'évolution des sols sur lœss se dirige vers un système néoluvisol ou luvisol (Baize et Girard 1995) avec le lien argile-fer-humus.

Sur le site du Frère Joseph (Vosges, France), localisé à 60 kilomètres au nord-est d'Alle, Noir Bois, G. Woillard constate la mise en place d'une végétation pionnière (génévrier, pin, bouleau, saule, etc.) au Préboréal et au Boréal; par la suite la chênaie mixte ou forêt climacique (chêne, hêtre, quelques sapins, etc.) de l'étage collinéen à submontagnard s'installe à l'Atlantique (Woillard

1974 p. 33-39). Les sols sur lœss, sous couverture forestière, doivent devenir certainement assez acides et relativement peu épais. Les reliefs sont plus escarpés qu'actuellement (Aubry 1997).

#### Erosion V: déstabilisation anthropogène du paysage

Cette période correspond à l'érosion de la partie sommitale des profils pédologiques naturels sous couvert forestier. Sur le terrain, on remarque la matérialisation d'un contact fortement bioturbé, abrupt et très irrégulier, avec des dépôts charbonneux colluviaux et des horizons archéologiques correspondant à la période subboréale-subatlantique (unité E3). Sur le site de Frère Joseph (Woillard 1974), on assiste à la dominance du hêtre au Subboréal. A la fin de cette période, le sapin (*abies*) s'étend, et la hêtraie sapinière s'installe. En Ajoie, la période du Subboréal correspond aux premiers défrichements humains et à la reprise de l'érosion des sols, comme au Pléniglaciaire, mais en milieu tempéré et humide cette fois-ci.

#### Phase 15

C'est à cette période que l'on voit débiter le remblayage colluvial et la remontée des profils d'équilibre des rivières (Allaine), par accumulation sédimentaire dans les thalwegs. On assiste à l'amorce du nivellement artificiel des reliefs qui va se poursuivre en s'accroissant durant les périodes protohistoriques et historiques. Cette érosion anthropogène n'a laissé, à Alle, Noir Bois, qu'un profil Bt tronqué, les profils A et E de l'ancienne forêt climacique ayant été totalement érodés. Les unités E3 et E2 charbonneuses se mettent en place au gré de l'intensité des occupations, parallèlement à une bioturbation intense qui s'installe et qui parfois altère fortement les profils pédologiques.

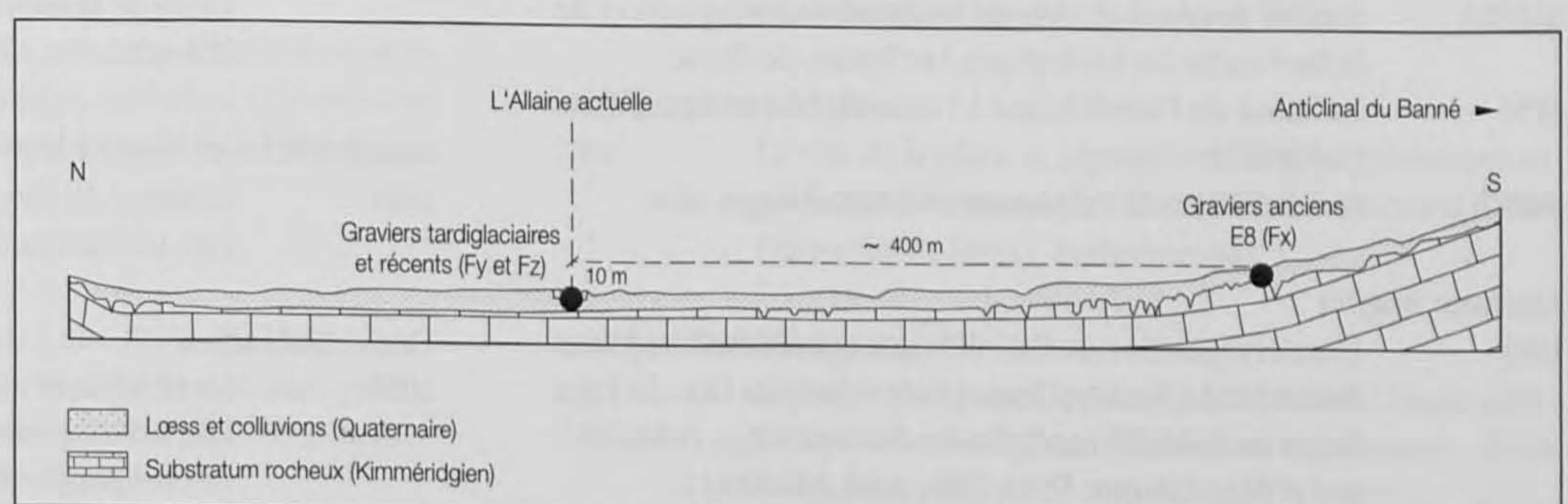
#### Erosion VI

Cette période correspond à l'accélération du colluvionnement constatée depuis le Moyen Age (unité E2).

#### Phase 16: état actuel

Actuellement, en dehors des cultures importantes, la hêtraie à résineux est bien implantée dans le paysage (sylviculture) et l'érosion des sols se poursuit avec toutefois une baisse de son intensité avec l'application des nouvelles politiques agricoles (paiement directs, production intégrée et agriculture biologique).

Fig. 34. Coupe géologique schématique à travers la plaine alluviale de l'Allaine et passant par le site. On remarque le relief peu prononcé constitué à l'Oligocène (synclinal à fond plat).





#### 4.7 Exhaussement du plateau ajoulot et épirogénèse

A Alle, Noir Bois, la fin Pléni-glaciaire supérieur, voire le Tardi-glaciaire, paraît être en relation avec un dépôt massif de graviers (nappe de fond de thalweg Fy, Aubry 1999a), selon le schéma du remblaiement alluvial en période de climat froid et humide (Campy et Macaire 1989). Ces derniers reposent en profondeur et ont été reconnus sous les graviers actuels de l'Allaine, dont le niveau s'est relevé depuis l'occupation de l'Homme au Néolithique, par le mécanisme du remblayage colluvial (phase 15, chap. 4.6), en fond de thalweg.

Depuis la position ancienne, plus au sud (phase 3, chap. 4.6), l'axe des écoulements a donc migré de 400 mètres vers le nord, et le niveau de base des eaux s'est abaissé d'environ dix mètres (cote approximative entre le niveau occupé par les graviers de l'unité E8 (Fx, 447,00 m) et le niveau des graviers tardiglaciaires avant le remblayage de Fz – graviers holocènes, soit 437,00 m). Il n'est pas interdit de lier cette migration avec le principe des mouvements isostatiques ou épirogéniques, associés au Jura tabulaire. La période écoulée entre le dépôt des sables graveleux Fx (unité E8) et aujourd'hui, est au minimum de 100 000 ans (phase 3 à phase 14, chap. 4.6). Un rapide calcul donne un mouvement du soubassement jurassique basculant vers le nord et vers le haut, par un déplacement et un abaissement de l'axe fluvial, d'une moyenne d'environ dix mètres pour 100 000 ans, ce qui nous donnerait une vitesse de l'ordre de 0,1 mm/an de remontée épirogénique. Ces données, qui sont basées sur la logique sédimentaire, restent toutefois à vérifier. Elles pourraient correspondre à un soulèvement épirogénique assez modéré, mais il faut se souvenir que nous sommes dans la structure du Jura tabulaire et à proximité du Fossé rhénan (chap. 2.1).

#### 4.8 Bibliographie

##### Abréviations utilisées:

AFEQ	Bulletin de l'Association française pour l'Etude du Quaternaire, CNRS, Paris.
AFES	Association française pour l'étude des sols, Paris.
CAJ	Cahier d'archéologie jurassienne, Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Emulation, Porrentruy.
CNRS	Centre national de la Recherche scientifique, Paris.
CUER	Centre Universitaire d'Etudes Régionales, Université de Franche-Comté, Besançon.
(dir.)	Sous la direction de, réunis par.
EGH	Eclogae Geologicae Helvetiae, Bâle.
INRA	Institut national de la recherche agronomique, Paris.
OPH	Office du patrimoine historique, Section d'archéologie, Porrentruy.
SAMRA	Société des Amis du Musée National de Préhistoire et de la Recherche Archéologique, Les Eyzies-de-Tayac.
SPM	La Suisse du Paléolithique à l'aube du Moyen Age, publié par la SSPA
SSPA	Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie, Bâle.

##### Ammann Brigitta

- 1993 Flore et végétation au Paléolithique et au Mésolithique en Suisse. In : Le Tensorer Jean-Marie et Niffeler Urs (dir.) : *La Suisse du Paléolithique à l'aube du Moyen-Age. Paléolithique et Mésolithique*. SSPA, Bâle, p. 66-84. (SPM I).

- Arduino E., Barberis E., Cararo F. et Forno M. G.  
1984 Estimating relative ages from iron-oxyde/total-iron ratio of soils in the Western Po valley, Italy. *Geoderma* 33, Amsterdam, p. 39-52.
- Arduino E., Barberis E. et al.  
1986 Iron oxydes and clay minerals within profiles as indicators of soil age in northern Italy. *Geoderma* 37, Amsterdam, p. 45-55.
- Aubry Denis  
1994 Etude géologique. In : Pousaz Nicole, Taillard Pascal et Schenardi Maruska: *Sites protohistoriques à Courfaiivre et Age du Bronze dans le Jura*. CAJ 5, p. 19-40.
- 1997 Environnement sédimentologique. In : Othenin-Girard Blaise et al. : *Le Campaniforme d'Alle, Noir Bois*. CAJ 7, p. 24-36.
- 1999a Etude géologique. In : Stahl Gretsche Laurence-Isaline, Detrey Jean et al. : *Le site moustérien d'Alle, Pré Monsieur*. CAJ 9, p. 17-46.
- 1999b Le tronçon de route avec recharges d'Alle, Noir Bois : étude sédimentologique. In : Demarez Jean-Daniel, Othenin-Girard Blaise et al. : *Une chaussée romaine avec relais entre Alle et Porrentruy*. CAJ 8, p. 117-122.
- Aubry Denis et Guélat Michel  
1997 Environnement sédimentologique. In : Othenin-Girard Blaise et al. : *Le Campaniforme d'Alle, Noir Bois*. CAJ 7, p. 24-39.
- Baize Denis et Girard Michel-Claude (dir.)  
1995 *Référentiel pédologique. Techniques et pratiques*. AFES, INRA, 222 p., 107 fig., 4 pl., 22 tabl.
- Baize Denis et Jabiol Bernard  
1995 *Guide pour la description des sols*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 375 p.
- Bibus Erhard et Pasda Clemens  
1991 Zur feinstratigraphischen Gliederung und Einstufung eines Artefaktfundes im lössprofil Heitersheim (Südbaden). *Quärtar* 41/42, p. 195-202.
- Bruckert S. et Rouiller J.  
1979 Mécanisme de régulation du pH des sols. In : Bonneau Maurice et Souchier Bernard (dir.) : *Pédologie 2. Constituants et propriétés des sols*. Masson, Paris, p. 354-365.
- Bruckert S. et Gaiffe M.  
1985 *Les sols de Franche-Comté*. CUER, 142 p.
- Buraczynski J. et Butrym J.  
1984 La datation des lœss du profil d'Achenheim (Alsace) à l'aide de la méthode de thermoluminescence. *AFEQ* 4, p. 201-209.
- Campy Michel et Macaire Jean-Jacques  
1989 *Géologie des formations superficielles : géodynamique. Facès, utilisation*. Masson, Paris, 433 p.
- Convertini Fabien  
1997 La céramique : origine des ressources argileuses et analyse technique culturelle. In : Othenin-Girard Blaise et al. : *Le Campaniforme d'Alle, Noir Bois*. CAJ 7, p. 70-93.



- Costet Jean et Sanglerat Guy  
1981 *Cours pratique de mécanique des sols 1. Plasticité et calcul des tassements*. Dunod, Paris, 283 p.
- Courty Marie-Agnès, Goldberg Paul et Macphail Richard  
1989 *Soils and micromorphology in archeology*. University Press, Cambridge, 344 p.
- Cuna-Bogé Nicole  
1989 Etude granulométrique. In : Truffreau Alain et Sommé Jean (dir.) : *Le gisement paléolithique moyen de Biach-Saint-Vaast (Pas-de-Calais), volume I*. Société préhistorique française, Paris, p. 47-53. (Mémoire 21).
- Delpech Françoise  
1999 Biomasse d'ongulés au Paléolithique et inférences sur la démographie. *Paléo* 11, SAMRA, p. 19-42.
- Duchaufour Philippe  
1995 *Pédologie. Sol, végétation environnement*. Masson, Paris, 324 p., 85 fig.
- Fedoroff Nicolas et Courty Marie-Agnès  
1987 Paléosols. In : Miskowsky Jean-Claude (dir.) : *Géologie de la préhistoire*. Géopré, Maison de la géologie, Paris, p. 251-280.
- Gobat Jean-Michel, Aragno Michel et Matthey Willy  
1998 *Le sol vivant. Bases de pédologie. Biologie des sols*. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 519 p. (Gérer l'environnement 14).
- Guélat Michel  
1987 Géologie. In : Masserey Catherine, Pousaz Nicole et al. : *Prospection archéologique : sondages en Ajoie et dans la vallée de Delémont*. OPH, p. 17-32 (Archéologie et transjurane 2, rapport inédit).
- 1990 Contexte géologique. Champ de la Borne. In : Masserey Catherine, Eschenlohr Corinne et Othenin-Girard Blaise. *Sondages dans la vallée de Delémont et en Ajoie*. OPH, p. 61 (Archéologie et transjurane 8, rapport inédit).
- Lautridou Jean-Pierre et Sommé Jean  
1974 Les loëss et provinces climato-sédimentaires du Pléistocène supérieur dans le Nord-Ouest de la France. Essai de corrélation entre le Nord et la Normandie. *AFEQ* 3-4, p. 234-241.
- Laville Henri, Raynal Jean-Paul et Texier Jean-Pierre  
1986 Le dernier interglaciaire et le cycle climatique wurmien dans le sud-ouest et le Massif Central français. *AFEQ* 1-2, p. 35-46.
- Lièvre Ami, Fernex Jean et Gretillat Pierre-Alain  
1992 Les eaux souterraines du Jura tabulaire d'Ajoie. Evolution de la qualité bactériologique, évolution et protection des ressources. *Actes de la Société jurassienne d'Emulation* 95, p. 187-250.
- Loyer Stéphane et al.  
1995 La coupe de Nantois (Baie de Saint-Brieuc, France) : datation par thermoluminescence (TL) et données paléoenvironnementales nouvelles pour le Pléistocène de Bretagne. *Quaternaire* 6/1, p. 21-33.
- Lozet Jean et Mathieu Clément  
1986 *Dictionnaire de sciences du sol*. Technique et documentation-Lavoisier, Paris, 384 p.
- Magny Michel et Richard Hervé  
1995 L'évolution du climat entre 500 BC et 500 AD. Quelques éléments de réflexion. In: Buchsenschutz Olivier et Richard Hervé: *L'environnement du Mont Beuvray*, p. 51-56. CNRS, Laboratoire de chrono-écologie, Besançon (Bibracte 1).
- Masatada Oyama et Hideo Takehara  
1967 *Revised standard soil color charts (Munsell charts)*. Institut national des sciences agricoles et Ministère de l'agriculture et de la forêt (éd.), Japon, 22 pl.
- Paupe Patrick  
1998 *Sondages sur les sections 1 et 2 de l'A16*. OPH, 101 p. (Archéologie et Transjurane 55, rapport inédit).
- Pochon Michel  
1974 *Origine et évolution des sols du Haut-Jura Suisse (phénomènes d'altération des roches calcaires sous climat tempéré humide)*. Thèse, Faculté des sciences de l'Université de Neuchâtel, Druck von Gebrüder Fretz AG, Zurich.
- Puisségur J. J.  
1976 Les mollusques et le Périglaciaire. *AFEQ* 3-4, p. 177-178.
- Pujol Claude et Turon Jean-Louis  
1986 Comparaison des cycles climatiques en domaine marin et continental entre 130000 et 28000 ans B.P. dans l'hémisphère nord. *AFEQ* 1-2, p. 17-25.
- Recordon E.  
1984 *Technologie des sols*. Laboratoire de mécanique des sols, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 205 p.
- Reineck Hans-Erich et Singh Indra Bir  
1980 *Depositional sedimentary environments with reference to terrigenous clastics*. Springer, Berlin, 549 p.
- Sommé Jean  
1990 Enregistrements-réponses des environnements sédimentaires et stratigraphiques du Quaternaire. Exemples d'Achenheim (Alsace) et de la Grande Pile (Vosges). *AFEQ* 1, p. 25-32.
- Sommé Jean et al.  
1986 Le cycle climatique du pléistocène supérieur dans les loëss d'Alsace à Achenheim. *AFEQ* 1-2, p. 97-104.
- Vadi Gaëlle  
1998 *Etude du fer sur deux sites de fouille de la Transjurane*. Laboratoire d'écologie végétale et phytosociologie, Université de Neuchâtel, 20 p. (rapport inédit).
- van Vliet-Lanoë Brigitte  
1988 *Le rôle de la glace de ségrégation dans les formations superficielles de l'Europe de l'Ouest*. Thèse de doctorat d'Etat, Université de Paris I, Sorbonne, 845 p.
- van Vliet-Lanoë Brigitte  
1995 Cryosols : In : Baize Denis et Girard Michel-Claude (dir.) : *Référentiel pédologique. Techniques et pratiques*. AFES, INRA, p.131-142.



van Vliet-Lanoë Brigitte et al.

- 1992 Soil erosion in Western Europe : from the last interglacial to the present. In : Bell Martin et Boardman John : *Past and present soil erosion*. Oxford, p. 101-114 (*Oxbow monograph* 22).

Woillard Geneviève

- 1975 Recherches palynologiques sur le Pléistocène dans l'Est de la Belgique et dans les Vosges lorraines. *Acta Geographica Lovaniensia* 14, p. 1-163 p.
- 1978 Grande Pile peat-bog : a continuous pollen record for the last 140000 years. *Quaternary Research* 9, p. 1-21.
- 1979 The last interglacial cycle at Grande Pile in Northeastern France. *Bulletin de la Société belge de géologie* 88/1, p. 51-69.

Wohlfarth Barbara

- 1993 Evolution du paysage au Tardiglaciaire du Würm et au début de l'Holocène en Suisse. In : Le Tensorer Jean-Marie et Niffeler Urs (dir.) : *La Suisse du Paléolithique à l'aube du Moyen-Age. Paléolithique et Mésolithique*. SSPA, Bâle, p. 57-65 (SPM I).

Woillard Geneviève et Mook Willem. G.

- 1982 Carbon-14 Dates at Grande Pile : Correlation of Land and Sea Chronologies. *Science* 215, p. 159-161.

Zollinger Gaby

- 1991 Zur Landschaftsgenese und Quartärstratigraphie am südlichen Oberrheingraben – am Beispiel der lössdeckschichten der Ziegelei in Allschwil (Kanton Basel-Landschaft). *EGH* 84/3, p. 739-752.



## 5 APPROCHE MICROMORPHOLOGIQUE

(Michel Guélat)

### 5.1 Introduction

Après un bref énoncé des publications antérieures et du déroulement des travaux, certains aspects méthodologiques sont succinctement présentés ci-dessous. Ces options ont été prises dans la démarche afin d'obtenir un concept le plus synthétique possible de la séquence pédosédimentaire enregistrée à Alle, Noir Bois durant le dernier cycle glaciaire.

#### 5.1.1 Etat de la question

##### 5.1.1.1 Données antérieures

On trouve dans l'Atlas géologique de la Suisse les premières mentions, quoique succinctes, des formations limoneuses recouvrant le plateau ajoulot: A. Schneider (1960, p. 40) y fait le point des connaissances à ce sujet en distinguant différents types de «lehms» quaternaires. Cet auteur suppose ainsi que les «lehms d'altération» (*Verwitterungslehme*), quand ils atteignent une certaine puissance, correspondent à des lœss altérés. Il précise encore (Schneider 1960, p. 41) qu'«il serait souhaitable qu'une étude approfondie des différents lehms d'Ajoie soit lancée avec des méthodes scientifiques nouvelles, ce qui pourrait conduire à des résultats intéressants». Sans apporter d'élément véritablement nouveau, H. Liniger (1967, p. 445) reprend ces notions en soulignant que «la datation des lehms ajoulots pourrait progresser si l'on pouvait y découvrir, comme sur le gisement d'Achenheim en Alsace, des fossiles ou encore des couches archéologiques de l'Age de la Pierre».

##### 5.1.1.2 Chronique de la recherche

Dès le début des travaux de sauvetage archéologique, en 1986, nous avons rencontré en Ajoie cette couverture limoneuse méconnue qui, épaisse de 1 à 3 m, reposait en discordance aussi bien sur les terrains secondaires, tertiaires que quaternaires. Dans une synthèse préliminaire proposée sur le Quaternaire

de la plaine d'Alle, nos observations nous ont incité à ranger ces «lehms» dans la catégorie des formations éoliennes, que nous supposons contemporaines de la dernière, voire de l'avant-dernière glaciation (Guélat 1987). Ces premières hypothèses seront appliquées sans autre les années suivantes jusqu'à la découverte du gisement d'Alle, Noir Bois qui devait apporter des données véritablement nouvelles sur la question. Au cours de l'unique campagne de terrain à laquelle j'ai activement participé, en 1991, un découpage stratigraphique général du gisement, en particulier pour les sédiments antéholocènes, a été défini. A la suite de ces observations, une synthèse phénoménologique et une insertion chronologique des différentes unités stratigraphiques ont été esquissées (Guélat 1992). Ce modèle hypothétique a été publié tel quel dans un article préliminaire (Masserey et al. 1993) et constitue la base de réflexion à partir de laquelle s'amorce la présente approche. Dès 1992, suite à une multiplication des chantiers archéologiques sur le tracé autoroutier, l'étude géologique de ce vaste gisement a été intégralement confiée à Denis Aubry.

##### 5.1.1.3 Evolution des sols à l'Holocène

Les dépôts relativement récents, dans lesquels s'expriment les traces de l'activité humaine, ont déjà fait l'objet d'une approche paléoenvironnementale: l'étude du gisement du Campaniforme (Néolithique final) de Noir Bois (Othenin-Girard et al. 1997) nous a donné l'occasion de réaliser l'analyse micromorphologique d'un profil où les sédiments de la deuxième partie de l'Holocène étaient bien développés. Pour mémoire, nous faisons ici un bref énoncé de ces résultats qui n'interviennent que sporadiquement plus loin dans notre analyse centrée sur les formations antéholocènes.

On relèvera ainsi l'apparition, à la base de ce profil, d'un horizon argilique profond développé sur substrat lœssique et formé par hypothèse au Tardiglaciaire (horizon de type 2Bt). Celui-ci est tronqué par les premiers aménagements anthropiques en relation avec l'occupation du Néolithique final. Consécutivement, une épaisseur considérable de colluvions de sol s'est accumulée dans la dépression karstique où se situe la séquence analysée. Ce phénomène s'est poursuivi jusqu'à la période

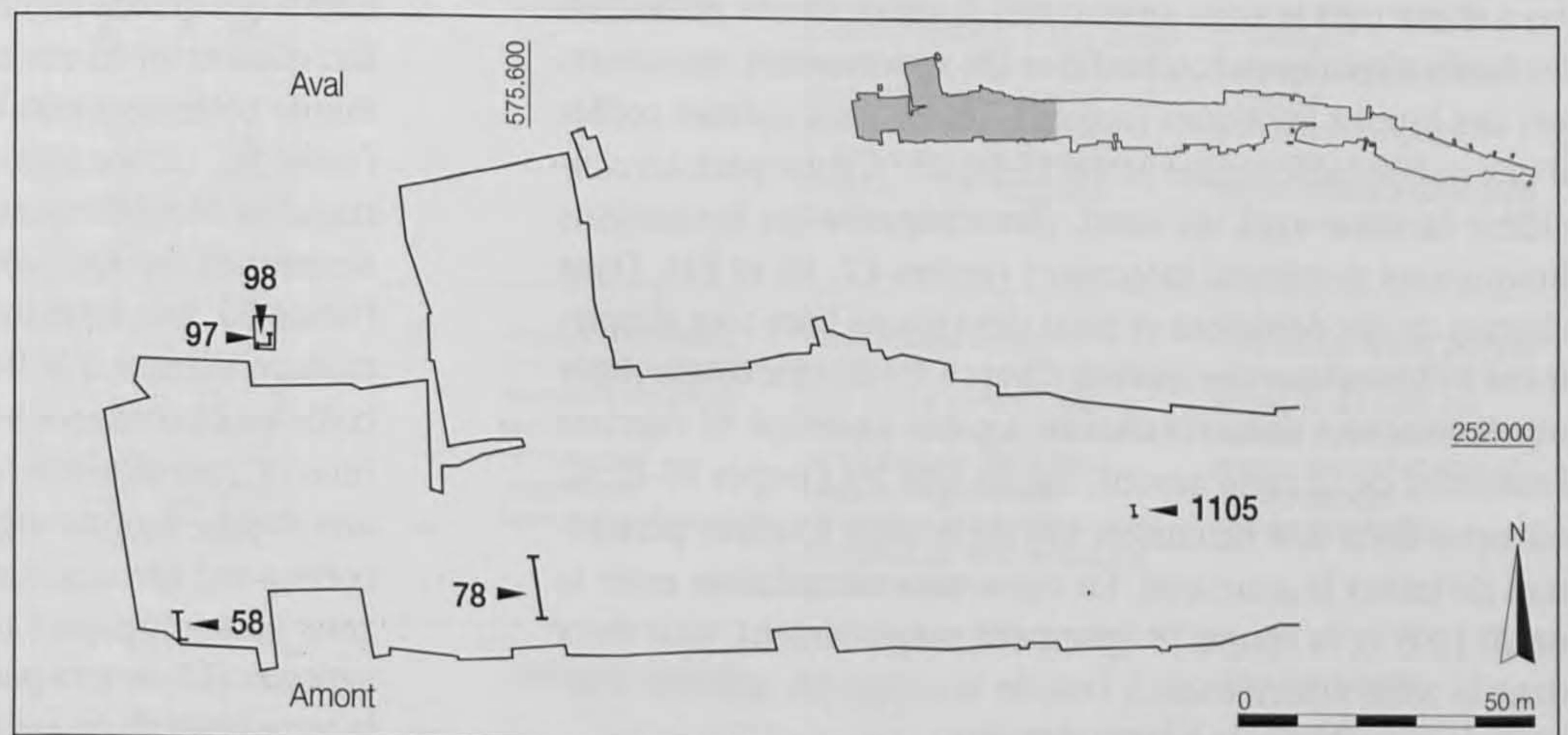


Fig. 35. Situation des coupes sur lesquelles se base l'analyse micromorphologique, dans la partie occidentale du site.



gallo-romaine, voire au-delà. De plus, un second horizon illuvial, hydromorphe cette fois (horizon de type Btg), s'est développé dans ces colluvions: celui-ci résulte en fait de l'exploitation agricole du sol. On peut y distinguer une phase d'agriculture précoce, postérieure au Néolithique final et peut-être en relation avec l'occupation gallo-romaine, et une phase beaucoup plus tardive, liée aux pratiques culturelles modernes.

### 5.1.2 Objectifs et méthode

La micromorphologie n'est valable qu'en appui d'une rigoureuse approche de terrain qu'elle permet souvent de compléter de manière efficace, comme dans le cas du site de Noir Bois. La démarche consiste, dans un premier temps, en la description microscopique et, partant, l'identification systématique des sédiments répertoriés sur le gisement. Mais il serait dommage d'en rester là: cette lecture micromorphologique permet le décryptage, pour chaque unité, de la succession des phases génétiques enregistrées dans les sols fossiles et les sédiments. En intégrant les données stratigraphiques et les éléments de datation à disposition, on peut dès lors formuler une reconstitution phénoménologique qui constitue l'objectif principal de l'étude: chaque unité fait ainsi l'objet d'une interprétation paléoclimatique.

Rappelons que techniquement l'analyse micromorphologique consiste en une observation microscopique de sédiments meubles non perturbés, par le biais de lames minces. Celles-ci sont fabriquées après induration sous vide du prélèvement par de la résine synthétique. Elles sont examinées à l'aide d'un microscope polarisant à grossissement maximum de 630 x. En règle générale, plusieurs échantillons d'une même unité stratigraphique ont été analysés: nous ne présentons bien entendu ci-après qu'un choix parmi le corpus de 64 lames minces au total.

### 5.1.3 Les coupes présentées

Selon l'axe longitudinal, la géométrie des différentes unités stratigraphiques nous montre que c'est dans la partie occidentale du site que les formations antérieures à l'Holocène sont le mieux préservées (chap. 3.3, fig. 14). Cette extrémité du gisement peut encore se subdiviser en deux zones à faciès de sédiments divergents, bien que corrélables (coupe A, fig. 15): on a d'une part la zone amont, soit la partie située au sud, où les faciès altéritiques (unités E8 et E9) apparaissent, recouverts par des limons lœssiques (unités E7 et E6), eux-mêmes coiffés d'une nappe caillouteuse (unité E5-head); d'autre part, on considère la zone aval, au nord, dans laquelle les formations limoneuses dominant largement (unités E7, E6 et E4). Dans chacun de ces domaines et pour des raisons liées tout simplement à l'historique des travaux (chap. 5.1.1.2), une coupe jugée représentative a donc été choisie (fig. 35). La coupe 58 exprime l'essentiel de la zone amont, tandis que les coupes 97 et 98, ouvertes dans une extension sud de la zone fouillée, permettent de traiter la zone aval. En outre, une compilation entre le profil 1105 et la coupe 78 (gisement magdalénien), tous deux dans la zone amont mais à l'est de la coupe 58, apporte d'essentiels compléments à cette dernière.



Fig. 36. Vue partielle de la coupe 58, dans le secteur 6, où sont apparus les silex moustériens. De la base au sommet: le complexe altéritique: unités E9 et E8 (couche foncée, un peu graveleuse); les limons lœssiques: unités E7 (couche foncée) et E6 (au sommet, couche plus claire); le head: unité E5; les limons sommitaux (sol actuel): unités E4-E2 (condensées), mais surtout E1 (terre végétale). Hauteur maximale: 3,1 m.

## 5.2 La zone amont: la coupe 58

### 5.2.1 Bref rappel stratigraphique

Rappelons brièvement les caractéristiques principales de la coupe 58. D'une épaisseur maximale de 3,8 m, cette coupe atteint le substrat kimméridgien assez karstifié au-dessus duquel nous avons distingué sept unités, à savoir, de la base au sommet (fig. 36):

- l'unité E9, une altérite bariolée brun jaunâtre, riche en oxydes de fer et manganèse, épaisse au maximum de 50 cm et érodée vers les extrémités de la coupe;
- l'unité E8, constituée de sables limoneux brun rouille renfermant des artefacts de silex; conservée uniquement sur un replat, son épaisseur maximale est de 25 cm;
- l'unité E7, des limons sableux brun rouille passant vers le haut à des limons argileux jaunâtres, à nodules d'oxydes de fer; elle atteint 85 cm au maximum, mais sa puissance diminue nettement vers le nord;
- l'unité E6, carbonatée, formée de silts sableux jaunâtres à coquilles de mollusques; elle comble la dépression de la partie nord où son épaisseur passe à 2 m;
- l'unité E5, une formation caillouteuse emballée dans une matrice silteuse à la base puis argileuse au sommet; elle coiffe en discordance les dépôts précédents et sa puissance (max. 1,2 m) diminue cette fois-ci au sud, vers l'aval;
- une couche limono-argileuse brune, épaisse de 30 cm, qui correspond certainement à l'unité E4 condensée: les horizons archéologiques (unité E3), ainsi que les colluvions agricoles (E2) ne sont pas développés dans cette partie du site;
- la terre végétale ou unité E1 (15 cm).



La géométrie des couches montre qu'un soutirage karstique, lié à la présence d'une doline, a donc été actif dans la moitié nord de la coupe, et ceci jusqu'au colmatage définitif de cette dépression par les limons E6. Vers le nord, à l'aval, ce sont principalement les unités inférieures (E8 et E9) qui disparaissent, érodées dans la pente monoclinale. L'essentiel de l'industrie moustérienne se localise dans les sables E8, plus précisément à proximité de la limite supérieure de cette unité. Lors du décapage manuel de cette interface, de nombreuses traces de racines fossiles sont apparues, comblées par du matériel plus fin provenant de l'unité E7 sus-jacente.

Des échantillons pour l'analyse micromorphologique ont été prélevés dans les unités E6 à E9, aussi bien dans la partie nord de la coupe que dans la dépression karstique (fig. 37).

## 5.2.2 L'altérite bariolée (unité E9)

### Micromorphologie

Sous microscope, cette formation apparaît comme un limon argilo-sableux à gravillons épars, parcouru par un réseau polygonal de fissures (porosité 10%) et dont la microstructure est complexe. Parmi les grains minéraux, exclusivement siliceux, on remarque des quartz arrondis et fissurés ainsi que des feldspaths perthitiques très altérés; on a aussi des fragments de roches calcaires dont il ne subsiste que la trame siliceuse revêtue par des oxydes de fer. Ces derniers imprègnent fortement la matrice brun rouille (charte de couleurs Munsell: 10YR 7/8), très argileuse; celle-ci renferme des boulettes incorporant de gros fragments d'argilanes orangées, microlitées. On observe également des

Unité	Description	Micromorphologie	Interprétation
E1	Limons argileux brun foncé, humifères.	-	Terre végétale.
(E2) E4	Limons brunâtres, plus argileux vers la base.	-	Limons lœssiques et colluvions.
E5	Graviers caillouteux calcaires, dans une matrice silteuse, argileuse au sommet.	-	Horizon argillique (Bt) dans partie supérieure. Coulée de géllifluxion, head.
E6	Silts un peu sableux à gravillons épars, jaunâtres, carbonatés. Renferment des coquilles de mollusques.	Lœss carbonatés, à microstructure en chenaux, avec concrétions de lombrics. Matrice peu altérée, à grains calcaires (20%). Carbonates secondaires (hyporevêtements et calcite racinaire). Traces d'hydromorphie.	Lœss francs, bien conservés en milieu engorgé. Sols pelliculaires au sommet, reposant sur un contact d'érosion. Lœss peu remaniés, stadiaires (milieu steppique froid).
E7	A la base, sables limoneux brun rouille, oxydés, passant au sommet à un limon faiblement sableux, brun-jaune.	Sommet: lœss un peu bioturbés (microstructure à chenaux), à nodules Fe-Mn assez nombreux, de porosité faible (5-10%). Pas de carbonates. Base: contact inférieur érosif. Microstructure polyédrique. Matrice limoneuse à micas et amphiboles très altérés. Illuviation d'argilanes limpides. Charbons de conifères.	Au sommet: lœss faiblement pédogénisés. A la base: colluvions lœssiques, reprenant les formations altérées sous-jacentes; reposent sur un niveau d'ablation. Pédocomplexe construit, lœssique, de type interstadiaire au sommet.
E8	Sables limoneux à gravillons siliceux, brun rouille, contenant des silex retouchés. Traces fossiles de racines.	Microstructure complexe, à porosité très faible (5%). Grains minéraux siliceux, avec calcaires décalcifiés; ces éléments sont granoclassés et montrent une tendance au litage. Eclats de silex calcedoniens, anguleux. Rares charbons de bois. Trois générations de revêtements: 1. coiffes silteuses; 2. argilanes limpides; 3. silto-organique. Bioturbation (racines).	Sables alluviaux (ruissellement ?) à artefacts de silex. Phases proposées: 1. Dépôt des sables et occupation humaine 2. Solifluxion 3. Pédogenèse (sol lessivé); 4. Erosion 5. Pédogenèse (grisol); 6. Erosion majeure. Pédocomplexe interglaciaire à silex moustériens.
E9	Formation argileuse, brun jaunâtre, bariolée de taches argileuses jaunâtres. Très nombreuses concrétions ferro-manganiques.	Microstructure complexe, polyphasée, à porosité très faible (5%). Grains minéraux siliceux d'origine vosgienne, très altérés, parfois fissurés. Boulettes à argilanes fragmentées. Importantes imprégnations ferro-manganiques dans les fissures et dans la matrice.	Paléosol complexe, tronqué au sommet, développé sur limons ou sur cailloutis fluviatile, ayant subi plusieurs phases de cryoturbation et de pédogenèse. Altérite polyphasée.
	Calcaire kimméridgien.	-	Bed-rock karstifié.

Fig. 37. Coupe 58: profil schématique et résumé de l'analyse micromorphologique.



faisceaux d'argiles orientées (stress-cutanes) à proximité des fissures, ainsi que deux types de revêtements de pores, des argilanes brun-jaune coiffées par une illuviation silto-organique brune.

#### Interprétation

L'unité E9 a subi de nombreuses phases génétiques. Sa teneur très élevée en argiles résulte non seulement de la décalcification sur place des éléments carbonatés, mais aussi de plusieurs épisodes illuviaux. La forte imprégnation par les oxydes de fer et de manganèse traduit également une évolution polyphasée, en enrichissements successifs. L'organisation structurale du sédiment, très perturbée, évoque des phénomènes de gonflement-rétraction, bioturbation et cryoturbation. Quant aux revêtements visibles dans les pores, ils proviennent de pédogenèses plus tardives, ayant également affecté l'unité supérieure E8. En résumé, dans la coupe 58 l'unité E9 correspond à un paléosol polyphasé, ayant évolué pendant une longue période comprenant plusieurs phases tempérées (interglaciaires) en alternance avec des phases plus froides.

#### 5.2.3 Les sables du niveau moustérien inférieur (unité E8)

##### Micromorphologie

Cette unité, qui repose en contact érosif sur la précédente, montre également sous lame mince une certaine complexité des traits, mais de lecture plus aisée. Il s'agit de sables assez bien classés, limoneux, à gravillons épars et de faible porosité (5%, vides sous forme de cavités). Dans certaines zones, on distingue un litage des éléments (fig. 42a), tandis que dans d'autres, plus limoneuses et bioturbées, celui-ci semble détruit. Le quartz constitue l'essentiel des grains minéraux, arrondis et anguleux, mais on a aussi des fragments de roches vosgiennes (quartzites, grès quartzitiques et porphyres) et des «fantômes» de calcaires dont il ne reste que la trame siliceuse. On soulignera la présence d'éclats de silex calcédonieux, qui contrastent par leur taille plus grossière et leurs arêtes affilées. On note aussi quelques charbons de bois de conifères (genévrier ?) un peu roulés. La matrice, de teinte orangée (7.5YR 5/8), se constitue en fait d'une accumulation texturale comprenant trois générations de revêtements successifs (fig. 42b), à savoir :

- des coiffes silteuses brunâtres, qui enrobent souvent les grains, y compris les petits éclats de silex;
- dans les vides, d'épais revêtements argileux brun-jaune, microlités; ceux-ci sont disloqués à proximité des zones plus limoneuses;
- une illuviation silto-organique épaisse, brunâtre, moins perturbée que la précédente.

Des imprégnations et des nodules d'oxydes de fer, nettement plus discrets que dans l'unité sous-jacente, parsèment également le sédiment.

##### Interprétation

Concernant l'origine quelque peu énigmatique du dépôt, on dispose de deux faisceaux d'indices: d'une part, le litage apparent des éléments ainsi que leur relatif classement évoquent

sans conteste un sédiment mis en place par ruissellement ou alluvionnement; d'autre part, la nature polygénique de ceux-ci, à forte composante vosgienne, semble impliquer des apports sur une distance dépassant l'amplitude du versant (chap. 2.1). Les observations microscopiques nous permettent en revanche cette fois-ci de reconstituer l'évolution consécutive au dépôt. Cette formation a tout d'abord subi une solifluxion modérée, de faible amplitude, due à une alternance gel-dégel répétée (van Vliet-Lanoë 1985, p. 139). Puis une pédogenèse active, en milieu tempéré de type interglaciaire, a conduit à la décarbonatation complète et à la formation, dans un sol lessivé, d'un horizon argilique Bt bien développé.

La dernière illuviation, de nature silto-organique, pourrait constituer l'indice d'une seconde pédogenèse de type sol gris forestier (van Vliet-Lanoë 1990a, p. 67; grisol, AFES 1995, p.157), développée après érosion du sommet du sol lessivé. Les grosses traces de bioturbation, dues vraisemblablement à des racines, se rattacheront également à ce second sol qui n'est lui non plus pas conservé: un épisode d'intense ablation, illustré par le caractère très abrupt du contact supérieur, s'insère donc avant la mise en place de l'unité E7.

Succinctement, l'unité E8 se définit donc comme un pédocomplexe tronqué, développé sur des sables alluviaux renfermant des éclats de silex peu remaniés. La séquence enregistrée montre que, consécutivement à un premier «coup de froid», on a une succession d'au moins deux pédogenèses, attribuables à un milieu tempéré et séparées par un épisode d'ablation. Une importante phase d'érosion termine cet épisode.

#### 5.2.4 Les limons brun-jaune (unité E7)

##### Micromorphologie

Comme nous avons déjà pu le constater sur le terrain, cette unité présente à l'échelle microscopique des différences entre sa base et son sommet. A proximité de la limite inférieure, de type érosif, on remarque dans la matrice limono-sableuse, de teinte orange brun (7.5YR 5/8), des éléments repris de l'unité E8: gravillons siliceux, sables enrobés et fragments d'argilanes ou papules. La porosité est très faible, aux environs de 5% (vides de type chenaux), et la matrice montre par endroits un très fin litage. Dans la partie médiane, la teneur en sables diminue et la porosité passe à 15%, avec l'apparition de vides planaires, la microstructure étant globalement polyédrique. La matrice de teinte jaune orangé renferme de nombreux micas, généralement altérés. On y remarque des revêtements argileux en deux générations: une en place, en revêtements de pore; l'autre démantelée dans la masse. Sous forme de boulettes, un faciès argilo-limoneux très organique s'individualise, en association avec des charbons de conifères.

Dans la partie supérieure, le sédiment devient nettement plus silteux, avec une abondance en micas altérés. De très nettes traces de bioturbation, vraisemblablement dues à des larves de coléoptères, se marquent dans la matrice jaunâtre (10YR 6/8) où se trouvent des nodules et imprégnations ferro-manganiques, parfois sur d'anciennes racines.



## Interprétation

Le bas de la séquence montre des traits colluviaux très nets, avec des ruissellements qui ont comblé les fissures de l'unité sous-jacente et scellé ainsi la surface d'ablation. Au-dessus, les dépôts ont un caractère de plus en plus lœssique, sans que toutefois les apports latéraux ne cessent. Ainsi, la partie médiane de la séquence présente encore un faciès colluvial, remaniant un sol gris forestier développé probablement un peu plus haut dans la pente. L'apparition d'un horizon argilique, bien que peu prononcé, indique que la pédogenèse était active parallèlement à la sédimentation éolienne. Le sommet de la séquence est marqué par l'hydromorphie et la bioturbation, qui évoquent des engorgements temporaires dans des sédiments pédogénisés, colonisés par la pédofaune.

En résumé, on peut qualifier l'unité D7 de pédocomplexe construit, c'est-à-dire une succession de sols peu évolués, générés parallèlement à des apports sédimentaires fins. Cette sédimentation possède un caractère colluvial à la base et, par l'apport de silts micacés, devient nettement plus éolienne vers le sommet; à cet endroit, la séquence se compose d'une succession de sols minéraux, générés en contexte globalement steppique.

### 5.2.5 Les limons jaunes à mollusques (unité E6)

#### Micromorphologie

En lame mince, cette unité révèle des traits micromorphologiques bien exprimés. Formée de silts bien classés, peu sableux, sa porosité, due à des chenaux et des vides planaires, avoisine les 10%. Les éléments les plus fréquents sont des concrétions carbonatées, ou biosphéroïdes sparitiques (Becze-Deák et al. 1997), produites par les lombrics (*Dendrobena* sp., Keen et al. 1996; chap. 8.1). Les coquilles de mollusques bien conservées, fragmentées ou non, foisonnent dans le sédiment comblant la dépression de la partie sud de la coupe (fig. 42e). La matrice, de teinte jaune pâle (2.5Y 5/4), très peu altérée, présente une abondance en grains carbonatés (calcitiques et calcaires, env. 20%) à côté du quartz, des micas, des feldspaths et des minéraux accessoires (surtout amphiboles et opaques). Des carbonates secondaires la revêtent autour de pores racinaires (hyporevêtements associés à des racines calcifiées) et on y décèle une intense bioturbation due aux lombrics. On note aussi quelques grosses imprégnations ferro-manganiques. A proximité du contact avec le head (unité E5), cette matrice a subi une faible décarbonatation et se trouve de ce fait enrichie en argiles. Apparaissent aussi à cet endroit des gravillons de calcaire micritique, anguleux, légèrement corrodés au pourtour.

Au contact inférieur, il existe dans la dépression un sédiment à caractères mixtes entre les unités E7 et E6, évoquant des remaniements sur les bords de cette cavité karstique.

#### Interprétation

Une phase d'érosion, conséquence probable d'une réactivation du karst, s'insère avant la mise en place de l'unité E6 de la coupe 58: celle-ci correspond à des lœss francs, les mieux conservés

de tout le site de Noir Bois, probablement du fait de leur recouvrement par le head E5. La préservation des carbonates, en milieu temporairement saturé en eau, permet de préciser l'ambiance climatique de mise en place, à savoir de type aride froid (chap. 5.5.2.2). Vers le sommet de la séquence, avec des traces de lentilles de glace, les indices d'un début de pédogenèse apparaissent, tandis qu'à la base, on a plutôt des preuves de colluvionnement, en particulier en marge de la doline.

Le développement de ces sols pelliculaires, très peu évolués (ou «inceptisols»), a dû s'opérer durant les arrêts de la sédimentation éolienne. On peut s'imaginer que la dépression karstique a constitué un micro-environnement très froid, sans excès d'eau, lié par exemple à la présence d'un névé.

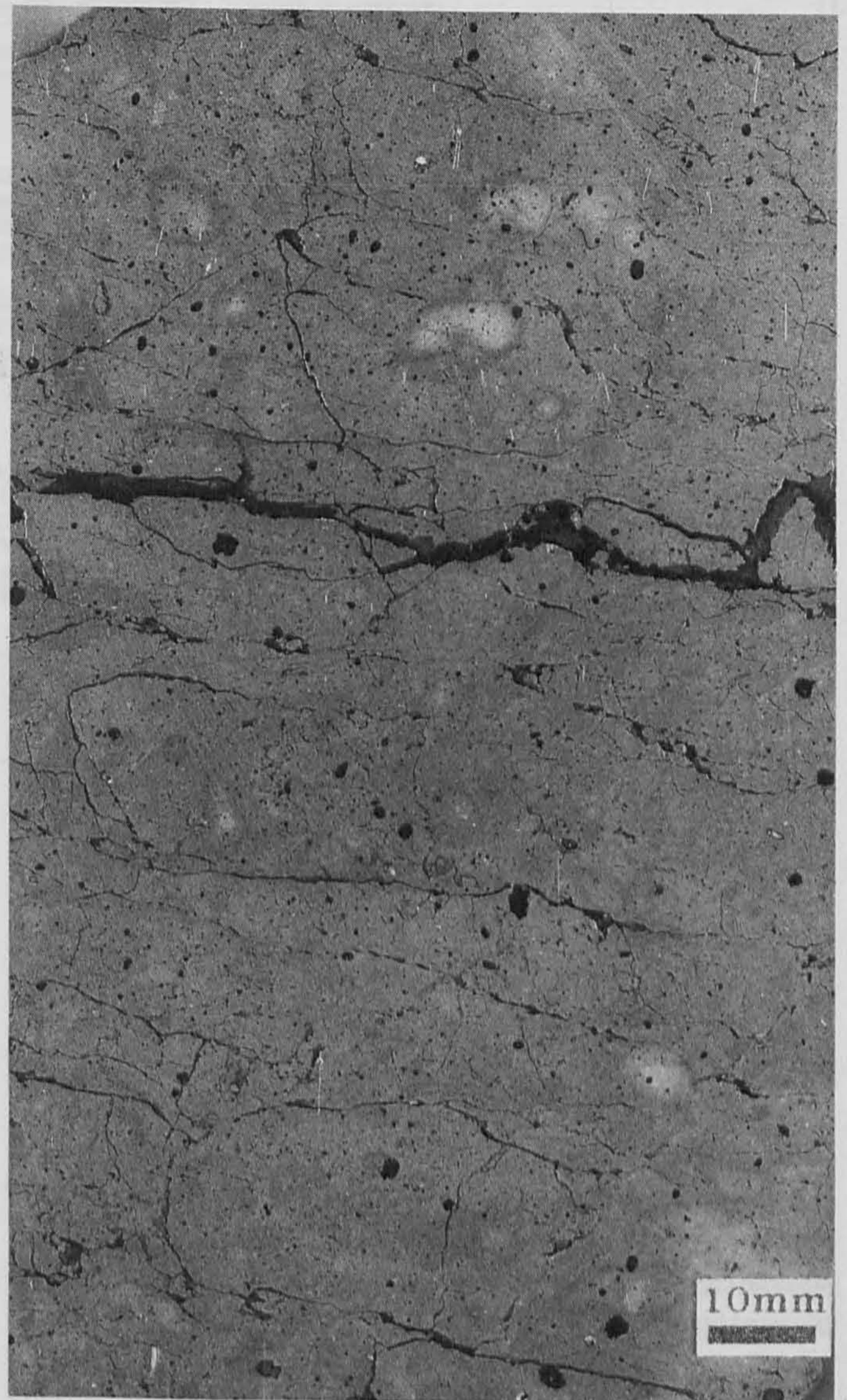


Fig. 38. Structure lamellaire développée dans la partie inférieure de la séquence lœssique. Cette fissuration témoigne d'alternances gel-dégel subies par le dépôt après sa mise en place. Face polie d'un bloc prélevé dans la partie médiane de l'unité E7, dans la coupe 98, à 2,2 m de profondeur.



Unité	Description	Micromorphologie	Interprétation
E1	Limons argileux brun foncé, humifères.	-	Terre végétale
E4	Limons micacés très argileux, brun-jaune, avec de nombreux terriers et nodules ferro-manganiques.	Sédiment lœssique à micro-structure massive, de faible porosité (10%). Matrice très bioturbée, avec des litages préservés. Traits texturaux identiques à E6, en partie disloqués.	Colluvions et lœss ruisselés, sommet supposé de l'horizon Bt. Les traits fossiles ont pratiquement disparu. Sol sous influence anthropique (agriculture).
E6	Limons micacés jaunâtres, légèrement argileux, au sein desquels la structure lamellaire s'estompe.	Lœss décarbonatés, bien classés. La porosité et la bioturbation augmentent vers le sommet, où la fissuration due au gel disparaît. Nodules Fe-Mn concentriques. Apparition de deux générations de revêtements dans les fissures: 1. argilanes limpides; 2. silto-organique.	Lœss francs, peu évolués, mais marqués par l'hydromorphie, avec des remaniements et développement de sols pelliculaires au sommet de la séquence. Gel saisonnier profond, puis formation d'un horizon argilique Bt (Tardiglaciaire). Lœss stadiaires.
E7	Au sommet: horizon discontinu de limons brunâtres, homogènes.	Lœss bioturbés, un peu altérés. Présence de petits agrégats de matière organique et d'imprégnations Fe-Mn de racines. Fissuration subhorizontale.	Petit sol humifère, engorgé de manière saisonnière, développé sur lœss locaux, remaniés. Tardivement: fissuration due au gel. Sol interstadiaire.
E7	Dans la partie médiane: limons tachetés brun-jaune, riches en nodules Fe-Mn; on y distingue plusieurs niveaux de teinte variable, dont les limites sont soulignées par quelques graviers siliceux.	Sommet: lœss bioturbés, avec charbons de conifères. Microstructure lamellaire bien développée. Nodules Fe-Mn abondants. Base: matrice lœssique, par endroits microlitée. Indices de colluvionnement (papules, sables et gravillons, charbons de bois).	Au sommet: lœss faiblement pédogénisés, conditions hydromorphes. A la base: colluvions lœssiques reprenant les formations sous-jacentes. Tardivement: gel saisonnier profond. Pédocomplexe construit, sur lœss remaniés localement.
E7	A la base: limons sableux à gravillons siliceux, très oxydés, de couleur brun rouille.	Microstructure complexe, à porosité très faible (5-10%). Grains minéraux de quartz, avec roches vosgiennes altérées. Matrice très hétérogène. Boulettes d'argilanes fissurées.	Colluvions sableuses, reprenant des faciès altéritiques (type E9 et E8), retouchées tardivement par le gel. Erosion au sommet. Démantèlement du pédocomplexe interglaciaire.
E9	Calcaire kimméridgien.	-	Bed-rock karstifié

Fig. 39. Coupes 97-98: profil schématique compilé et résumé de l'analyse micromorphologique.

### 5.3 La zone aval: les coupes 97 et 98

#### 5.3.1 Bref rappel stratigraphique

Les coupes 97 et 98, adjacentes, ont été relevées à la faveur d'un sondage ouvert à 2 m de la limite nord du domaine exploré (fig. 35). Cette partie aval du site se caractérise par des dépôts superficiels essentiellement limoneux qui, d'une épaisseur maximale de 3,4 m sur le substrat kimméridgien, comblent souvent d'anciennes dolines. Le head (unité E5) ne l'atteint pas, il s'interrompt 9 m plus haut dans la pente, aux environs de la coupe 60 (coupe A, fig. 15).

Les faciès sédimentaires, exempts de carbonate, se révèlent donc assez différents de la partie amont. Ils possèdent une structure lamellaire bien développée, qui montre un gradient dans l'épaisseur des agrégats: de quelques millimètres au sommet des profils, les lamelles atteignent 1 cm à la base (fig. 38).

En compilant les deux coupes, l'approche micromorphologique a pu être réalisée sur toutes les unités figurant dans cette partie du site, soit de bas en haut (fig. 39):

- l'unité E7, qui se compose de plusieurs couches;
- à la base, des limons sableux à gravillons, très oxydés, de couleur brun rouille et épais de 25 cm environ;
- dans la partie médiane, des limons tachetés brun-jaune, d'épaisseur très variable mais avoisinant les 2 m, riches en nodules ferro-manganiques; on y distingue plusieurs niveaux dont les limites sont soulignées par quelques graviers siliceux;
- au sommet, un horizon brunâtre, homogène, épais de 10-15 cm, qui est tronqué vers le sud;
- l'unité E6, des limons micacés jaunâtres, légèrement argileux, au sein desquels la structure lamellaire s'estompe (épais d'environ 80 cm);
- l'unité E4, des limons micacés très argileux, brun-jaune, avec de nombreux terriers et nodules ferro-manganiques, d'une épaisseur de 60 cm;
- la terre végétale ou unité E1 (10-15 cm).



Dans la partie aval du secteur décapé, des silex moustériens épars ont été découverts lors du décapage à la pelle mécanique. Par projection latérale dans les coupes documentées, ces artefacts lithiques se placent stratigraphiquement au sein de l'unité E7 (fig. 67). De plus, deux molaires de rhinocéros laineux ont également été mises au jour grâce à ces décapages, cependant leur position stratigraphique est supérieure à celle des silex moustériens, à savoir dans les limons E6. En revanche, aucun mobilier archéologique n'a été découvert dans l'extension sud du secteur, lors de l'ouverture des coupes 97 et 98.

### 5.3.2 L'unité E7

De même que dans la coupe 58, cette unité présente des variations importantes de la base au sommet. Dans les coupes 97/98, elle se subdivise en trois couches bien discernables.

#### 5.3.2.1 Les colluvions de base (unité E7c)

##### Micromorphologie

Cette formation, qui s'individualise dans les profils par sa teinte jaune orangé (7.5YR 5/8), se présente sous microscope comme un limon sableux à gravillons, mal classé, à porosité de 5 à 10%, y compris une fissuration subhorizontale développée vers le contact supérieur. Sa microstructure est complexe, comprenant quelques fentes comblées par du sédiment mieux trié, silteux. Le quartz domine dans le squelette sableux, avec également des roches vosgiennes, altérées, dans les gravillons; les carbonates sont absents, on note de rares grains «fantômes» de calcaire. La matrice, très hétérogène, se voit enrichie par zone en argiles illuviales. Ces dernières s'observent sous forme de boulettes souvent fissurées ou alors de revêtements sur des agrégats. On a aussi des nodules ferro-manganiques à structure interne concentrique.

##### Interprétation

Le mode de mise en place de la base de l'unité E7 est de type colluvial, comme en témoignent les nombreuses boulettes argileuses et son hétérogénéité. Les éléments constitutifs sont vraisemblablement hérités à partir de pédocomplexes de type E8 et E9, présents en amont dans la pente. Des transformations par fracturation, éventuellement bioturbation et, tardivement, gel-dégel, ont remodelé l'organisation microscopique du sédiment. Il s'agit en résumé d'un plaquage colluvial, érodé au sommet et retouché de manière tardive par un gel profond.

#### 5.3.2.2 Les limons tachetés (unité E7b)

##### Micromorphologie

A l'échelle microscopique, la partie principale de l'unité E7 se constitue à la base de limons sableux à rares gravillons, de teinte jaune orangé (10YR 6/6), reposant selon un contact inférieur net sur la couche inférieure. Le quartz forme l'essentiel des grains minéraux, et l'on observe aussi des charbons de bois épars (fig. 42c). La matrice possède un spectre minéralogique

lœssique (quartz, micas, feldspaths, amphiboles, opaques), exempt de carbonate, et montre par endroits un microlitage. La porosité totale avoisine les 10% et l'on remarque une fissuration subparallèle tardive, bien développée. Cette fissuration recoupe des boulettes d'argilanes (papules), assez fréquentes à la limite inférieure. Des revêtements argileux limpides apparaissent çà et là dans les pores. Les nodules ferro-manganiques, parfois en imprégnations de racines, sont abondants tandis que les micas et amphiboles montrent un pourtour altéré. Vers le sommet de la couche, les papules et les grains minéraux se font rares et la matrice devient franchement lœssique, de teinte jaune brunâtre (2.5Y 6/6). Celle-ci a un aspect «tourmenté», dû à une bioturbation plus ancienne que la fissuration subhorizontale qui recoupe l'ensemble. On note aussi l'apparition de petits agrégats de matière organique et de charbons de conifères. Les nodules ferro-manganiques sont toujours abondants, donnant un aspect tacheté au sédiment.

##### Interprétation

On retrouve dans cette couche les caractéristiques de l'unité E7 exprimées dans la coupe 58. Ainsi, vers sa base, on a des traits colluviaux très nets avec des ruissellements, qui remanient la couche sous-jacente. A mesure que l'on s'élève dans la séquence, le faciès devient nettement plus éolien, mais toujours dans des conditions hydromorphes, et la bioturbation s'intensifie. Parallèlement à la sédimentation, lœssique ou colluviale, les traits témoignent d'une pédogenèse active: on peut également qualifier cette couche de pédocomplexe construit, présentant de nombreux intergrades. Comme en témoigne la faible porosité issue de la dissolution des carbonates, on assiste à des phénomènes de reprise, à l'échelle très locale, de lœss déjà décarbonatés. Comme dans le terme inférieur de l'unité, un gel saisonnier profond a affecté tardivement l'ensemble du dépôt.

#### 5.3.2.3 L'horizon humifère (unité E7a)

##### Micromorphologie

Dans la coupe 98 apparaît au sommet de l'unité E7 un horizon brunâtre bien délimité. En lame mince, cette couche de silts argileux brun-jaune (2.5Y 5/6) se caractérise par l'apparition de petits agrégats de matière organique, souvent imprégnés d'oxydes de fer, qui donnent sa pigmentation particulière au sédiment (fig. 42d). Des imprégnations ferro-manganiques de racines, parfois sous forme dendritique, se marquent dans la matrice. Cette dernière, bioturbée, de spectre minéralogique lœssique à micas altérés, montre une faible porosité (10%) due à la décarbonatation, mais aussi à la fissuration subhorizontale qui la traverse de part en part.

##### Interprétation

Cet horizon, unique sur le site de Noir Bois, constitue un petit sol humifère, engorgé de manière saisonnière, résultant d'une protopédogenèse interstadienne. Il s'est développé sur des lœss décarbonatés, remaniés à l'échelle locale, et accumulés selon toute vraisemblance dans une dépression d'origine karstique.



La structure lamellaire témoigne d'alternances gel-dégel répétées qui, de manière identique aux niveaux sous-jacents, l'ont affectée de manière tardive.

### 5.3.3 L'unité E6

#### Micromorphologie

La base de cette nouvelle unité se caractérise sous microscope par un très bon classement des particules. La matrice, décarbonatée, de couleur jaune (2.5Y 6/6) et de spectre minéralogique lœssique, est très peu altérée. Elle renferme des nodules de rouille assez gros, à structure interne concentrique. La microstructure lamellaire, bien développée, individualise des agrégats nettement plus fins (2-4 mm) que dans l'unité E7. Dans cette fissuration viennent se loger deux générations de revêtements bien exprimés, à savoir des argilanes limpides, elles-mêmes recouvertes par une illuviation poussiéreuse. Au sommet de E6 apparaissent des traces de bioturbation, vraisemblablement dues à des larves de coléoptères. La structure lamellaire s'estompe et la microstructure devient massive, avec une porosité en augmentation vers le sommet (10-15%, vésicules et chenaux). A cet endroit, tous les vides sont revêtus par les deux générations de traits texturaux (fig. 42f) tandis que la matrice devient plus argileuse, ses constituants étant sensiblement plus altérés qu'à la base de la séquence.

#### Interprétation

Des lœss francs, peu évolués mais marqués par l'hydromorphie, se trouvent à la base de l'unité E6 et reposent en contact érosif sur les dépôts sous-jacents. Ils possèdent encore la microstructure lamellaire, issue des lentilles de glace de ségrégation. Cette sédimentation éolienne s'est effectuée, nous l'avons vu dans le cas de la coupe 58 (chap. 5.2.5), dans des conditions steppiques froides. Dans la partie supérieure de la séquence, la colonisation par la pédofaune s'intensifie et les lœss sont probablement repris à l'échelle locale. Parallèlement se développent des sols pelliculaires. Enfin, les revêtements de pores ont un caractère tardif car ils se surimposent à l'organisation microscopique primaire du sédiment. Ils résultent donc de la pédogenèse qui a affecté le sommet des profils dès le Tardiglaciaire: ils constituent l'horizon argilique Bt d'un sol brun lessivé.

### 5.3.4 L'unité E4

#### Micromorphologie

Cette dernière unité, plutôt mal exprimée dans cette partie du site, qui fait graduellement suite à la précédente, se définit à l'échelle microscopique comme un limon très légèrement sableux (surtout quartz, 1-2%), à microstructure massive et faible porosité (10%, en chenaux). Sa matrice est ponctuée par des imprégnations ferro-manganiques qui lui donnent une teinte brunâtre (2.5Y 5/6). On y observe également par endroits de fins litages et granoclassements en comblement de fentes. La bioturbation, importante, atteint les revêtements d'argilanes limpides qui se voient dispersés en amas dans la masse: seule une illuviation silto-organique occupe la porosité.

#### Interprétation

On assiste dans ce niveau à un certain télescopage entre les traits pédologiques hérités et ceux, beaucoup plus récents, résultant de l'agriculture. L'intense activité de la pédofaune, tout particulièrement des lombrics, a oblitéré une bonne partie des traits micromorphologiques fossiles. Dans les rares zones non atteintes par ce brassage, le litage des particules lœssiques traduit des phénomènes de ruissellement. Les traits texturaux indiquent qu'on se situe vraisemblablement vers le haut de l'horizon Bt observé dans l'unité précédente. Les revêtements poussiéreux résultent de la dénudation des horizons sommitaux du sol, conséquence de l'activité anthropique (chap. 5.1.1.3).

### 5.4 Autres profils analysés

Pour compléter notre vision globale du site de Noir Bois, des analyses ponctuelles ont été effectuées dans des profils dispersés. Ces derniers se localisent également dans la partie occidentale du site, mais à l'est de la coupe 58 (fig. 35), dans la zone amont. A cet endroit, on constate de manière générale une dilatation des unités E4, E5 et E6 qui comblent des dolines alignées dans l'axe nord-sud (coupe B, fig. 15).

Les unités inférieures en revanche y sont mal représentées, du fait du sous-tirage karstique.

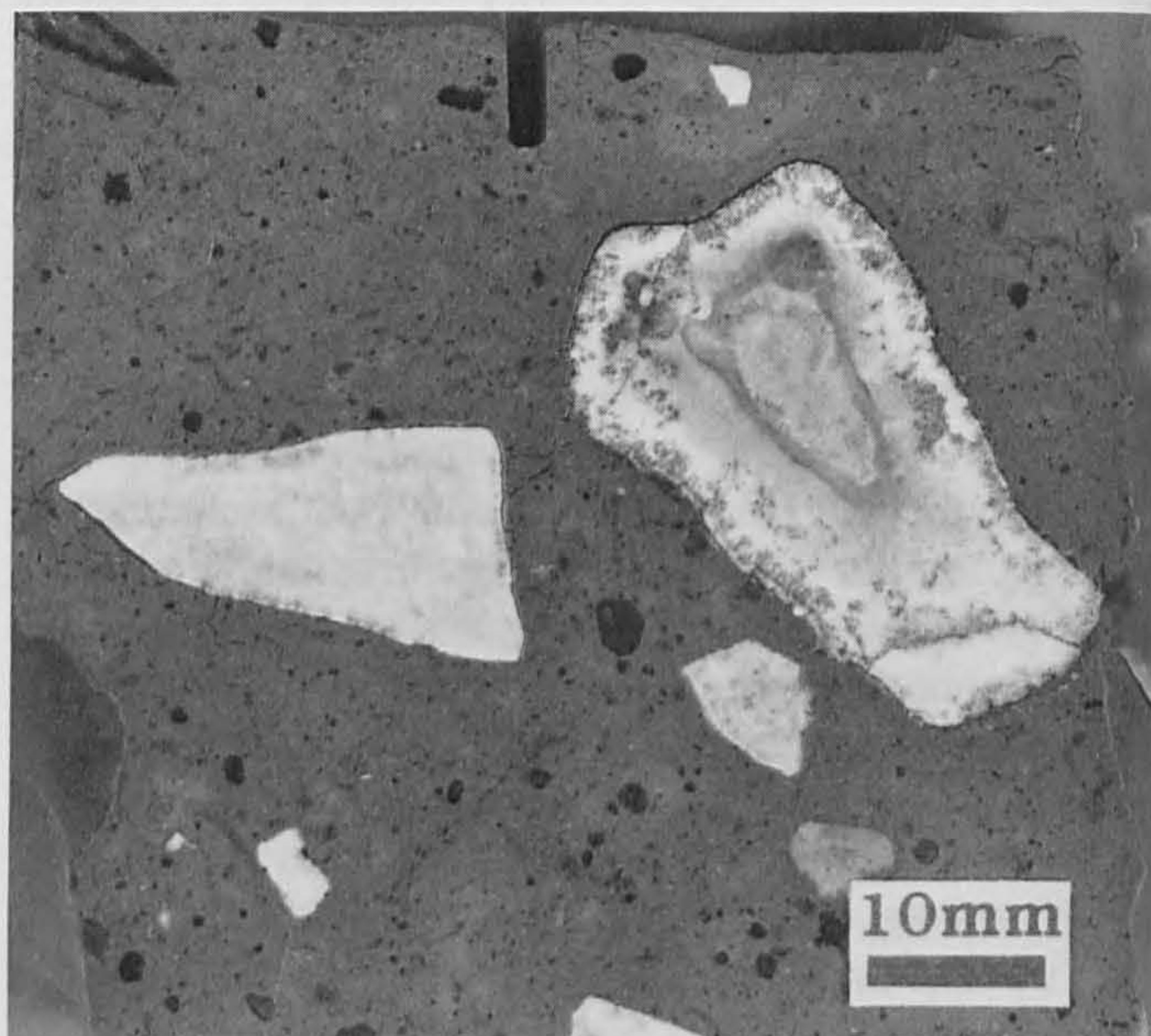


Fig. 40. Vue d'une face polie d'un bloc prélevé dans le head (unité E5): graviers calcaires anguleux, altérés au pourtour, emballés dans une matrice limoneuse lœssique. Les taches sombres dans celle-ci correspondent à des nodules ferro-manganiques. Coupe 1105, prélèvement à 2 m de profondeur.



Unité	Description	Micromorphologie	Interprétation
E1	Limons argileux brun foncé, humifères.	–	Terre végétale.
E2	Limons brun-jaune, bioturbés.	–	Colluvions agricoles.
E3	Limons bruns, homogènes, à charbons de bois.	Limons à microstructure massive, humifères, assez peu poreux, intensément bioturbés. Très riches en charbons de bois. Fragments d'os et de céramique.	Horizon humifère enfoui. Occupations protohistoriques et romaine.
E4	Limons brun-jaune en général très argileux, un peu plus silteux au contact inférieur. Silex magdaléniens en concentration très localisée.	Microstructure massive, peu poreuse (5%). Sommet: organisation perturbée, mal conservée, mais présence de stratifications. Forte densité de nodules Fe-Mn. Charbons de bois épars, avec un niveau enrichi en microcharbons. Base: litages et granoclassements dans la matrice, avec zones enrichies en argiles illuviales.	Limons loessiques remaniés à partir de dépôts éoliens plus anciens. Décarbonatation, puis genèse d'un horizon argilique Bt, sur lequel se marque un niveau d'engorgement. Pas de traits anthropiques attribuables à l'occupation magdalénienne. Pédocomplexe récent, tardiglaciaire.
E5	Graviers caillouteux calcaires, de tendance litée, emballés dans une matrice silteuse brun-jaune, abondante.	Eléments de calcaire kimméridgien, avec une fissuration parallèle au front de décarbonatation. Matrice silteuse, micacée, sans carbonate, avec traces de bioturbation. Porosité 10%. Nombreuses boulettes argileuses orangées. Abondants nodules Fe-Mn à structure interne concentrique. Hyporevêtements de carbonates.	Formation gélifluée, générée à partir du substrat jurassique et à matrice d'origine éolienne, reprenant des plaquages altéritiques (E9). Traces de pédogenèse faibles, mais saturation en eau de manière saisonnière (barrière capillaire). Coulée de gélifluxion, head.
E6	Silts micacés jaune brunâtre, très homogènes.	Silts limoneux micacés, sans carbonate, à porosité très faible (5%, chenaux), avec traces de bioturbation. Pas de structure lamellaire. Au sommet se trouvent de gros nodules ferriques en imprégnations de racines.	Loess repris à l'échelle locale, sans indice de ruissellement. Ils sont faiblement pédogénisés, mais marqués par l'hydromorphie. Loess stadiaires.
	Calcaire kimméridgien	–	Bed-rock karstifié.

Fig. 41. Coupes 78 et 1105: profil schématique compilé et résumé de l'analyse micromorphologique.

#### 5.4.1 Le head (unité E5) et les unités adjacentes (E6 et E4) dans le profil 1105

##### 5.4.1.1 Bref rappel stratigraphique

Localisé à 35 m à l'ouest de la coupe transversale C (fig. 35), le profil 1105 a permis l'observation détaillée de la nappe de cailloux du head qui présentait dans cette coupe un faciès à graviers plus petits et riche en matrice, ce qui a facilité le prélèvement d'échantillons non perturbés (fig. 41).

Cette tranchée atteignant 4 m dans sa partie la plus profonde, ouverte jusqu'au substrat kimméridgien, a révélé la stratigraphie suivante:

- les loess jaunes (E6), d'une épaisseur variant entre 50 cm et 200 cm dans une dépression karstique;
- le head (E5), des graviers caillouteux calcaires, de tendance litée, emballés dans une matrice silteuse brun-jaune abondante (fig. 40); son épaisseur n'atteint que 50 cm;

- les limons brun-jaune de l'unité E4, en général très argileux, un peu plus silteux au contact inférieur (épaisseur 85 cm) qui est très net;
- puis au sommet, les unités E3 (horizon protohistorique), E2 (colluvions agricoles) et E1 (terre végétale) sur une épaisseur totale de 65 cm.

Afin de bien documenter l'unité E5, trois blocs de sédiment ont été prélevés, soit juste au-dessous de son contact inférieur, dans les loess E6; au sein même du dépôt; dans les limons E4, juste au-dessus de sa limite supérieure.

##### 5.4.1.2 Le sommet de l'unité E6

###### Micromorphologie et interprétation

Sous microscope, cette formation apparaît comme des silts limoneux micacés, exempts de carbonates, à porosité très faible (5%, chenaux), avec quelques traces de bioturbation. Quelques



fines fissures horizontales, dues à des lentilles de glace, traversent la matrice de couleur jaune (2.5Y 6/6). Au sommet se trouvent de gros nodules ferro-manganiques en imprégnations de racines, témoins d'une hydromorphie du milieu. Ces différents traits sont identiques à ceux observés au sommet de l'unité E6 des coupes 97-98 (chap. 5.3.3): il s'agit de lœss repris à l'échelle locale, sans indice de ruissellement. Ils sont faiblement pédogénisés et la structure lamellaire n'y est pas développée, comme c'est généralement le cas dans la partie amont du site: ceci est lié à l'épaississement du head dans cette zone (chap. 5.5.2.2).

#### 5.4.1.3 Le head E5

##### Micromorphologie

On remarque à l'échelle microscopique que les éléments graveleux de cette formation, anguleux, se constituent en majeure partie de calcaire micritique du Kimméridgien. Ils présentent au pourtour une fissuration parallèle au front de décarbonatation. On a aussi quelques fragments de chaille et de rares galets siliceux, non fissurés. La matrice, micacée et dépourvue de carbonates, consiste en des silts limoneux brun-jaune (10YR 5/8) avec 5% de sables calcaires, en voie de dissolution complète. Sa porosité atteint 10%, avec des traces de bioturbation dues aux lombrics. Elle renferme de nombreuses boulettes argileuses orangées, finement revêtues de silts à leur périphérie. Les abondants nodules ferro-manganiques, de toutes tailles, montrent une structure interne concentrique, développée parfois sur d'anciennes racines. Autour de quelques pores apparaissent des carbonates secondaires en hyporevêtements.

##### Interprétation

L'unité E5 possède les caractéristiques d'une formation caillouteuse géli-solifluée, dont la matrice provient du remaniement de dépôts éoliens. Les boulettes argileuses que celle-ci renferme témoignent du décapage des formations altéritiques en contact avec le substrat calcaire (unité E9, chap. 5.2.2) et de leur remobilisation dans les coulées de gélifluxion. Après sa mise en place, une faible pédogenèse a affecté l'ensemble de la formation, mais la matrice pouvait déjà être décarbonatée avant son incorporation au head, comme le montre l'analyse des lœss sous-jacents (chap. 5.4.1.2). La ségrégation du fer bien marquée indique de longues périodes en milieu réducteur, en liaison avec une saturation saisonnière en eau du dépôt. Quant aux carbonates secondaires, leur position dans l'organisation microscopique traduit une genèse tardive, correspondant à une colonisation des sédiments par des végétaux.

#### 5.4.1.4 La base de l'unité E4

##### Micromorphologie

Cette séquence limoneuse de couleur jaune-brun (10YR 5/6) vient se plaquer sur le sommet du head. Elle montre sous lame mince une microstructure massive, avec une porosité fissurale très faible (< 5%). La teneur en argile croît globalement vers le haut, avec des zones enrichies en argiles

illuviales, intégrées à la masse, pas tout à fait en place. A d'autres endroits, la matrice apparaît délavée et l'on observe également des litages et granoclassesments en comblement de fentes (fig. 42g). On y distingue une bioturbation «en grelots», vraisemblablement due à des larves d'insectes, mais aussi des terriers de lombrics comblés par du sédiment provenant des unités supérieures (surtout E3), riches en microcharbons. Des nodules ferriques et imprégnations traversées par la bioturbation parsèment l'ensemble.

##### Interprétation

Ces limons forment la base de la séquence analysée plus spécifiquement sous le prochain point. Il ne s'agit pas de lœss francs, comme ceux de l'unité E6, mais bien des limons lœssiques remaniés à partir d'accumulations éoliennes plus anciennes (unités E7 et E6). L'aspect stratifié que montrent parfois ces limons témoigne aussi de ruissellement sur la pente, qui n'est pas fixée par la végétation. Les argiles mal structurées, qui enrichissent le sédiment par zone, semblent s'être mises en place en partie de manière assez contemporaine au dépôt, qui par la suite a subi la bioturbation. Il s'agit d'un horizon à microfaciès ressemblant à celui des «limons à doublets» que l'on observe généralement dans les séquences lœssiques vers la base de l'horizon argilique issu de la pédogenèse tardi- et postglaciaire (van Vliet-Lanoë 1990b).

#### 5.4.2 Les limons lœssiques du gisement magdalénien (unité E4)

##### 5.4.2.1 Bref rappel stratigraphique

La coupe 78, tranchée creusée jusqu'au substrat rocheux, a permis de définir la stratigraphie locale, à proximité d'un petit atelier de taille de silex (chap. 10; coupe B, fig. 15). Au-dessus du head (unité E5), les limons lœssiques de l'unité E4, argileux, de teinte jaune brunâtre, atteignent une puissance maximale de 150 cm. Les silex magdaléniens se répartissent dans sa partie sommitale, soit entre 20 et 40 cm sous l'horizon protohistorique (E3), sans que l'on remarque une réelle modification dans le faciès des sédiments. Trois prélèvements micromorphologiques ont été effectués dans ce niveau, mais en dehors de la concentration des silex (fig. 86).

##### 5.4.2.2 Analyse microscopique

##### Micromorphologie

La base de la séquence analysée se présente sous microscope comme des limons argileux micacés, de teinte brun-jaune clair (10YR 6/8), dont la microstructure est massive, à porosité très faible (< 5%). On remarque la forte densité de nodules et imprégnations d'oxydes ferro-manganiques; ceux-ci se répartissent en deux générations, séparées dans les vides par une illuviation assez discrète d'argilanes limpides. Des débris organiques lités et de rares charbons de bois parsèment également la matrice où apparaissent des remplissages de fentes stratifiés, avec par endroits une structuration en lits triés.



Plus haut dans la même séquence, on constate une rapide diminution de la taille et de la fréquence des nodules ferriques. La matrice, à microstructure toujours très massive, est ponctuée d'assez abondants microcharbons et des revêtements argileux fragmentés s'y individualisent (fig. 42h). Par raccord latéral, c'est à ce niveau que viennent s'insérer les silex magdaléniens, mais aucun de ces artefacts n'est malheureusement apparu dans les lames minces.

Vers le sommet, c'est-à-dire environ 30 cm sous l'horizon protohistorique E3, des traits pédologiques tardifs se surimposent sous la forme de revêtements poussiéreux dans une porosité nettement plus grossière, de type chenaux (10%), associés à un brassage plus intense de la matrice par la pédofaune; cette dernière introduit du matériel humifère, riche en microcharbons, au sein de la micromasse.

### Interprétation

La nature des dépôts se révèle identique à ceux qui constituent la base de l'unité (chap. 5.4.1.4): il ne s'agit pas de lœss francs en position primaire, mais bien de limons lœssiques remaniés à partir d'accumulations éoliennes plus anciennes (soit E6 et E7). Cette reprise a pu s'effectuer par voie éolienne, par colluvionnement et ruissellement comme en témoignent les microlitages conservés par zones.

Les traits pédologiques s'inscrivent d'une manière particulièrement indistincte dans cette formation, ce qui restreint d'autant les interprétations. Cependant, par raccord latéral et d'après l'analyse microscopique, cette portion de séquence se situe vers le sommet de l'horizon argilique Bt dont nous avons rencontré la base dans la coupe 1105 (chap. 5.4.1.4). Sur cet horizon se positionne un niveau d'engorgement dont témoignent les importantes traces d'hydromorphie qui, apparemment, se sont développées en deux phases distinctes. Celles-ci sont entrecoupées par un épisode illuvial, dont témoignent des revêtements de pores limpides.

Les quelques fragments organiques et la bioturbation pourraient indiquer la genèse de sols pelliculaires, très peu évolués («inceptisols»), pendant les arrêts de sédimentation: c'est au cours de l'un de ceux-ci qu'a eu lieu l'occupation magdalénienne, dont l'impact sur le sédiment est resté très discret. Enfin, vers le sommet de l'unité E4, on constate comme dans le cas de la coupe 97 (chap. 5.3.4), un certain télescopage entre les traits pédologiques d'origine et ceux, beaucoup plus récents, dus à l'agriculture (chap. 5.1.1.3).

## 5.5 Interprétation paléoclimatique et chronostratigraphique. Discussion

### 5.5.1 Le complexe inférieur

Cet ensemble regroupe les formations situées à la base de la séquence stratigraphique de Noir Bois, qui dans notre approche n'étaient présentes que dans la coupe 58, dans la partie amont du site (chap. 5.2).

#### 5.5.1.1 L'unité E9

Ce dépôt enrichi en argiles et en oxydes repose soit directement sur le calcaire kimméridgien comme dans le cas de la coupe 58 ou alors, très localement, sur des poches limoneuses rappelant des plaquages lœssiques.

L'analyse a montré la complexité de son organisation microscopique, nettement distincte de celle des couches sus-jacentes et qui résulte d'une évolution sur place polyphasée (chap. 5.2.2). De ce fait, cette formation se place chronologiquement bien avant le dernier Interglaciaire, dont les phases de pédogenèses y sont du reste enregistrées dans une porosité secondaire. Des arguments d'ordre stratigraphique nous permettent de préciser quelque peu cette insertion. Sur le site de Noir Bois en effet, l'unité E9, d'après les corrélations latérales établies, coiffe également une formation fluviatile perchée (coupe D, fig. 15), dont elle constitue la tranche supérieure altérée: les éléments de ce cailloutis calcaire se distinguent encore dans la masse argileuse sous forme de «fantômes» décarbonatés, donnant son faciès bariolé si caractéristique à cette altérite. Cette dernière a déjà été observée à maintes reprises en Ajoie, au cours de sondages de prospection, principalement dans la partie méridionale de la plaine d'Alle, vers le pied nord du Jura plissé (Guélat 1987, p. 21; Guélat 1990, p. 61). Au lieu-dit «Sur le Bottenier» (commune de Cornol) par exemple, le cailloutis calcaire, souvent surmonté d'une altérite pouvant atteindre plus d'un mètre d'épaisseur, occupe une position altimétrique relativement élevée dans la topographie, mais toujours en relation avec le réseau hydrographique actuel.

Le caractère polyphasé de l'altérite E9 rappelle les microfaciès observés par exemple dans les paléosols intralœssiques d'Allemagne du Sud: M. Léger (1987) décrit des traits micromorphologiques assez convergents pour un paléosol complexe que cet auteur attribue à un interstade de l'avant-dernier cycle glaciaire («interglaciaire Riss I-Riss II»). A noter que, stratigraphiquement, celui-ci se positionne également sur des limons coiffant des alluvions caillouteuses perchées dans le paysage («haute terrasse supérieure» du «Riss I»). Le cailloutis que nous avons rencontré dans la plaine d'Alle représente plus globalement pour nous les traces, en domaine périglaciaire, d'une importante glaciation qui a eu lieu, nous venons de le voir, en tous cas avant le dernier Interglaciaire. Il ne s'agit certainement pas de l'avant-dernière, car l'amplitude de celle-ci, dans le domaine alpin du moins, a été plutôt modeste, nettement en deçà de la dernière (Schlüchter et Wohlfahrt 1993, p. 52). En l'absence de tout élément de datation concernant ces alluvions anciennes, on dira seulement que celles-ci se sont mises en place au cours de l'une des grandes périodes glaciaires, éventuellement durant la glaciation dite maximale, qui ont eu lieu après 800 ka BP environ (Schlüchter et Dick, 1996).

#### 5.5.1.2 L'unité E8

Reposant en contact érosif sur la précédente, on peut décrire cette unité comme un pédocomplexe tronqué qui résulte d'au moins deux pédogenèses séparées par une phase d'ablation (chap. 5.2.3). Bien enregistrée dans la séquence, la première de



**Vues au microscope de quelques traits micromorphologiques caractéristiques de la séquence d'Alle, Noir Bois, fig. 42**

Fig. 42a. Les sables quartzeux de l'unité E8 (à silex moustériens) montrent une tendance au litage horizontal ainsi qu'un certain tri. Dans la porosité et autour de quelques grains apparaissent des revêtements argileux (en orange).  
Coupe 58, lumière polarisée, hauteur réelle: 2,9 mm.

Fig. 42b. Détail de l'unité E8 où l'on peut distinguer trois générations de traits texturaux: 1. des coiffes silteuses brunâtres, enrobant les grains; 2. dans les vides, d'épais revêtements argileux brun-jaune, microlités; 3. plaquée sur ces argilanes, une illuviation silto-organique brunâtre.  
Coupe 58, lumière analysée, hauteur réelle: 2,2 mm.

Fig. 42c. Limons lœssiques dans la partie inférieure de E7: grains de quartz et boulettes argileuses (points jaune orange) constituent tous deux des indices de colluvionnement. Aussi bien les traces d'hydromorphie (nodules ferro-manganiques) que celles de gel-dégel (microstructure lamellaire) se sont développées après dépôt du sédiment.  
Coupe 98, lumière analysée, hauteur réelle: 4,5 mm.

Fig. 42d. Horizon humifère développé sur les lœss du sommet de l'unité E7, interprété comme un sol interstadiaire (sol de Lohne). A relever les traces de bioturbation, ainsi que la matrice pigmentée par de petits agrégats de matière organique.  
Coupe 98, lumière analysée, hauteur réelle: 1,45 mm.

Fig. 42e. Dans la coupe 58, les lœss de l'unité E6 ont une forte biréfringence due à la préservation des grains carbonatés. A gauche, une coquille de mollusque bien conservée.  
Lumière polarisée, hauteur réelle: 1,45 mm.

Fig. 42f. Vers le sommet des lœss E6, à microstructure lamellaire, les revêtements illuviaux en relation avec la pédogenèse postglaciaire viennent se loger dans la porosité fissurale (horizon Bt).  
Coupe 98, lumière analysée, hauteur réelle: 2,9 mm.

Fig. 42g. Microlitage et granoclassement témoignent de ruissellements ayant participé à la mise en place des limons lœssiques de l'unité E4: ces sédiments sont repris de plaquages lœssiques préexistants. Noter aussi la faible porosité.  
Coupe 1105, lumière analysée, hauteur réelle: 2,9 mm.

Fig. 42h. Limons lœssiques du niveau à silex magdaléniens (unité E4, partie supérieure). On remarque la forte densité de nodules et imprégnations ferro-manganiques, des charbons de bois (en bas à droite) ainsi que des argilanes dispersées dans la masse (points jaune orange).  
Coupe 78, lumière analysée, hauteur réelle: 2,9 mm.



Vues au microscope de quelques traits micromorphologiques caractéristiques de la séquence d'Alle, Noir Bois

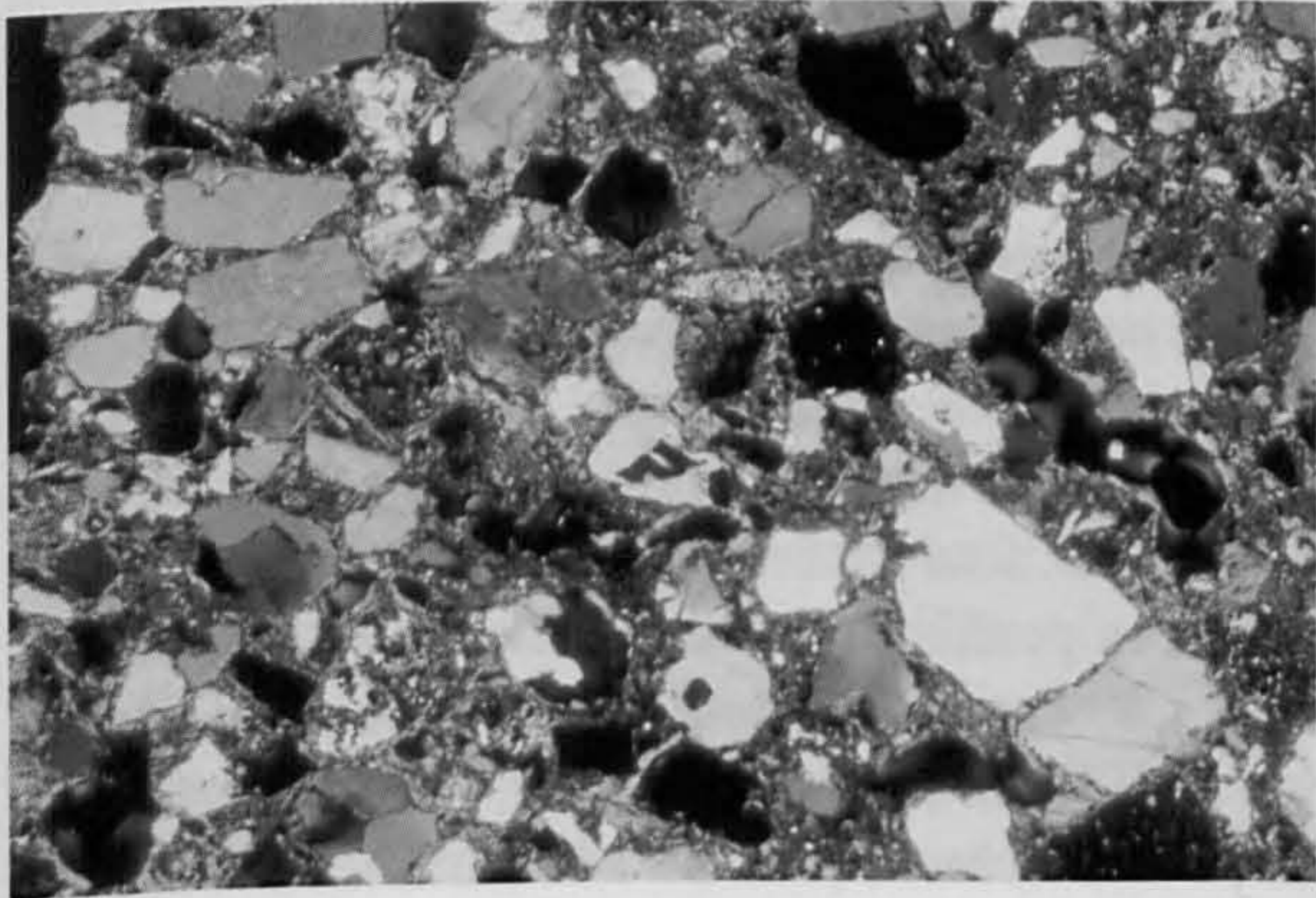


Fig. 42a. Sables quartzeux de l'unité E8.

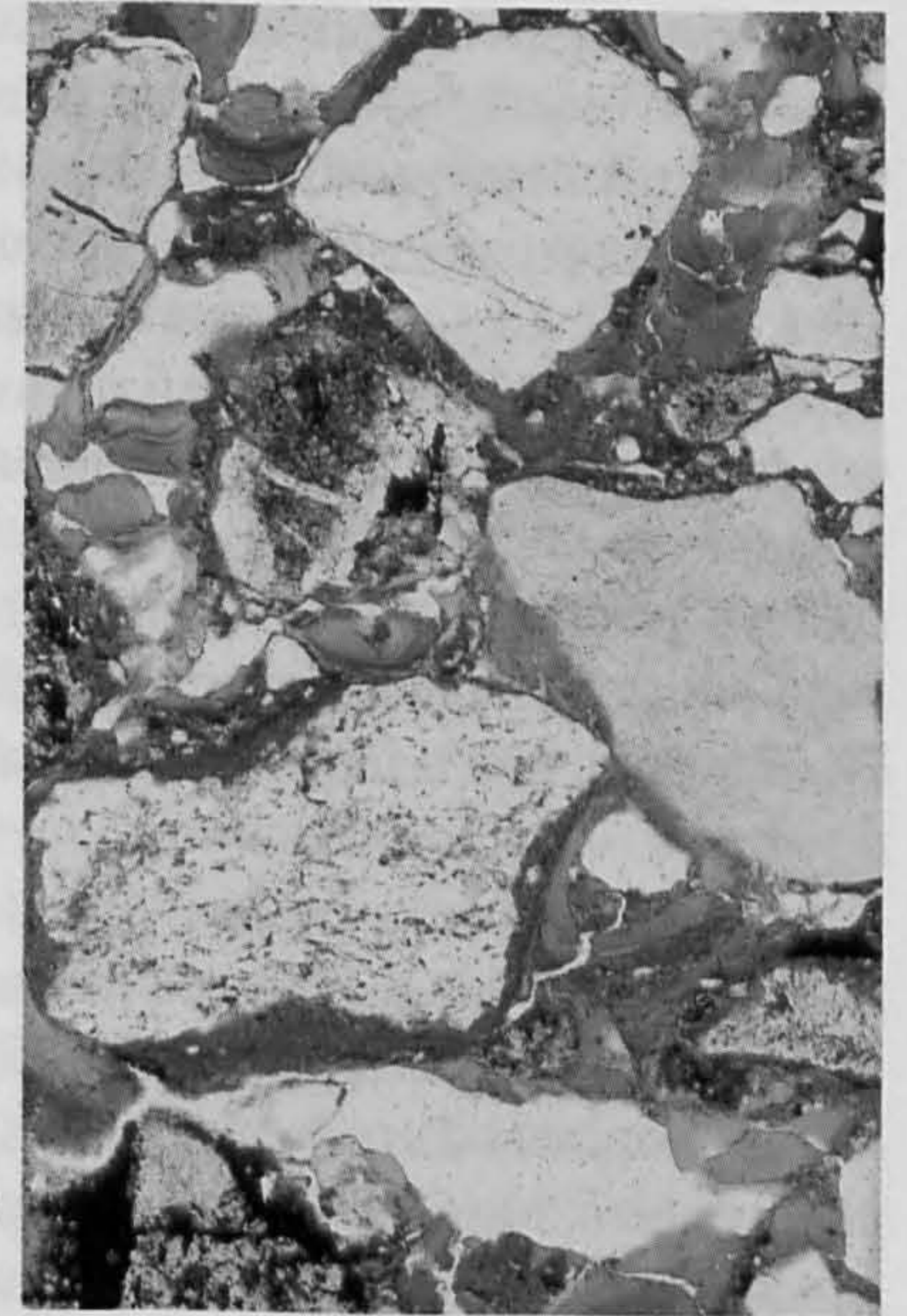


Fig. 42b. Détail de l'unité E8.

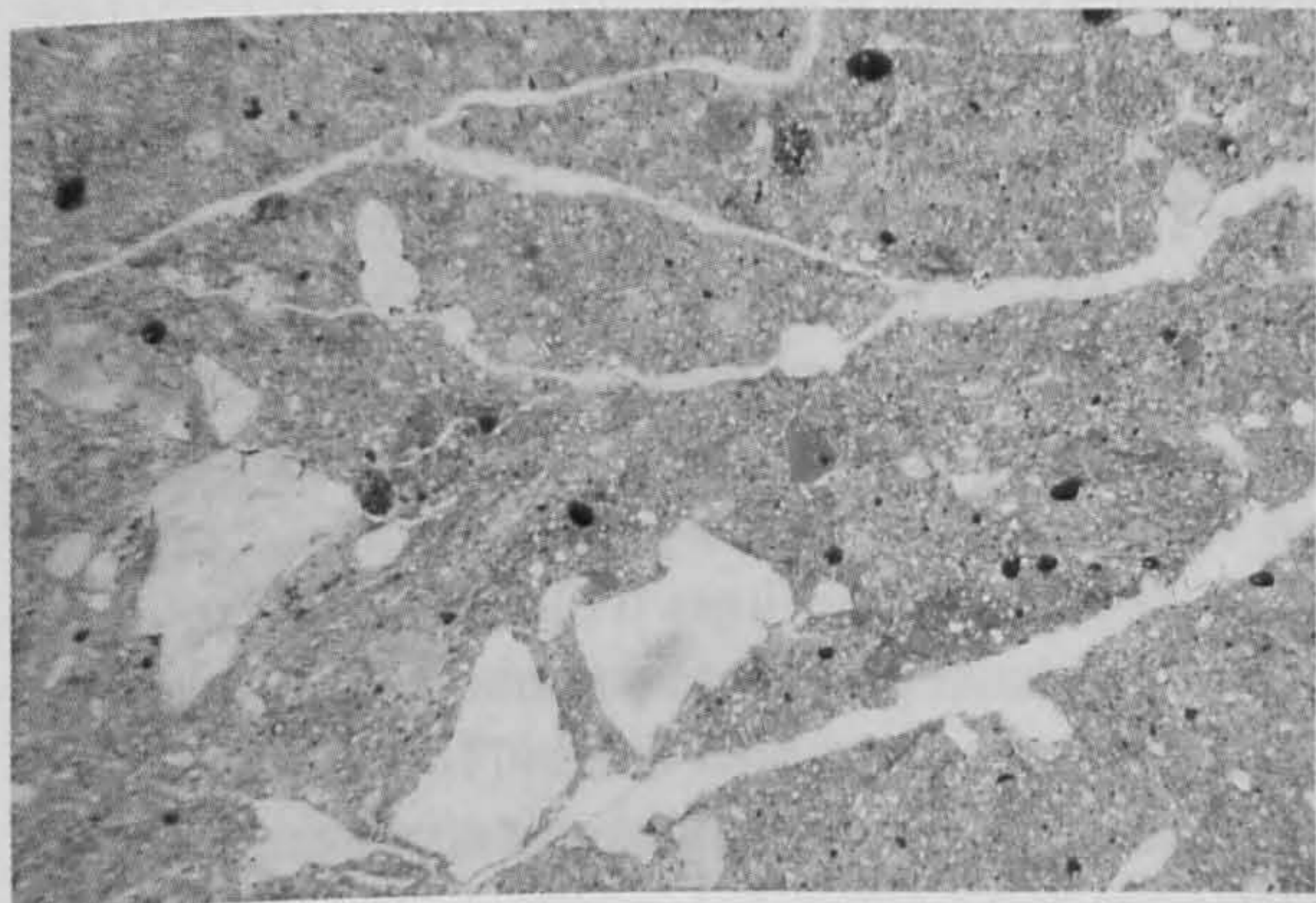


Fig. 42c. Limons lœssiques dans la partie inférieure de E7.

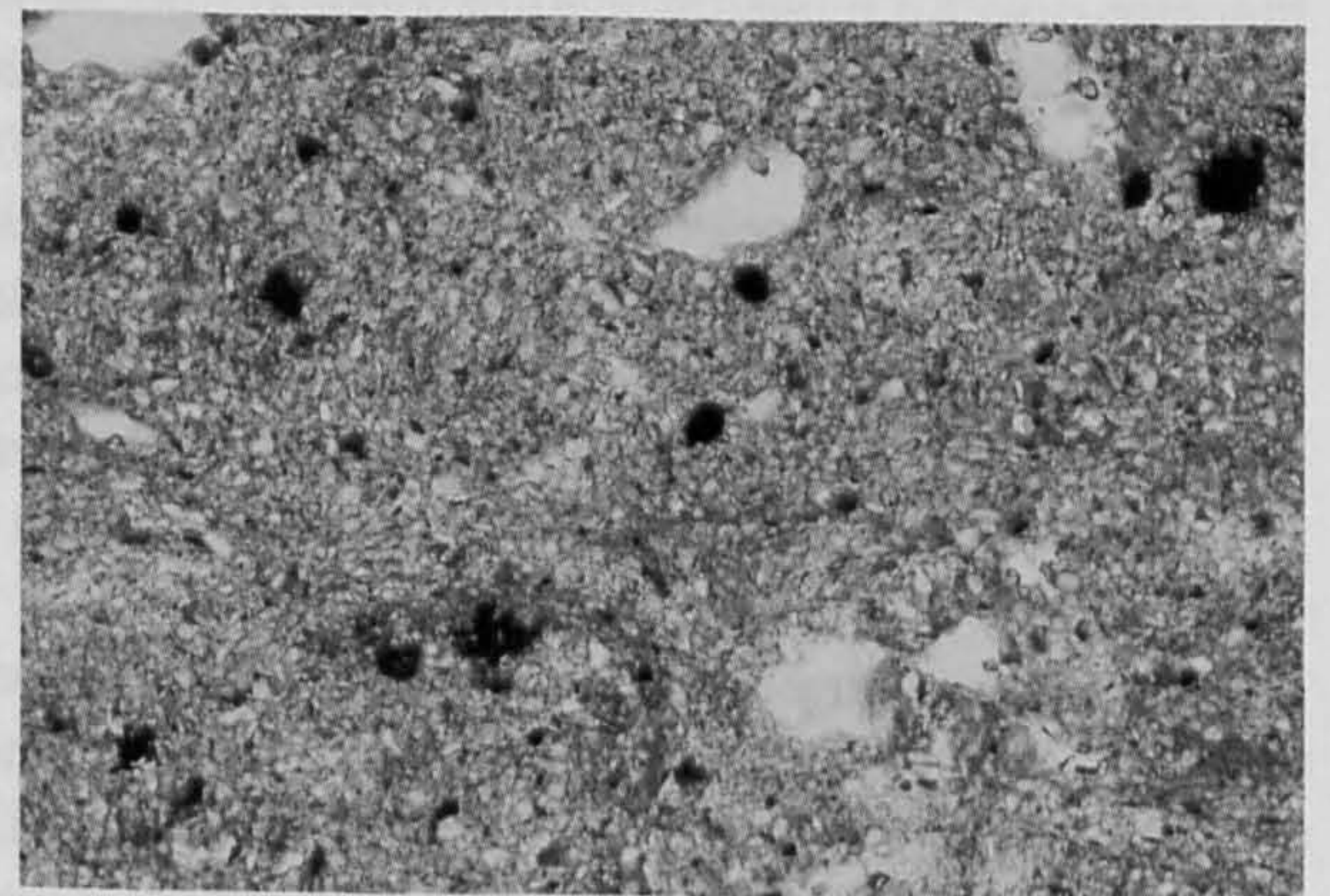


Fig. 42d. Horizon humifère sur lœss, sommet de l'unité E7.

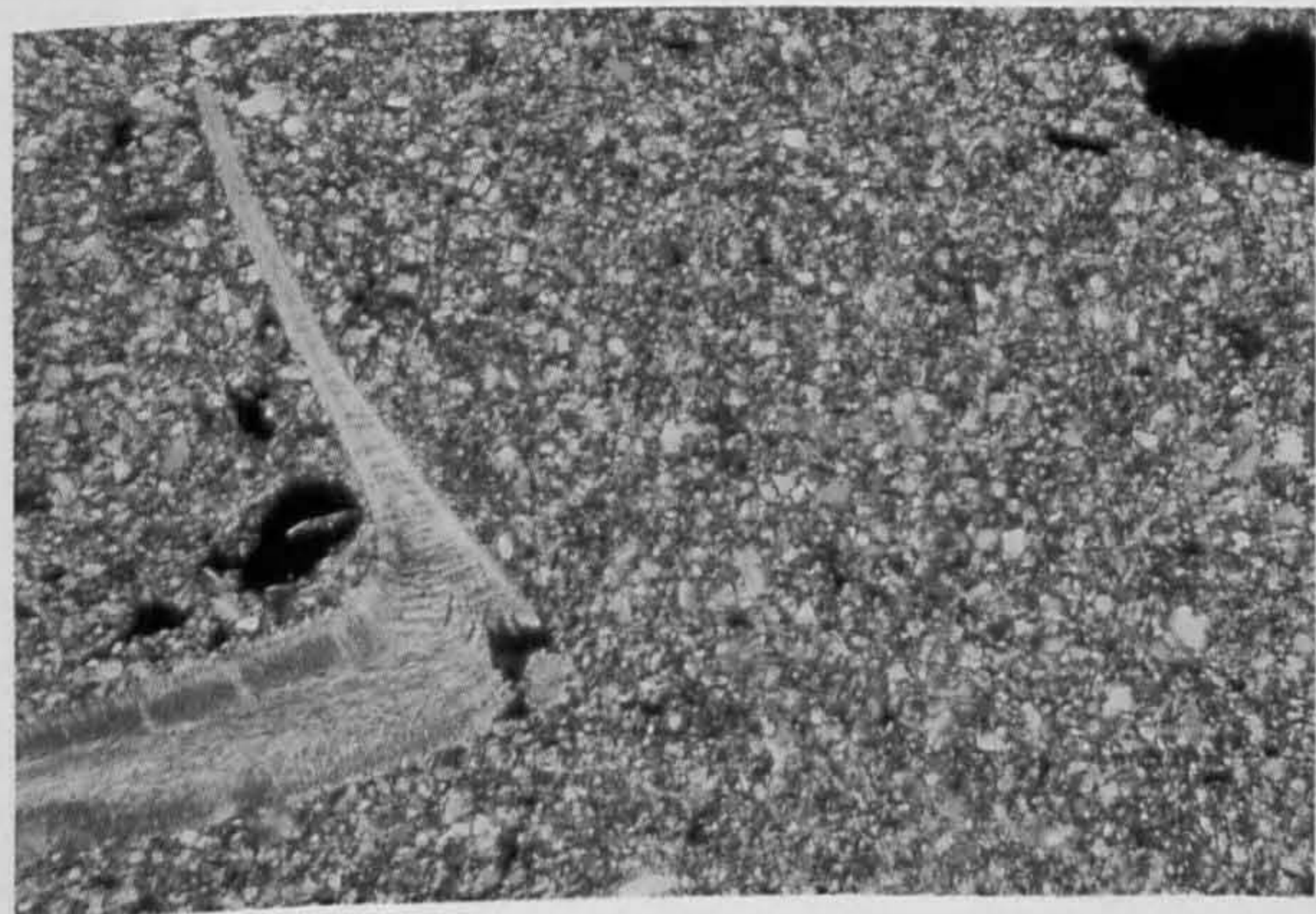


Fig. 42e. Coupe 58, lœss de l'unité E6.

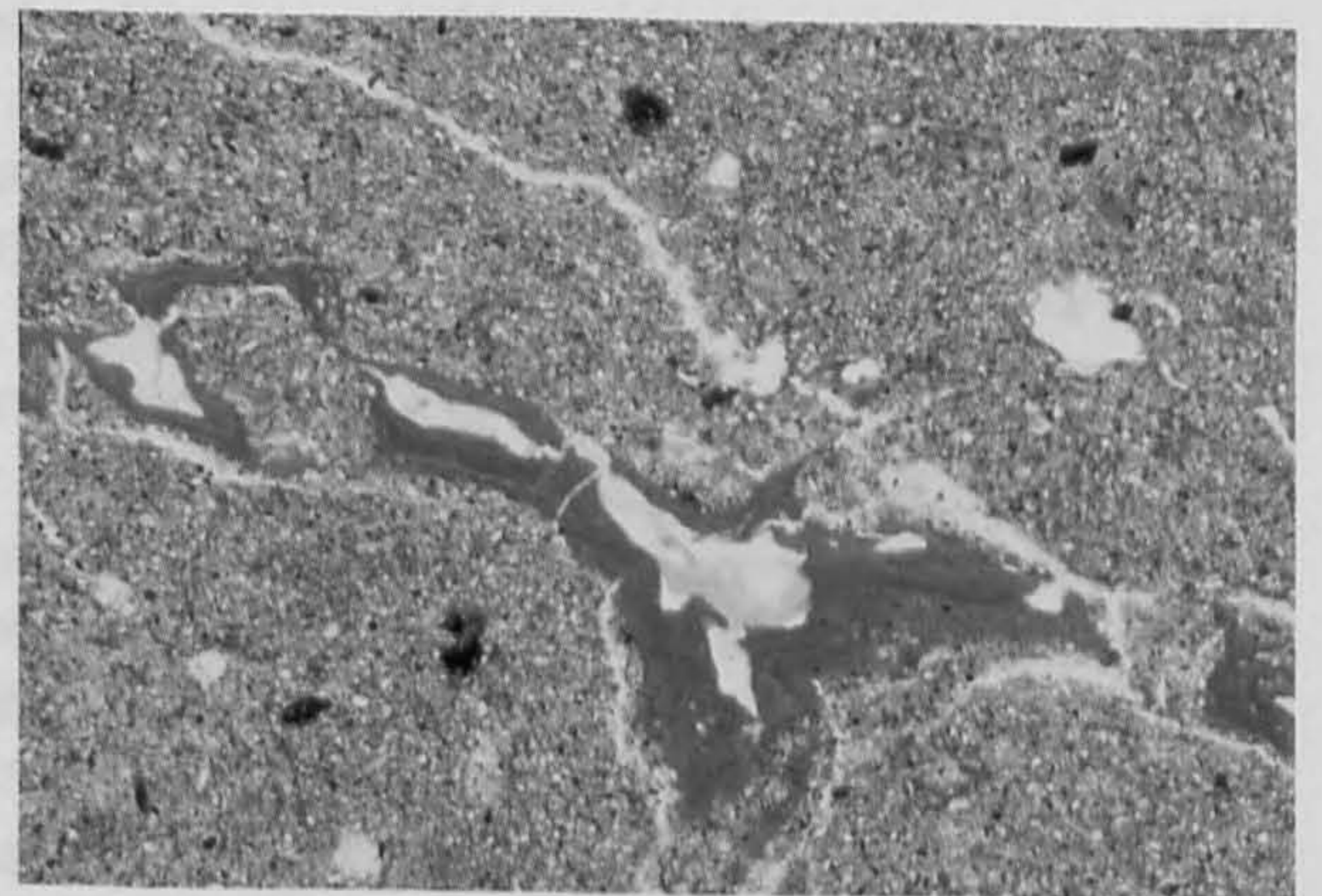


Fig. 42f. Sommet des lœss E6, coupe 98.

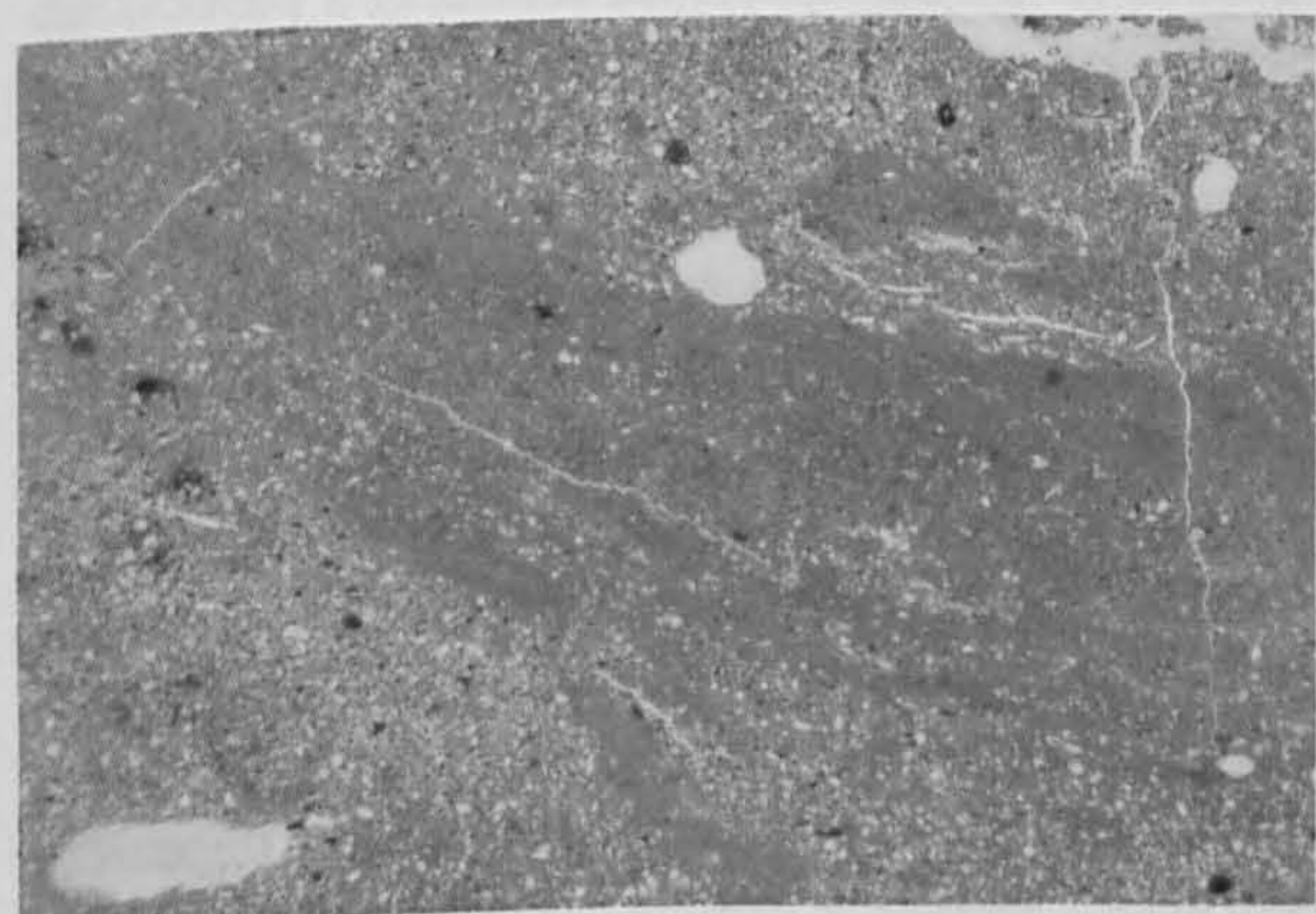


Fig. 42g. Limons lœssiques de l'unité E4. Coupe 1105

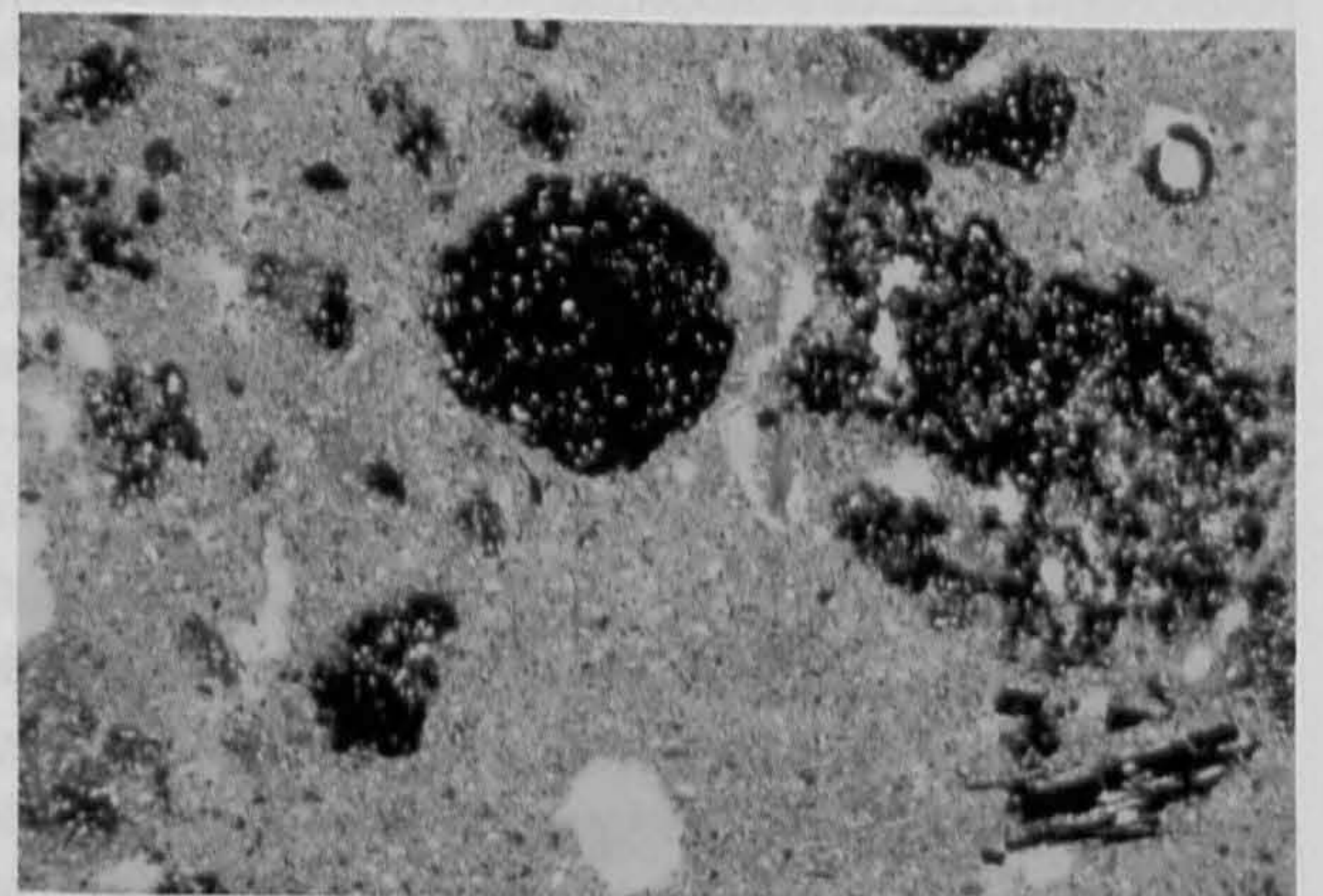


Fig. 42h. Limons lœssiques à silex magdaléniens, unité E4.



celles-ci correspond à un sol brun lessivé, qui classiquement se développe en climat tempéré sous forêt de feuillus, sa genèse étant particulièrement favorisée par un substrat sédimentaire meuble, plutôt pauvre en calcaire et suffisamment filtrant (AFES 1995, p. 196). La seconde, moins bien exprimée et donc plus hypothétique, se rapporterait à un sol chernozémique de type gris forestier. Il s'agit de sols développés en climat tempéré mais frais, intermédiaires entre la zone à forêt de feuillus claire et celle de la steppe (AFES 1995, p. 157). Ce passage d'un type de sol à l'autre traduit donc un rafraîchissement du climat, qui évolue vers des conditions nettement plus continentales.

Or, nous l'avons vu, ce pédocomplexe s'est formé après un premier épisode froid, au cours duquel se sont vraisemblablement mis en place les sables et gravillons qui constituent son squelette. Une phase d'érosion s'insère sans doute entre les deux pédogenèses, le sol gris forestier s'étant développé sur l'horizon Bt du sol lessivé, dont les horizons supérieurs ont été décapés. La phase d'érosion finale se marque en revanche de manière drastique par troncature totale du pédocomplexe : l'horizon principal du sol chernozémique s'y est vu démantelé par colluvionnement et sous-tirage karstique latéral. Ces deux épisodes d'ablation correspondent également à des phases froides : tout au long du Quaternaire en effet, l'érosion des sols a été plus active au début des périodes de refroidissement que pendant les stades et interstades (van Vliet-Lanoë et Guillocheau 1995, p. 419).

Une telle séquence où alternent des phases tempérées et des phases froides, avec une évolution globale vers des conditions climatiques plus rigoureuses, évoque sans conteste la période s'étendant du dernier Interglaciaire au début de la dernière glaciation. Celle-ci se caractérise en effet à travers toute l'Europe de l'Ouest par une succession de phases tempérées de plus en plus sèches alternant avec des phases de dégradation climatique de plus en plus froides (van Vliet-Lanoë 1986), que l'on insère généralement entre 130 ka BP et 75 ka BP (Keen et al. 1996, p. 12).

Nous proposons ainsi de corréler la phase de pédogenèse majeure de l'unité E8 avec l'épisode tempéré de la fin du stade 5e des isotopes de l'oxygène dans les forages marins (ou SI 5e1). D'après W. Boenigk et M. Frechen (1999), qui ont effectué de récentes datations dans les séquences lœssiques de la moyenne Vallée du Rhin, ce dernier s'insère entre 117 et 113 ka BP environ. Il fait suite à un événement climatique froid inséré entre 119 et 117 ka BP qui, selon ces mêmes auteurs, correspond vraisemblablement au stade isotopique 5e2, vers la fin de l'Interglaciaire Eémien s.s. Vu le caractère très évolué de la pédogenèse, qui a atteint le stade lessivé, nous excluons que celle-ci ait eu lieu plus tardivement, au cours des interstades du Glaciaire ancien (Brörup /SI 5c et Odderade/ SI 5a), également enregistrés dans la tourbière de la Grande Pile (Vosges du Sud) sous les épisodes de St. Germain I et II (Woillard 1978).

Avec l'un de ces épisodes relativement tempérés du Glaciaire ancien s'accorderait mieux la seconde phase de pédogenèse reconnue à Alle qui, moins évoluée que la précédente, a mené au développement d'un sol gris forestier. Dans les séquences lœssiques du Fossé rhénan, du reste, ces épisodes tempérés

qui ont eu lieu après 110 ka BP ont également conduit à la formation de sols chernozémiques. La genèse de ce second sol a eu lieu après une période d'érosion : cette dernière pourrait correspondre à l'un des stades froids SI 5d ou SI 5b (respectivement Melisey I et II à la Grande Pile).

La troncature finale de la séquence se rapporte de ce fait avec la coupure climatique du début du stade isotopique 4, ou Pléniglaciaire inférieur, vers 75 ka BP. Les lœss mis en place dès cette rupture, et qui font suite au pédocomplexe, ont été datés de  $58,7 \pm 9,2$  ka BP par thermoluminescence – ou TL (chap. 7.1).

Quelques comparaisons avec les séquences pédosédimentaires les plus proches d'Alle nous paraissent compléter opportunément nos résultats. Les profils de lœss d'Achenheim (Bas-Rhin, France) constituent sans aucun doute le cas le plus intéressant puisqu'ils ont également fait l'objet d'une approche pluridisciplinaire. Ceux d'Allschwil, près de Bâle, offrent aussi des parallèles intéressants, de portée limitée toutefois car ils n'ont malheureusement à ce jour pas été datés.

Ainsi, dans le pédocomplexe interglaciaire d'Achenheim I, qui selon les dates TL de J. Buraczynski et J. Butrym (1991) se placerait entre  $56 \pm 7$  ka BP et  $118 \pm 15$  ka BP, c'est le sol correspondant au stade isotopique 5c qui est le mieux conservé. Celui-ci se présente comme un sol chernozémique développé après troncature d'un sol modérément lessivé, rattaché lui à l'Eémien (Sommé et al. 1986). Dans les lœss d'Allschwil, G. Zollinger (1991, p. 747) rattache la genèse du premier sol brun lessivé (couche 14) à l'Eémien s.s., tandis que le remaniement et la gleyification de celui-ci auraient eu lieu au début du Glaciaire Würmien. Sur ce même gisement, il semble qu'une importante lacune d'érosion s'insère au-dessus du pédocomplexe interglaciaire, sur lequel viennent se placer des lœss remaniés (couche 15).

Dès le début du stade 4 ou Pléniglaciaire inférieur, on a donc dans les trois séquences considérées des phénomènes de colluvionnement et de gélifluxion qui raclent les substrats, avant la dominance complète des apports lœssiques.

#### 5.5.1.3 Attribution chronostratigraphique du niveau à silex moustériens

Rappelons que macroscopiquement les silex taillés apparaissent comme bien scellés dans les sables et graviers E8, mais ils ne portent aucune trace évidente de transport (chap. 9.1). Ces artefacts semblent donc avoir été incorporés au sédiment à partir d'un gisement très local, ou plus simplement se trouvent en position primaire, issus d'un débitage *in situ* du silex. Ils sont enfouis dans des dépôts qui ont subi une évolution polyphasée après leur mise en place. Par conséquent, cette industrie lithique est plus ancienne que la phase de pédogenèse majeure que nous proposons d'insérer vers la fin du stade isotopique 5e. L'occupation moustérienne se place ainsi chronostratigraphiquement dans l'Interglaciaire Eémien s.s., soit avant 117 - 119 ka BP selon les âges TL estimés de W. Boenigk et M. Frechen (1999). Vu l'altération assez avancée subie par cette couche archéologique, des traits anthropiques évidents telles que traces de tassement, ou fragments de sol brûlé n'ont – s'ils avaient existé – pas pu être conservés.



### 5.5.2 La séquence lœssique

Ce second ensemble, d'une extension latérale bien plus importante que le complexe inférieur, regroupe les unités essentiellement limoneuses qui recouvrent, dans la coupe 58, le pédocomplexe interglaciaire.

#### 5.5.2.1 L'unité E7

Comme nous l'avons vu sous le point précédent, le contact entre les unités E8 et E7 signale une rupture très nette dans les faciès sédimentaires. Dans la coupe 58, la géométrie des couches traduit une érosion par sous-tirage karstique et appel gravitaire; cette ablation précède donc la mise en place de dépôts de ruissellement incluant des fragments remaniés d'un sol gris forestier (chap. 5.2.4). Dans la coupe 98, les colluvions à la base de la séquence lœssique remanient un horizon Bt graveleux (chap. 5.3.2.1): ces dépôts se sont donc en partie édifiés par démantèlement du pédocomplexe E8, selon des processus de colluvionnement et de solifluxion. Ces phénomènes témoignent d'une réactivation du karst et d'une incision verticale en fond de vallée, en liaison avec un net rafraîchissement du climat, mais avec des précipitations encore abondantes (van Vliet-Lanoë et al. 1992a). Nous pensons qu'il s'agit là de la troncature majeure déjà constatée dans maintes séquences d'Europe de l'Ouest et qui se situe à la transition entre le Glaciaire ancien et le Pléniglaciaire inférieur, vers 75 ka BP.

Cet épisode de déstabilisation précède la mise en place des lœss, qui au niveau de l'unité 7, sont de type *Stablehm*, c'est-à-dire montrant un caractère local, avec des phénomènes de reprise (Fink 1969). Parallèlement à la pédogenèse, ces apports éoliens se font en plusieurs étapes interrompues par des épisodes colluviaux, mais dominant de plus en plus la sédimentation vers le sommet de la séquence (chap. 5.2.4 et 5.3.2.2). Ils ont lieu dans un milieu à végétation clairsemée, sous climat continental arctique à subarctique (van Vliet-Lanoë 1990a). Ce faciès caractéristique a déjà été reconnu dans plusieurs sites du Nord de la France (par exemple à Hénin-sur-Cojeul, Marcy et al. 1993) et se rapporte aux lœss mis en place au cours des Pléniglaciaires inférieur et moyen, c'est-à-dire durant les stades isotopiques 4 et surtout 3. Deux datations TL ont été effectuées dans ce type de dépôts à Alle, l'une vers la base, livrant un âge de  $58,7 \pm 9,2$  ka BP et l'autre vers le sommet, soit  $53,7 \pm 6,2$  ka BP (chap. 7.2): elles confirment ainsi cette insertion chronostratigraphique. Rappelons en outre que dans ces sédiments éoliens ont été découverts des silex moustériens dispersés, probablement en position secondaire (chap. 9.1).

Au sommet de l'unité E7, un petit sol humifère s'est développé sur les *Stablehm*. Conservé que très localement, aux environs de la coupe 98 (chap. 5.3.2.3), ce sol marque un arrêt de la sédimentation lœssique: il indique une recolonisation du milieu par la végétation, le climat devenant un peu plus clément et surtout plus humide (van Vliet-Lanoë et al. 1992a). Sa position stratigraphique ainsi que ses caractéristiques macro- et microscopiques le rapprochent du sol interstadiaire appelé sol de Lohne – *Lohner Boden* – dans les Hesses méridionales et rhénanes (Semmel 1969). Celui-ci se corrèle avec l'interstade du

Denekamp, qui, selon K.E. Behre (1992) se place entre 32 et 28 ka BP. Les dates TL obtenues par L. Zöller (chap. 7.1) dans la coupe 98 s'accordent avec cet intervalle puisque les lœss qui recouvrent l'horizon humifère nous fournissent une date butoir de  $28,5 \pm 1,6$  ka BP pour cet interstade.

Comme pour l'unité précédente, voyons encore les analogies que l'on peut tirer des séquences géographiquement voisines. Dans la séquence d'Achenheim, les dépôts éoliens qui recouvrent le pédocomplexe interglaciaire se seraient accumulés, selon J. Buraczynski et J. Butrym (1984, p. 206), à partir de  $56 \pm 7$  ka BP. Or, cette date TL est concordante avec celle obtenue à Noir Bois, ce qui tendrait à situer les premiers dépôts lœssiques sur ce dernier site au début du stade isotopique 3 (ou Pléniglaciaire moyen, 30-60 ka BP environ). Ceci implique que les colluvions de la base de la coupe 98 constitueraient les seuls témoins du stade isotopique 4 (ou Pléniglaciaire inférieur, 60-75 ka BP). Mais revenons à Achenheim pour mentionner que de nouvelles datations  $C^{14}$  effectuées dans les lœss du Pléniglaciaire moyen, plus précisément sur coquilles de mollusques, ont livré un âge proche de 38 ka BP (Lemeille et al. 1999). Par ailleurs, nous avons pu constater (excursion du 27.8.1998 organisée par F. Lemeille et E. Cushing, de l'Institut de protection nucléaire, Paris) qu'un horizon brunifié coiffe ces dépôts éoliens et que celui-ci contient de plus des traces de brûlis (charbons de bois et fragments de sol cuit). Ce sol interstadiaire est recouvert par les lœss très calcaires du Pléniglaciaire supérieur.

Dans la séquence d'Allschwil apparaît un horizon brunifié (couche 18) et conservé que très localement, qui est corrélé avec le *Lohner Boden* (Zollinger 1991, p. 746; Beckmann 1991, p.47). Ce sol se positionne sur des lœss recouvrant une «zone limoneuse remaniée» (couche 15) renfermant une faune malacologique de type steppique froid. Ces dépôts sont mis en parallèle avec la *Niedereschbacherzone* (Semmel 1968), des lœss colluviaux qui, dans les Hesses, s'insèrent au début du Pléniglaciaire moyen.

#### 5.5.2.2 L'unité E6

Dans la coupe 58, nous avons vu qu'une phase d'érosion liée à un sous-tirage karstique s'insère avant la mise en place des lœss jaunes E6 (chap. 5.2.5). Dans la partie aval du site, ces derniers reposent également sur un contact érosif qui a tronqué presque partout le sol humifère interstadiaire (chap. 5.3.3). Un épisode d'ablation, exprimé généralement dans les séquences lœssiques par des solifluxions et ruissellements, s'observe en effet après 28 ka BP: occasionné par un refroidissement abrupt du climat, son intensité est comparable à celui de 75 ka BP (van Vliet-Lanoë et al. 1992a).

Au sein des lœss de l'unité E6, les imprégnations calcitiques observées se forment (Becze-Deák et al. 1997) durant les périodes d'accumulation et indiquent ainsi une aridité des conditions climatiques. La bonne conservation des concrétions de lombrics témoigne, selon ces mêmes auteurs, du caractère *in situ* du complexe sol-sédiment, car ces granules se disloquent facilement au cours d'un transport; ceci se voit du reste conforté par l'apparition, entre autres, de jeunes individus dans la faune



malacologique (chap. 8.1). Quant aux traces de protopédogenèse qui se marquent au sommet de la séquence, elles indiquent que la végétation devait vraisemblablement correspondre à une toundra herbacée (van Vliet-Lanoë et al. 1992b).

L'épaississement très net de ces dépôts éoliens, qui comblent une doline dans la coupe 58, évoque des conditions de station particulières: dans un versant orienté vers le nord, ces dépressions karstiques, sièges d'une certaine humidité par la persistance de congères et de névés, étaient favorables à la fixation des loëss (Cegla 1972) ainsi qu'à leur conservation, puisque ce piégeage rendait impossible leur solifluxion sur la pente. Les analyses malacologique (chap. 8.1) et micromorphologique confirment le caractère humide de ces milieux. La datation au  $C^{14}$  effectuée sur les mollusques, donnant un âge de  $20,2 \pm 0,2$  ka BP (chap. 7.1), nous paraît assez fiable car, sous lame mince, les coquilles apparaissent comme très bien préservées grâce à une teneur de la matrice relativement élevée en carbonates (20% de carbonates, chap. 4). A noter que, sur la carrière d'Achenheim, les loëss du Pléniglaciaire supérieur se distinguent justement par un taux de carbonates assez proche de celui des loëss d'Alle (25-29%, Sommé et al. 1986). De plus, l'insertion des loëss E6 dans le Pléniglaciaire supérieur est confortée par deux datations TL réalisées dans la coupe 98: la première, à la base de l'unité, a livré un âge de  $28,5 \pm 1,6$  ka BP et la seconde, dans la partie médiane, un âge de  $22,5 \pm 2,4$  ka BP (chap. 7.2). Rappelons en outre que dans la partie aval du secteur, on a découvert deux molaires de rhinocéros laineux (chap. 8.2) au sein de ces sédiments éoliens.

Dans la partie aval du site enfin, en dehors du domaine d'extension du head E5, une structure lamellaire se développe au sein des unités E6 et E7 (chap. 5.3.1). Cette fissuration se surimpose nettement aux dépôts éoliens et colluviaux, tandis que les traits texturaux en liaison avec la pédogenèse tardiglaciaire ou holocène viennent s'y loger. Cette microstructure, due à un gel saisonnier profond (van Vliet-Lanoë 1985), se rapporte ainsi à l'une des dernières phases très froides du Pléniglaciaire supérieur, vers la fin de la sédimentation lœssique. Comme nous le discutons sous le point suivant, c'est également au cours de ce stade qu'a pu s'édifier le head E5 qui, du fait de son fonctionnement en tant que barrière capillaire, a empêché la formation d'une structure lamellaire dans les formations qui lui sont sous-jacentes.

### 5.5.3 Les formations sommitales

Regroupant les formations du sommet de la séquence de Noir Bois, ce troisième ensemble repose en nette discordance sur la séquence lœssique, avec notamment des déformations et épaisissements locaux. Son calage chronologique souffre quelque peu de l'absence de datation, seules des propositions d'insertion chronostratigraphique peuvent être formulées.

#### 5.5.3.1 Le head E5

Cette unité gélifluée se composant d'un cailloutis calcaire emballé dans une matrice d'origine éolienne marque une rupture dans le mode de sédimentation. Dans sa thèse, Brigitte van Vliet-

Lanoë (1988) définit intégralement la genèse de ces dépôts hétérométriques. Ainsi, la présence simultanée d'éléments grossiers et de particules fines témoigne d'un milieu périglaciaire bien installé, à gel saisonnier profond (van Vliet-Lanoë 1988, p. 642), sans pergélisol dans le cas de Noir Bois. Ce head a été le siège d'une saturation saisonnière en eau (chap. 5.4.1.3), ce qui a favorisé les déplacements sur pente et les déformations par cryoreptation (van Vliet-Lanoë 1988, p. 647); de plus, ceci confirme l'idée d'un fonctionnement en tant que barrière capillaire évoquée sous le point précédent.

La position stratigraphique de cette unité, plaquée en discordance sur la séquence lœssique, nous permet d'insérer sa genèse vers la fin du Pléniglaciaire. Dans les séquences de référence de l'Europe de l'Ouest, les heads se placent généralement dans le Pléniglaciaire inférieur ou moyen, avec toutefois quelques exceptions (Bretagne, Cotentin, Massif Central) dans lesquelles les derniers de ceux-ci apparaissent, tout comme à Alle, à la fin du Pléniglaciaire supérieur, avant le Dryas ancien (van Vliet-Lanoë 1988, p. 661). Vu les conditions de milieu nécessaires, cette mise en place a pu s'opérer durant le Stade de Poméranie qui, vers 16 ka BP, se caractérise climatiquement par un accroissement des précipitations (van Vliet-Lanoë 1988 p. 379). En Europe occidentale du reste, cet épisode froid mais relativement humide se signale par des dépôts limoneux souvent associés à un petit cailloutis, qui remanient les formations antérieures (van Vliet-Lanoë et al. 1992b).

#### 5.5.3.2 L'unité E4

Cette unité a été rencontrée à trois reprises au fil de notre étude, à savoir :

- au sommet des coupes 97/98 (chap. 5.3.4);
- dans le profil 1105 (chap 5.4.1.4);
- dans la coupe 78, sur le gisement magdalénien (chap. 5.4.2).

Malgré une inscription assez floue des traits micromorphologiques, on peut tenter une petite synthèse des principaux événements pédosédimentaires qu'elle recèle:

1. Après mise en place des coulées de gélifluxion (head E5), des limons s'amoncellent sur le glacis, et plus particulièrement dans les dépressions et vallonnements subsistants. Ces dépôts encore partiellement carbonatés proviennent d'un remaniement de plaquages éoliens plus anciens, à savoir les unités E6 et E7. Ces loëss recouvrent en effet toujours une bonne partie du versant en dehors de la zone d'extension du head et, sous une végétation encore discontinue, ne sont pas stabilisés.
2. Cette nouvelle nappe limoneuse est soumise à la décarbonatation et des argiles illuviales commencent à s'accumuler. La sédimentation par voie éolienne, mais aussi par colluvionnement et ruissellement, se poursuit en parallèle. Lorsqu'elle s'arrête, de faibles accumulations de matière organique peuvent se former à la surface des dépôts.
3. Le colmatage de la porosité par les argiles illuviales (horizon Bt) crée un engorgement de la tranche du sol sus-jacente, où se marque une hydromorphie qui semble s'être développée



Ensembles	Unités		Analyse micromorphologique : interprétation	Insertion chronologique proposée		S.I.	ka BP
	N°	Nom					
Formations sommitales	E1	Terre végétale	Agriculture moderne.	Holocène		1	10
	E2	Colluvions agricoles	Colluvionnement. Illuviation poussiéreuse.				
	E3	Sols protohistoriques	Pratiques agricoles : dénudation du sol, accumulation de colluvions. Illuviation d'argiles et hydromorphie (Btg).				
	E4	Limons lœssiques	Limons lœssiques remaniés à partir de dépôts éoliens plus anciens. Décarbonatation, puis genèse d'un horizon argilique Bt, sur lequel se marque un niveau d'engorgement. Pas de traits anthropiques attribuables à l'occupation magdalénienne. <i>Pédocomplexe récent.</i>	Tardiglaciaire	Dryas récent Alleröd Bölling Dryas ancien	2	15
	E5	Head	Formation géolifluée, générée à partir du bed-rock et à matrice d'origine éolienne, reprenant des plaquages altéritiques (type E9). Traces de pédogenèse discrètes; saturation en eau de manière saisonnière (barrière capillaire). <i>Head.</i>	Stade de Poméranie			16
Séquence lœssique	E6	(amont)	Lœss francs, peu évolués, mais marqués par l'hydromorphie, avec des remaniements et développement de sols pelliculaires au sommet de la séquence. Gel saisonnier profond. <i>Lœss stadias.</i>	Pléniglaciaire supérieur		3	30
		(aval)					
	E7	Horizon humifère	Petit sol humifère, engorgé de manière saisonnière, développé sur lœss locaux, remaniés. Tardivement: fissuration due au gel. <i>Sol interstadias.</i>	Sol de Lohne (Denekamp)		4	60
		Limons tachetés	Au sommet: lœss faiblement pédogénisés, conditions hydromorphes. A la base: colluvions lœssiques reprenant les formations sous-jacentes («Staublehm»). Tardivement: gel saisonnier profond. <i>Pédocomplexe construit, sur lœss remaniés localement.</i>	Pléniglaciaire moyen			
Colluvions de base	Colluvions sableuses, reprenant des faciès altéritiques (type E9 et E8), retouchées tardivement par le gel. Erosion au sommet. <i>Démantèlement du pédocomplexe interglaciaire.</i>	Pléniglaciaire inférieur		75			
Complexe inférieur	E8	Sables limoneux à silex moustériens	Sables alluviaux à artefacts de silex. Phases proposées: 1. Dépôt des sables et enfouissement des silex moustériens 2. Solifluxion 3. Pédogenèse 1 (sol lessivé) 4. Erosion 5. Pédogenèse 2 (sol chernozémique) 6. Erosion. <i>Pédocomplexe interglaciaire et niveau archéologique moustérien.</i>	Glaciaire ancien	Odderade ou St.Germain II	5a	110
					Melisey II	5b	
					Brörup ou St.Germain I	5c	
Melisey I					5d		
				Interglaciaire Eémien		5e	130
E9	Altérite bariolée	Paléosol complexe, tronqué au sommet, développé sur limons ou sur cailloutis fluviaux, ayant subi plusieurs phases de cryoturbation et de pédogenèse. <i>Altérite polyphasée.</i>	Interglaciaire anté-Eémien		≥ 6	< 800 ?	
	Cailloutis calcaire	Formation fluviale perchée, mise en place au cours d'un stade semi-aride froid.	Glaciation «maximale» ?				

Fig. 43. Tableau synthétique résumant les résultats de l'analyse micromorphologique, ainsi que l'insertion chronologique proposée. Lignes en gras: lacunes d'érosion; S.I.: stades des isotopes de l'oxygène dans les forages marins.



en deux temps. Mais la végétation ne fixe pas encore complètement le sol, et de fait la sédimentation limoneuse continue, probablement par à-coups: au cours de ces arrêts, l'illuviation des argiles reprend.

4. Des traces de bioturbation et des illuviations silto-organiques se surimposent aux traits précédents, indiquant une transformation de la surface du sol par les pratiques agricoles.

Cette suite d'événements se place chronostratigraphiquement après la formation du head E5, insérée dans le Stade de Poméranie (vers 16 ka BP) dans le point précédent. Elle présente certains parallèles avec le modèle proposé par B. van Vliet-Lanoë et al. (1992b) pour les sols lessivés de la couverture loessique d'Europe occidentale. Selon ces auteurs, la formation primaire de l'horizon argilique Bt s'est effectuée durant la phase Bölling de l'interstade du Tardiglaciaire (soit de 12,7 à 12 ka BP, selon Magny 1995). Elle fait suite à la genèse d'un horizon particulier, appelé fragipan, qui résulte de la présence d'un pergélisol au Dryas ancien (de 15 à 12,7 ka BP). Nous n'avons jamais rencontré un tel horizon dans les séquences limoneuses de Noir Bois, ce qui confirme l'absence d'un pergélisol sur ce site durant ce dernier stade.

Toujours d'après ces mêmes auteurs, l'hydromorphie semble liée quant à elle à la remontée des nappes et une accumulation de neige plus importante lors de l'Alleröd (de 12 à 11 ka BP environ). Au cours de cette seconde phase interstadienne a également débuté l'acidification des sols limoneux qui se poursuivra durant l'Holocène et, en raison de la continuité du couvert végétal jusqu'à cette période tempérée, le retour du froid au Dryas récent (de 11 à 10 ka BP environ) n'a eu que peu d'effet sur ces sols. Enfin, dès la colonisation humaine du Néolithique final (vers 3800 BP), le sommet des dépôts subit encore des transformations qui se superposent au pédocomplexe récent (Guélat 1997 ; chap. 5.1.1.3).

#### 5.5.3.3 Attribution chronostratigraphique du niveau à silex magdaléniens

Les traits micromorphologiques des sédiments renfermant les silex magdaléniens traduisent assez bien l'ambiance climatique typique du Tardiglaciaire: les versants sont instables, tandis qu'à la surface des dépôts commencent à se marquer les premiers effets de la pédogenèse postglaciaire. Malheureusement pour la chronologie relative, pas le moindre éclat de silex n'est apparu dans les lames minces; pareillement pour les indices d'occupation: aucun véritable trait anthropique tel que trace de tassement, fragment d'os ou de sol cuit n'a pu être identifié. Seul le relatif enrichissement en microcharbons dans la partie médiane de la séquence locale pourrait constituer une marque ténue de la présence humaine. Cependant, une tentative de datation de ces microcharbons à l'accélérateur (méthode AMS) a échoué, par manque de matière organique (chap. 7.2.2). En conséquence, aucune insertion dans la reconstitution esquissée sous le point précédent ne peut être proposée. Mentionnons simplement que, par raccord latéral, les silex magdaléniens se placent stratigraphiquement vers le sommet de l'horizon Bt, dans le niveau hydromorphe.

## 5.6 Conclusions

Le tableau synthétique (fig. 43) résume tous les résultats de l'approche micromorphologique des sédiments quaternaires reconnus sur le site d'Alle, Noir Bois. Ces données sont présentées en parallèle avec l'insertion chronologique discutée dans le chapitre précédent et elles sont confrontées à celles issues des autres disciplines dans la synthèse générale (chap. 11). En guise de conclusion à notre contribution, cette compilation appelle encore quelques réflexions, mais de type méthodologique cette fois.

En comparant les résultats obtenus par unité stratigraphique, on remarque que la micromorphologie se révèle particulièrement efficace pour établir des chronologies relatives, par la hiérarchisation de différentes phases génétiques, tout spécialement dans les formations de type pédocomplexe. Dans les unités sommitales cependant, les traits micromorphologiques sont inscrits d'une manière assez floue dans les dépôts: l'impact des activités anthropiques sur le sol a fortement oblitéré les traits pédologiques plus anciens. Macroscopiquement, ou par les méthodes de la sédimentologie classique, il n'aurait pas été possible de mettre en évidence tous les stades d'évolution reconnus et de définir leur succession dans le temps. L'insertion chronologique de ces différentes phases génétiques, en particulier dans le cas des unités pour lesquelles on ne dispose pas de datation absolue, reste toutefois délicate. Par ailleurs, il faut bien admettre que la séquence sédimentaire étudiée possède un développement plutôt modeste de par son épaisseur (3 à 4 m de puissance au maximum). De plus, comme nous le supposions déjà lors des travaux de terrain, notre analyse a décelé plusieurs tronçatures d'érosion – signalées par un trait plus gras dans le tableau synthétique – qui témoignent du caractère lacunaire de l'accumulation de sédiments. Finalement, il ne faudrait pas omettre le fait que l'analyse micromorphologique est dépendante de la qualité des prélèvements, mais aussi du soin apporté à l'échantillonnage sur le terrain. Pour des raisons techniques (effondrements dus à la profondeur des tranchées, par exemple), ou suite à des impératifs liés à l'avancement des travaux sur les chantiers autoroutiers, cette opération ne se réalise pas toujours dans des conditions aussi optimales que l'on pourrait souhaiter.

## Remerciements

Je désire remercier les nombreuses personnes qui m'ont apporté leur soutien pour la réalisation de cette recherche: tout d'abord Blaise Othenin-Girard et tous les membres de son équipe de fouilles qui m'ont épaulé au cours du travail de terrain; Marcel Joos et Philippe Rentzel pour leur accueil toujours amical au Laboratoire de géoarchéologie du Séminaire de préhistoire de l'Université de Bâle: l'induration et le sciage des prélèvements ont été effectués dans cet institut. Des remerciements également à Thomas Beckmann, de Braunschweig, qui a assuré la fabrication des lames minces. Merci encore à Brigitte van Vliet-Lanoë qui a bien voulu superviser les diagnostics microscopiques, et à Denis Aubry qui m'a transmis les échantillons provenant du gisement magdalénien. Des remerciements s'adressent enfin à François Schifferdecker qui a rendu cette étude possible.



## 5.7 Bibliographie

## Abréviations:

AFEQ	Association française pour l'Etude du Quaternaire, CNRS, Paris.
AFES	Association française pour l'étude des sols, Paris.
ASSPA	Annuaire de la Société suisse de préhistoire et d'archéologie, Bâle.
BSPF	Bulletin de la Société préhistorique française, Paris.
CNRS	Centre national de la recherche scientifique, Paris.
CAJ	Cahier d'archéologie jurassienne, Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Emulation, Porrentruy.
INRA	Institut national de la Recherche agronomique, Paris.
OPH	Office du patrimoine historique, Section d'archéologie, Porrentruy.
SPM	La Suisse du Paléolithique à l'aube du Moyen Age, publié par la SSPA.

AFES 1995	<i>Référentiel pédologique</i> . INRA éditions, Paris, 332 p. (collection Techniques et Pratiques).
--------------	---

Beckmann Thomas 1991	Mikromorphologische Untersuchungen am Lössprofil der Ziegeleigrube Allschwil (Basel-Landschaft). <i>Freiburger geographische Hefte</i> 33, p. 47-53.
-------------------------	--

Becze-Deàk Judith, Langohr Roger et Verrecchia Eric 1997	Small scale secondary CaCO <sub>3</sub> accumulations in selected sections of the European loess belt. Morphological forms and potential for paleoenvironmental reconstruction. <i>Geoderma</i> 76, p. 221-252.
---	---

Behre K. E. 1992	Towards an absolute chronology for the last glacial period in Europe : Radiocarbon dates from Oerel, Northern Germany. <i>Veget. Hist. Archaeobot.</i> , 1, p. 111-117.
---------------------	---

Boenigk Wolfgang et Frechen Manfred 1999	Klimaschwankungen im Frühweichsel der Lössabfolgen des Mittelrheingebiets. <i>Eiszeitalter und Gegenwart</i> , 49, p. 124-131.
---	--

Buraczynski Jan et Butrym Jerzy 1984	La datation des loess du profil d'Achenheim (Alsace) à l'aide de la méthode de thermoluminescence. <i>Bulletin de l'AFEQ</i> 4, p. 201-209.
---	---

1991	Datation par thermoluminescence et chronostratigraphie des loess d'Alsace. In : <i>Datation et caractérisation des milieux pléistocènes</i> . Actes des Symposiums 11 et 17 de la 11 <sup>e</sup> R.S.T., Clermont-Ferrand, 1986, p. 31-37 (Cahiers du Quaternaire 16).
------	---

Cegla J. 1972	Sedimentacja Lessów Polski. <i>Acta Univ. Wratisl.</i> 168, <i>Studia Geogr.</i> 17, 72 p.
------------------	--

Fink J. 1969	Les progrès de l'étude des loess en Europe. In : <i>La stratigraphie des loess d'Europe</i> . Supplément au Bulletin de l'AFEQ, p. 3-12.
-----------------	--

Duchaufour Philippe 1991	<i>Pédologie. Sol, végétation, environnement</i> . Masson, Paris, 289 p. (collection Abrégés).
-----------------------------	--

Guélat Michel 1987	Géologie. In : Masserey Catherine et al. : <i>Prospection archéologique : sondages en Ajoie et dans la Vallée de Delémont</i> . OPH, p. 17-32 (Archéologie et Transjurane 2, rapport inédit).
-----------------------	---

1990	Champ de la Borne : contexte géologique. In : Masserey Catherine et al. : <i>Sondages dans la Vallée de Delémont et en Ajoie</i> . OPH, p. 61-63 (Archéologie et Transjurane 8, rapport inédit).
------	--

1992	Géologie. In : Masserey Catherine et al. : <i>Le site paléolithique, néolithique, de l'Age du Fer et gallo-romain du Noir Bois à Alle (JU, Suisse)</i> . OPH, p. 29-50 (Archéologie et Transjurane 22, rapport inédit).
------	---

1997	Analyse micromorphologique. In : Othenin-Girard Blaise et al. : <i>Le Campaniforme d'Alle, Noir Bois</i> . CAJ 7, p. 36-39.
------	---

Keen David, van Vliet-Lanoë Brigitte et Lautridou Jean-Pierre 1996	Two long sedimentary records from Jersey, Channel Islands : stratigraphic and pedological evidence for environmental change during the last 200 kyr. <i>Quaternaire</i> 7.1, p. 3-13.
---	---

Léger Michel 1987	Micromorphologie de loess et paléosols intraloessiques en Souabe et Bavière. <i>Soil Micromorphology</i> 1987, p. 611-618.
----------------------	--

Lemeille Francis, Cushing Marc, Cotton Fabrice, Grellet Bertrand, Ménillet François, Audru Jean-Christophe, Renardy François et Fléhoc Christine 1999	Traces d'activité pléistocène de failles dans le Nord du fossé du Rhin supérieur (Plaine d'Alsace, France). <i>C. R. Académie des Sciences de Paris, Sciences de la terre et des planètes</i> 328, p. 839-846.
--	--

Liniger Hans 1967	Pliozän und Tektonik des Juragebirges. <i>Eclogae geologicae Helvetiae</i> 60/2, p. 407-490.
----------------------	--

Loyer Stéphane, van Vliet-Lanoë Brigitte, Monnier Jean-Laurent, Hallegouet Bernard et Mercier Norbert 1995	La coupe de Nantois (Baie de Saint-Brieuc, France) : datations par thermoluminescence (TL) et données paléoenvironnementales nouvelles pour le Pléistocène de Bretagne. <i>Quaternaire</i> 6, p. 21-33.
---	---

Magny Michel 1995	<i>Une histoire du climat</i> . Editions Errance, Paris, 176 p.
----------------------	---

Marcy Jean-Luc, Auguste Patrick, Fontugne Michel, Munaut André-Valentin et van Vliet-Lanoë Brigitte 1993	Gisement moustérien d'Hénin-sur-Cojeul (Pas de Calais). <i>BSPF</i> 90-4, p. 251-256.
---	---

Masatada Oyama et Hideo Takehara 1967	<i>Revised standard soil color charts (Munsell charts)</i> . Institut national des Sciences agricoles et Ministère de l'agriculture et de la forêt (éd.), Japon, 22 pl.
--	---



- Masserey Catherine, Othenin-Girard Blaise et Stahl Gretsche Laurence-Isaline  
1993 Taille de silex moustérien, occupation campaniforme, habitat laténien et route gallo-romaine à Alle (JU). *AS* 16, 1, p. 2-11.
- Othenin-Girard Blaise et al.  
1997 *Le Campaniforme d'Alle, Noir Bois*. CAJ 7, 207 p.
- Schlüchter Christian et Wohlfahrt Barbara  
1993 Géologie. In : *SPMI. La Suisse du Paléolithique à l'aube du Moyen Age : Paléolithique et Mésolithique*. ASSPA, Bâle, 302 p.
- Schlüchter Christian et Müller-Dick Kathrin  
1996 *Das Eiszeitalter in der Schweiz*. Publ. IGCP-378, Geologischer Institut der Universität Bern, 4 p.
- Schneider Alfred  
1960 Géologie des Gebietes von Siegfriedblatt Porrentruy. *Matériaux pour la Carte Géologique de la Suisse*, N.S. 109, 72 p.
- Semmel Arno  
1968 Studien über den Verlauf jungpleistozäner Formung in Hessen. *Frankfurt. Geogr. Hefte*, 45, p. 1-133.
- 1969 Stratigraphie du loess dans les Hesses méridionales et rhénanes. In : *La stratigraphie des lœss d'Europe*. Supplément au Bulletin de l'AFEQ, 1969, p. 81-83.
- Sommé Jean, Lautridou J.-Pierre, Heim Jean, Maucorps Jean, Puisségur J.-Jacques, Rousseau Denis-Didier, Thévenin André et van Vliet-Lanoë Brigitte  
1986 Le cycle climatique du Pléistocène supérieur dans les loess d'Alsace à Achenheim. *Bulletin de l'AFEQ*, 1-2, p. 97-104.
- van Vliet-Lanoë Brigitte  
1984 Etude pédologique et micromorphologique des pédocomplexes d'Achenheim. In : *Achenheim : livret-guide de l'excursion du 13.9.1984 de l'INQUA*, document inédit, 10 p.
- 1985 Frost Effects in Soils. In: Boardman John (éd.) : *Soils and Quaternary Landscape Evolution*. John Wiley & Sons, London, p. 117-158.
- 1986 Le pédocomplexe du Dernier Interglaciaire (de 125000 à 75000 B.P.). Variations de faciès et signification paléoclimatique du Sud de la Pologne à l'Ouest de la Bretagne. *Bulletin de l'AFEQ*, 1/2, p. 139-150.
- 1988 *Le rôle de la glace de ségrégation dans les formations superficielles de l'Europe de l'Ouest*. Thèse de doctorat d'Etat à l'Université de Paris I, 854 p.
- 1990a Le pédocomplexe de Warneton : où en est-on ? Bilan paléopédologique et micromorphologique. *Quaternaire* 1, p. 65-76.
- 1990b The genesis and age of the argillic horizon in weichselian loess of northwestern Europe. *Quaternary International*, 5, p. 49-56.
- van Vliet-Lanoë Brigitte, Helluin M., Pellerin J. et Valadas B.  
1992a Soil Erosion in Western Europe : from the Last Interglacial to the Present. In : Bell Martin & Boardman John : *Past and Present Soil Erosion*. Oxbow books, 22, Oxford, p. 101-114.
- van Vliet-Lanoë Brigitte, Fagnart J.P., Langohr Roger et Munaut A.  
1992b Importance de la succession des phases écologiques anciennes et actuelles dans la différenciation des sols lessivés de la couverture loessique d'Europe occidentale : argumentation stratigraphique et archéologique. *Science du sol*, 30, 2, p. 75-93.
- van Vliet-Lanoë Brigitte, Tuffreau Alain et Cliquet Dominique  
1993 Position stratigraphique des industries à lames du Paléolithique moyen en Europe occidentale. In : Tuffreau Alain : *Riencourt-lès-Bapaume (Pas de Calais) : un gisement du Paléolithique moyen*. DAF 37, p. 104-106.
- van Vliet-Lanoë Brigitte et Guillocheau François  
1995 Evolution de l'enregistrement sédimentaire depuis 150 ka en France du NW et en Belgique : biorhexistase et bilan sédimentaires. *C.R. Acad. Sc. Paris*, IIa, 320, p. 419-426.
- Woillard Geneviève  
1978 Grande Pile Peat Bog : a continuous Pollen Record for the Last 140'000 Years. *Quaternary Research* 9, p. 1-21.
- Zollinger Gaby  
1991 Zur Landschaftgenese und Quartärstratigraphie am südliche Oberrheingraben - Am Beispiel der Lössdeckschichten der Ziegelei in Allschwil (Kanton Basel-Landschaft). *Eclogae geologicae Helvetiae*, 84/3, p. 739-752.



## 6 ÉTUDE MINÉRALOGIQUE DES LŒSS

(Thierry Adatte)

Afin de répondre aux questions soulevées par les observations sédimentologiques et micromorphologiques indiquant la présence de lœss dans le gisement d'Alle, Noir Bois, une étude minéralogique détaillée a été conduite sur les échantillons les plus représentatifs. Le but principal de cette étude est de caractériser minéralogiquement une section de référence (coupes 98-97) afin de préciser la nature autochtone (issue principalement de la décalcification du bed-rock) ou allochtone (apport éolien) des couches sus-jacentes à la roche en place. Par la suite, l'inventaire qualitatif et quantitatif des minéraux présents permet de préciser la nature et la source de ces lœss. Une datation K-Ar des micas de la fraction  $< 2 \mu\text{m}$  a également été effectuée pour évaluer l'âge de ces sources potentielles (Moscariello 1994).

Les études minéralogiques des lœss quaternaires suisses ne sont pas nombreuses (Pochon 1978, Spaltenstein 1984; Ruch et al. 1989, Adatte et al. 1991). La présence de minéraux caractéristiques des massifs alpins avait conduit M. Pochon (1978) à postuler une origine éolienne (lœss périglaciaires) pour les associations minéralogiques des sols postglaciaires de la Haute-Chaîne du Jura, étant donné que cette dernière n'avait pas été affectée par la dernière glaciation. Ces associations minéralogiques renfermaient des minéraux tels que plagioclase, amphibole et chlorite et étaient par conséquent très différentes des calcaires sous-jacents.

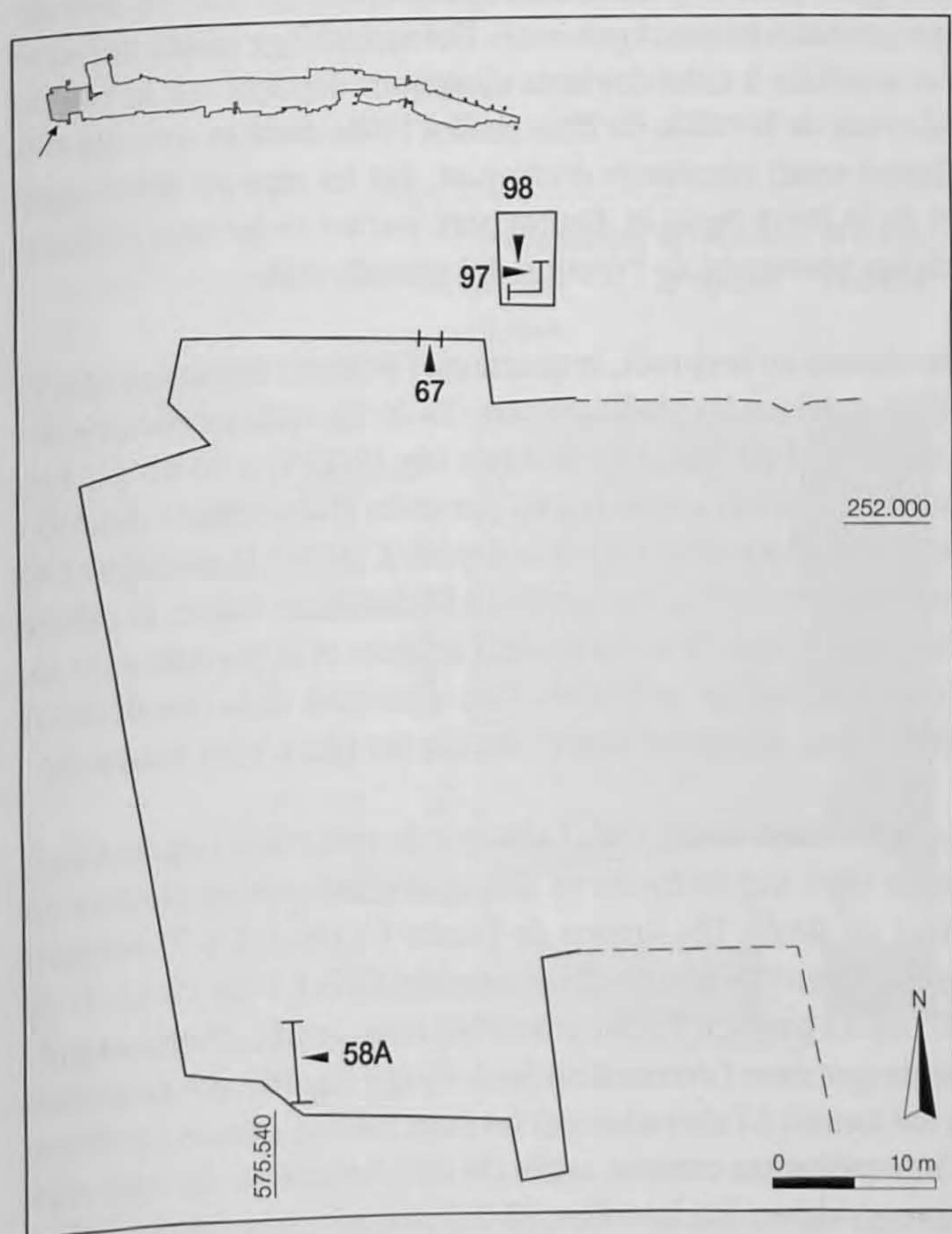


Fig. 44. Plan de situation des coupes étudiées.

La minéralogie des dépôts lœssiques d'Alsace (France) est mieux connue (Millot et al. 1957; Camez et Roth 1957, Camez 1962). Leur composition minéralogique est dominée par la chlorite, l'illite, le quartz et les feldspaths. G. Millot (1970) souligne également que la dégradation de ces lœss en milieu tempéré humide se traduit par une décarbonatation partielle, une diminution de la chlorite par rapport à l'illite et le développement d'interstratifiés à vermiculite et de smectites dégradées. Dans le cas du site d'Alle, Noir Bois, l'altération relativement peu intense n'a donc pas trop détruit les caractéristiques primaires des associations minéralogiques composant ces lœss, permettant de confirmer la nature lœssique de ces sédiments et d'en préciser la nature et l'origine.

### 6.1 Echantillonnage (fig. 45)

Les échantillons analysés dans le cadre de cette étude ont été prélevés par M. Guélat dans plusieurs profils de la zone occidentale (coupes 97, 98 et 67; fig. 44). L'échantillon 58A-14, représentatif d'un lœss franc, carbonaté, provient d'un autre profil (coupe 58) et constitue donc un étalon minéralogique de référence; il a été systématiquement figuré dans toutes les illustrations, pour comparaison.

### 6.2 Méthodes employées

Les échantillons ont été préparés selon les méthodes du Laboratoire de minéralogie et pétrographie de l'Institut de géologie de Neuchâtel (Kübler 1987).

L'analyse diffractométrique de ces échantillons a porté sur:

- la roche totale (poudres non orientées);
- le résidu insoluble obtenu après élimination des carbonates (fractions  $< 2 \mu\text{m}$  et  $2-16 \mu\text{m}$ , préparations orientées).

Vu la présence de carbonate (calcite) dans la fraction  $< 2 \mu\text{m}$  du résidu insoluble, les échantillons ont fait l'objet d'une décarbonatation. Celle-ci a été ménagée dans le but de préserver les couches gonflantes. La séparation des fractions  $< 2$  et  $2-16 \mu\text{m}$  (après décarbonatation) a été effectuée par centrifugation, selon la méthode de Rumley et Adatte (1983). Les échantillons ont été analysés par diffraction X au moyen d'un appareil Scintag XDS 2000, équipé d'un détecteur à monocristal de Silicium refroidi par effet Peltier. Le domaine angulaire exploré va de  $2$  à  $65^\circ 2\theta \text{CuK}\alpha_1$  (analyse roche totale) et de  $1$  à  $50^\circ 2\theta \text{CuK}\alpha_1$  (fractions du résidu insoluble). Chaque échantillon de la fraction  $< 2 \mu\text{m}$  a par la suite été glycolé pendant 12 heures et réanalysé ( $1$  à  $30^\circ 2\theta \text{CuK}\alpha_1$ ) dans le but d'identifier les minéraux gonflants tels que smectite et interstratifiés divers.

Une déconvolution des zones angulaires  $5-11^\circ 2\theta \text{CuK}\alpha_1$  et  $15-17^\circ 2\theta \text{CuK}\alpha_1$  a été effectuée dans le but d'apprécier les taux de couches gonflantes (méthode de Moore et Reynolds 1997). De la même façon, la zone angulaire  $24-25^\circ 2\theta \text{CuK}\alpha_1$  a aussi fait l'objet d'une déconvolution pour séparer les pics 002 de la kaolinite et 004 de la chlorite.



Profils étudiés	Unités	Lithologie	Age apparent des micas (Moscariello 1994)	
Echantillons		Couleurs		
ALL97-10	E4	Limons argileux (2.5Y, B.-J.)	105-150 ma	
ALL97-8	E6	Limons argileux (2.5Y, B.-J.)		
ALL98-12		Limons argileux (10YR, B.-J.)		
ALL98-10		Limons légèrement argileux (2.5Y, B.-J.)		
ALL98-9		E7		Limons argileux jaunâtres (2.5Y, B.-J.)
ALL98-7	Limons légèrement argileux (2.5Y, B.-J.)			
ALL98-6	Limons argileux homogènes (10YR, B.-J.)			
ALL98-5	Limons argileux homogènes (10YR, B.-J.)			
ALL98-3	Limons argileux homogènes (10YR, B.-J.)			
ALL98-2	Limons sableux à gravillons (10YR/7.5YR, B.-J.)			
ALL98-1	E9	Remplissage limono-argileux (2.5Y, B.-J.)	210-260 ma	
Bed-rock		Calcaire micritique, décimétrique, Kimméridgien sup.		
<b>Echantillons dispersés</b>				
ALL97-1	E7	Poche silteuse (10YR, beige)	130-160 ma	
ALL97-6		Limons légèrement argileux (10YR, J.)		
ALL67-5	E6	Limons homogènes (10YR, B.-J.)		
ALL67-8		Limons homogènes (10YR)		
ALL67-11	E7	Limons sableux argileux (10YR, B.-J.)		210-250 ma
<b>Lœss de référence</b>				
ALL58A-14	E6	Limons légèrement argileux carbonatés		

Fig. 45. Descriptif des échantillons analysés dans cette étude et âges apparents des micas.

Les minéraux majeurs de la roche totale ont fait l'objet d'une estimation semi-quantitative, par la méthode de l'étalon externe (Ferrero 1966, Kübler 1983 et Adatte et al. 1996). Les indosés (fig. 46) correspondent dans le cas présent d'une part, aux minéraux pour lesquels il n'existe pas d'étalon externe (cas de l'amphibole) et d'autre part, à une partie des minéraux argileux, pour lesquels il n'existe pas un standard unique représentatif de l'ensemble des minéraux argileux.

Les minéraux argileux des fractions fines du résidu insoluble sont exprimés en abondances relatives (%). Le rapport feldspath potassique/plagioclase est basé sur les intensités brutes, exprimées en coup par minute (CPM), de même que la répartition de certains minéraux en grains des fraction fines du résidu insoluble (feldspaths, quartz, goethite et amphibole ainsi que paragonite de la fraction 2-16 µm).

Les micas de la fraction argileuse < 2 µm des échantillons 98-3 et 98-10 ont fait l'objet de datations par la méthode Potassium-Argon (K-Ar), selon la technique habituelle (Dalrymple et Landphere 1969, Hunziker 1979, Fontignie 1982). Ces datations ont été effectuées par A. Moscariello (1994), au Département des sciences de la Terre de l'Université de Genève. La connaissance de l'âge apparent de ces micas permet d'identifier leurs sources les plus probables.

### 6.3 Minéraux majeurs, roche totale (fig. 46)

Le bed-rock est essentiellement constitué de calcite (97%) ; le quartz (1,1%), les phyllosilicates (<1%) et le feldspath-K (0,1%) n'y sont que très faiblement représentés.

L'échantillon étalon (58A-14) est dominé par le quartz (36%), les phyllosilicates (19%), la calcite (14%), le plagioclase (5%) et

le feldspath potassique (1%). Par ailleurs, si l'on admet que la majeure partie des indosés se rapportent aux phyllosilicates, ces derniers dépassent les 45% et constituent, de ce fait, l'élément majeur de la roche totale. Le rapport FK/plagioclase est très bas (0,22). Cette composition peut être considérée comme d'origine, sans trop d'évolution postdéposition (calcite détritique primaire toujours présente). Cet assemblage minéralogique est similaire à celui des lœss classiques déposés sur la plaine alluviale de la vallée du Rhin (Millot 1970), dont la zone de déflation serait constituée d'une part, par les massifs des Vosges et de la Forêt Noire et d'autre part, par les sédiments périglaciaires provenant de l'érosion des massifs alpins.

Au-dessus du bed-rock, le quartz est l'élément dominant (47%-62%), suivi par les phyllosilicates (15-20%), cette tendance s'inversant si l'on inclut les indosés (de 15-25% à 40-45%). Les autres minéraux présents sont par ordre d'abondance décroissant le plagioclase (3-7%), le feldspath-K (2-5%), la goethite (2%) et l'ankérite (<1%). Par rapport à l'échantillon étalon, la calcite est absente dans la roche totale, l'ankérite et la goethite sont au contraire parfois présentes. Ces lœss sont donc totalement décalcifiés, indiquant une évolution sur place bien marquée.

Le fait saillant réside dans l'absence de variations importantes, aussi bien qualitativement que quantitativement, de bas en haut du profil. Les limons de l'unité E7 (98-3-5-6-7) ne sont guère différents de ceux des ensembles E6 et E4 (98-10-12, 97-8; 97-10). La goethite (hydroxyde de fer) n'est significativement présente que dans l'échantillon 98-1. Ce qui signifie que ce niveau a été soumis à l'altération par les eaux météoriques et confirme l'interprétation comme argile de décalcification du bed-rock kimméridgien. L'échantillon 98-2, interprété comme des colluvions d'altérites, contient également de la goethite, impliquant aussi le même processus.



En résumé, l'analyse de la roche totale indique que toutes les couches sus-jacentes au bed-rock kimméridgien montrent une composition différente par rapport à ce dernier, plus spécialement de par l'absence de calcite. Les unités E9 et E7 base présentent cependant, à la fois une composante issue de la décalcification du bed-rock (présence de goethite et dominance du FK) et une composante allochtone (présence de plagioclase).

Les dépôts sus-jacents sont, par contre, composés de matériel exclusivement allochtone lœssique, dont la/les sources dominantes semblent avoir varié avec le temps, comme le confirment les âges apparents obtenus à partir des micas (chap. 6.6).

Toutes les couches sus-jacentes au bed-rock sont décalcifiées, suggérant une altération relativement significative, ce que confirme l'examen de la fraction argileuse  $< 2 \mu\text{m}$  (chap. 6.2), plus particulièrement pour les ensembles E9 et E7 base.

Les résultats des échantillons dispersés 97-1 et 97-6 ne sont pas très différents. Il faut tout de même noter qu'ils ne contiennent pas de goethite. Leur rapport FK/plagioclase est systématiquement inférieur à 1. Ces observations indiquent la présence d'une composante lœssique dominante dans ces deux échantillons interprétés comme résultant de colluvions polyphasées, lœssiques.

L'échantillon 67-11 est caractérisé par un rapport FK/plagioclase largement supérieur à 1 et par l'absence de goethite, indices de colluvionnement important reprenant à la fois des lœss et des argiles issus de la décalcification du bed-rock.

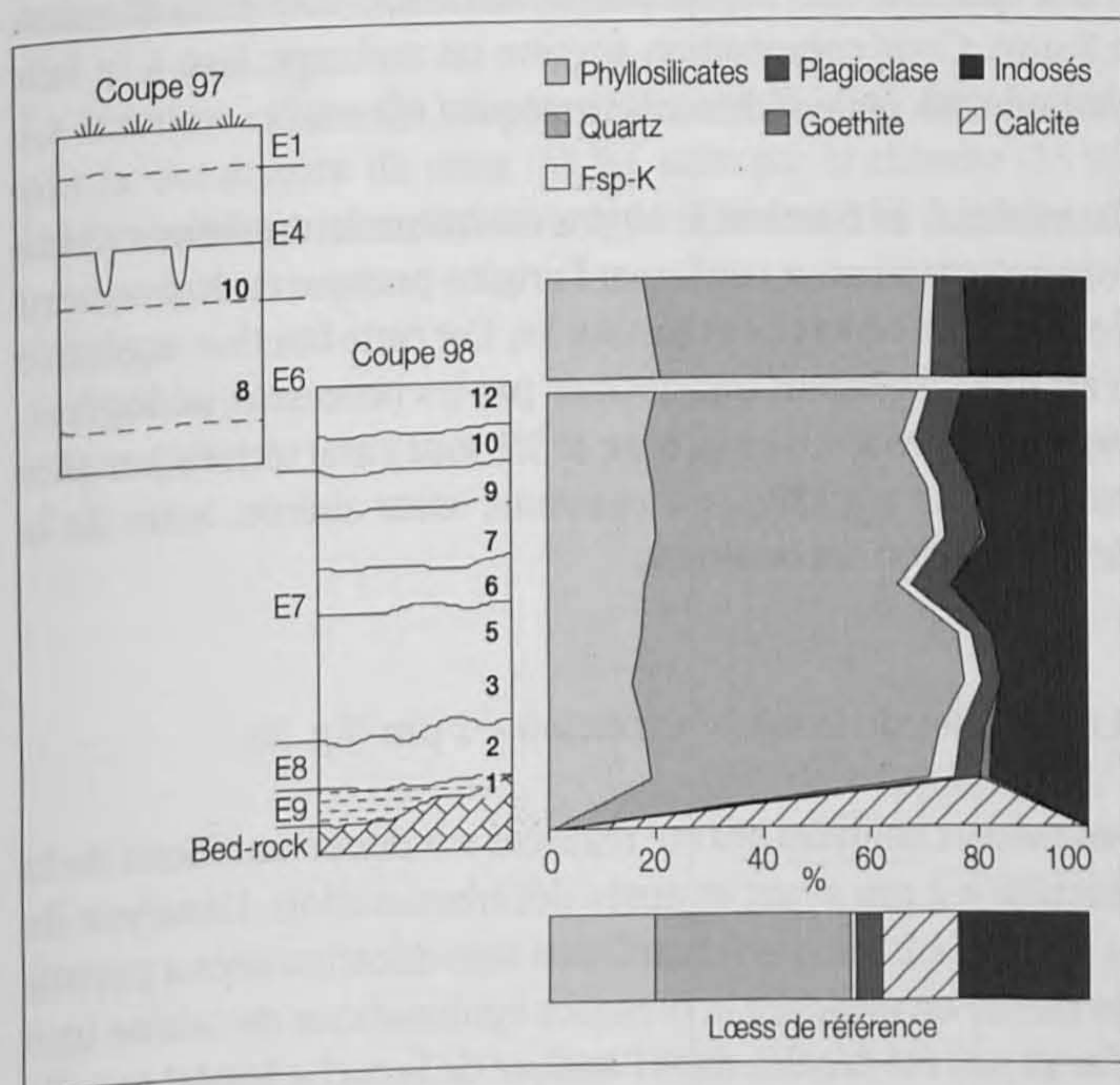


Fig. 46. Minéralogie de la roche totale (profil de référence et lœss étalon), estimation semi-quantitative des minéraux majeurs, selon la méthode de l'étalon externe, exprimée en %.

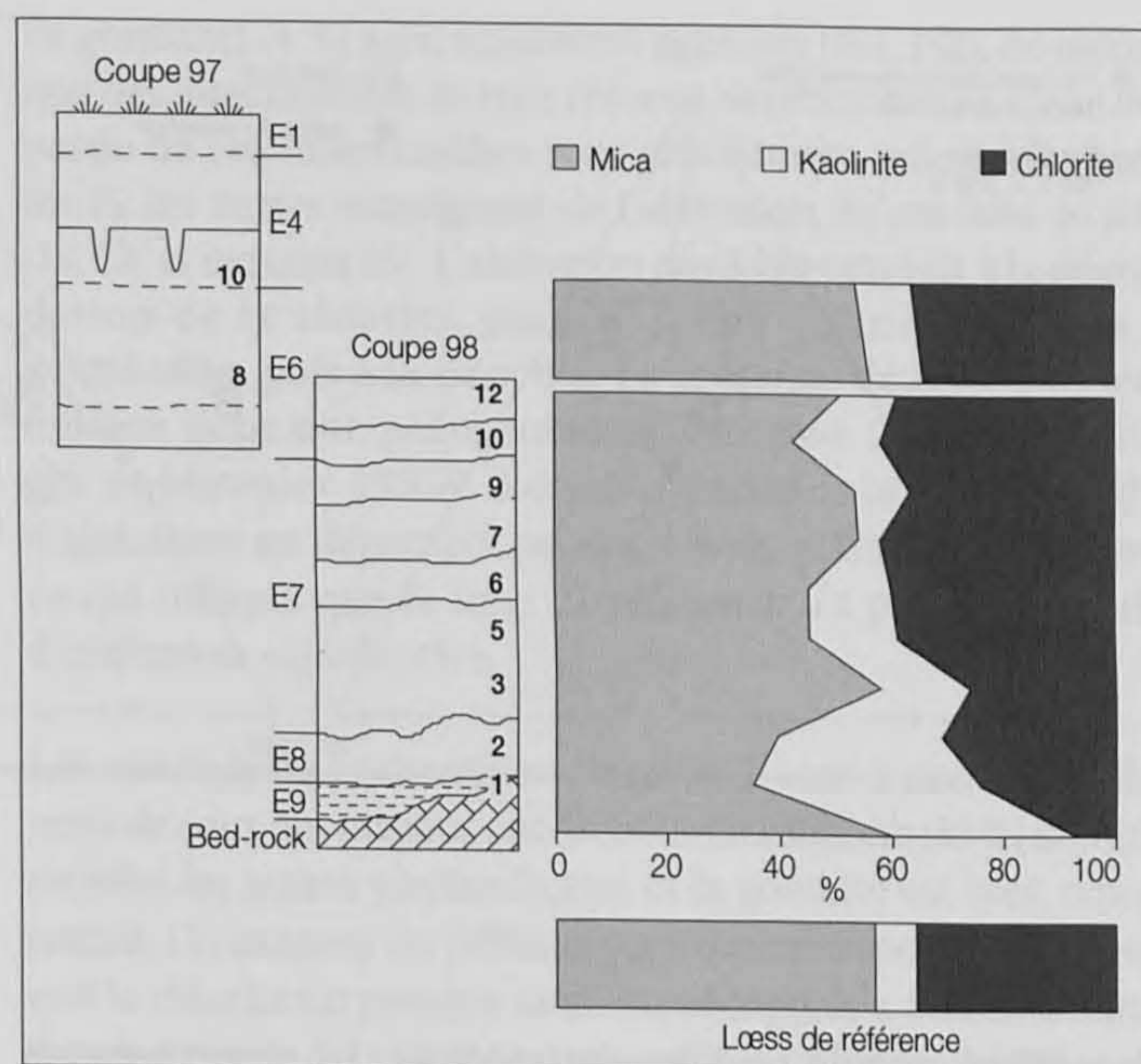


Fig. 47. Minéralogie de la fraction 2-16  $\mu\text{m}$  (profil de référence et lœss étalon), abondance relative (%) des phyllosilicates.

#### 6.4 Résidu insoluble, fraction 2-16 $\mu\text{m}$ (fig. 47)

Dans l'échantillon de référence, le phyllosilicate dominant de cette fraction est le mica (57%) suivi de la chlorite (36%) et de la kaolinite (7%). Cette composition est commune aux lœss européens (Millot 1970, Bronger et Heinkele 1989). Un examen détaillé des diffractogrammes montre que le mica et la chlorite de cette fraction sont toujours bien cristallisés (pics étroits). La composition du mica (méthode Rey-Kübler 1983) est de tendance muscovite (fig. 48A) avec quelques traces de paragonite, un autre type de mica, sodique. La chlorite est de type alumineuse (fig. 48B), ce qui montre qu'il s'agit bien d'une chlorite héritée par érosion mécanique de la roche mère non dégradée et non d'une chlorite ferrifère dégradée typique de l'altération des sols (méthode de Oinuma et al. 1972). Parmi les minéraux en grains présents dans cette fraction, le plagioclase domine nettement sur le FK, confirmant ainsi les données de la roche totale. Des traces de goethite ont également été mises en évidence, mais en quantité moindre par rapport à ce qui est observé dans les niveaux de décalcification du bed-rock kimméridgien. Cette fraction est donc typique d'un lœss peu altéré.

Qualitativement, les phyllosilicates présents dans le profil étudié sont identiques à ceux du lœss de référence. Quantitativement, seul l'échantillon 98-1 (interprété comme argile de décalcification du bed-rock) est très différent puisque la kaolinite (41%) est plus abondante que le mica (35%) et la chlorite (24%), on note également une présence significative de goethite ( $> 4000$  CPM). Un examen détaillé de son diffractogramme montre que la chlorite de cette fraction est moins bien cristallisée (dégradation du chlorite en interstratifié de



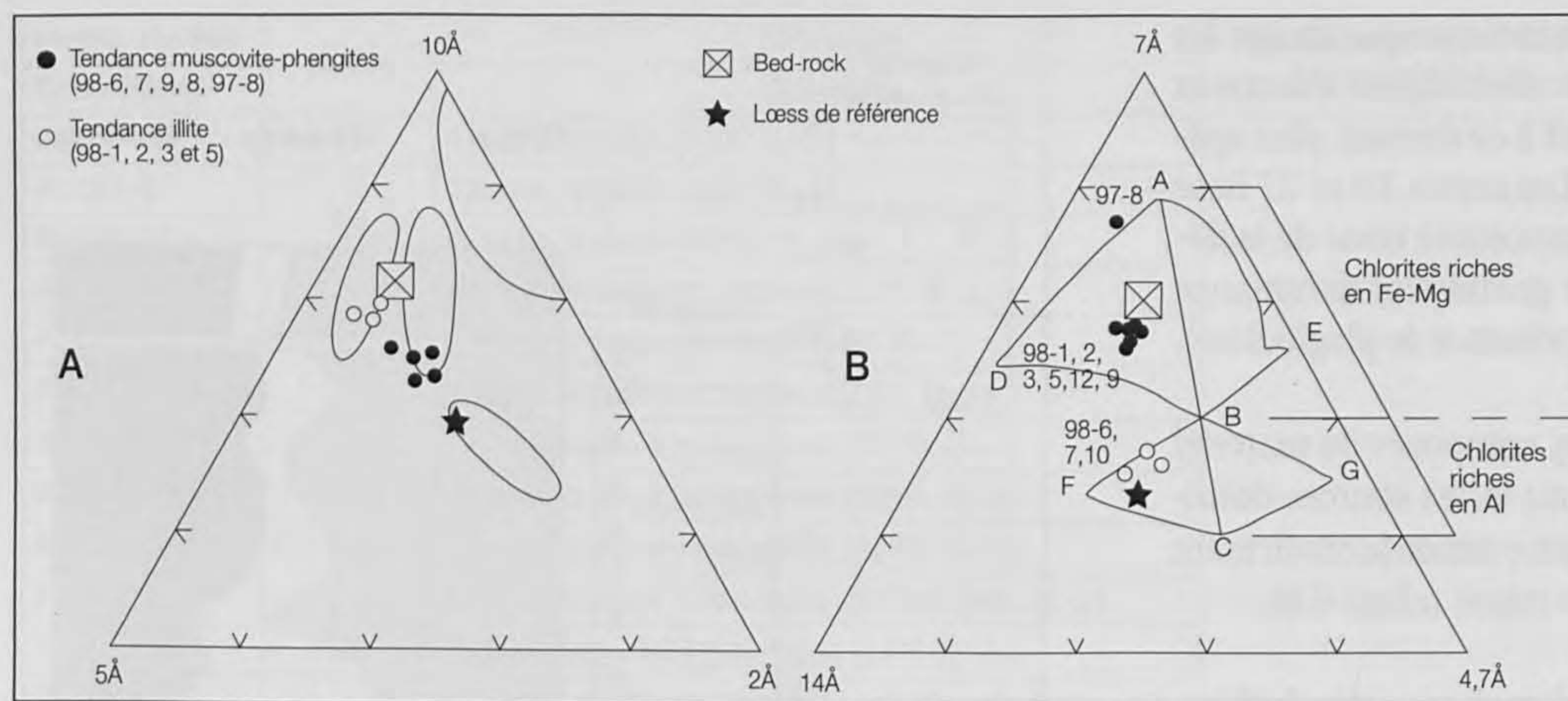


Fig. 48. Appréciation de la composition chimique des micas (A, à gauche) et des chlorites (B, à droite) selon la méthode des diagrammes ternaires de Rey-Kübler (1983) et d'Oinuma et al. (1972).

type illite-smectite ou illite-vermiculite). La représentation ternaire (Oinuma et al. 1972) donne une composition de tendance ferro-magnésienne, au contraire de celle de l'échantillon étalon (fig. 48B). Ceci indiquerait une origine en partie « autochtone » kimméridgienne de cette chlorite. La composition minéralogique de cet échantillon (à dominante de kaolinite) et le type de chlorite sont identiques à ce qui est observé dans le bed-rock. Le rapport FK/plagioclase (=1) montre aussi que la contribution du bed-rock est importante, mais qu'une composante allochtone demeure (fig. 49) marquée par le plagioclase qui n'est généralement pas présent dans le Kimméridgien. Contrairement à l'échantillon de référence, le quartz est caractérisé par une faible intensité. L'échantillon 98-2 est assez semblable à 98-1, mis à part le fait qu'il contienne de la paragonite, minéral absent du bed-rock, impliquant une composante allochtone similaire à celle caractérisant l'échantillon étalon.

Dès l'échantillon 98-3 (caractérisé par la présence de paragonite et par des chlorites plus alumineuses) l'apport autochtone devient prépondérant, bien que le rapport FK/plagioclase reste proche de 1. L'intensité du quartz double entre les échantillons 98-1/98-3 et 98-5/98-6.

L'échantillon 98-6 (lœss franc, ensemble E7) est lui, par contre, similaire au lœss de référence: le rapport FK/plagioclase est  $< 0,5$  (fig. 49), la chlorite devient franchement alumineuse et le mica de type muscovite (avec des traces de paragonite). L'échantillon 98-7 est similaire, mis à part le fait que l'amphibole est plus abondante (ce minéral étant communément présent dans bon nombre de lœss européens) et que le rapport FK/plagioclase (fig. 49) est encore plus faible (0,25). L'intensité du quartz double entre les échantillons 98-1/98-3 et 98-5/98-6.

L'échantillon 98-9, interprété comme un sol humifère interstadaire, est presque identique à 98-7 et par conséquent au lœss de référence. Il en va de même pour les échantillons 98-10, 98-12, 97-8 et 97-10. La fraction 2-16  $\mu\text{m}$  n'a apparemment pas été très affectée par la brunification. Aucun indice de dégradation significatif n'a pu être mis en évidence, hormis le fait que les chlorites des échantillons 97-8 et 97-12 (lœss brunifié) sont légèrement plus ferrifères.

Parmi les échantillons dispersés, ce sont les 97-1 et 97-6 (ensemble E7) qui se rapprochent le plus du lœss de référence. On notera que l'échantillon 97-1 contient de la paragonite, mais aussi de l'amphibole. Il ne correspond donc pas à une argile de décalcification, comme l'échantillon 98-1 et devrait plutôt être corrélé avec les horizons de l'ensemble E7 (98-6-7-9). Ceci indique que la base du profil 97 résulte d'une accumulation plus tardive que la base du profil 98 (coupe A, fig. 15)

Les échantillons 67-5 et 67-8 sont caractérisés par des intensités brutes très faibles, mais les abondances relatives des phyllosilicates sont similaires à celles des échantillons à tendance lœssique. Leur corrélation reste toutefois délicate. L'échantillon 67-11 est caractérisé d'une part, par les teneurs de quartz et de feldspaths potassiques les plus élevées et d'autre part, par de fortes proportions de chlorite et de paragonite, accompagnées d'une quantité non négligeable de kaolinite (voir aussi fraction  $< 2 \mu\text{m}$ ). Cette composition suggère un mélange, issu à la fois du bed-rock et de sédiments lœssiques remaniés.

En résumé, la fraction 2-16  $\mu\text{m}$  constitue le meilleur critère minéralogique pour confirmer l'origine presque exclusivement éolienne des unités E7 et surtout E6. Car cette fraction argileuse n'est que faiblement transformée par les processus pédogénétiques. Les ensembles E7base et E9 sont caractérisés par une composante autochtone dominante, assez altérée, issue de la décalcification du bed-rock.

### 6.5 Résidu insoluble, fraction $< 2 \mu\text{m}$ (fig. 50)

Les mêmes analyses ont été réalisées sur des échantillons de la fraction  $< 2 \mu\text{m}$  avant et après décarbonatation. L'analyse de la fraction  $< 2 \mu\text{m}$  des échantillons non-décarbonatés a permis de mettre en évidence la présence systématique de calcite (qui n'avait pas été décelée dans l'analyse de la roche totale) et celle plus sporadique de vivianite. La calcite fine présente dans ces lœss « décarbonatés » est probablement liée à l'activité pédogénétique et biologique (transport de fluide riche en calcium et précipitation de calcite dans les vides interstitiels creusés par les racines des végétaux). La vivianite est un hydrate de phosphate



de fer ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) issu de la diagenèse précoce (Nriagu et Dell 1974, Balenzano et al. 1974, Weber-Tieche 1998). Elle précipite dans des milieux réducteurs riches en Fe et en Al, sous l'action de solutions phosphatées dérivant de restes organiques; sa présence est souvent liée aux sols hydromorphes. Il faut souligner que dans de telles conditions, l'altération chimique est ralentie: le cortège argileux original n'est que peu modifié. Ce minéral a été reconnu dans les échantillons 67-8, 67-11, 98-3 (des colluvions loëssiques) et 98-9 (sol interstadiaire).

On peut également ajouter que la fraction  $< 2 \mu\text{m}$  est faiblement représentée dans un loëss véritable. Les minéraux présents sont donc hérités. Une partie toutefois du cortège argileux formé par les interstratifiés (de type chlorite-vermiculite, illite-vermiculite, illite-smectite) et les smectites est liée à l'altération des minéraux argileux présents (mica, chlorite, etc.), lors de la pédogenèse (loëss altéré ou « lehm » des anciens auteurs).

La mesure de la cristallinité du mica (« cristallinité de l'illite », mesure du pic 001 à mi-hauteur sur préparations séchées à l'air, Kübler 1987) est un indicateur de fraîcheur des micas, autrement dit de leur altération ou dégradation au cours de l'érosion, du transport et de la pédogenèse (fig. 49). Les micas des loëss, témoignant d'une érosion purement mécanique, seront caractérisés par de bonnes cristallinités ( $0,20-0,35^\circ$ , faible largeur à mi-hauteur), alors que les micas dégradés lors de la pédogenèse (altération chimique) ont des cristallinités plus mauvaises, donc des largeurs à mi-hauteur plus élevées ( $> 0,40^\circ$ ).

Contrairement à la fraction  $2-16 \mu\text{m}$ , la détermination du chimisme des chlorites et, dans une moindre mesure, du mica par la méthode des représentations ternaires, devient aléatoire voire impossible pour la fraction  $< 2 \mu\text{m}$  à cause de la dégradation des chlorites (pic 001 surtout) et de l'apparition de phases interstratifiées de type IS, IV et CV.

La fraction  $< 2 \mu\text{m}$  du loëss de référence (fig. 50) est marquée par la dominance du mica (58 %), suivi par la chlorite (15 %). Des minéraux interstratifiés de type illite-smectite à faible taux

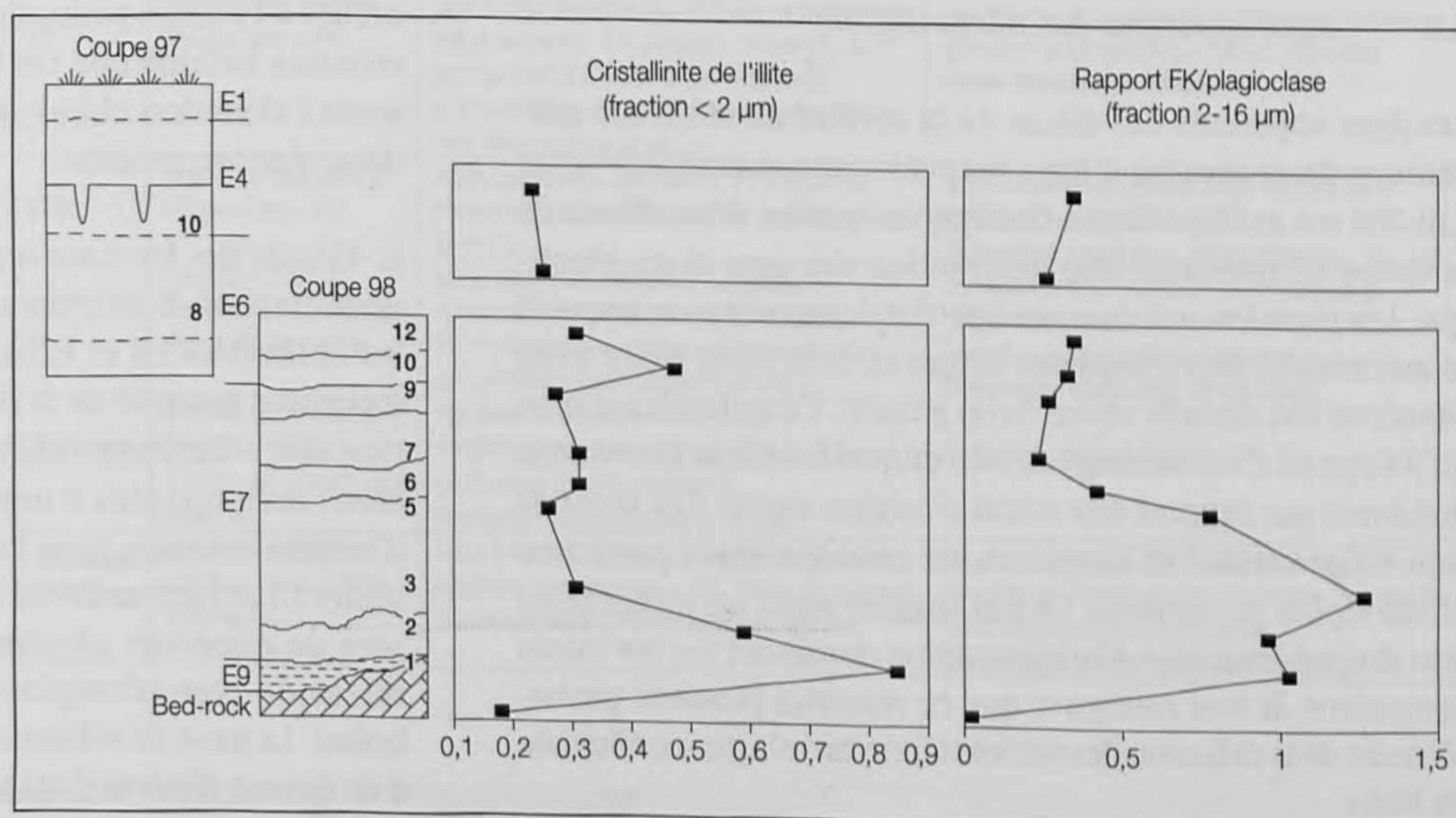
de gonflants (4 %) sont également présents (IS1, IS2), de même que des interstratifiés de type chlorite-vermiculite (IV, CV). Une partie de ces interstratifiés sont allochtones, essentiellement les IS, les autres témoignent de l'altération de ces loëss *in situ* (IV, CV et certains IS). L'altération des loëss conduit à la dégradation de la chlorite, puis de l'illite en interstratifiés à vermiculite, puis à la smectite. La présence de cette dernière indique donc une pédogenèse plus intense (Millot 1970, Righi et Meunier 1995). Notons que les interstratifiés dit d'altération ne dépassent pas les 9 % de la fraction argileuse, ce qui indique que ce loëss de référence n'a pas ou peu subi d'altération significative.

Les résultats de l'échantillon basal 98-1 sont à nouveau différents de ceux des niveaux sus-jacents. La kaolinite (51%) domine en effet les autres phyllosilicates et la goëthite est bien représentée. Un examen du diffractogramme correspondant montre que la chlorite est presque totalement dégradée. Son chimisme, dominé par le Fe et le Mg, indique des chlorites héritées du Kimméridgien (Mouchet 1995). L'échantillon 98-2 présente les mêmes caractéristiques.

La cristallinité du mica des échantillons 98-1 et 98-2 est de loin la plus élevée ( $0,84^\circ$  et  $0,78^\circ$ ) et témoigne aussi d'une altération plus intense. Il faut souligner que tous les autres échantillons de ce profil présentent de bonnes cristallinités ( $0,20-0,30^\circ$ ), à l'exception de 98-10 ( $0,48$ ). Comme dans le cas de la fraction supérieure, les échantillons 98-3 et, dans une moindre mesure, 98-5 sont d'une composition intermédiaire entre la décalcification du bed-rock et le loëss de référence. La kaolinite est donc plus abondante que la chlorite qui est passablement dégradée. Ceci, plus la présence d'interstratifiés à vermiculite (9-10 %), montre que ces loëss sont altérés, voire mélangés à d'autres composantes. Ceci explique aussi l'abondance des minéraux argileux dans cette fraction  $< 2 \mu\text{m}$ .

Les échantillons 98-6 et 98-7 (loëss franc et loëss colluvié) sont caractérisés par un mica dominant, une baisse de la kaolinite au profit de la chlorite et l'apparition d'un peu de smectite

Fig. 49. Distribution du rapport feldspath potassique sur plagioclase (fraction  $2-16 \mu\text{m}$ ) et de la cristallinité de l'illite (fraction  $< 2 \mu\text{m}$ ).





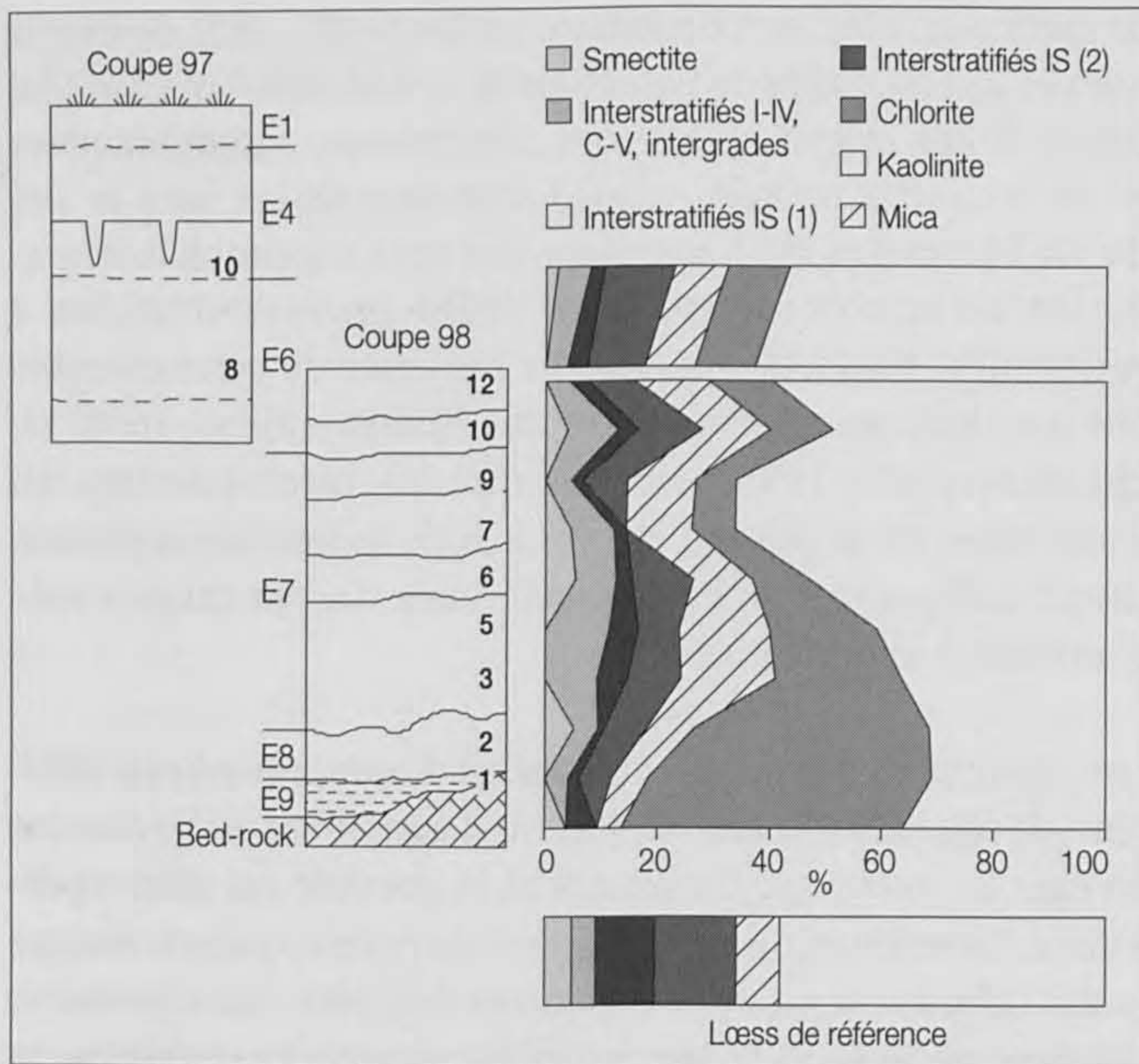


Fig. 50. Section de référence: évolution de la minéralogie de la fraction  $< 2 \mu\text{m}$  (profil de référence et loëss étalon), abondance relative (%) des phyllosilicates.

(= interstratifié de type chlorite-smectite à plus de 80% de smectite, correspondant à la montmorillonite des anciens auteurs). Cette smectite pourrait provenir de la dégradation des chlorites, lesquelles sont de type ferro-magnésien (= chlorite d'altération).

En résumé, la fraction  $< 2 \mu\text{m}$  du profil étudié, échantillons 98-1 et 98-2 exceptés (composante «décalkification du bed-rock» dominante), ne montre guère de variation et est assez comparable à celle du loëss de référence à l'exception de la phase smectite présente dans certains échantillons. Il s'agit du mélange d'un loëss et de ses produits d'altération sans trop d'influence autochtone.

### 6.6 Ages apparents des micas (fig. 45)

Les âges apparents des micas de la section de référence présentent deux groupe d'âges respectivement compris entre 210-260 ma et 105-150 ma. Soulignons que les échantillons de la coupe 67 montrent une distribution des âges assez identique. Les premiers ont donc un âge triassique qui ne correspond ni aux massifs hercyniens des Vosges et de la Forêt Noire (trop vieux), ni aux massifs alpins (trop jeunes). Ce qui indique bien qu'il s'agit ici d'un mélange au sein duquel les micas hercyniens dominant par rapport aux micas d'origine alpine. Les seconds sont d'âge crétacé et ici encore, ne correspondent pas à une phase alpine particulière. Ce qui suggère aussi un mélange au sein duquel les micas d'origine alpine dominant sur les micas hercyniens. Il faut souligner que ce matériel provient probablement de la déflation des sables et limons de la plaine alluviale du Rhin.

On constate donc que durant le Pléniglaciaire moyen, les sables et limons de la plaine alluviale provenaient essentiellement des vieux massifs hercyniens, alors que ceux du Pléniglaciaire supérieur étaient plutôt d'origine alpine. Ceci peut s'expliquer par le fait que le front des glaciers alpins était plus proche durant le dernier maximum glaciaire et que les massifs hercyniens pourraient avoir été recouverts par des calottes locales. De ce fait, l'apport en matériel fin alpin aurait dominé sur le matériel hercynien. L'âge plus jeune des micas de l'échantillon 98-10 pourrait aussi s'expliquer par le fait que l'horizon correspondant est colluvié (contamination par des micas de sédiments molassiques). Il se peut aussi que ces âges plus jeunes soient liés à une altération plus intense. Mais le fait que les micas les plus anciens proviennent justement de la base de l'unité E7, présentant une altération plus marquée que l'ensemble E6 ne confirme pas cette hypothèse.

L'importante différence d'âge apparent entre les échantillons 98-10 (105-150 ma) et 98-3 (210-260 ma) ne correspond donc pas à un changement significatif de la composition de la roche totale et des fraction fines, excepté le rapport FK/plagioclase (deux fois plus élevé dans l'échantillon 98-3 que dans 98-10 (fig. 49) et l'abondance d'amphibole dans la partie supérieure du profil.

Cette observation confirme la distribution des âges apparents des micas, car les feldspaths potassiques dominant largement sur les plagioclases dans les vieux socles hercyniens, alors que la tendance inverse s'observe dans les massifs cristallins alpins.

### 6.7 Conclusions

L'analyse minéralogique détaillée des échantillons des sections de référence 98 et 97 a permis de mettre en évidence les faits suivants qui confirment et précisent les observations sédimentologiques et micromorphologiques (fig. 51):

1. Les couches sus-jacentes au bed-rock sont toutes décarbonatées, reflétant une altération assez significative, contrairement à l'échantillon de loëss de référence qui contient de la calcite primaire. La calcite fine présente dans ces loëss décarbonatés est liée à l'activité pédogénétique et biologique. La présence de vivianite indique que ces loëss sont hydromorphes ce qui ralentit l'altération chimique: le cortège argileux original n'est donc que peu modifié.
2. L'étude des fractions argileuses (plus particulièrement celle de la fraction 2-16  $\mu\text{m}$ , qui est moins altérée) confirme que les ensembles E9 et E7base sont essentiellement le produit fortement remanié de la décalcification du bed-rock (mica de type illite  $>$  kaolinite  $>$  chlorite et feldspath potassique  $>$  plagioclase) accompagnés d'une composante allochtone, peut-être d'origine éolienne pour l'ensemble E7 base. Au contraire, les unités E7 et surtout E6-E4 sont presque exclusivement composées de minéraux allochtones d'origine éolienne (chlorite, micas de type phengite-muscovite, plagioclase et amphiboles). Le loëss de référence est minéralogiquement identique à ce qui est observé dans les ensembles E7 (partie supérieure,



plus particulièrement), E6 et E4. Il apparaît donc que, de bas en haut du profil de référence, les apports éoliens deviennent dominants, voire exclusifs.

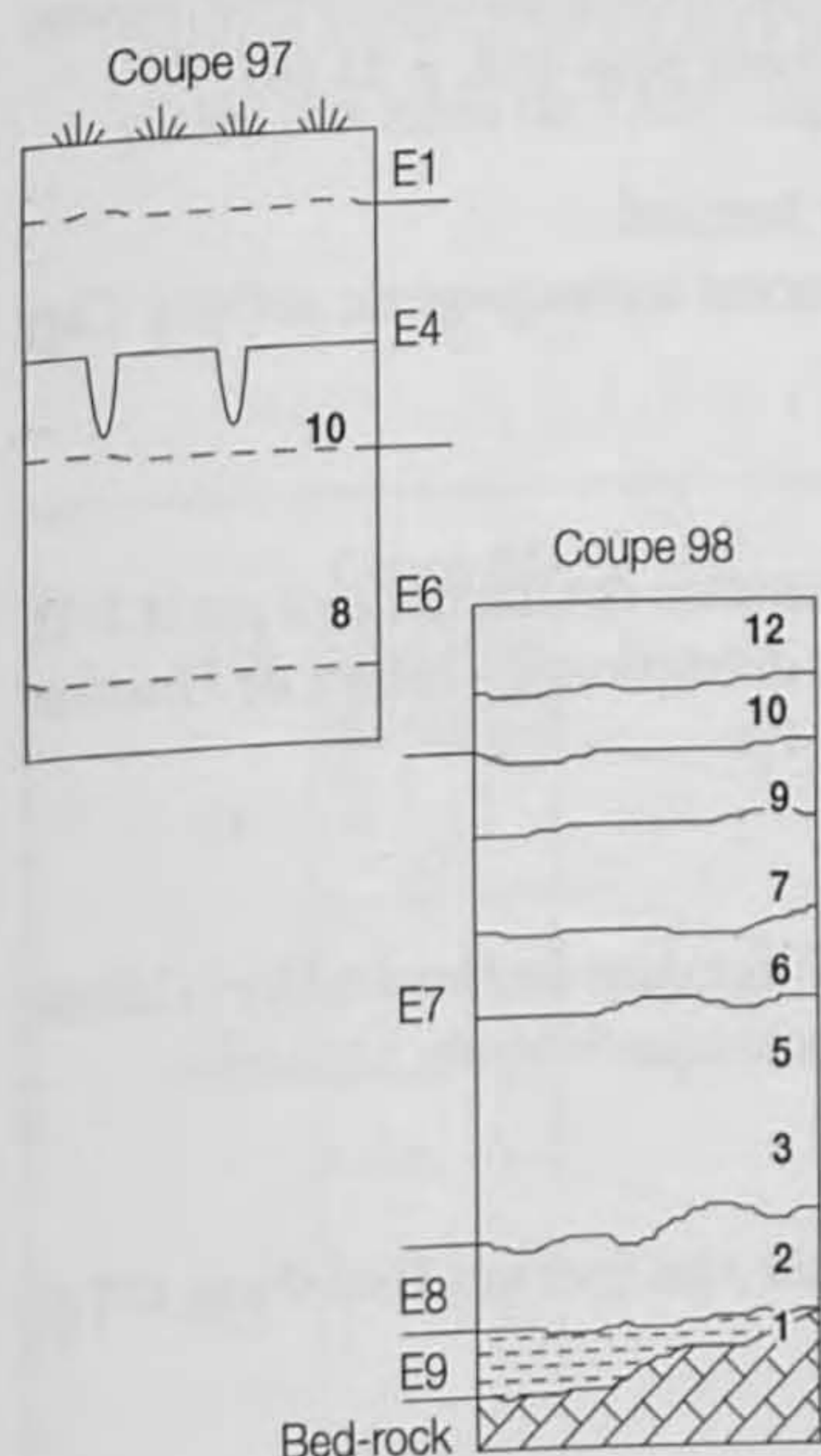
3. Les minéraux présents dans la fraction argileuse sont donc hérités, mais une partie du cortège argileux, formé par les interstratifiés (de type chlorite-vermiculite, illite-vermiculite, illite-smectite) et les smectites, est liée à l'altération des minéraux argileux présents (mica, chlorite, etc.) lors de la pédogenèse. Les unités E9 et E7 base (plus indirectement) sont marquées par la domination de la kaolinite et du mica sur la chlorite, association identique à celle du bed-rock sous-jacent, alors que les couches E7, E6 et E4 sont marquées par la domination du mica et de la chlorite sur la kaolinite. L'absence de smectite exceptée, le loëss de référence est minéralogiquement identique à ce qui est observé dans les unités sus-jacentes (E7sup-E4) et par conséquent très différent de l'association caractérisant le bed-rock kimméridgien. Il s'agit donc du mélange d'un loëss et de ses produits d'altération sans influence autochtone.

4. Les seuls changements minéralogiques significatifs ne concernant que la composition des micas, des chlorites et des feldspaths, l'efficacité du tri granulométrique lié au transport par le vent, pourrait expliquer la monotonie du cortège minéralogique observée dans ces loëss, dont le dépôt couvre tout de même une durée de 40 ma.

5. Les loëss d'Alle sont probablement le produit de la déflation des sables et limons de la plaine alluviale du Rhin. Selon les associations minéralogiques reconnues, deux sources potentielles

sont envisageables, les massifs hercyniens des Vosges et de la Forêt Noire d'une part, et les massifs alpins d'autre part. Le rapport FK/plagioclase dans les loëss est à ce titre assez instructif. Les vieux massifs hercyniens sont généralement caractérisés par la dominance du FK sur le plagioclase, alors que le plagioclase domine dans la chaîne alpine (Von Raumer et Neubauer 1993, Zwart et al. 1978, Marquer, comm. orale). Selon cette observation, les loëss de la partie inférieure de l'unité E7 dériveraient surtout de l'érosion de matériel hercynien, alors que le matériel des ensembles sus-jacents E6 et E4 proviendrait essentiellement de l'érosion des chaînes alpines. Cette hypothèse semble confirmée par les âges apparents des micas: l'unité E7 base renferme un mélange de micas au sein duquel les micas d'âge hercynien dominent par rapport aux micas d'origine alpine. La tendance contraire est observée dans les loëss des couches supérieures, suggérant un mélange au sein duquel les micas d'origine alpine dominent sur les micas hercyniens. Durant le Pléniglaciaire moyen, les sables et limons de la plaine alluviale provenaient essentiellement de l'érosion des vieux massifs hercyniens, alors que ceux du Pléniglaciaire supérieur étaient plutôt d'origine alpine indiquant que le front des glaciers alpins était plus proche durant le dernier maximum glaciaire et que les massifs hercyniens pourraient avoir été recouverts par des calottes locales. De ce fait, l'apport en matériel fin alpin aurait dominé sur le matériel hercynien.

L'auteur tient particulièrement à remercier J. Richard pour la préparation des analyses RX, A. Moscariello pour les analyses K-Ar effectuées sous la direction de B. Kübler avec l'aide financière du PNR 31 et du FNRS, Didier Marquer et Bernard Kübler pour leurs discussions stimulantes.



Unités	Minéralogie		Interprétation
	Roche totale	Résidu insoluble	
E4	Quartz > phyllos. Absence de calcite. Plagioclase >> FK.	Identique à la partie sup. de l'unité E7, mis à part que la chlorite Fe-Mg est plus abondante, de même que les interstratifiés IV et CV.	Composante allochtone dominante, altération pédogénétique un peu plus marquée. <b>Loëss et colluvions loëssiques assez altérés.</b>
E6	Quartz > phyllos. Absence de calcite. Plagioclase >> FK.	Identique à la partie sup. de l'unité E7. Ages apparents des micas: 105-150 ma.	Composante allochtone dominante de minéraux issus surtout de l'érosion de massifs alpins, altération pédogénétique peu marquée. <b>Loëss peu altérés, Pléniglaciaire supérieur.</b>
E7	Quartz > phyllos. Absence de goëthite. Plagioclase > FK.	Mica (phengite) bien cristallisé, faible proportion de kaolinite, chlorite Al dominante (98-5 excepté). FK < plagio, présence de paragonite et d'amphibole. Présence d'interstratifiés IS et de smectite, diminution des interstratifiés IV et CV.	Minéraux issus de l'érosion de massifs alpins/hercyniens, composante allochtone dominante, altération pédogénétique moins marquée. <b>Loëss faiblement altérés.</b>
E7b	Présence de goëthite. Plagioclase = FK.	Ages apparents des micas: 210-260 ma. Présence de paragonite, FK > plagioclase, IV et CV.	Composante allochtone issue surtout de la déflation des massifs hercyniens. <b>Colluvions loëssiques assez altérées, Int. erg.</b>
E9	Quartz > phyllos. Présence de goëthite. Absence de calcite.	Mica (illite) mal cristallisé, kaolinite abondante, chlorite Fe-Mg dominante FK = plagioclase, présence de paragonite, présence d'interstratifiés IV et CV.	Dominance des minéraux provenant de la décalcification du bed-rock. Altération pédogénétique plus marquée. <b>Colluvions d'altérites et de loëss.</b>
Bed-rock	Calcite >>> quartz et phyllos > FK. Calcite et plagioclase absents.	Kaolinite dominante, chlorite ferromagnésienne, mica bien cristallisé. Faible proportion d'interstratifiés IS. Absence d'interstratifiés IV et CV.	<b>Bed-rock kimméridgien.</b>
Loëss de référence	Quartz > calcite > phyllos > plagioclase. Pas de FK.	Mica bien cristallisé > chlorite alumineuse > kaolinite, plagioclase > FK, faible proportion d'interstratifiés, présence de paragonite.	Minéraux issus de l'érosion de massifs alpins hercyniens, composante allochtone dominante, faible altération pédogénétique. <b>Loëss franc carbonaté, peu altéré.</b>

Fig. 51. Synthèse des résultats des données obtenues à partir de l'analyse minéralogique.



## 6.8 Bibliographie

Abréviation utilisée:

BCGAL Bulletin du Service de la Carte géologique d'Alsace-Lorraine, BRGM Strasbourg.

Adatte Thierry, Rentzel Phillippe et Kübler Bernard

1991 Etude minéralogique et sédimentologique du remplissage karstique de la Grotte de Cotencher (Jura neuchâtelois, Suisse). *Eclogae geologicae Helvetiae* 84/3, p. 671-688.

Adatte Thierry, Stinnesbeck Wolfgang et Keller Gerta

1996 Lithologic and mineralogic correlations of near K/T boundary clastic sediments in NE Mexico: Implication for origin and nature of deposition. Sp. publications. *Soc. Geol. of America* 307, p. 211-226.

Balenzano Francesco, Dell'Anna Luigi et Pierro Daniele

1974 Recherche mineralogiche su aluni fosfati rinvenuti nelle Grotte di Castellana (Bari): Strengite aluminifera, Vivianite, Tarakanite, Brushite et Idriossiapatite. *Soc. Ital. Mineral. e Petrol.* 30, p. 543-573.

Bronger Arnt et Heinkele Thomas

1989 Paleosol sequences as witness of Pleistocene Climatic History. In: Bronger Arnt et Catt J. (éd.): *Paleopedology, nature and applications of paleosoils*. Catena sup. 16, p. 163-186.

Camez Thierry

1962 *Evolution des minéraux argileux dans les sols des régions tempérées*. Thèse Sci., Strasbourg et Mem. BCGAL 20, 90 p.

Camez Thierry et Roth Christian

1957 Evolution des minéraux des lehms des environs de Strasbourg. BCGAL 10, p. 21-25.

Dalrymple Georges et Lanphere Mike

1969 *Potassium-Argon dating*. Freeman, San Fransisco, 258 p.

Ferrero Jean

1966 *Nouvelle méthode empirique pour le dosage des minéraux par diffraction R.X.* Rapport C.F.P. Bordeaux, inédit.

Fontignie Daniel

1982 *Méthodologie K-Ar*. Dpt Minéralogie, Université de Genève, 164 p. (rapport interne).

Hunziker Johannes

1979 Potassium Argon dating. In: Jaeger E. et Hunziker J. (éd.): *Lectures in isotopes geology*. Springer, Berlin, Heidelberg, New-York, p. 52-76.

1983 Dosage quantitatif des minéraux majeurs des roches sédimentaires par diffraction X. *Cahiers de l'Institut de Géologie de Neuchâtel*, série AX, vol. 1, 14 p.

Kübler Bernard

1987 Cristallinité de l'illite, méthodes normalisées de préparations, méthodes normalisées de mesures. *Cahiers de l'Institut de Géologie de Neuchâtel*, série ADX, vol. 1, 12 p.

Millot Georges

1970 *Geology of clays*. Springer, Berlin; Masson, Paris, 425 p.

Millot Georges, Camez Thierry et Bonte André

1957 Evolution des minéraux argileux dans les Loess et les Lehms d'Achenheim. BCGAL 10/2, p. 17-21.

Moore Duane et Reynolds Robert

1997 *X-Ray-diffraction and the identification and analysis of clay-minerals*. Oxford University Press, 371 p.

Moscariello Andrea

1994 Rapport scientifique intermédiaire FNRS-PNR 31 (inédit).

Mouchet Philippe

1995 *Le Kimméridgien du Jura Central*. Thèse, Université de Neuchâtel, 204 p.

Nriagu J.O. et Dell C.I.

1974 Diagenetic formation of iron phosphate in recent lake sediments. *Amer. Mineralogist* 59, p. 934-946.

Oinuma Kaoru, Shimoda Susumu et Sudo Toshio

1972 Triangular diagrams for surveying chemical compositions of chlorites. *Journal of the Tokyo University, General Education (Nat. Sci.)* 15, p 1-33.

Pochon Michel

1978 *Origine et évolution des sols du Haut Jura Suisse*. Mem. Soc. Helv. Sci. Nat. XC.

Rey Michel et Kübler Bernard

1983 Identification des micas des séries sédimentaires par diffraction X, à partir de la série harmonique (001) des préparations orientées. *Bull. suisse de minéralogie et pétrographie* 63, p. 13-36.

Righi Daniel et Meunier André

1995 Origin of clays by rock weathering and soil formation. In: Welde Bruce: *Origin and Mineralogy of clays, clays and the environment*. Springer, Berlin, Heidelberg, New-York, p. 43-161.

Ruch Patrick, Bapst André et Kübler Bernard

1989 Talc: an indicator of recent anthropogenic activity. *Clay Minerals* 24, p. 33-42.

Rumley Georges et Adatte Thierry

1983 Méthode rapide de séparation des fractions <2 µm et 2-16 µm pour l'analyse par diffraction X. *Cahiers de l'Institut de Géologie*, série A-G, 4 p.

Spaltenstein Henri

1984 *Pédogenèse sur calcaire dur dans les Hautes Alpes Calcaires*. Thèse, Ecole polytechnique fédérale, Lausanne.

Von Raumer Jorg et Neubauer Fritz

1993 *Pre-Mesozoic geology in the Alps*. Springer, Heidelberg, 677 p.

Weber Tièche Isabelle

1998 Sédimentologie et minéralogie d'une séquence interglaciaire deltaïque du plateau de Bevaix (Neuchâtel, Suisse). *Eclogae geologicae Helvetiae* 91, 41-51.

Zwart H. J., Niggli H.J., Sobolev V. S.

1978 *The metamorphic map of Europe, 1 : 25000; explanatory text*. Publisher: Comm. Geol. Map World, Subcomm. Cartogr. Metamorph. Belts World, Leiden, Netherlands, 244 p.



## 7 DATATIONS ABSOLUES

### 7.1 Datations par thermoluminescence des lœss (Ludwig Zöller)

Les couches paléolithiques se situent dans des lœss décalcifiés et partiellement brunifiés. Des échantillons pour des datations par thermoluminescence (TL) furent prélevés le 24 août 1992 dans les coupes 97 et 98 (fig. 52 et 53) et le rendement de la dose environnementale actuelle de rayonnement ionisant mesurée (dose  $\gamma$ ).

#### 7.1.1 Position stratigraphique des échantillons

##### Coupe 98

- TL 5: 190 cm sous le niveau actuel, lœss faiblement brunifié remanié (E6), couche archéologique supérieure.
- TL 4: 210 cm sous le niveau actuel, lœss décoloré (E6) au-dessus d'une faible brunification (restes d'un paléosol ?).
- TL 3: 260 cm sous le niveau actuel, lœss faiblement pédogénisé (E7b).
- TL 2: 336 cm sous le niveau actuel, lœss légèrement déplacés (E7b base), au-dessus de la couche inférieure et au-dessus d'une couche démantelée de colluvions sableuses.

##### Coupe 97

- TL 1: 300-310 cm sous le niveau actuel, poche de silts lœssiques micassés décalcifiés au-dessus du calcaire jurassique, recouverte d'un niveau de sol forestier brunifié glissé (horizon MfBt) (E7b), d'un faciès typique de «Niedereschbacher Zone» (début du Pléniglaciaire moyen des stratigraphies des lœss de l'Allemagne du sud, Semmel 1989).

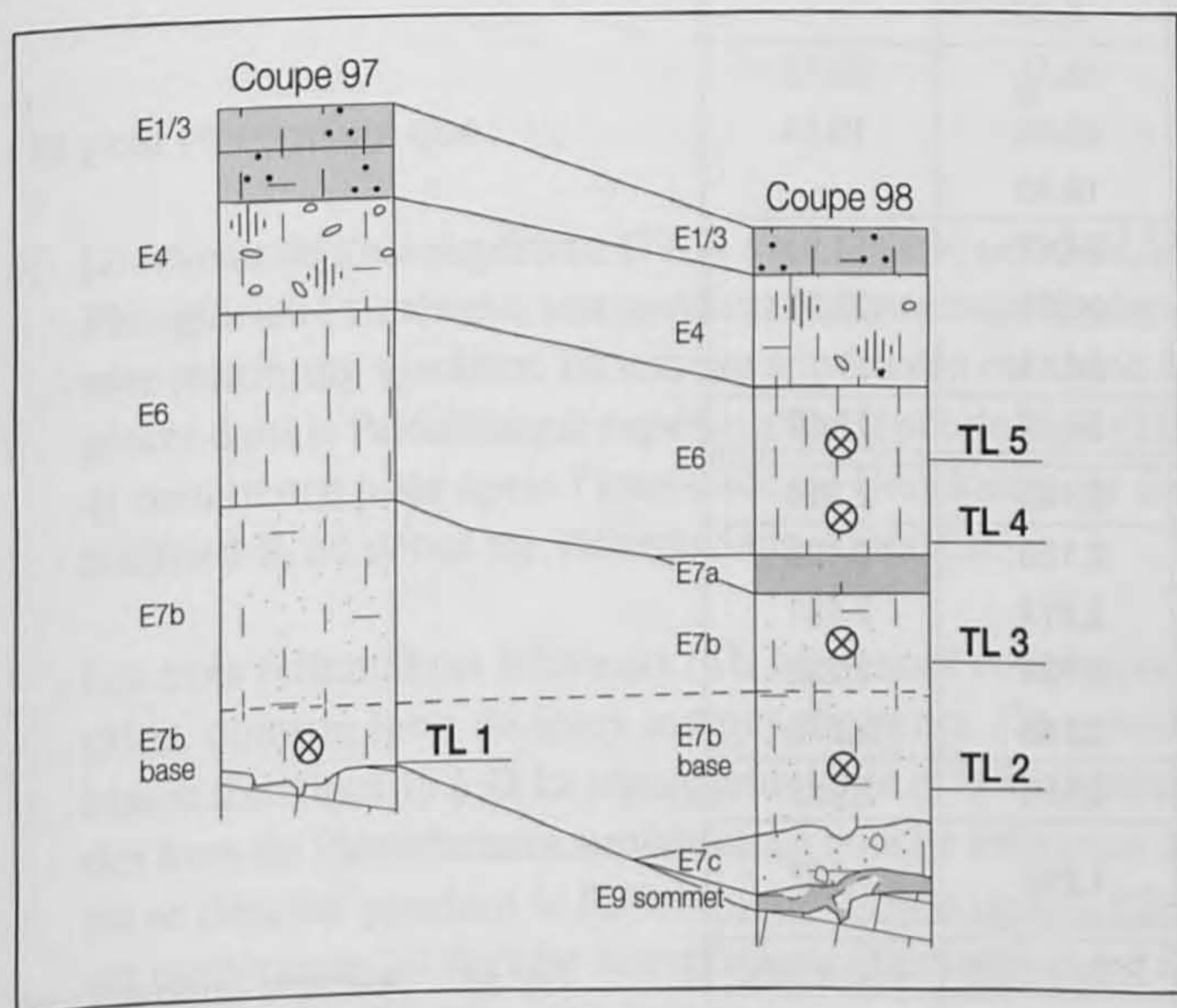


Fig. 52. Position schématisée des échantillons TL dans les coupes 97 et 98.

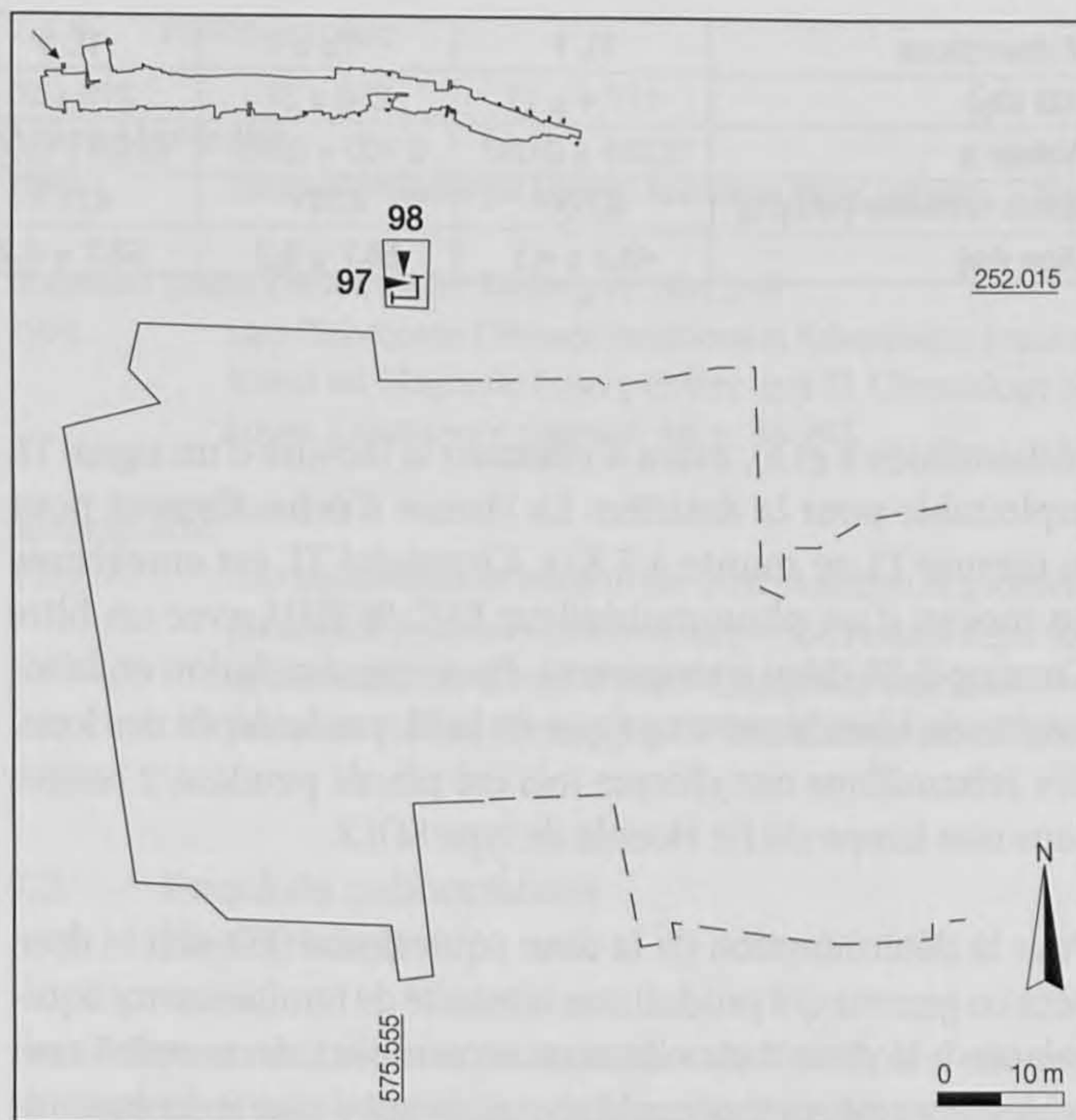


Fig. 53. Plan de situation des coupes étudiées.

#### 7.1.2 La datation par thermoluminescence

Les roches ou les artefacts quartzitiques et feldspathiques sont appropriés à des datations par thermoluminescence. Les éléments suivants sont datables :

- une dernière chauffe d'au moins 500°C;
- une dernière exposition à la lumière de la particule minérale, ce qui correspond à sa sédimentation, pour autant que l'exposition à la lumière soit suffisamment longue et intense. Dans le cas de sédimentation éolienne, comme celle des lœss et des dunes de sable, cette condition est en général remplie.

L'âge est calculé à l'aide de l'équation simplifiée suivante :

$$t_{TL}[a] = \text{dose archéologique [Gy]} / \text{dose annuelle [Gy/a]}.$$

Une surévaluation de l'âge arrive parfois lors de déplacements, qui se produisent par exemple par solifluxion, pendant lesquels certaines particules minérales ne sont pas exposées à la lumière du jour. Une sous-estimation significative de l'âge est souvent décrite comme conséquence d'une durée de vie moyenne insuffisante de la TL latente des lœss, mais avec les moyens de laboratoire utilisés ici, elle touche des dates supérieures à 100000 ans.

Les échantillons ont été préparés et datés selon la «fine-grain technic» (4-11 mm de diamètre, Aitken 1985) (Rousseau, Zöller et Valet 1998). Des sources étalonnées de  $^{90}\text{Sr}$  et  $^{241}\text{Am}$  ont été employées pour un rayonnement ionisant artificiel. Pour éliminer les signaux thermiquement instables, une partie de chacun des échantillons a été chauffée à 270°C pendant une minute (échantillons 1 à 3) et à 240°C pendant 30 secondes



Echantillons	TL 1	TL 2	TL 3	TL 4	TL 5
ED (Gy)	177,4 ± 11	254 ± 37	219 ± 20	126,5 ± 4,3	96,1 ± 8,9
Valeur a	0,079 ± 0,007	0,100 ± 0,012	0,085 ± 0,008	0,074 ± 0,003	0,080 ± 0,008
Dose annuelle (mGy/a)	3,606	4,327	4,078	4,439	4,271
Age (ka)	49,2 ± 4,1	58,7 ± 9,2	53,7 ± 6,2	28,5 ± 1,6	22,5 ± 2,4

Fig. 54. Données et résultats de l'analyse par thermoluminescence.

(échantillons 4 et 5), avant d'effectuer la mesure d'un signal TL exploitable pour la datation. La vitesse d'échauffement pour la mesure TL se monte à 5 K/s. L'intensité TL est enregistrée au moyen d'un photomultiplicateur EMI-9635QA avec un filtre Corning-5-58 (bleu transparent). Pour une simulation en laboratoire du blanchiment optique de la TL par le dépôt des loess, des échantillons ont chaque fois été placés pendant 3 heures sous une lampe du Dr Hoenle de type SOL2.

Pour la détermination de la dose équivalente (ED, soit la dose bêta ou gamma qui produit une intensité de luminescence équivalente à la dose naturellement accumulée), on a utilisé non seulement une méthode additive mais aussi une technique régénérative. L'estimation de l'âge a été effectuée par la méthode

additive, à cause d'une plus légère variation de sensibilité TL due au blanchiment en laboratoire. La valeur régénérative, qui minimise les erreurs aléatoires, a uniquement été utilisée dans le cas de l'échantillon TL 4, qui a livré des valeurs semblables par les deux méthodes compte tenu des marges d'erreur.

La dose annuelle a été calculée par différentes méthodes (fig. 55): la mesure du rayonnement alpha («thick source scintillation counting») pour la détermination de la dose annuelle alpha, le décompte de la dose annuelle bêta et la gammaspectrométrie (détecteur NaJ type «SILENA», utilisé *in situ*) pour le rendement de la dose environnementale. En outre, une gammaspectrométrie à haute définition de tous les échantillons a été exécutée en laboratoire (détecteur Ge).

Echantillons	TL 1	TL 2	TL 3	TL 4	TL 5
<b>Gammaspectromètre Ge</b>					
U [µg/g] (teneur en uranium équivalent du «groupe radium»)	5,43	4,33	4,93	5,24	5,41
Th [µg/g]	13,92	12,75	13,26	14,22	14,25
K [%]	1,62	1,37	1,55	1,52	1,64
DA α [mGy/a] calculée	20,93	17,74	19,40	20,70	21,10
DA β [mGy/a] calculée	2,55	2,15	2,40	2,45	2,58
DA γ calculée (avec correction δ)	1,736 (1,327)	1,489 (1,235)	1,628 (1,302)	1,705 (1,351)	1,756 (1,335)
δ Poids humide / sec	1,27	1,18	1,22	1,23	1,26
<b>Décompte alpha</b>					
U [µg/g]	3,69 1,33 2,55	2,41 2,38 2,32	3,00 1,61 3,37	5,42 3,87 5,55	4,47 5,13
Th [µg/g]	16,21 19,80 17,89	17,16 19,18 19,02	15,96 21,63 18,58	18,75 23,85 18,33	20,12 19,14
DA α	18,68 15,78 17,23	16,47 17,70 17,47	16,99 17,57 19,50	24,17 24,02 24,18	22,96 23,77
Moyenne	17,23	17,21	18,02	24,12	23,37
<b>Décompte bêta</b>					
DA β [mGy/a]	2,137 2,084 2,143 2,138 2,108	1,981 1,978 2,048 1,964 1,940	2,111 2,115 2,180 2,218 2,128	2,133 2,156 2,212 2,131 2,183	2,218 2,196 2,181 2,235 2,278
Moyenne	2,122	1,982	2,150	2,163	2,222
SILENA <i>in situ</i> DA γ (humide)	0,928 (inhom.)	1,231	1,108	1,296	1,097
<sup>234</sup> Th	3,96 ± 0,47	3,36 ± 0,42	2,55 ± 0,48	3,78 ± 0,58	4,02 ± 0,60
<sup>226</sup> Ra	4,59 ± 0,48	4,01 ± 0,43	4,73 ± 0,60	4,81 ± 0,59	4,79 ± 0,57
«Groupe du radium» ( <sup>214</sup> Pb, <sup>214</sup> Bi)	5,43 ± 0,21	4,33 ± 0,18	4,93 ± 0,21	5,24 ± 0,23	5,41 ± 0,24
<sup>210</sup> Pb	5,78 ± 1,18	4,57 ± 0,99	5,12 ± 1,08	4,72 ± 1,02	5,44 ± 1,15

Fig. 55. Résultats dosimétriques et étude du déséquilibre de la série de l'uranium 238 (DA = dose annuelle [mGy]).



### 7.1.3 Résultats

Les résultats de la gammaspectrométrie à haute définition ne dépassent pas les marges d'erreur typiques; toutefois on remarque de légères variations de poids dans le résultat de la désintégration de l'uranium 238, notamment un déficit en uranium 234, particulièrement pour les échantillons TL 1 et TL 4. De semblables différences de poids peuvent conduire à des erreurs systématiques, particulièrement une sous-estimation de l'âge, quand leur quantité d'émission depuis le dépôt des sédiments n'est pas reconstituable. Ces variations de poids ne changent rien, dans le cas présent, à l'interprétation fondamentale des résultats des datations par rapport à l'organisation chronologique des couches. D'une façon réaliste, en admettant que les variations de poids ne sont pas fondamentalement différentes entre le moment du dépôt des couches et maintenant, on obtient des dates TL (en ka = milliers d'années) pour les cinq échantillons (fig. 54).

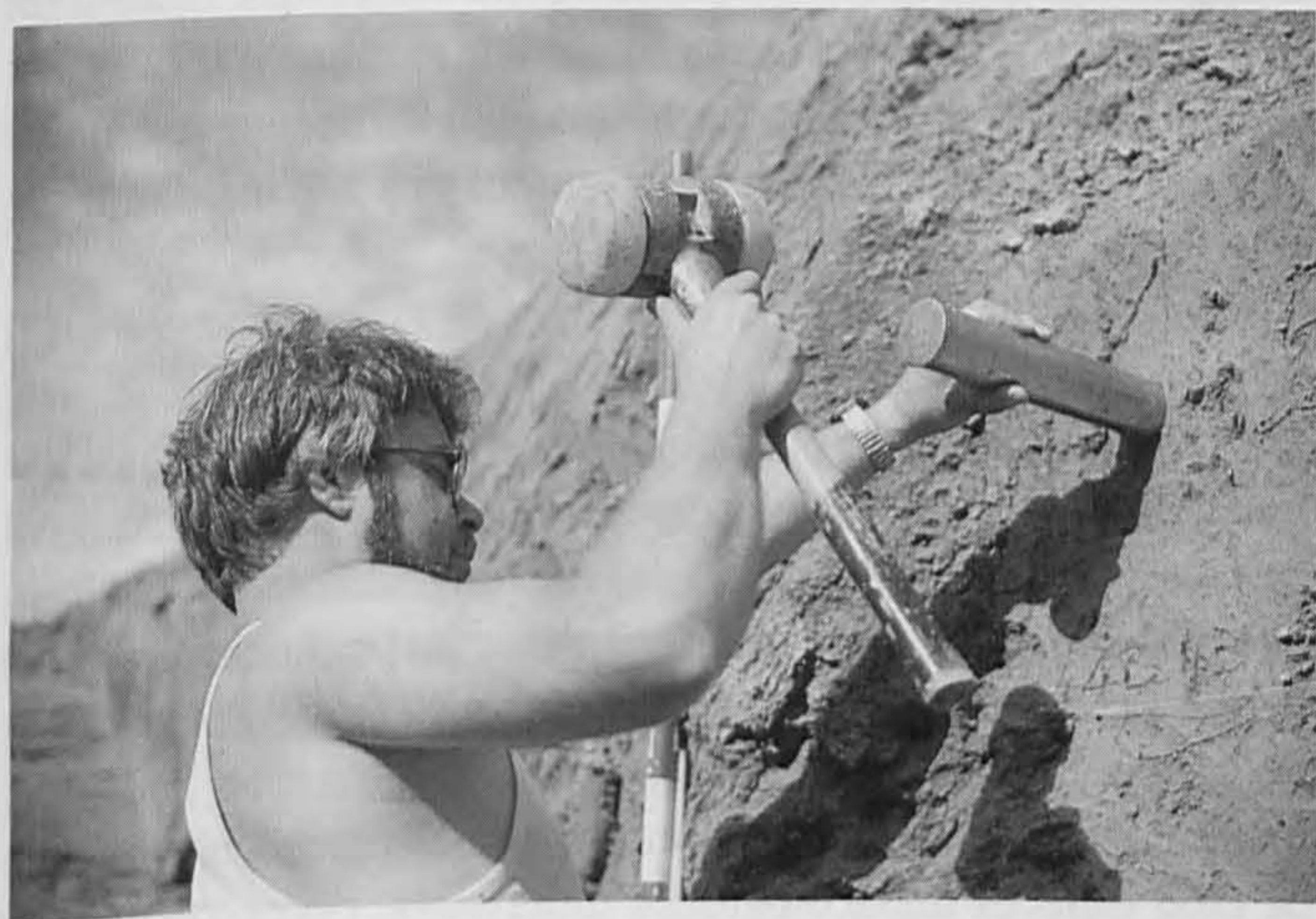


Fig. 56 Vue de la prise d'échantillons pour la datation TL.

On peut en conclure que :

- Le niveau de loess supérieur (TL 5) s'est déposé pendant le Pléniglaciaire supérieur, soit pendant ou juste avant le dernier maximum glaciaire. La couche supérieure est donc à placer dans le Paléolithique supérieur. Le dépôt de loess (TL 4) commence juste après l'interstade de Denekamp ou de Stillfried-B, au début du Pléniglaciaire supérieur.
- Les trois échantillons inférieurs (TL 1 à 3) sont contemporains, compte tenu de leurs marges d'erreurs. Un grand hiatus d'environ 15 à 33 ka sépare leur dépôt et la formation des loess du Pléniglaciaire supérieur. La couche inférieure a dû se déposer pendant le Paléolithique moyen récent. Elle est postérieure au dernier interglaciaire (Éémien) et est à placer dans le Pléniglaciaire moyen.

Traduction Laurence-Isaline Stahl Gretsches

### 7.1.4 Bibliographie

- Aitken Martin Jim  
1985 *Thermoluminescence Dating*. Academic Press, Londres, 359 p.
- Rousseau Denis-Didier, Zöller Ludwig et Valet J.-P.  
1998 Late Pleistocene Climatic Variations at Achenheim, France, Based on Magnetic Susceptibility and TL Chronology of Loess. *Quaternary Research* 49, p. 55-263.
- Semmel Arno  
1989 The importance of loess in the interpretation of geomorphological processes and for dating in the Federal Republic of Germany. In: Ahnert F. (dir.): *Landforms and landform evolution in West Germany*, p. 79-188 (Catena suppl. 15).

## 7.2 Datations radiocarbone (Denis Aubry)

Les sédiments des séquences anciennes de Noir Bois n'ont que très rarement donné l'occasion de permettre d'effectuer des datations au radiocarbone. Seuls deux essais ont été tentés, l'un sur des coquilles de mollusques de l'unité E6 et l'autre sur un microcharbon de bois de l'unité E4, en relation avec l'occupation magdalénienne (fig. 58 et 59, éch. 1).

### 7.2.1 Datation des mollusques de l'unité E6

Un échantillon de 1100 mg de coquilles d'une seule espèce de mollusques (*Trichia plebeia*) a été daté selon la méthode dite « à l'accélérateur » (AMS) par les Dr. M. Suter (ETH) et Dr. W. A. Keller (GIUZ) du Laboratoire de l'Université de Zurich-Irchel en 1995, que nous tenons ici à remercier.

Cet échantillon était issu de la coupe 128 (fig. 59), pris dans le bas de l'unité E6 (loess stadias carbonatés). Les coquilles analysées étaient dans un bon état de conservation (préservation des individus juvéniles, chap. 8.1) et ne présentaient pas de traces de corrosion.

La date obtenue est de  $20240 \pm 200$  BP (UZ-3813/ETH-14410).

#### Validité de cette datation

On sait que les atomes de carbone constituant la coquille d'un mollusque sont combinés sous forme de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). C'est donc le carbone de cette combinaison chimique que l'on ausculte. Celui-ci est fixé dans la coquille au fur et à mesure que celle-ci se construit au cours de la vie de l'animal. Pour cela, il puise dans le stock des bicarbonates  $\text{Ca}[\text{HCO}_3]_2$  présents dans le sol. Cet élément en solution provient de la combinaison du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ), de l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) et du calcaire actif (particules fines de  $\text{CaCO}_3$ ) suivant la réaction d'équilibre suivante:  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = (\text{Ca}[\text{HCO}_3]_2)$ .

Le gaz carbonique  $^{14}\text{CO}_2$ , qui contient les atomes de carbone à dater, est issu notamment de l'atmosphère terrestre (contemporaine du mollusque vivant) et de la décomposition des organismes et des plantes par le processus de la minéralisation.





Il est donc relativement contemporain de la vie du mollusque. Par contre, les atomes de carbone contenus dans les grains de calcaire actif du sol sont très vieux (plusieurs millions d'années pour le calcaire encaissant et le calcaire fin provenant du stock lœssique) et donc leur teneur en isotope  $^{14}\text{C}$  est épuisée (carbonate fossile). Pour la datation, il ne reste donc que le carbone isotopique  $^{14}\text{C}$  du  $\text{CO}_2$  qui intervient dans la réaction d'équilibre  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Ca}[\text{HCO}_3]_2$  car il est (relativement) contemporain de l'existence du mollusque.

#### Incertitudes

Les incertitudes dans le processus de datation peuvent provenir en fait de deux sources :

- du carbone provenant du calcaire fin dissous en solution dans le sol et qui ne contient plus de  $^{14}\text{C}$  : l'horloge est faussée, on vieillit artificiellement le mollusque en augmentant le taux de  $^{12}\text{C}$  et de  $^{13}\text{C}$ .
- d'une recristallisation secondaire de carbonate sur la coquille du mollusque, recristallisation qui peut intervenir plusieurs siècles ou millénaires plus tard : l'horloge est faussée. Dans ce cas, la date  $^{14}\text{C}$  du laboratoire peut être trop jeune.

Les sédiments de l'unité E6 (faciès carbonaté) sont-ils plus jeunes que 20 kaBP?

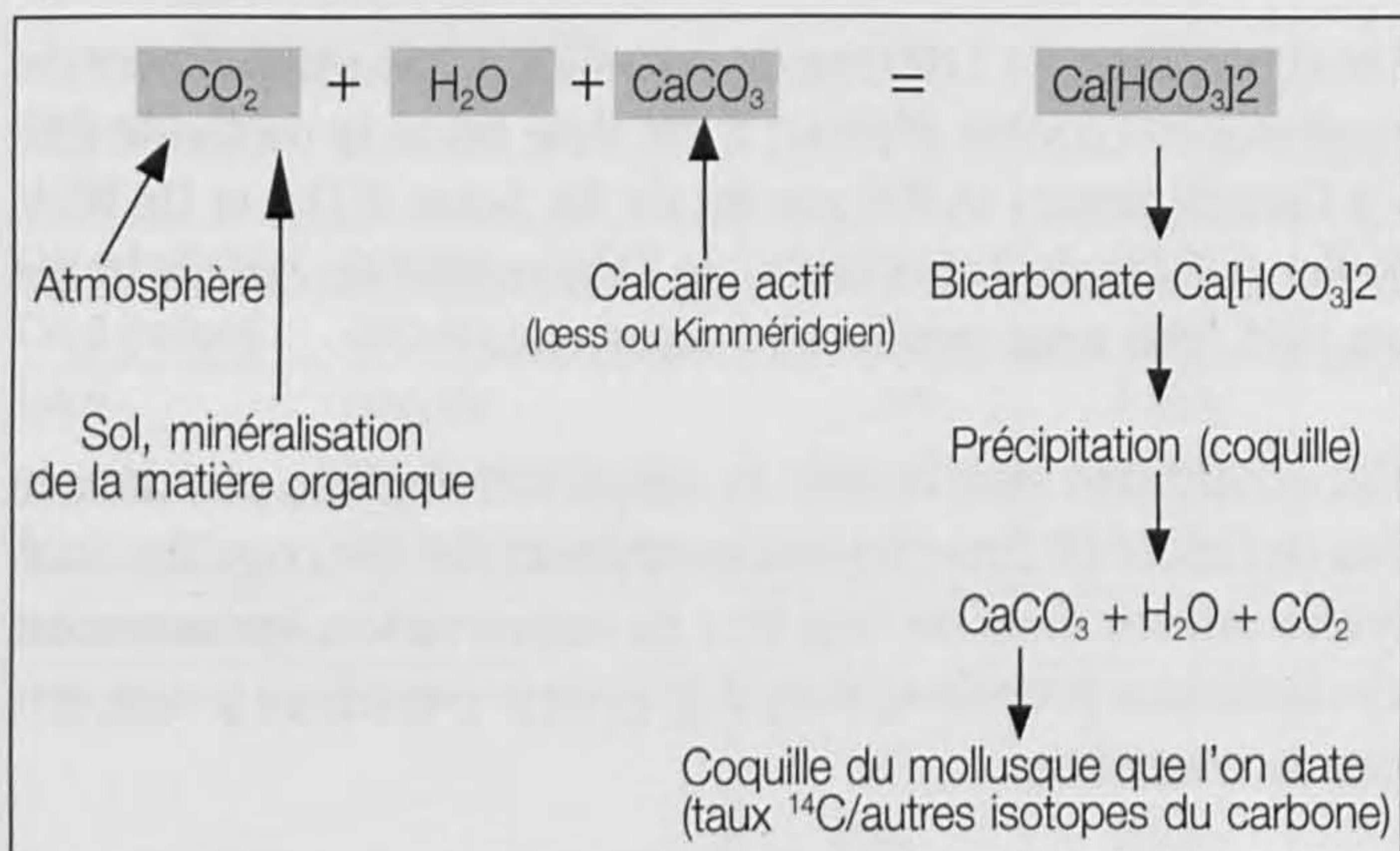


Fig. 57. Schéma de fonctionnement du cycle de cristallisation d'une coquille de mollusque.

Un rajeunissement artificiel de l'âge des coquilles n'est pas envisageable dans notre cas car aucune contamination due à l'adjonction ultérieure par encroûtement de carbonates n'a été observée sur les coquille (analyse à la loupe binoculaire et en lame mince; chap 5.5.2). Par contre, les datations au  $^{14}\text{C}$  sur des coquilles de mollusques, à cause de la contamination en  $^{12}\text{C}$  et  $^{13}\text{C}$  due au dépôt des carbonates fossiles, peuvent être vieillies artificiellement de plusieurs centaines, voire de plusieurs milliers d'années (lettre du prof. W. A. Keller, Zurich, 25 juillet 1994).

Jacques Evin (1987) parle d'un âge apparent systématiquement trop ancien pouvant aller jusqu'à 1500 ans. Il paraît donc assez certain que la date donnée par le laboratoire ( $20240 \pm 200$  BP (UZ-3813/ETH-14410) soit trop vieille par rapport à celle réelle du dépôt du sédiment et particulièrement à celle de la formation des mollusques. Cette donnée conforterait l'estimation de l'âge du dépôt constituant le faciès E5 sommet, faciès qui recouvre directement les sédiments E6, dans la coupe 58 (fig. 59) et qui pourrait donc effectivement correspondre au stade de Poméranie (environ 16 ka BP, chap. 5.3).

#### 7.2.2 Essai de datation de l'unité E4

Les analyses micromorphologiques ont révélé la présence de microcharbons de bois dans le sédiment de l'unité E4. Dans le but de préciser l'attribution chronologique de l'atelier de taille magdalénien trouvé dans la partie occidentale du site, un prélèvement de micropaillettes de charbon, issu de la partie occidentale du site (coupe 78, fig. 86) mais pas dans une concentration d'artefacts magdaléniens, a été envoyé au laboratoire d'Uppsala (Suède) pour datation.

Les dimensions de l'échantillon et sa trop faible teneur en matière organique n'ont malheureusement pas permis d'obtenir de résultat.

#### 7.2.3 Autres essais

Une analyse des proportions de différents isotopes de l'oxygène ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) a été tentée en 1995 sur des échantillons de mollusques issus du même lot que ceux datés par radiocarbone par S. Bernasconi de l'Institut de géologie de l'ETH de Zurich.

La première série d'analyses portait sur des coquilles entières de cinq espèces malacologiques différentes; celles-ci présentaient de légères variations isotopiques de l'oxygène entre elles. La même approche sur un seul individu de deux espèces différentes (*Arianta arbustorum* et *Trichia plebeia*) a montré de fortes variations au sein d'une seule coquille, selon l'emplacement choisi (différences selon l'axe de croissance). Cette constatation indique l'importance des dimensions d'un mollusque pour la détermination de sa composition isotopique.

Ces écarts relativement importants au sein d'un même individu empêchent malheureusement le calcul de la température ou de la composition isotopique de l'eau météorique en circulation lors de la vie de cette malacofaune.

#### 7.2.4 Bibliographie

- Evin Jacques  
1987      Carbone 14. In: Miskovsky Jean-Claude (dir.): *Géologie de la Préhistoire, méthodes, techniques, applications*. Association pour la promotion et la diffusion des connaissances archéologiques, Paris, p. 1041-1060.



## 8 LA FAUNE

### 8.1 Etude malacologique des lœss de l'unité E6 (Nigel Thew et Louis Chaix)

#### 8.1.1. Introduction et méthodes

Deux échantillons malacologiques ont été recueillis sur le site, l'un en 1991 et l'autre, mieux conservé, en 1992. Ils ont été prélevés à une distance d'environ 200 m l'un de l'autre (fig. 58 et 59) dans un niveau de lœss géliflué (E6). Placée à l'intérieur d'une succession de dépôts lœssiques partant du Glaciaire ancien, recouverte ensuite par des colluvions plus récentes datant probablement du Tardiglaciaire, la couche échantillonnée est la seule au sein des sédiments lœssiques où les mollusques ont été préservés.

Environ un kilo de chacun des échantillons a été tamisé à l'eau dans une colonne avec des mailles de 8, 2, 1, 0,5 et 0,3 mm, et les résidus supérieurs ou égaux à 0,5 mm ont été triés intégralement. Tous les apex et les fragments de mollusques quantifiables ont été extraits et identifiés à l'aide des collections de référence personnelles des auteurs.

#### 8.1.2 Résultats

Un total de 891 individus a été identifié et décompté; 465 pour l'échantillon I et 426 pour l'échantillon II (fig. 60). Cependant, en dépit de ce relativement grand nombre, on ne compte que huit espèces. Plusieurs centaines de granules issus de vers de terre (probablement du genre *Lumbricus*) étaient également présents, mais n'ont pas été récoltés ni décomptés entièrement à cause de leur abondance.

Les mollusques étaient bien conservés, avec un nombre important de juvéniles fragiles, ce qui confirme la définition de ce niveau comme lœss en place.

#### 8.1.3 Datations relatives et absolues

Les assemblages de mollusques de Noir Bois, avec leur faible diversité d'espèces et leur composition, sont typiques des faunes présentes dans les dépôts de lœss du Pléniglaciaire moyen à supérieur, avant le dernier maximum glaciaire, d'Alsace et de la région de Bâle.

A Allschwil, par exemple, un assemblage de mollusques du Pléniglaciaire supérieur de l'horizon « Nassboden » est identique à l'exception de l'absence de *Vitrea crystallina* et d'*Arianta arbustorum*, alors qu'un assemblage du Pléniglaciaire moyen de « Niederschbacher Zone » possédait ces deux espèces en même temps que des *Vertigo pygmaea*, *Abida secale* et *Vallonia costata* (Zollinger 1991 et nouvelle analyse par Thew, non publiée). Schiltigheim, en Alsace, avait également une faune similaire dans des niveaux du Pléniglaciaire moyen et supérieur (échantillons 7 à 11, Puisségur 1965 et 1976), mais elles deviennent plus pauvres de façon notable pendant le dernier maximum glaciaire. Le même phénomène peut être observé dans une séquence près d'Achenheim-Oberschaeffolsheim dans laquelle on constate un appauvrissement de la faune à la transition entre le Pléniglaciaire moyen-supérieur (échantillons 1 à 3) et le dernier maximum glaciaire (échantillons 4 à 5); cette transition coïncide avec une importante réduction du nombre de granules présents, passant de fréquents à très rares (Mazenot 1963). Un appauvrissement de la faune similaire peut être observé à la transition entre les lœss du Pléniglaciaire moyen-supérieur (échantillon 9) et ceux du dernier maximum glaciaire (échantillon 10) du site d'Achenheim, dans la même région (Mazenot 1963).

Des espèces présentes, telles que *Vitrea crystallina* sont absentes des faunes de la première partie du Tardiglaciaire, dominées par les *Pupilla* spp. D'autre part, des espèces comme les *Vallonia* spp, *Cochlicopa* spp et les *Euconulus* spp, caractéristiques de la deuxième partie du Tardiglaciaire, sont totalement absentes sur le site.

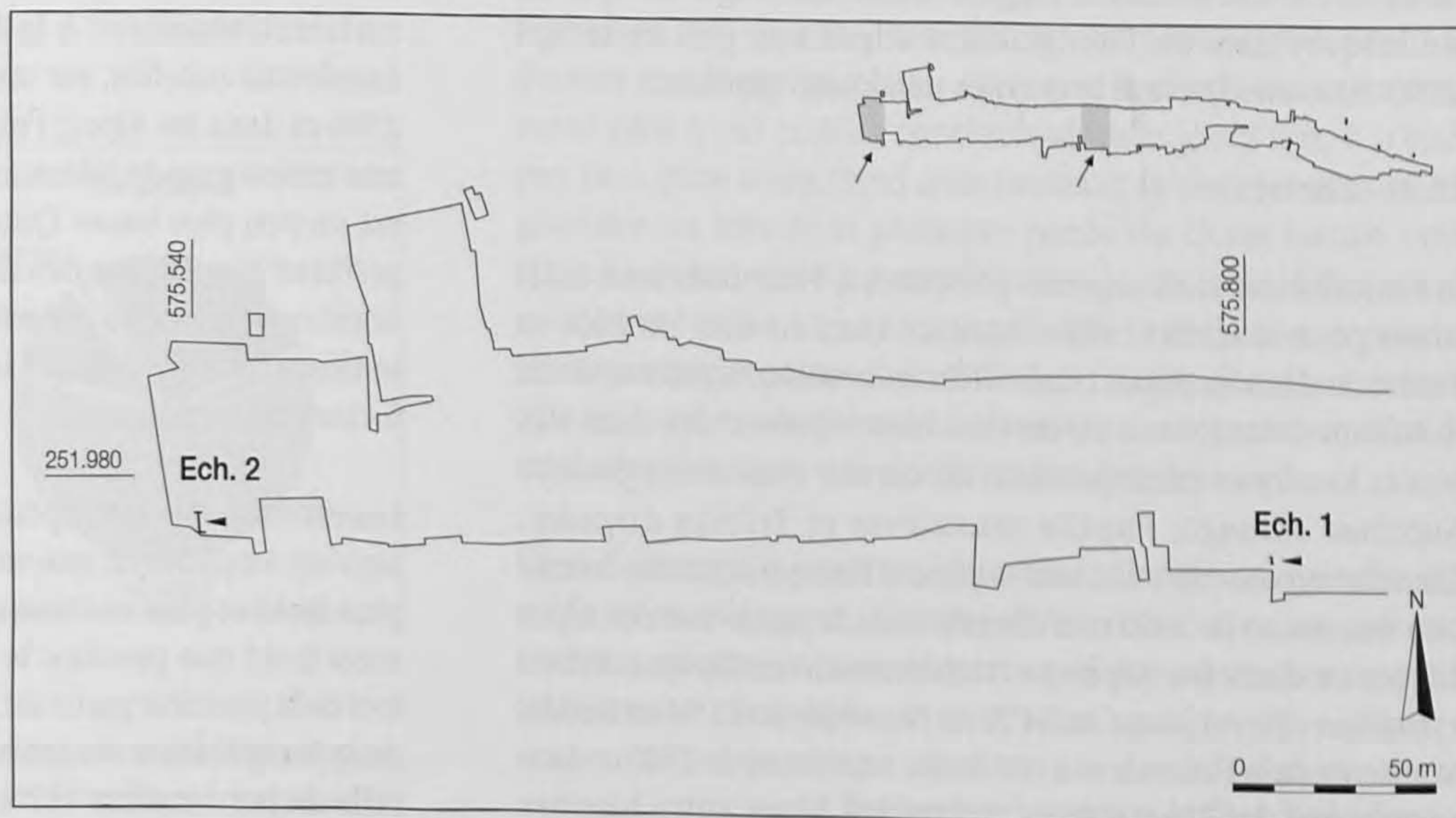


Fig. 58. Plan de situation des coupes étudiées.



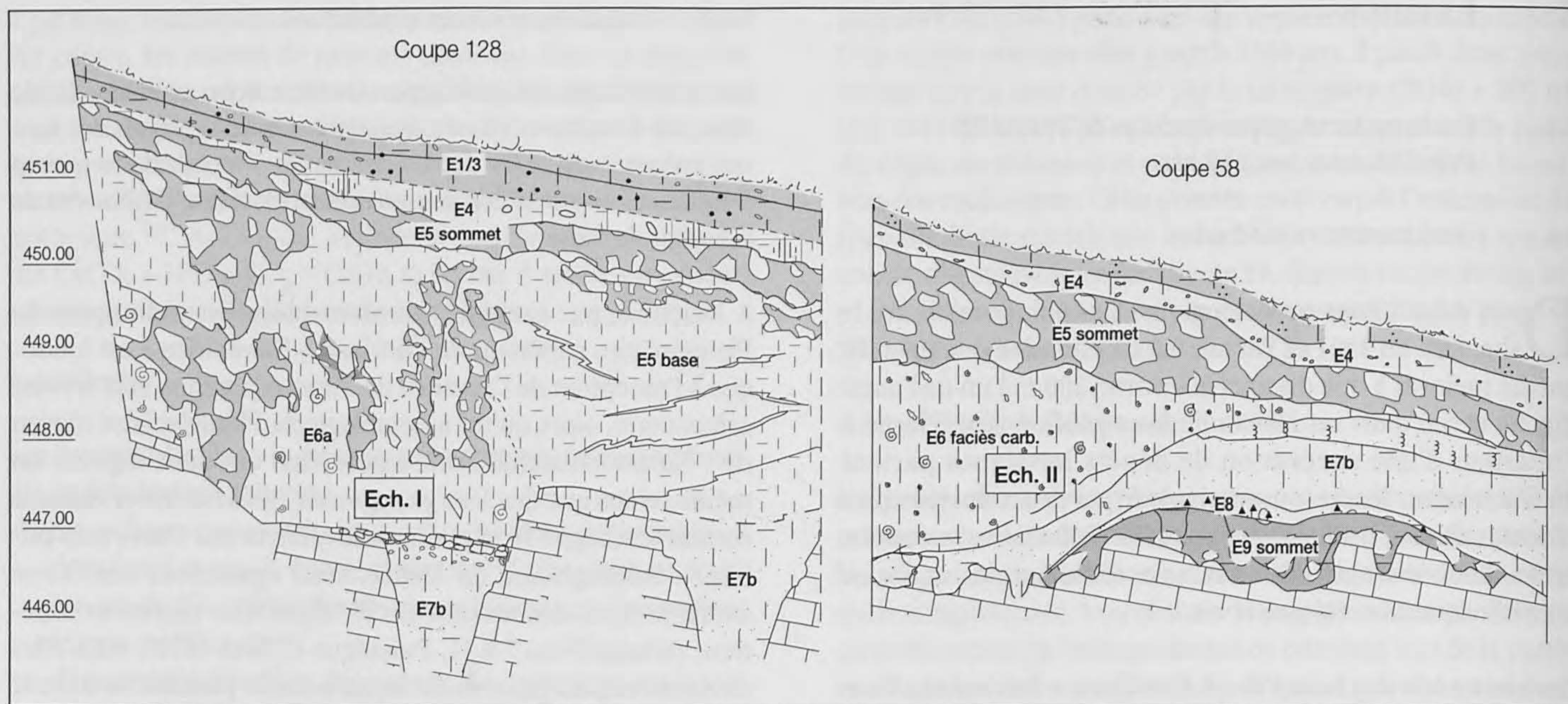


Fig. 59. Position stratigraphique des échantillons analysés.

Quand on compare l'assemblage des mollusques de Noir Bois avec ceux d'autres sites, le dépôt lœssique analysé ici date du Pléniglaciaire moyen à supérieur, avant le dernier maximum glaciaire. Mais comme il n'existe pas de séquence de mollusques du Pléniglaciaire dans cette région du Jura, il est impossible de donner une date relative plus précise au dépôt de Noir Bois, basée sur une biostratigraphie de mollusques.

Pour ce qui concerne les datations absolues, on dispose d'une date radiocarbone de  $20240 \pm 200$  BP (UZ-3813/ETH 14410) réalisée sur des coquilles de cette couche (correspondant au niveau E6 carbonaté) et de deux dates TL (chap. 7.1), l'une de  $28500 \pm 1600$  BP prise dans la partie inférieure de l'unité E6, en aval, l'autre de  $22500 \pm 2400$  BP effectuée dans la partie supérieure de E6. Ces éléments suggèrent fortement que le dépôt de mollusques date du Pléniglaciaire supérieur, peu de temps (2000-5000 ans ?) avant le dernier maximum glaciaire.

#### 8.1.4 Climat

La majorité des huit espèces présentes à Noir Bois sont tolérantes pour le climat : elles montent bien au-delà de 2000 m d'altitude dans les Alpes (*Columella columella*, *Pupilla alpicola* et *Arianta arbustorum*) et/ou sont bien représentées dans des dépôts lœssiques correspondant au dernier maximum glaciaire (*Succinea oblonga*, *Pupilla muscorum* et *Trichia hispida*). *Clausilia rugosa-parvula*, une espèce d'Europe centrale, monte à un maximum de 2450 m d'altitude dans la partie sud des Alpes suisses et dans les Alpes autrichiennes, tandis que *Vitrea crystallina* s'étend jusqu'au 64°N en Norvège, au 61°N en Suède, est absente de la Finlande et a une limite supérieure de 2340 m dans la partie sud des Alpes suisses et dans les Alpes autrichiennes

(Kerney et al. 1983, Turner et al. 1998). La présence de *Vitrea crystallina* suggère des hivers plus froids qu'actuellement (températures moyennes de la région d'Alle : 18-19°C en juillet et 0-1°C en janvier) d'environ 14 à 15°C de température moyenne en juillet et -5 à -6°C en janvier. Une moyenne hivernale plus chaude de -2 à -3°C aura permis à cette espèce de supporter une moyenne des températures estivales plus froide (13-14°C). La limite supérieure de *Vitrea crystallina* dans les Alpes peut sembler contradictoire avec les figures de températures basées sur la limite septentrionales de cette espèce, mais il ne faut pas oublier qu'au-dessus de 2000 m dans les Alpes un fort ensoleillement, associé à des sites abrités, peut provoquer des conditions microclimatiques particulières.

Les quelques centaines de granules présents dans les échantillons de Noir Bois ont été secrétés par des vers de terre, appartenant vraisemblablement à la famille des lombrics. Une espèce, *Lumbricus rubellus*, est une pionnière qu'on peut trouver vers 2500 m dans les Alpes; l'espèce la plus courante, *L. terrestris*, a une moins grande tolérance climatique et sa limite altitudinale est un peu plus basse. Quoiqu'il en soit, les deux espèces n'apprécient pas les grandes fluctuations de température, ainsi, le nombre de granules présents dans les échantillons de Noir Bois renforce l'impression que le climat n'avait pas un caractère trop fortement continental.

Les estimations de température (13-15° en juillet et -2 et -6° pour janvier) impliquent que même si le climat était certainement plus froid et plus continental qu'actuellement, il ne faisait pas aussi froid que pendant le dernier maximum glaciaire, ou que lors de la première partie du Dryas ancien inférieur, où la moyenne de la température du mois de juillet oscillait entre 8 et 10°C et celle de janvier entre -15° et -25°C (Coope et Elias 2000).



Espèces de mollusques	Groupes écologiques	Echantillon I	%	Echantillon II	%
<i>Succinea oblonga</i> var. <i>elongata</i>	12	75	16,13	117	27,46
<i>Columella columella</i>	6	2	0,43	10	2,35
<i>Pupilla muscorum</i>	9	2	0,43		
<i>Pupilla alpicola</i>	12	4	0,86	2	0,47
<i>Vitrea crystallina</i>	6	7	1,51		
<i>Clausilia rugosa-parvula</i>	4	62	13,33	5	1,17
<i>Trichia hispida</i>	7	288	61,94	255	59,86
<i>Arianta arbustorum</i> var. <i>alpicola</i>	6	25	5,38	37	8,69
<b>Total</b>		<b>465</b>	<b>100,00</b>	<b>426</b>	<b>100,00</b>

#### Groupes écologiques (Thew, non publié)

- 1 forêt,
- 2 forêt sèche et ouverte,
- 3 semi-forestier+rochers ombragés,
- 4 ombre,
- 5 rupestre,
- 6 tolérant humide,
- 7 tolérant,
- 8 tolérant sec,
- 9 milieu ouvert,
- 10 milieu ouvert sec,
- 11 milieu humide ombragé,
- 12 milieu humide ouvert,
- 13 semi-aquatique,
- 14 aquatique tolérant,
- 15 aquatique, eaux permanentes
- 16 souterrain.

Fig. 60. Résultats de l'analyse malacologique d'Alle, Noir Bois.

#### 8.1.5 Environnement local

La composition des échantillons I et II est très proche, mais il existe malgré tout de légères différences significatives. *Succinea oblonga*, et *Pupilla alpicola* sont toutes deux dans le groupe écologique 12, espèces typiques d'un milieu très humide ou marécageux dans un environnement ouvert; dans l'échantillon I, ce groupe correspond au 17% de l'ensemble, dans l'échantillon II, 27,9% (fig. 61). *Columella columella* (un calciphile), *Vitrea crystallina*, et *Arianta arbustorum* sont toutes des espèces du groupe 6, qui vivent dans une variété de lieux humides; ce groupe représente 7,3% de l'échantillon I et 11% de l'échantillon II. *Trichia hispida* (62 % dans l'échantillon I et 59,9 % dans l'échantillon II) est une espèce tolérante, du groupe 7, qu'on trouve dans une grande variété d'habitats différents; elle est présente ici sous une forme à grandes spires plus typique d'habitats humides. Le grand nombre de granules de *Lumbricus* présents dans les deux échantillons indique également un substrat aussi bien humide que calcaire (Meijer 1985, p. 88-89). *Pupilla muscorum*, espèce du groupe 9, qui n'est présente qu'en petit nombre dans l'échantillon I, est normalement associée à des lieux ouverts, secs et calcaires, mais elle est aussi connue dans des habitats plus humides, souvent sous une forme plus grande (Preece 1990).

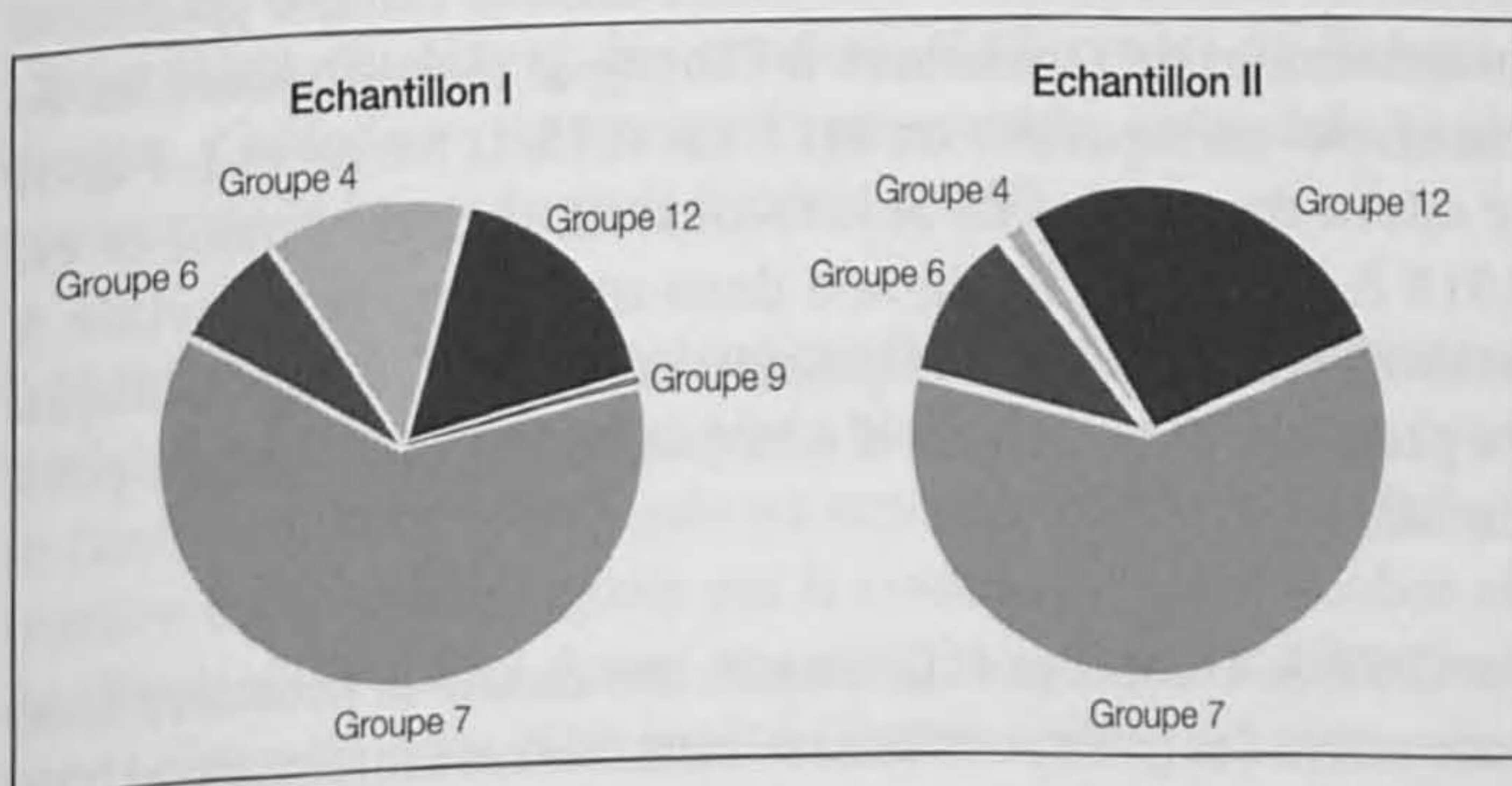


Fig. 61. Diagrammes circulaires illustrant la proportion des différents groupes écologiques présents dans les échantillons I et II.

*Clausilia rugosa-parvula*, une espèce du groupe 4 forme 13,3% de l'échantillon I et seulement 1,2% de l'échantillon II. Elle est typique d'emplacements modérément humides entre les rochers et les éboulis calcaires, ou des zones boisées et de broussailles, généralement sur un substrat rocheux calcaire.

Dans le contexte de Noir Bois, cela suggère qu'il y avait des zones de sols rocheux ou pierreux proche d'une aire couverte d'une végétation de buissons ou d'arbustes.

Pour résumer, les deux échantillons indiquent un sol calcaire, humide et marécageux flanqué d'une zone rocheuse à substrat calcaire couverte, en partie au moins, d'une végétation de petits buissons ou d'arbustes.

L'échantillon I semble venir d'un endroit légèrement plus sec, très proche d'une zone rocheuse, tandis que l'échantillon II est issu d'un environnement plus humide et marécageux.

#### 8.1.6 Conclusion

Les deux échantillons de mollusques analysés de Noir Bois contiennent une faune abondante d'une diversité d'espèces restreinte, typique du Pléniglaciaire supérieur, précédant le dernier maximum glaciaire. Alors que le climat était certainement plus froid et plus continental qu'aujourd'hui, il n'était pas non plus aussi froid que pendant le dernier maximum glaciaire ou lors de la première partie du Dryas ancien inférieur. La moyenne des températures du mois de juillet devait au moins être de 13 à 15°C, tandis que la moyenne de janvier était comprise entre -2 et -6°C. Les faunes des deux échantillons étaient sensiblement identiques, avec un bon état de conservation, incluant des juvéniles fragiles.

Cette faune indique un environnement local à sol calcaire, humide et marécageux, flanqué d'une zone avec un substrat rocheux calcaire couvert en partie par une végétation de petits buissons ou d'arbustes.



### 8.1.7 Bibliographie

- Coope G. Russell et Scott A. Elias  
2000 The environnement of Upper Palaeolithic (Magdalenian and Azilian) hunters at Hauterive-Champréveyres, Neuchâtel, Switzerland, interpreted from Coleopteran remains. *Journal of Quaternary Science* 15/2, p. 157-175.
- Kerney M. P. Cameron R. A. D. et Jungbluth J. H.  
1983 *Die Landschnecken Nord- und Mitteleuropas*. Paul Parey, Hamburg and Berlin, 384 p.
- Mazenot G.  
1963 Recherches malacologiques sur les loess et les complexes loessiques d'Alsace. *Bull. du Service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine*, tome 16, fasc. 1., Strasbourg, 69 p.
- Meijer T.  
1985 The Pre-Weichselian Non-Marine Molluscan Fauna from Maastricht-Belvédère (Southern Limburg, The Netherlands). *Mededelingen rijks geologische dienst* 39/1, p. 75-103.
- Preece R. C.  
1990 The Molluscan Fauna of Late Devensian Loess from Reculver, Kent. *Journal of Conchology* 33, p. 295-297.
- Puisségur J.-J.  
1965 La Terrasse de Schiltigheim (Alsace) - Etude Stratigraphique et Malacologique. *Bull. de l'Association française pour l'Etude du Quaternaire* 2, p. 66-77.
- 1976 Mollusques continentaux quaternaires de Bourgogne. Significations stratigraphiques et climatiques. Rapports avec d'autres faunes boréales de France. *Mémoires Géologiques de l'Université de Dijon*, 3, 241 p.
- Turner Hans, Kiuper Johannes G.J., Thew Nigel et al.  
1998 Atlas der Mollusken der Schweiz und Liechtenstein. *Fauna Helvetica* 2.
- von Zollinger G.  
1991 Zur Landschaftsgenese und Quartärstratigraphie am südlichen Oberrheingraben - am Beispiel der Lössdeckschichten der Ziegelei in Allschwil (Kanton Basel-Landschaft). *Eclogae geologicae Helvetiae* 84/3, p. 739-752.

## 8.2 Etude des dents de rhinocéros de l'unité E6 (Claude Guérin)

Deux dents jugales supérieures isolées de rhinocéros ont été recueillies en 1991, positionnées dans la partie inférieure de l'unité E6 décarbonatée, à l'extrémité nord-ouest du site de Noir Bois (fig. 64).

Il s'agit de bourgeons dentaires incomplètement calcifiés à leur base, et dont seule la longueur (prise hors-tout) peut être mesurée; la largeur au collet et la hauteur ne peuvent qu'être estimées. Les deux bourgeons sont sensiblement symétriques et de même taille, ils correspondent aux deux dents droite et gauche de même rang et appartiennent au même individu. Le bourgeon droit (n° 18539) est le mieux conservé.

### 8.2.1 Description

- En vue labiale, l'ectolophe apparaît nettement ondulé, avec un parastyle puissant, un net pli du paracône, et un fort mésostyle; il n'y a pas de pli du métacône.
- En vue occlusale, on peut observer un crochet et une crista, indépendants sur le bourgeon droit mais fusionnant distalement sur le bourgeon gauche pour former une médifossette à un centimètre environ au-delà de la pointe du paracône. La présence de cette médifossette à gauche est la seule différence entre les deux dents.
- En vue linguale on note la trace d'un cingulum interne discontinu, et la faible hauteur du débouché de la vallée interne au-dessus du collet.
- De face, le protocône paraît faiblement étranglé.
- En face postérieure, la postfossette profonde possède une colonnette sur son bord vertical.

Le plan de construction de ces dents, notamment le profil de l'ectolophe et l'extension vers l'arrière du protocône et de l'hypocône, sont caractéristiques de *Coelodonta antiquitatis*, le rhinocéros « laineux » (Guérin 1980). La faible hauteur du débouché de la vallée interne et l'absence de mésostyle montrent que les dents découvertes à Alle sont des molaires plutôt que des prémolaires. Les dimensions (fig. 62) correspondent à des M 1 supérieures, ou moins probablement à des M 2 supérieures. La présence de la crista et du crochet et l'indice d'hypsodontie que l'on peut évaluer à un peu plus de 100, correspondent à la grande majorité des cas observés chez *Coelodonta antiquitatis*. La présence d'un cingulum interne et d'un étranglement du protocône, même peu marqués, constituent en revanche des caractères moins répandus.

### 8.2.2 Affinités

Le rhinocéros laineux, d'origine asiatique, apparaît en Europe au début de l'avant-dernière glaciation (zone MNQ 24), et ses derniers représentants disparaissent à la fin du Pléistocène, il y a une dizaine de milliers d'années. Du point de vue écologique, son préférendum est la steppe froide, où il accompagne le mammoth (Guérin 1980).

*Coelodonta antiquitatis* est une espèce fréquemment rencontrée dans le Pléistocène supérieur de Suisse. Dès le XIX<sup>e</sup> siècle, K. Merck (1875-77) le décrit dans le célèbre gisement magdalénien de Kesslerloch à Thayngen (Schaffhouse), et K. Hescheler en reparlera en 1917. En 1915, L. Mayet et J. Pissot le citent dans l'abri de Schweizersbild (Schaffhouse), et en 1916 F. Leuthardt le signale dans une terrasse alluviale à Schweizerhalle (Bâle-Campagne); en 1925, R. Forrer indique sa présence dans le lœss d'Allschwil, ainsi qu'à Riehen près de Bâle.

En 1933, A. Dubois et H.G. Stehlin ont donné la première liste exhaustive des gisements suisses à rhinocéros laineux, dans leur célèbre étude sur la grotte moustérienne de Cotencher (Neuchâtel), où *Coelodonta antiquitatis* accompagne *Dicerorhinus mercki*. Outre les sites indiqués par les auteurs précédents, il s'agit de:



Dents, mesure	ALL-18539 droite	ALL-18540 gauche	Comparaisons					
			Nb	moy.	mini	maxi	éc.-type	c.variation
P 4/L			59	43,27	35,50	58,00	4,318	9,98
P 4/I			73	48,10	41,50	55,50	3,046	6,33
P 4/H			27	63,35	53,50	69,00	4,678	7,38
M 1/L	54	54	54	51,05	43,50	58,50	3,651	7,15
M 1/I	> 52		73	53,40	43,50	63,00	3,555	6,66
M 1/H	> 60	> 60	11	61,23	53,00	65,50	4,143	6,77
M 2/L			80	56,31	47,00	65,50	3,679	6,53
M 2/I			88	55,91	45,00	63,00	3,244	5,80
M 2/H			17	68,38	48,00	78,00	6,983	10,21

Fig. 62. Dimensions comparées des molaires de *Coelodonta antiquitatis* d'Alle, Noir Bois.

- pour l'Argovie, la tourbe de Distelberg près d'Aarau, les graviers de Muhlen et de Rheinfelden, les gravières de la région située entre Zofingue et Oftringen;
- pour la région de Bâle, le lehm d'Anwil II, le lœss de Giebenach, le lehm de Lausen, le lœss de Münchenstein, le site moustérien de Schalberg près d'Aesch, les graviers de Schänzli près de Muttentz, le lœss de Wenken ou Wenkenhoff, et plusieurs sites sur la commune même de Bâle;
- pour la région de Berne, la basse terrasse de Bannwil, les «charbons feuilletés» d'Engelprächtigen près de Gondiswil, les graviers de Huttwil, de Lyss, de Rapperswil et de Ricken près de Murgenthal, la basse terrasse de Roggwil (Oberaargau), la terrasse alluviale de Wynau;
- pour le canton de Fribourg, les graviers d'Autigny et de Fribourg-gare;
- pour le canton de Soleure, les graviers de Gretzenbach, l'abri de Heidenstübeli sur Wangen et trois sites à Olten;
- en Thurgovie, les graviers de Diessenhofen;
- pour le canton de Vaud, la gravière de Bioley-Orjulaz.

Par la suite, E. Gerber (1941, 1952) ajoutera les sites bernois de Bremgarten, Herblingen (Kiesenthal), Herzogenbuchsee, Langenthal, Muniberg, les gravières de Riken et de Rumendingen. *Coelodonta antiquitatis* sera reconnu aussi dans le gisement de Ryburg (Aargau) (Guérin (1980).

P. Morel et F. Schifferdecker signalent (1987, fig. 14) une première molaire supérieure provenant de la bête de Courtemaîche dans le canton du Jura; cette jugale est remarquable du fait de la fermeture de sa vallée linguale par la confluence du protocône et de l'hypocône, qui lui donne une morphologie particulière rarement observée dans cette espèce (Guérin 1980).

Enfin, en 1991, un crâne complet subadulte, daté de 14 000 ans BP, a été découvert dans le lac de Neuchâtel, au large de Vaux-marcus (Morel et Hug 1996).

Rappelons que *Coelodonta antiquitatis* est aussi très bien documenté en France voisine, notamment dans les sites des grottes d'Arc et d'Echenoz-la-Méline près Salins, de la grotte du Dard à Voiteur, à la grotte d'Arlay, à La Balme d'Epy 1 (grotte) et 2 (rivière souterraine), à Bénonce, à l'abri de la Colombière à Neuville-sur-Ain, à l'abri Gay à Poncin, à la Baume de Loisia à Gigny-sur-Suran, à Messia-les-Chilly, dans la grotte de la Roche à Baumes-les-Messieurs, et à Saint-Maur (Guérin 1980). Plus récemment, l'aven de Romain-la-Roche (canton de Rougemont, Doubs) a livré de nombreux restes, parmi lesquels un squelette complet et deux autres crânes, datant d'environ 150 000 ans (Paupe 1987, 1996).

La découverte des deux dents de rhinocéros laineux de Noir Bois à Alle confirme le statut de cette espèce parmi les chefs de file de la faune du Pléistocène supérieur de la région, au même titre que le dernier cheval sauvage d'Europe occidentale, le mammoth, le grand bison des steppes, le mégacéros, l'élan, l'ours des cavernes, la hyène et le grand félin des cavernes. Grâce à elles, nous pouvons considérer que nous avons affaire dans ce gisement au désormais classique «*Mammuthus - Coelodonta oberpleistozänen Faunenkomplexes*» de R.D. Kahlke (1994), caractéristique de la steppe froide et sèche.



Fig. 63. Bourgeons dentaires de molaires supérieures (M1 ou M2) G et D de *Coelodonta antiquitatis* (rhinocéros laineux) (991/18540 et 18539).



## 8.2.3 Bibliographie

- Dubois A. et Stehlin H.G.  
1933 La grotte de Cotencher, station moustérienne. *Mém. soc. paléont. suisse*, Bâle, vol. LII-LIII, 292 p.
- Forrer R.  
1925 *Les éléphants, hippopotames et l'homme de l'Alsace quaternaire*. Essai de géographie paléolithique régionale. Decker, Colmar, 201 p.
- Gerber E.  
1941 Ueber einen Humerus des Wollhaarigen Nashorns aus der Niederterrasse von Roggwill. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 34, p. 277-279.
- 1952 Ueber Reste des eiszeitlichen Wollnashorns aus dem Diluvium des bernischen Mittellandes. *Mitt. Naturf. Ges. Bern*, NF, Bd 9, p. 51-65.
- Guérin C.  
1980 Les rhinocéros (Mammalia, Perissodactyla) du Miocène terminal au Pléistocène supérieur en Europe occidentale. Comparaison avec les espèces actuelles. *Docum. Lab. Géol. Lyon*, n° 79, fasc.1-3, 1185 p.
- Hescheler K.  
1917 Ueber einen Unterkiefer von *Rhinoceros antiquitatis* Blumembach aus dem Kanton Schaffhausen. *Jahrg. 62 der Vierteljahrsscher Naturf. Ges. Zürich*, p. 319-326.
- Kahlke R.D.  
1994 Die Entstehungs-, Entwicklungs- und Verbreitungsgeschichte des oberpleistozänen Mammuthus-Coelodonta-Faunenkomplexes in Eurasien (Grosssäuger). *Abh. senckenberg. naturforsch. Ges.*, Frankfurt a. Main, 546, p. 1-164.
- Leuthardt F.  
1916 Ueber fossile Huftierreste aus dem Diluvium der Umgebung Basel. *Tätigkeitsber. Naturf. Ges. Baselland*, 1911/16, p. 151-169.
- Mayet L. et Pissot J.  
1915 Abri-sous-roche préhistorique de La Colombière près Poncin (Ain). *Ann. univ. Lyon*, sér. 1, vol. 39, p. 1-193.
- Merck K.  
1875-77 Der Höhlenfund im Kesslerloch bei Thayngen (Kanton Schaffhausen). *Mitt. Antiq. Gesell. Zürich*, Bd. 19, 42 p.
- Morel P. et Schifferdecker E.  
1987 La bâme de Courtemaîche. Etude archéologique et paléontologique. *Archéologie suisse* 10/2, p. 53-60.
- Morel P. et Hug B.  
1996 Découverte d'un crâne tardiglaciaire de rhinocéros laineux *Coelodonta antiquitatis* (Blumenbach 1799) dans le lac de Neuchâtel au large de Vaumarcus (NE). Paléontologie et conservation. *Bull. Soc. neuchâteloise Sci. nat.* 119, p. 101-110.
- Paupe P.  
1987 L'aven de Romain-la-Roche: abondance et diversité de la faune quaternaire franc-comtoise. *Bull. Soc. hist. nat. pays de Montbéliard*, p.115-132.
- 1996 L'aven de Romain-la-Roche: un site archéologique européen. *Bulletin de la Société d'Emulation Montbéliard* 119, p. 23-96.



## 9 LES OCCUPATIONS MOUSTÉRIENNES

### 9.1 Situation et hiérarchie des gisements (Blaise Othenin-Girard)

Noir Bois compte quatre gisements archéologiques moustériens, chacun d'entre eux étant délimité dans l'espace et positionné dans la séquence du site, essentiellement de composante lœssique. Considérés dans leur intégralité, ils occupent une partie importante de la surface totale décapée (fig. 64) et sont constitués exclusivement d'industrie lithique ; les vestiges osseux ou végétaux, s'ils ont existé, n'ont pas subsisté dans les sédiments concernés (chap. 4) ; on peut toutefois signaler l'existence anecdotique de deux dents de rhinocéros laineux (chap. 8.2), comprises dans des sédiments vierges de tout artefact. Ces quatre horizons se caractérisent par une situation stratigraphique et un état de conservation disparates. En effet, leur contexte sédimentaire se dégrade progressivement d'ouest en est, en raison d'une érosion de plus en plus marquée des unités pléistocènes dans cette direction (chap. 3.3). D'après ce critère, il convient d'abord d'établir une hiérarchie des niveaux archéologiques découverts, du mieux préservé au plus remanié. Cette démarche est indispensable pour déterminer ensuite les limites d'interprétation de chacun de ces gisements.

Partie occidentale du site :

- 1) niveau moustérien inférieur, dans l'unité sédimentaire E8 ;
- 2) niveau moustérien supérieur, dans l'unité sédimentaire E7, en partie superposé au précédent.

Partie centrale du site :

- 3) niveau moustérien remanié, dans l'unité sédimentaire E5.

Parties centrale et orientale du site :

- 4) industrie lithique moustérienne totalement remaniée, dans les unités sédimentaires E4 à E1.

Dans le contexte de la partie orientale de l'anticlinal du Banné, les gisements de Noir Bois se trouvent à une altitude moyenne de 450 m, dominant de quelques mètres la plaine de l'Allaine actuelle (fig. 1). A un demi-kilomètre de là, vers l'ouest, se trouve l'important site moustérien d'Alle, Pré Monsieur (Stahl Gretsche, Detrey et al. 1999). A l'extrémité est de cette même colline, à 400 m au sud-est de Noir Bois, un nombre limité d'artefacts en silex moustériens a été découvert en situation complètement remaniée (Saltel 1997, p. 235-256). Tous ces lieux de trouvailles font partie d'une zone dont le sous-sol recèle en abondance du silex à l'état naturel, que l'on a pu très facilement prélever au sommet des bancs calcaires.

Les vestiges moustériens de Noir Bois, ceux de Pré Monsieur et les trouvailles isolées des environs, peuvent tous être interprétés comme des stations de plein air. Elles s'assimilent géographiquement aux quelques sites de ce type répertoriés en Suisse au nord de la chaîne jurassienne. Ces gisements ouverts sont concentrés à l'est et au sud-ouest du coude du Rhin, le plus souvent en contexte lœssique, à des altitudes comprises entre 300 et 500 m (Le Tensorer 1998, fig. 55). Sur le territoire allemand, toujours dans des lœss, une dizaine de gisements sont signalés à quelques kilomètres en amont de Bâle, sur la rive droite du Rhin (Le Tensorer 1998, p. 134). En considérant ces régions ainsi que la Franche-Comté voisine (Dubois 1992, p. 26, carte 1), il apparaît que les stations de plein air stratifiées et datées sont encore rares (Le Tensorer 1993, p. 131), ce qui donne un relief particulier à certains des niveaux moustériens de Noir Bois.

#### 9.1.1 Stratigraphie et état de conservation

Il s'agit ici d'intégrer les quatre gisements moustériens et les rares restes de faune dans la séquence de Noir Bois. L'étude géologique a défini pour le Pléistocène six ensembles de dépôts, dénommés de bas en haut E9 à E4 (chap. 3.2). Les unités E8 à E4 se rapportent à des phases de sédimentation allant du dernier interglaciaire (Eémien) au Tardiglaciaire. Elles reposent

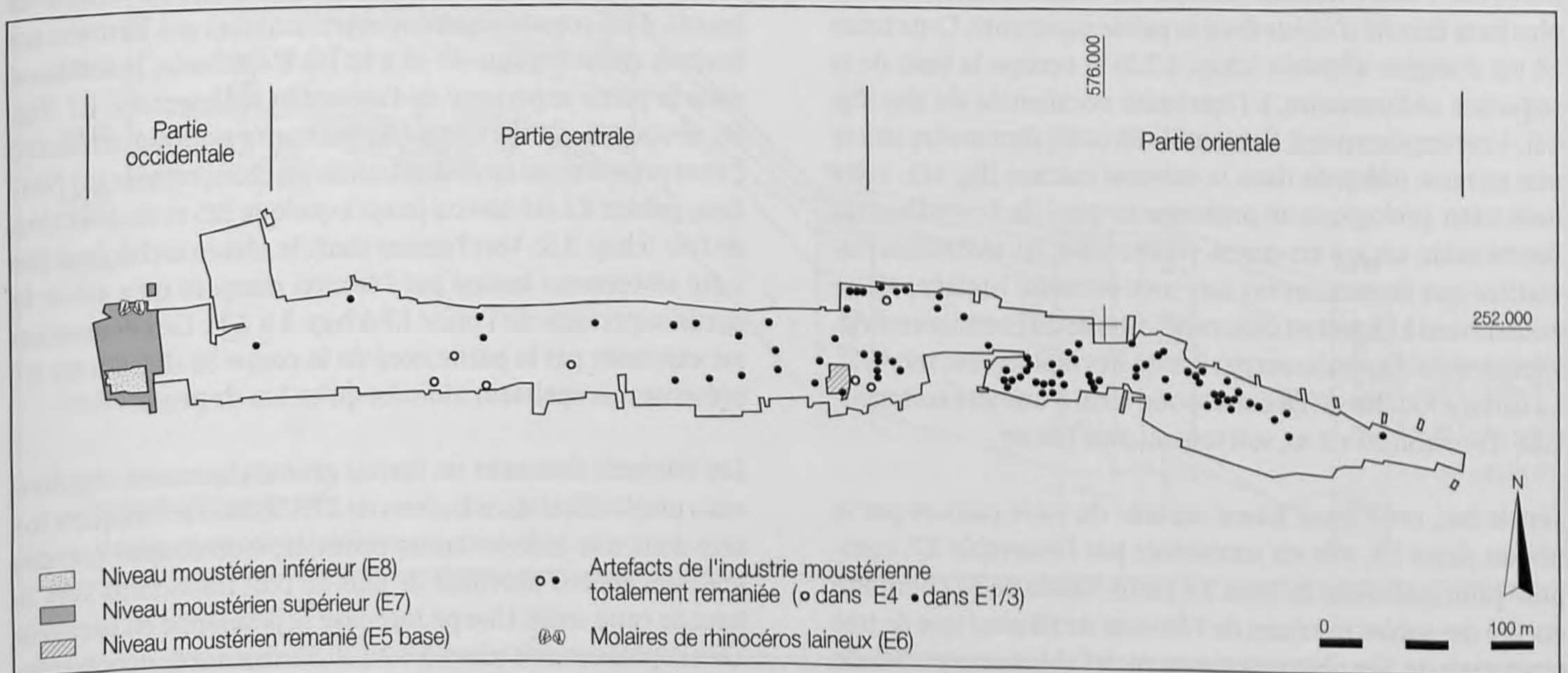


Fig. 64. Emplacements des différents niveaux contenant des industries lithiques moustériennes.



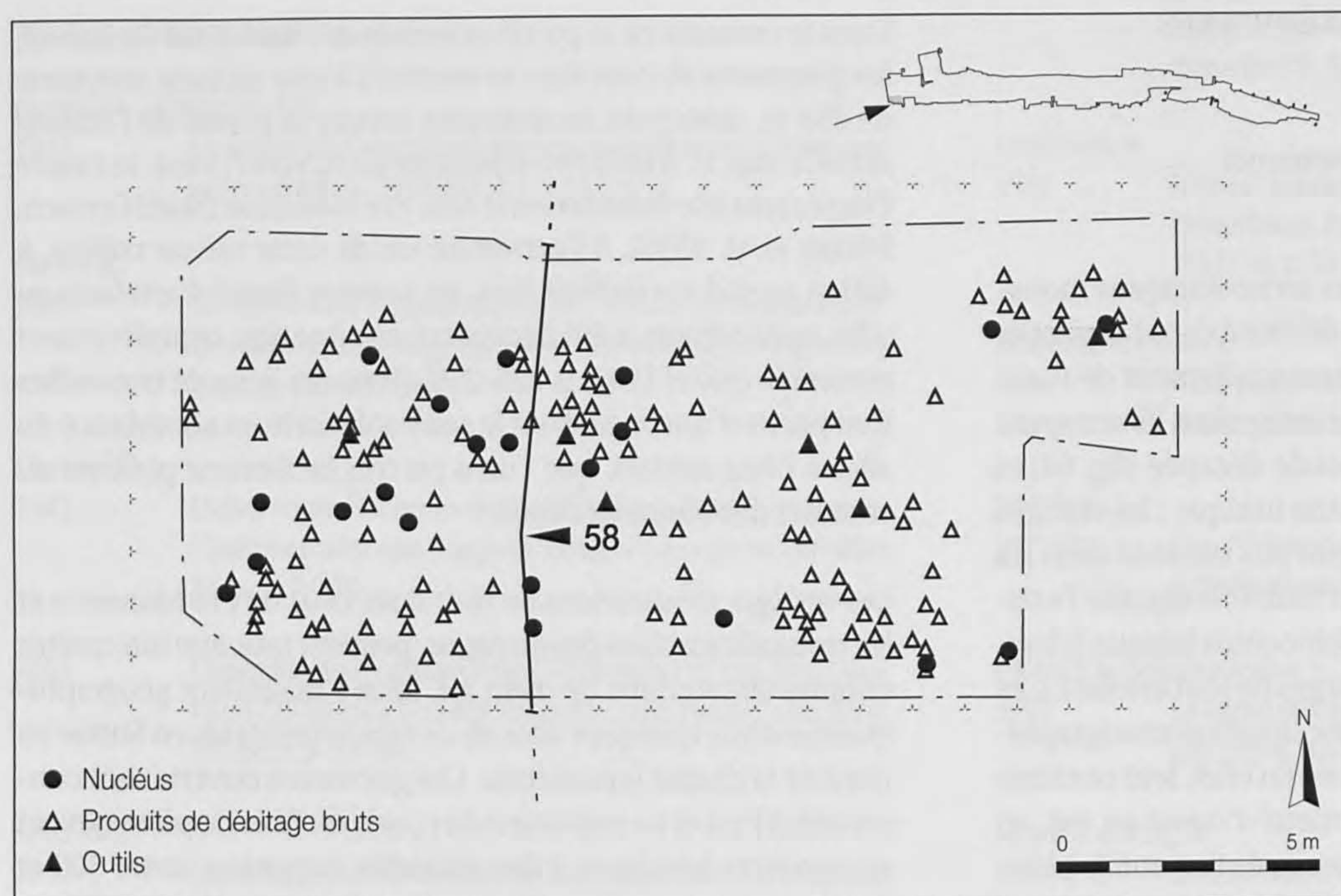


Fig. 65. Niveau moustérien inférieur : répartition planigraphique des artefacts et emplacement de la coupe 58.

sur l'ensemble E9 qui est placé dans le Pléistocène moyen (chap. 5.5.1.1). Grâce à l'apport de la sédimentologie, de la micromorphologie et des datations absolues, il est possible d'insérer de manière assez sûre deux des niveaux archéologiques ainsi que des molaires de rhinocéros laineux dans des stades du Pléistocène supérieur. L'insertion chronologique des vestiges anthropiques et fauniques est évoquée brièvement, une argumentation plus détaillée est développée dans les chapitres 4.6 et 5.5 ; les lignes qui suivent tendent principalement à évaluer l'état de conservation et la cohérence stratigraphique de chacun des ensembles archéologiques découverts.

#### Le niveau moustérien inférieur

Les artefacts formant le niveau moustérien inférieur sont répartis dans tout l'ensemble E8 (25 cm d'épaisseur), avec une plus forte densité d'objets dans sa partie supérieure. Cette unité E8 est d'origine alluviale (chap. 5.2.3) et occupe la base de la séquence sédimentaire, à l'extrémité occidentale du site (fig. 64). A cet emplacement, l'ensemble E8 coiffe de manière stricte une terrasse marquée dans le substrat calcaire (fig. 66) ; cette formation géologique se prolonge au pied de l'anticlinal du Banné selon un axe est-ouest. Néanmoins, les sédiments fluviatiles qui la recouvrent ont une étendue limitée ; ils se poursuivent à l'ouest en dehors de la limite du chantier archéologique mais disparaissent par contre très rapidement vers l'est. La surface fouillée de E8 correspond ainsi à une aire rectangulaire d'environ 20 x 9 m, soit tout au plus 180 m<sup>2</sup>.

Vers le bas, cette unité E8 est séparée du socle calcaire par le niveau altéré E9 ; elle est surmontée par l'ensemble E7, composé principalement de loess. La partie basale de E7 comporte encore des sables résultant de l'érosion de E8 ainsi que de très rares artefacts. Ces objets proviennent de l'ablation superficielle du niveau moustérien inférieur reposant sur la terrasse et dans tous les cas n'en sont pas éloignés.

Les silex débités sont exempts de poli dû à un transport par l'eau ; leur abandon par les Préhistoriques est donc intervenu après la mise en place d'alluvions mais avant une phase importante de pédogenèse qui a marqué les sédiments (chap. 5.5.1.3). Ces derniers sont en position primaire et constituent une terrasse fluviatile dont la partie supérieure a été affectée ultérieurement par l'érosion (chap. 5.2.3). L'industrie lithique contenue dans l'unité E8 peut être considérée comme occupant une situation originelle, même si elle a été perturbée par la suite. Elle se situe chronologiquement dans le dernier interglaciaire, l'Éémien (chap. 5.5.1.3 et 11).

#### Le niveau moustérien supérieur

Partiellement superposé au précédent, le niveau moustérien supérieur couvre une surface de 1250 m<sup>2</sup> (fig. 64). Vers l'aval (nord), il est constitué par des objets lithiques qui forment un horizon archéologique de 40 à 60 cm d'épaisseur, positionné dans la partie supérieure de l'ensemble sédimentaire E7 (fig. 66, coupe 60). Ce dernier a une puissance pouvant atteindre 2 m et présente une extension latérale assez importante sur Noir Bois, puisqu'il a été détecté jusqu'à quelque 325 m en direction de l'est (chap. 3.3). Vers l'amont (sud), le niveau archéologique a été sévèrement laminé par l'érosion marquée qu'a subie la partie supérieure de l'unité E7 (chap. 5.5.2.1). Cette situation est exprimée par la partie nord de la coupe 58 (fig. 66) où E7 présente une épaisseur moindre qu'en bas de pente.

Les artefacts dessinent un niveau géométriquement régulier, mais plutôt dilaté dans les loess de E7. L'industrie lithique s'insère dans une sédimentation colluviale, entrecoupée par des épisodes éoliens devenant de plus en plus importants vers le haut de cette unité. Une pédogenèse se développe en parallèle à ces dépôts naturels (chap. 5.3.2.1-2). L'existence de dépôts ruiselés explique les remaniements qu'ont subis les silex après leur abandon, mais cet horizon archéologique peut néanmoins être



considéré comme cohérent en raison de l'absence de grands mouvements d'érosion ou de gélifluxion (chap. 4.6, phase 6). Cette industrie se situe chronologiquement dans le Pléniglaciaire moyen (chap. 5.5.2.1 et 11).

Les niveaux inférieur et supérieur sont bien stratifiés dans des sédiments qui se sont déposés à des moments distincts. Ces deux ensembles moustériens sont en effet séparés par des épisodes sédimentaires qui excluent que le niveau supérieur résulte d'une érosion de l'horizon inférieur (chap. 4.6, phases 3 à 6; chap. 5.5).

#### Les dents de rhinocéros laineux

Toujours à l'extrémité occidentale de Noir Bois, à la limite nord du chantier archéologique (fig. 64), deux molaires de rhinocéros laineux ont été découvertes l'une à côté de l'autre dans la partie inférieure de l'unité E6, vierge de tout artefact (fig. 66). Dans cette zone en bas de pente, l'ensemble loessique E6, épais de 1,20 m, recouvre directement E7. En direction de l'amont, la partie sommitale de E6 a été progressivement érodée et déformée par une puissante masse de cailloux calcaires gélifluée (E5) provenant de la pente de l'anticlinal du Banné; à certains endroits, cette formation caillouteuse a totalement tronqué E6 et parfois entamé le niveau moustérien supérieur contenu dans E7. Par ailleurs, l'unité E6 possède une vaste extension latérale sur le site (chap. 3.3).

La base de E6 contenant les deux molaires de rhinocéros laineux (chap. 8.2) est formée de sédiments éoliens qui se sont déposés dans des conditions steppiques froides, au début du Pléniglaciaire supérieur (chap. 5.5.2.2), ce qui concorde avec les conditions climatiques dans lesquelles évoluait cet animal.

#### Le niveau moustérien remanié

Contrastant avec la séquence sédimentaire bien développée de l'extrémité occidentale du site, certaines des unités pléistocènes dans la partie centrale de Noir Bois se distinguent par une faible épaisseur, alors que d'autres ont été totalement érodées (chap. 3.3). Une concentration d'éléments siliceux gélifractés, auxquels s'ajoutaient des artefacts moustériens en nombre plus restreint, a été découverte sur une surface de quelque 145 m<sup>2</sup> (fig. 64). L'intégralité de ces objets constitue un niveau épais d'environ 35 cm dont la matrice limoneuse a été identifiée comme la base de l'ensemble E5 (E5 base); à cet emplacement, E5 est inséré entre les unités E4 vers le haut et E7 vers le bas (fig. 67); l'ensemble E6 n'a pas été mis en évidence.

L'unité E5 constitue un bon repère stratigraphique, puisqu'elle s'étend en continu sur quasiment toute la frange méridionale de Noir Bois (chap. 3.3). Cette formation s'est mise en place par gélifluxion et possède un fort potentiel érosif; il s'ensuit que tout artefact contenu à la base de ces sédiments doit être considéré comme en position secondaire et qu'il provient certainement

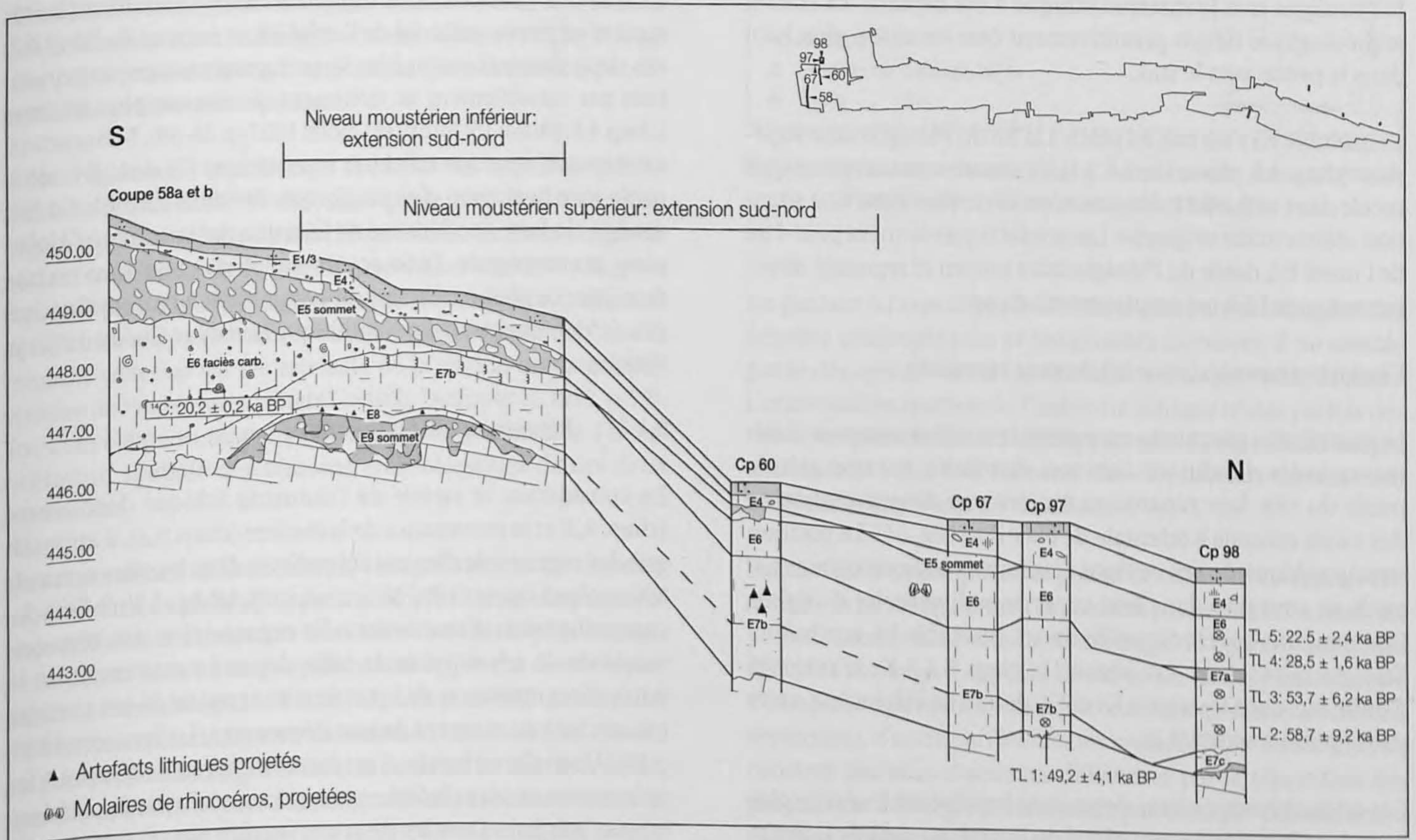


Fig. 66. Les différentes unités sédimentaires de la partie occidentale du site représentées dans les coupes 58, 60, 67, 97 et 98. Projection des artefacts des niveaux moustériens inférieur (E8) et supérieur (E7b) avec leur extension sud-nord, ainsi que celle des molaires de rhinocéros laineux (E6). Position et résultats des datations par thermoluminescence et C<sup>14</sup> effectuées dans plusieurs unités pléistocènes.



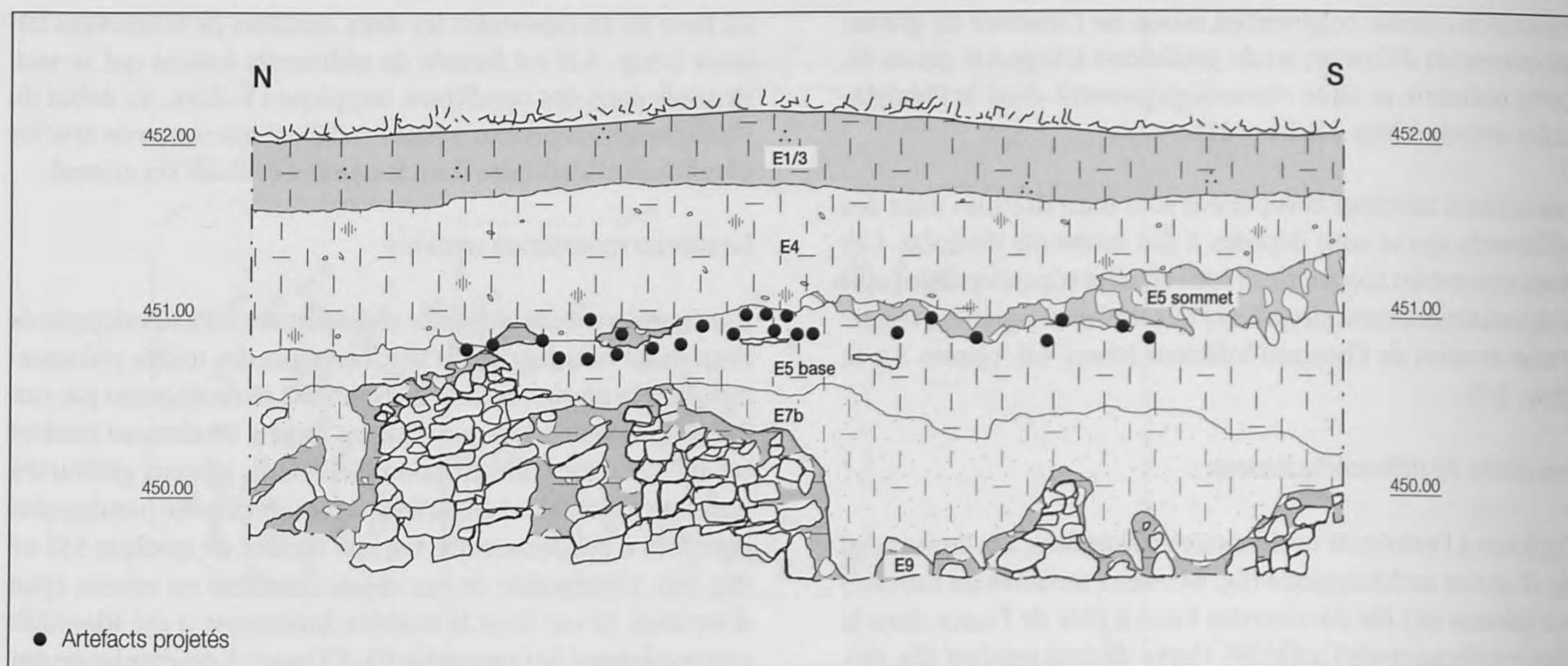


Fig. 67. Coupe 96 dans la partie centrale du site avec projection de l'industrie lithique du niveau moustérien remanié.

d'un dépôt plus ancien, intégralement ou partiellement tronqué dans cette partie du site. La coupe 96 (fig. 67) montre que l'industrie lithique, mêlée à des silex naturels géolifracés, est localisée en-deçà d'une barrière formée par un bombement du substrat calcaire; vers l'aval, au-delà de ce barrage naturel, les éléments siliceux n'apparaissent plus qu'en faible densité. Ce fait souligne que le matériel lithique a été déplacé. La station archéologique devait primitivement être localisée plus haut dans la pente, vers le sud.

L'ensemble E5 s'est mis en place à la fin du Pléniglaciaire supérieur (chap. 4.6, phase 10 ; 5.5.3.1), l'industrie moustérienne qu'il recèle dans sa partie inférieure n'est donc plus dans une situation sédimentaire originelle. Les artefacts proviennent peut-être de l'unité E7, datée du Pléniglaciaire moyen et reposant directement sous E5 à cet emplacement du site.

#### L'industrie moustérienne totalement remaniée

Le quatrième « gisement » moustérien est en fait composé d'éléments isolés d'industrie lithique, distribués sur une grande partie du site; leur répartition montre une densité croissante des zones centrale à orientale de Noir Bois (fig. 64). La position stratigraphique de ces vestiges disséminés indique clairement qu'ils ne sont plus dans leur contexte sédimentaire d'origine. Quelques uns ont été recueillis dans l'ensemble E4, attribué au Tardiglaciaire (chap. 4.6, phase 11; chap. 5.5.3.2), la majorité d'entre eux dans les unités E3 et E2, datées de l'Holocène, voire dans l'humus actuel (E1).

Ces artefacts proviennent de stations localisées à l'origine plus haut dans la pente de l'anticlinal du Banné, au-delà de la limite méridionale du chantier archéologique. En effet, cette industrie remaniée est positionnée au-dessus du head E5, qui s'est mis en place à la fin du Pléniglaciaire supérieur; il a été repéré sur une grande partie de la bordure sud du site (chap. 3.3). Après

son dépôt, cet ensemble a eu une fonction protectrice des sédiments plus anciens qu'il recouvre. Superposée à E5, l'unité E4, d'époque tardiglaciaire, s'étend sur la quasi-totalité des surfaces décapées, de même que les dépôts holocènes E3 à E1. Par conséquent, les silex moustériens de ces ensembles ont été transportés par gravité à partir de gisements situés en amont de leur lieu de découverte. Cette constatation confirme le caractère en partie colluvial de l'unité E4, et surtout de E3 et E2; ces deux derniers ensembles se sont progressivement constitués par ruissellement au détriment de niveaux plus anciens (chap.4.6, phase 15; Aubry et Guélat 1997, p. 24-39). Néanmoins, on retrouve assez peu d'objets moustériens (7) dans E4, alors qu'ils sont beaucoup plus nombreux (86) dans E3 à E1. Ce fait souligne la forte accélération de l'érosion des versants à l'Holocène, accompagnée d'une accumulation de colluvions en bas de pente; ce phénomène est dû notamment à l'intensification des défrichements dès le Néolithique (Aubry et Guélat 1997, p. 35ss.).

#### 9.1.2 Répartition de l'industrie

En considérant la variété de l'industrie lithique découverte (chap. 9.3) et la provenance de la matière (chap. 9.2), il apparaît que des rognons de silex ont été prélevés dans les gîtes naturels 500 m plus à l'ouest à Pré Monsieur, puis débités à Noir Bois. La compréhension d'une éventuelle organisation des témoins matériels de ces activités de taille dépend notamment de la durée d'occupation et de l'état de conservation de ces vestiges très anciens au moment de leur découverte (Le Tensorer 1998, p. 34). Une telle recherche n'est donc envisageable que pour les niveaux moustériens inférieur et supérieur de la partie occidentale de Noir Bois. Dans les deux cas, les silex ont néanmoins été remaniés et éparpillés, que ce soit par érosion des sédiments (niveau inférieur) ou par colluvion (niveau supérieur). On ne peut donc plus considérer ces horizons comme des sols d'habitat au sens strict (Bordes 1975). Cependant, sur la base de ce



que l'on connaît de l'évolution des sédiments après le dépôt des vestiges (chap. 5.2 à 5.4), le mobilier lithique des deux gisements n'a pas dû subir de déplacements latéraux très importants depuis sa situation originelle.

#### Les niveaux moustériens inférieur et supérieur

Les différents produits de la chaîne opératoire du débitage montrent-ils une organisation particulière ? Voit-on se dessiner des postes de débitage avec nucléus et éclats, des aires comprenant plutôt des outils, des endroits regroupant des produits Levallois, d'autres des lames ? En d'autres termes, peut-on percevoir une dynamique du fonctionnement des activités liées au travail du silex et à son utilisation dans chacun des deux ensembles ?

En distribuant en plan les nucléus, les éclats et les outils, on constate qu'aucune concentration particulière ne se dessine ; dans les deux niveaux, ces trois catégories sont à chaque fois indifféremment mêlées (fig. 65 et 68). D'autres répartitions des produits de débitage n'ont pas non plus été mises en évidence.

La seule organisation apparente révèle des zones comprenant des artefacts, séparées par des surfaces vierges. Cette situation reflète-t-elle un ancien agencement des vestiges ? Leur remaniement a-t-il été au contraire trop important, au point d'enlever toute fiabilité à une étude de leur répartition ? D'un côté, on peut considérer que chaque niveau archéologique n'a pas été affecté par une érosion trop sévère ou des déplacements considérables des sédiments. De l'autre, le nombre total et la densité des artefacts restent faibles ; l'horizon inférieur compte à peine une pièce par mètre carré, une valeur qui n'est même pas atteinte dans l'horizon supérieur.

Il faut également mentionner la rareté des esquilles (pièces d'une taille inférieure à 1 cm), ainsi que le fait qu'aucun remontage n'a pu être effectué parmi les artefacts. De surcroît, aucun reste d'ossements ou de foyer n'a été découvert. On ne dispose pas non plus d'analyse tracéologique sur les produits siliceux ; cette étude n'a pas été tentée en raison des résultats totalement négatifs obtenus sur les artefacts de la station moustérienne voisine de Pré Monsieur (Stahl Gretsch, Detrey et al. 1999, p. 73). Tous ces éléments tendent à restreindre les possibilités d'interprétation spatiale des témoins archéologiques de ces deux ensembles.

Des répartitions différenciées de vestiges existent sur des sites moustériens de plein air (Deloze et al. 1994), mais elles demeurent difficiles à interpréter dans bien des cas, le plus souvent pour des raisons de conservation. Une approche de ces répartitions a été établie par L.-I. Stahl Gretsch pour une quarantaine de stations moustériennes, essentiellement en milieu ouvert, en France, en Allemagne et dans le Benelux. Le but de cette démarche était d'effectuer des comparaisons avec la situation de l'industrie lithique du site très riche de Pré Monsieur, proche de Noir Bois (Stahl Gretsch, Detrey et al. 1999, p. 159ss.). A Pré Monsieur, on supposait des groupements distincts entre nucléus et éclats d'un côté, outils de l'autre ; malgré une abondance d'artefacts, les résultats ne furent pas vraiment concluants.

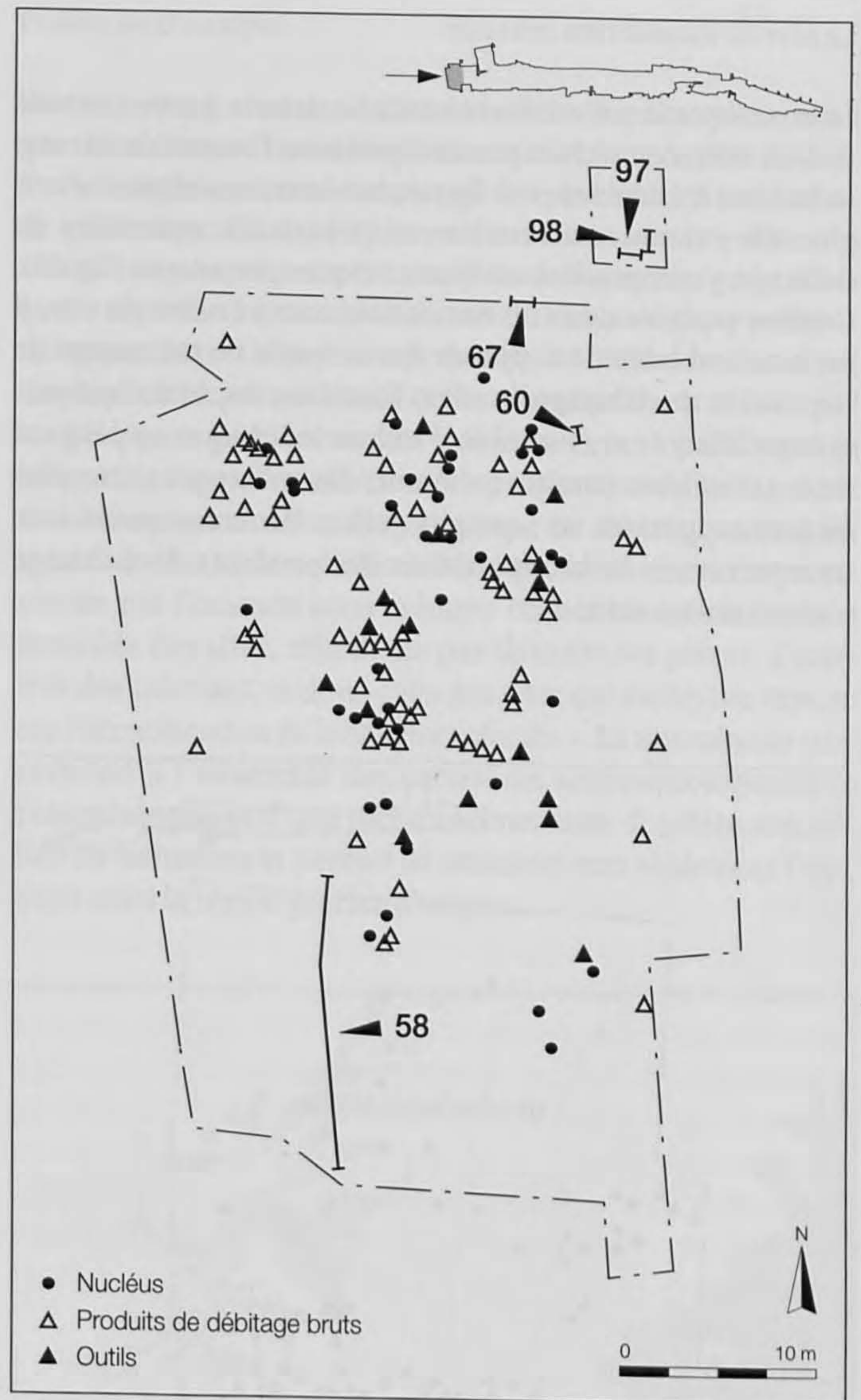


Fig. 68. Niveau moustérien supérieur : répartition des artefacts lithiques et emplacement des coupes 58, 60, 67, 97, 98.

En gardant à l'esprit que les stations comparées occupent des échelles géographiques et temporelles étendues, il ne semble pas se dégager de véritables constantes d'un gisement à l'autre. L'organisation spatiale de l'industrie lithique révèle parfois des zones de concentrations d'objets, opposées à des surfaces vierges, une situation que l'on retrouve dans les niveaux moustériens inférieur et supérieur de Noir Bois.

Parmi d'autres exemples, des postes de taille ont été mis en évidence ; on relève également la position particulière des nucléus, parfois associés aux produits de débitage, ou opposés aux outils. Quant à l'outillage, il apparaît de cas en cas une séparation entre d'une part les éléments considérés comme expédients (encoches, denticulés), d'autre part les racloirs ou les bifaces. En résumé, on constate des aires d'activités différentes par la répartition des produits de débitage ; il transparait par exemple des surfaces à fonction domestique, souvent proches des foyers, des endroits dédiés à un débitage particulier, comme celui des lames, des dépotoirs. Mais en raison de l'absence fréquente de microtraces sur les outils, il reste difficile de déterminer les travaux spécifiques qui se sont déroulés dans chacune des zones considérées.



### Le niveau moustérien remanié

La concentration d'artefacts localisée dans la partie centrale de Noir Bois n'est plus en position primaire, l'ensemble de cette industrie a été déplacé et ne figure plus dans son sédiment d'origine. On y retrouve néanmoins toute la chaîne opératoire du débitage, y compris des outils et quelques percuteurs (fig. 69). Comme pour les deux niveaux situés tout à l'ouest du site, il est vraisemblable de supposer des activités de ramassage de rognons et de débitage de silex. Toutefois, les remaniements qui ont affecté cet ensemble d'industrie lithique empêchent de le considérer comme cohérent; des mélanges entre plusieurs occupations ne sont pas exclus. Par conséquent, une interprétation de la répartition des produits de débitage n'aurait aucun sens.

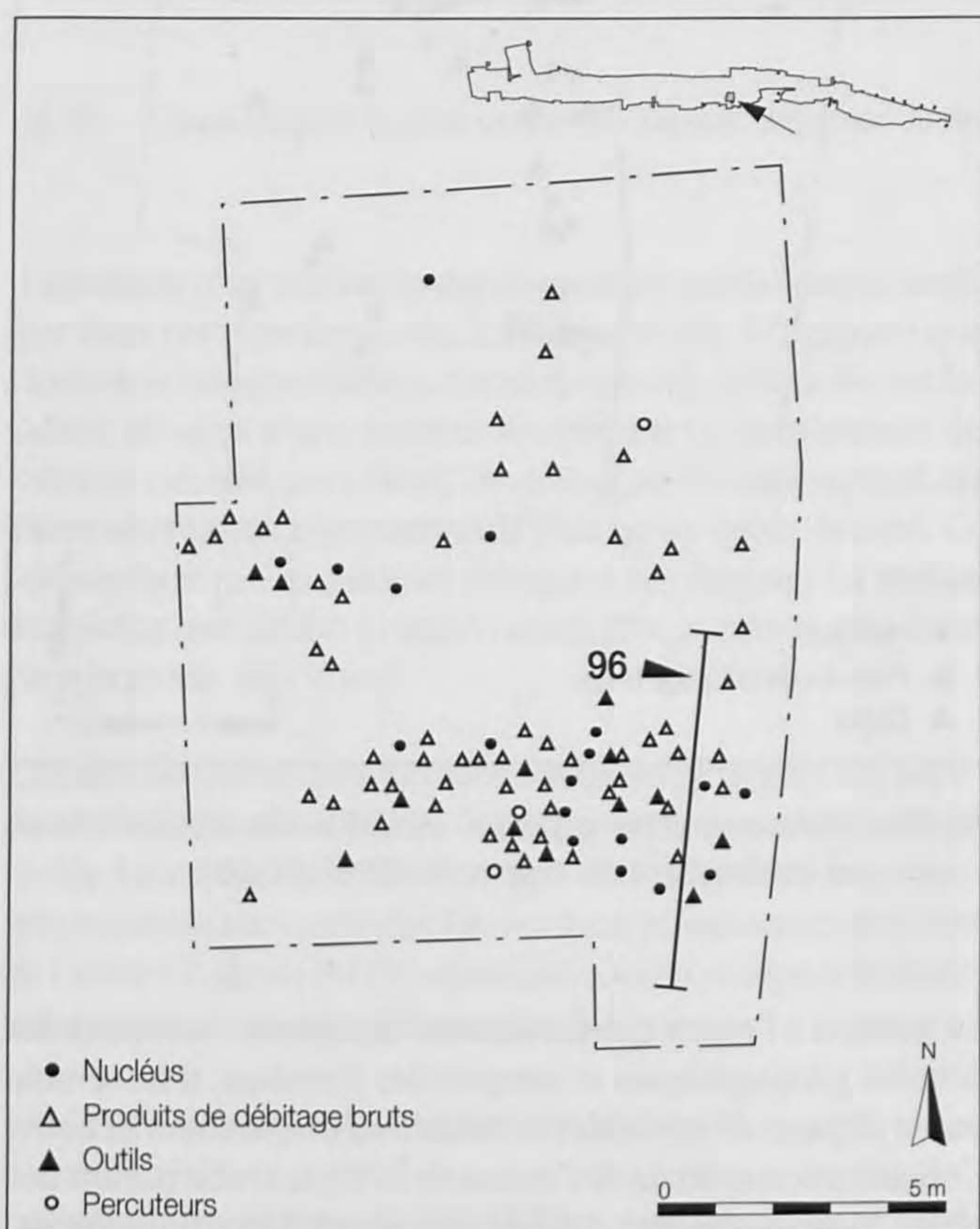


Fig. 69. Niveau moustérien remanié : répartition des artefacts lithiques et emplacement de la coupe 96.

### L'industrie lithique totalement remaniée

Dans les zones centrale et orientale du site, les artefacts contenus dans des sédiments tardiglaciaires (E4) et holocènes (E3 à E1) proviennent de gisements complètement érodés, localisés primitivement plus haut dans la pente de l'anticlinal du Banné (fig. 64). Ce corpus résulte d'une sélection restrictive, basée sur les critères typologiques et technologiques les plus caractéristiques des industries moustériennes (chap. 9.3.4). Par rapport

aux artefacts retenus, une quantité importante de produits culturellement peu typés a été écartée; en effet, l'ensemble sédimentaire E4 recelait une concentration de silex magdaléniens (chap. 10), alors que l'ensemble E3 comprenait de nombreux artefacts siliceux néolithiques (Detrey 1997, p. 95ss).

Il faut donc considérer cet ensemble de silex moustériens comme incomplet. De plus, il est impossible de déterminer si les objets sélectionnés résultent d'une activité unique qui s'est déroulée à un moment précis, ou de plusieurs occupations chronologiquement distinctes. Ces constatations rendent inutile toute tentative de répartition des diverses catégories du débitage.

De manière générale, on constate cependant que ce mobilier lithique disséminé se concentre plutôt dans les zones centrale et orientale de Noir Bois (fig. 64). Pour expliquer cette situation, deux possibilités peuvent être évoquées, sans qu'il soit possible de trancher en faveur de l'une ou de l'autre:

- il y a eu une occupation préférentielle sur les parties centrale et orientale du flanc nord de l'anticlinal du Banné, peut-être en raison d'un relief moins accentué, toutefois l'accessibilité à la matière première siliceuse ne peut être retenue du fait de l'exploitation du silex de Pré Monsieur;
- en vertu d'une meilleure conservation des niveaux pléistocènes à l'ouest de Noir Bois, on peut supposer que les sédiments occupant le versant de la colline au-dessus de cette partie occidentale du site soient moins érodés; des gisements moustériens pourraient encore s'y trouver.

En définitive, l'organisation des artefacts lithiques des différents niveaux archéologiques de Noir Bois ne révèle rien de plus qu'un prélèvement de silex dans l'environnement immédiat et son débitage sur place. Les traces d'éventuelles autres activités n'ont pas subsisté, en raison d'une part de phénomènes érosifs ou de colluvions, de l'autre parce que les matières organiques n'ont pas résisté à l'altération et au temps.

D'un point de vue global, la situation des quatre gisements attestés néanmoins d'une présence moustérienne sur presque la totalité de l'emprise du site, qu'il s'agisse de stations en position primaire ou remaniée. A 500 m de là vers l'ouest, le site de Pré Monsieur figure également dans ce contexte de flanc de colline. Même en considérant la vaste période chronologique concernée par ces ensembles de vestiges (de l'Eémien au Pléni-glaciaire moyen), il est évident que la région de la colline de Noir Bois a attiré les Moustériens à plusieurs reprises. Sur la base des sources archéologiques disponibles, la raison de cet intérêt peut s'expliquer par la présence de silex à l'état naturel. Toutefois, contrairement à Pré Monsieur où l'on constate une exploitation intensive du silex d'Alle, les gisements de Noir Bois donnent une image quelque peu différente. En effet, le nombre d'artefacts par niveau archéologique reste peu élevé et le débitage des nucléus n'a pas été poussé très loin (chap. 9.3). Cette situation laisse entrevoir qu'une même source de silex a donné lieu, dans un cadre très local, à des modes d'exploitations bien distincts (chap. 9.4).



## 9.2 Provenance des silex moustériens (Jehanne Affolter)

### Introduction

L'industrie lithique des quatre ensembles moustériens d'Alle, Noir Bois constitue dans sa totalité un petit corpus de 488 pièces. A première vue, plusieurs matériaux y sont représentés, alors que le site de Noir Bois se trouve à proximité immédiate d'un affleurement de silex, qui a été largement utilisé à plusieurs périodes préhistoriques, et dont l'existence a certainement attiré les groupes humains qui occupaient la région.

Ce matériau local a été décrit en détail lors de l'étude du site voisin d'Alle, Pré Monsieur (Stahl Gretsch, Detrey et al. 1999), avec lequel le site d'Alle, Noir Bois montre de grandes similitudes, notamment en ce qui concerne le choix des matières premières utilisées. Il serait superflu de répéter cette caractérisation, de même que celle des autres matériaux retrouvés dans les deux sites. En revanche, il paraît intéressant de s'attacher à relever les similitudes et les divergences entre ces deux stations voisines.

### Protocole d'analyse

Deux niveaux à artefacts du site ont été retrouvés en place, alors que deux autres ensembles d'industrie lithique ont été en partie ou intégralement remaniés par des processus d'érosion ou de gélifluxion. En conséquence, l'industrie récoltée dans les zones non perturbées a été analysée de façon intégrale, alors que le reste du corpus a fait l'objet d'un tri typologique préliminaire par Jean Detrey (chap. 9.3.4). La méthode d'analyse employée ici équivaut à celle qui est classiquement utilisée par les géologues pour les roches calcaires. Cela se justifie par le fait que la plupart des silicifications proviennent de la diagenèse de sédiments calcaires, diagenèse qui ne détruit que peu les structures des roches. L'observation en lames minces est remplacée par l'examen sous la loupe binoculaire de la surface mouillée des silex, afin de ne pas détruire les pièces. L'analyse des calcaires, et donc celle des silex qui en dérive, repose sur l'identification de leur « microfaciès ». Le microfaciès correspond à l'ensemble des caractères sédimentologiques et paléontologiques d'une roche sédimentaire. Il reflète son milieu de formation et permet de retrouver non seulement l'âge, mais aussi la région précise d'origine.

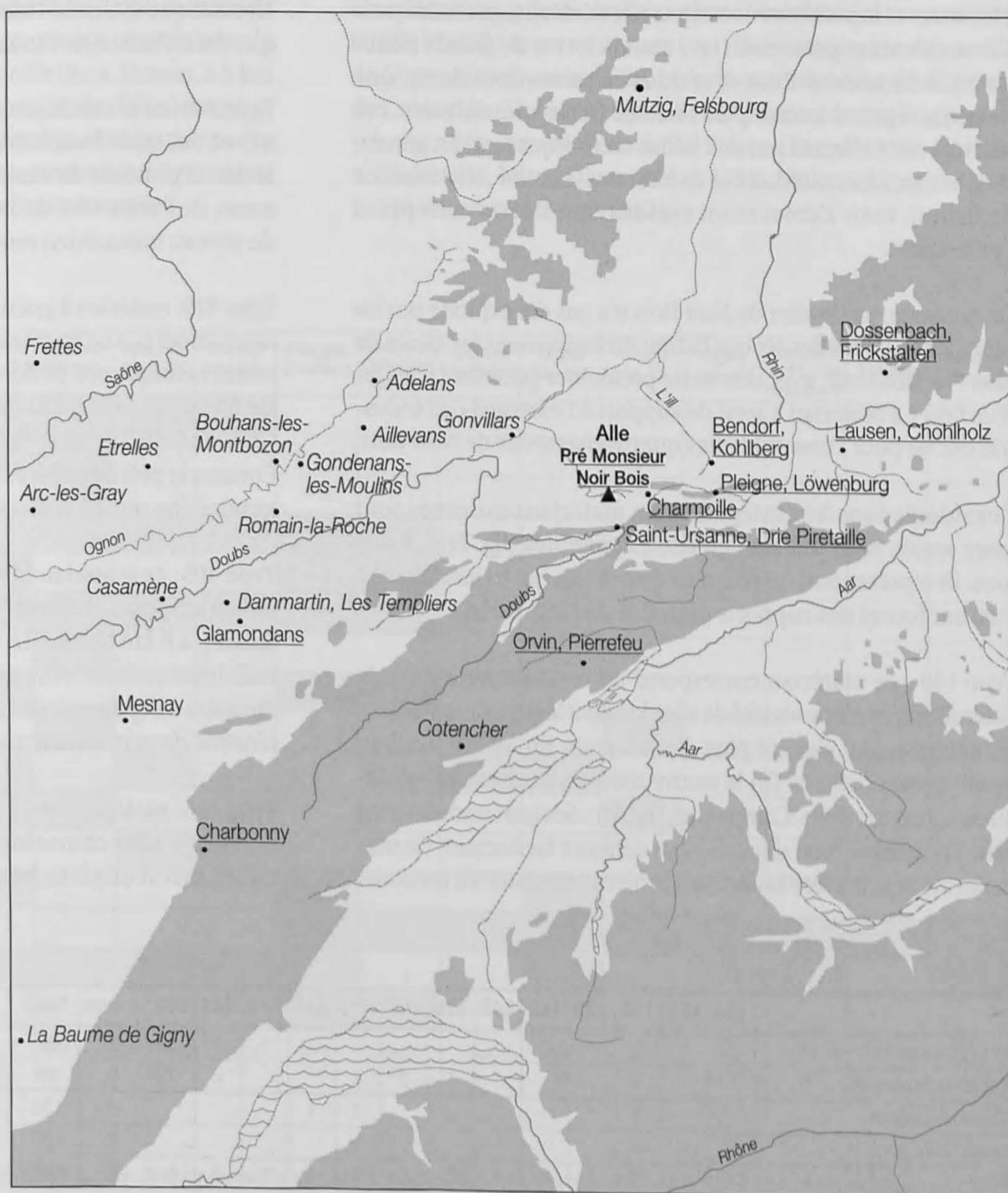


Fig. 70. Carte de provenance des différents types de silex rencontrés à Alle, Noir Bois (souligné) et des gisements archéologiques de Suisse, Franche-Comté et Alsace cités dans le texte (italique).



La description des microfaciès a déjà été publiée (Affolter 1991; Affolter 1997) et ne sera pas exposée de nouveau ici. Les « quartzites », dont le type 305 qui correspond aux « Oelquarzit » des auteurs germanophones, ne sont pas traités ici. Pour les autres sites, en l'absence d'une étude spécialisée sur ce groupe de roches, ce dernier a toujours été intégré à l'étude des silex, car la technologie utilisée pour le débitier et la typologie résultante sont celles des silex et diffèrent de celles qui sont utilisées pour les autres quartzites. L'analyse détaillée de ces roches a été réalisée lors de l'étude consacrée au site de Pré Monsieur (Rebmann 1999).

#### Les matériaux

Parmi les silex locaux d'Alle, plusieurs affleurements ont pu être distingués. Celui de Noir Bois présente un faciès où les décharges ooïdiques confèrent au matériau un grain moyen.

A Alle, Pré Monsieur (500 m à l'ouest de Noir Bois), les sédiments qui contiennent des accidents siliceux se sont formés dans les environs immédiats d'une plage. Ces faciès se différencient de celui d'Alle, Les Aiges (300 m au sud-est de Noir Bois) qui est un peu plus profond, par la plus grande abondance des bioclastes et la présence occasionnelle de décharges ooïdiques. Ces accidents se présentent tant sous la forme de grands nodules à silicification diffuse et résidus calcaires abondants, que de petits rognons à cœur plus siliceux. Occasionnellement, ces nodules sont affectés par des failles tectoniques qui en gênent le débitage. Ces matériaux se débitent assez bien (en l'absence de failles), mais s'émousent rapidement; ils résistent peu à l'utilisation.

On constate que le silex de Noir Bois n'a pas été exploité par les Moustériens. En effet, ils ont débité exclusivement les faciès de Alle, Pré Monsieur, avec une nette préférence pour les faciès les plus fins. Ce matériau a servi de support à l'essentiel de l'industrie (92 %) pour l'ensemble des quatre gisements de Noir Bois.

Considérés dans leur intégralité, les matériaux exogènes sont assez variés, mais toujours en faibles quantités (fig. 71a). A eux tous, ils représentent un peu plus de 6 % (les quartzites, quant à eux, ont fourni des supports pour 2 % de l'industrie).

Type 109 : ce matériau correspond au remaniement dans le Sidérolithique d'une variété de silex kimméridgien, dont l'affleurement primaire n'existe plus. Il a un grain fin, et une couleur brune caractéristique. On le trouve dans les poches sidérolithiques de Lausen (Bâle-Campagne) (fig. 70). Ses gros nodules sont dans l'ensemble bien silicifiés et se débitent facilement. Ce matériau a livré une pièce isolée dans le niveau moustérien remanié.

Type 135 : il s'est déposé dans un milieu vaseux, calme et abrité, de plate-forme marine pendant le Malm. Il se présente en gros nodules ronds à cortex crayeux épais. Une zonation souligne les degrés différents de silicification. Malgré cela, cette matière se taille aisément et autorise le débitage de pièces grandes et fines. Sa résistance à l'usure est moyenne. Il affleure à Bendorf (Haut-Rhin, France), à 15 km au nord-est du site. Il a été employé en faibles quantités dans les quatre ensembles archéologiques considérés de Noir Bois.

Type 138 : l'origine géographique de ce matériau lacustre à grain fin, daté de l'Eocène moyen à supérieur, n'est pas encore connue. Son débitage donne des surfaces irrégulières à cause de la présence d'oogones de Characées (*Gyrogona caelata* et *Chara* sp.). Il n'a été utilisé que dans le niveau moustérien supérieur d'Alle, Noir Bois.

Type 142 : c'est un matériau marin homogène, qui s'est formé en milieu circalittoral. Ses nodules de taille moyenne sont parfois affectés de failles tectoniques qui en limitent le débitage. Il présente une résistance moyenne à l'usure. Il affleure au sommet d'une petite falaise à Pleigne-Löwenburg (Jura, Suisse), à 15 km à l'est, où il a fait l'objet d'une exploitation en mine au Néolithique (Schmid 1982). On ne l'a retrouvé à Alle, Noir Bois que dans l'industrie moustérienne totalement remaniée.

Type 249 : ce matériau s'est formé en milieu marin pélagique. Il a livré des nodules relativement gros; la silicification n'est pas totale. Il provient de Mesnay (Jura, France), à 100 km au sud-ouest, de l'autre côté du Doubs. Il a fourni une pièce au corpus du niveau moustérien remanié.

Type 325: matériau à grain moyen et assez homogène (quand il ne contient pas de fragments osseux), qui s'est déposé en milieu marin néritique peu profond. Ses rognons peuvent atteindre plus de 20 cm et la silicification y est homogène. Il provient de Glamondans (Doubs, France), à 65 km à l'ouest-sud-ouest. Comme le précédent, il est présent uniquement dans le niveau moustérien remanié, sous la forme d'une pièce unique.

Type 405: ce matériau lité et de grain grossier s'est déposé en milieu infratidal. Il affleure à Saint-Ursanne, Drie Piretaille (Jura, Suisse), à 8 km au sud. La présence d'un litage conditionne sa taillabilité en favorisant son débitage dans la direction perpendiculaire à l'épaisseur des bancs (Affolter 1991). Une pièce a été récoltée dans le niveau moustérien remanié.

Type 415: matériau assez homogène, il contient de très nombreuses basales chitinoïdes de Foraminifères. Il s'est formé en milieu marin de plate-forme interne. Son affleurement le plus

	114	109	135	138	142	249	325	405	415	416	419	804	000	autres	Total
Ind. totalement remaniée	79		1		6						1	1	3	1	92
Industrie remaniée	75	1	3			1	1	1	1			2	1	3	89
Niveau supérieur	123		1	1					1	1				3	130
Niveau inférieur	171		3						1					2	177
<b>Total</b>	<b>448</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>488</b>

Fig. 71a. Décompte des différents types de silex selon les industries de Noir Bois.



proche de Noir Bois actuellement connu se situe sur le Chasseral (Berne), à 32 km au sud. Cette variété est représentée dans trois niveaux moustériens de Noir Bois, mais toujours à raison d'une pièce unique.

Type 416: ce silex lité s'est formé en milieu marin intertidal. Il affleure en bancs d'épaisseur variable, ce qui permet d'en extraire des pièces d'assez grande taille; le litage sédimentaire a induit une silicification différenciée, qui rend cette roche très sensible à la patine. Il provient de la région de Charbonny (Doubs, France), à 80 km au sud-ouest. Il a servi de support à une pièce du niveau moustérien supérieur de Noir Bois.

Type 419: récoltable le plus souvent sous la forme de petits fragments de bancs, ce matériau s'est déposé en milieu marin évaporitique (*sensu lato*). Il est truffé de particules de boue, mais celles-ci sont bien «chemisées»; la silicification est homogène et très poussée, ce qui donne au débitage des surfaces très lisses. Il vient de la région de Dossenbach, Frickstalten (Kreis Lörrach, Allemagne), à 60 km au nord-est, de l'autre côté du Rhin. Une pièce de l'industrie moustérienne totalement remaniée de Noir Bois est constituée dans ce matériau.

Type 804: il s'agit de la silicification en masse d'une colonie de Spongiaires. Des fragments analogues ont été trouvés lors de prospections dans la région de Charmoille (Jura, Suisse), à 5 km à l'est du site. C'est un matériau qui se débite difficilement et donne des surfaces d'éclatement rugueuses et irrégulières. On le rencontre à Noir Bois dans le niveau moustérien remanié et dans l'industrie moustérienne totalement remaniée.

## Discussion

Tous les matériaux exogènes identifiés dans les ensembles moustériens de Noir Bois ont été repérés dans l'industrie d'Alle, Pré Monsieur (fig. 71b) (Affolter 1999). Certains d'entre eux sont aussi présents dans d'autres sites jurassiens, alors qu'ils manquent totalement dans d'autres stations régionales. Si l'on tente une comparaison de tous ces sites en fonction de leurs datations relatives (avec les réserves liées à l'imprécision des datations pour ces périodes reculées), on peut dégager les traits suivants :

Une première phase d'occupation semble se situer dans l'Eemien, avant 110000 ans. Elle est marquée par les ensembles A et C d'Alle, Pré Monsieur (Stahl Gretsch, Detrey et al. 1999, p. 181) et les niveaux XIX et XX de Gigny (Campy et al. 1989). Sur la base des données stratigraphiques (chap. 5.5.1.2), le niveau moustérien inférieur d'Alle, Noir Bois, peut en être rapproché.

En ce qui concerne l'approvisionnement en matières premières, ces assemblages sont caractérisés par un large choix de variétés originaires de l'ensemble du massif jurassien. Ils ne présentent en revanche aucun matériau extérieur à cette zone.

Une deuxième phase correspond au Pléniglaciaire moyen, vers 60 000 à 50 000 ans avant notre ère. Elle comprend le niveau XV de Gigny (Campy et al. 1989) et le niveau supérieur de la grotte de Cotencher (Dubois et Stehlin 1933). Il semble que l'on puisse y inclure les sites de Romain-la-Roche (Paupe 1996), Etreilles (CRDA 1991), Mutzig (Sainty et al. 1993), Pleigne, Löwenburg et Les Plaints (Le Tensorer 1993).

Type	Code	Alle PM ens. A	Alle PM ens. C	Alle NB niv. rem.	Alle NB niv. sup.	Alle NB niv. inf.	Pleigne Löwenburg	Rochefort Cotencher niv. sup.	Couvet Les Plaints	Gigny niv. XIX	Gigny niv. XX	Gigny niv. XV	Romain-la-Roche couche V	Etreilles	Mutzig Felsbourg
Alle	114														
Charmoille	804														
Saint-Ursanne	405														
Bendorf	135														
Pleigne	142														
Orvin (Chasseral)	415														
Lausen	109														
Dossenbach	419														
Glamondans	325														
Charbonny	416														
Mesnay	249														
Origine inconnue	138														
Absents Noir Bois	autres														
Absents Alle	autres														
Quartzites vosgiens															
Quartzites alpins															
Rapport silex / quartzite		trois / un	deux / un	trente / un	cinquante / un	cent / un	cent / un	sept / un	zéro	cent / un	zéro	trois cents/un	cent / un	zéro	un / cent

Fig. 71b. Occurrence des matériaux présents à Alle, Noir Bois et dans d'autres sites moustériens de la région (NB: Noir Bois; PM: Pré Monsieur).



Type	Code	Distance	Direction	Nb de rivières	Dénivelée
Alle	114				
Charmoille	804	■	→		
Saint-Ursanne	405	■	↘	~	
Bendorf	135	■	↗	~	
Pleigne	142	■	→	~	
Orvin, Pierrefeu	415	■	↘	~	
Lausen	109	■	↗	~	
Dossenbach	419	■	↗	~	
Glamondans	325	■	↗	~	
Charbonny	416	■	↗	~	
Mesnay	249	■	↗	~	

Fig. 72. Distances et dénivelées entre les gîtes d'origine des silex exogènes et le site d'Alle, Noir Bois.

Il a été proposé, à partir de données sédimentologiques, de situer l'ensemble B d'Alle, Pré Monsieur (Stahl Grets, Detrey et al. 1999, p. 181) dans cette phase. Grâce aux datations TL (chap. 7.1), le niveau supérieur de Noir Bois peut également être positionné dans cette période. Toutefois, l'industrie ne permet pas de réaliser de rapprochement autre que chronologique entre ces différents sites. Les matériaux employés dans chaque site jurassien témoignent toujours de déplacements dans le massif, mais les spectres sont plus réduits que lors de la phase précédente, et l'on peut envisager une réduction des territoires effectivement parcourus. Ainsi, les sites extérieurs au massif jurassien comme Mutzig, Romain-la-Roche ou Etreilles, ne comportent dans leur corpus aucun matériau issu de cette même chaîne jurassienne.

Si l'on considère le territoire dessiné par les matières présentes dans l'industrie remaniée, il semble que cette dernière ait des affinités avec les ensembles A et C d'Alle, Pré Monsieur. Sur la base de ces constatations, on pourrait éventuellement considérer que le niveau moustérien remanié d'Alle, Noir Bois corresponde à une lentille de sédiment issue du niveau inférieur, toutefois cette hypothèse est en contradiction avec les données stratigraphiques du gisement (chap. 4.6).

Ces considérations doivent cependant être nuancées par la prise en compte des industries sur quartzites. En effet, on pourrait s'attendre à ce que le recours aux quartzites soit prépondérant dans les zones dépourvues de gîtes de silex, comme c'est le cas à Mutzig, et qu'il soit anecdotique dans les sites sur affleurements, situation illustrée par Etreilles par exemple. Or les ensembles A et C d'Alle, Pré Monsieur ainsi que les industries de Noir Bois montrent d'une part une utilisation des quartz et quartzites d'origine régionale relativement importante, d'autre part un recours à des roches volcaniques d'origine vosgienne. La césure entre, d'un côté, les silex et, de l'autre, les quartzites et les roches volcaniques est une vision moderne. En effet, bien des roches volcaniques montrent des qualités du point de vue de la taille et de l'utilisation équivalentes, voire supérieures à certains silex (Rebmann et Detrey, à paraître).

### 9.3 Étude technologique et typologique

(Jean Detrey)

Une des particularités des gisements d'Alle, Noir Bois est d'être située dans une région riche en silex. Au travers d'une approche technologique, les études qui vont suivre ont donc pour objet, lorsque le corpus étudié l'autorise, de mettre en évidence les comportements des groupes humains considérés face à la gestion de la matière première et des supports débités. L'analyse typologique va permettre de compléter cette approche mais également de discuter des problèmes d'attributions culturelles.

#### 9.3.1 L'industrie du niveau inférieur (unité sédimentaire E8)

##### Définition du corpus d'étude

Cette industrie est composée de 177 artefacts qui comprennent 85 % de produits de débitage non retouchés et 11 % de nucléus (fig. 73). Le corpus d'outils quant à lui est très faible avec seulement six individus.

##### Les modes de production

Le seul mode de production standardisé rencontré est le débitage Levallois. On compte 45 % de nucléus portant les traces de ce concept. Les produits Levallois quant à eux représentent 10 % des produits de débitage, ce ne sont pratiquement que des éclats atypiques (fig. 74. 5-7) ; c'est-à-dire que la majeure partie de la pleine production est absente du site.

Il n'y a pas de module préférentiel pour ces nucléus dont les longueurs s'échelonnent entre 41 et 78 mm et les largeurs entre 43 et 82 mm. Les épaisseurs sont relativement importantes avec une moyenne de près de 27 mm, la plus grande étant de 39 mm.

	Nb	Total
<b>Produits de débitage</b>		
Produits corticaux	74	<b>151</b>
Produits ordinaires	58	
Produits laminaires	4	
Produits Levallois	15	
<b>Nucléus</b>		
Levallois	9	<b>20</b>
Prismatique	0	
Divers	7	
Rognons testés	4	
<b>Outils</b>		
Perçoir	1	<b>6</b>
Encoches	3	
Retouche sur face plane	1	
Chopper	1	
<b>Total</b>		<b>177</b>

Fig. 73. Tableau de décomptes de l'industrie du niveau moustérien inférieur.



Deux de ces nucléus sont cassés. La variabilité des dimensions montre que les blocs choisis étaient très divers, mais également que le réaménagement n'était pas systématique. Seul deux nucléus portent des traces de remise en forme de la surface de débitage.

Il s'agit dans un cas de remettre en place la convexité distale par une série de courts enlèvements orthogonaux (fig. 75.3). Sur l'autre nucléus, le tailleur a tenté de supprimer la concavité du contre-bulbe de l'éclat de plein débitage par un éclat débordant qui a rebroussé. Toutefois, les réaménagements ont pu concerner d'autres pièces, notamment les nucléus Levallois subcirculaires dont les plans de frappe sont souvent préparés (fig. 75.2). En effet, la forme circulaire de la surface de débitage (fig. 75.4) ainsi que la préparation totale des plans de frappe sont deux phénomènes qui résultent souvent de l'entretien des caractéristiques techniques des nucléus.

Lors de la première phase de mise en forme, la prédétermination est assurée par des enlèvements soit orthogonaux soit centripètes (fig. 75.5), la forme du support ne semble pas être un facteur influant quant au mode de mise en place des convexités latérales et distale. La préparation des plans de frappe est partielle; elle ne se développe que sur certains nucléus au fur et à mesure des réaménagements. Cet aménagement ne se retrouve que sur une partie des talons des éclats, le facetage atteint à peine plus de 30 % des pièces (fig. 74.3); il n'y a aucun talon dièdre. Les talons lisses sont les plus nombreux.

Le reste du débitage ne présente pas de mode de production prédéterminé. On rencontre notamment des nucléus réunis sous le terme général de globuleux. Sur ces nucléus, chaque surface débitée devient le plan de frappe de la face exploitée suivante. Ce type de gestion du volume exploité s'apparente au SSDA (Système par Surface de Débitage Alterné) mis notamment en évidence sur l'industrie de High Lodge en Angleterre (Forestier 1993). A Noir Bois, ce système présente des caractères propres induits en partie par la forme et les dimensions des rognons. Le débitage est successif sur les faces et non alternant; lorsqu'une face devient plan de frappe, elle ne sera plus débitée alors que, dans le SSDA, elle peut être de nouveau exploitée. C'est pourquoi ce mode opératoire est déterminé comme Système par Surface de Débitage Successif (SSDS). Le débitage atteint un maximum de trois faces du nucléus, soit trois épisodes ou phases d'exploitation (fig. 75.7,8). Les dimensions réduites des rognons exploités impliquent un nombre limité d'enlèvements par surface, rarement plus de deux et souvent uniques. Un seul nucléus voit le débitage s'étendre à une quatrième face; l'exploitation des surfaces devient alors récurrente, c'est-à-dire que le débitage continue à se développer en revenant sur une surface précédemment exploitée.

En l'absence d'entretien des surfaces de débitage, comme cela peut exister dans le débitage Levallois, l'étendue du débitage à une nouvelle surface est une réponse simple et rapide à la volonté de poursuivre l'exploitation du rognon. Le nucléus à débitage unifacial retrouvé dans cette série est très certainement un nucléus géré selon le même procédé mais arrêté après la première étape d'exploitation (fig. 75.6).

Les produits obtenus ne présentent pas de caractères spécifiques; ce sont surtout des éclats corticaux ou d'entame, ainsi que des couteaux à dos naturel (fig. 74.10-12) ou des éclats à cortex résiduel. Ce qualificatif de cortex résiduel n'est pas à prendre dans le sens géologique de l'expression mais dans celui de la présence de cortex sur moins de 50 % de la face dorsale de l'éclat (Detrey 1999a, p. 84). Comme les surfaces ne sont exploitées qu'une seule fois et ce, d'une manière limitée, les produits corticaux sont les plus nombreux, près de 50 % des supports obtenus. Les produits ordinaires ne représentent que 34,5 % du corpus des produits de débitage. Les éclats issus de ce procédé portent dès le deuxième épisode de production un talon généralement concave, qui est la marque caractéristique laissée par l'enlèvement antérieur (Amiot 1993). Il existe quelques rares exemplaires dièdres ou facetés.

La production de supports a également été assurée par deux nucléus prismatiques. Toutefois, il s'agit de caractéristiques morphologiques et non le résultat d'un mode de débitage spécifique. En effet, la production de lames n'est pas systématisée, seuls cinq produits laminaires débités de manière aléatoire ont été retrouvés (fig. 74.1).

La matière locale n'est pas la seule présente dans cette industrie, on trouve également deux artefacts en matières allochtones. Il s'agit de deux produits bruts de débitage: l'un est un éclat à cortex résiduel en silex de Bendorf (Haut-Rhin, France), l'autre est un fragment d'éclat simple en quartz laiteux d'origine probablement régionale.

### L'outillage

Le nombre d'outils est fort modique, il ne se compose que de six pièces, uniquement façonnées en matière locale. La faiblesse du corpus ne permet pas de réaliser d'attribution à une quelconque forme de Moustérien.

Cette série est composée de trois encoches (fig. 74.14-16), d'un perçoir atypique (fig. 74.13) et de deux pièces retouchées, l'une sur face plane (fig. 74.17), l'autre sur les deux faces. Cette dernière pièce est aménagée sur un fragment naturel et peut éventuellement être rapprochée d'un chopping tool.

### Interprétation

L'industrie du niveau inférieur (unité sédimentaire E8) est caractérisée par une production d'éclats, avec une bonne représentation du débitage Levallois. L'absence de biface et le mode d'acquisition des supports d'outils permettent de situer cette industrie dans le complexe moustérien, sans toutefois pouvoir aller plus avant dans la détermination.

La position stratigraphique du matériel place cette occupation soit au début du Glaciaire ancien, soit plus probablement dans l'Émien s.s., c'est-à-dire avant 117-119 000 BP (chap. 5.5.1.3). Jusqu'à ces dernières années, les occupations moustériennes sur le territoire suisse étaient généralement placées entre 35 000 et 50 000, avec une date maximale autour de 60 000/70 000 pour Pleigne, Löwenburg (Le Tensorer 1993; 1998). Dans une récente



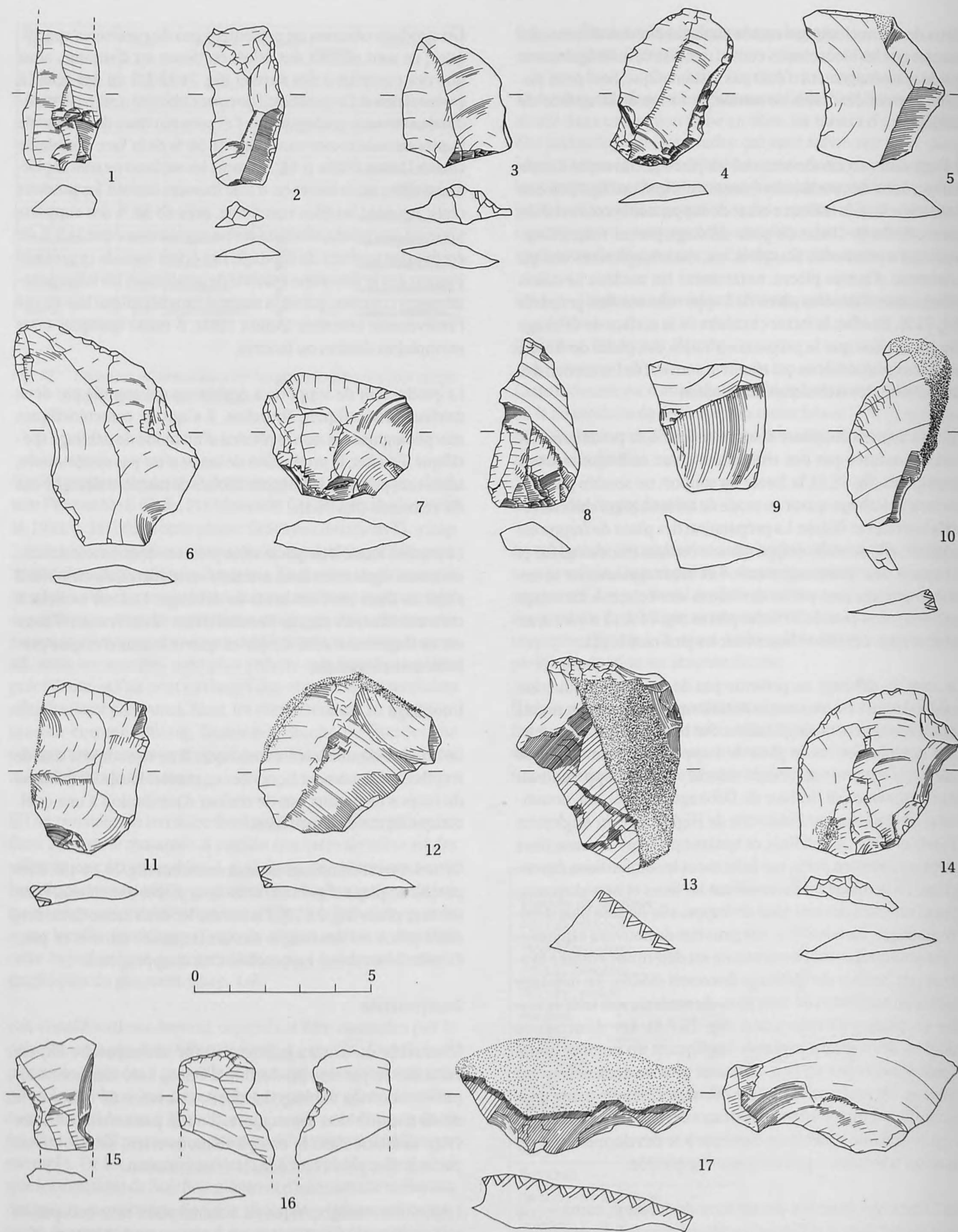


Fig. 74. **Niveau moustérien inférieur.** 1. Fragment de lame (992/16778); 2. Lame Levallois (992/16818); 3. Pointe Levallois (992/16799); 4. Eclat Levallois typique (991/16679); 5-7. Eclat Levallois atypique (991/16664, 991/16740, 991/16710); 8. Eclat débordant Levallois (992/16769); 9. Pointe pseudo-Levallois (991/16657); 10-12. Couteau à dos naturel (991/16662, 992/16779, 991/16734); 13. Perçoir atypique (992/16793); 14. Encoche en bout (992/16733); 15-16. Encoche (991/16717, 991/16738); 17. Retouche sur face plane (991/16684). **Provenance des matières:** 1-17. Silex d'Alle, Jura, Suisse (114).



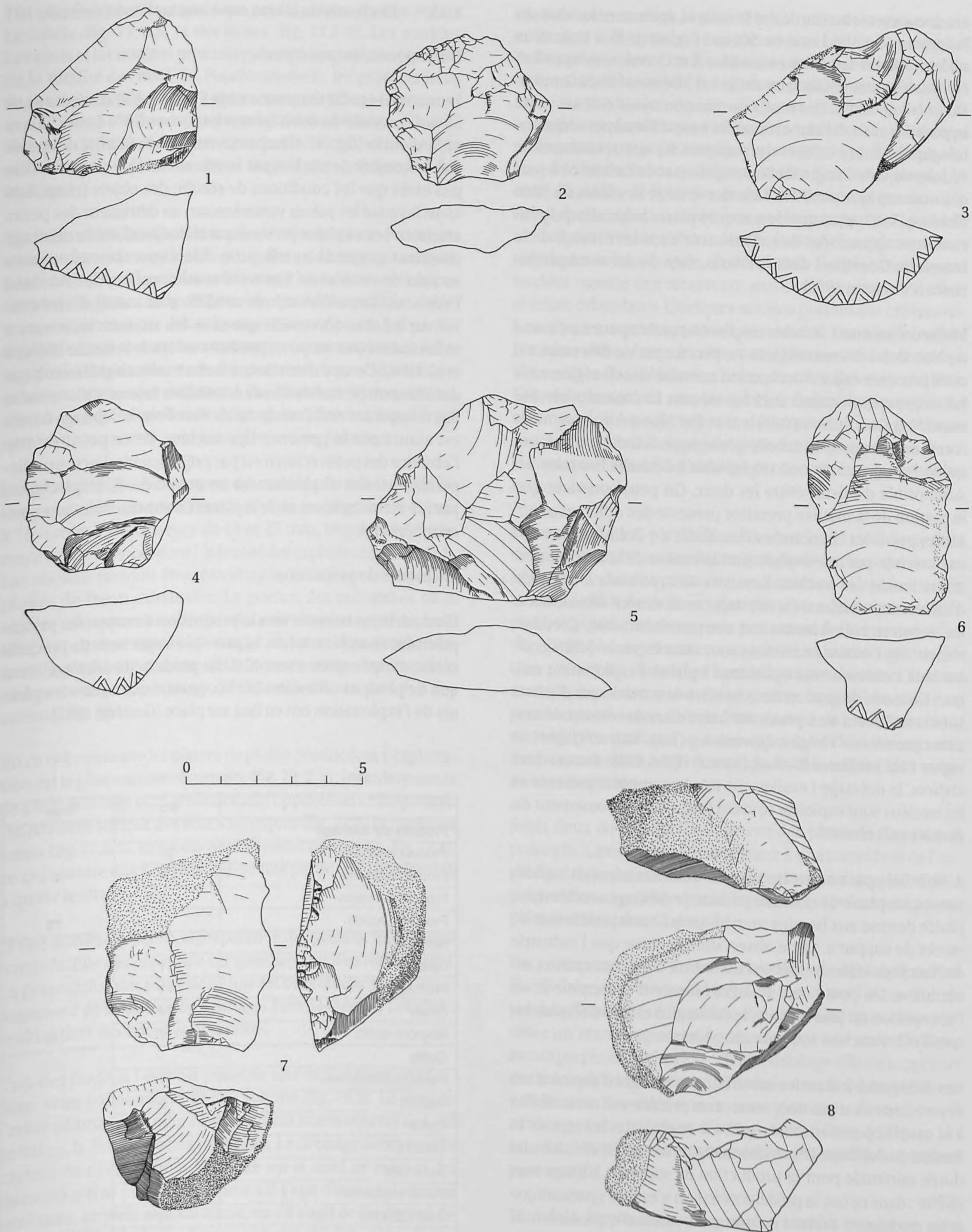


Fig. 75. Niveau moustérien inférieur. 1, 4. Nucléus Levallois récurrent à enlèvements opposés (992/16720, 992/16825); 2-3. Nucléus Levallois linéal (991/16656, 992/16797); 5. Ebauche de nucléus Levallois (991/16763); 6. Nucléus à débitage unifacial unipolaire (992/16832); 7-8 Nucléus SSDS (992/16701, 991/16771). Provenance des matières: 1-8. Silex d'Alle, Jura, Suisse (114).



étude consacrée au site de Pré Monsieur, également localisé sur la commune d'Alle à environ 500 m à l'ouest de Noir Bois, deux séries lithiques appelées ensembles A et C avaient néanmoins été situées entre le Glaciaire ancien et l'Eémien (Stahl Grets, Detrey et al. 1999). Les essais de datation ayant échoué, cette hypothèse avait été élaborée sur la base d'éléments sédimentologiques (Aubry 1999) et typologiques. Il s'agit notamment de racloirs déjetés d'angle, de Bogenspitzen et de racloirs obliques qui trouvent leur parallèle dans des sites de la vallées du Rhin (Bosinski 1967) ainsi que de quelques pièces bifaciales qui peuvent être rapprochées de celle trouvée dans le niveau F de la baume de Gonvillars dans le Doubs, daté du dernier Interglaciaire (Pétrequin 1970).

Malheureusement, le faible corpus disponible pour l'industrie de Noir Bois –niveau inférieur ne permet pas de déterminer si cette première vague d'occupation humaine dans la région est le fait de groupes de même tradition ou non. La contemporanéité entre Noir Bois –niveau inférieur et Pré Monsieur –ensembles A et C est proposée à l'échelle géologique. Il faut bien préciser qu'un laps de temps non négligeable à l'échelle humaine est susceptible d'exister entre les deux. On peut constater que la gestion de la matière première présente des différences notables entre les deux industries. Celle de Pré Monsieur est caractérisée par une exploitation intensive de la matière première locale, les nucléus Levallois sont poussés à un stade d'exhaustion maximal du débitage; ceux-ci sont diminutifs et les derniers enlèvements ont souvent rebroussé. Corollairement, les besoins immédiats sont assurés par le débitage de nucléus à enlèvements unifaciaux à phase d'exploitation unique. Ce mode de gestion de la matière se retrouve sur d'autres sites installés sur ou à proximité immédiate de sources de matières premières: Pleigne, Löwenburg (Jura, Suisse) (Jagher et Jagher 1987) et Jiboui (Drôme, France) (Tillet 1998). Sur ces deux ateliers, le débitage Levallois est très largement représenté et les nucléus sont exploités souvent jusqu'au rebroussement du dernier enlèvement.

A Noir Bois par contre, les nucléus sont abandonnés rapidement sans phase de réaménagement; le débitage semble donc plutôt destiné aux besoins immédiats qu'à une production de stocks de supports. Cette observation indique que l'industrie de Noir Bois –niveau inférieur est le fruit d'une occupation assez brève. On peut noter qu'à Pré Monsieur –ensemble B, où l'occupation est plus récente, le débitage n'est pas non plus intensif et les nucléus sont vite abandonnés.

Ces différentes industries montrent que le degré d'exploitation des nucléus n'est pas uniquement un problème d'accessibilité à la matière première, mais qu'il est en étroite relation avec la finalité du débitage. L'investissement de temps est réduit à une durée minimale pour la production de supports à usage non différé: dans ce cas, la prédétermination n'est pas systématique et les nucléus ne portent qu'une seule phase d'exploitation. Si le but est la production d'un stock en vue d'un usage différé, la prédétermination et la standardisation (Levallois, lames ou autre) sont la règle et les nucléus présentent plusieurs phases d'exploitation. L'investissement de temps et de savoir-faire est régi par le moment d'utilisation de l'artefact: différé ou immédiat.

### 9.3.2 L'industrie du niveau supérieur (unité sédimentaire E7)

#### Définition du corpus d'étude

Le matériel étudié dans cette série s'élève à 130 artefacts dont 58 % de produits de débitage non retouchés, 30 % de nucléus et 12 % d'outils (fig. 76). Comparativement à la totalité du matériel, le nombre de nucléus est extrêmement important. Il n'est pas exclu que les conditions de récolte des objets (chap. 1.3) aient favorisé les pièces volumineuses au détriment des petits artefacts. Les modules présents parmi les produits de débitage montrent que seuls les très petits éclats sont absents ou rares au sein de cette série. Les travaux autoroutiers de l'A5 dans l'Yonne ont imposé les mêmes conditions de travail; il a été évalué sur les sites découverts que seuls les artefacts inférieurs à trois centimètres ont pu ne pas être vus lors de la fouille (Deloze et al. 1994). Ce type d'artefacts a surtout valeur significative sur des sites non perturbés afin de déterminer la localisation exacte des zones d'activité. Dans le cas de Noir Bois, le débitage *in situ* est assuré par la présence des nucléus, de ce point de vue l'absence des petits éclats n'est pas préjudiciable. Le corpus disponible permet d'appréhender les modes de débitage choisis par les Préhistoriques et de replacer l'industrie dans son contexte régional.

#### Les modes de production

L'industrie est orientée vers la production de supports, principalement en matière locale. La présence importante de produits corticaux, qui représentent 40 % des produits de débitage, ainsi que de produits ordinaires (32 %), montre que toutes les phases de l'exploitation ont eu lieu sur place (Geneste 1985).

	Nb	Total
<b>Produits de débitage</b>		
Produits corticaux	30	75
Produits ordinaires	24	
Produits laminaires	8	
Produits Levallois	13	
<b>Nucléus</b>		
Levallois	11	39
Prismatiques	11	
Divers	14	
Rognons testés	3	
<b>Outils</b>		
Pointe moustérienne	1	16
Racloirs	6	
Burins	2	
Encoche	1	
Denticulés	3	
Pièces tronquées	2	
Eclat retouché	1	
<b>Total</b>		

Fig. 76. Tableau de décomptes de l'industrie du niveau moustérien supérieur.



Les produits recherchés sont principalement des éclats Levallois (fig. 77.1-3) et des lames (fig. 77.7-9). Les nucléus Levallois et les nucléus prismatiques représentent chacun 28 % de la totalité des nucléus. Paradoxalement, les produits issus de ces deux modes de débitage ne composent respectivement que 17 % et 11 % du corpus des produits de débitage. C'est-à-dire qu'une partie de la pleine production a été destinée à une utilisation en dehors du site; il s'agit d'une anticipation des besoins.

Sur les nucléus Levallois, le mode de mise en place des convexités est fortement influencé par la forme du rognon-support. Les blocs subquadrangulaires favorisent les enlèvements opposés ou orthogonaux (fig. 79.3) tandis que les formes circulaires voient se développer des enlèvements centripètes. Il n'y a pas de relation stricte entre les aménagements centripètes, le débitage linéal et le dernier stade d'exploitation des nucléus comme cela a pu être mis en évidence à Pré Monsieur (Detrey 1999a), c'est-à-dire qu'à Noir Bois le débitage linéal ne correspond pas systématiquement à la dernière phase d'exploitation.

La variabilité des dimensions des nucléus Levallois, dont les longueurs s'échelonnent de 46 à 82 mm, les largeurs de 41 mm à 79 mm et les épaisseurs de 14 et 27 mm, témoignent également des différences dans l'intensité des exploitations (fig. 79.4). Les nucléus peuvent être réaménagés, mais ils ne sont pas exploités de façon exhaustive. La gestion des convexités de la surface est souvent assurée par des enlèvements opposés, mais elle peut aussi se limiter à la remise en forme d'une seule convexité latérale, soit par une série de courts éclats sécants, soit le plus souvent par le débitage d'éclats débordants, parfois à dos naturel (fig. 79.1).

En ce qui concerne les phases de pleine production, l'exploitation est le plus souvent récurrente (fig. 79. 2, 3); les enlèvements de plein débitage sont généralement opposés ou orthogonaux. On retrouve surtout des éclats atypiques (fig. 77.2) et quelques lames (fig. 77.5, 6), auxquels vient s'ajouter une pointe (fig. 77.4), ce qui montre une nouvelle fois qu'une partie de la production a quitté le site.

D'une manière générale, la préparation des plans de frappe reste partielle. Elle devient totale sur quelques nucléus réaménagés. La préparation des plans de frappe est concomitante de l'aménagement de la surface de débitage. Parmi les éclats Levallois, seul un tiers des talons sont facettés.

L'un des nucléus Levallois présente une exploitation particulière, voire antinomique, de son volume (fig. 79.5). Le long de l'arête délimitant le plan Levallois, trois lames courtes ont été extraites, la dernière ayant rebroussé. Le débitage débute sur la surface du nucléus, pour s'étendre sur le bord de celui-ci. La question qui se pose est de savoir s'il s'agit d'une exploitation laminaire, au plein sens du terme, ou s'il s'agit de l'entretien de la convexité latérale par l'intermédiaire d'éclats débordants. Dans ce dernier cas, l'inclinaison du négatif de l'éclat n'empiète que modérément sur le bord du nucléus, afin de jouer pleinement son rôle prédéterminant pour la poursuite du débitage. Cette solution semble peu probable pour le nucléus

en question; en effet, le plan d'éclatement de cette lame est nettement orthogonal par rapport au plan Levallois et son plan de frappe est orienté en fonction de cette zone débitée, et non en fonction de la surface. Il s'agit donc probablement d'une tentative de production de lames à partir d'un nucléus dont la conception volumétrique est Levallois, mais dont l'exploitation se singularise par la gestion d'un volume et non celle d'une surface. Le site de Rocourt (Belgique), dont l'industrie est placée entre l'épisode de Saint-Germain I (stade isotopique 5c) et le début du Pléniglaciaire inférieur (stade isotopique 4), possède une importante série de nucléus présentant les mêmes caractéristiques volumétriques (Boëda 1990). L'exploitation de ces nucléus montre une récurrence entre enlèvements de surface et éclats débordants. Quelques nucléus portant des critères volumétriques de concept Levallois, associés à une initialisation par lame débordante à crête, ont également été reconnus à Vinneuf, Les Hauts Massous (Yonne, France) (Deloze et al. 1994). Toutefois, le nucléus rencontré à Noir Bois n'est pas suffisamment exploité pour pouvoir déterminer s'il s'agit d'une conception volumétrique identique avec le même type de récurrence ou bien si l'exploitation se concentre uniquement sur le bord du nucléus.

Cette exploitation particulière d'un nucléus Levallois permet de faire la transition avec l'autre groupe de nucléus qui domine le corpus: celui des prismatiques destinés à la production de lames. Le choix des tailleurs s'est porté vers des fragments subparallélépipédiques de rognons présentant des arêtes naturelles (fig. 79.8), plus rarement une convexité naturelle. Cette sélection permet de remplacer l'aménagement de crête. Seul un nucléus, bipolaire, présente une crête, irrégulière, située en position postérieure. Il s'agit donc souvent de blocs présentant un profil plus étroit que les autres types de nucléus. Néanmoins, il n'y a pas de modules préférentiels, les dimensions sont extrêmement variables.

Seuls deux de ces nucléus portent des plans de frappe non préparés. L'aménagement se résume à une correction de l'angle de chasse par un seul enlèvement large. La simplicité de la préparation se retrouve parmi les lames qui présentent principalement des talons lisses.

Il n'y a aucune trace d'entretien des tables de débitage par l'intermédiaire de crête. Le cintrage est assuré par l'extraction de produits laminaires débordants (fig. 79.9). Seul un nucléus présente un réaménagement du cintrage par une série d'enlèvements perpendiculaires à sa table de débitage afin de supprimer des traces de rebroussement. Généralement le débitage est unipolaire avec des enlèvements semi-tournants; dans ce cas, le carénage ne fait l'objet d'aucun entretien spécifique. Les rebroussements, causés par des carénages insuffisants, ne sont pas rares (fig. 79.11).

Toutefois, on peut voir sur quelques nucléus bipolaires, ainsi que sur une lame outrepassée (fig. 77.10), que des enlèvements opposés peuvent intervenir dans l'entretien du carénage (fig. 79.7), par exemple en venant supprimer les traces laissées par un négatif de lame rebroussée (fig. 79.11). Ces exemples montrent qu'il existe une grande variabilité dans l'obtention des lames.



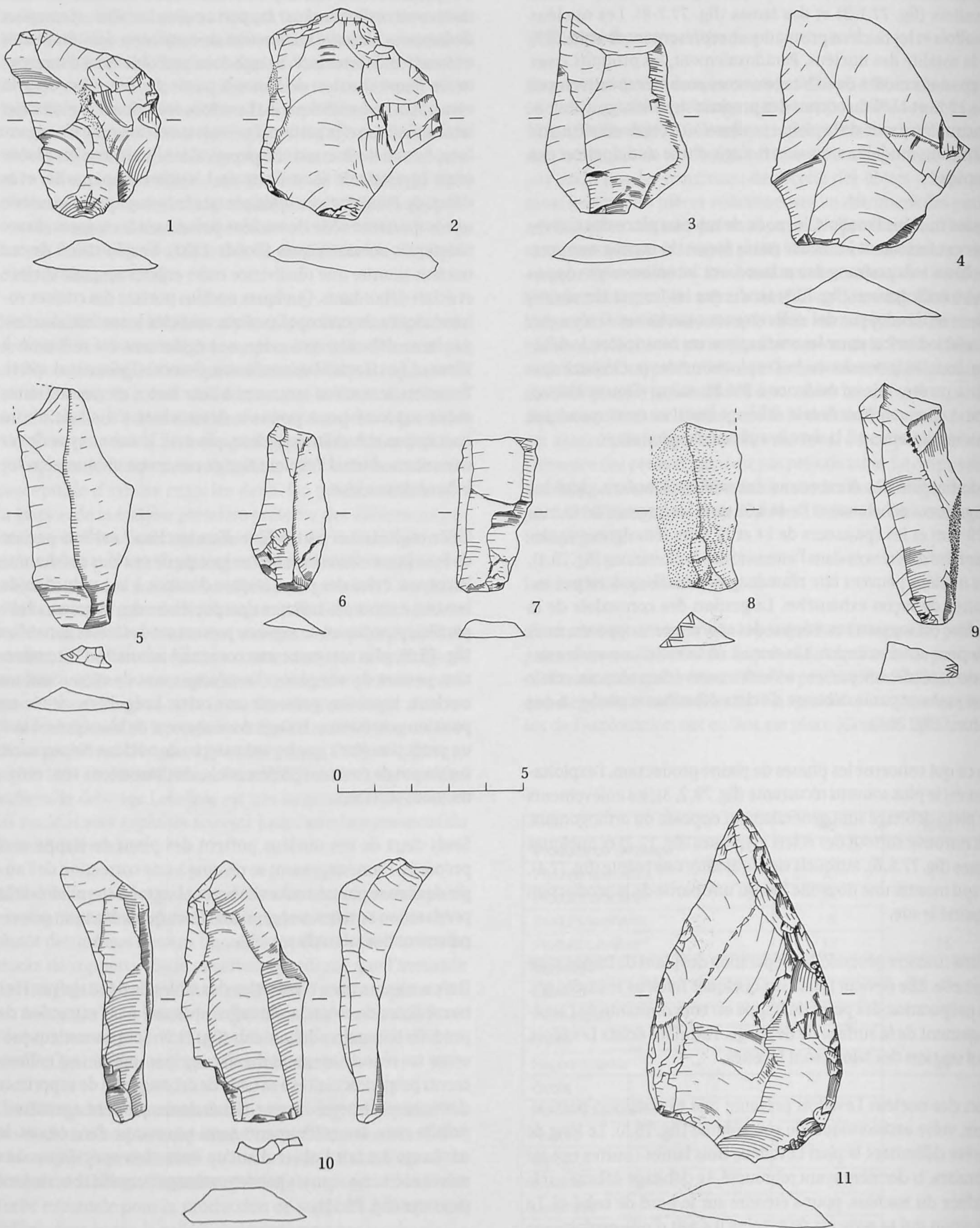


Fig. 77. Niveau moustérien supérieur. 1, 3. Eclat Levallois typique (991/10515, 991/16593); 2. Eclat Levallois atypique (991/10523); 4. Pointe Levallois (991/10540); 5-6. Lame Levallois (991/10520, 991/16638); 7-10 Lame (991/10525, 991/10532, 991/16623, 991/10511); 11. Pointe moustérienne (991/10524). Provenance des matières: 1-7, 9-10. Silex d'Alle, Jura, Suisse (114); 8. Quartzite gris cendreuse, Vosges, France; 11. Silex d'Orvin, Pierrefeu, Berne, Suisse (415).



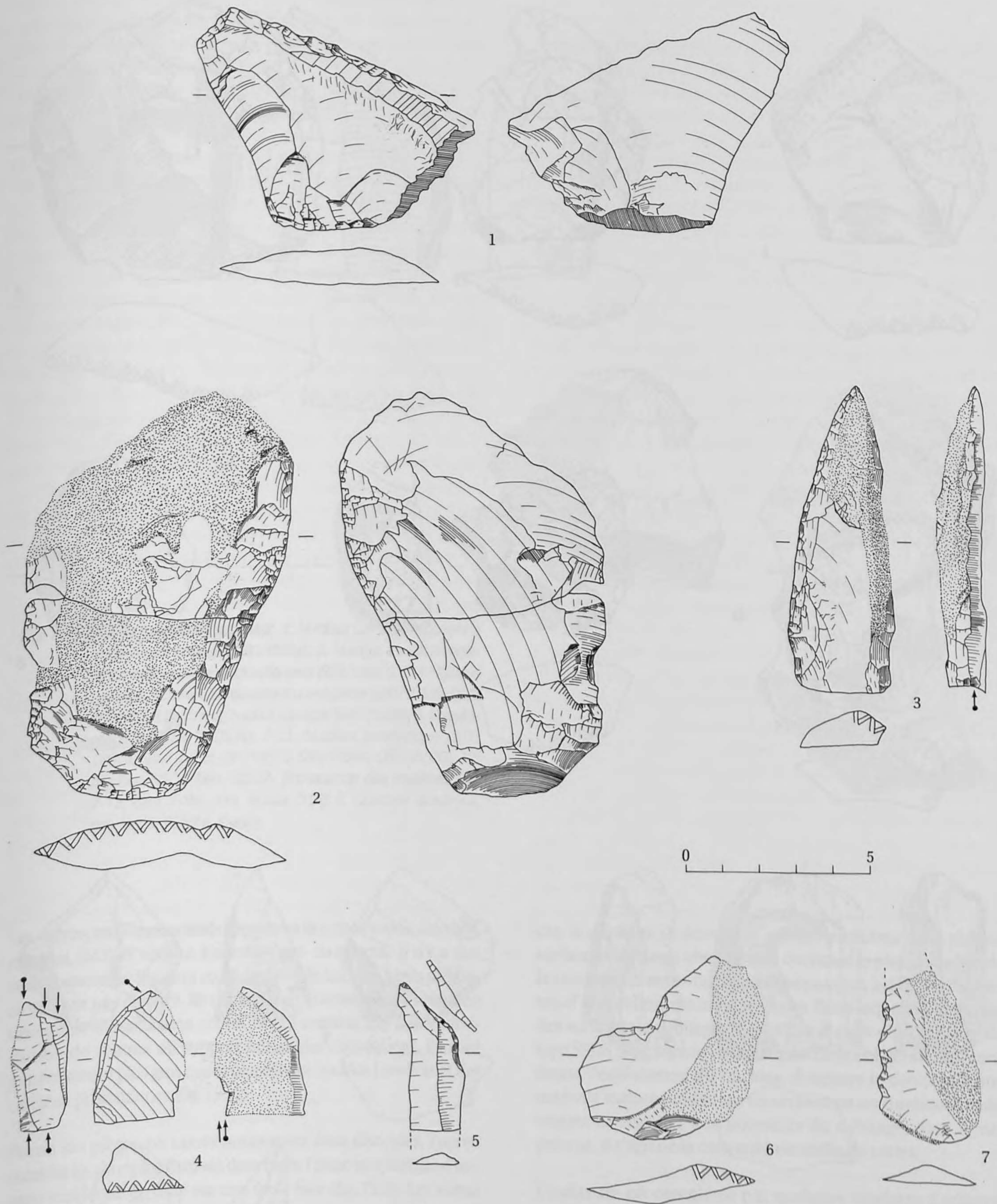
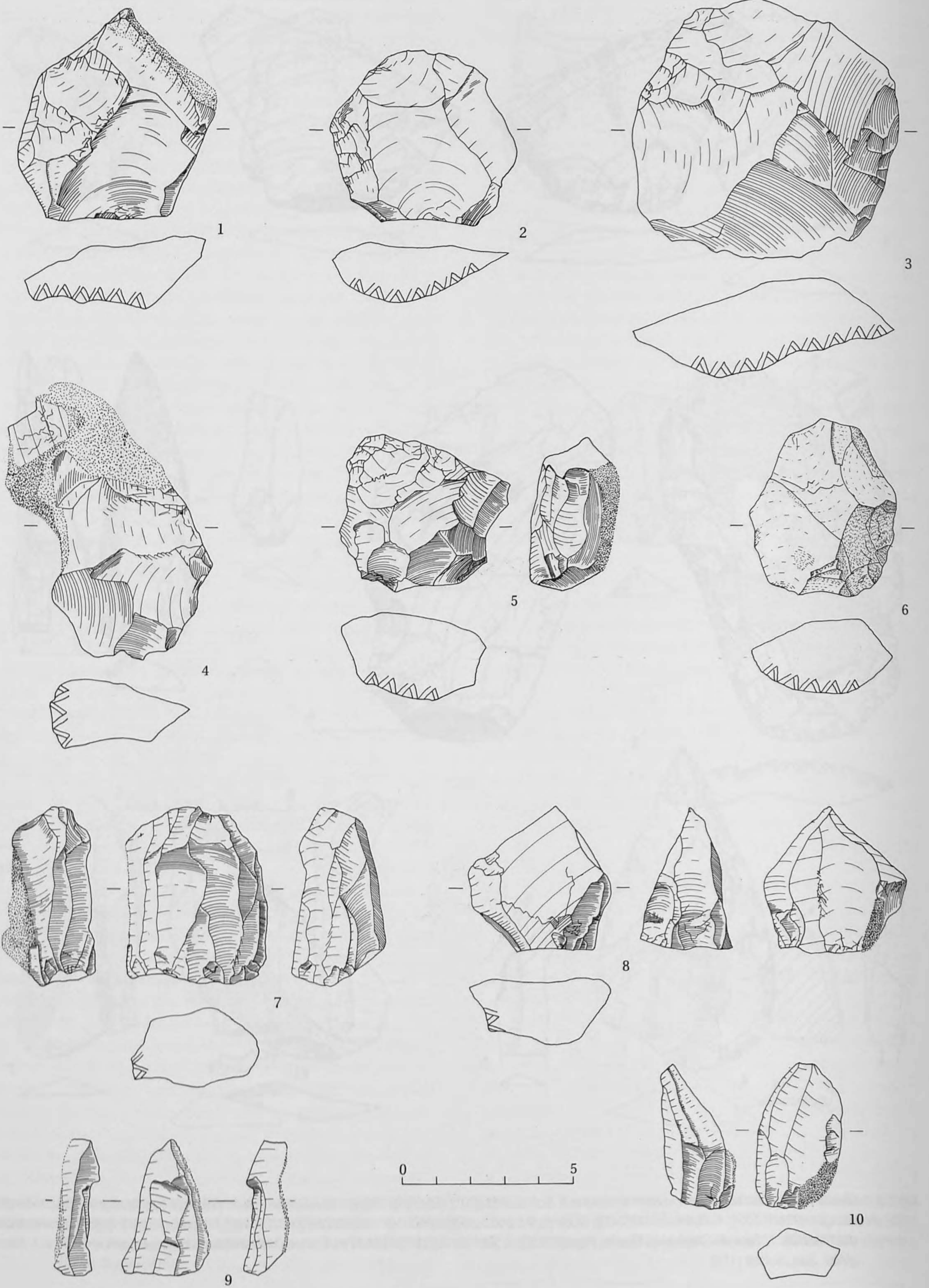


Fig. 78. Niveau moustérien supérieur. 1. Racloir oblique à dos aminci (991/10541); 2. Racloir à retouche biface (991/10517); 3. Pointe moustérienne allongée (991/10529); 4. Burin. (991/16562); 5. Lame à troncature (991/10518); 6. Encoche (991/10526); 7. Denticulé (991/16589). Provenance des matières: 1. Silex de Charbonny, Doubs, France (416); 2. Silex de Bendorf, Haut-Rhin, France (135); 3. Silex d'origine inconnue (138); 4-7. Silex d'Alle, Jura, Suisse (114).







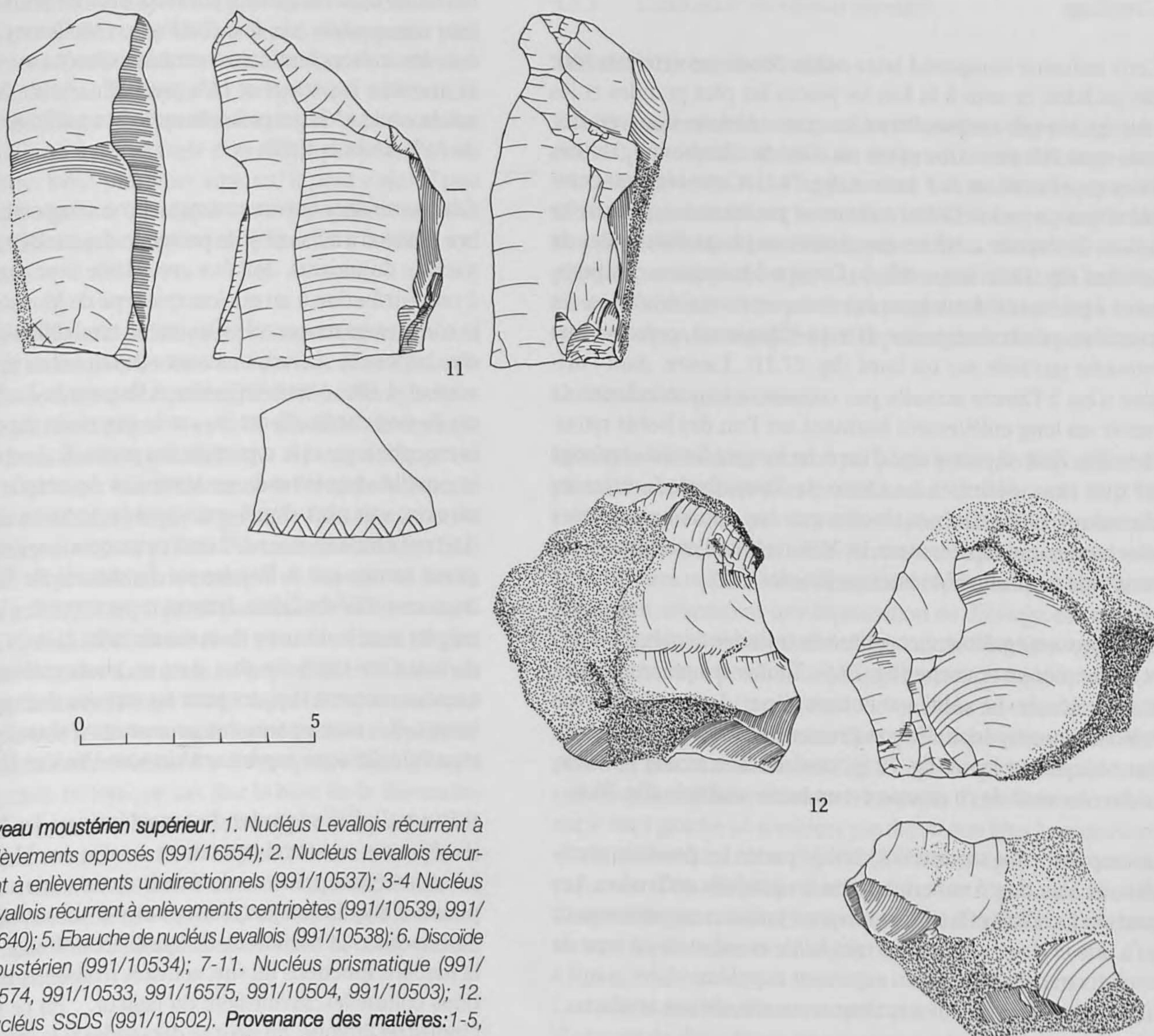


Fig. 79. **Niveau moustérien supérieur.** 1. Nucléus Levallois récurrent à enlèvements opposés (991/16554); 2. Nucléus Levallois récurrent à enlèvements unidirectionnels (991/10537); 3-4 Nucléus Levallois récurrent à enlèvements centripètes (991/10539, 991/16640); 5. Ebauche de nucléus Levallois (991/10538); 6. Discoïde moustérien (991/10534); 7-11. Nucléus prismatique (991/16574, 991/10533, 991/16575, 991/10504, 991/10503); 12. Nucléus SSDS (991/10502). **Provenance des matières:** 1-5, 7-12. Silex d'Alle, Jura, Suisse (114); 6. Quartzite quartzeux, gris foncé, Vosges, France.

Les autres nucléus rencontrés présentent des types variés: discoïde, nucléus SSDS et nucléus à débitage uni- ou bifacial. Il n'y a que trois rognons testés et un seul fragment de nucléus. Leurs dimensions sont très diverses. Ils ont comme caractéristique commune une phase d'exploitation courte, ce qui entraîne une faible diminution de volume du support initial; par conséquent, ils sont généralement plus gros que la plupart des nucléus Levallois et des nucléus prismatiques (fig. 79.12).

Parmi ces pièces, on trouve notamment deux discoïdes, l'un en matière locale exploité sur ses deux faces, l'autre en quartzite d'origine vosgienne exploité sur une seule face (fig. 79.6). Les autres nucléus, dont un en quartzite gris beige (Vogeschotter), présentent une exploitation bien plus sommaire. Le débitage peut être unifacial à partir d'un seul plan de frappe (Detrey 1999a).

Sur quatre nucléus, le débitage est bifacial, soit sur deux surfaces opposées, soit sur deux surfaces sécantes, la première devenant le plan de frappe de la seconde. Dans quatre autres

cas, le débitage se développe sur une troisième face, chaque surface de débitage abandonnée devenant le plan de frappe de la suivante. Tous ces nucléus correspondent à différentes phases d'une même chaîne opératoire dans laquelle l'entretien des surfaces de débitage n'existe pas; il s'agit d'un débitage de type SSDS (voir *supra*). Le tailleur est donc obligé, s'il veut continuer l'exploitation du nucléus, d'étendre le débitage à une nouvelle surface présentant naturellement les conditions techniques nécessaires à la poursuite du débitage; dans le cas présent, il s'agit de la convexité naturelle du cortex.

L'industrie est complétée par quelques artefacts d'origines allochtones qui représentent 0,8 % du corpus total. Outre les deux nucléus cités précédemment et les quatre outils qui seront vus plus loin, on a retrouvé quatre produits de débitage, un cortical en silex d'Orvin, Pierrefeu sur le Chasseral (Berne, Suisse), un fragment de lame corticale en quartzite (fig. 77.8), et deux éclats ordinaires en silex de Bendorf (Haut-Rhin, France) et de Develier (Jura, Suisse).



## L'outillage

Cette industrie comprend seize outils. Six de ces artefacts sont des racloirs; ce sont à la fois les pièces les plus grandes et les plus épaisses du corpus. Parmi les quatre racloirs transversaux, trois sont obliques. Une pièce en silex de Charbonny (Doubs, France) présente un dos aminci (fig. 78.1). Cette série est complétée par un racloir latéral concave et par un racloir à retouche biface. Ce dernier a été aménagé sur une plaquette de silex de Bendorf (fig. 78.2). Les outils du Groupe Moustérien comprennent également deux grandes pointes moustériennes. La première, en silex originaire d'Orvin (Chasseral), présente une retouche partielle sur un bord (fig. 77.11). L'autre, dont l'origine n'est à l'heure actuelle pas connue, a la particularité de porter un long enlèvement burinant sur l'un des bords retouchés (fig. 78.3). Il peut s'agir d'un éclat longitudinal de ravivage tel que ceux définis à La Cotte de Saint-Brelade à Jersey (Cornford 1986). On peut noter que les outils en matières allochtones, qui représentent 18,75 % de l'outillage, appartiennent tous au Groupe Moustérien (Bordes 1953).

L'outillage est également constitué de trois denticulés (fig. 78.7) et d'une pièce à encoche (fig. 78.6). Toutes ces pièces sont en matière locale. Le solde est composé par des outils de type Paléolithique supérieur. Ils comprennent trois troncatures, dont une oblique sur lame (fig. 78.5), une concave et une partielle. Le dernier outil de ce groupe est un burin multiple (fig. 78.4).

Les supports ont surtout été choisis parmi les produits corticaux, et à un degré moindre parmi les produits ordinaires. Les produits Levallois et laminaires ne sont présents respectivement qu'à une et deux reprises. Le très faible nombre de ce type de produits transformés est un argument supplémentaire quant à l'utilisation différée, voire extérieure au site, de ces artefacts.

## Interprétation

Bien que récoltée dans un niveau colluvié, la totalité de cette industrie peut être considérée comme une série cohérente. En effet, la datation de la mise en place est trop ancienne pour que les lames rencontrées dans cet ensemble puissent appartenir au Paléolithique supérieur. D'ailleurs, les caractéristiques technologiques et morphologiques sont différentes de celles des lames rencontrées dans l'industrie magdalénienne (chap. 10.4).

L'industrie du niveau supérieur (unité sédimentaire E7) est caractérisée par une production de deux types spécifiques de supports: les produits Levallois et les lames. Cette ambivalence a déjà été reconnue dans l'industrie de l'ensemble B de Pré Monsieur où la production, même en quantité limitée, de lames prédéterminées est attestée (Stahl Gretsche, Detrey et al. 1999). Pour trouver d'autres industries moustériennes porteuses de lames dans le cadre régional, il faut quitter le territoire helvétique et se rendre en Franche-Comté. Dans le département du Doubs, deux sites présentent ce type de production: l'aven de Romain-la-Roche et la grotte de Casamène, près de Besançon. Pour le premier, la couche V possède un indice laminaire de près de 21 %. Deux nucléus à débitage semi-tournant sont la marque d'une production de lames sur le site (Detrey et al. 1991). A Casamène,

l'extrême concassage subi par l'industrie ne permet pas de réaliser une analyse très fine (Piningre et Vuillemeys 1976). Toutefois, les indices laminaires sont importants avec 11,5% pour l'Ensemble Supérieur et 16% pour l'Ensemble Inférieur, hormis la couche VII qui présente un indice particulièrement élevé de 43% (Dubois 1992).

Ces quatre sites ont en commun de ne comporter qu'un nombre limité d'outils, ainsi la présence des racloirs, qui peuvent paraître dominants, doit être considérée avec prudence quant à une attribution à un quelconque type de Moustérien. De fait, le concassage rencontré à Casamène rend difficile, pour ne pas dire impossible, la reconnaissance de retouches intentionnelles, surtout si elles sont marginales. A Romain-la-Roche, les activités de boucherie effectuées sur le site n'ont pu qu'influencer la morphologie et la typologie des outils. Il n'est d'ailleurs pas impossible que la tendance laminaire des artefacts, retouchés ou non, soit plus significative que la position des retouches (Detrey, étude en cours). Il est à remarquer que l'étude tracéologique menée par S. Beyries sur l'industrie de Rencourt-les-Bapaume (Pas-de-Calais, France) montre que les lames sont en rapport avec la découpe de la viande et les racloirs avec le travail du bois (Otte 1994). De plus, il y a un choix préférentiel d'éclats Levallois comme support pour les racloirs alors que les lames, lorsqu'elles sont aménagées, permettent d'obtenir des outils de type Paléolithique supérieur (Ameloot-Van der Heijden 1994).

Il faut toutefois se garder de considérer que les besoins et/ou les réponses rencontrés sur un site sont exportables sur un autre. Le Moustérien présente de nombreuses variantes depuis les phases d'acquisition jusqu'aux phases d'utilisation, causées par l'interaction de nombreux facteurs: accessibilité et qualité de la matière, fonctions du site, activités réalisées sur le site, traditions culturelles, savoir-faire du tailleur... En ce qui concerne l'industrie lithique, on peut se demander si la fonctionnalité et l'utilisation de l'outil n'influent pas plus sur sa forme que l'éventuelle identité culturelle. Ainsi, les études de H.-L. Dibble ont montré que la morphologie des racloirs de type Quina évoluait avec les affûtages successifs dont ils peuvent être l'objet; l'outil trouvé dans ce cas est moins un type porteur d'un sens culturel qu'un stade dans son utilisation (Dibble 1987).

Cette réserve quant à l'interprétation de la composition typologique d'un corpus se doit d'être la même quant à celle des choix techniques des Préhistoriques pour répondre à leurs besoins. Ainsi, la présence de lames au sein de plusieurs industries ne doit pas être considérée comme la reconnaissance d'un «Moustérien à lames» comme il a été défini un Moustérien typique ou un Moustérien Ferrassien par exemple. Le phénomène laminaire en milieu moustérien se retrouve dans des sites aussi éloignés que Champ Grand dans le département de la Loire (Slimak 1999a), que Seclin ou Rencourt-les-Bapaume (Révillon et Tuffreau 1994b, Tuffreau 1994) dans le nord de la France ou que Saint-Germain-des-Vaux/Port Racine en Normandie (Révillon et Cliquet 1994). La liste peut même s'étendre jusqu'en Ukraine et au Moyen Orient (Otte 1994). Toutefois, si ces sites présentent tous une production laminaire, accompagnant ou non une production Levallois comme c'est le cas à Rencourt et à Noir Bois, le mode de débitage et l'entretien des nucléus à lames peuvent varier.



Ainsi, à Saint-Germain et à Seclin, la gestion du nucléus est assurée par des crêtes alors qu'à Champ Grand elle apparaît plus opportuniste avec l'utilisation des caractéristiques naturelles des blocs, comme c'est la plupart du temps le cas à Noir Bois. L'étendue géographique sur laquelle se retrouve ce phénomène rend peu crédible qu'il puisse s'agir d'un même phénomène culturel. Par contre, pour plusieurs auteurs, il peut s'agir d'une convergence de réponses à l'adaptation des populations à des changements climatiques importants (Otte 1994, Révillion et Tuffreau 1994a).

Pour étayer cette hypothèse, on peut constater que la position chronologique de ce phénomène au sein des sites d'Europe septentrionale se situe principalement dans le Pléniglaciaire moyen aux stades isotopiques 4 et 5. La situation chronologique des sites franc-comtois présentant ce type de débitage est identique à ce qui a pu être défini dans le Nord de la France. M. Campy place les industries de la grotte de Casamène dans le «Weichsélien moyen» (Campy 1982). Par contre, la datation Uranium/Thorium effectuée dans la couche V de Romain-la-Roche se situerait vers 350000, ce qui paraît peu vraisemblable en comparaison à la date de 150000 obtenue pour la couche VI plus profonde, cette dernière date étant en accord avec les observations faites sur la faune (Paupé 1996). A Pré Monsieur, aucune datation n'a pu être réalisée; toutefois une position hypothétique de l'industrie de l'ensemble B a été proposée dans le stade d'Odderade (stade isotopique 5a). Sur la base de la thermoluminescence, l'occupation de Noir Bois est plutôt à placer dans le stade isotopique 3; elle serait donc plus récente que celle de Pré Monsieur-ensemble B. Malheureusement étant donné les fourchettes de précision des dates et un corpus faible d'artefacts, il est impossible d'aller plus avant dans la comparaison entre ces deux sites.

	Nb	Total
<b>Produits de débitage</b>		
Produits corticaux	32	57
Produits ordinaires	21	
Produits laminaires	2	
Produits Levallois	2	
<b>Nucléus</b>		
Levallois	0	19
Prismatiques	2	
Divers	9	
Rognons testés	8	
<b>Outils</b>		
Racloirs	4	13
Couteau à dos atypique	1	
Encoches	3	
Denticulé	1	
Eclats retouchés	4	
<b>Total</b>		89

Fig. 80. Tableau de décomptes de l'industrie du niveau moustérien remanié.

### 9.3.3 L'industrie du niveau remanié

#### Définition du corpus d'étude

Il s'agit d'un ensemble comportant 89 artefacts (fig. 80). Les pièces les plus représentées sont les produits de débitage non retouchés avec 64 % du corpus total. Les nucléus composent 21 % de cet ensemble et les outils 15 %. Cela correspond à une moyenne de trois éclats débités par nucléus. Comme il sera vu plus loin, ce rapport est dû à la faible exploitation des nucléus et non à l'absence d'une partie des produits débités. Il est à noter que ce corpus est complété par la présence de trois percuteurs.

#### Les modes de production

Le corpus de nucléus est marqué par la présence importante de pièces fracturées, près d'un quart des nucléus sont cassés (22,2 %). Le débitage présente peu de modes de production spécifiques avec une majorité de rognons testés (un ou deux enlèvements par artefact). De rares nucléus, dont deux nucléus prismatiques bipolaires, présentent néanmoins une organisation du débitage. Sur ces pièces, les produits obtenus sont des éclats de directions opposées; toutefois les rares produits laminaires rencontrés dans cette industrie sont aléatoires. Le plus étroit des nucléus montre des négatifs d'enlèvements semi-tournants alors que le dos a subi une première phase de production d'éclats (fig. 81.11). L'exploitation sur le second est tournante et alternante; les traces d'enlèvements visibles sur le bord gauche ne semblent pas devoir être liées à un quelconque entretien du nucléus (fig. 81.10). On peut également noter la présence d'un discoïde aménagé sur un rognon de silex de Charmoille (Jura, Suisse), trop fortement diaclasé pour permettre une exploitation très longue (fig. 81.9).

Les autres nucléus sont marqués par une exploitation courte d'une ou de deux faces, très rarement plus. Parmi ces nucléus se trouve une pièce originaire de Bendorf (Haut-Rhin, France) (fig. 81.12). Le peu de développement des phases de débitage explique la disparité entre les modules des blocs débités, les dimensions des nucléus restant très proches de celles de leur support. Cette gestion sommaire du débitage est à l'origine du faible nombre de produits de débitage, dont plus de 52% de pièces corticales. Ce sont le plus souvent des éclats corticaux primaires, voire des éclats d'entame; plus de 30 % de ces produits portent des talons corticaux ainsi que quelques éclats corticaux secondaires dont des couteaux à dos naturel (fig. 81.1,4). Ces produits se caractérisent par leur épaisseur importante. L'un de ces éclats présente une cupule de gel sur sa face inférieure. Les éclats ordinaires ne représentent que 37 % des produits de débitage. Ce sont le plus souvent des artefacts de petites dimensions, les longueurs sont toujours inférieures à 50 mm, dont la moitié est inférieure à 30 mm. Les talons ne présentent pas de préparation. Parmi les produits de débitage, deux éclats Levallois atypiques ont été retrouvés. L'un est en silex de Charmoille (fig. 81.3), l'autre en matière locale. A ce lot, peut être associée une pointe pseudo-Levallois (fig. 81.2). Aucun nucléus Levallois n'a été retrouvé dans cette série; de plus l'éclat en matière locale présente un carénage inexistant sur les produits Levallois typiques. On peut supposer que si cet artefact présente des caractères typologiques Levallois, il ne provient certainement pas d'un débitage Levallois.



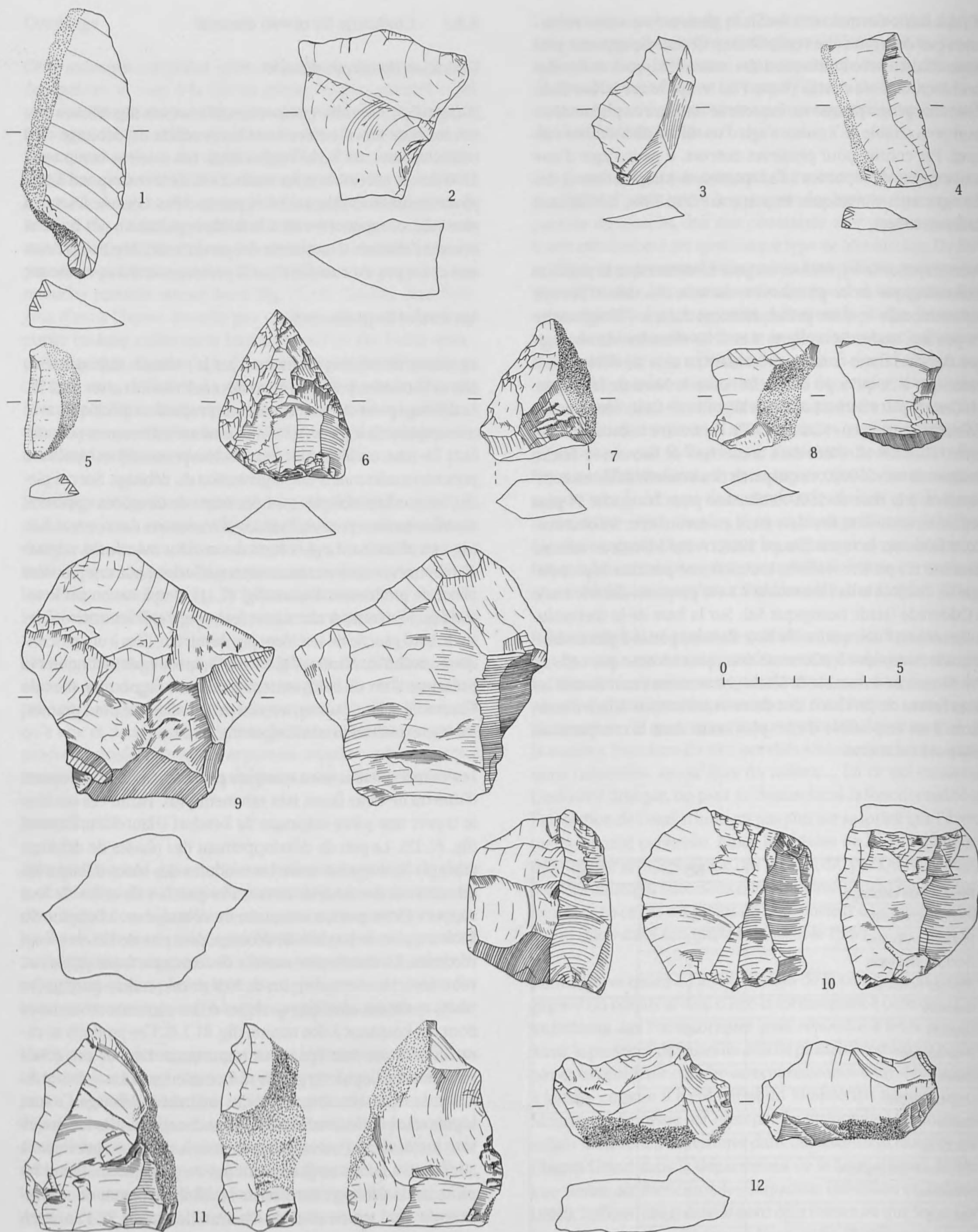


Fig. 81. **Niveau moustérien remanié.** 1, 4, 5. Couteau à dos naturel (992/19204, 992/19182, 992/19192); 2. Pointe pseudo-Levallois (992/19198); 3. Eclat Levallois atypique (992/19150); 6. Pointe moustérienne (992/19146); 7. Racloir latéral convexe (992/19119); 8. Encoche (992/19141); 9. Discoïde moustérien (992/19160); 10, 11. Nucléus prismatique (992/19202, 992/19135); 12. Nucléus bifacial bipolaire (992/19136). **Provenance des matières:** 1-4, 7, 8, 10-12. Silex d'Alle, Jura, Suisse (114); 3, 9. Silex de Charmoille, Jura, Suisse (804); 5. Quartzite (Vogesenschotter); 6. Silex de Glamondans, Doubs, France (325); 12. Silex de Bendorf, Haut-Rhin, France (135).



Le silex autochtone n'a pas été le seul matériau utilisé, même s'il est nettement le plus important; le corpus comprend 1,3 % d'artefacts en matières allochtones. On trouve sept produits de débitage non retouchés aménagés dans des matières d'origine proche: silex de Saint-Ursanne, de Charmoille (Jura, Suisse) et de Bendorf (Haut-Rhin, France) ou galets de quartz et de quartzite (fig. 81.5). Trois parmi ces derniers ont été utilisés comme percuteur.

A ces objets viennent s'ajouter quatre outils. Il s'agit des artefacts dont les origines sont les plus lointaines à l'exception d'un éclat retouché provenant de Bendorf. Les autres gîtes de matières ayant fourni des outils sont Orvin, Pierrefeu (Berne), Mesnay et Glamondans dans le département du Doubs.

### L'outillage

Seuls treize outils ont été retrouvés dans cette série. Les plus nombreux sont les racloirs (fig. 81.7) et les éclats retouchés avec quatre individus. Le Groupe Moustérien comporte aussi une pointe moustérienne originaire de Glamondans (Doubs, France) (fig. 81.6). On trouve également trois encoches (fig. 81.8) et un denticulé. Ce corpus est complété par un outil de type Paléolithique supérieur: un couteau à dos atypique. Ces outils sont en majorité aménagés sur des produits corticaux. L'opportuniste est partie intégrante de la gestion des supports; certains outils ont été façonnés sur des fragments naturels ainsi que sur un nucléus.

### Interprétation

Cette série n'est pas suffisamment importante pour pouvoir proposer une attribution culturelle précise. La seule chose qu'il soit possible de déterminer est son appartenance à un Moustérien, mais il n'est pas possible de discuter son éventuel lien avec l'industrie du niveau moustérien supérieur contenu dans l'unité sédimentaire E7 (chap. 9.3.2) ou avec celle du niveau inférieur (chap. 9.3.1).

Le taux d'exploitation des nucléus tout comme l'absence de prédétermination permettent d'interpréter cette occupation, sur la base de ce qui a été décrit pour l'industrie de l'unité sédimentaire E8, comme une occupation relativement courte où le débitage a pour but une production d'éclats à but non différé, l'utilisation de ces supports étant occasionnellement complétée par une récupération opportuniste de fragments, soit de nucléus, soit naturels. L'aspect expédient de l'outillage est d'autant plus marqué que les artefacts en matière locale restent très sommaires alors que les quelques pièces en matières allochtones, régionales ou plus éloignées, présentent un caractère plus «fini» ou plus «classique». L'importation de produits allochtones sur un site moustérien ne comporte évidemment pas la notion d'échange ou de commerce comme cela existe dans la signification plus moderne de ce terme. Il ne s'agit pas d'un groupe moustérien installé à Noir Bois qui fait venir une partie de son outillage d'autres gîtes; il faut plus sûrement voir dans ces pièces les artefacts emportés par les hommes en vue d'une réponse anticipée à leurs besoins au cours de leurs déplacements. C'est dans cette perspective que les différents gîtes reconnus peuvent dessiner le territoire parcouru par un groupe.

### 9.3.4 L'industrie totalement remaniée

#### Définition du corpus d'étude

Un nombre assez important d'artefacts ont été retrouvés éparpillés sur la quasi-totalité de la superficie du site dans des positions stratigraphiques secondaires ne permettant pas de les relier directement à des ensembles culturels déterminés (chap. 9.1). Comme cela a déjà été observé sur d'autres gîtes de matières premières, tels que Mont-les-Etrelles et Bouhans-les-Montbonzon en Haute-Saône (France) ou Pleigne, Löwenburg (Dubois 1992; Jagher et Jagher 1987), le silex a été exploité pendant de longues périodes par des groupes humains différents (Othenin-Girard et al. 1997).

Sur ce type de site, où l'exploitation archéologique s'apparente au ramassage sur les sites de plein air, déterminer un corpus d'artefacts attribuables au Moustérien demande un tri draconien basé sur des critères typologiques et technologiques très stricts d'après les classifications proposées par E. Bordes (1988). Avant de commenter les résultats, il faut se souvenir qu'ils ont principalement été définis sur des sites du Sud-Ouest de la France et que E. Bordes considérait que l'extension de sa méthode à d'autres régions pouvait être «imprudente» (Bordes 1981). Il s'agit d'une des raisons pour lesquelles les Groupes Moustériens ainsi définis (Bordes 1988) doivent être considérés avec circonspection.

Le tri a été effectué au sein de 1850 objets, parmi ceux-ci 93 ont été considérés comme moustériens, soit un peu plus de 5%. Il est extrêmement rare que les auteurs mentionnent le nombre

	Nb	Total	
<b>Produits de débitage</b>			
Produits corticaux	0	24	
Produits ordinaires	2		
Produits laminaires	0		
Produits Levallois	22		
<b>Nucléus</b>			
Levallois	19	23	
Prismatique	0		
Divers	4		
Rognon testé	0		
<b>Outils</b>			
Pointes Levallois retouchées	2	46	
Pointes moustériennes	2		
Limace	1		
Racloirs	30		
Eclats tronqués	1		
Encoches	2		
Triangle à encoche	1		
Denticulés	5		
Becs burinants alternes	2		
<b>Total</b>			<b>93</b>

Fig. 82. Tableau de décomptes de l'industrie moustérienne totalement remaniée.



de pièces parmi lesquelles ils ont déterminé les industries qu'ils publient comme moustériennes; il est donc très difficile d'évaluer la valeur du pourcentage obtenu à Noir Bois. On peut toutefois signaler qu'à Pleigne, Löwenburg, les 364 artefacts étudiés ont été choisis parmi plus de 14 000 pièces, soit un petit peu moins de 3 %. Si la rigueur de ce type de tri permet d'isoler un corpus d'artefacts moustériens, elle implique toutefois de laisser de côté des pièces qui appartiennent également à ce complexe culturel mais dont la morphologie ne permet pas d'attribution certaine. C'est par exemple le cas des produits corticaux ou des outils dont la retouche marginale ne modifie que faiblement les bords du support ne façonnant pas ainsi de pièce «typique».

Le corpus retenu à Noir Bois se compose de 24 produits de débitage, 23 nucléus et 46 outils (fig. 82). L'élimination des pièces ubiquistes, c'est-à-dire susceptibles de pouvoir appartenir à des cultures différentes, ainsi que de celles typologiquement non significatives, biaise obligatoirement les pourcentages relatifs des différents types d'artefacts. C'est pourquoi, à la différence des trois séries lithiques précédentes qui avaient été étudiées au travers de leurs modes d'exploitation, cette industrie ne peut être abordée que d'un point de vue typologique. Par conséquent, pour les raisons évoquées ci-dessus, ces données sont à prendre avec précaution et vont nécessiter d'être discutées (voir *infra*).

#### Les produits de débitage

En ce qui concerne les artefacts non retouchés, la nécessité d'effectuer un tri typologique favorise les pièces à forme prédéterminée au détriment des produits dont le rôle est l'entretien des surfaces de débitage ou des plans de frappe. Parmi ces artefacts, seuls ceux porteurs d'une valeur chrono-culturelle limitée dans le temps peuvent être retenus. A l'inverse, des produits tels que les lames, présents dans le Moustérien de l'unité sédimentaire E7 de Noir Bois, qui peuvent toutefois exister dans d'autres industries, doivent être écartés. Aussi le corpus de produits de débitage est-il composé de dix-neuf éclats Levallois dont un retouché (fig. 83.5), de trois pointes Levallois (fig. 83.4) et de deux pointes pseudo-Levallois.

Les éclats Levallois sont atypiques; il s'agit dans la plupart des cas de pièces irrégulières (fig. 83.1-3), parfois rebroussées ou porteuses de plage corticale. Dans deux cas, il s'agit d'éclats débordants destinés à l'entretien des convexités latérales des surfaces de débitage. Les négatifs visibles sur la face supérieure montrent une gestion de modalité récurrente du débitage Levallois.

#### Les nucléus

Pour les mêmes raisons que celles évoquées ci-dessus, le corpus des nucléus est nettement dominé par les pièces de concept Levallois. Seuls deux autres types de nucléus, Kombewa et discoïde, viennent compléter cette série. Les deux nucléus Kombewa sont très probablement des ébauches de nucléus Levallois. La prédétermination est assurée par des enlèvements opposés qui viennent renforcer la convexité de la face inférieure de l'éclat-support. Le discoïde est aménagé sur un galet de quartzite provenant sans doute des Vogesenschotter (fig. 83.19).

Comme cela a pu être vu sur les éclats Levallois, les nucléus présentent une gestion récurrente de leur débitage. Le plus généralement, les enlèvements sont orthogonaux, mais ils peuvent être opposés. Les modes de prédétermination dépendent de la forme initiale du bloc de matière; les pièces subcirculaires montrent des enlèvements centripètes (fig. 83.16,18), les pièces subquadrangulaires et triangulaires portent des enlèvements orthogonaux (fig. 83.17). Dans certains cas, l'envahissement du plein débitage ne permet pas de définir les modes de prédétermination. Quelques rares nucléus présentent des traces nettes de réaménagement. Toutefois, les dimensions des nucléus à leur abandon montrent que le débitage n'a pas été poussé au maximum du potentiel du volume du bloc de matière première.

#### Les outils

Le corpus de 46 objets façonnés est très largement dominé par les racloirs. Leur indice en données essentielles est de 63 %. Le Groupe Moustérien, quant à lui, s'élève à 74 %, toujours en données essentielles (fig. 83.6-13,15). Inversement, le Groupe Paléolithique supérieur et le Groupe des denticulés restent très faibles, surtout en ce qui concerne le premier, avec respectivement 2 % et 9 %.

Il faut noter qu'un quart des outils sont en matières allochtones, alors que ces matériaux ne représentent que 1,6 % du corpus total. Un tiers de ces objets sont en silex de Pleigne, Löwenburg. A l'exception d'une lame Levallois à troncature oblique aménagée dans une kéraatophyre d'origine vosgienne (fig. 83.14), tous les outils en matières importées, pointes moustériennes et racloirs, font partie du Groupe Moustérien.

#### Interprétation

Si l'on considère les indices calculés sur cette industrie, il conviendrait de rapprocher celle-ci du Moustérien Charentien, la présence importante de produits Levallois la situant dans un faciès Ferrassie. Au niveau régional, ce type d'industrie se retrouve dans de nombreux sites de Franche-Comté ainsi que sur le territoire helvétique.

Ces données ne peuvent être prises sans un minimum de discussion. Le corpus qui a permis la détermination des caractères de cette industrie est issu d'un tri qui a écarté toutes les pièces sans valeur chrono-culturelle stricte. Or les artefacts fortement marqués comme moustériens par et/ou pour le préhistorien chargé de déterminer son corpus d'étude sont principalement les produits Levallois et les outils appartenant au groupe justement appelé Moustérien. Il s'agit des limaces, des pointes moustériennes et des racloirs. Ce préjugé, inévitable pour la réalisation d'un tri, ne peut déboucher que sur un corpus dans lequel les produits, d'une part Levallois et d'autre part appartenant au Groupe Moustérien, dominant. L'attribution de cette série lithique au Moustérien Charentien doit donc être considérée avec une très grande réserve. Cette détermination qualifie plus sûrement le tri effectué que la réalité préhistorique de l'industrie. Ce biaisage est inévitable, le résultat d'un tri ne pouvant que donner l'image des critères déterminants préalablement choisis.



La démarche effectuée ici pour définir le corpus d'étude est identique à celle réalisée sur les sites de plein air dont l'exploitation archéologique a été faite par ramassage de surface. De plus, tous les prospecteurs le savent bien, un premier choix, plus ou moins conscient, existe lors du ramassage. Ensuite, intervient la séparation de ce qui est Moustérien de ce qui ne l'est pas. Par exemple, à Pleigne, Löwenburg, un choix de 364 artefacts a été réalisé au sein de plus de 14000 pièces selon des «caractéristiques technologiques et morphologiques (...) bien développées et (permettant) une détermination aisée» (Jagher et Jagher 1987). Les conditions de tri étant les mêmes qu'à Noir Bois, l'attribution au Charentien doit être prise avec la même réserve. Dans les deux cas, c'est le tri qui donne une image charentienne à l'industrie.

La même question, quant à la réalité du Charentien, se pose pour les sites de plein air de Franche-Comté; cette réserve s'impose d'autant plus que pour la plupart des gisements, excepté ceux de la vallée de la Saône (Huguenin 1988), les corpus sont très faibles. Ainsi à Adalans près de Lure (Haute-Saône), l'attribution est faite sur seulement deux artefacts, tout comme à Aillevans-Combe au Blusseret (Haute-Saône). Souvent le mélange des industries nécessite un tri préalable, c'est notamment le cas à Arc-les-Gray ou à Bouhans-les-Montbozon (Haute-Saône). Ces sites montrent des industries composées quasi exclusivement de pièces très caractéristiques (Dubois 1992). Les fouilles réalisées à Gigny ou à Alle, Pré Monsieur, montrent que ces objets sont accompagnés par de nombreux outils dont la retouche marginale et souvent partielle ne modifie que peu ou pas la morphologie du support. En dehors de tout contexte, ces outils sont difficilement attribuables au Moustérien. Ce type de pièces est évidemment absent ou rare dans les corpus issus de tri.

La suspicion envers le Moustérien Charentien sur les sites de plein air dans le cadre géographique de la présente étude peut également exister à l'encontre des sites de grottes ou d'aven. Seuls trois gisements de ce type ont vu leur industrie attribuée à du Charentien: il s'agit de Romain-la-Roche et de Gondenans-les-Moulins dans le Doubs, ainsi que de Cotencher (Rocheport, Neuchâtel, Suisse). En ce qui concerne Romain-la-Roche, les critiques qui peuvent être faites sur l'attribution (Detrey et al. 1991) ont été exposées ci-dessus dans l'étude de l'industrie de l'unité sédimentaire E7.

A Gondenans-les-Moulins, l'attribution pose aussi quelques problèmes quant à la représentativité du corpus étudié. Lors des fouilles qu'il a effectuées, J.-P. Jéquier a défini deux niveaux contenant respectivement 7 et 25 artefacts (Jéquier 1975). La reconnaissance d'un Moustérien Quina et d'un Moustérien de tradition acheuléenne tient, non pas aux résultats de ces fouilles, mais aux observations réalisées par R. Bay sur une partie seulement du matériel provenant d'anciennes fouilles, peu ou prou clandestines. La mise en évidence d'une culture à partir de données statistiques élaborées sur un corpus partiel issu d'une fouille ancienne, qui peut légitimement être suspectée d'avoir fourni un matériel trié, apparaît comme peu solide.

Le troisième des sites de grottes est Cotencher. Le matériel lithique, fortement concassé, a également fait l'objet d'une sélection stricte. On retrouve les mêmes caractéristiques dans

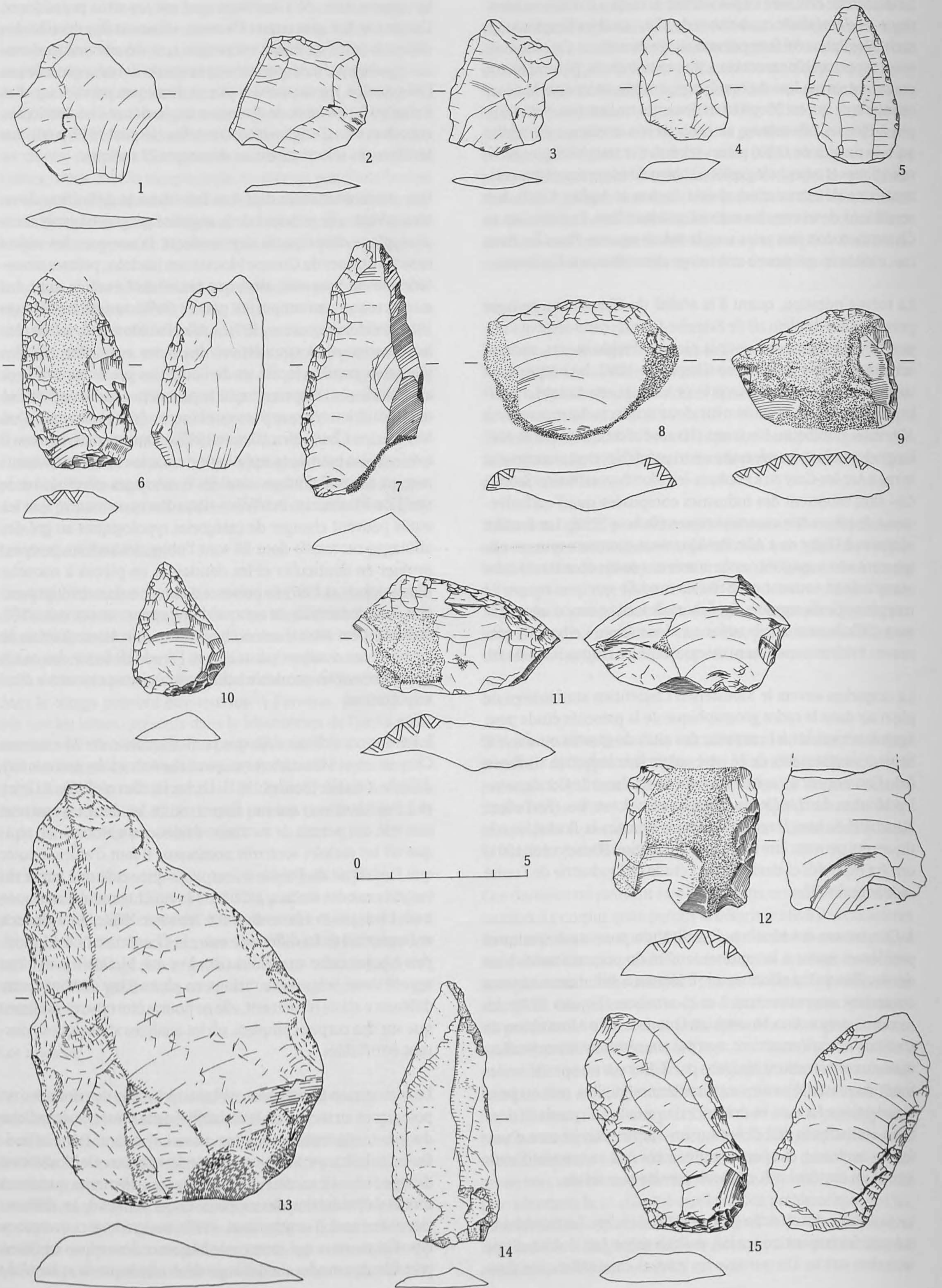
la composition de l'outillage que sur les sites précédents. Comme le fait remarquer l'auteur, «l'inventaire détaillé des objets dont le façonnage est certain (...), dénote une monotonie typologique incontestable, sans aucun doute accentuée par l'élimination rigoureuse des pièces douteuses parmi lesquelles il n'est guère possible de distinguer les «raclettes», les denticulés, encoches, etc., d'origine intentionnelle» (Jéquier 1975, p. 93). Sur les 90 outils sélectionnés, on décompte 71 racloirs.

Une dernière réserve doit être faite dans la définition de ce Moustérien: elle provient de la mobilité géographique et morphologique d'une partie des artefacts. D'une part, les objets caractéristiques du Groupe Moustérien (racloirs, pointes moustériennes et limaces), ainsi que les éclats Levallois, sont des artefacts souvent emportés par les Préhistoriques (Geneste 1985; Féblot-Augustins 1997). A Alle, Pré Monsieur, si l'on réalise deux courbes cumulatives distinctes avec, d'un côté les pièces en matière locale, et de l'autre les pièces en matières allochtones, on s'aperçoit que la première courbe caractérise un Moustérien typique alors que la seconde est la marque d'un Moustérien Charentien (Detrey 1999b). D'autre part, comme il a été vu plus haut, la morphologie des racloirs peut se transformer en cours d'affûtage; ainsi les remontages effectués sur le site J de Maastricht-Belvédère (Pays-Bas) ont montré que les outils peuvent changer de catégories typologiques au gré des affûtages successifs dont ils sont l'objet, les racloirs pouvant évoluer en denticulés et les denticulés en pièces à encoche (Roebroeks et al. 1997). La présence dominante de racloirs est peut-être, dans certains cas, la marque d'une appartenance culturelle, mais elle peut avoir d'autres significations; la détermination de l'origine des matières premières et l'étude de la vie des outils sur le site sont un préalable indispensable à toute tentative d'interprétation.

E Bordes considérait déjà que la distinction entre Moustérien Charentien et Moustérien typique riche en racloirs pouvait être difficile à établir (Bordes 1981). Or, les fouilles réalisées à Gigny et à Pré Monsieur, qui ont fourni toutes les deux un matériel non trié, ont permis de mettre en évidence un Moustérien typique où les racloirs sont très nombreux. Il faut d'ailleurs noter que l'industrie de Pré Monsieur, alors que seule une partie du corpus avait été étudiée, a dans un premier temps été attribuée à un Moustérien Charentien (Le Tensorer 1993; Stahl Gretsche et Detrey 1994). La différence entre le Charentien et le Moustérien typique riche en racloirs tient à ce que M. Otte a justement appelé «une poignée de racloirs en plus» (Otte 1998). Si cette différence existe réellement, elle ne pourra être mise en évidence que sur des corpus complets, où les analyses statistiques pourront être fiables.

Le Moustérien Charentien est caractérisé par des données typologiques au travers de la variabilité de la présence de racloirs dont le nombre reste toujours assez important. Dans le Sud-Ouest de la France, le Moustérien de type Quina et le Moustérien de type Ferrassie montrent des différences très nettes quant aux modes de production des supports, ce qui permet de les différencier clairement (Geneste et al. 1997), malgré leur convergence typologique en ce qui concerne la fréquence des racloirs. Le Quina possède des modes de débitage déterminés par la volonté de







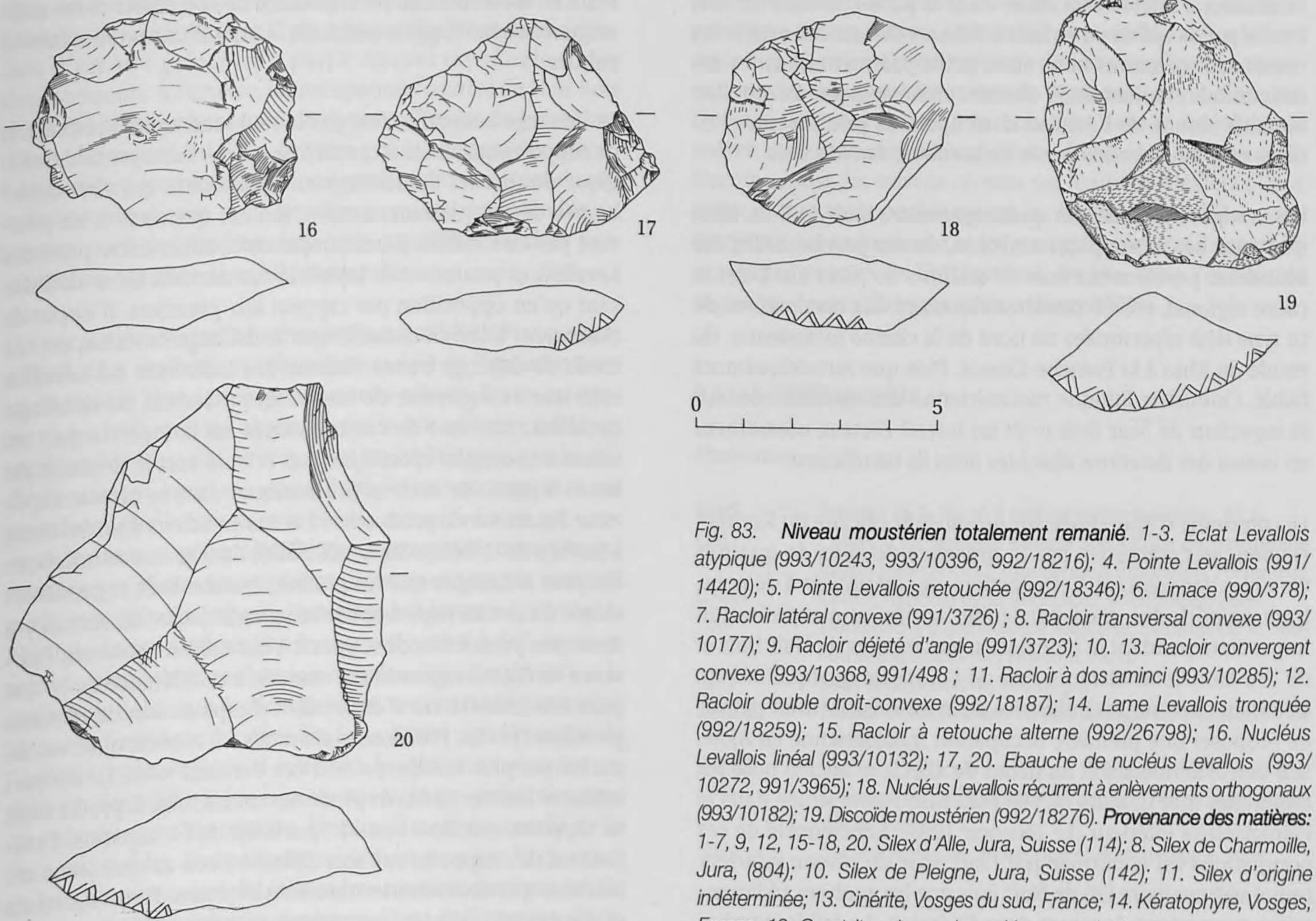


Fig. 83. Niveau moustérien totalement remanié. 1-3. Eclat Levallois atypique (993/10243, 993/10396, 992/18216); 4. Pointe Levallois (991/14420); 5. Pointe Levallois retouchée (992/18346); 6. Limace (990/378); 7. Racloir latéral convexe (991/3726); 8. Racloir transversal convexe (993/10177); 9. Racloir déjeté d'angle (991/3723); 10. 13. Racloir convergent convexe (993/10368, 991/498); 11. Racloir à dos aminci (993/10285); 12. Racloir double droit-convexe (992/18187); 14. Lame Levallois tronquée (992/18259); 15. Racloir à retouche alterne (992/26798); 16. Nucléus Levallois linéal (993/10132); 17, 20. Ebauche de nucléus Levallois (993/10272, 991/3965); 18. Nucléus Levallois récurrent à enlèvements orthogonaux (993/10182); 19. Discoïde moustérien (992/18276). **Provenance des matières:** 1-7, 9, 12, 15-18, 20. Silex d'Alle, Jura, Suisse (114); 8. Silex de Charmoille, Jura, (804); 10. Silex de Pleigne, Jura, Suisse (142); 11. Silex d'origine indéterminée; 13. Cinérite, Vosges du sud, France; 14. Kératophyre, Vosges, France; 19. Quartzite gris cendreuse, Vogesenschotter.

produire des supports avec des caractères morphologiques particuliers (Turq 1992; Bourguignon 1997) différents du débitage Levallois qui caractérise le Moustérien de type Ferrassie. Dans le Sud-Est de la France, les schémas opératoires rencontrés dans le moustérien de type Quina sont également communs à l'ensemble des sites concernés (Slimak 1999b), ce qui permet de le déterminer aussi bien du point de vue typologique que technologique.

Dans la région qui nous intéresse dans la présente étude, il n'y a pas de mode de production commun à tous les sites attribués au Moustérien qualifié de Charentien. Il est d'ailleurs symptomatique de remarquer que la différence entre Ferrassie et Quina est suffisamment floue pour que les sites considérés soient regroupés sous le terme de Charentien (Huguenin 1988; Dubois 1992), alors que dans leur région de définition, la différence est parfaitement déterminée. On peut se demander si la volonté de se rattacher systématiquement aux groupes bordiens ne finit pas par cacher les identités régionales du Paléolithique moyen. Il paraît donc bien téméraire, dans l'état actuel des données, d'assurer de l'existence d'un Moustérien Charentien en Franche-Comté et en Suisse, dans les zones inféodées soit à l'Arc jurassien, soit au massif vosgien.

#### 9.4 Conclusion

(Jean Detrey et Blaise Othenin-Girard)

Les vestiges moustériens de Noir Bois sont constitués exclusivement d'industrie lithique, répartie sur une grande partie des 2,4 hectares du site, à une altitude moyenne de 450 m. Celui-ci occupait le pied nord de la colline de Noir Bois qui surplombe la petite plaine alluviale de l'Allaine actuelle.

La distribution planimétrique et stratigraphique des artefacts permet de définir quatre gisements distincts, dont la valeur archéologique est très variable. Ainsi, dans la partie occidentale du site, les niveaux moustériens inférieur et supérieur, en partie superposés, constituent des ensembles cohérents, témoins de deux occupations chronologiquement distinctes et probablement uniques. Après leur abandon, le mobilier de ces deux horizons a néanmoins été perturbé par des phénomènes d'érosion et de colluvions qui rendent difficile une interprétation de la répartition des objets en terme d'aires fonctionnelles. Cette situation est accentuée par l'impossibilité d'effectuer une étude tracéologique ainsi que par la carence d'éventuels matériaux organiques qui n'ont pas résisté à l'altération et au temps; de plus, aucun foyer n'a pu être mis en évidence.



Les deux autres ensembles sont représentés l'un par une concentration d'artefacts localisée dans la partie centrale du site, l'autre par des pièces d'industrie lithique disséminées dans des unités sédimentaires holocènes, principalement dans les zones centrale et orientale du chantier archéologique. Ce mobilier remanié résulte de l'érosion d'occupations primitivement situées plus haut dans la pente de la colline de Noir Bois.

Les vestiges mobiliers des quatre gisements de Noir Bois, ainsi que ceux, beaucoup plus nombreux, du site proche d'Alle, Pré Monsieur, proviennent tous de stations de plein air. Dans le cadre régional, ces découvertes s'ajoutent aux occupations de ce type déjà répertoriées au nord de la chaîne jurassienne, du coude du Rhin à la Franche-Comté. Bien que numériquement faible, l'industrie lithique moustérienne des niveaux inférieur et supérieur de Noir Bois revêt un intérêt certain, notamment en raison des datations absolues dont ils bénéficient.

La commune d'Alle, située sur un substrat calcaire du Kimméridgien, se caractérise par la présence de silex de qualités variables dans son sol. Cette matière, qui fut utilisée à de nombreuses périodes, a en particulier connu une exploitation importante pendant le Moustérien sur les sites de Noir Bois et de Pré Monsieur, distants l'un de l'autre de quelque 500 m. L'étude menée sur les industries de Pré Monsieur avait permis de proposer une première occupation moustérienne en Ajoie, soit dans l'Eémien, soit au début du Glaciaire ancien pour les ensembles A et C, alors qu'elle était jusqu'alors située dans le Pléniglaciaire inférieur (Le Tensorer 1993). L'ancienneté de ces occupations est confirmée par l'industrie du niveau inférieur (unité sédimentaire E8) de Noir Bois que les analyses sédimentaires permettent de situer dans l'Eémien. Le faible nombre d'outils présents à Noir Bois ne permet pas de tenter de comparaison typologique entre les deux sites. On peut néanmoins remarquer que les stades d'exhaustion maximale observés sur les nucléus Levallois de Pré Monsieur n'existent pas sur les nucléus du niveau inférieur de Noir Bois. Cette différence, qui est probablement de l'ordre de la fonction des sites, ne peut être interprétée d'un point de vue chrono-culturel.

Les données actuelles montrent un abandon de la région pendant une grande partie du Glaciaire ancien. Une réoccupation se dessine à la fin de cette période pendant l'interstade d'Odderade ou stade de Saint-Germain II (stade isotopique 5a) avec l'ensemble B de Pré Monsieur. A Noir Bois, le niveau supérieur doit être placé plus récemment, dans le Pléniglaciaire moyen sur la base des datations TL ( $58,7 \pm 9,2$  ka BP et  $53,7 \pm 6,2$  ka BP). Les données stratigraphiques suggèrent de placer également le niveau remanié de Noir Bois lors de cette période. Cette deuxième longue phase d'occupation qui s'étend entre les stades isotopiques 5a et 3 (entre 80 000 et 55 000), correspond à celle de Pleigne, Löwenburg (Jura, Suisse), de Casamène (Doubs, France) et de Gigny-couche XV (Jura, France). Toutefois, ces sites présentent des caractéristiques typologiques et technologiques très différentes. L'échelle de temps est suffisamment longue pour que plusieurs groupes humains aient pu s'installer et se succéder dans ces régions. Néanmoins, le niveau supérieur de Noir Bois possède un système de production de lames que l'on retrouve avec des caractères propres à Casamène,

à Pré Monsieur – ensemble B et aussi à Romain-la-Roche (Doubs, France). Il est néanmoins impossible de considérer cette convergence technologique comme la marque d'une seule et même culture.

Le débitage laminaire n'est pas le seul schéma de production de supports qui ait été reconnu à Noir Bois. L'analyse technologique des modes de débitage au Moustérien, qui s'est développée depuis plusieurs années, montre que ceux-ci ne peuvent pas être réduits à une simple dichotomie entre produits Levallois et produits non Levallois, ces derniers ne se définissant qu'en opposition par rapport aux premiers. Il apparaît clairement à l'heure actuelle que le débitage Levallois est un mode de débitage parmi d'autres. Les industries des niveaux inférieur et supérieur de Noir Bois possèdent du débitage Levallois; chacune de ces industries est complétée par un schéma opératoire spécifique, l'un orienté vers le débitage de lames à partir de nucléus prismatiques dans le niveau supérieur, l'autre vers la production d'éclats au travers d'un Système à Surface de Débitage Successif (SSDS) dans le niveau inférieur. On peut remarquer que les produits standardisés et prédéterminés du niveau supérieur sont en grande partie absents. Il y a donc une production de supports à but différé. Toutefois, l'absence de réaménagement des nucléus, à la différence de ce qui peut être observé sur d'autres sites d'exploitation de matière première (Jiboui, Pré Monsieur, Frettes...), montre que l'occupation est plus courte que sur ces derniers sites. Le niveau inférieur montre moins de produits standardisés, la production de supports spécifiques n'est ici pas le but de l'occupation. L'utilisation des supports est non différée; ceux-ci sont issus de schémas opératoires d'où sont absentes les phases d'aménagement et d'entretien, celles-ci sont remplacées par un déplacement des surfaces exploitées. On retrouve le même cas de figure dans l'industrie du niveau remanié.

La matière première principalement débitée est d'origine locale. Toutefois, il faut remarquer que celle-ci ne provient pas de Noir Bois mais de Pré Monsieur. Il n'est pas possible de déterminer s'il s'agit d'un choix qualitatif de matière ou d'un simple problème d'accessibilité. Un cas de figure similaire se retrouve sur l'un des ateliers d'Etelles (Haute-Saône, France), à la différence que celui-ci est installé sur un affleurement de silex qui a été délaissé au profit d'un autre. La sélection de matériau apparaît ici évidente (Cupillard 1991). Comme cela a déjà été observé sur d'autres gîtes de matières premières tels que Frettes (Haute-Saône, France) ou Etrelles (Huguenin 1988), les industries de Noir Bois contiennent une part d'objets en matières allochtones. Ces matériaux sont aussi bien des silex que des roches d'autres types: surtout des quartzites mais également une cinérite et un kéraatophyre. Les rares nucléus en matières allochtones présents sont aménagés sur des nodules de matières régionales (quartzite issu des Vogesenschotter, silex de Charmoille...). Les matériaux importés sont généralement des produits débités, souvent façonnés en outil. Les différentes matières allochtones retrouvées sur le site indiquent des territoires exploités identiques à ceux mis en évidence à Pré Monsieur. Les voies de déplacement sont les mêmes lors de la première phase d'occupation de la région dans l'Eémien et lors de la deuxième phase pendant le Pléniglaciaire inférieur et



moyen. Toutefois, cette dernière phase voit une nette réduction du territoire parcouru. L'intensité de l'exploitation à Pré Monsieur-ensembles A et C peut laisser supposer qu'il s'agissait d'un site principal à partir duquel rayonnaient des déplacements. A l'inverse, les occupations courtes de Noir Bois et de Pré Monsieur-ensemble B donnent l'image de haltes lors d'expéditions venant d'un site principal non encore découvert. Les matières premières rencontrées montrent des voies de circulation identiques pour les sites moustériens inféodés au versant nord de l'Arc jurassien, mais une différence dans l'exploitation des gîtes de matières premières.

Les corpus des quatre industries rencontrées à Noir Bois rendent difficiles les attributions culturelles au-delà de l'appartenance au complexe Moustérien, pour diverses raisons. En ce qui concerne les trois stations observées sur le site (niveaux inférieur, supérieur et remanié), le corpus est trop faible pour que les indices puissent avoir une valeur fiable; c'est notamment le cas pour le niveau inférieur et le niveau remanié. En ce qui concerne le niveau supérieur, le débitage de lames qui le caractérise se retrouve sur plusieurs autres sites dispersés sur tout le territoire européen, principalement situés dans le Glaciaire ancien et le Pléniglaciaire inférieur (stades isotopiques 4 à 5d), mais ce schéma opératoire perdure sur certains sites, comme c'est le cas à Noir Bois, dans le Pléniglaciaire moyen (stade isotopique 3), sur la base de la datation des loëss. D'une part l'étendue de l'échelle chronologique, d'autre part les distances séparant ces sites rendent difficiles le regroupement de ces industries dans un même ensemble culturel. De plus, il n'est pas inutile de se demander si les Groupes moustériens se posaient la question de leur identité culturelle de la même manière que l'ont fait les groupes du Paléolithique supérieur. Dans l'affirmative, la réponse se trouvait-elle dans l'industrie lithique, ou celle-ci répondait-elle avant tout à des besoins pratiques (travail des peaux, travail du bois, boucherie... !)?

Le problème est différent pour le corpus regroupant les artefacts trouvés dans des positions stratigraphiques secondaires. La qualité même du corpus rend délicate toute forme d'interprétation ou d'attribution. Rien ne permet d'affirmer qu'il s'agit d'une seule et même industrie; de plus, le corpus est issu d'un tri qui favorise les pièces très «marquées» typologiquement (rascloirs, éclats Levallois, etc.) au détriment des produits à degré de transformation ou de prédétermination moindre. Dans cette optique, tout au moins pour les régions concernées par cette étude, la notion de Moustérien Charentien doit être remise en cause.

Ces occupations montrent la variabilité que peuvent avoir des industries qui appartiennent au complexe moustérien et qui exploitent un même gîte de matière première, en l'occurrence les bancs de rognons du Kimméridgien d'Alle. Il apparaît nettement que la fonction du site joue un rôle déterminant dans la composition du corpus d'artefacts. La fonction ici évoquée est la production de supports et non pas l'utilisatoir de chaque type d'outil. Le corpus d'artefacts n'est pas uniquement marqueur de l'identité culturelle, mais va varier suivant l'intensité et l'objectif du débitage par rapport à d'autres types d'activités, et donc de l'utilisation différée ou non des produits. Les gisements

moustériens sont donc difficilement interprétables indépendamment les uns des autres et l'étude de l'origine des matières premières est un moyen primordial pour établir des relations entre eux. Un site de production ou de halte implique nécessairement des liens avec les zones de déplacement ou d'origine. Une des voies qui s'ouvre à la recherche dans le Paléolithique moyen est l'interaction existant entre des sites de fonctions différentes. Ainsi, les travaux récents sur le site de Meillers (Allier, France) montrent parfaitement les limites qu'aurait eu une étude purement basée sur le corpus typologique et l'apport fécond que peut avoir l'intégration du site dans l'économie régionale des matières premières (Pasty 2000).

## 9.5 Bibliographie

### Abréviations:

BSPF	Bulletin de la Société préhistorique française, Paris.
CAJ	Cahier d'archéologie jurassienne, Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Emulation, Porrentruy.
CNRS	Centre national de la Recherche scientifique, Paris.
DAF	Documents d'archéologie française, Editions de la Maison des sciences de l'Homme, Paris.
(dir)	Sous la direction de, réunis par.
ERAUL	Etudes et Recherches en Archéologie de l'Université de Liège, Liège.
SALSA	Société d'Agriculture, Lettres, Sciences et Arts, Vesoul.
SPM	La Suisse du Paléolithique à l'aube du Moyen Age, publié par la SSPA.
SSPA	Société suisse de Préhistoire et d'Archéologie, Bâle.

### Affolter Jehanne

- 1991 Analyse pétrographique du silex: origine des matières premières. In: Pousaz Nicole et al. : *L'abri sous roche mésolithique des Gripons à Saint-Ursanne*. CAJ 2, p. 81-95.
- 1997 Les matières premières. In: Othenin-Girard Blaise et al. *Le Campaniforme d'Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. CAJ 7, p. 116-121.
- 1999 Provenance des matières premières en silex. In: Stahl Gretsch Laurence-Isaline, Detrey Jean et al. : *Le site moustérien d'Alle, Pré Monsieur*. CAJ 9, p. 47-56.

### Ameloot-Van der Heijden Nathalie

- 1994 L'ensemble lithique du niveau CA du gisement de Riencourtles-Bapaume (Pas-de-Calais). In: Révillion Stéphane et Tuffreau Alain (dir.): *Les industries laminaires au Paléolithique moyen*. Actes de la table ronde internationale de Villeneuve-d'Ascq, 13 et 14 novembre 1991, CNRS Editions, p. 63-76 (Dossier de Documentation Archéologique 18).

### Amiot Claude

- 1993 Analyse technologique de l'industrie lithique de Montsaugon (Haute-Marne). *Paléo* 5, p. 83-109.

### Aubry Denis

- 1999 Etude sédimentologique. In: Stahl Gretsch Laurence-Isaline, Detrey Jean et al. *Le site moustérien d'Alle, Pré Monsieur (Jura, Suisse)*. CAJ 9, 312 p., 155 fig., 53 pl.



- Aubry Denis et Guélat Michel  
1997 Environnement sédimentologique et analyse micromorphologique. In: Othenin-Girard Blaise et al. *Le Campaniforme d'Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. CAJ 7, p. 15-17; 24-39.
- Boëda Eric  
1990 De la surface au volume. Analyse des conceptions des débitages Levallois et laminaire. In: Farizy Catherine (dir.): *Paléolithique Moyen récent et Paléolithique Supérieur ancien en Europe. Ruptures et transitions: examen critique des documents archéologiques*. Actes du colloque international de Nemours, 9-10-11 mai 1988, p. 63-68 (Mémoire du Musée de Préhistoire d'Ile-de-France 3).
- Bordes François  
1953 Essai de classification des industries « moustériennes ». *BSPF* 50, p. 457-467.  
1975 Sur la notion de sol d'habitat en préhistoire paléolithique. *BSPF* 72/5, p. 139-144.  
1981 Vingt-cinq ans après: le complexe moustérien revisité. *BSPF* 78/3, p. 77-87.  
1988 *Typologie du Paléolithique ancien et moyen*. CNRS, Paris, 5<sup>e</sup> éd., 102 p., 11 fig., 108 pl.
- Bosinski Gerhard  
1967 *Die mittelpaläolithischen Funde im Westlichen Mitteleuropa*. Böhlmann, Köln. 206 p., 212 pl. (Inst. für Ur- und Frühgeschichte der Universität zu Köln, Reihe A, 4).
- Bourguignon Laurence  
1997 *Le moustérien de type Quina: nouvelle définition d'une entité technique*. Thèse de doctorat, Université de Paris X, 672 p.
- Campy Michel  
1982 *Le Quaternaire franc-comtois: essai chronologique et paléo-climatique*. Thèse de science, Université de Franche-Comté, 575 p., 222 fig.
- Campy Michel, Chaline Jean et Vuillemeij Marcel  
1989 *La Baume de Gigny (Jura)*. CNRS, Paris, 263 p., 120 fig., 61 tab. (XXVII<sup>e</sup> supplément à Gallia Préhistoire).
- Cornford J. M.  
1986 Specialised resharpening techniques and evidence of handedness. In: Callow P. et Cornford J. M. (dir.): *La Cotte de Saint-Brelade, Jersey. Excavations by C. B. M. McBurney 1961-1978*, Norwich, Geo Books, p. 337-351.
- C.R.D.A (Centre Régional de la Documentation Archéologique)  
1991 *Silex à fleur de sol. L'exploitation de la matière première dans la région d'Etrelles (Haute-Saône)*. Besançon, 84 p.
- Cupillard Christophe  
1991 L'économie de la matière première sur les affleurements de silex de Haute-Saône. In: C.R.D.A (Centre Régional de la Documentation Archéologique): *Silex à fleur de sol. L'exploitation de la matière première dans la région d'Etrelles (Haute-Saône)*. Besançon, p. 38-39.
- Deloze Valérie, Depaepe Pascal, Gouédo Jean-Marc, Krier Vincent, Loch Jean-Luc et al.  
1994 *Le Paléolithique moyen dans le nord du Sénonais (Yonne). Contexte géomorphologique, industries lithiques et chronostratigraphie*. DAF 47, 276 p., 177 fig.
- Detrey Jean  
1997 Approche typologique et technologique de l'industrie lithique. In: Othenin-Girard Blaise et al. *Le Campaniforme d'Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. CAJ 7, p. 95-115.
- Detrey Jean  
1999a Approches technologique et typologique de l'industrie lithique. In: Stahl Gretsche Laurence-Isaline, Detrey Jean et al.: *Le site moustérien d'Alle, Pré Monsieur (Jura, Suisse)*. CAJ 9, p. 81-134.  
1999b *Les industries lithiques du site moustérien d'Alle, Pré Monsieur (Jura, Suisse)*. Mémoire de DEA, Université de Provence, UMR 6636, non publié, 217 p., 137 fig.
- Detrey Jean  
à paraître Analyses typologique et technologique. In: Paupé Patrick: *L'aven de Romain-la-Roche: piège naturel, tannières et occupations humaines*.
- Detrey Jean, Paupé Patrick et Thévenin André  
1991 Les industries lithiques. In: Paupé Patrick et al.: *Le remplissage d'aven de Romain-la-Roche (25 Doubs), première synthèse: fouilles 1988-1990*. Association pour la sauvegarde des sites préhistoriques et paléontologiques du canton de Rougemont et du pays de Montbéliard, Valentigney, 214 p. (multicopié).
- Dibble H.-L.  
1987 The interpretation of Middle Paleolithic scraper morphology. *American Antiquity* 52, p. 109-117.
- Dubois Auguste et Stehlin H. G.  
1933 La grotte de Cotencher, station moustérienne. *Mémoires de la Société Paléontologique Suisse* 52-53/1, p. 1-292.
- Dubois Philippe  
1992 *Les occupations humaines en Franche-Comté au Paléolithique inférieur et moyen. Première approche paléogéographique et chronostratigraphique*. Mémoire de maîtrise, Université de Franche-Comté, 2 vol., non publié, 285 p., 134 pl.
- Féblot-Augustins Jehanne  
1997 *La circulation des matières premières au Paléolithique*, ERAUL 75, 275 p., 37 tab., 135 fig., 2 tomes.
- Forestier Hubert  
1993 Le clactonien: mise en application d'une nouvelle méthode de débitage s'inscrivant dans la variabilité des systèmes de production lithique au Paléolithique ancien. *Paléo* 5, p. 53-82.
- Geneste Jean-Michel  
1985 *Analyse lithique d'industries moustériennes du Périgord: une approche technologique du comportement des groupes humains au Paléolithique moyen*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 2 vol., non publié, 572 p.



- Geneste Jean-Michel et al.  
1997 Approche technologique des Moustériens Charentiens du Sud-Ouest de la France et du Languedoc oriental. *Paléo* 9, p. 101-142.
- Huguenin Gilles  
1988 *Le peuplement humain du bassin supérieur de la Saône au Paléolithique inférieur et moyen*. SALSA, 373 p., 144 fig. (Archéologie 1).
- Jagher Erwin et Jagher Reto  
1987 Les gisements paléolithiques de la Löwenburg, commune de Pleigne. *AS* 10/2, p. 43-52.
- Jéquier Jean-Pierre  
1975 *Le Moustérien alpin. Révision critique*. Institut d'archéologie yverdonnoise, Yverdon, 126 p., 60 pl. (Eburodunum II).
- Le Tensorer Jean-Marie  
1993 Le Paléolithique ancien et moyen. In: Le Tensorer Jean-Marie et Niffeler Urs (dir.): *La Suisse du Paléolithique à l'aube du Moyen Age. Paléolithique et Mésolithique*. SSPA, p. 119-151 (SPM I).
- 1998 *Le Paléolithique en Suisse*. Millon, Aubenas, 499 p. (Collection l'Homme des origines, série Préhistoire l'Europe 5).
- Othenin-Girard Blaise et al.  
1997 *Le Campaniforme d'Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. CAJ 7, 208 p., 114 fig., 25 pl.
- Otte Marcel  
1994 Réflexions sur les lames au Paléolithique moyen. In: Révillion Stéphane et Tuffreau Alain (dir): *Les industries laminaires au Paléolithique moyen*. Actes de la table ronde internationale de Villeneuve-d'Ascq, 13 et 14 novembre 1991, CNRS, Paris, p. 187-191 (Dossier de Documentation Archéologique 18).
- Otte Marcel  
1998 L'illusion charentaise. *Paléo* 10, p. 311-317.
- Pasty Jean-François  
2000 Le gisement Paléolithique moyen de Meillers (Allier): un exemple de la variabilité du débitage Discoïde. *BSPF* 97/2, p. 165-190.
- Paupe Patrick  
1996 L'aven de Romain-la-Roche: un site archéologique européen. *Bulletin de la Société d'Emulation de Montbéliard* 119, p. 23-96.
- Paupe Patrick et al.  
1991 Le remplissage d'aven de Romain-la-Roche (25 Doubs), première synthèse: fouilles 1988-1990. Association pour la sauvegarde des sites préhistoriques et paléontologiques du canton de Rougemont et du pays de Montbéliard, Valentigney, 214 p. (multicopié).
- Pétréquin Pierre  
1970 *La grotte de la Baume de Gonvillars*. Annales Littéraires de l'Université de Besançon, Les Belles Lettres, Paris, 185 p.
- Piningre Jean-François et Vuillemeys Marcel  
1976 Les civilisations du Paléolithique moyen en Franche-Comté. In: de Lumley Henry (dir.): *La préhistoire française*. CNRS, Paris, p. 1120-1130.
- Rebmann Thierry  
1999 Provenance des roches siliceuses différentes du silex. In: Stahl Gretsch Laurence-Isaline, Detrey Jean et al.: *Le gisement moustérien d'Alle, Pré Monsieur*. CAJ 9, p. 58-73.
- Rebmann Thierry et Detrey Jean  
à paraître Exploitation des ressources naturelles lithiques en milieu montagnard au Paléolithique moyen. L'exemple de la Vallée de la Bruche (Bas-Rhin, France).
- Révillion Stéphane et Cliquet Dominique  
1994 Technologie du débitage laminaire du gisement Paléolithique moyen de Saint-Germain-des-Vaux/Port-Racine (secteur I) dans le contexte des industries du Paléolithique moyen du Massif Armoricaire. In: Révillion Stéphane et Tuffreau Alain (dir): *Les industries laminaires au Paléolithique moyen*. Actes de la table ronde internationale de Villeneuve-d'Ascq, 13 et 14 novembre 1991, CNRS, Paris, p. 45-62 (Dossier de Documentation Archéologique 18).
- Révillion Stéphane et Tuffreau Alain  
1994 a Introduction aux actes de la table ronde. In: Révillion Stéphane et Tuffreau Alain (dir.): *Les industries laminaires au Paléolithique moyen*. Actes de la table ronde internationale de Villeneuve-d'Ascq, 13 et 14 novembre 1991, CNRS, Paris, p. 11-17 (Dossier de Documentation Archéologique 18).
- Révillion Stéphane et Tuffreau Alain  
1994 b Valeur et signification du débitage laminaire du gisement paléolithique moyen de Seclin (Nord). In: Révillion Stéphane et Tuffreau Alain (dir): *Les industries laminaires au Paléolithique moyen*. Actes de la table ronde internationale de Villeneuve-d'Ascq, 13 et 14 novembre 1991, CNRS, Paris, p. 19-44 (Dossier de Documentation Archéologique 18).
- Roebroeks Wil, Kolen Jan, Van Poecke Martijn et Van Gijn Annelou  
1997 «Site J»: an early Weichselian (middle Paleolithic) flint scatter at Maastricht-Belvédère, the Netherlands. *Paleo* 9, p. 143-172.
- Sainty Jean et al.  
1994 *Mutzig, les chasseurs de mammoths dans la vallée de la Bruche*. Les musées archéologiques de la ville de Strasbourg, 65 p. (Fouilles récentes en Alsace 2).
- Saltel Sébastien  
1997 Alle, Pré au Prince, fouilles 1990, rapport définitif. In: *Archéologie et A16 – Transjurane. Rapports et notes scientifiques. 1997*. Porrentruy, Office du patrimoine historique, Section d'archéologie, p. 235-256 (Dossier d'archéologie 48).
- Schmid Elisabeth  
1982 Der Neolitische Silex-Bergbau bei der Löwenburg (Pleigne JU). *AS* 5/2, p. 51-54.
- Slimak Ludovic  
1999a Mise en évidence d'une composante laminaire et lamellaire dans un complexe moustérien du sud de la France. *Paléo* 11, p. 89-109.



Slimak Ludovic

1999b Pour une individualisation des Moustériens de type Quina dans le quart sud-est de la France ? La Baume Néron (Soyons, Ardèche) et le Champ Grand (Saint-Maurice-sur-Loire, Loire), premières données. *BSPF* 96/2, p. 133-144.

Stahl Gretsch Laurence-Isaline et Detrey Jean

1994 Exploitation du silex au cours du temps à Alle (JU). *Minaria Helvetica* 14a, p. 4-14.

Stahl Gretsch Laurence-Isaline, Detrey Jean et al.

1999 *Le site moustérien d'Alle, Pré Monsieur (Jura, Suisse)*. CAJ 9, 312 p., 155 fig., 53 pl.

Tillet Thierry

1998 *Jiboui (Haut-Diois, Drôme). Rapport sur les travaux effectués en 1997*. Equipe de Recherche sur les Peuplements et les Paléomilieux Alpains, URA 164 du CNRS, p. 45.

Tuffreau Alain (dir.)

1994 *Riencourt-lès-Bapaume (Pas-de-Calais). Un gisement du Paléolithique moyen*. DAF 37, 126 p., 80 fig.

Turq Alain

1992 *Le Paléolithique inférieur et moyen entre les vallées de la Dordogne et du Lot*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 780 p.



## 10 L'OCCUPATION MAGDALÉNIENNE

### 10.1 Situation et répartition (Blaise Othenin-Girard)

La fouille effectuée dans la partie occidentale de Noir Bois a mis au jour un petit gisement magdalénien, constitué exclusivement d'industrie lithique (fig. 84). L'intervention archéologique a en effet révélé un corpus de quelque 1600 artefacts répartis sur une trentaine de mètres carrés; en revanche, ni traces de foyer ni restes en matières organiques n'ont été mis en évidence. Cette station de plein air, positionnée dans la partie supérieure de la séquence lœssique du site, est sise au pied de la colline de Noir Bois à une altitude de 447,50 m; à cet emplacement, on domine de 5 mètres le fond de la plaine alluviale de l'Allaine actuelle.

Des rognons de silex existent à l'état naturel au sommet des bancs calcaires ou dans les sédiments qui coiffent le socle rocheux, en particulier à l'emplacement des vestiges. Au Paléolithique supérieur, le prélèvement de cette matière première

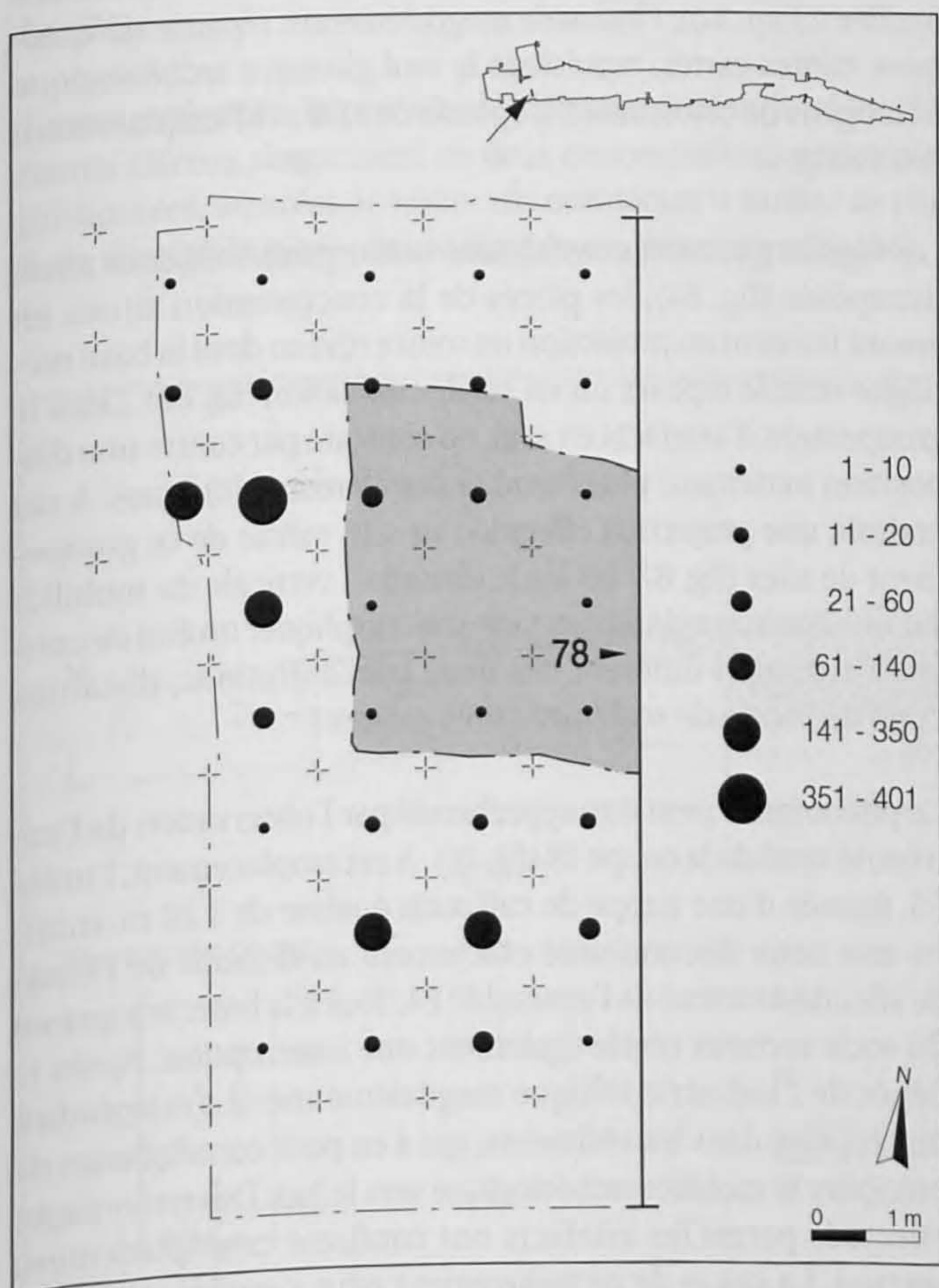


Fig. 84. Répartition et densité (nombre de pièces par m<sup>2</sup>) de l'industrie lithique du gisement magdalénien. Emplacement de la coupe 78 et du coup de pelle mécanique (en grisé) qui a emporté une partie des artefacts lors de la découverte des vestiges.



Fig. 85. Vue de la coupe 74. Au-dessus des bancs calcaires, on peut voir un lit de rognons de silex à l'état naturel, surmonté par l'unité sédimentaire E4. Le gisement magdalénien se trouve à 20 m en amont.

affleurante n'a pas nécessité de creusements importants, on peut même parler de ramassage (fig. 85). Le silex d'Alle a été exploité dès le Paléolithique moyen, comme en témoigne l'industrie lithique moustérienne mise en évidence sur des surfaces importantes de Noir Bois (chap. 9.1).

A ce jour, le gisement magdalénien de Noir Bois demeure la seule découverte de cette culture en Ajoie, comme dans le reste du canton du Jura. Considéré en revanche dans un cadre géographique élargi, il s'ajoute aux nombreux sites déjà répertoriés dans la partie orientale de la chaîne jurassienne. Il comble aussi un espace vide entre, d'une part la concentration de stations en grotte, en abris ou en milieu ouvert, localisées dans la vallée de la Birse, la région d'Olten et le coude du Rhin sur ses deux rives, et d'autre part les gisements de Franche-Comté (Leesch 1997, p. 26, fig. 5, n° 53; David 1996, p. 113, fig. 1).

La situation altimétrique du site magdalénien de Noir Bois (447,50 m) paraît conforme à celle des occupations de cette période; cette donnée est en particulier très proche de la moyenne des altitudes des gisements du Magdalénien supérieur de Suisse, établie à 449 m (Le Tensorer 1998, p. 229).



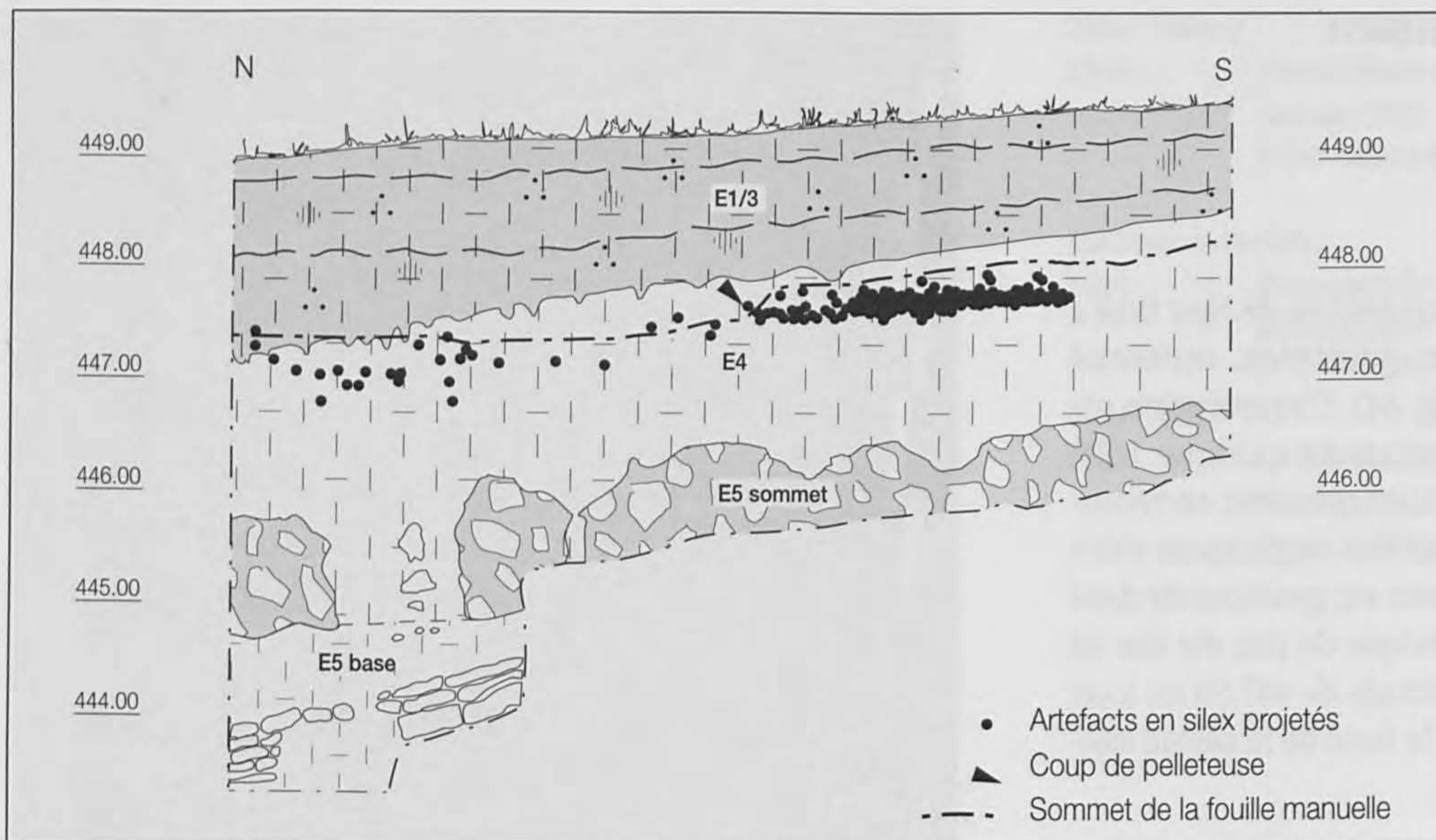


Fig. 86. Coupe 78 avec projection de l'industrie lithique dans la partie supérieure des loëss de l'unité sédimentaire E4. On remarque, au sud, que les artefacts forment un niveau compact alors qu'au nord, ils apparaissent dilatés dans la verticale.

Bien que constituée seulement d'un effectif restreint d'industrie lithique, la station magdalénienne de Noir Bois se distingue par un bon état de conservation. Les vestiges sont restés dans leur contexte loëssique d'origine alors que la plupart des gisements de plein air de Franche-Comté n'ont pas bénéficié de conditions de préservation aussi favorables (David 1996, p. 125). De surcroît, la totalité de l'extension de ce petit site a été perçue et après sa découverte, l'intégralité du mobilier a pu être prélevée par le biais d'une fouille manuelle et de tamisages. Ces conditions ont permis de définir principalement la nature de la brève activité qui s'est déroulée sur le site et d'entrevoir la raison pour laquelle quelques individus se sont arrêtés au pied de la colline de Noir Bois (chap. 10.5).

#### Stratigraphie et état de conservation

L'industrie lithique magdalénienne se répartit dans la partie supérieure de l'ensemble E4 qui constitue le sommet de la séquence antéholocène de Noir Bois (fig. 86). Cette dernière, reconstituée de manière synthétique (chap. 3), comprend tout à la base deux dépôts d'altérites fluviales (E9 et E8), surmontés par les entités loëssiques E7 à E4; des industries moustériennes en position primaire ont été décelées dans E8 et E7 (chap. 9.1). Au-dessus de E4 gisent les niveaux holocènes E3 à E1. Grâce à des datations  $C^{14}$  et par thermoluminescence (chap. 7), à l'étude sédimentologique et micromorphologique (chap. 3 à 5), il est possible de proposer une insertion chronologique et climatique de l'ensemble de ces dépôts, qui se sont formés essentiellement au cours du dernier cycle glaciaire (chap. 10).

Toutefois, la partie sommitale de la séquence, représentée successivement par les entités E5 et E4, ne bénéficie pas de datation absolue (chap. 4.6, phases 10-12 et chap. 5.5.3). Si l'attribution au Tardiglaciaire de ces ensembles ne pose pas de problème, une datation plus fine de leur mise en place et des phénomènes pédologiques qu'ils ont enregistrés ne peut être tentée que sur la base de comparaisons avec des stratigraphies de référence plus lointaines. Le repère temporel apporté par

la typologie de l'industrie magdalénienne contenue dans E4 n'est pas négligeable, malgré un degré de précision faible en raison d'un corpus d'outillage restreint (chap. 10.3).

L'unité E4 s'étend sur l'intégralité des 2,4 hectares de la surface fouillée (chap. 3.3); l'industrie magdalénienne, répartie sur quelques mètres carrés, représente le seul gisement archéologique homogène de cette unité E4, épaisse de 1,50 m à l'emplacement des vestiges.

Les silex du gisement magdalénien sont organisés en deux amas juxtaposés (fig. 84), les pièces de la concentration située en amont forment en projection un mince niveau dont la base rectiligne semble reposer sur un sol de circulation (fig. 86). Dans le groupement d'artefacts en aval, on constate par contre une disposition nettement plus étendue des éléments lithiques. A cet endroit, une projection effectuée au sein même de ce groupement de silex (fig. 87) révèle la dilatation verticale du mobilier sur une épaisseur de 60 cm. Comment expliquer un état de conservation aussi différent des deux concentrations, distantes l'une de l'autre de seulement trois mètres ?

Ce phénomène peut être appréhendé par l'observation de l'extrémité nord de la coupe 78 (fig. 86). A cet emplacement, l'unité E5, formée d'une nappe de cailloutis épaisse de 1,20 m, montre une nette discontinuité exactement au-dessous de l'amas de silex déstructuré de l'ensemble E4. Tout à la base, le sommet du socle rocheux révèle également une interruption. Après le dépôt de l'industrie lithique magdalénienne, il s'est produit une rupture dans les sédiments, qui a eu pour conséquence de précipiter le mobilier archéologique vers le bas. Des remontages effectués parmi les artefacts ont confirmé ce déplacement vertical. La cause de ce mouvement peut s'expliquer par un sous-tirage d'origine karstique, une particularité géologique maintes fois constatée sur le site. On peut aussi supposer une alternance de gels et de dégels, mais les silex n'ont pas été affectés par une telle action; de même, les sédiments n'ont pas enregistré de gel important (chap. 4.6, phase 11; 5.5.3.2).



Il apparaît que les silex, après leur abandon par les Magdaléniens, n'ont pas subi de dispersion latérale importante. Les études sédimentologique et micromorphologique (chap. 4, phases 11-12 ; 5.5.3.2) indiquent que les lœss de l'ensemble E4 se sont mis en place par des processus de colluvions ou par apports éoliens, aux dépens de limons plus anciens; cette sédimentation relativement calme s'est poursuivie après l'occupation humaine, sans en déranger les vestiges. Par ailleurs, des traces de sols antéholocènes peu développés ont été détectées dans les sédiments de E4 ; une légère couverture végétale du terrain, après l'occupation humaine, a peut-être participé à la fixation du sol et à la bonne préservation des témoins magdaléniens.

#### Répartition de l'industrie lithique

Il est établi que l'étude de l'organisation spatiale des vestiges d'un site archéologique peut apporter de nombreux renseignements sur les activités qui s'y sont déroulées (Leroi-Gourhan et Brézillon 1966 et 1972 ; Cahen et al. 1980, Leesch 1997). Les interprétations les plus profitables concernent toutefois les gisements bien conservés et particulièrement ceux caractérisés par une courte durée d'occupation; il faut donc s'assurer que les artefacts découverts ne résultent pas d'un mélange de plusieurs habitats (Le Tensorer 1998, p. 244). La petite station magdalénienne de Noir Bois semble répondre à ces conditions.

#### Le silex

Toutes catégories de produits de débitage confondus, les éléments siliceux s'organisent en deux concentrations principales juxtaposées, séparées de 4,50 m en considérant la surface de plus forte densité de pièces de chacune de ces deux zones (fig. 84).

Une distribution par types de matières des artefacts siliceux permet d'affiner l'interprétation. En effet, l'analyse pétrographique a déterminé sur ce gisement trois types de silex de provenances diverses; ceux issus d'Alle et de Bendorf (Haut-Rhin, France) constituent la quasi totalité de l'effectif (chap. 10.2.1), la troisième matière (silex de Dossenbach) n'est représentée que par un petit casson.

D'après ce mode de répartition, trois concentrations se dessinent: l'une, en aval, concerne le silex d'Alle (locus 1); tout en amont se trouve un emplacement comprenant des silex de Bendorf (locus 2); enfin, un petit regroupement d'artefacts débités dans cette même matière occupe une position intermédiaire (locus 3) entre les deux amas principaux (fig. 88).

Une répartition prenant en compte les nucléus révèle de manière certaine deux emplacements de débitage; l'existence d'un troisième poste ne peut être que supposée. En effet, les locus 1 et 2 montrent chacun une configuration identique: une surface comprenant l'ensemble des produits débités (outillage compris), répartis en forte concentration sur trois à quatre mètres carrés, s'oppose à l'emplacement des nucléus, abandonnés à environ un mètre au nord-est de chaque amas (fig. 90). Il est possible que le locus 3 ait présenté une disposition identique, mais bien que les éléments taillés puissent être assemblés entre eux (fig. 91), les nucléus correspondant à ce poste n'ont pas été retrouvés (chap. 10.4).

Deux causes peuvent expliquer cette carence; la première se rapporte à un choix des occupants du site; en le quittant, ils ont emporté des nucléus non intégralement débités sur ce locus 3. Plus prosaïquement, la deuxième raison tient peut-être

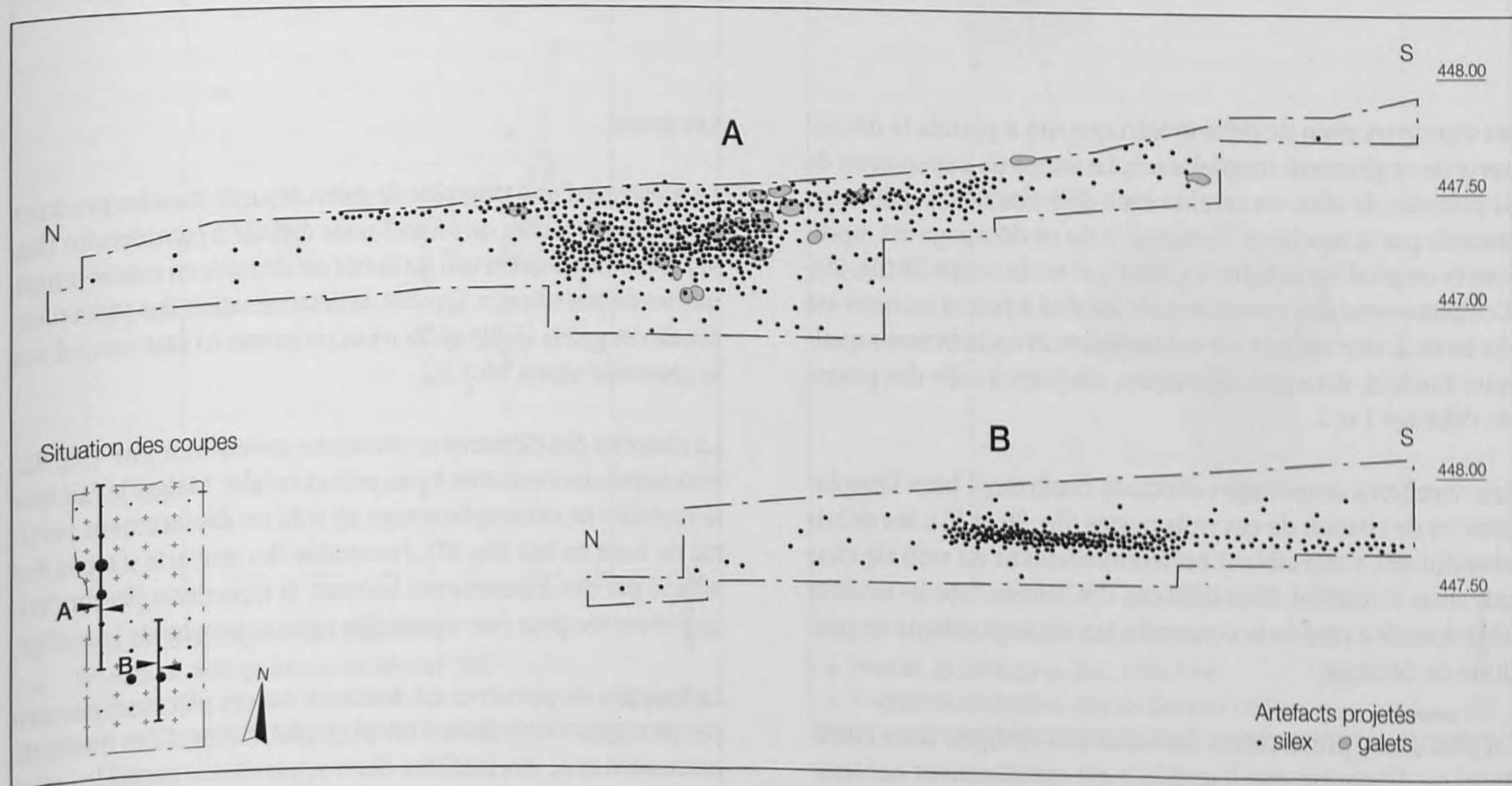


Fig. 87. Projection de l'industrie lithique en travers des amas de débitage des locus 1 (A) et 2 (B). La dispersion verticale des artefacts du locus 1 est probablement due à un phénomène karstique.



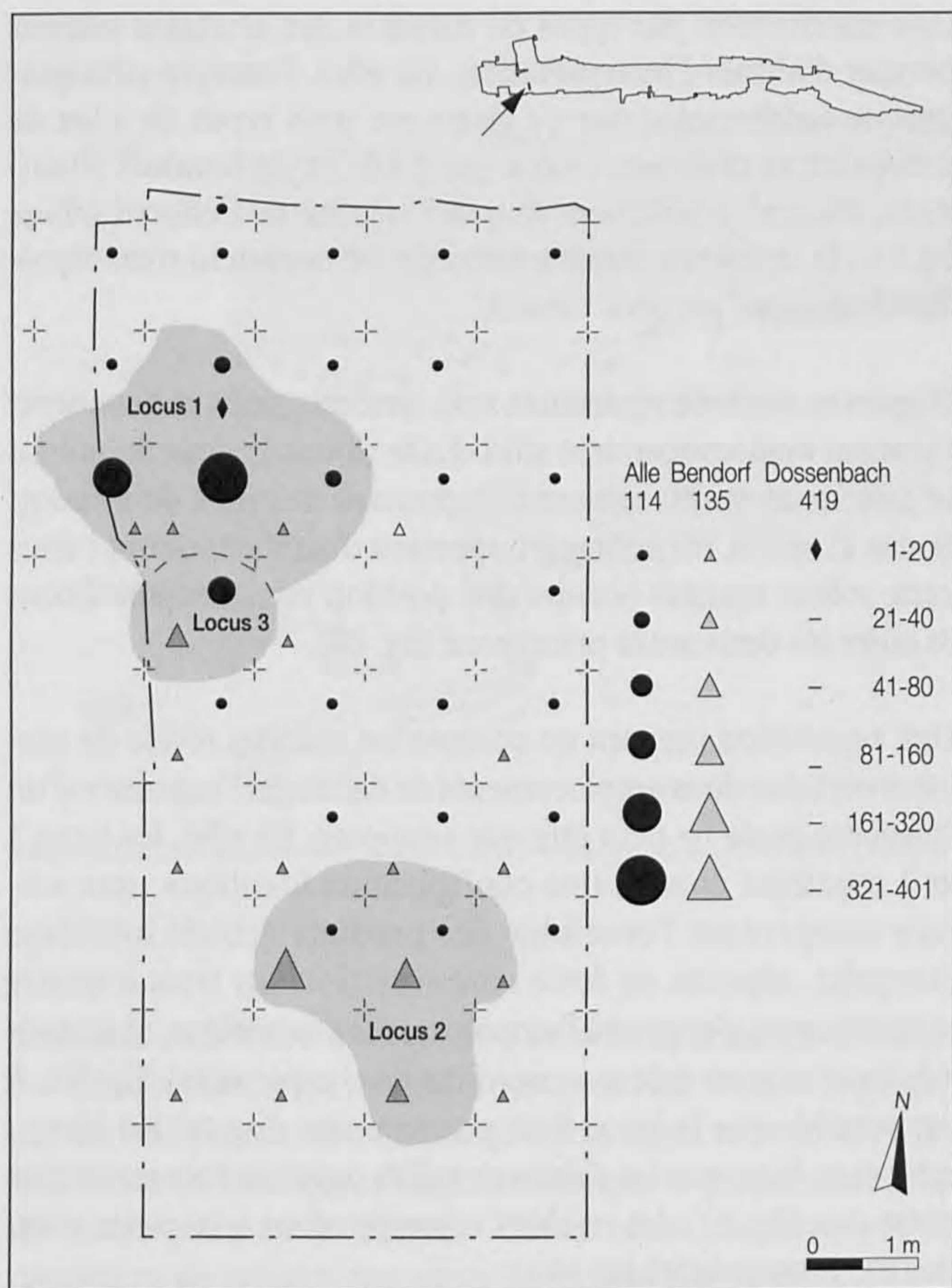


Fig. 88. Répartition et densité (nombre de pièces par m<sup>2</sup>) de l'industrie lithique en fonction des types de matières. Il se dessine une concentration comprenant le silex d'Alle (locus 1) et deux autres amas constitués par du silex de Bendorf (locus 2 et 3).

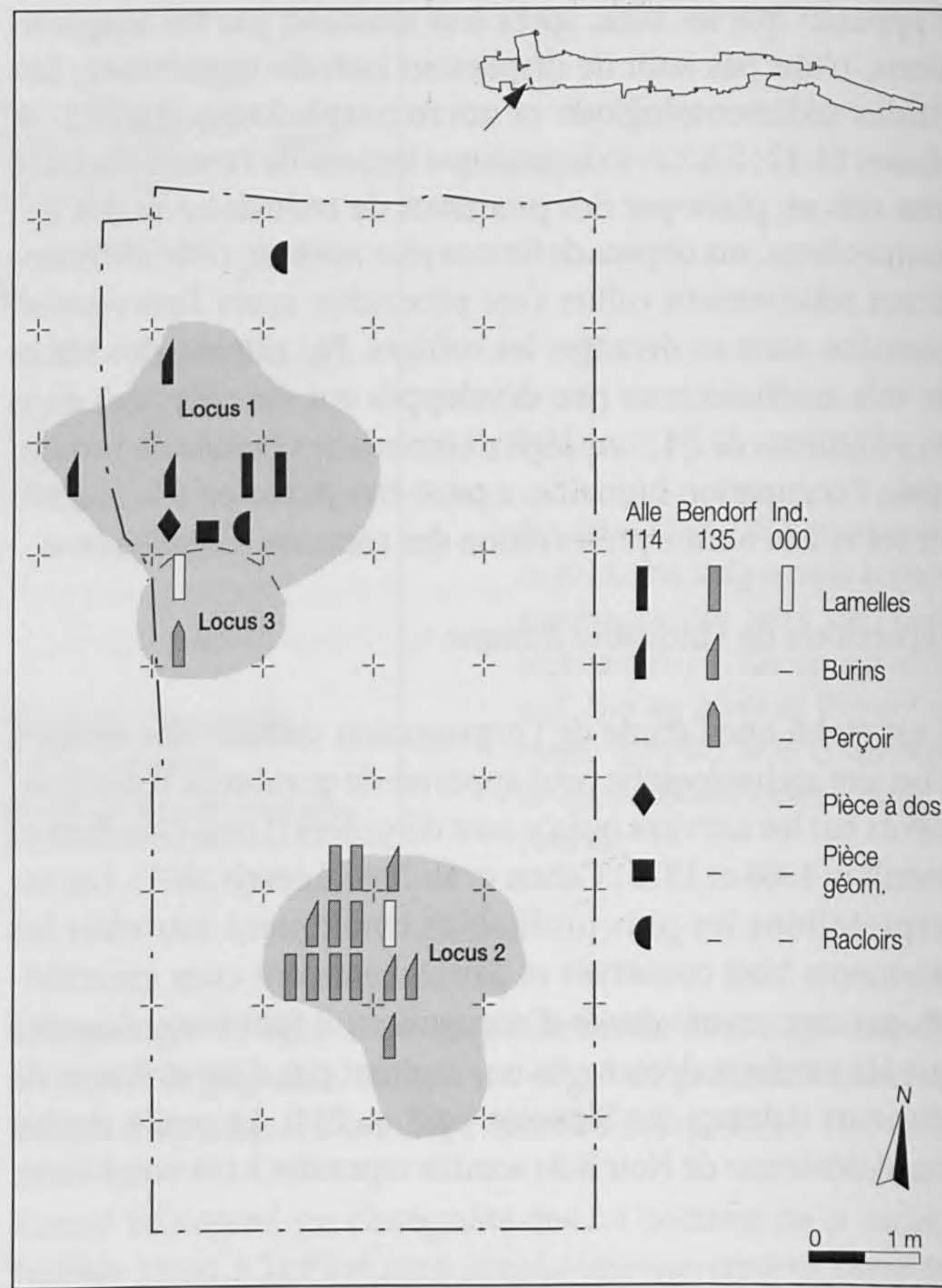


Fig. 89. Répartition des principales catégories d'outils en fonction des types de matières premières. L'outillage en silex d'Alle ou de Bendorf reste regroupé dans le locus dédié au débitage de chacune de ces deux matières.

au vigoureux coup de pelle mécanique qui a permis la découverte de ce gisement magdalénien. Le temps de s'apercevoir de la présence de silex, un camion avait déjà évacué les sédiments excavés par la machine. L'empreinte de ce décapage est représentée en grisé sur la figure 84 ainsi que sur la coupe 78 (fig. 86). L'emplacement du creusement est localisé à l'est et au nord-est du locus 3, une surface où se trouvaient éventuellement quelques nucléus, dans une disposition similaire à celle des postes de débitage 1 et 2.

Les nombreux remontages effectués confirment bien l'emplacement de chacun de ces trois postes (fig. 90 et 91); les débris abandonnés s'assemblent préférentiellement au sein de chaque amas et révèlent, dans deux cas, des liaisons avec les nucléus abandonnés à côté de la concentration correspondante de produits de débitage.

En plus d'une préservation favorable des vestiges, cette configuration démontre que leur dépôt est certainement contemporain. En effet, quelques silex du locus 1, en aval, ont pu être reliés avec des pièces réparties dans le locus 2, plus haut dans la pente (fig. 90 et 91).

### Les galets

La présence d'une vingtaine de galets répartis dans les produits de débitage en silex du locus 1 reste difficile à comprendre (fig. 92). Il est toutefois certain qu'ils ont été déposés en même temps que les débris siliceux. En effet, la détermination des provenances de ces galets révèle qu'ils n'ont pu exister à l'état naturel sur le gisement (chap. 10.2.2).

La majorité des éléments se concentre sur environ 1 m<sup>2</sup> (fig. 92) et dessine une couronne à peu près circulaire. Malgré le fait que le mobilier de cet emplacement ait subi un déplacement vertical de haut en bas (fig. 87), l'ensemble des artefacts n'a pas été affecté par des mouvements latéraux; la répartition planimétrique observée peut être considérée comme proche de la réalité.

La fonction de percuteur est douteuse, car ces pièces ne portent pas de stigmates résultant d'un tel emploi, même si des traces de percussion avec des matières dures apparaissent parmi les produits de débitage en silex (chap. 10.4). Un seul galet montre qu'un éclat a été détaché à l'une de ses extrémités qui, par ailleurs, ne présente pas d'altération consécutive à des chocs



répétés. L'objet se distingue aussi par un aspect massif qui devait rendre peu aisée la mise en forme d'un nucléus ; une morphologie identique caractérise du reste l'ensemble de ce matériel (fig. 96) dont les éléments atteignent des dimensions assez importantes (longueur moyenne de 95 mm; largeur moyenne de 72 mm; poids moyen de 470 g).

S'agissait-il d'un stock de matière première destiné à être taillé, comme le suggère l'unique éclat obtenu à partir d'un galet en grès quartzitique ? La taille de quartzites est attestée sur quelques sites magdaléniens en Suisse (Le Tensorer 1998, p. 240), mais ce phénomène reste anecdotique ; un silex de qualité acceptable, de surcroît d'un accès facile à Noir Bois, se prête mieux à l'obtention des supports laminaires, essentiellement recherchés à cette période.

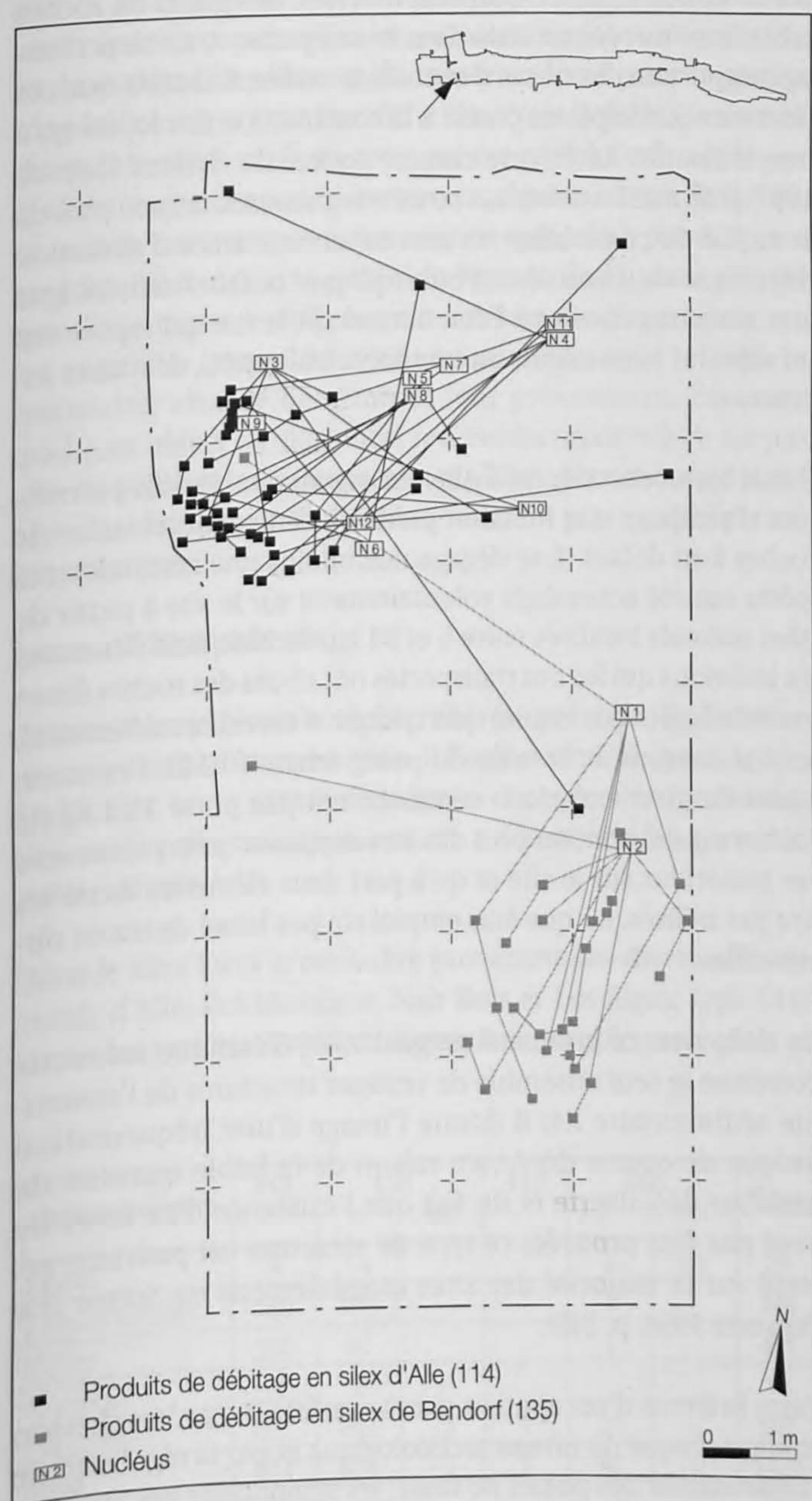


Fig. 90. Répartition spatiale des remontages entre produits de débitage et nucléus. Seuls les locus 1 et 2 apparaissent avec les nucléus en dehors des concentrations.

Un autre élément, de forme subrectangulaire, présente sur un de ses côtés une surface plano-convexe attestant d'une utilisation comme polissoir ou aiguiseur (chap. 10.2.2). A notre connaissance, l'affûtage d'un tranchant d'outil siliceux se faisait plutôt par retouche que par abrasion ; il faut donc supposer un emploi sur une autre matière, organique ou minérale.

La configuration en couronne de ces pierres peut faire immédiatement penser aux vestiges d'un foyer. Mais à l'œil nu comme au microscope (chap. 10.2.2), la surface des galets n'a pas révélé de fissures ou de colorations dues à une éventuelle source de chaleur. Les fouilleurs n'ont pas détecté la moindre particule de charbon de bois ni de sédiment altéré par le feu à cet endroit, comme sur la totalité du gisement magdalénien, apparemment dépourvu de toute structure de combustion. Des

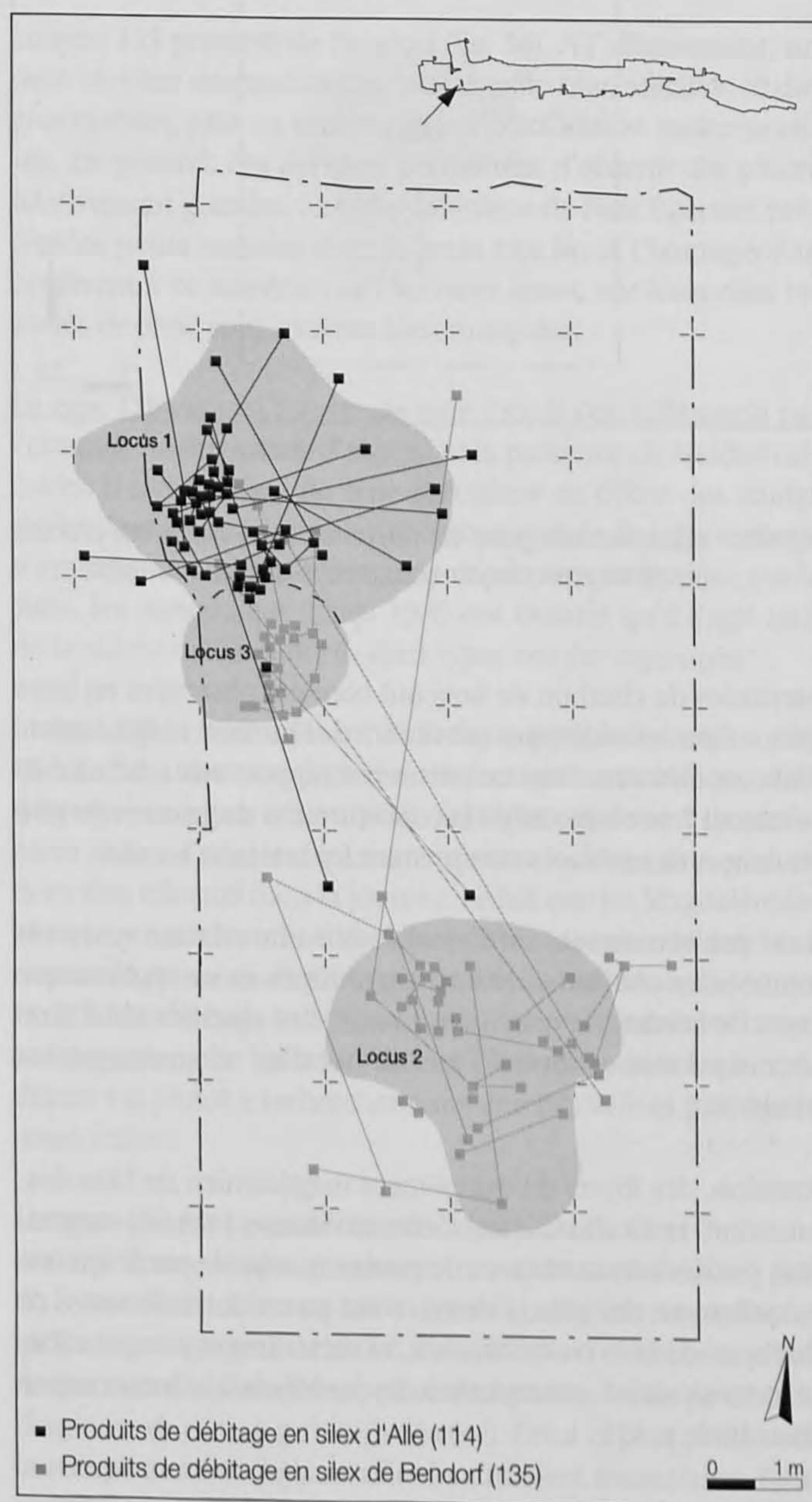


Fig. 91. Répartition spatiale des remontages des produits de débitage entre eux. Le locus 3 apparaît en limite du locus 1.



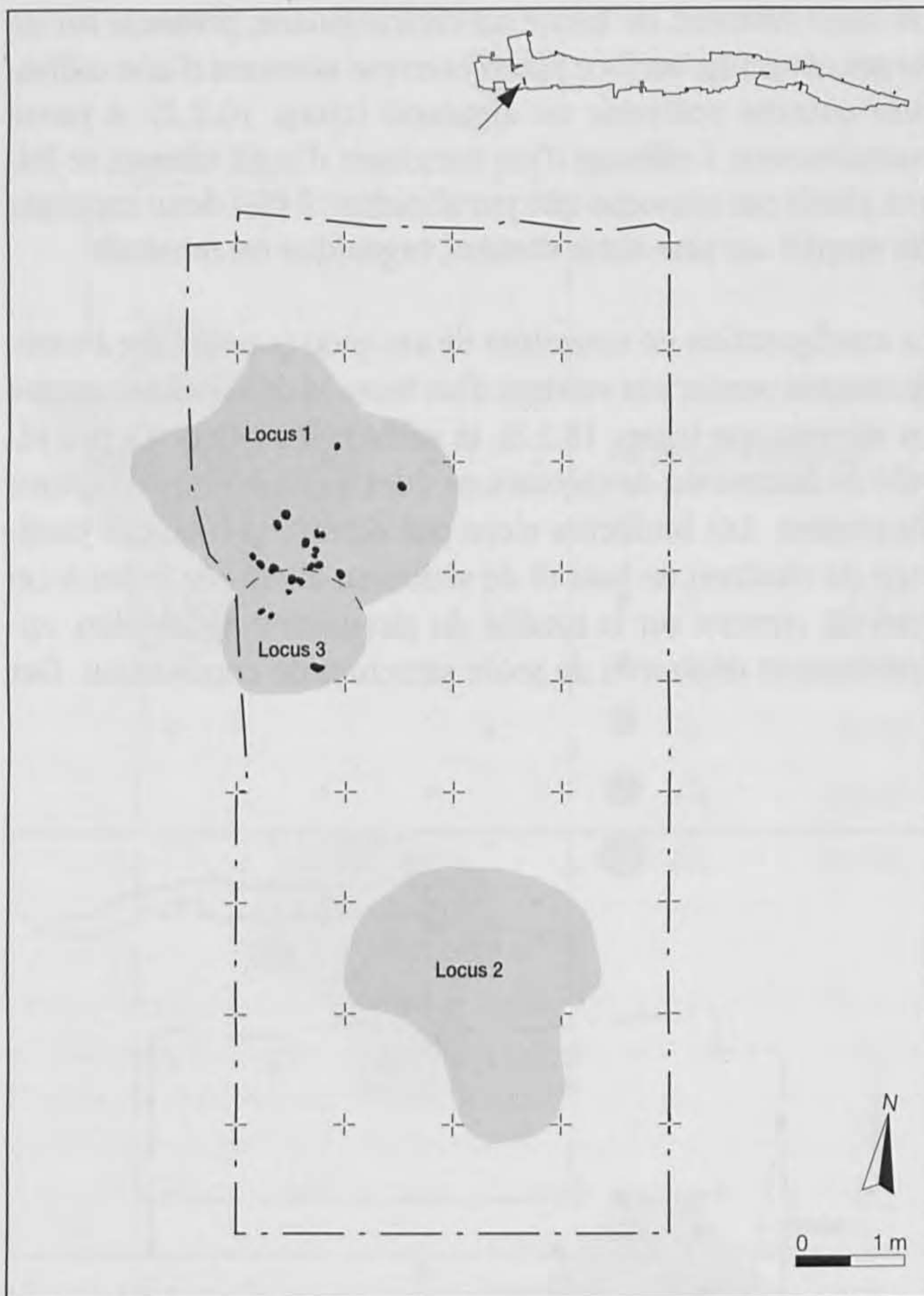


Fig. 92. Répartition des galets au sein de la concentration des produits de débitage en silex du locus 1 pour l'essentiel (en gris).

particules de charbon de bois ont bien été observées en lame mince dans les sédiments provenant de l'horizon magdalénien. Mais ces éléments sont excentrés par rapport aux artefacts; ils se situent 7 m en amont de la concentration de galets et de plus en dehors des surfaces comprenant les artefacts en silex.

Il est par conséquent difficile d'établir une relation entre ces minuscules charbons de bois disséminés et un quelconque foyer. De surcroît, la quasi-absence de silex chauffés (0,13 % du corpus) semble confirmer l'inexistence d'un tel aménagement (chap. 10.2.1).

Toutefois, des foyers du campement magdalénien de Marolles-sur-Seine, Le Grand Canton (Seine-et-Marne, France), caractérisés par des accumulations de pierres marquées par le feu (essentiellement des grès siliceux), n'ont pas montré de restes de charbons de bois ou de cendres, ni de sédiment naturel rubéfié; cette situation est imputée à des problèmes de conservation (Rieu 1999, p. 97).

A Alle, l'absence de toute marque de chaleur sur les pierres n'implique pas *a priori* qu'une structure de combustion n'ait pas existé; on peut imaginer la combustion d'un peu de bois pendant un court laps de temps, opération dégageant peu de chaleur; en effet, les marques d'oxydation par le feu des grès

de Marolles-sur-Seine, Le Grand Canton apparaissent à partir de 300°C et se marquent bien dès 500°C (March et Soler-Mayor 1999, p. 109).

Même si l'on admet l'existence d'un foyer, les roches en quartzites, en grès et en grès quartzitique amenées sur le gisement à partir d'affleurements éloignés, avaient peut-être une autre fonction que celle de délimiter une zone de combustion; des blocs calcaires et des rognons de silex locaux auraient tout aussi bien pu remplir ce rôle, quoique les matériaux cristallins recèlent un pouvoir élevé de conductivité thermique (Leesch 1997, p. 60). En effet, à Marolles-sur-Seine, Le Grand Canton, la majorité des pierres des foyers est constituée de grès siliceux que les occupants du site sont allés chercher en dehors du gisement, pour leur qualité d'accumulation de chaleur (Rieu 1999, p. 96).

Sur le site de Hauterive, Champréveyres, des galets en roches cristallines ont été amenés dans le campement; un tiers d'entre eux portent des traces d'exposition au feu. Il semble que ces éléments participaient plutôt à la construction des foyers qu'à une utilisation ultérieure comme source de chaleur (Leesch 1997, p. 58 ss). Toutefois sur ce même gisement, un peu plus de la moitié de ce mobilier n'a montré aucune trace d'altération thermique ou mécanique. Pour expliquer ce fait, l'archéologue invoque une présence à l'état naturel sur le site qui repose sur un substrat morainique, ou une brève utilisation, de nature inconnue.

Il faut bien constater qu'à Alle, les arguments décisifs permettant d'attribuer une fonction précise à cette concentration de roches font défaut. Il se dégage néanmoins une certitude: ces galets ont été acheminés volontairement sur le site à partir de gîtes naturels localisés entre 5 et 50 km de Noir Bois. En outre, les individus qui les ont transportés ont choisi des roches dures essentiellement de nature quartzitique d'un calibre déterminé, le plus souvent de la taille du poing (chap. 10.2.2). Les occupants du gisement n'ont certainement pas porté 10,4 kg de roches sans raison; on peut dès lors supposer qu'ils ont amené ces matériaux sur le site et qu'à part deux éléments, ils ne les ont pas utilisés, ou que leur emploi n'a pas laissé de traces observables.

En définitive, ce gisement magdalénien d'étendue restreinte constitue le seul ensemble de vestiges structurés de l'ensemble sédimentaire E4; il donne l'image d'une fréquentation unique de courte durée, en raison de la faible quantité de mobilier découverte et du fait que l'existence d'un foyer ne peut pas être prouvée; ce type de structure est pourtant attesté sur la majorité des sites magdaléniens en Suisse (Le Tensorer 1998, p. 245).

Cette brièveté d'occupation paraît confirmée par la cohésion stratigraphique du niveau archéologique et par la régularité de l'organisation des postes de taille; les remontages des silex attestent d'un dépôt contemporain de tous les objets. L'ensemble de ces caractéristiques permet d'assimiler la station magdalénienne de Noir Bois à un simple site de taille de silex, témoignant d'un bref passage humain (Le Tensorer 1998, p. 230).



## 10.2 Études pétrographiques

### 10.2.1 Provenance des silex magdaléniens (Jehanne Affolter)

#### Introduction

Le site magdalénien d'Alle, Noir Bois est constitué d'un ensemble que l'on peut considérer comme clos, présentant trois concentrations. Cet assemblage *in situ* permet d'effectuer un « instantané » sur les modalités d'exploitation des matériaux lors d'une occupation de courte durée (chap. 10.5).

#### Protocole d'analyse

Un premier tri macroscopique a été effectué sur l'ensemble des pièces attribuées au Paléolithique supérieur, afin d'effectuer une tripartition entre silex locaux, silex exogènes et quartzites et de cerner l'importance du matériau local pour le groupe magdalénien qui s'est installé à Alle, Noir Bois. Mille six cent cinquante-neuf artefacts ont ainsi été triés à l'œil nu ; les esquilles trop petites pour autoriser une détermination fiable, que ce soit en macroscopie ou en microscopie, n'ont pas été prises en compte dans cette partie de l'étude de l'industrie lithique. Puis toutes les pièces en matériaux exogènes autres que les quartzites (chap. 10.2.2) ont été analysées sous la loupe binoculaire, afin de déterminer leur provenance. En outre, quelques objets en silex local ont été incorporés à ce corpus, afin de préciser les faciès locaux exploités. Six cent onze pièces ont ainsi fait l'objet d'une détermination pétrographique microscopique.

#### Les matériaux présents

Quarante-trois pièces sont trop altérées pour que leur matière première puisse être identifiée. Il s'agit essentiellement de silex désilicifiés, où la nature de la roche n'est plus reconnaissable. Une seule pièce montre des traces évidentes de feu parmi ces indéterminés.

Dans le silex local (c'est-à-dire provenant des divers affleurements d'Alle, Pré Monsieur, Noir Bois et Les Aiges; type 114), toutes les variétés ont été utilisées. Il ne semble pas y avoir eu

Matière première	114	135		419	000		Total
		n	feu		n	feu	
Outils	9	14			2	(1)	25
Lames/lamelles	189	155			1		345
Eclats	360	90			1		451
Nucléus	11	2					13
Esquilles	305	257	(1)	1	38		601
<b>Total</b>	<b>874</b>	<b>518</b>	<b>(1)</b>	<b>1</b>	<b>42</b>	<b>(1)</b>	<b>1435</b>

Fig. 93. Gisement magdalénien. Décompte des types d'artefacts par types de silex. Les pièces brûlées sont décomptées dans le nombre global n.

de choix en fonction du grain des matériaux; les variétés les plus grossières ont été autant exploitées que les plus fines. Cela n'exclut pas l'existence d'autres critères de choix qui nous échappent encore.

Cependant, ce silex local paraît relativement peu abondant (fig. 93). En effet, alors que l'on se trouve pratiquement sur un affleurement de silex, celui-ci ne représente que 61% du corpus. Il est vrai que ce matériau local est en général de qualité moyenne. Les rognons de grande taille sont peu siliceux et donnent des pièces qui résistent mal à l'usure. Au contraire, les petits rognons sont bien silicifiés, mais ils ne permettent pas le débitage de grandes pièces.

Les matériaux exogènes sont peu variés, deux seulement sont présents. Cependant, leur représentation est forte par rapport au matériau local.

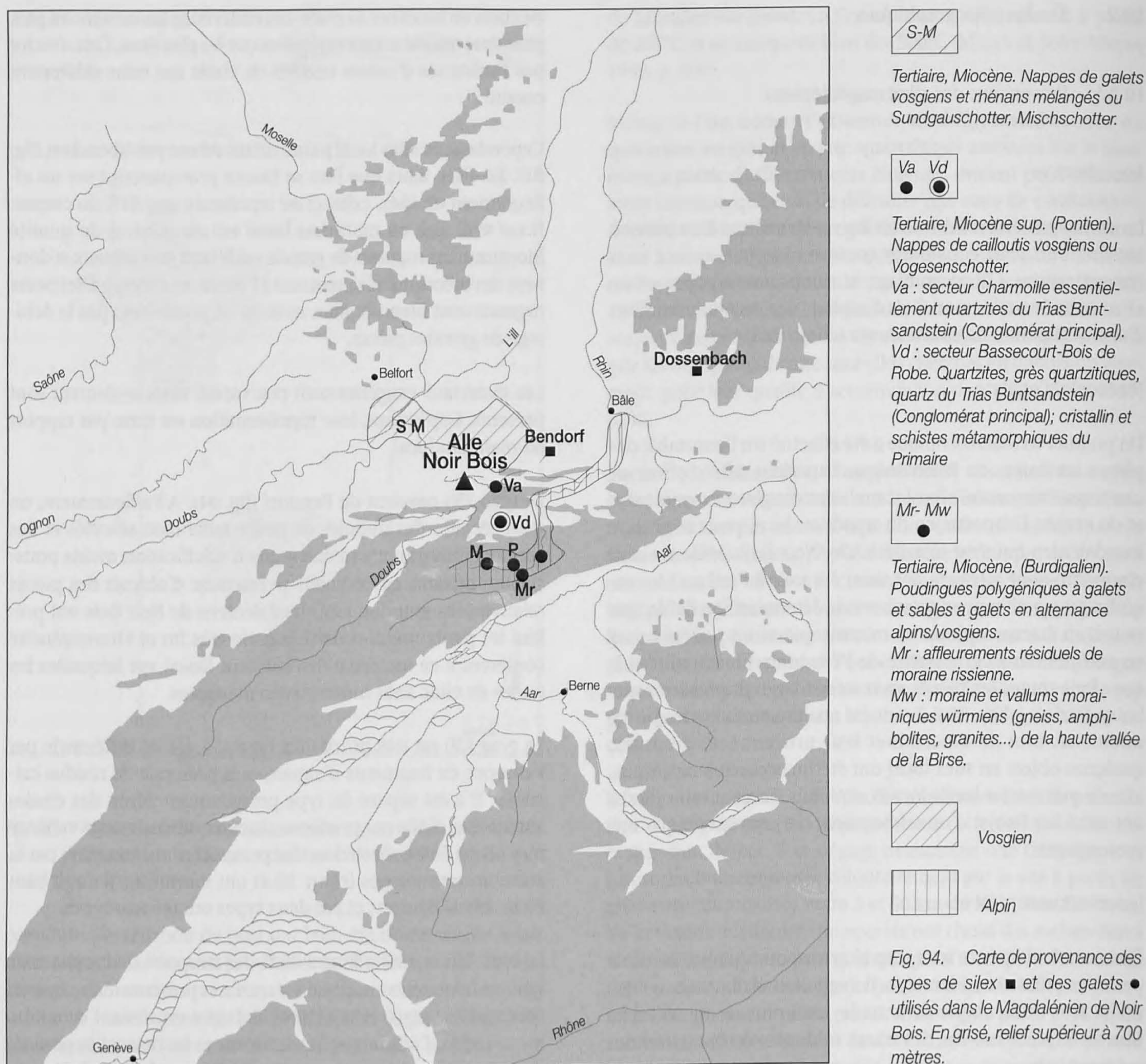
Le type 135 provient de Bendorf (fig. 94). A l'affleurement, on peut récolter des nodules de petite taille bien silicifiés et des gros nodules plus ou moins zonés à silicification moins poussée. En général, ces derniers permettent d'obtenir des pièces relativement grandes. Les Magdaléniens de Noir Bois ont préféré les petits nodules dont le grain très fin et l'homogénéité confèrent à ce matériau des surfaces lisses, sur lesquelles les ondes de choc sont souvent bien marquées.

Le type 136 est très proche du type 135. Il s'en différencie par l'absence de fragments d'algues, et la présence de résidus calcaires. Il a été séparé du type précédent au début des études sur les sites d'Alle par prudence, aucun nodule de cette variante n'ayant pu être collecté lors des prospections de terrain ; par la suite, les remontages (chap. 10.4) ont montré qu'il s'agit bien de la même matière, et ces deux types ont été regroupés.

Le type 135 (+ 136) a fourni 36 % des supports du corpus analysé. Sa fréquence ainsi que les artefacts présents indiquent un débitage sur place (chap. 10.4). Son gîte est distant de seulement 15 km d'Alle, le déplacement entre les deux sites pouvait donc être effectué dans la journée. Le fait que les Magdaléniens aient importé à Noir Bois des blocs de matière non débités, tout comme la présence de galets provenant des vallées de Delémont et de la Birse (chap. 10.2.2), montrent que ce site doit être interprété comme une halte lors d'un déplacement dont le point de départ est plutôt à rechercher dans une des vallées précédemment citées.

Le type 419 est un matériau du *Muschelkalk*, dont l'affleurement primaire le plus proche se trouve au nord du Rhin, près de Dossenbach. C'est un matériau de qualité moyenne. Du fait qu'il est quelque peu tectonisé, il est difficile d'en tirer des pièces de grande taille. Il n'a fourni qu'un seul casson de très petite taille (fragment de deux à trois mm de côté). Celui-ci peut provenir de la récupération et de la retaille d'un artefact moustérien. Cette matière était en effet connue au Paléolithique moyen dans la région d'Alle (Stahl Gretschi, Detrey et al. 1999). Mais il se peut aussi qu'elle corresponde à l'utilisation d'un outil unique emporté ailleurs par la suite, car ce matériau est aussi attesté sur d'autres sites magdaléniens.





Les pièces portant les stigmates d'un passage au feu sont très rares (0,13 %). Cela peut paraître singulier par rapport aux autres sites contemporains, où le pourcentage de pièces brûlées dépasse le plus souvent 5 %, tant parmi les silex locaux que parmi les exogènes. Cependant, à Alle, Noir Bois, aucune structure de combustion n'a été mise en évidence, contrairement à la plupart des sites de comparaison. La rareté des pièces brûlées corrobore simplement cet état de fait.

#### Conclusion

Le groupe humain qui a vécu à Alle, Noir Bois au Paléolithique supérieur ne s'est pas installé là uniquement pour exploiter l'affleurement de silex, puisqu'il ne l'a utilisé que pour un peu plus de 60 % de son industrie. Les silex exogènes sont représentés presque uniquement par un matériau. Il a été choisi pour débiter des lamelles (chap.10.3-4). L'abondance des esquilles dans ce

matériau montre que les activités de débitage, de préparation et d'entretien des nucléus ainsi que de retouche ont eu lieu sur place. L'autre matière première, représentée par un seul casson, est anecdotique.

La proportion entre les matériaux locaux et exogènes est semblable à celle qui a été observée à Hauterive-Champréveyres (Leesch 1997). Le spectre des matériaux est par contre beaucoup plus réduit à Alle, Noir Bois. Cela peut être lié à une courte durée d'occupation. La position chronologique de Noir Bois au sein du Magdalénien est problématique, il est donc difficile d'établir des comparaisons fiables avec d'autres sites de la même période sur la base des matières premières. De façon générale, les sites magdaléniens du Plateau suisse témoignent de l'utilisation d'une large palette de matériaux, ce qui n'est pas le cas à Noir Bois, probablement parce que l'occupation a été de courte durée. Si l'on recherche les sites contemporains (au sens large),



Sites magdaléniens	Matières premières			
	114	135	419	Autres
Alle, Noir Bois				
Lausen, Verblendsteinfabrik				
Oensingen, Rislisberghöhle				
Moosseedorf, Moosbühl				
Neuchâtel, Monruz				
Hauterive, Champréveyres				

Fig. 95. Comparaison ou présence/absence des matières premières d'Alle, Noir Bois et d'autres sites suisses (114, Alle; 135, Bendorf; 419, Dossenbach).

où l'emploi des mêmes variétés de silex qu'à Noir Bois est attesté, ce dernier semble faire preuve d'originalité. En effet, le silex d'Alle a peu diffusé au cours de cette période; à ce jour, seul le site de Monruz (Neuchâtel) montre des artefacts dans cette matière (fig. 95). De la même manière, les variétés de Bendorf se limitent à quelques pièces sur les sites de Verblendsteinfabrik (Lausen, Bâle-Campagne; Sedlmeier 1998), Rislisberghöhle (Oensingen, Soleure; Sedlmeier 1989) et Moosbühl (Moosseedorf, Berne; Barr 1973; Piccand 1994). En revanche, les autres gisements présentent de nombreuses variétés qui n'ont pas été employées à Alle.

#### 10.2.2 Détermination et provenances de la concentration de galets du niveau magdalénien; traces d'utilisation (Thierry Rebmann)

La détermination pétrographique des galets a été faite en macroscopie, la recherche d'éventuelles traces d'utilisation ou usure anthropique en microscopie (Leica, grossissements de 8 x et 16 x).

Sur les vingt-deux galets de la station magdalénienne, seize sont constitués de roches dont les formations lithologiques d'origine se situent dans les Vosges : il s'agit de 9 quartzites fins, deux grès quartzitiques, deux grès quartzeux graveleux, deux grès fins liasiques ou infra-liasiques, une trachyte/syénite silicifiée. A cet effectif s'ajoutent cinq galets d'origine alpine dont deux quartzites, deux granites rosés altérés, et un amphibolite. Enfin, on relève un galet siliceux d'agate zonée, vraisemblablement d'origine alpine, mais qui pourrait aussi être vosgien.

Au plus proche du gisement archéologique, les galets ont été ramassés sur les petits plateaux des nappes régionales d'épandages fluvioglaciaires tertiaires des galets vosgiens (*Vogesenschotter*) mis en place au Mio-Pliocène (Pontien), d'altitude moyenne de 500 à 600 m, ou en alluvions dans les ruisseaux qui les drainent. Ces galets sont localisés sur des versants en Ajoie vers Charmoille où l'on trouve presque exclusivement des galets de quartzites fins gris et rouge-brun du Conglomérat principal du Buntsandstein et grès quartzitique du Trias. Ils montrent un module standardisé de la taille du poing. On trouve aussi ces formations résiduelles à galets dans la vallée de Delémont vers Bassecourt - Courfaivre (Pâturage de Rôbe) où elles montrent une puissance d'une quarantaine de mètres. On recense dans

les formations délémontaines, en plus des galets de quartzites, des grauwackes et schistes du Dévono-Dinantien, porphyres brun marron siliceux et à labrador du Permien, divers granites et autres roches magmatiques vosgiennes. Ces gîtes potentiels sont distants du site de respectivement 5 km (Ajoie, fig. 94, secteur Va) et 15 à 20 km (Delémont, fig. 94 secteur Vd) (Liniger et Rothpletz 1964; Liniger et al. 1969).

Au sud de Delémont, dans la vallée de la Birse en amont de Moutier et vers Tavannes, entre 30 et 50 km de Noir Bois, affleurent les formations tertiaires de la Molasse marine supérieure dont des formations sableuses à galets et poudingues polygéniques à passées de galets alpins/vosgiens, se sont mises en place au Miocène, Burdigalien (fig. 94, secteur P). En haute vallée de la Birse, des formations quaternaires (moraines et vallums pléistocènes), peuvent aussi receler des galets de roches alpines (moraine rissienne: quartzites, granites arénisés, gneiss chlorito-sériciteux, etc.; moraine würmienne rhodanienne: granites à hornblende, amphibolites, etc.; fig. 94, secteur Mr-Mw). La collecte de ces quelques galets alpins retrouvés dans le lot d'Alle, Noir Bois (granite altéré, amphibolite sombre) a donc probablement pour origine les nappes de galets alluviaux de la haute Birse en amont et jusqu'à Delémont (fig. 94, secteurs P/Mr-Mw). De ces lieux de collecte pour atteindre Noir Bois, les Magdaléniens ont probablement circulé depuis Moutier vers la vallée de Delémont et l'Ajoie, ramassant au cours de leurs pérégrinations d'abord des galets alpins vers Moutier, puis des galets vosgiens vers Bassecourt et Charmoille, selon un trajet envisagé d'est en ouest (fig. 94) (Rothpletz 1933; Kälin 1993).

On ne peut exclure que des galets alpins rhénans puissent avoir été ramassés dans les formations tertiaires de galets mélangés *Mischschotter* et *Sundgauschotter* en nappes d'épandages au nord de l'Ajoie vers le Sundgau alsacien, mais cela semble peu probable vu leur altération habituellement prononcée et leur gros module (fig. 94, secteur S-M).



Fig. 96. Vue des 22 galets découverts parmi l'industrie lithique du locus 1. Les deux exemplaires en bas montrent, de gauche à droite, un galet avec un éclat débité et une pièce portant des traces d'abrasion. La longueur du galet en bas à gauche est de 11,9 cm.



Il ressort que l'on a recherché des galets d'un calibre assez standardisé, de la taille d'un poing, en privilégiant des roches siliceuses dures (quartzites, granites) ou roches métamorphiques denses (amphibolite).

De rares petits galets et graviers quartzitiques et quartzeux laitieux existent bien dispersés dans le contexte sédimentaire du site, mais ils sont de taille restreinte et d'accès difficile, constitutifs des sédiments des limons des plateaux. Les roches calcaires, disponibles sur place, n'ont pas intéressé les occupants du site et les rognons en silex cassant d'Alle (Malm) ont été destinés exclusivement au débitage. Il y a donc bien eu un choix délibéré de se procurer des galets d'un module préhensile dans un matériau dur et compact.

Seules deux pièces de l'effectif révèlent des traces d'utilisation: un galet de grès quartzitique, peut-être testé, présente à l'une de ses extrémités un enlèvement unique sous forme d'éclat; une autre pièce, un grès fin siliceux rhétien, montre sur un de ses côtés une surface plano-convexe de poli anthropique, témoin d'un polissage ou d'un aiguisage. Ces deux éléments utilisés, même minoritaires, attestent néanmoins du dépôt volontaire de la concentration de galets dont ils faisaient partie.

Les galets observés n'ont pas été en contact direct avec une source de chaleur; aucune microfissuration excessive n'a été détectée en dehors des plans de sédimentation des roches et des fissurations en demi-croissant dues à la saltation des galets ou à leur concassage en nappes. Pas d'encroûtement particulier n'est à signaler si ce n'est un unique galet présentant un poli fluviatile dont une face convexe rubéfiée, mais seule une analyse chimique permettrait de distinguer une cause naturelle (hématisation, encroûtement) d'une exposition au feu (fer oxydé et éventuellement charbons ?...). Compte tenu de la singularité de ce galet, un phénomène naturel paraît plausible.

N°	Types	114	135	000	Total
24	Perçoir		1		1
27	Burins dièdres droits	1	1		2
29	Burins dièdres d'angle	1	1		2
30	Burins d'angle sur cassure		3		3
38	Burin transversal	1			1
59	Lame à retouche partielle		1		1
61	Lamelles à troncature oblique	1	1		2
63	Lamelle à troncature convexe		1		1
77	Racloirs	2			2
83	Segment de cercle	1			1
85	Lamelles à dos		5	2	7
90	Lamelle Dufour	1			1
92	Pièce à dos	1			1
	<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>25</b>

### 10.3 Étude typologique (Blaise Othenin-Girard)

#### 10.3.1 Caractères généraux

L'outillage compte 25 pièces parmi 1659 artefacts, soit 1,5 % de la totalité de cet effectif, esquilles et cassons compris (fig. 99). Il s'agit uniquement des éléments modifiés par une retouche ou un coup de burin, sans tenir compte d'éventuels outils a posteriori (Le Tensorer 1998, p. 255). En effet, aucune étude tracéologique n'a été tentée sur le corpus. Une telle démarche avait été effectuée précédemment sur un lot de silex néolithiques du site, également contenus dans des sédiments de composante lœssique (Astruc 1997, p. 122). Ces pièces avaient subi une altération de surface qui rendait difficile la lecture des rares traces d'utilisation observées. Il était dès lors probable que des objets siliceux plus anciens allaient présenter un état de conservation encore plus mauvais, impropre à déterminer les stigmates d'un emploi supposé.

Si treize variétés d'outils en silex ont été reconnues d'après la liste des types du Paléolithique supérieur établie par D. de Sonneville-Bordes et J. Perrot (1954, 1955, 1956a, 1956b), l'outillage (fig. 97) est néanmoins dominé par les lamelles à dos (7 pièces) et les burins (8 pièces, soit un tiers de l'outillage). Numériquement, les burins dièdres, représentant la moitié de cette catégorie d'outil, excèdent de peu ceux aménagés sur cassure, alors qu'aucun exemplaire sur troncature n'a été déterminé. Ensuite, les types comptant plus d'un élément sont représentés par trois lamelles tronquées et deux racloirs. Il faut relever une absence totale de grattoirs. Quant aux perçoirs, un seul exemplaire figure à l'effectif; il s'agit d'un élément atypique à pointe dégagée par des retouches alternes (fig. 98.25). La composition de cet assemblage, du fait de la prédominance des lamelles à dos et des burins (dont la moitié de dièdres), correspond aux caractéristiques d'une industrie magdalénienne récente (Demars et Laurent 1992, p. 128; Le Tensorer 1998, p. 155 et 183; Leesch 1997, p. 22).

Cette attribution est confirmée par l'aspect laminaire des outils (fig. 98), dont les deux tiers sont représentés par des lamelles de petites dimensions, de 20 mm de longueur sur 5 mm de largeur en moyenne; le plus grand exemplaire approchant les 50 mm. Le reste est composé en général d'éclats de petite taille (32 mm sur 25 mm en moyenne), à l'exception d'une pièce assez grande (82 mm sur 49 mm); ce sont les supports privilégiés des racloirs et des burins, bien que trois de ces derniers aient été réalisés sur des lamelles. La petitesse de cet outillage doit être relativisée, car les négatifs des derniers enlèvements des nucléus abandonnés sur le gisement montrent que des lames et des lamelles atteignant au moins 8 cm de longueur ont été débitées à partir de nucléus oblongs, mesurant à l'origine une quinzaine de centimètres. Des pièces relevant de phases d'aménagement ou d'entretien des nucléus atteignent effectivement des dimensions entre 6 et 8 cm (fig. 98.26-29). En outre, les remontages effectués révèlent qu'une partie des produits de la phase de plein débitage du silex d'Alle a été emportée loin du site (chap. 10.4).

Fig. 97. Décompte de l'outillage en fonction des types de silex. Les numéros correspondent à la liste typologique établie par D. de Sonneville-Bordes et J. Perrot (1953).



L'observation des outils laissés sur place par les occupants du gisement montre que presque la moitié d'entre eux est cassée. L'ensemble de ce matériel, notamment les armatures, donne l'impression de se trouver en présence d'objets usés; en arrivant à cet emplacement, les Magdaléniens se sont logiquement débarrassés des pièces défectueuses ou usagées. Elles ont été remplacées par des supports laminaires débités *in situ*, une partie étant emportée sous une forme brute ou retouchée pour répondre aux besoins futurs.

D'une manière générale, les traits technologiques de l'industrie de Noir Bois permettent également de l'attribuer au Magdalénien. Le débitage est clairement orienté vers une production de lames et de lamelles; il est aussi caractérisé par des processus de mise en forme et d'entretien des nucléus propres à cette période (chap. 10.4).

Un autre indice semble confirmer cette attribution culturelle; il tient à la sélection des matières en fonction des types d'outils que l'on a voulu produire (fig. 97). En effet, ceux réalisés sur lamelles, notamment les armatures, sont de préférence fabriqués à partir du silex de Bendorf, le reste des outils dans le silex d'Alle, d'une texture moins fine et moins régulière que le premier. Cette modalité a également été observée à Hauterive-Champréveyres où, comme à Alle et presque dans les mêmes proportions, le silex local de qualité moyenne a été utilisé pour des lames et des outils expédients. Les éléments plus spécialisés, comme les armatures, sont réalisés dans des silex fins et allochtones (Leesch 1997, p. 70).

### 10.3.2 Insertion dans le Magdalénien régional et datation

Suite à des réévaluations récentes (Leesch 1993, p. 153-164, Leesch 1997, p. 27ss; Le Tensorer 1998, p. 151ss), le Magdalénien en Suisse a été subdivisé en faciès culturels différenciés par l'industrie lithique et osseuse (5 techno-assemblages), dont l'évolution chronologique peut être esquissée par le cumul de plusieurs critères; il s'agit de comparaisons typologiques avec le Magdalénien français, de datations  $C^{14}$  crédibles et de données relatives à l'évolution de l'environnement végétal et faunique pendant le Tardiglaciaire. De plus, cette recherche se base sur une évaluation critique de la valeur des ensembles archéologiques considérés; seules les fouilles récentes ont été prises en compte ainsi que quelques sites explorés anciennement dont on peut garantir la cohérence stratigraphique. Une démarche analogue a été conduite pour les gisements de la fin du Paléolithique supérieur en Franche-Comté (David 1996).

L'évolution de l'outillage lithique au Magdalénien, notamment dans ses phases supérieures (stades IV, V et VI du Magdalénien en France), présente une faible variabilité (Le Tensorer 1998, p. 155, 159). Elle s'exprime plutôt par l'importance progressive de l'indice laminaire, par la fréquence de certains types et l'apparition d'outils caractéristiques d'un stade particulier (Demars et Laurent 1992, p. 162). La variation de l'industrie osseuse est reconnue comme un critère plus favorable pour délimiter les phases évolutives du mobilier magdalénien; or ce matériel est totalement absent à Alle.

Plus que les arguments typologiques, ce sont les matériaux pollinique et faunique d'un ensemble archéologique, couplés à des datations  $C^{14}$  valables, qui ont permis de saisir la position chronologique des assemblages lithiques du Magdalénien en Suisse. Malheureusement, le gisement de Noir Bois n'a livré aucun de ces éléments; la seule donnée exploitable est constituée par une proposition de datation très large basée sur la stratigraphie et l'observation de phénomènes pédologiques au sein des sédiments contenant les silex (chap. 4.6, phases 11-12; chap. 5.5.3.2).

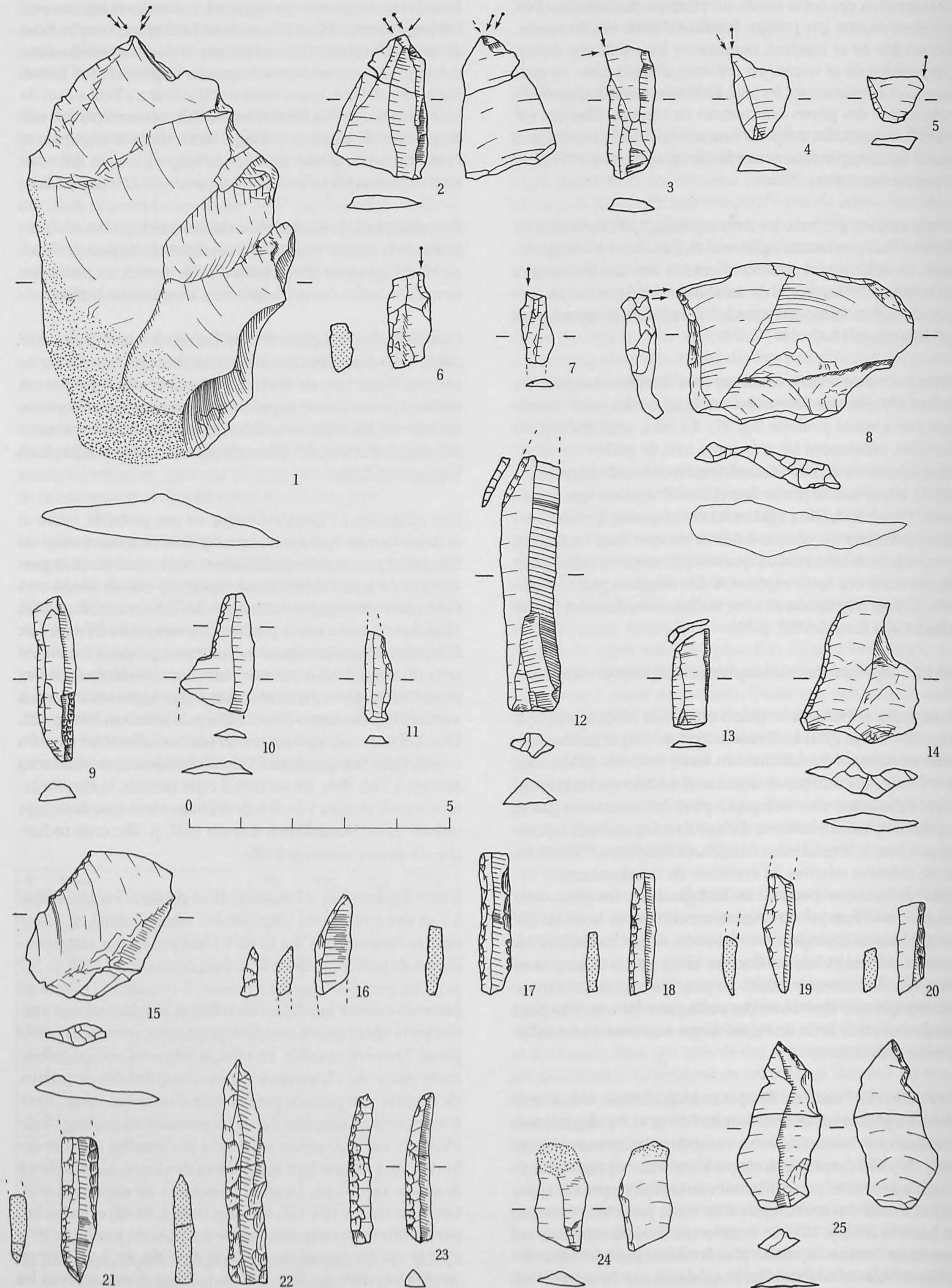
Par conséquent, il reste difficile de déterminer à quel stade d'évolution de la culture magdalénienne régionale on peut attribuer un effectif composé uniquement d'outils en silex, en particulier lorsqu'il se limite, comme à Noir Bois, à seulement 25 pièces.

L'assemblage typologique de Noir Bois n'est toutefois pas assimilable au Magdalénien ancien ou Badegoulien (techno-assemblage A, Leesch 1993, p. 155) qui se distingue par un outillage peu laminaire et par des types caractéristiques comme les raclettes, les éclats retouchés et les pièces esquillées en nombre assez important, des éléments qui ne se retrouvent pas dans le gisement d'Alle.

Une attribution à l'Épipaléolithique est peu probable, même si certains corpus épipaléolithiques précoces, comme celui de Roggenburg, Neumühle (Jura, Suisse), révèlent un mode de production de type Paléolithique supérieur, encore dirigé vers l'obtention de supports laminaires (Le Tensorer 1998, p. 188). Mais dans leur évolution générale, les ensembles lithiques de l'Épipaléolithique jurassien se distinguent progressivement de ceux du Magdalénien par une réduction des dimensions des produits débités et par la réalisation plus importante d'éclats au détriment des lames (Crotti 1993, p. 225; Nielsen 1999, p. 68). D'un point de vue typologique, les pointes à dos et les grattoirs courts, types marquants de l'Épipaléolithique, sont totalement absents à Noir Bois. De surcroît à cette période, la chauffe intentionnelle du silex à des fins de débitage paraît bien davantage utilisée qu'au Magdalénien (Leesch 1997, p. 46); cette technique n'a pas été observée à Alle.

Il reste à déterminer si l'outillage de ce gisement est assimilable à l'un des groupes du Magdalénien moyen à final en Suisse (techno-assemblages B à E) ou à l'une des étapes correspondantes de cette période en Franche-Comté (David 1996, p. 217 ss.). Une première approche consiste à considérer l'effectif en présence comme insuffisant ou reflétant simplement une activité particulière qui n'a nécessité qu'une série restreinte d'outils parmi l'éventail possible. En effet, le site a été occupé brièvement (chap. 10.1), le temps de débiter une quinzaine de nucléus, de manière peu poussée pour certains d'entre eux (chap. 10.4). Il est permis de supposer l'arrêt momentané de quelques individus qui ont façonné en particulier des lamelles à dos et des burins pour réparer leur équipement de chasse. Les lamelles à dos sont reconnues comme armatures de sagaies (Leroi-Gourhan 1983, p. 154-156; Nuzhnyj 1989, p. 88-96) et les burins, particulièrement ceux dont l'angle des pans est proche de  $90^\circ$  – c'est le cas des exemplaires de Noir Bois (fig. 98, 1-8) – ont pu servir à travailler des fûts en bois de renne devant recevoir les lamelles (Cahen et al. 1980, p. 226). L'assemblage typologique







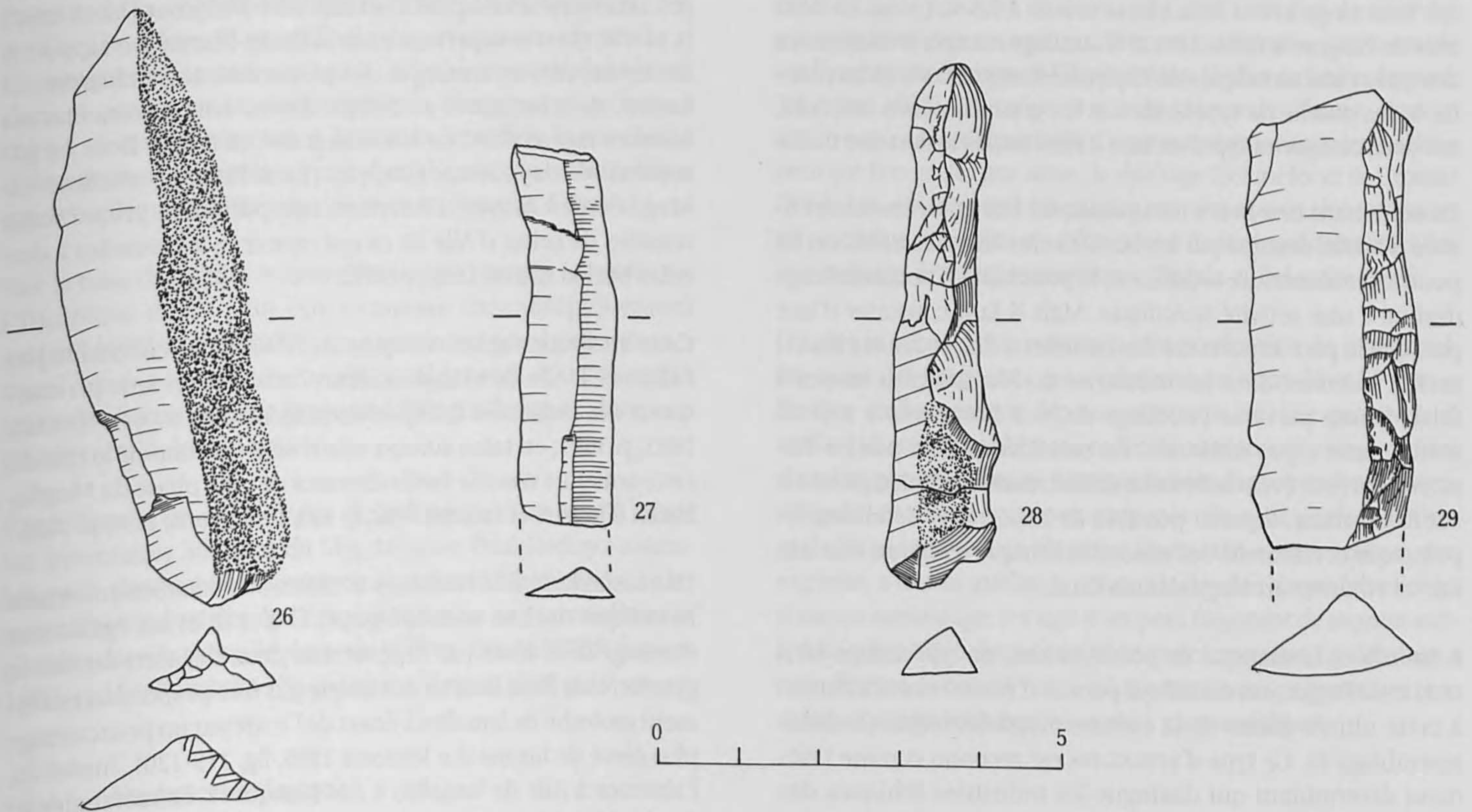


Fig. 98. *Industrie magdalénienne*. 1, 2. Burin dièdre droit (992/12883, 992/13604); 3, 4. Burin dièdre d'angle (992/13980, 992/12576); 5-7. Burin d'angle sur cassure (992/13649, 992/13788, 992/13714); 8. Burin transversal (992/12771); 9. Lamelle retouchée (992/13518); 10. Pièce à dos (992/13253); 11, 13. Lamelle à troncature oblique (992/13605, 992/13906); 12. Lame tronquée (992/12550); 14, 15. Racloir (992/13473, 992/13169); 16. Fragment de segment de cercle (992/13337); 17-23. Lamelle à dos (992/13802, 992/13851, 992/13966, 992/13965, 992/12815, 992/13540, 992/13968); 24. Lamelle Dufour (992/13415); 25. Perçoir atypique (992/12660); 26. Lame corticale (992/12728); 27. Fragment de lame (992/12566); 28. Lame à crête (992/13671); 29. Fragment de néocrête (992/12547). **Provenance des matières:** 1, 4, 8, 10, 12, 14-16, 24, 26-29: silex d'Alle, Jura, Suisse (114); 2, 3, 5-7, 9, 11, 13, 17-19, 21, 23, 25: silex de Bendorf, Haut-Rhin, France (135+136); 20, 22: silex d'origine indéterminée (000).

de l'outillage devrait donc être considéré comme fonctionnel et orienté vers une activité spécifique, soit la réparation de quelques sagaies. La présomption d'une activité unique paraît confortée par l'absence de grattoir, un type plutôt affecté au travail des peaux (Cahen et al. 1980, p. 226) que l'on rencontre d'habitude en proportion variable sur la majorité des habitats et campements magdaléniens.

Selon cette interprétation restrictive, l'outillage de Noir Bois pourrait être placé dans l'un ou l'autre faciès du Magdalénien moyen à final, caractérisé notamment par la prédominance des lamelles à dos et des burins (dièdres), soit les techno-assemblages B à E du Magdalénien helvétique. Ces groupes sont datés de 14 000 BP à environ 12 300 BP et s'insèrent dans les phases de végétation de la fin du Dryas I au Bölling (Le Tensorer 1993, fig. 4, p. 36-37; Leesch 1993, p. 164). Selon les mêmes considérations, l'industrie lithique d'Alle trouve des traits communs avec celle de faciès couvrant l'ensemble du Magdalénien de Franche-Comté. Dans le Dryas ancien, on peut mentionner Arlay, peu après 15 000 BP et Fretigney, niveau M3, vers 13 000 BP ou même Ranchot, dans le Bölling, un peu avant 12 000 BP (David 1996, p. 217 ss et tableau XVIII, p. 218).

Cependant, une autre approche mérite d'être abordée afin de préciser la position culturelle et chronologique de cet effectif restreint d'outillage au sein des différents faciès du Magdalénien régional. La démarche est plus risquée; il faut dans ce cas considérer l'inventaire de 25 outils comme suffisamment représentatif de l'ambiance culturelle d'un ou de plusieurs des assemblages mis en évidence.

En ce qui concerne la représentativité culturelle d'une gamme restreinte d'outils, on peut signaler un cas similaire au gisement de Noir Bois. A Pleigne, Ziegelacker et Niederfeld II (15 km à l'est d'Alle) ont été découverts deux petits ateliers de taille de l'Epipaléolithique qui partagent avec Alle beaucoup de traits communs, comme la proximité de la matière première, l'exportation des produits laminaires de plein débitage et une quantité de silex débités peu élevée (Jagher et Jagher 1987, p. 49-52). La durée d'occupation est également perçue comme brève et probablement unique et, de même que sur le gisement ajoulot, on ne mentionne aucun foyer. Le nombre de nucléus se révèle plus important sur les sites de Pleigne, dénotant peut-être une occupation d'une durée un peu plus longue qu'à Noir Bois. A Ziegelacker, on dénombre seulement 31 outils sur un total de



948 artefacts (3,3 %), à Niederfeld II, la proportion s'établit à 2,6 %, alors qu'à Noir Bois, elle se monte à 1,5 %. Or sur les deux sites de Pleigne, le faible effectif d'outillage comporte néanmoins des types caractéristiques de l'Épipaléolithique, comme les pointes à dos courbe de type azilien et les grattoirs courts sur éclat, ces deux catégories représentant à elles seules le tiers des outils.

En admettant une brève occupation du site et un inventaire limité d'outils, dominé par les burins et les lamelles à dos, on ne pourra jamais exclure totalement la possibilité d'un assemblage destiné à une activité spécifique. Mais il faut constater d'une part que la part importante des lamelles à dos et des burins est un fait récurrent dans les industries du Magdalénien moyen à final, d'autre part que l'outillage de Noir Bois compte tout de même treize types différents. En considérant non pas les éléments qui font éventuellement défaut, mais ceux bien présents sur le gisement, il paraît possible de resserrer la définition typologique et culturelle de l'ensemble lithique d'Alle, en écartant une attribution au Magdalénien final.

A Noir Bois, le manque de pointes à dos, de type azilien ou à cran reste l'argument décisif qui permet d'écarter une attribution à cette ultime phase de la culture magdalénienne (techno-assemblage E). Ce type d'armatures est reconnu comme l'élément déterminant qui distingue les industries lithiques des techno-assemblages D et E (Leesch 1993, p. 161; Le Tensorer 1998, p. 183; Nielsen 1999, p. 68). Dans un travail récent, M. Kamber (1999, p. 134; tabl. 44 et fig. 52) mentionne également dans le Magdalénien final suisse, par rapport au faciès industriel précédent (techno-assemblage D), une part de plus en plus importante des burins sur troncature qui tendent à égaler ou à supplanter les dièdres.

Or à Alle, les burins sur troncature sont totalement absents, alors que les types sur cassure ou transversaux se retrouvent à part identique avec les dièdres. D'une manière générale dans le Magdalénien, les burins sur cassure et transversaux sur gros éclats sont reconnus comme un trait ancien (Demars et Laurent 1992, p. 58 et 64). En Franche-Comté, ils apparaissent notamment dans le niveau M4 de la Grotte de la Baume Noire (Fretigney, Haute-Saône) ou à la Grotte Grappin à Arlay (Jura), ces deux sites étant attribués au Magdalénien moyen, dans une phase ancienne du Dryas I (David 1996, p. 166 et 171). En Suisse, les burins sur cassure apparaissent bien dans les inventaires du Magdalénien final, mais ils sont dépassés en nombre par ceux aménagés sur troncature (Kamber 1999, tabl. 44 et fig. 52).

En définitive, on peut au mieux assimiler le petit corpus d'outils de Noir Bois au Magdalénien moyen et supérieur de Suisse (techno-assemblages B, C ou D) et de Franche-Comté, sans pouvoir atteindre davantage de précision. En faveur d'une assimilation de l'outillage de Noir Bois au Magdalénien moyen (techno-assemblage B), on retrouve des proportions assez similaires de lamelles à dos et de burins ainsi que l'existence de pièces tronquées et d'outils divers comme dans le niveau inférieur de Birseck, Ermitage, sur la commune d'Arlesheim, dans le canton de Bâle-Campagne (Le Tensorer 1998, p. 169 et fig. 116). En Franche-Comté, on peut voir des parallèles entre Noir Bois et des assemblages également pauvres en grattoirs et en

perçoirs, comme ceux de Farincourt, Grotte III-E (David 1996, p. 134) et Grotte III-E, fouilles 1992-1994 (Pernot et David 1997, p. 61-78), dans le département de la Haute-Marne. Par rapport à ce dernier site, on remarque des proportions ressemblantes de burins, de troncatures et d'outils divers, avec néanmoins un nombre moins élevé de lamelles à dos qu'à Noir Bois. Le gisement d'Arlay, Grotte Grappin (Jura, France), attribué au Magdalénien moyen à navettes, comporte des proportions voisines de celles d'Alle en ce qui concerne les lamelles à dos et les burins (David 1996, p. 171).

Cette attribution assez ancienne est en revanche contredite par l'absence à Alle de triangle scalène, considéré comme un marqueur des industries lithiques du Magdalénien moyen (Leesch 1993, p. 157); certains auteurs relativisent néanmoins le rôle de cette armature comme fossile directeur de cette phase du Magdalénien (Demars et Laurent 1992, p. 163; Le Tensorer 1998, p. 158).

Une assimilation de l'outillage d'Alle au Magdalénien supérieur helvétique (techno-assemblages C, D-a et D-b) est également envisageable, mais par rapport aux deux derniers faciès, le gisement de Noir Bois se démarque par une proportion nettement moindre de lamelles à dos et de l'autre par un pourcentage plus élevé de burins (Le Tensorer 1998, fig. 119-120). Toutefois, l'absence à Alle de lamelles à dos tronquées, de rectangles et de perçoirs à longue pointe permettrait d'écarter le techno-assemblage D-b (Leesch 1993, p. 160). Une comparaison peut également être effectuée avec l'industrie lithique de la grotte de Fretigney M3 (Haute-Saône) que S. David (1996, p. 223) rapproche en particulier de celle de Hauterive, Champréveyres (techno-assemblage D-a). Sur le site franc-comtois, on constate, de même qu'à Noir Bois, un pourcentage similaire de burins, où les dièdres constituent environ la moitié de l'effectif total de cette catégorie d'outils, accompagnés également d'éléments transversaux et sur cassures; par contre, l'inventaire de Fretigney M3 comporte des burins sur troncature. La part des lamelles à dos (près de 17 % de l'outillage) est un peu inférieure à ce que l'on observe à Alle (un peu moins d'un tiers des outils).

Deux datations absolues ont été obtenues dans des sédiments inférieurs (unité E6) à ceux contenant les vestiges magdaléniens (unité E4); les résultats les plus récents fournissent des dates de  $22,5 \pm 2,4$  ka BP et de  $20,2 \pm 0,2$  ka BP (chap. 7). La masse caillouteuse gégluée (unité E5) reposant directement sous les loess de E4 (fig. 86) ne bénéficie pas de repère chronologique absolu; sur la base de profils de comparaison; M. Guélat (chap. 5.5.3.1) propose une mise en place de E5 dans le Dryas I, à partir de 16 ka BP. En outre, des traits pédologiques ont été observés dans le contexte loessique en relation avec l'industrie magdalénienne de Noir Bois (chap. 5.5.3.2-3). Il s'agit d'une part d'une illuviation argileuse (horizon argilique Bt), témoin de l'amélioration climatique du Bölling (env. 12 700 à 12 000BP), suivie d'un engorgement d'eau dans les sédiments, une hydromorphie qui s'est formée à l'Alleröd (env. 12 000 à 11 000BP).

Les indices micromorphologiques témoignant de la partie inférieure d'un sol du Bölling ne peuvent malheureusement pas être situés avec suffisamment de précision par rapport au niveau formé par les silex magdaléniens; on ne sait donc pas si



ces derniers ont été abandonnés avant cette phase de transformation de la végétation, comme le suggère la typologie des outils. De même, il est difficile de savoir avec certitude si l'engorgement en eau, attribué à l'Alleröd, constaté dans le sédiment contenant l'industrie lithique, s'est produit en même temps ou après l'occupation humaine. Toutefois, la possibilité d'une présence magdalénienne durant cette phase climatique est actuellement rejetée en Suisse et en Franche-Comté.

Sur la base des seules informations apportées par la typologie, l'industrie d'Alle peut être comprise chronologiquement entre 14000BP et 12600BP, un espace temporel occupé successivement par les techno-assemblages B, C et D sur le territoire helvétique (Le Tensorer 1993, p. 37, fig. 4), dans une phase terminale du Dryas I.

C'est dans la première partie du Bölling que l'on tend à situer les inventaires lithiques du Magdalénien final (techno-assemblage E), desquels l'ensemble de Noir Bois diffère, alors que les premières industries de l'Epipaléolithique sont actuellement placées dans la seconde phase du Bölling, dès 12300BP (Leesch 1993, p. 164; Kamber 1999, p. 129 ss; Nielsen 1999, p. 67 ss).

#### 10.4 Etude technologique (Jean Detrey)

L'industrie magdalénienne d'Alle, Noir Bois se caractérise par la présence de produits appartenant à toutes les phases de la chaîne opératoire. Une étude technologique a donc été entreprise afin de déterminer les objectifs des tailleurs ainsi que les moyens mis en œuvre pour les atteindre.

Sur les 1659 pièces du corpus, des remontages ont été tentés parmi 818 artefacts; ni les cassons ni les esquilles n'ont été pris en compte. Les résultats ont été très satisfaisants avec 26,5 % du matériel qui a pu faire l'objet d'un remontage ou d'un raccord. Il faut noter que les remontages concernent 21,8 % des pièces en matières locales alors qu'ils touchent 37,7 % des artefacts en silex de Bendorf. Ces remontages dessinent trois concentrations qui correspondent à la répartition planigraphique globale du matériel (fig. 90 et fig. 91). Cela a permis de déterminer trois locus numérotés de 1 à 3 (chap. 10.1); chacun est caractérisé par l'exploitation d'un seul type de matière avec des objectifs et des modes de débitage spécifiques. La cohérence et l'homogénéité à l'intérieur de ces locus sont des arguments décisifs quant au très bon état de conservation de cette occupation. Les modes opératoires ainsi que la gestion des matières peuvent donc être étudiés grâce à la répartition du matériel ainsi qu'au travers des remontages.

##### Le locus 1

Il s'agit du locus le plus au nord du gisement. Il est caractérisé par l'exploitation exclusive de la matière première locale; il s'agit du poste de taille le plus important avec plus de 56 % des artefacts. Quelques lamelles remontent sur les nucléus du locus 2 ainsi qu'avec le remontage du locus 3; ce qui implique une contemporanéité entre ces concentrations.

On a retrouvé onze nucléus répartis en périphérie de la concentration de produits de débitage. Cette situation de rejet des nucléus n'est pas exceptionnelle; on la retrouve par exemple sur l'atelier de Bénagu à Chaumussay (Indre-et-Loire, France) (Marquet 1975). Toutefois le site de Marsangy (Yonne, France) montre que cette disposition n'est pas systématique, les nucléus peuvent être mêlés aux amas de débitage (Schmider et de Croisset 1985). Les études expérimentales menées sur ce site ont montré que la position des nucléus relève de facteurs aléatoires liés aux tailleurs et aux circonstances (Boëda et Pelegrin 1985).

Dix des nucléus sont consacrés à la production de lames; celles-ci ont des longueurs qui s'échelonnent entre 10 et 50 mm et l'indice d'allongement dépasse rarement 2,5. Les quelques lamelles débitées dans la matière locale sont souvent des produits d'aménagement; elles ne font pas l'objet d'une production spécifique. Les talons sont peu préparés; ils sont parfois dièdres mais le plus souvent, ils sont lisses. Un seul nucléus, peu exploité, a fourni quelques éclats. Ce dernier n'a pu faire l'objet d'aucun remontage. Il s'agit d'un petit fragment de rognon subsphérique ne dépassant pas 50 mm de longueur. Le débitage a été effectué sur deux faces adjacentes, sans préparation. Les éclats obtenus sont corticaux ou à cortex résiduel.

	114	135	419	000	Q	Ind.
<b>Phase d'aménagement</b>						
Lames corticales	6	5	0	0	0	0
Lamelles corticales	5	4	0	0	0	1
Lames à crête	6	3	0	1	0	0
Eclats corticaux	25	11	0	0	1	0
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>23</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Phase de débitage</b>						
Lames	79	35	0	0	0	0
Lamelles	84	103	0	0	0	4
<b>Total</b>	<b>163</b>	<b>138</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>
<b>Phase d'entretien</b>						
Eclats ordinaires	272	70	0	1	0	6
Eclats à cortex résiduel	55	8	0	0	0	0
Flancs de nucléus	4	0	0	0	0	0
Néocrêtes	7	2	0	0	0	0
Tablettes d'avivage	4	1	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>342</b>	<b>81</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>6</b>
<b>Phase de transformation</b>						
Outils	9	14	0	2	0	0
Chutes de burin	2	3	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Nucléus	11	2	0	0	0	0
Esquilles et cassons	305	257	1	38	0	212
<b>Total par matière</b>	<b>874</b>	<b>518</b>	<b>1</b>	<b>42</b>	<b>1</b>	<b>223</b>
<b>Total global</b>	<b>1659</b>					

Fig. 99. Tableau de décompte des types de produits de débitage en fonction des différentes matières premières exploitées. 114: silex d'Alle (Jura, Suisse); 135 (y compris 136): silex de Bendorf (Haut-Rhin, France); 419: silex de Dossenbach (Bade-Wurtemberg, Allemagne); 000: silex de provenance indéterminée; Q: quartzite; Ind.: silex indéterminables.



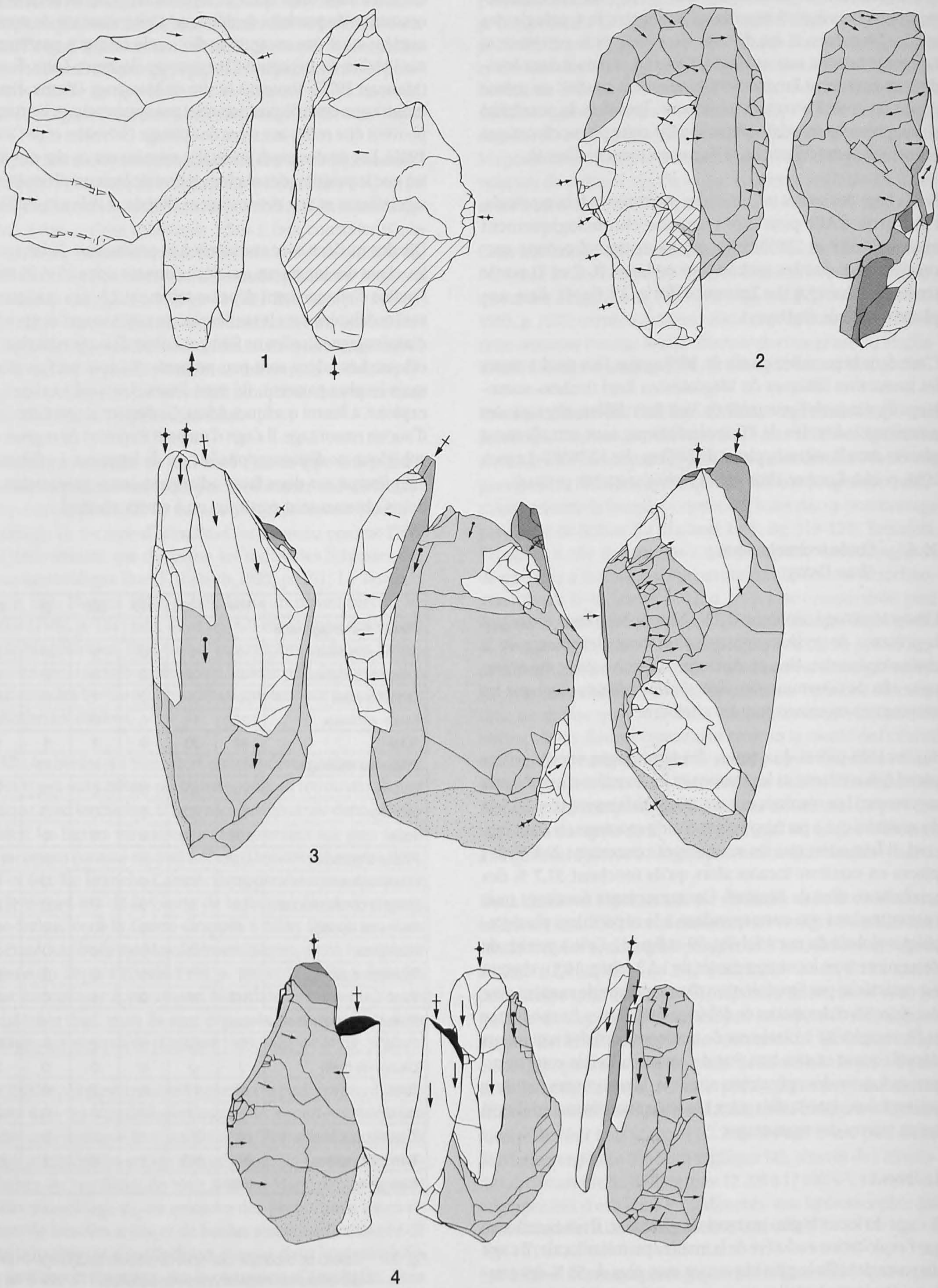


Fig. 100. Locus 1. 1. Remontage D22; 2. Remontage N5; 3. Remontage N4; 4. Remontage N12. Provenance des matières: 1-4: Silex d'Alle, Jura, Suisse (114).



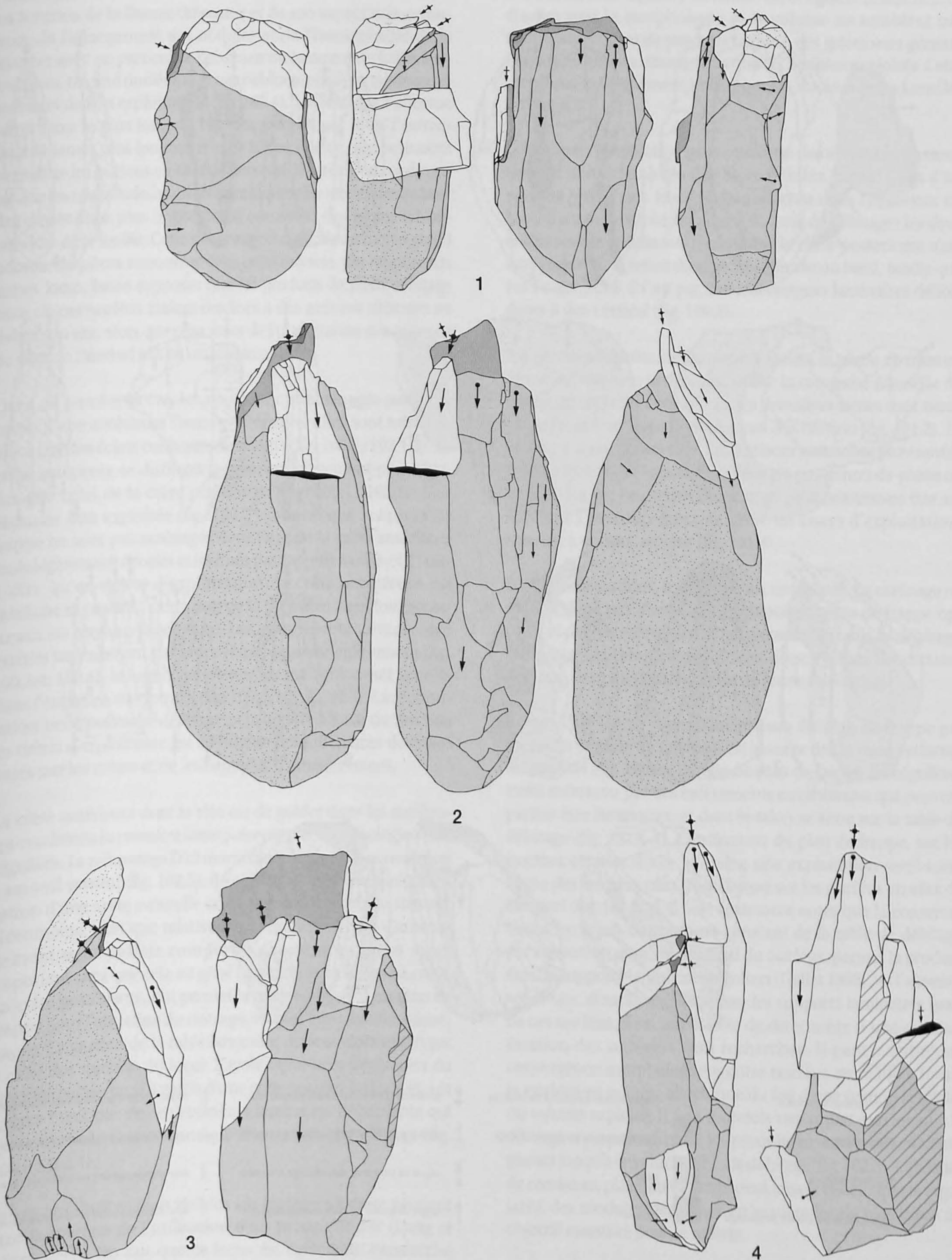


Fig. 101. Locus 1. 1. Remontage N10; 2. Remontage N6; 3. Remontage N9; 4. Remontage N7. Provenance des matières: 1-4: Silex d'Alle, Jura, Suisse (114).



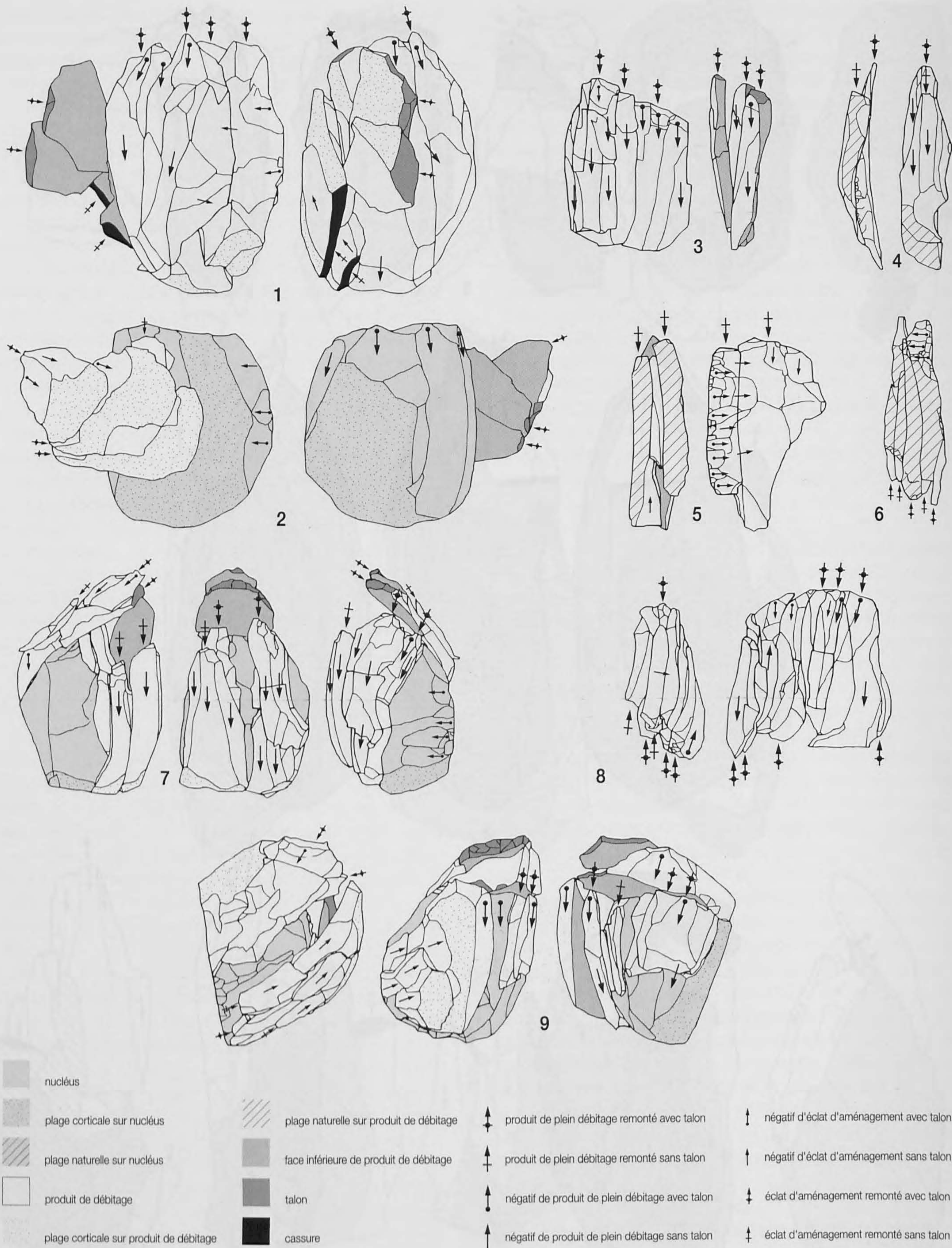


Fig. 102. **Locus 1**. 1. Remontage N3; 2. Remontage N11; 3. Remontage D28; 5. Remontage D19. **Locus 2**: 4. Remontage D44; 6. Remontage D3; 7. Remontage N1; 9. Remontage N2. **Locus 3**: 8. Remontage D5. **Provenance des matières**: 1-3, 5: Silex d'Alle, Jura, Suisse (114); 4, 6, 7, 9: Silex de Bendorf, Haut-Rhin, France (135 et 136); 8. Silex de Bendorf, Haut-Rhin, France (135 et 136).



Pour la production de lames, le tailleur a sélectionné ses blocs en fonction de la finesse du cortex et de son aspect non granuleux, de l'allongement des nodules et de l'homogénéité de la matière avec en particulier l'absence ou la rareté de failles tectoniques. Un seul nucléus a vu son débitage gêné par des fissures au cours de son exploitation (fig. 101.4). Le débitage s'effectue selon l'axe le plus long du rognon, permettant ainsi l'extraction de lames plus longues et plus larges que ce que pouvaient permettre les nucléus en silex de Bendorf. Il est important de noter que les négatifs de lames mesurables sur les nucléus montrent des dimensions plus importantes que celles des lames retrouvées lors de la fouille. Cette observation associée au moins grand nombre de pièces remontées dans cette matière, par rapport aux autres locus, laisse supposer que les produits de plein débitage issus de ces nucléus étaient destinés à des activités différées en dehors du site, alors que ceux issus de l'exploitation des rognons de silex de Bendorf ont eu un rôle immédiat.

Dans de nombreux cas, les nucléus sont aménagés par deux crêtes, l'une antérieure l'autre postérieure. Elles sont mises en place par des éclats corticaux alternants (fig. 100.2; 102.1,2). La crête antérieure se distingue par un aménagement plus régulier que celui de la crête postérieure (fig. 100.1; 102.1). Une ébauche non exploitée (fig. 100.2) montre que les plans de frappe ne sont pas aménagés dans l'axe de la crête antérieure mais légèrement décalés et inclinés par rapport à celle-ci. C'est-à-dire qu'en début d'exploitation, la crête antérieure est médiane et permet l'extraction de la première lame tout en assurant un carénage nécessaire. Les enlèvements suivants sont extraits latéralement par rapport à ce premier enlèvement (fig. 100.3,4; 102.4), la crête postérieure jouant dorénavant un rôle dans l'entretien du cintrage (fig. 100.3; 101.1; 102.1). La réorientation progressive du débitage par rapport à l'axe du nucléus en début d'exploitation est à l'origine des différences des rôles joués par les crêtes et de leurs modes d'aménagement.

La crête antérieure dont le rôle est de guider dans les meilleures conditions la première lame présente une morphologie assez régulière. Le remontage D19 montre que cette crête pouvait être à un seul versant (fig. 102.5); il s'agit dans ce cas de la régularisation d'une arête naturelle créée par une cassure du rognon. Néanmoins, bien que relativement régulier, ce type d'aménagement peut parfois comporter des contre-bulbes assez importants sans que cela ait gêné l'extraction de la lame à crête. La crête postérieure, qui permet la mise en place d'un plan de frappe pour l'entretien du cintrage, est plus grossièrement aménagée. La gestion de la table laminaire devient alors identique à celle des nucléus du locus 2 (voir *infra*) avec l'entretien du cintrage sur un bord à partir d'une crête postéro-latérale et, sur l'autre bord, par des enlèvements laminaires débordants qui investissent la surface contiguë à la surface de débitage (fig. 100.3; 101.1).

Les contre-bulbes bien visibles sur les lames à crête peuvent être la marque de l'utilisation d'un percuteur dur (Lang et Séara 1997). On sait que ce locus est également caractérisé par la présence de galets (chap. 10.1). La question se pose donc de savoir si ces objets ont été utilisés comme percuteur. Il faut probablement répondre par la négative. En effet, d'une part

aucune trace d'impact n'est visible sur ces galets (chap. 10.2.2), d'autre part la morphologie et le volume ne semblent pas adaptés aux types de produits débités, ces galets sont généralement de mêmes dimensions que les nodules exploités. Cette remarque est également vraie pour les nucléus et les lamelles du locus 2.

Le mode de préparation peut connaître des variations en fonction de la morphologie des blocs débités. Dans le cas d'un nucléus plus étroit, le débitage s'effectue dans l'épaisseur du bloc, il n'y a pas de déplacement de l'axe de débitage; les deux crêtes restent médianes, néanmoins la crête postérieure n'assure encore l'entretien du cintrage que sur un bord, tandis que sur l'autre bord, il l'est par des enlèvements laminaires débordants à dos cortical (fig. 100.3).

Sur certains nodules suffisamment étroits, la phase de mise en forme est absente, le débitage utilise la convexité naturelle du cortex du rognon; dans ce cas, les premières lames sont corticales; les suivantes portent alors un dos cortical (fig. 101.2). Le tailleur a aussi pu profiter des surfaces naturelles provoquées par des fissures. Même si le nucléus n'a pas connu de phase de mise en forme, l'entretien du cintrage peut néanmoins être assuré par l'aménagement de crête en cours d'exploitation, souvent à un seul versant (fig. 101.4).

Sur tous ces nucléus, le débitage est unipolaire. Le carénage ne montre donc pas d'entretien, ni depuis un plan de frappe opposé, ni par des enlèvements transversaux à la table de débitage. Des traces de rebroussement sont donc visibles sur certains nucléus, ce qui a entraîné la fin de leur exploitation.

Comme il a été vu *supra*, l'inclinaison du plan de frappe par rapport à la table de débitage est assurée dès la mise en forme du nucléus (fig. 100.2). L'angle du plan de frappe est régulièrement entretenu par des enlèvements envahissants qui peuvent parfois être laminaires, et dont le talon se situe sur la table de débitage (fig. 101.1-4). L'inclinaison du plan de frappe, sur les nucléus en silex d'Alle, entraîne une exploitation semi-tourante des nucléus, plus frontale que sur les nucléus en silex de Bendorf (fig. 101.1,3). Il faut également noter que la conservation d'un rayon de courbure constant de la table de débitage par rapport au plan longitudinal du nucléus, permet la production de supports laminaires réguliers (Gallet 1998). Vu l'absence sur le site, d'outils aménagés sur les supports laminaires issus de ces nucléus, il est impossible de déterminer si une standardisation des supports était recherchée. Il peut s'agir d'une convergence morphologique entre nucléus en matière locale et nucléus en matière allochtone du fait d'une gestion similaire du volume exploité. Il faut toutefois remarquer que lorsque le cintrage n'est pas suffisant, les produits obtenus vont en s'élargissant jusqu'à envahir la table de débitage (fig. 102.3). L'absence de remise en place du cintrage peut laisser penser que la régularité des modules des lames en matière locale n'était pas un objectif essentiel pour le tailleur.

Un nucléus échappe à ces caractéristiques (fig. 102.2). Il s'agit d'un petit nucléus étroit présentant deux crêtes, l'une antérieure, l'autre postérieure. Une première différence apparaît au niveau



du plan de frappe qui présente un angle droit par rapport à la table de débitage. Une autre différence existe au niveau des négatifs des lames qui montrent des bords convergents avec un rétrécissement continu de la partie proximale à la partie distale. Sur les autres nucléus présents sur ce locus, le plan de frappe est fortement incliné par rapport à la table de débitage, de plus les bords des négatifs sont souvent parallèles voire convexes avec un accroissement net de la largeur de l'artefact dans sa partie mésiale. Cette augmentation de la section, c'est-à-dire du rapport largeur/épaisseur, en partie mésiale est visible sur les lames. Cette observation, associée au fort carénage de nombreuses lames, est la marque d'un débitage par percussion directe. Par contre, les caractéristiques relevées sur le nucléus N11 pourraient correspondre à celles d'un débitage par percussion indirecte. Toutefois, les éléments ne sont pas suffisants pour affirmer la présence d'un tel type de débitage sur le gisement d'Alle, Noir Bois.

#### Le locus 2

Sur ce petit atelier, situé en amont, seul du silex originaire de Bendorf (Haut-Rhin, France) a été débité. Deux nucléus ont été retrouvés : il s'agit de deux petits blocs possédant des modules identiques, la longueur n'excédant pas 58 mm. Ces deux nucléus présentent également les mêmes qualités de finesse et de régularité du cortex, ainsi qu'une matière homogène et propice à un débitage régulier de lamelles, produit plus particulièrement recherché dans ce débitage. Ce sont des artefacts dont la longueur varie de 10 à 30 mm. Les talons sont très peu préparés, la présence importante de talons linéaires témoigne d'une percussion plus tangentielle que dans le débitage de la matière locale.

Il est à noter qu'à l'exception d'une seule pièce, toutes les lamelles à dos du site ont été retrouvées sur ce locus. Elles sont toutes en silex de Bendorf, sauf deux dont la matière n'a pas été déterminée. Il y a donc un choix préférentiel pour le silex de Bendorf en ce qui concerne le façonnage des lamelles à dos. Il y a également eu un tri sur le gîte de ramassage afin de sélectionner les rognons les plus adéquats pour cette production (chap. 10.2.1).

Des sites spécialisés dans la production de lamelles pour répondre aux besoins d'armatures ont déjà été observés. Ainsi à Pincevent, la quantité importante de lamelles produites est interprétée comme une réponse anticipée à ces besoins (Valentin et al. 1997).

La situation est toutefois sensiblement différente à Noir Bois où la production reste assez limitée. Il est à noter également que le matériau exploité a été importé d'un autre gîte de matière première, alors que du silex est disponible à Noir Bois. De plus, il faut remarquer que les lamelles à dos retrouvées sur le site présentent un tranchant fortement esquillé ou usé (chap. 10.3). Il est donc possible de supposer que la production de lamelles destinées au façonnage d'armatures n'est pas antérieure à l'expédition mais en fait partie. Dans ce cas, la réponse anticipée aux besoins n'est pas dans la production préalable de supports, mais dans le choix de rognons susceptibles d'être exploités ultérieurement.

Sur les deux nucléus, le tailleur a utilisé la convexité naturellement régulière du cortex pour débiter ses premières lames, comme le confirme la présence de lamelles corticales. Aucune crête n'a été mise en place pour initialiser les blocs débités. Toutefois, le nucléus N1 présente une crête postéro-latérale aménagée par l'intersection d'une série d'éclats fins sur un bord du nucléus et de deux larges enlèvements envahissants sur le dos (fig. 102.7). Cet aménagement a permis de maintenir le cintrage du nucléus sur l'un de ses bords. Absente dans la phase initiale sur le nucléus N2, une crête à un seul versant de même fonction apparaît en cours d'exploitation, après une première phase d'extraction de lames corticales sur le bord opposé. Sur ce nucléus, la néocrête a été aménagée depuis une surface naturelle (fig. 102.9). Ce type de réaménagement de crête en cours de débitage est également visible sur un remontage entre deux lamelles, dont une avec une crête à un seul versant (fig. 102.4), ainsi que sur les remontages D47 et D48. Toutefois sur ces remontages, l'aménagement est réalisé à partir d'un négatif d'enlèvement.

La phase de pleine production s'organise sur une table laminaire à partir d'un unique plan de frappe. L'angle de chasse est entretenu par de larges éclats. Il a déjà été vu plus haut que la gestion du cintrage est réalisée à partir d'une crête, mais elle est assurée sur l'autre bord de la table laminaire par le débordement d'une partie des lamelles. L'étendue des surfaces débitées est limitée par la nécessité de conserver une inclinaison suffisante du plan de frappe par rapport à la table de débitage (angle de chasse). Cette nécessité technologique, ainsi que l'absence de préparation du nucléus, laisse supposer que le tailleur a débité par percussion directe. De plus, voire surtout, il ne faut pas oublier que ces nucléus sont destinés à la production de lamelles, dans le but d'aménager des armatures.

Ce type d'artefacts nécessite une standardisation de ses dimensions, principalement l'épaisseur et la largeur, mais également de sa morphologie (Karlin et Ploux 1994). L'extraction de telles pièces homogènes ne peut être assurée qu'à partir d'une surface possédant un rayon de courbure constant, c'est-à-dire excluant un débitage tournant.

L'entretien du carénage est assuré sur N2 par une série d'enlèvements courts à partir du plan de frappe opposé. Les négatifs, parfois de rebroussement, visibles sur la partie distale de quelques lamelles remontées, montrent que cette solution a existé tout au long de l'exploitation du nucléus. Sur N1, l'outrepassement de nombreuses lamelles a permis d'entretenir, peut-être involontairement, le carénage du nucléus. Toutefois la cambrure de la surface de débitage reste peu importante dans les deux cas, des traces de rebroussements sont visibles sur N1. Cela est probablement dû à la volonté d'obtenir des supports suffisamment rectilignes pour l'aménagement des lamelles à dos.

Sur ce même locus, il a été réalisé un remontage entre une série de lames, dont une lame à crête à un seul versant (fig. 102.6). Il s'agit également d'une néocrête destinée à l'entretien du cintrage du nucléus. Le débitage a pu continuer par une série de lamelles débordantes qui ont à leur tour assuré un cintrage



nécessaire. Le débitage est ici aussi unipolaire. Le remontage est suffisamment avancé sur les deux nucléus N1 et N2 pour pouvoir affirmer que ces pièces appartiennent à un autre nucléus. La même remarque peut également être faite avec le remontage D44 (fig. 102.4). Il y a donc eu au moins un troisième nucléus en silex de Bendorf débité sur cet atelier, mais celui-ci n'est plus sur le site sans que l'on puisse déterminer si cela est dû à des raisons archéologiques ou aux aléas inhérents à la conduite d'une fouille d'urgence (chap. 10.1).

### Le locus 3

Il s'agit d'une petite concentration, située entre les deux locus principaux, légèrement en périphérie du locus 1. Les répartitions au sol suffisamment distinctes ainsi que les matières premières débitées différentes permettent de faire aisément la distinction entre ces deux concentrations (voir *infra*). Une grande partie des produits retrouvés sur cet amas sont cassés. Les quelques lamelles entières montrent des dimensions similaires aux produits du locus 2. Il y a trop peu de fragments proximaux pour pouvoir déterminer les caractéristiques des talons. Il est à noter que les remontages considérés dans ce chapitre concernent les types 135 et 136 (Bendorf, Haut-Rhin, France), qui avaient été séparés dans un premier temps (chap. 10.2.1). Leurs raccords ont montré qu'il s'agissait d'une seule et même matière.

Bien que la matière soit la même que celle débitée sur le locus 2, le mode d'exploitation semble différer. Le débitage est également orienté vers la production de lamelles pour l'aménagement d'armatures; la seule lamelle à dos absente du locus 2 se retrouve parmi les produits de cet atelier. Deux remontages principaux permettent de déterminer en partie le mode opératoire employé. Il faut ajouter à ceux-ci deux raccords, l'un entre fragments d'éclat et l'autre entre fragments de lamelles. Le nucléus débité sur ce locus n'a quant à lui pas été retrouvé lors de la fouille.

Sur la seule base des remontages et des raccords, et en l'absence du nucléus, il est impossible de déterminer si le débitage a commencé par une phase de préparation. La présence d'une lamelle corticale et de deux fragments d'une même lame, elle aussi corticale, est peut-être l'indice de l'absence de préparation, mais ces arguments ne suffisent pas pour pouvoir affirmer que le débitage a démarré de la même manière sur ce nucléus que sur ceux du locus 2, avec l'utilisation de la convexité naturelle du cortex.

Le plein débitage est géré de façon bipolaire (fig. 102.8). Une première phase de débitage de lamelles est réalisée à partir d'un plan de frappe montrant un angle droit avec la table de débitage, proche des 90°. Cette phase est suivie par une série d'enlèvements également lamellaires destinés à entretenir le cintrage du nucléus. Ces lamelles, débordantes, sont débitées à partir du plan de frappe opposé. Ces enlèvements permettent également de corriger le carénage afin de poursuivre le débitage dans de bonnes conditions. De ce même plan de frappe opposé ont été extraites des lamelles qui semblent également appartenir à une phase de pleine production.

Comme pour les nucléus du locus 1, le débitage reste semi-tournant. L'angle droit entre le plan de frappe et la table de débitage permet techniquement d'avoir recours à un débitage tournant. C'est donc le choix du tailleur de conserver un rayon de courbure constant à sa table de débitage. Il peut s'agir d'un argument supplémentaire à l'hypothèse proposée pour le locus 2 quant à la volonté de produire des supports lamellaires homogènes. Toutefois, l'angle de chasse des produits proche des 90° pourrait être la marque d'un débitage par percussion indirecte. Malheureusement, les caractères morphologiques de ces lamelles ne sont pas suffisants pour apporter d'éléments complémentaires quant à l'existence d'un éventuel débitage par percussion indirecte avant le Mésolithique (Inizan et al. 1995).

### 10.5 Conclusion

(Jean Detrey et Blaise Othenin-Girard)

Localisé au pied d'une colline à une altitude de 447,50 m, en bordure d'une plaine alluviale, le petit gisement magdalénien de Noir Bois était constitué exclusivement d'industrie lithique, répartie sur une trentaine de mètres carrés. Les vestiges sont apparus bien préservés dans la partie supérieure des lœss, au sommet d'une séquence pléistocène. Ces artefacts forment le seul ensemble archéologique découvert dans une unité sédimentaire (unité E4) qui couvre quasiment les 2,4 hectares du site.

L'insertion culturelle et chronologique de ce gisement au Magdalénien n'est possible que sur des critères typologiques de l'industrie lithique, reposant sur un corpus de seulement 25 outils; par ailleurs, les caractéristiques technologiques du débitage ne contredisent pas cette attribution. La faiblesse numérique de l'outillage rend toutefois délicate une assimilation plus fine à l'un des groupes du Magdalénien régional. Du fait de la prédominance des lamelles à dos et des burins (dièdres, sur cassure et transversal) ainsi que de l'absence de pointes à dos et de burins sur tronçatures, on peut tout au plus comparer l'industrie laminaire d'Alle à celles du Magdalénien moyen à supérieur, représentées en Suisse par les techno-assemblages B, C ou D. La période concernée occupe les phases de végétation de la fin du Dryas I à la transition du Bölling, d'environ 14 000 à 12 600 BP.

A ce jour, il s'agit de l'unique découverte de cette période préhistorique dans le canton du Jura. Dans un cadre géographique élargi, les témoins magdaléniens de Noir Bois représentent en revanche un site supplémentaire par rapport à ceux déjà nombreux répartis dans la partie orientale de la chaîne du Jura (Leesch 1997, p. 26) et en Franche-Comté (David 1996, p. 113).

A Noir Bois, la répartition de l'industrie en silex révèle trois postes de débitage très proches les uns des autres dont deux montrent une configuration identique: on observe une concentration composée des produits de débitage et des outils, alors que les nucléus ont été abandonnés à quelque distance de chaque amas.

L'organisation supposée similaire des trois locus, comptant au total seulement 1659 artefacts, leur parfaite lisibilité ainsi que l'absence de foyer attestent d'une très brève occupation du site,



de peut-être quelques heures. Cette particularité permet d'apporter de nouvelles données, bien que partielles, sur les problèmes de gestion de matière première et de territoire au sein du Magdalénien régional.

Les occupants du site ont débité deux types de silex ; l'un, local et d'une qualité moyenne (60 % des artefacts), a servi à la production de lames sur un seul poste de débitage (locus 1). L'autre, fin, provenant de Bendorf (Haut-Rhin, France), à 15 km au nord-est d'Alle (40 % des artefacts), a été utilisé à deux emplacements (locus 2 et 3) pour fabriquer spécifiquement des lamelles, destinées au façonnage d'armatures et de burins. Pour réaliser en particulier leurs lamelles à dos, les tailleurs d'Alle ont choisi sur le gîte de Bendorf de petits nodules de silex à grain fin, en délaissant les rognons en général plus grands, mais de qualité plus grossière (chap. 10.2.1); cette préférence dénote une bonne connaissance des sources régionales de matières premières siliceuses. Cependant, Noir Bois se distingue d'autres stations magdaléniennes du Plateau suisse par la faible variété des types de silex présents; cette particularité peut être expliquée par la très courte durée d'occupation du gisement. Par ailleurs, les matières d'Alle et de Bendorf ne se retrouvent qu'en faible quantité sur les sites de cette période, suggérant plutôt une implantation régionale des hôtes du gisement.

Un mode de gestion différenciée de la matière se retrouve également à Hauterive, Champréveyres (Neuchâtel, Suisse; Leesch 1997, p. 70). Sur ce site et dans des proportions assez proches de celles d'Alle, les Magdaléniens ont privilégié les matières fines allochtones pour réaliser les outils spécialisés comme les armatures à dos, alors que la chaille locale a fourni le matériau dans lequel on a obtenu des outils du fonds commun (grattoirs, perçoirs, burins, divers). Mais au Magdalénien, d'autres processus existent, par exemple à Seveux, en Haute-Saône (Séara 1997, p. 95), où la production de lamelles intervient ici lors d'une phase terminale d'exploitation de nucléus à lames.

On considère généralement que les Magdaléniens se déplacent avec des lames, des outils et des nucléus déjà préparés ou exploités. Ainsi à Etiolles, « l'équipement de voyage restait léger et sans doute réduit au strict nécessaire, sans doute même aux biens personnels » (Coudret et al. 1994, p. 141). A Champréveyres, les silex allochtones introduits sur le site l'ont été sous forme d'outils (Leesch 1997, p. 70), de nodules testés ou de nucléus à lamelles (Cattin 1994, p. 127-129). Or, ce schéma ne se retrouve pas à Noir Bois, dans le sens où ses occupants y sont arrivés, d'une part, avec quelques rognons de Bendorf sous forme brute, d'autre part, avec un assortiment de galets en roches essentiellement quartzitiques, de calibre assez constant (taille du poing), totalisant un poids de 10,4 kg. Si leur fonction sur le gisement reste inconnue (chap. 10.2.2), il est certain que ces roches ont également été prélevées dans l'environnement régional, sur des affleurements distants d'Alle de 5 à 50 km, dans un rayon allant du nord-est au sud du gisement.

Le fait que les occupants de Noir Bois y aient amené une quantité importante de matière première prouve que l'exploitation du silex d'Alle a été opportuniste et ne constituait pas le but de leur venue dans la plaine de l'Allaine. Retrouvées en mauvais

état dans la surface fouillée, les lamelles à dos en silex de Bendorf ne remontent pas sur les nucléus abandonnés. On peut supposer le remplacement des éléments tranchants de sagaies par de nouvelles pièces fabriquées sur le gisement. Les burins récoltés dans les mêmes amas que les armatures ont probablement servi lors de cette opération. L'association de ces outils se retrouve sur plusieurs campements magdaléniens, comme à Pincevent et Marsangy dans le bassin parisien (Taborin 1994) ou à Champréveyres au bord du lac de Neuchâtel (Leesch 1997, p. 78 ss), le plus souvent autour de foyer, dont la chaleur était nécessaire à l'emmanchement des armatures au moyen de colles végétales. Cependant à Noir Bois, on n'observe pas de structure de combustion évidente; de surcroît les éventuelles matières osseuses n'ont pas subsisté dans les sédiments.

Sur la base des données disponibles, on peut tenter de reconstituer le scénario suivant: un groupe de deux à trois individus ramasse des galets sur des affleurements des vallées de la Birse et de Delémont, puis passent par Bendorf pour y collecter quelques nodules de silex, complétant leur stock de galets à Charmoille, peu avant d'arriver à Alle. A Noir Bois, ils font une courte halte pour réparer en tout cas quelques sagaies et constituer une réserve d'outils et de lames, en exploitant de manière non exhaustive les nodules du silex local. Ils quittent finalement le site et abandonnent intégralement ou en partie les galets acheminés ainsi que les nucléus. Les lieux de provenance des matières importées définissent une partie du territoire qu'ils parcouraient; le camp de base de ces Magdaléniens se situait éventuellement dans une grotte ou un abri de la vallée de la Birse.

Par la brièveté de son occupation, ce site de passage (Le Tensorer 1998, p. 230) n'a pas laissé une grande quantité de vestiges, ce qui rend les comparaisons difficiles avec les stations fréquentées plus longtemps ou de façon répétée. Toutefois pour la période concernée, cette particularité fait aussi de Noir Bois un cas unique en Suisse. On a là une sorte d'instantané d'une activité en plein air de quelques individus en déplacement, un groupe de chasseurs guettant peut-être le gibier évoluant un peu plus bas dans la plaine parcourue par une rivière; ils mettent à profit les moments creux de cette halte pour réparer leur équipement de chasse et constituer une réserve de supports en silex.

## 10.6 Bibliographie

- |        |   |
|--------|---|
| ASSPA  | Annuaire de la Société suisse de préhistoire et d'archéologie, Bâle.  |
| BSPF   | Bulletin de la Société Préhistorique Française, Paris.  |
| CAJ    | Cahier d'archéologie jurassienne, Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Emulation, Porrentruy. |
| CNRS   | Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.  |
| CREP   | Cercle de Recherches et d'Etudes Préhistoriques, Antibes, Paris, Meudon.  |
| DAF    | Documents d'Archéologie Française, Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris.                          |
| (dir.) | Sous la direction de, réunis par.   |
| EGH    | Eclogae Geologicae Helvetiae, Bâle.   |
| RB     | Regio Basiliensis, Bâle.  |
| SPM    | La Suisse du Paléolithique à l'aube du Moyen Age, publié par la SSPA.   |
| SSPA   | Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie, Bâle.   |





Fig. 103. Reconstitution hypothétique de la halte magdalénienne d'Alle, Noir Bois. La seule présence, sur le site, d'artefacts lithiques doit faire considérer cette vision comme vraisemblable et non comme exacte. Il est d'ailleurs à noter que le débitage par percussion indirecte n'est pas attesté et reste très hypothétique (chap. 10.4); de surcroît, on ne dispose d'aucune donnée relative à l'environnement végétal.



- Astruc Laurence  
1997 Analyse tracéologique de quelques artefacts de silex. In: Othenin-Girard Blaise et al.: *Le Campaniforme d'Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. CAJ 7, p. 121-126.
- Barr J.H.  
1973 *The Late Upper Paleolithic site of Moosbühl. An attempt to analyse some of its problems*. Thèse, Faculté de Philosophie et des Sciences naturelles de l'Université de Berne (non publié).
- Boëda Eric et Pelegrin Jacques  
1985 Approche expérimentale des amas de Marsangy. In: *Les amas lithiques de la zone N19 du gisement magdalénien de Marsangy: approche méthodologique par l'expérimentation*. Association pour la promotion de l'archéologie de Bourgogne, Archéodrome 1985, p. 19-36 (Archéologie expérimentale 1).
- Cahen Daniel, Karlin Claudine, Keeley Lawrence H. et Van Noten Francis  
1980 Méthodes d'analyse technique, spatiale et fonctionnelle d'ensembles lithiques. *Helinium XX*, p. 209-259.
- Cattin Marie-Isabelle  
1994 Approche techno-économique des silex magdaléniens de Hauterive-Champréveyres. ASSPA 77, p. 127-129.
- Coudret Paule, Larrière-Cabiran Marylène, Olive Monique, Pigeot Nicole et Taborin Yvette  
1994 Etiolles. In: Taborin Yvette (dir.): *Environnements et habitats magdaléniens dans le centre du Bassin parisien*. DAF 43, p. 132-146.
- Crotti Pierre  
1993 L'Épipaléolithique et le Mésolithique en Suisse: les derniers chasseurs. In: Le Tensorer Jean-Marie et Niffeler Urs (dir.): *La Suisse du Paléolithique à l'aube du Moyen-Age. Paléolithique et Mésolithique*. SSPA, p. 203-241 (SPM I).
- David Serge  
1996 La fin du Paléolithique supérieur en Franche-Comté: environnement, cultures, chronologie. *Gallia Préhistoire* 38, p. 111-248.
- Demars Pierre-Yves et Laurent Pierre  
1992 *Types d'outils du Paléolithique supérieur en Europe*. CNRS, 178 p., 63 fig.
- Gallet Michel  
1998 *Pour une technologie des débitages laminaires préhistoriques*. CNRS, 180 p., 55 fig. (Dossier de Documentation Archéologique 19).
- Inizan Marie-Louise, Reduron-Ballinger Michèle, Roche Hélène et Tixier Jacques  
1995 *Technologie de la pierre taillée suivi par un vocabulaire multilingue (allemand, anglais, arabe, espagnol, français, grec, italien, portugais)*. CREP, Meudon: 199 p., 79 ill., (Préhistoire de la Pierre Taillée 4).
- Jagher Erwin et Jagher Reto  
1987 Les gisements paléolithiques de la Löwenburg, commune de Pleigne. *AS 10/2*, p. 43-52.
- Julien Michèle et Rieu Jean-Luc (dir.)  
1999 *Occupations du Paléolithique supérieur dans le sud-est du Bassin parisien*. DAF 78, 240 p., 131 fig.
- Kälin Daniel  
1993 *Stratigraphie und Säugetierfaunen der oberen Süßwassermolasse der Nordwestschweiz*. Dipl. Phil. II Universität ETH, Zürich, 238 p.
- Kamber Martin  
1999 *Der Abri Müllloch in Starrkirch-Wil bei Olten. Eine spätmagdalénien-zeitliche Fundstelle im solothurner Jura*. Lizentiatsarbeit, Institut für Ur- und Frühgeschichte und Archäologie des römischen Provinzen der Universität Bern, non publié, 143 p.
- Karlin Claudine et Ploux Sylvie  
1994 Analyse des variations dans les modes de production laminaire et lamellaire. L'exemple de l'unité 27 M89 du niveau IV20 de Pincevent (Seine-et-Marne). *BSPF 91/3*, p. 185-186.
- Lang Laurent et Séara Frédéric  
1997 Le gisement Paléolithique supérieur du « Bas du Fort Mirroir » à Fontvannes (Aube). *Le Paléolithique supérieur de l'Est de la France: de l'Aurignacien à l'Arhensbourgien*. Actes du colloque de Chaumont, 17-18 octobre 1994, Société archéologique champenoise, Mémoire 13, supplément au bulletin 1997 n° 2, p. 51-60.
- Leesch Denise  
1993 Le Paléolithique supérieur récent. In: Le Tensorer Jean-Marie et Niffeler Urs (dir.): *La Suisse du Paléolithique à l'aube du Moyen-Age. Paléolithique et Mésolithique*. SSPA, p. 153-202 (SPM I).
- 1997 *Hauterive-Champréveyres, 10. Un campement magdalénien au bord du lac de Neuchâtel: cadre chronologique et culturel, mobilier et structures, analyse spatiale (secteur 1)*. Neuchâtel, Musée cantonal d'archéologie, 270 p. (Archéologie neuchâteloise 19).
- Leroi-Gourhan André  
1983 Une tête de sagaie à armatures de lamelles de silex à Pincevent (Seine-et-Marne). *BSPF 80/5*, p. 154-156.
- Leroi-Gourhan André et Brézillon Michel  
1966 L'habitation magdalénienne n° 1 de Pincevent près Monttereau (Seine-et-Marne). *Gallia Préhistoire* 9/2, p. 263-385.
- 1972 Fouilles de Pincevent: essai d'analyse ethnographique d'un habitat magdalénien. *Gallia Préhistoire*, supplément 7, 2 tomes, 327 p.
- Le Tensorer Jean-Marie  
1998 *Le Paléolithique en Suisse*. Millon, Aubenas, 499 p. (Collection l'Homme des origines, série Préhistoire d'Europe 5).
- Lininger Hans  
1964a Sundgauschopter in der nördlichen Ajoie. *RB V/1*, p. 73-77.
- 1964b Beziehungen zwischen Pliozän und Juraformation in der Ajoie, mit sedimentpetrographischen Analysen von Franz Hofmann (Neuhausen am Rheinfell). *EGH 57/1*, p. 75-90.



- Lininger Hans et Rothpletz Werner  
1964 Ein neuer Aufschluss in der Vogesenschottern westlich Delsberg. *RB* V/1, p. 78-83.
- Lininger Hans et al.  
1969 *Atlas géologique de la Suisse 1: 25 000, feuille Bonfol (n° 1065)*. CGS, Kümmerly & Frey SA, Berne.
- March R.-J. et Soler-Mayor B.  
1999 Etude de cas : analyse fonctionnelle de la structure 1. In : Julien Michèle et Rieu Jean-Luc (dir.) : *Occupations du Paléolithique supérieur dans le sud-est du Bassin parisien*. DAF 78, p. 102-125.
- Marquet J.-C.  
1975 Un atelier magdalénien à Bénagu, commune de Chaumussay (Indre-et-Loire). *BSPF* 72, Etudes et travaux, p. 309-318.
- Nielsen H. Ebbe  
1999 *Wauwil «Station 25/ Sandmatt». Eine spätpaläolithische Fundstelle im Wauwilermoos*. Kantonsarchäologie Luzern, 82 p. (Archäologische Schriften Luzern 8).
- Nuzhnyj Dmitri  
1989 L'utilisation des microlithes géométriques et non géométriques comme armatures de projectiles. *BSPF* 86/3, p. 88-96.
- Pernot Patrice et David Francine  
1997 La grotte III de Farincourt (Haute-Marne). Présentation synthétique des recherches récentes et de leurs principaux résultats préliminaires. In : Thévenin André et Villes Alain (dir.) : *Le Paléolithique supérieur de l'Est de la France : de l'Aurignacien à l'Ahrensbourgien*. Actes du colloque de Chaumont, 17-18 octobre 1994, p. 61-78 (Mémoire de la Société Archéologique Champenoise 13).
- Piccand Catherine  
1994 *Le site magdalénien de Moosseedorf-Moosbühl (BE), fouille de 1971, secteurs VI et VIII, aspects spatiaux*. Mémoire de licence, Institut de Préhistoire de l'Université de Bâle (non publié).
- Rieu Jean-Luc  
1999 Les foyers et les pierres chauffées. In : Julien Michèle et Rieu Jean-Luc (dir.) : *Occupations du Paléolithique supérieur dans le sud-est du Bassin parisien*. DAF 78, p. 96-102.
- Rothpletz Werner  
1933 *Geologische Beschreibung der Umgebung von Tavannes im Berner Jura*. Dissertation mathematisch-naturwissenschaftliche Abteilung der Philosophischen Fakultät der Universität Basel, 150 p.
- Schmider Béatrice et de Croisset E.  
1985 La structure centrale (N19) du campement magdalénien de Marsangy (Yonne) : données archéologiques. In : *Les amas lithiques de la zone N19 du gisement magdalénien de Marsangy : approche méthodologique par l'expérimentation*. Association pour la promotion de l'archéologie de Bourgogne, Archéodrome 1985, p. 5-18 (Archéologie expérimentale 1).
- Séara Frédéric  
1997 Le gisement magdalénien de plein air de Seveux (Haute-Saône). Un nouveau faciès du Magdalénien franc-comtois. In : Thévenin André et Villes Alain (dir.) : *Le Paléolithique supérieur de l'Est de la France : de l'Aurignacien à l'Ahrensbourgien*. Actes du colloque de Chaumont, 17-18 octobre 1994, p. 91-103 (Mémoire de la Société Archéologique Champenoise 13).
- Sedlmeier Jürg  
1989 *Jungpaläolithikum und Spätpaläolithikum in der Nordwestschweiz. Ein Beitrag zur regionalen Erforschung des Paläolithikums auf Grund ausgewählter Fundinventare aus Grabungen der Jahre zwischen 1910 und 1956*. Universität, Bern (ungedruckte Dissertation).
- 1998 Siedlungsgeschichte: Paläolithikum und Mesolithikum. In : Ewald Jürg et Tauber Jürg : *Tatort Vergangenheit*. Wiese Verlag, Bâle, p. 299 et 307-309.
- de Sonnevile-Bordes Denise et Perrot Jacques  
1953 Essai d'adaptation des méthodes statistiques au Paléolithique supérieur. Premiers résultats. *BSPF* 53/6, p. 323-333.
- 1954 Lexique typologique du Paléolithique supérieur. Outillage lithique – I: grattoirs, II: outils solutréens. *BSPF* 51/7, p. 327.
- 1955 Lexique typologique du Paléolithique supérieur. Outillage lithique – III: outils composites, perçoirs. *BSPF* 52/2, p. 76.
- 1956 a Lexique typologique du Paléolithique supérieur. Outillage lithique – IV: burins. *BSPF* 53/7-8, p. 408.
- 1956 b Lexique typologique du Paléolithique supérieur. Outillage lithique (suite et fin) – V: outillage à bord abattu, VI: pièces tronquées – VII: lames retouchées – VIII: pièces variées – IX: outillage lamellaire. Pointe azilienne. *BSPF* 53/9, p. 547.
- Stahl Gretsche Laurence-Isaline, Detrey Jean et al.  
1999 *Le site moustérien d'Alle, Pré Monsieur (Jura, Suisse)*. CAJ 9, 312 p.
- Taborin Yvette (dir.)  
1994 *Environnements et habitats magdaléniens dans le centre du Bassin parisien*. DAF 43, 189 p.
- Valentin Boris, Julien Michèle et Bodu Pierre  
1997 La fin du Tardiglaciaire au sud-est de l'Île-de-France : stratégie d'acquisition et de gestion des ressources lithiques. *Le Paléolithique supérieur de l'Est de la France : de l'Aurignacien à l'Ahrensbourgien*. Actes du colloque de Chaumont, 17-18 octobre 1994 (Mémoire de la Société archéologique champenoise 13).



The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This ensures transparency and allows for easy verification of the data.

In the second section, the author details the various methods used to collect and analyze the data. This includes both manual and automated processes. The goal is to ensure that the data is as accurate and comprehensive as possible.

The third section focuses on the results of the analysis. It shows that there is a clear trend in the data, which is consistent with the initial hypothesis. This finding is significant as it provides strong evidence for the proposed model.

Finally, the document concludes with a summary of the findings and a list of recommendations. It suggests that further research should be conducted to explore the underlying causes of the observed trends.

The second part of the document provides a detailed breakdown of the data. It includes several tables and charts that illustrate the key findings. These visual aids help to make the data more accessible and easier to understand.

The tables show the distribution of data points across different categories. The charts, on the other hand, highlight the overall trends and patterns in the data. Together, they provide a comprehensive overview of the information.

The author also discusses the limitations of the study. It is important to recognize that the data is based on a specific sample and may not be representative of the entire population. This is a common challenge in data analysis, and it is essential to be aware of it.

Despite these limitations, the study provides valuable insights into the data. The findings are clear and consistent, and they provide a solid foundation for further research. The author hopes that this work will be helpful to others in the field.



## 11 SYNTHÈSE

### 11.1 Introduction

Le gisement d'Alle, Noir Bois, situé en Ajoie, est localisé dans le domaine géologique du Jura tabulaire, sur le territoire du canton du Jura (Suisse). Il se distingue en particulier par une séquence lœssique d'une puissance maximale de trois à quatre mètres, alors que les affleurements de lœss alsaciens ont une puissance nettement plus développée, tels ceux du site d'Achenheim (Bas-Rhin, France). Cette différence s'explique par le fait qu'Alle correspond à la zone terminale de ces épandages lœssiques, venant buter contre le flanc nord de la chaîne jurassienne; cette situation s'exprime clairement sur la figure 10.

Les dépôts éoliens entrent donc pour une bonne part dans la composition minéralogique de base des sédiments qui composent la stratigraphie du site. La mise en place et l'évolution de ces dépôts sédimentaires sont le résultat de l'action de forces dynamiques externes, générées surtout par l'agent actif qu'est le climat, mais également par les mouvements de néotectonique (chap. 4.6) et par l'héritage structural (chap. 3.4).

Le facteur climatique induit une réunion de conditions physiques, variables dans les temps géologiques et archéologiques, auxquelles est assujéti un sol. Selon les paramètres développés (température, humidité, etc.), l'environnement terrestre est soumis, soit à des périodes de déstabilisation (rhexistasie), où les facteurs essentiels tels que l'eau et la gravité conduisent à la mobilisation, au transfert et donc à l'érosion des particules, soit à des périodes de stabilité (biostasie), où l'eau et les facteurs biologiques (microfaune et flore) agissent principalement pour mener à des transformations physiques ou chimiques (pédologiques) sur place. La période actuelle est de nature biostasiq; toutefois, les sédiments colluviés composant les unités sommitales de la stratigraphie (E3/2 et E1) évoquent une mise en place de type « rhexistasie artificielle », car ils sont issus d'une érosion de type ruissellement, sous faible couverture végétale (agriculture).

### 11.2 Méthodologie

L'étude des sédiments d'Alle, Noir Bois a concrètement commencé, sur le terrain, par la collecte des premiers critères ou indices. En 1991 déjà, une proposition préliminaire de modèle chronologique et de découpage stratigraphique a été défini sur le site (coupe A, fig. 15) par Michel Guélat (1992). Cela a constitué la base de réflexion de la présente étude (chap. 5). Ensuite, dès 1992 et durant l'année 1993, l'étude géologique du gisement a été confiée à Denis Aubry (chap. 2, 3 et 4). Les datations par thermoluminescence réalisées dans les lœss en 1992 (L. Zöller, chap. 7.2) ont permis d'assurer le calage chronologique de certaines unités de la stratigraphie (fig. 104).

Après l'approche de terrain, l'étude en laboratoire a été réalisée par une série d'analyses techniques, appliquées sur les échantillons de sols (sédimentologie, micromorphologie).

L'approche pluridisciplinaire a permis de mettre en parallèle ces résultats avec ceux d'autres analyses (minéralogie, datations par thermoluminescence, malacologie) et avec ceux apportés par l'étude archéologique des quatre gisements moustériens et de celui du Magdalénien.

### 11.3 Les analyses de laboratoire et leur évaluation

Les critères ou indices granulométriques ont été définis dans le chapitre 4. Ils sont d'ordre fluvial (tri dans les graviers ou les sables), colluviaux (hétérogénéité et faible indice de tri), pédologiques (enrichissement en argile) et lœssiques (tri éolien dans la fraction 15-45  $\mu\text{m}$ ). Ils ont donc permis de caractériser la nature et le mode de mise en place des sédiments et ont révélé également certains processus pédologiques. Dans le cas du développement de ceux-ci, l'observation de terrain, associée à la granulométrie (augmentation de la teneur en argile) et à l'analyse optique (refus de tamis à la loupe binoculaire), reste limitée à une pédogénèse soupçonnée. On ne peut pas établir une chronologie relative d'une succession de phénomènes pédologiques.

Les critères ou indices optiques ont été recueillis par une approche macroscopique et à la loupe binoculaire. Ils ont permis l'étude de la forme et de l'éroussé des graviers et des cailloux, ainsi que des traces de gel à la surface de ceux-ci. Ils ont également servi à l'analyse pétrographique des éléments sablograveleux et à détecter la présence de charbons fossiles et de micas dans le corpus, etc. Ils ont confirmé la présence de traces de brûlis dans les sédiments (unités E8, E7c), la nature gélifractée des éléments graveleux contenus dans les sédiments des unités E5 base et E5 sommet, la nature jurassique et fluviale des éléments graveleux de l'unité E9 base et l'abondance des micas blancs dans les sables fins qui constitue un critère lœssique. Cette méthode d'analyse a également servi à détecter des concentrations d'agrégats d'hydroxydes de fer correspondant à une hydromorphie et des agrégats noirs et rouille dans l'unité E7a associées à un sol interstadiaire.

Les critères ou indices géochimiques se sont montrés moins probants, sauf dans le cas de l'étude du fer (chap. 4.3.5) où l'on a constaté une évolution de ses formes dans le sédiment (amorphe, cristallisé en hydroxyde, forme organique complexée, etc.). Les rapports calculés de ces formes entre, d'une part le fer amorphe et le fer libre pour l'indice d'ancienneté et d'autre part le rapport fer libre, fer total pour l'indice d'altération, se sont révélés cohérents avec le découpage des unités E3 à E8. Un accroissement conjoint de l'altération et de l'âge a pu être mis en évidence avec la profondeur des sédiments (chap. 4.3.5, fig. 25). L'analyse des phosphates a surtout révélé l'apport, l'accumulation ou la fixation des ions  $\text{PO}_4$  dans certains profils, par le jeu des amendements agricoles récents. L'accroissement de la teneur en matière organique relevé dans les faciès anciens (unités E8, E9) est un phénomène qui n'est pas clairement expliqué. Cette valeur élevée est due éventuellement à la limite de la méthode de mesure par perte de poids au feu (env. 1000°C, déshydratation des hydroxydes de fer ?).



Les critères ou indices micromorphologiques (chap. 5) permettent de définir l'évolution sur place des dépôts et d'établir une chronologie relative des processus pédologiques. Une identification des constituants anthropogéniques et de l'impact de l'occupation humaine sur les sédiments s'avère possible. Dans le cas de la séquence de Noir Bois (chap. 5.5), chaque unité stratigraphique a pu faire l'objet d'une interprétation paléoclimatique, tandis qu'une insertion chronologique a été proposée avec l'apport des datations absolues pour les principaux niveaux d'occupation humaine.

En comparant les résultats obtenus par unité stratigraphique, on constate la hiérarchisation de différentes phases génétiques, tout spécialement dans les formations de type pédocomplexe (unités E7 et E8, par ex.). Pour l'unité E8 en particulier, les arguments micromorphologiques se révèlent importants pour préciser l'insertion chronologique de l'industrie lithique du niveau moustérien inférieur (chap. 5.5.3.3). Dans les unités sommitales cependant (unités E4 et E3), les traits micromorphologiques sont inscrits d'une manière assez floue dans les dépôts: l'impact des activités anthropiques sur le sol a fortement oblitéré les traits pédologiques plus anciens. Macroscopiquement, ou par les méthodes de la sédimentologie classique, il n'aurait pas été possible de mettre en évidence tous les stades d'évolution reconnus et de définir leur succession dans le temps. Le calage chronologique de ces différentes phases génétiques, en particulier dans le cas des unités pour lesquelles on ne dispose pas de datation absolue, reste toutefois délicat.

Les critères ou indices archéologiques n'ont fourni que des repères chronologiques relatifs, permettant de constater une succession stratigraphique et culturelle logique entre trois niveaux contenant des industries lithiques. Le plus ancien est représenté par le niveau moustérien inférieur (unité E8), surmonté par le niveau moustérien supérieur (unité E7), puis par un petit horizon magdalénien (unité E4). Le calage chronologique absolu, notamment celui des horizons moustériens, n'a été possible que grâce aux apports de la sédimentologie et des datations par thermoluminescence.

Les critères ou indices faunistiques, malgré des conditions peu favorables de conservation, ont donné des indications utiles, notamment sur l'écosystème qui régnait lors du dépôt de l'unité E6. En effet, l'analyse malacologique a permis de déterminer une ambiance froide typique des lœss. Des restes de rhinocéros laineux ont également été retrouvés dans le faciès du Pléniglaciaire supérieur de l'unité E6, soulignant la rigueur du climat.

Des critères ou indices chronologiques, fondamentaux pour cette étude, ont été fournis par les datations par thermoluminescence et radiocarbone. Ils ont permis d'insérer les unités stratigraphiques dans la chronologie standard admise en Europe de l'Ouest (Van Vliet-Lanoë et Guilocheau 1995).

Finalement, l'ensemble de ces critères ont été réunis et comparés à certaines stratigraphies, localisées en particulier à quelques dizaines de kilomètres de Noir Bois (Achenheim, Bas-Rhin et La Grande Pile, Haute-Saône, France; Allschwil,

Bâle-Campagne, Suisse). Cette démarche a permis d'élaborer une histoire sédimentaire en un déroulement d'événements sédimentologiques (chap. 4.6) et pédosédimentaires (chap. 5), établis selon une succession chronologique (chap. 7), en y apportant certaines précisions environnementales (chap. 8).

#### 11.4 Présentation des résultats

Cette histoire sédimentaire a été synthétisée (fig. 104) et les principaux résultats sont commentés de gauche à droite.

Du point de vue pédosédimentaire, on note tout d'abord l'existence de deux phases majeures de pédogenèse; la première s'est déroulée durant le dernier Interglaciaire au sens large, la seconde durant l'Holocène. Cependant, on observe qu'au Pléniglaciaire moyen, certains processus tels que l'illuviation d'argiles et la déferrification ne sont pas inactifs, alors que dans le sol interstadiaire, aux environs de 30 ka BP, seules une faible production de matière organique et quelques traces de bioturbation ont été détectées. Il faut encore relever que les traces de gel, en l'occurrence une structure lamellaire, qui se surimposent à toute la séquence lœssique, semblent avoir été générées plutôt vers la fin du Pléniglaciaire supérieur, aux environs de 15 ka BP. Enfin, à Noir Bois, le premier impact des activités anthropiques ne se marque sur les sédiments qu'à partir de l'occupation néolithique.

On constate la présence de phases d'érosion (I, II, III et IV) qui se situent au début des épisodes froids. La plus importante est la phase II estimée du début du Pléniglaciaire inférieur. Les dernières (V et VI) correspondant à un effet anthropique (défrichements, agriculture).

Le niveau moustérien inférieur s'insère dans l'Interglaciaire éémien s.s. (chap. 5.5.1.3), le niveau moustérien supérieur dans le Pléniglaciaire moyen. L'occupation magdalénienne, qui a été retrouvée dans la partie supérieure de l'unité E4 (coupe B, fig. 15), correspond au Tardiglaciaire.

Les résultats des analyses granulométriques, optiques et minéralogiques (RX) font apparaître une subdivision cohérente, en cinq groupes ou «tendances sédimentologiques»:

- le premier groupe correspond aux unités sableuse et argileuses E9, E8, E7c et E7b (faciès inférieur sableux): la teneur en argiles, en sables et le *sorting index* augmentent, tout comme la proportion de résidus siliceux et de charbons altérés;
- le deuxième groupe correspond aux faciès éoliens et lœssiques E7b supérieur et E7a (sol interstadiaire) ainsi qu'au faciès éolien E6, considéré comme référentiel lœssique; l'unité E6 est triée, peu sableuse et très peu argileuse. On constate une faible teneur en argiles et surtout en sables, mais par contre, une forte présence de micas blancs. La proportion de micas, dans la fraction des sables fins, est bien en corrélation avec le caractère lœssique éolien des sédiments qui évolue particulièrement en direction de la partie supérieure de la sédimentation, correspondant au Pléniglaciaire moyen (pic dans E6);







- le troisième groupe correspond au faciès soliflué et cryoturbé de l'unité E5. On constate une réapparition des argiles issues du démantèlement des altérites E9 sommet;
- le quatrième groupe représente la dernière phase d'accumulation éolienne et colluviale (unité E4), en milieu naturel froid;
- le cinquième groupe (unités E3/E2 et E1), anthropique, très proche du quatrième, s'en démarque par une moins forte teneur en argiles, par une plus forte proportion en fer complexé organique (Fe p) et par une forte teneur en charbons de bois.

La minéralogie montre, au travers du système des cinq subdivisions évoqué ci-dessus, une nette augmentation vers les niveaux inférieurs (E7c, E8 et E9, premier groupe) des paramètres de la cristallinité de l'illite (facteur qui exprime le degré d'altération du contenu sédimentaire) et entre le rapport du silicate «feldspath potassique» et le silicate «plagioclase» (rapport FK/plagioclase). Cette évolution exprime la part de plus en plus importante que prend le feldspath potassique («matériel autochtone»), minéral issu du rocher (Kimméridgien) par rapport au plagioclase (matériel allochtone éolien) qui est contenu dans le corpus lœssique. Cette progression exprime également une évolution de la cristallinité de l'illite qui reflète un état de plus en plus altéré de ce constituant et donc du sédiment. Il est intéressant de comparer ce résultat avec celui obtenu par l'analyse optique de la fraction sableuse qui voit les résidus siliceux, issus en grande partie de l'altération du substratum rocheux, augmenter dans le premier groupe (unités E7c, E8 et E9).

On observe deux niveaux principaux d'accumulation de charbons de bois: le plus ancien comporte des charbons encroûtés de fer et de manganèse que l'on trouve principalement dans la partie supérieure de l'unité E8, insérée dans le Glaciaire ancien, et dans l'unité E7c attribuée au Pléniglaciaire inférieur. Le plus récent contient des charbons non encroûtés dans les unités E3 à E1 associé à des activités humaines. Toutefois, la présence de charbons peut signifier une marque environnementale, telle que des incendies de forêts.

### 11.5 Données archéologiques

Les vestiges archéologiques correspondent, d'une part, à plusieurs occupations du Paléolithique moyen et, d'autre part, à un atelier de taille de silex daté du Magdalénien.

La rareté des sites moustériens de plein air datés rend particulièrement important la découverte de celui d'Alle, Noir Bois. Les quatre occupations moustériennes se répartissent en deux séries. On rencontre deux ensembles, l'un remanié, l'autre totalement remanié, qui se développent depuis l'unité E5 (Pléniglaciaire supérieur) jusqu'à l'humus actuel. Bien qu'amenant des éléments de discussion sur les problèmes d'attribution culturelle durant le Paléolithique moyen, la position secondaire de ces artefacts n'apporte aucun élément chronologique. La situation est toute différente pour les deux derniers corpus d'objets. Tout d'abord, le niveau moustérien inférieur, dont les artefacts ont été retrouvés en grande partie dans la partie supérieure de

l'unité E8. L'attribution de cet ensemble au dernier Interglaciaire, soit avant 117-119 ka BP, vient confirmer l'hypothèse, émise lors de l'étude des industries d'Alle, Pré Monsieur (Stahl Gretsch et Detrey 1999), de l'ancienneté de la première vague d'occupation moustérienne dans la région. Le deuxième niveau moustérien, dit supérieur, a lui été retrouvé éparpillé dans la partie supérieure de l'unité E7. Grâce aux datations par thermoluminescence, ce niveau peut être situé dans le Pléniglaciaire moyen, vers 60-50 ka BP. Cette industrie est caractérisée techniquement par une production de lames complémentaires du débitage Levallois. Ce type d'exploitation a déjà été reconnu dans la région au sens large, notamment en Franche-Comté, mais également plus loin en France ou en Europe. Tous ces sites se positionnent également dans le Pléniglaciaire, mais le plus souvent dans les stades isotopiques 4 et 5. Il n'est malheureusement pas possible de déterminer si ce décalage chronologique revêt une réalité archéologique, s'il est dû aux limites de la méthode de datation ou s'il provient de la position secondaire du matériel.

A Noir Bois, les vestiges magdaléniens, jusqu'alors inédits dans le canton du Jura, s'ajoutent aux autres stations de cette période déjà répertoriées en assez grand nombre dans la partie nord-orientale du Jura, du sud de l'Allemagne à la Franche-Comté. Le site magdalénien, matérialisé par trois postes de débitage de silex, atteste d'une courte halte de quelques individus, probablement lors d'une expédition de chasse. La brièveté de cette occupation n'a engendré que peu de vestiges, elle n'en constitue pas moins un ensemble clos, particulièrement bien préservé et donne la vision d'un instantané.

La datation de ce passage est difficile à établir; on ne dispose d'aucune datation radiocarbone, en raison de l'absence de foyer et de tout autre élément en matière organique. L'éventail de l'outillage lithique est restreint, de telle sorte qu'il reste problématique d'insérer ce corpus d'artefacts à l'un des ensembles culturels magdaléniens qui se sont succédé dans la région au Tardiglaciaire. Cependant il est probable que ces outils datent de l'un des stades du Magdalénien moyen ou supérieur, faciès culturels évoluant en Suisse au cours des phases de végétation de la fin du Dryas ancien à l'orée du Bölling, soit d'environ 14000 à 12600 av. J.-C. L'industrie lithique était positionnée dans le sommet de la séquence lœssique du site (partie supérieure de l'unité E4), dans laquelle des traits pédologiques ont été mis en évidence par l'analyse micromorphologique des sédiments. Celle-ci a détecté les traces d'un sol (illuviations), attribué par comparaison au Bölling, suivies de celles d'une hydromorphie (engorgement d'eau), rattachée à l'Alleröd. Toutefois, il n'a pas été possible d'insérer en chronologie relative le moment de l'occupation archéologique par rapport à ces événements pédologiques.

En conclusion, cette étude montre qu'une approche interdisciplinaire est un outil idéal pour la reconstitution de l'histoire sédimentaire, climatologique, environnementale et humaine des sites en milieu ouvert. De plus, les datations obtenues ont permis la réalisation d'un cadre chronologique qui manquait jusqu'alors pour les périodes anciennes de la région.



## RÉSUMÉ

Cet ouvrage est le troisième volume, après les Cahiers d'archéologie jurassienne 7 et 8, consacré au site d'Alle, Noir Bois, fouillé sur 2,46 ha entre 1990 et 1993 dans le cadre de travaux autoroutiers (A16). Il s'est fixé comme but d'étude les niveaux antéholocènes en milieu continental périglaciaire, tant du point de vue sédimentologique (chap. 3 et 4), micromorphologique (chap. 5) qu'archéologique (chap. 9 et 10).

Alle, Noir Bois, se situe dans le Jura tabulaire, au nord-est de l'Arc jurassien, à une altitude moyenne de 450 m. Le site se trouve en bordure d'une petite vallée alluviale traversée par l'Allaine, au pied du flanc nord d'un anticlinal relativement peu prononcé. Le substrat rocheux calcaire est non seulement faillé, mais aussi corrodé par des phénomènes karstiques (dolines) qui ont d'une part, généré des sous-tirages et des effondrements et, d'autre part, créé des pièges à sédiments (chap. 2). Les conditions climatiques actuelles sont décrites pour étayer la comparaison avec les périodes froides anciennes.

Les couches se répartissent en neuf unités stratigraphiques (chap. 3), dont six (E9 à E4), appartenant à la séquence pléistocène, sont détaillées dans cette étude. Celles-ci ont été définies par des analyses stratigraphique, granulométrique (chap. 4.2), géochimique, micromorphologique (chap. 5) et minéralogique (chap. 6). Leur attribution chronologique s'est faite à partir de datations soit absolues (chap. 7), soit relatives, basées sur les données environnementales (chap. 8), ou par comparaison bibliographique.

L'unité E9 se divise en deux faciès : l'un, à sa base, composé de graviers fluviaux calcaires déposés en période froide vraisemblablement anté-éémienne, éventuellement lors de la glaciation dite maximale, l'autre à son sommet correspondant à une altérite fluviale, portant de fortes marques de pédogenèse, sans composante lœssique. La micromorphologie confirme l'aspect polyphasé de ce paléosol ayant évolué pendant une longue période comprenant plusieurs phases tempérées.

L'unité E8 est formée d'alluvions sableuses altérées mises en place par ruissellement en période froide (début de l'Eémien). Son ancienneté et son état altéré sont corroborés par les études des différentes formes du fer. La micromorphologie a mis en évidence deux pédogenèses attribuables à un milieu tempéré, postérieures à une période froide et au dépôt d'artefacts du niveau moustérien inférieur.

L'unité E7 se subdivise en trois types de sédiments :

- E7c qui n'existe qu'en aval du site, correspond à un colluvionnement d'ensembles de formations plus anciennes, ce que confirment la granulométrie, qui montre des indices pédologiques hérités ainsi que des indices colluviaux (démantèlement du complexe interglaciaire). On remarque une composante lœssique de ce sédiment.
- E7b est composée de colluvions sableuses ruisselées ayant subi le gel, et est marquée par un signal lœssique et contenant des inclusions ovoïdes de silts lœssiques déposées par

solifluxion. Il s'agit d'une succession de sols peu évolués, générés parallèlement à des apports sédimentaires fins sur des lœss remaniés et assez altérés. La base de ce niveau a donné deux dates par thermoluminescence à placer dans le Pléniglaciaire moyen. En direction du sommet, on assiste à un granoclassement vertical: le mode de sédimentation passe de colluvié à éolien. La partie supérieure de ce sédiment contient les silex du niveau supérieur moustérien. Il a été daté par thermoluminescence, dans une zone sans artefact, également du Pléniglaciaire moyen.

- E7a correspond à un horizon humifère enfoui (teneur en humus plus élevée que les autres couches), comportant des agrégats, signes d'une activité pédogénique. Il s'agit d'un sol interstadiaire, fixé par la végétation, soumis tardivement à des fissures de gel. Cet horizon est corrélé avec l'insterstade de Denekamp.

Deux faciès des lœss francs de E6 ont été mis en évidence :

- l'un en amont, à l'intérieur d'une dépression karstique, se caractérise par un faciès carbonaté; il contenait des coquilles de mollusques bien conservées datées par radiocarbone du Pléniglaciaire supérieur. Leur étude les place avant le dernier maximum glaciaire, dans un environnement plus froid et continental qu'actuellement;
- l'autre en aval, est un faciès non carbonaté contenant deux molaires supérieures de rhinocéros laineux (vivant dans un environnement steppique froid et sec). Ces lœss, peu altérés, sont datés par thermoluminescence du début du Pléniglaciaire supérieur.

L'unité E5 correspond à un dépôt de pente mis en place par gélifluxion ou cryoreptation d'un cailloutis enveloppé d'un sédiment lœssique (head). En aval, cette unité se poursuit par un niveau lœssique; ce sédiment s'est déposé pendant ou juste après le Pléniglaciaire supérieur. Cette formation donne lieu à une étude sur les structures de gel observables dans un sédiment (chap 3.5).

Le sédiment de l'unité E4 correspond à des colluvions lœssiques altérées. Il s'agit d'un sédiment remanié, au sommet bioturbé et à forte teneur en argile illuviale (horizon Bt). Il contient les postes de débitages magdaléniens.

### Les occupations moustériennes et magdalénienne

Le site d'Alle, Noir Bois a livré quatre ensembles lithiques attribuables au complexe moustérien (chap. 9), dont deux stratifiés: le niveau moustérien inférieur (dans l'unité E8) placé dans l'Eémien et le niveau moustérien supérieur (dans l'unité E7) attribué au Pléniglaciaire moyen. Les autres séries sont issues de contextes remaniés: il s'agit du niveau moustérien remanié de l'unité E5 et des artefacts disséminés (niveau moustérien totalement remanié) recueillis dans des sédiments colluviés du Tardiglaciaire et de l'Holocène (niveaux E4, E3 et E2). Les deux premiers ensembles définissent des stations de plein air dont l'organisation spatiale des vestiges a été perturbée par des mouvements sédimentaires. Les artefacts sont débités principalement en silex local (faciès de Pré Monsieur),



mais on constate la présence d'un faible pourcentage de pièces allochtones (principalement des outils), tant en silex qu'en roches vosgiennes, également retrouvés sur d'autres sites régionaux contemporains. L'étude technologique des vestiges du niveau supérieur permet d'établir des parallèles avec d'autres industries régionales, dont celle du site voisin d'Alle, Pré Monsieur (Cahiers d'archéologie jurassienne 9). Il possède un débitage Levallois non exhaustif, complété par une production de lames à partir de nucléus prismatiques; ces supports spécifiques ont été emportés du gisement. Le niveau inférieur montre un schéma opératoire spécifique (Système à Surface de Débitage Successif) aboutissant à la production d'éclats corticaux non standardisés, la production d'éclats ne paraît donc pas être à but différé.

L'ensemble de ces vestiges peut être attribué au Moustérien; leur faible nombre d'outils rend toutefois problématique leur rapprochement avec les groupes définis par F. Bordes. A ce propos, les auteurs proposent l'abandon de la notion de «Charentien» pour l'aire géographique englobant la région. La voie de recherche proposée se fonde plutôt sur la fonctionnalité principale des sites étudiés et sur leur intégration dans une économie de gestion de territoire.

L'étude de l'industrie lithique magdalénienne (chap. 10) de l'unité E4 et de sa répartition spatiale permet d'identifier une occupation très brève du site.

Aucun artefact en os n'a été retrouvé. Malgré la présence de galets triés et apportés sur le gisement, aucun foyer n'a été identifié. Les 1600 pièces retrouvées s'organisent autour de trois postes de débitage, répartis sur 30 m<sup>2</sup>. L'un d'eux a produit des lames en silex local qui ont été en grande partie emportées, les deux autres ont exploité des petits rognons de silex du gîte de Bendorf (Haut-Rhin, France), à 15 de km au nord-est, afin d'en extraire des lamelles et quelques outils.

Les outils abandonnés indiquent une activité tournant autour de la réfection de sagaies: lamelles à dos, burins (dièdres, sur cassure ou transversaux). L'exploitation du silex d'Alle (60 % des artefacts) est opportuniste et non le but de l'occupation. Ce gisement est une halte de chasse de courte durée, probablement d'un petit groupe d'individus. Si l'on accepte le faible nombre d'outils (25) comme représentatif de la culture des tailleurs, on peut placer cette industrie dans le Magdalénien moyen à supérieur (entre 14 et 12,6 ka).

*Laurence-Isaline Stahl Gretschnig*



## ZUSAMMENFASSUNG

Das vorliegende Buch ist nach den Cahiers d'archéologie jurassienne 7 und 8 der dritte Band welcher dem Fundplatz Alle, Noir Bois gewidmet ist. Die Fundstelle wurde von 1990 bis 1993 auf einer Gesamtfläche von 2,46 ha im Rahmen des Autobahnbaus A 16 ausgegraben. Die sedimentologischen (Kap. 3 und 4), mikromorphologischen (Kap. 5) und archäologischen (Kap. 9 und 10) Untersuchungen betreffen vorholozänen Schichten in einem kontinentalen Periglazialumfeld.

Alle, Noir Bois befindet sich nord-östlich der Juraketten im Tafeljura auf einer mittleren Höhe von 450 m. Die Fundstelle liegt am Rand eines kleinen Schwemmtales der Allaine, sowie am Fusse des Nordhanges eines wenig ausgeprägten Sattels. Das Kalkgesteinsubstrat ist nicht nur gespalten, sondern infolge von Karstphänomenen (Dolinen) auch ausgewaschen, welche einerseits zu Einfiltrierungen und Senkungen, andererseits zu Sedimentfallen führten (Kap. 2). Die Beschreibung der aktuellen Klimabedingungen ermöglicht einen Vergleich mit denjenigen der einstigen Kaltphasen zu untermauern.

Neun stratigraphische Einheiten können in der Schichtabfolge unterschieden werden (Kap. 3), wovon sechs (E9 bis E4) der pleistozänen Abfolge angehören und genauer betrachtet werden. Sie wurden mittels Stratigraphie-, Korngrössen- (Kap. 4.2), Geochemie-, Mikromorphologie- (Kap. 5) und Mineralogeanalysen (Kap. 6) bestimmt. Ihre zeitliche Einordnung erfolgte entweder durch absolute Daten (Kap. 7), oder durch eine auf Umweltdaten basierende Relativchronologie (Kap. 8), oder mit Hilfe von Literaturvergleichen.

Die Einheit E9 unterteilt sich in zwei Fazies: einerseits, der untere Teil, welcher durch vermutlich während einer voreemzeitlichen Kaltphase, vielleicht im Laufe der sogenannten Haupteiszeit, abgelagerten Kalkflussschutt gebildet wird; andererseits, der obere Teil, aus Flussverwitterungsgestein ohne Loesskomponente, mit starken Bodenbildungsspuren. Die Mikromorphologie bestätigt den mehrphasigen Aspekt dieses Paläobodens, welcher sich während einer langen Zeit weiterentwickelt hat und mehrere wärmere Phasen einschliesst.

Die Einheit E8 besteht aus verwittertem Schwemmsand, abgelagert durch Geriesel im Laufe einer Kaltphase (Beginn des Eems). Ihr Alter und Verwitterungszustand werden durch die Untersuchung der verschiedenen Eisenausbildungen bestätigt. Die Mikromorphologie konnte zwei Bodenbildungsphasen nachweisen, welche sich in einem wärmeren Umfeld, nach einer Kaltzeit sowie der Ablagerung der Artefakte des älteren Moustérien, abgespielt haben.

Die Einheit E7 beinhaltet drei Sedimenttypen:

- E7c findet sich nur unterhalb der Fundstelle und entspricht einer Umlagerung von mehreren älteren Schichten. Dies wird durch die Granulometrie, welche Restindizes von Bodenbildung sowie Hinweise für Bodenfließen (Zersetzung des Interglazialkomplexes) erbringt, bestätigt.
- E7b besteht aus sandigen Rieselablagerungen mit Frostinflüssen, gekennzeichnet durch eiförmigen Einschlüssen

von Lössilten, abgelagert durch Bodenfließen. Es handelt sich um spärlich ausgebildete Böden, welche sich parallel zu feinen Sedimentanschwemmungen auf umgelagerten und ziemlich verwitterten Lössen bildeten. Dank zwei Thermolumineszenzdaten kann die Basis dieses Niveaus ins mittlere Hauptglazial datiert werden. In Richtung Schichtoberfläche lässt sich eine vertikale Korngrössenklassifizierung feststellen: es handelt sich um einen Übergang von Schwemm- zu Windablagerungen. Der obere Sedimentteil enthält Silices des jüngeren Moustérienhorizontes. Die Thermolumineszenz ergab in einem gerätelosen Abschnitt ebenfalls eine Datierung ins mittlere Hauptglazial.

- E7a entspricht einem überdeckten humushaltigen Horizont (erhöhter Humusgehalt im Vergleich zu den anderen Schichten), mit Agregaten, welche Bodenbildungsaktivitäten anzeigen. Es handelt sich um einen Interstadialboden, gebunden durch die Vegetation und in einer Spätphase frostrissig geworden. Dieser Horizont wird mit dem Denekamp-Interstadial in Korrelation gebracht.

Zwei Fazies von Lössen wurden in E6 nachgewiesen:

- die eine, hangaufwärts in einer Karstmulde, ist karbonat-haltig; sie enthält gut erhaltene Molluskenschalen, welche durch  $^{14}\text{C}$  ins obere Pleniglazial datiert wurden. Ihre Untersuchung ermöglicht es sie vor dem letzten Eiszeitmaximum zu situieren, in einem kälteren und kontinentaleren Klima als heute;
- hangabwärts findet sich die andere, karbonatlose Fazies, einschliesslich zwei obere Backenzähne eines Wollhaarnashornes (lebte in einer kalten und trockenen Steppenlandschaft). Diese wenig verwitterten Lössen datieren mittels Thermolumineszenz in den Beginn des oberen Hauptglaziales.

Bei der Einheit E5 handelt es sich um eine Hangschicht gebildet durch Frostkriechstrukturen von Geröll in einem Lösssediment. Eine Fazies von E5 beinhaltet Kieselemente welche auf eisen- und manganreiche Kalkablagerungen folgen. Hangabwärts verwandelt sich diese Einheit in ein Lössniveau; dieses Sediment wurde während oder unmittelbar nach dem oberen Hauptglazial abgelagert. Diese Formation ermöglicht Beobachtungen von Froststrukturen im Schichtzusammenhang (Kap. 3.5).

Die Einheit E4 besteht aus verwitterten Lössumlagerungen. Das Sediment ist im oberen Teil biologisch gestört mit einem starken Anteil an Schwemmlehm (Horizont Bt). Sie enthält magdalénienzeitliche Silexschlagplätze.

### Moustérien und Magdalenien Besiedlungen

Vier moustérienzeitliche Gerätschaften konnten auf dem Fundplatz Alle, Noir Bois unterschieden werden (Kap. 9), wovon zwei geschichtet sind: ein Niveau aus dem älteren Moustérien (in der Einheit E8) welches in die Eemzeit fällt und jüngeres Moustérienniveau (in der Einheit E7) welches der mittleren Haupteiszeit zuweisbar ist. Die anderen Serien stammen aus umgelagerten Zusammenhängen: es handelt sich um ein Moustérienniveau in der Einheit E5 und um verstreute Artefakte,



aufgesammelt in umgelagerten Sedimenten des Spätglazials und des Holozäns (Niveau E4, E3 und E2). Die beiden ersten Ensembles bilden Freilandplätze deren räumliche Fundverteilung durch Sedimentbewegungen gestört worden ist.

Die Artefakte wurden im wesentlichen aus lokalem Silex geschlagen (Fazies von Pré Monsieur), ein schwacher Anteil von allochthonen Stücken (vorwiegend Werkzeuge), besteht entweder aus Silex oder aus Vogesengesteinen, wie sie auch auf anderen Fundplätzen der Region gefunden wurden.

Die technologische Untersuchung der Funde aus dem oberen Niveau ermöglicht Parallelen mit anderen regionalen Gesteinsinventaren herzustellen, wie etwa jenes der benachbarten Stelle von Alle, Pré Monsieur (Cahier d'archéologie jurassienne 9). Eine nicht vollumfängliche Levalloismethode wurde ergänzt durch eine Klingensproduktion basierend auf prismenförmigen Nuklei; die spezifischen Module wurden vom Platz weggebracht. Das untere Niveau weist eine spezifische Arbeitskette auf (System mit aufeinanderfolgenden Abschlagflächen), welche zur Herstellung von nicht standardisierten Kortexabschlägen führen. Die Abschlagproduktion erfolgt offensichtlich nicht mit verschiedenen Zielsetzungen.

Die Gesamtheit der Funde kann ins Moustérien eingeordnet werden; die schwache Anzahl von Werkzeugen erlaubt es jedoch nicht eine Annäherung mit einer von F. Bordes definierten Gruppe zu postulieren. Die Autoren schlagen in diesem

Zusammenhang vor, die Bezeichnung «Charentien» für den regionalen geographischen Rahmen fallen zu lassen. Die eingeschlagene Forschungsrichtung stützt sich eher auf die grundsätzliche Funktion der untersuchten Plätze, sowie auf ihre Eingliederung in die ökonomische Gebietsverwaltung.

Die Studie des Magdaleniengeräteinventares (Kap. 10) der Einheit E4, sowie seiner räumlichen Verteilung ermöglicht festzustellen, dass die Benützungsphase von kurzer Dauer ist. Kein Knochenartefakt wurde gefunden. Trotz dem Vorhandensein von ausgelesenen und auf die Fundstelle gebrachten Kieselsteinen konnte keine Feuerstelle nachgewiesen werden. 1600 Gesteinstücke verteilen sich um drei Schlagplätze in einem Raum von 30 m<sup>2</sup>. Ein Platz produzierte Klingen aus lokalem Silex, welche grösstenteils weggebracht wurden; die anderen zwei Plätze verwendeten kleine Kernstücke von der 15 km nordöstlich gelegenen Lagerstätte Bendorf (Departement Haut-Rhin, F) zur Herstellung von Lamellen und einigen Werkzeugen.

Die verlassenen Werkzeuge weisen auf die Wiederinstandsetzung von Wurfgeschossen hin: Rückenmesserchen, Stichel (Flächen-, Winkel-, Quer-, sowie auf Brüchen). Die Silexverwertung in Alle (60 % der Artefakte) ist zweckmässig und nicht das Ziel der Niederlassung. Dieser Platz ist ein Jagdruhestätte von kurzer Dauer, vermutlich für eine kleine Gruppe von Individuen. Wenn die schwache Anzahl von Werkzeugen (25) als repräsentativ akzeptiert wird, kann die Gerätschaft ins mittlere oder jüngere Magdalénien gesetzt werden (zwischen 14 und 12,6 Kj).

*Übersetzung Ludwig Eschenlohr*



## RIASSUNTO

Quest'opera corrisponde al terzo volume, dopo i Cahiers d'archéologie jurassienne 7 e 8, consacrato al sito di Alle, Noir Bois, scavato su una superficie di 2,46 ettari tra il 1990 e il 1993 in occasione di lavori autostradali (A16). Gli oggetti di studio di questa pubblicazione sono gli strati preoloceni in un contesto climatico continentale periglaciale. Questi sono considerati da un punto di vista sedimentologico (cap. 3 e 4), micromorfologico (cap. 5) ed archeologico (cap. 9 e 10).

Alle, Noir Bois, è situato nel Giura tabulare, a nord-est dell'Arco giurassiano, ad un'altitudine media di 450 m. Il sito si trova ai bordi di una piccola valle alluvionale attraversata dall'Allaine, ai piedi del fianco nord di un anticlinale relativamente poco pronunciato. Il substrato roccioso calcareo non solo presenta delle faglie, ma è pure corroso a causa di fenomeni carsici (doline) che da una parte hanno generato dei tiraggi sotterranei e degli avvallamenti, dall'altra hanno creato delle trappole per i sedimenti (cap. 2). Le condizioni climatiche attuali sono descritte per essere confrontate ai periodi freddi antichi.

Gli strati possono essere suddivisi in nove unità stratigrafiche (cap. 3), di cui sei (E9 a E4), della sequenza pleistocenica, sono analizzate in questo studio. Queste sono state definite attraverso analisi stratigrafiche, granulometriche (cap. 4.2), geochimiche, micromorfologiche (cap. 5) e mineralogiche (cap. 6). La loro attribuzione cronologica è stata effettuata in base a delle datazioni assolute (cap. 7) o relative, riposanti sui dati ambientali (cap. 8), oppure grazie al confronto bibliografico.

L'unità E9 può essere suddivisa in due parti: quella inferiore è composta di ghiaia fluviale calcarea, depositata durante un periodo freddo, verosimilmente preemiano, eventualmente durante la glaciazione detta massimale, mentre quella superiore corrisponde ad un sedimento fluviale alterato, fortemente marcato dalla pedogenesi, senza componente loessica. La micromorfologia conferma l'aspetto polifase di questo paleosuolo che ha evoluto durante un lungo periodo e che comprende più fasi temperate.

L'unità E8 è formata da alluvioni sabbiose alterate, depositatesi tramite ruscellamento durante un periodo freddo (inizio dell'Eemiano). La sua anzianità ed il suo stato alterato sono corroborati dagli studi delle differenti forme del ferro. La micromorfologia ha messo in evidenza due pedogenesi attribuibili ad un clima temperato e posteriori ad un periodo freddo ed al deposito di artefatti dello strato musteriano inferiore.

L'unità E7 può essere suddivisa in tre tipi di sedimenti:

- E7c, che si trova unicamente a valle del sito e che corrisponde ad un colluvionamento di insiemi di formazione più antica, ipotesi confermata dalla granulometria, che mostra degli indizi pedologici ereditati, come pure degli indizi di un'attività colluvionale (smantellamento del complesso interglaciale). Si nota una componente loessica di questo sedimento.
- E7b, composto da colluvioni sabbiose depositatesi tramite ruscellamento ed aventi subito il gelo, marcati da un segnale

loessico e contenenti delle inclusioni ovoidali di silt loessici depositatesi tramite solifluzione. Trattasi di una sequenza di suoli poco evoluti, generati parallelamente a degli apporti sedimentari fini sopra dei loess rimaneggiati ed abbastanza alterati. La base di questo strato ha fornito due date tramite termoluminescenza situabili nel Pleniglaciale medio. Verso l'alto, si assiste ad una granoclassificazione verticale: la sedimentazione da colluvionata passa ad essere eolica. La parte superiore di questo sedimento contiene le selci dello strato Musteriano superiore (cf. infra). È stata datata tramite termoluminescenza, in una zona sprovvista di artefatti, anch'essa del Pleniglaciale medio.

- E7a, che corrisponde ad un orizzonte humifero sotterrato (presenza di humus più marcata rispetto agli altri strati), contenente degli aggregati segnalanti un'attività pedogenica. Trattasi di un suolo interstadiale, stabilizzato dalla vegetazione ed in seguito crepato dal gelo. Questo orizzonte può essere collegato all'interstadio di Denekamp.

Due tipi di loess formano l'unità E6:

- il primo, a monte, all'interno di una depressione carsica, è caratterizzato da un facies carbonatato; conteneva delle conchiglie di molluschi ben conservate e datate al radiocarbonio del Pleniglaciale superiore. Il loro studio ha permesso di situarle prima dell'ultimo maximum glaciale, in un clima più freddo e continentale di quello attuale;
- il secondo, a valle, corrisponde invece ad un facies non carbonatato contenente due molar superiori di rhinoceros lanoso (vivente in un clima steppico freddo e secco). Questi loess, poco alterati, sono datati tramite termoluminescenza dell'inizio del Pleniglaciale superiore.

L'unità E5 corrisponde ad un sedimento franato in seguito ad una gelifluzione o allo spostamento, causato dall'alternarsi del gelo e del disgelo, di un pietrisco avvolto in un sedimento di loess (head). A valle, quest'unità è prolungata da uno strato di loess; questo sedimento si è depositato durante oppure subito dopo il Pleniglaciale superiore. Questa formazione fa l'oggetto di uno studio sulle strutture del gelo osservabili in un sedimento (cap. 3.5).

Il sedimento dell'unità E4 corrisponde a dei colluvionamenti di loess alterati. Si tratta di un sedimento rimaneggiato, bioturbato verso l'alto e contenente una forte quantità di argilla illuviale (orizzonte Bt). Contiene le stazioni di scheggiatura magdaleniane.

### L'occupazione musteriana e magdaleniana

Il sito di Alle, Noir Bois ha fornito quattro insiemi litici attribuiti al complesso Musteriano (cap. 9), due dei quali stratificati: lo strato Musteriano inferiore (nell'unità E8), situato nell'Eemiano, e quello superiore (nell'unità E7), attribuito al Pleniglaciale medio. Gli altri insiemi provengono da contesti rimaneggiati: trattasi dello strato Musteriano rimaneggiato dell'unità E5 e degli artefatti sparsi (strato Musteriano totalmente rimaneggiato) raccolti nei sedimenti colluvionati del Tardiglaciale e dell'Olocene (strati E4, E3 ed E2). I due primi



insieme definiscono delle stazioni a cielo aperto, la cui organizzazione spaziale delle vestigia è stata perturbata da dei movimenti sedimentari.

Gli artefatti sono tagliati principalmente in una selce locale (facies di Pré Monsieur), ma si constata la presenza di una debole percentuale di pezzi esogeni (principalmente utensili), sia in selce che in rocce dei Vosgi, e già conosciuti in altri siti regionali contemporanei.

Lo studio tecnologico dell'industria litica dello strato superiore permette di stabilire dei paralleli con altre industrie regionali, tra cui quella del vicino sito di Alle, Pré Monsieur (Cahiers d'archéologie jurassienne 9). Si tratta del metodo Levallois non esaustivo, accompagnato da una produzione di lame fatta su nuclei prismatici; queste sono state esportate. Lo strato inferiore mostra un procedimento operatorio specifico (SSDS, Système à surface de débitage successif, «Sistema di superficie di scheggiatura successiva») che sfocia in una produzione di schegge corticali non standardizzate. Questa produzione sembra quindi opportunistica.

L'insieme di queste vestigia può essere attribuito al Musteriano; lo scarso numero di utensili rende però problematico il confronto con i gruppi definiti da E.Bordes. A questo proposito, gli autori propongono l'abbandono della nozione di «Charentien»

(Quina-Ferrassie) per quest'area geografica. La pista di ricerca proposta si fonda piuttosto sulla funzionalità dei siti studiati e sulla loro integrazione in un'economia di gestione del territorio.

Lo studio dell'industria litica magdaleniana (cap. 10) dell'unità E4 e quello della sua ripartizione spaziale permette di definire un'occupazione molto breve del sito. Non è stato ritrovato alcun artefatto in osso. Malgrado la presenza di ciottoli selezionati e trasportati sul sito, non è stato identificato nessun focolare. I 1600 elementi scoperti si organizzano attorno a tre stazioni di scheggiatura e sono ripartiti su 30 m<sup>2</sup>. Una di queste stazioni ha prodotto delle lame in selce locale che sono state in gran parte esportate, mentre le altre due hanno sfruttato dei piccoli rognoni di selce provenienti da Bendorf (Haut-Rhin, FR), a 15km a nord-est, allo scopo di estrarne delle lamelle e qualche utensile.

Gli utensili abbandonati indicano un'attività centrata sul rifacimento di zagaglie: lamelle «à dos», bulini (diedri, su frattura o trasversali). Lo sfruttamento della selce di Alle (60% degli artefatti) è opportunistico e non costituisce lo scopo dell'occupazione. Questo giacimento è una sosta di caccia di corta durata, probabilmente di un piccolo gruppo di individui. Se si accetta il piccolo numero di utensili (25) come rappresentativo della cultura dei tagliatori, si può situare quest'industria tra il Magdaleniano medio e il Magdaleniano superiore (fra 14,000 e 12,600 BP).

*Traduzione Maruska Federici-Schenardi*



## ABSTRACT

After the Cahiers d'archéologie jurassienne 7 and 8, this volume is the third in a series describing the discoveries made on the site of Alle, Noir Bois. A motorway construction project (A 16) led to the excavation of 2,46 ha of this site between 1990 and 1993. The present work is concerned with the Pre-Holocene layers, deposited under continental periglacial conditions. Their sedimentological characteristics are described in the chapters 3 and 4, the results of the micromorphological analyses are presented in chapter 5 and the archaeological finds are discussed in the chapters 9 and 10.

Alle, Noir Bois is located in the tabular Jura, to the north-east of the main body of the Jura mountains («Arc jurassien»), at a mean altitude of 450 m. It lies on the edge of a little valley cut by the Allaine river, at the foot of the north slope of an only slightly marked anticline. The limestone substrate is not only fractured but has also been corroded by karstic phenomena (sink holes), which have created withdrawals and cave-ins but have also provided sediment traps (chap. 2). Current climatic conditions are described and contrasted to those prevailing during the ancient cold periods.

The sediment layers were assigned to nine stratigraphic units (chap. 3), although only the six belonging to the Pleistocene sequence (E9 to E4) are here described in detail. Their characteristics were determined through stratigraphic, particle-size (chap. 4.2), geochemical, micromorphological (chap. 5) and mineralogical analyses (chap. 6). Their chronological positions were defined through the use of both absolute (chap. 7) and relative dating methods (i.e. environmental data, chap. 8) and by comparison with published sequences.

Two facies can be distinguished within the unit E9: a lower layer of gravel which was apparently formed during a Pre-Eemian cold phase (possibly at the time of the so-called maximal glaciation) and an upper layer of fluvial alterite, strongly marked by pedogenesis and lacking a loessic component. Micromorphological analysis has confirmed the multiphase aspect of this palaeosol, which seems to have evolved over a long period including several warm phases.

Unit E8 consists of weathered sandy alluvium, deposited by surface run-off during a cold phase (beginning of the Eemian). The antiquity and the weathered state of this layer were confirmed by the study of the different types of iron contained within it. The presence of two pedogenesis horizons associated with a temperate environment, post-dating a cold period and the deposit of Mousterian artefacts belonging to the older of two stratified industries recognised on the site, could be demonstrated through the micromorphological analysis.

Three distinct layers were recognized within the unit E7:

- E7c, only present on the lower part of the site, is a colluvium of several older formations. The particle-size distribution, which shows the presence of inherited pedological indicators and traces of colluvial activity (dismantling of the interglacial

complex), supports this interpretation. The sediment contains some loess.

- E7b is a sandy colluvium which has been subjected to run-off and to freezing. It has a relatively large component of loess and contains ovoid inclusions of loessic silt which were deposited by solifluction. The layer consists of a series of poorly evolved palaeosols, which developed on weathered loess in parallel to an influx of fine sediments. Two thermoluminescence dates place the base of this unit in the Middle Pleniglacial. Towards the summit of the layer vertical grain sorting appears: aeolian sedimentation apparently replaced earlier colluvial processes. The upper part of the layer contains Mousterian flint artefacts belonging to the younger of two stratified industries discovered on the site. The level at which these appear has also been dated to the Middle Pleniglacial by a thermoluminescence analysis from an artefact-free zone.
- E7a is a buried soil horizon (the percentage of humus is higher than in the other layers) with aggregates documenting pedogenetic activity. This interstadial surface, fixed by vegetation before having been frozen, has been correlated with the Denekamp interstadial.

Unit E6, a true loess layer, consists of two distinct facies:

- the first, confined to a karstic depression on the upper part of the slope, is characterised by a high percentage of carbonate; it contains well preserved mollusc shells which have been radiocarbonated to the Upper Pleniglacial and seem to have lived in a cold, continental environment before the last glacial maximum.
- the second, present on the lower part of the slope, is poor in carbonate; a thermoluminescence date situates the formation of this loess deposit at the beginning of the Upper Pleniglacial. Two upper molars of the woolly rhinoceros, an inhabitant of the cold steppe, were discovered within this facies.

Unit E5 is a slope deposit of gravel in a loessic matrix formed by gelifluction or cryoreptation (head). Higher up on the slope, the gravel deposit gives way to a loessic layer, apparently laid down during or immediately after the Upper Pleniglacial. Cryoturbations observed within this deposit were the object of a particular study (chap. 3.5).

Unit E4 is composed of weathered loessic colluvium. The deposit has been much disturbed, bioturbated close to its summit and is rich in illuvial clay (Bt horizon). Magdalenian knapping floors were discovered within this layer.

### Mousterians and Magdalenian occupations

Four lithic industries belonging to the Mousterian technocomplex were discovered at Alle Noir Bois (chap. 9). Two were stratified: the lower Mousterian industry (found in unit E8), dating to the Eemian and the upper Mousterian industry (enclosed in unit E7b), assigned to the Middle Pleniglacial. The remaining two industries were not found within their original stratigraphic context: one consists of artefacts discovered in secondary position within the layer E5, the other consists of



scattered finds from the Late Glacial and Holocene deposits (layers E4, E3 and E2). Although two industries are stratified, the horizontal distribution of these artefacts has been disturbed by soil movement and their original spatial organisation could not be reconstructed.

The local flint of the «Pré Monsieur» type is the dominant raw material, but a small percentage of artefacts (mostly tools) has been produced with exotic materials: imported flint and rocks from the Vosges mountains and Franche-Comté, also known from contemporary sites in the region.

Parallels between the upper Mousterian industry and other regional industries, including those discovered at Alle, Pré Monsieur (Cahiers d'archéologie jurassienne 9), were established through a technological analysis of the finds. The former is characterised by a non-exhaustive Levallois technique, accompanied by the production of blades from prismatic cores (the blanks seem to have been removed from the site). The lower Mousterian industry is quite different: here, a system of successive debitage surfaces (SSDS «Système à Surfaces de Débitage Successives») was the predominant core reduction technique, producing non-standardised cortical flakes. Flake production was thus more opportunistic.

While the four industries can be clearly classified as Mousterian, the small number of tools associated with each precludes any comparison with the industrial groups defined by F Bordes. The authors are in any case of the opinion that the concept of the «Charentian» group, which has been applied to the industries

found in the region and in the enclosing geographical area, should be abandoned and replaced by an approach concentrating on the functional aspects of each site and their respective roles within a wider economic system.

The Magdalenian industry found within the layer E4 was submitted to a technological and a spatial analysis (chap. 10). The artefacts seem to represent the remains of a brief halt on the site by a passing group of hunters and gatherers. No bone tools were found and no hearth was discovered, but several pebbles of a selected size and type seem to have been carried onto the site. The 1600 artefacts are spread over a surface of 30m<sup>2</sup> and cluster around three knapping floors. In one of these, blades of local flint, later mostly carried off-site, were produced. Small flint nodules from an outcrop at Bendorf (Haut-Rhin, France), 15km to the north-west of Alle, were the raw material processed on the two other floors. They were used for the production of bladelets and a small number of tools.

The nature of the tools abandoned onsite – backed bladelets and burins (dihedral, on break or transversal) – suggests that repairing composite projectiles was the principal activity. Although local flint was used to produce 60% of the artefacts recovered, the exploitation of this raw material seems to have been opportunistic and not the main goal of the occupation. The site is thus interpreted as a hunting stop involving only a small number of individuals. The typological information available from the site is relatively small, as only 25 tools were found. These suggest that the occupation took place during the Middle or the Upper Magdalenian, between 14 and 12,6 ky BP.

*Translation Robert Fellner*



## LISTE DES ILLUSTRATIONS

Fig. 1.	Vue aérienne avec l'emplacement du site d'Alle, Noir Bois .....	9
Fig. 2.	Cadre géographique du site d'Alle, Noir Bois .....	9
Fig. 3.	Situation d'Alle, Noir Bois. Carte nationale 1 : 50 000, feuille 1085 .....	10
Fig. 4.	Situation topographique et emprise du site .....	11
Fig. 5.	Vue d'un décapage archéologique effectué à la pelle mécanique .....	12
Fig. 6.	Vue de la fouille manuelle du niveau magdalénien .....	13
Fig. 7.	Vue de la fouille manuelle du niveau moustérien inférieur .....	13
Fig. 8.	Relief du Jura tabulaire avec forêt de hêtres et d'épicéas .....	15
Fig. 9.	Distribution des territoires lœssiques et limites maximales des glaciations en Europe de l'ouest .....	15
Fig. 10.	Géologie de la région du site d'Alle, Noir Bois .....	17
Fig. 11.	Carte tectonique et géologique de la région du sud de l'Alsace et de la chaîne jurassienne suisse .....	17
Fig. 12.	Etendue en plan des sédiments des principales unités reconnues sur le site .....	20
Fig. 13.	Plan de situation des coupes et profils examinés dans les chapitres 3 et 4 .....	22
Fig. 14.	Profil longitudinal passant par les coupes A à H de la figure 15 .....	24
Fig. 15.	Profils géologiques des coupes A à H .....	dépliant
Fig. 16.	Aperçu du fond rocheux karstifié en travers du site .....	25
Fig. 17.	L'unité E5 et les structures de gel .....	26
Fig. 18.	Structure de déformation par le gel .....	27
Fig. 19.	Diagrammes de fréquence relatifs à la fraction inférieure à 63 µm des unités E1 à E9 .....	33
Fig. 20.	Diagramme triangulaire des textures .....	35
Fig. 21.	Représentations de l'indice de classement .....	36
Fig. 22.	Courbes cumulatives des unités E1 à E9 .....	37
Fig. 23.	Courbes granulométriques des unités E1 à E9 .....	38
Fig. 24.	Evolution verticale de l'accumulation du ion phosphate .....	41
Fig. 25.	Tableau des teneurs des formes du fer .....	43
Fig. 26.	Résultats des analyses géochimiques et granulométriques des coupes 58a et 58b .....	45
Fig. 27.	Résultats des analyses géochimiques et granulométriques de la coupe 67 .....	46
Fig. 28.	Résultats des analyses géochimiques et granulométriques de la coupe 97 .....	46
Fig. 29.	Résultats des analyses géochimiques et granulométriques de la coupe 98 .....	47
Fig. 30.	Résultats des analyses géochimiques et granulométriques de la coupe 117 et 104 .....	47
Fig. 31.	Résultats des analyses géochimiques et granulométriques de la coupe 96 .....	48
Fig. 32.	Résultats des analyses géochimiques et granulométriques de la coupe 199 .....	48
Fig. 33.	Tableau synthétique récapitulatif des chapitres 3 et 4 .....	50 et 51
Fig. 34.	Coupe géologique schématique à travers la plaine alluviale de l'Allaine .....	57
Fig. 35.	Situation des coupes sur lesquelles se base l'analyse micromorphologique .....	61
Fig. 36.	Vue partielle de la coupe 58, dans le secteur 6, où sont apparus les silex moustériens .....	62
Fig. 37.	Coupe 58: profil schématique et résumé de l'analyse micromorphologique .....	63
Fig. 38.	Structure lamellaire développée dans la partie inférieure de la séquence lœssique .....	65
Fig. 39.	Coupe 97-98: profil schématique compilé et résumé de l'analyse micromorphologique .....	66
Fig. 40.	Vue d'une face polie d'un bloc prélevé dans le head (unité E5) .....	68
Fig. 41.	Coupe 78 et 1105: profil schématique compilé et résumé de l'analyse micromorphologique .....	69
Fig. 42.	Huit vues au microscope de quelques traits micromorphologiques caractéristiques .....	73
Fig. 43.	Tableau synthétique des résultats de l'analyse micromorphologique .....	77
Fig. 44.	Plan de situation des coupes étudiées .....	81
Fig. 45.	Descriptif des échantillons analysés et âges apparents des micas .....	82
Fig. 46.	Minéralogie de la roche totale, estimation semi-quantitative des minéraux majeurs .....	83
Fig. 47.	Minéralogie de la fraction 2-16 µm,abondance relative des phyllosilicates .....	83
Fig. 48.	Appréciation de la composition chimique des micas et des chlorites .....	84
Fig. 49.	Distribution du rapport feldspath potassique sur plagioclase et de la cristallinité de l'illite .....	85
Fig. 50.	Evolution de la minéralogie de la fraction < 2 µm, abondance relative des phyllosilicates .....	86
Fig. 51.	Synthèse des résultats des données obtenues à partir de l'analyse minéralogique .....	87
Fig. 52.	Position schématisée des échantillons TL dans les coupes 97 et 98 .....	89
Fig. 53.	Plan de situation des coupes étudiées .....	89
Fig. 54.	Données et résultats de l'analyse par thermoluminescence .....	90
Fig. 55.	Résultats dosimétriques et étude du déséquilibre de la série de l'uranium 238 .....	90
Fig. 56.	Vue de la prise d'échantillons pour la datation thermoluminescence .....	91



Fig. 57. Schéma de fonctionnement du cycle de cristallisation d'une coquille de mollusque .....	92
Fig. 58. Plan de situation des coupes étudiées .....	93
Fig. 59. Position stratigraphique des échantillons analysés .....	94
Fig. 60. Résultats de l'analyse malacologique .....	95
Fig. 61. Diagrammes circulaires illustrant la proportion des différents groupes écologiques des échantillons I et II .....	95
Fig. 62. Dimensions comparées des molaires de <i>Coelodonta antiquitatis</i> .....	97
Fig. 63. Bourgeons dentaires de molaires supérieures de rhinocéros laineux .....	97
Fig. 64. Emplacements des différents niveaux contenant des industries lithiques moustériennes .....	99
Fig. 65. Niveau moustérien inférieur : répartition planigraphique des artefacts et emplacement de la coupe 58 .....	100
Fig. 66. Les unités sédimentaires de la partie occidentale du site représentées dans les coupes 58, 60, 67, 97 et 98 .....	101
Fig. 67. Coupe 96 avec projection de l'industrie lithique du niveau moustérien remanié .....	102
Fig. 68. Niveau moustérien supérieur : répartition des artefacts lithiques .....	103
Fig. 69. Niveau moustérien remanié : répartition des artefacts lithiques .....	104
Fig. 70. Carte de provenance des différents types de silex .....	105
Fig. 71a. Décompte des différents types de silex selon les industries de Noir Bois .....	106
Fig. 71b. Occurrence des matériaux présents à Alle, Noir Bois et dans d'autres sites moustériens de la région .....	107
Fig. 72. Distances et dénivelées entre les gîtes d'origine des silex exogènes et le site d'Alle, Noir Bois .....	108
Fig. 73. Tableau de décomptes de l'industrie du niveau moustérien inférieur .....	108
Fig. 74. Niveau moustérien inférieur. Planche de l'industrie lithique .....	110
Fig. 75. Niveau moustérien inférieur. Planche de l'industrie lithique .....	111
Fig. 76. Tableau de décomptes de l'industrie du niveau moustérien supérieur .....	112
Fig. 77. Niveau moustérien supérieur. Planche de l'industrie lithique .....	114
Fig. 78. Niveau moustérien supérieur. Planche de l'industrie lithique .....	115
Fig. 79. Niveau moustérien supérieur. Planches de l'industrie lithique .....	116 et 117
Fig. 80. Tableau de décomptes de l'industrie du niveau moustérien remanié .....	119
Fig. 81. Niveau moustérien supérieur. Planche de l'industrie lithique .....	120
Fig. 82. Tableau de décomptes de l'industrie du niveau moustérien totalement remanié .....	121
Fig. 83. Niveau moustérien totalement remanié. Planche de l'industrie lithique .....	124 et 125
Fig. 84. Répartition et densité de l'industrie lithique du gisement magdalénien .....	131
Fig. 85. Vue de la coupe 74 .....	131
Fig. 86. Coupe 78 avec projection de l'industrie lithique .....	132
Fig. 87. Projection de l'industrie lithique en travers des amas de débitage des locus 1 et 2 .....	133
Fig. 88. Répartition et densité de l'industrie lithique en fonction des types de matières .....	134
Fig. 89. Répartition des principales catégories d'outils en fonction des types de matières premières .....	134
Fig. 90. Répartition spatiale des remontages entre produits de débitage et nucléus .....	135
Fig. 91. Répartition spatiale des remontages des produits de débitage entre eux .....	135
Fig. 92. Répartition des galets au sein de la concentration des produits de débitage en silex du locus 1 .....	136
Fig. 93. Gisement magdalénien. Décompte des types d'artefacts par types de silex .....	137
Fig. 94. Carte de provenance des types de silex et des galets utilisés dans le Magdalénien de Noir Bois .....	138
Fig. 95. Comparaison ou présence/absence des matières premières d'Alle, Noir Bois et d'autres sites suisses .....	139
Fig. 96. Vue des 22 galets découverts parmi l'industrie lithique du locus 1 .....	139
Fig. 97. Décompte de l'outillage en fonction des types de silex .....	140
Fig. 98. Industrie magdalénienne. Planches .....	142 et 143
Fig. 99. Tableau de décompte des types de produits de débitage .....	145
Fig. 100. Planche de remontages .....	146
Fig. 101. Planche de remontages .....	147
Fig. 102. Planche de remontages .....	148
Fig. 103. Reconstitution hypothétique de la halte magdalénienne .....	153
Fig. 104. Tableau de synthèse .....	159



**CRÉDIT ICONOGRAPHIQUE**

**Photographies:** Piernicola Federici, Michel Guélat (chapitre 5), Bernard Migy, Thierry Rebmann (fig. 8).

**Planches de mobilier:** Monique Baldassi Etienne.

**Tableaux, figures et cartes:** Marie-Claude Maître-Farine, Line Petignat Häni.

**Dépôt du mobilier et de la documentation:**

Section d'archéologie de l'Office du patrimoine historique, Porrentruy.

**Adresses des auteurs:**

Denis Aubry, Jean Detrey, Michel Guélat, Blaise Othenin-Girard  
Office du patrimoine historique, Section d'archéologie  
Case postale 64  
CH-2900 Porrentruy 2

Thierry Adatte  
Institut de Géologie, Université de Neuchâtel  
11, Emile Argand  
CH-2007 Neuchâtel

Jehanne Affolter  
Service cantonal d'Archéologie  
Avenue DuPeyrou 7  
CH-2000 Neuchâtel  
et Laboratoire de Préhistoire et Paléoécologie du Quaternaire de l'EPHE, Dijon

Louis Chaix  
Muséum d'Histoire Naturelle  
1, rte de Malagnou  
CH-1208 Genève

Claude Guérin  
UMR 5565 Centre de Paléontologie, Université Claude Bernard,  
27-43 Bd du 11 Novembre 1918  
FR- 69622 Villeurbanne Cédex

Thierry Rebmann  
Seminar für Urgeschichte Basel, Geoarchäologie  
Petersgraben 9-11, CH- 4051 Basel  
et Institut de Géologie de Strasbourg, Paléontologie et lithothèque, 1 rue Blessig, FR-67084 Strasbourg

Nigel Thew  
Service cantonal d'archéologie  
59, av. du Mail  
CH-2000 Neuchâtel

Ludwig Zöller  
Geographisches Institut der Universität Bonn  
Meckenheimer Allee 166  
DE-53113 Bonn



*(Note: The following table represents the extremely faint and illegible content of the page, which appears to be a list of items or a table of contents. The text is mirrored and difficult to decipher.)*

101	...	...
102	...	...
103	...	...
104	...	...
105	...	...
106	...	...
107	...	...
108	...	...
109	...	...
110	...	...
111	...	...
112	...	...
113	...	...
114	...	...
115	...	...
116	...	...
117	...	...
118	...	...
119	...	...
120	...	...
121	...	...
122	...	...
123	...	...
124	...	...
125	...	...
126	...	...
127	...	...
128	...	...
129	...	...
130	...	...
131	...	...
132	...	...
133	...	...
134	...	...
135	...	...
136	...	...
137	...	...
138	...	...
139	...	...
140	...	...
141	...	...
142	...	...
143	...	...
144	...	...
145	...	...
146	...	...
147	...	...
148	...	...
149	...	...
150	...	...
151	...	...
152	...	...
153	...	...
154	...	...
155	...	...
156	...	...
157	...	...
158	...	...
159	...	...
160	...	...
161	...	...
162	...	...
163	...	...
164	...	...
165	...	...
166	...	...
167	...	...
168	...	...
169	...	...
170	...	...
171	...	...
172	...	...
173	...	...
174	...	...
175	...	...
176	...	...
177	...	...
178	...	...
179	...	...
180	...	...
181	...	...
182	...	...
183	...	...
184	...	...
185	...	...
186	...	...
187	...	...
188	...	...
189	...	...
190	...	...
191	...	...
192	...	...
193	...	...
194	...	...
195	...	...
196	...	...
197	...	...
198	...	...
199	...	...
200	...	...



## L'ÉTABLISSEMENT GALLO-ROMAIN DE BOÉCOURT, LES MONTOYES

Olivier Paccolat et al.

Cet ouvrage résume les 2 siècles d'histoire d'un établissement rural qui a été fouillé de 1988 à 1990. Du milieu du I<sup>er</sup> siècle après J.-C. au milieu du III<sup>e</sup> siècle, une ferme de tradition gauloise et une villa de conception romaine vont se succéder. De multiples fossés, une enceinte en maçonnerie, deux bâtiments principaux, une cabane, un parc à bestiaux et de nombreuses fosses constituent les aménagements les plus caractéristiques. La description détaillée de ces vestiges archéologiques permet de bien comprendre l'évolution de cet habitat. L'analyse du mobilier céramique confirme le caractère indigène des habitants. Enfin, une étude alliant la dendrochronologie, la géologie, l'ostéologie et la palynologie permet d'esquisser l'environnement et l'économie de cette exploitation agricole.

## L'ABRI-SOUS-ROCHE MÉSOLITHIQUE DES GRIPONS À SAINT-URSANNE

Nicole Pousaz et al.

Situé à peu de distance du Doubs, ce site a livré principalement les traces de deux occupations de l'époque mésolithique, l'une à la phase ancienne, l'autre, récente. La première, la plus riche, a vu l'installation d'un petit groupe humain pendant quelques semaines autour d'un foyer principal. On y travailla des peaux, on y tailla des microlithes, on y mangea les produits de la chasse et de la pêche, entouré d'un paysage à couverture forestière où le noisetier, le tilleul et l'orme l'emportent encore sur d'autres essences qui apparaissent peu à peu et sur le pin localement bien présent. Mollusques, charbons de bois et sédiments retracent l'évolution du site, alors que la pétrographie et la tracéologie du silex, ainsi que les ossements permettent d'aborder quelques aspects de l'économie des dernières populations de chasseurs-pêcheurs-cueilleurs. L'étude classique du silex montre l'importance du microlithisme sur ce site, actuellement seul témoignage connu de cette époque reculée dans le Canton du Jura.

## LES BAS FOURNEAUX MÉROVINGIENS DE BOÉCOURT, LES BOULIES

Ludwig Eschenlohr et Vincent Serneels

Cet ouvrage présente les différentes recherches – archéologique, archéométrique et géologique – menées sur un site minier et un atelier métallurgique, dans un territoire qui fut étudié au XIX<sup>e</sup> siècle par A. Quiquerez. On peut suivre la chaîne du travail du minerai de fer, avec les affleurements, les vestiges de son traitement – lavage, stockage et grillage – et les installations de production du fer. L'étude des deux bas fourneaux sur l'atelier renouvelle les connaissances : grâce à une dernière coulée de scories trouvée in situ, restaurée et analysée, il a été possible, pour la première fois dans l'histoire de la recherche, d'estimer la production de fer par opération de réduction, le nombre de ces dernières, de même que la durée du fonctionnement de l'atelier. Les reconstitutions des tuyères éclairent d'une lumière nouvelle l'emploi de la soufflerie. Enfin, les charbons de bois et les pollens démontrent un choix du bois lors du charbonnage.

## ARCHIVES PALUSTRES ET VESTIGES DE L'ÂGE DU BRONZE ENTRE GLOVELIER ET BOÉCOURT

Michel Guélat et Anne-Marie Rachoud-Schneider, Ludwig Eschenlohr et Patrick Paupe

Ce cahier, constitué de 2 parties distinctes, trouve son unité dans les lieux et les gisements étudiés. Les premiers chapitres regroupent les analyses sédimentologiques et palynologiques. Celles-ci permettent une reconstitution de l'environnement depuis la fin des temps glaciaires jusqu'au XX<sup>e</sup> siècle en abordant l'effet des impacts humains sur le milieu et en passant par une approche du paléoenvironnement des deux habitats présentés dans la seconde partie. L'étude de ces deux gisements de l'Age du Bronze final met à la disposition des chercheurs des données descriptives surtout céramologiques. Le site des Montoyes, légèrement en hauteur sur une terrasse, a permis de mettre au jour un ensemble de fosses et trous de poteau dont certains matérialisent des constructions quadrangulaires. Le site des Viviers se distingue du précédent par l'abondance du mobilier archéologique lié à l'agriculture et à l'artisanat. La comparaison entre les deux habitats, dont l'occupation a été de courte durée, suggère une succession ou une coexistence avec une seule phase d'activité pour chacun d'eux.

### L'ÉTABLISSEMENT GALLO-ROMAIN DE BOÉCOURT, LES MONTOYES (JU)

Olivier Paccolat



Cahier d'Archéologie jurassienne 1

### L'ABRI-SOUS-ROCHE MÉSOLITHIQUE DES GRIPONS À SAINT-URSANNE (JU, SUISSE)

Nicole Pousaz et al.



Cahier d'Archéologie jurassienne 2

### LES BAS FOURNEAUX MÉROVINGIENS DE BOÉCOURT, LES BOULIES (JU, SUISSE)

Ludwig Eschenlohr et Vincent Serneels



Cahier d'Archéologie jurassienne 3

### ARCHIVES PALUSTRES ET VESTIGES DE L'ÂGE DU BRONZE ENTRE GLOVELIER ET BOÉCOURT (JU, SUISSE)

Michel Guélat et Anne-Marie Rachoud-Schneider  
Ludwig Eschenlohr et Patrick Paupe



Cahier d'Archéologie jurassienne 4



**SITES PROTOHISTORIQUES À COURFAIVRE ET  
ÂGE DU BRONZE DANS LE JURA**

Nicole Pousaz, Pascal Taillard, Maruska Schenardi et al.



Cahier d'archéologie jurassienne 5

## SITES PROTOHISTORIQUES À COURFAIVRE ET AGE DU BRONZE DANS LE JURA

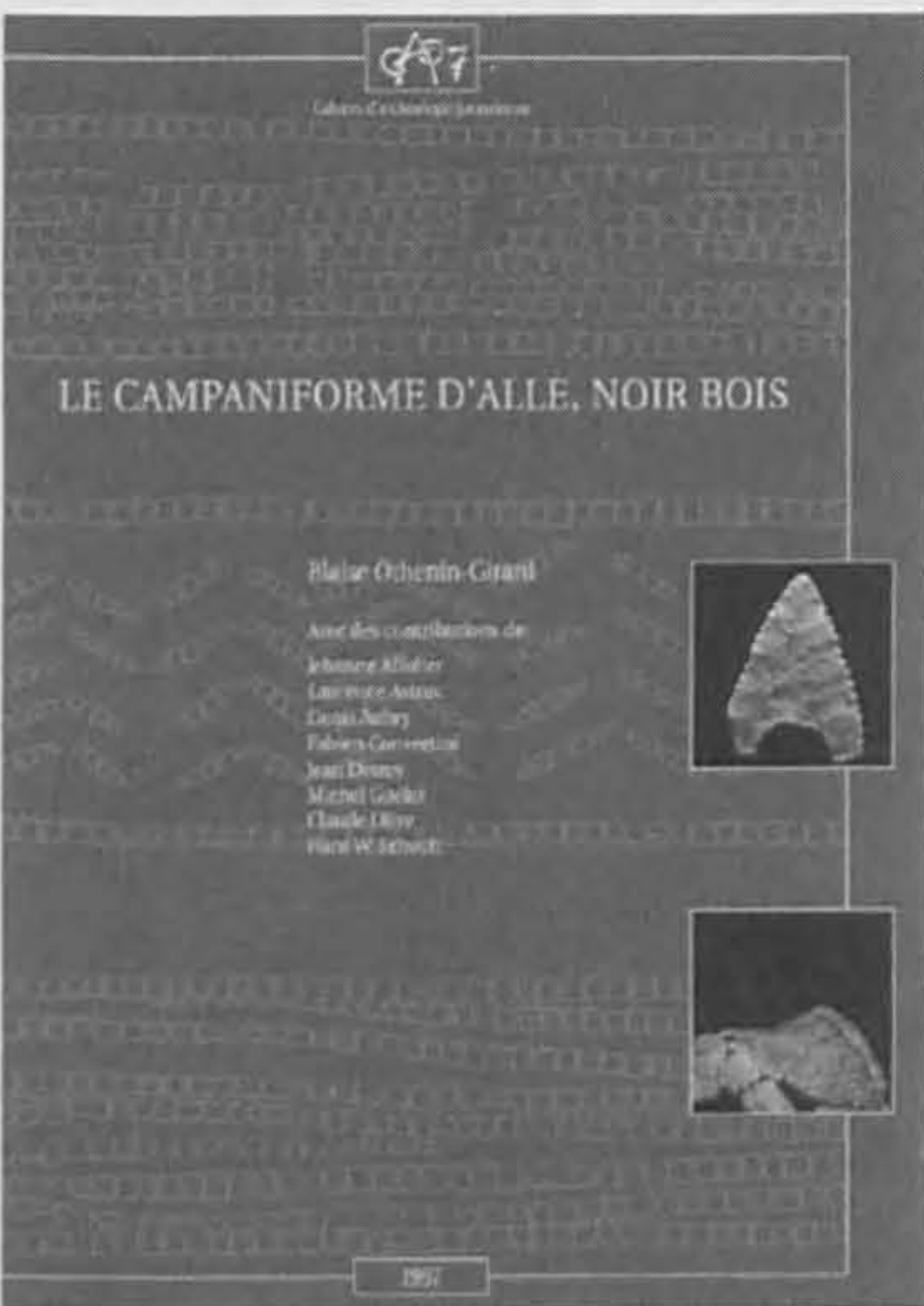
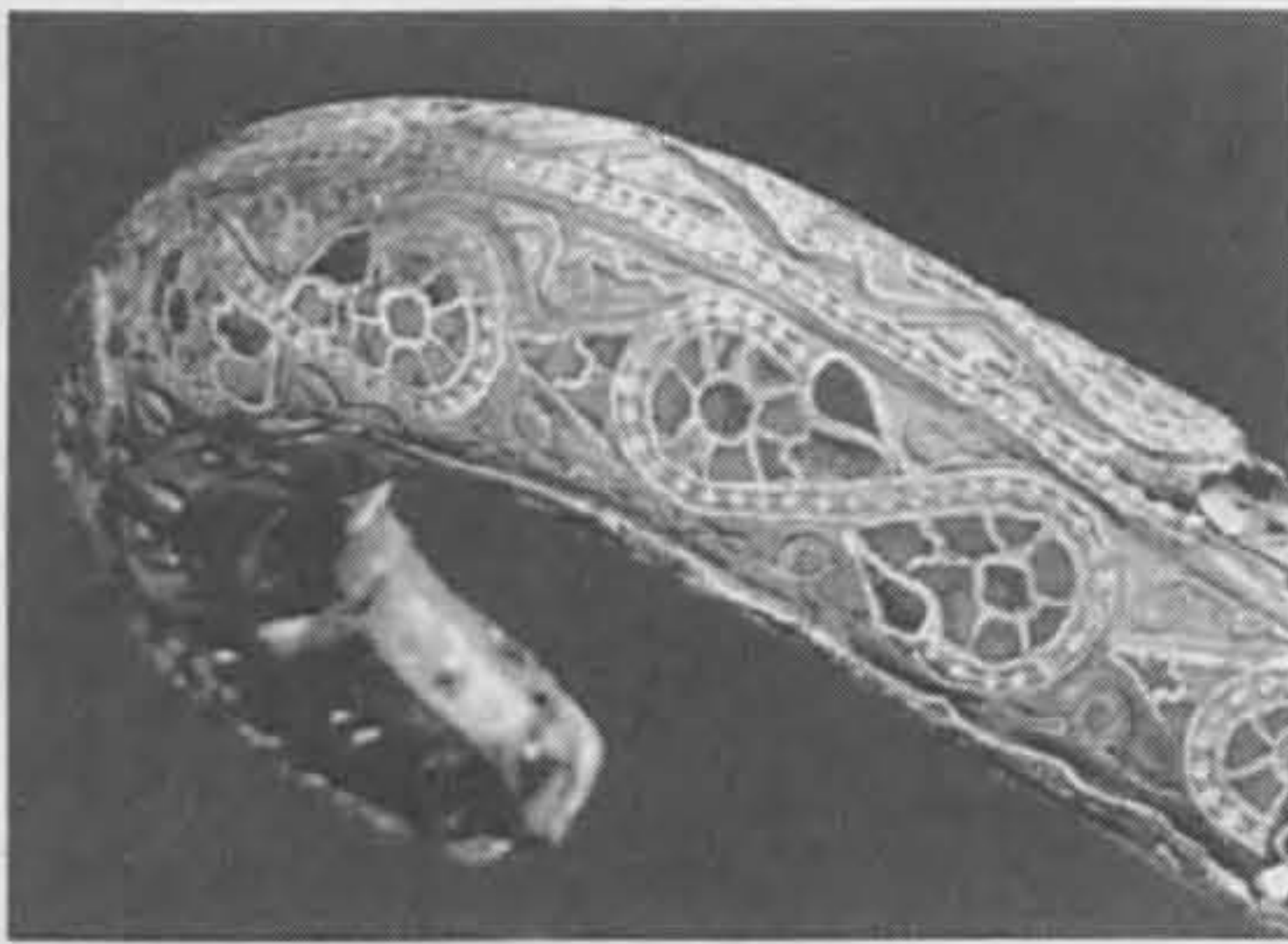
Nicole Pousaz, Pascal Taillard, Maruska Schenardi et al.

Le 5<sup>e</sup> cahier traite principalement de données sur l'Age du Bronze. En ce sens, il peut être considéré comme la suite du volume 4. La première partie est consacrée au site de Courfaivre, Les Esserts. Après un bref historique sur les fouilles de 1992, le milieu géomorphologique et sédimentaire est analysé ; deux gisements ont été découverts dans ce vallon ; celui de l'Est présente un ensemble de poteries de l'Age du Bronze final provenant d'un habitat aux structures discrètes ; celui de l'Ouest a livré un ensemble daté de la fin de l'Age du Fer et de l'Époque gallo-romaine. La seconde partie de l'ouvrage est un essai de synthèse sur l'Age du Bronze dans le canton du Jura. Un catalogue des sites et des trouvailles, anciennes et récentes, permet d'esquisser l'histoire du peuplement de la région entre 2300 et 800 av. J.-C. Un important mobilier céramique et métallique, en partie méconnu, est ainsi rassemblé pour la première fois en une synthèse indispensable à toute personne curieuse des Ages des métaux.

## LA CROSSE MÉROVINGIENNE DE ST GERMAIN PREMIER ABBÉ DE MOUTIER-GRANDVAL

Sarah Stékoffer

Le 6<sup>e</sup> cahier de cette collection sort de la ligne donnée par les volumes précédents, dans la mesure où il tient davantage de l'histoire et de l'histoire de l'art que de l'archéologie. L'ouvrage traite d'un sujet unique, la crosse de st Germain de Trèves, premier abbé de Moutier-Grandval. En tant que remarquable illustration de l'orfèvrerie mérovingienne et rare témoin du christianisme au Haut Moyen Age dans le Jura, cette crosse mérite une étude complète. L'ouvrage la situe d'abord dans le vaste ensemble des crosses épiscopales et abbatiales du Moyen Age. Après une approche historique et politique du VII<sup>e</sup> siècle, l'objet est examiné sous les aspects techniques, stylistiques et iconographiques. Appuyés par des analyses scientifiques, ces différents examens aboutissent à une datation de la crosse, en tenant compte de ses phases d'exécution successives, ainsi qu'à une hypothèse sur son origine. L'ouvrage se veut donc non seulement une synthèse des données rassemblées sur la crosse de st Germain, mais propose également un passionnant voyage dans une époque encore mal connue.



## LE CAMPANIFORME D'ALLE, NOIR BOIS

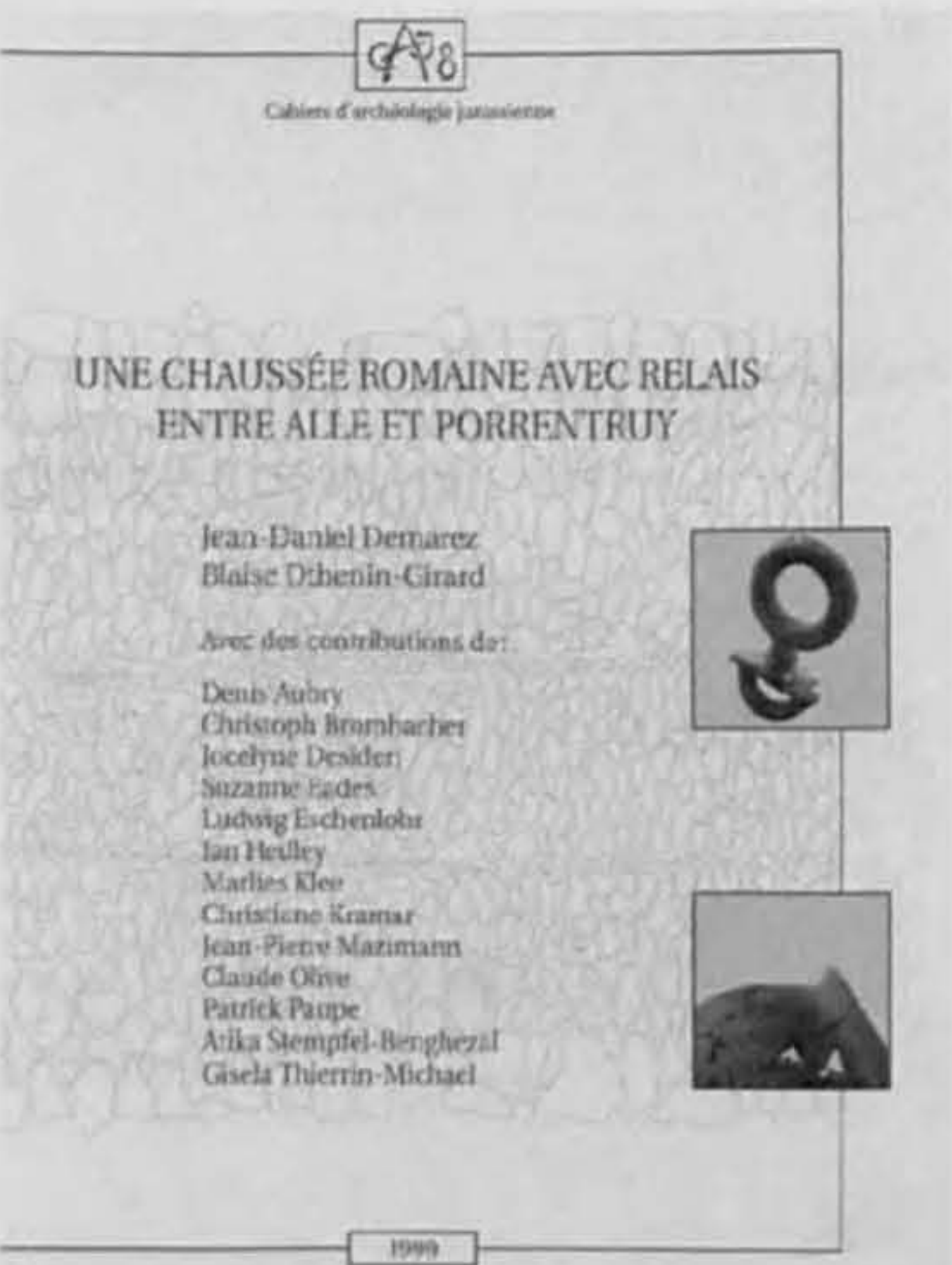
Blaise Othenin-Girard et al.

Inaugurant la série des études consacrées au vaste site d'Alle, Noir Bois, ce travail présente une approche de la vie et des gestes quotidiens des agriculteurs de la culture campaniforme installés au pied nord de la chaîne jurassienne, à l'extrême fin du Néolithique, il y a quelque 4300 ans. Le riche mobilier céramique et en silex a permis de cerner plusieurs aspects de l'économie de l'époque : exploitation des ressources locales (tant argileuses que lithiques), avec importation de quelques objets de zones d'échanges localisées principalement en bordure du Rhin. Par sa rareté et l'abondance de ses vestiges, ce site d'habitat exceptionnel permet d'apporter, à partir de faits matériels, des confirmations de certaines hypothèses théoriques émises depuis plusieurs années sur cette culture.

## UNE CHAUSSÉE ROMAINE AVEC RELAIS ENTRE ALLE ET PORRENTRUUY

Jean-Daniel Demarez, Blaise Othenin-Girard et al.

Deuxième publication consacrée au vaste site d'Alle, Noir Bois, cet ouvrage présente une étude novatrice d'une importante route du franchissement de la chaîne jurassienne, fouillée sur plus d'un kilomètre entre 1990 et 1995. L'approche technique de sa structure permet de réfuter de vieilles théories sur le mode de construction des voies romaines. La présence d'un relais, occupé d'Auguste à Vespasien, souligne l'importance stratégique de cette chaussée au I<sup>er</sup> siècle. D'autres structures ont un lien direct avec la route, tels un bâtiment en bois du Bas Empire situé dans l'emprise publique, et deux petites voies en rapport avec un établissement agricole tout proche. Les problèmes d'infrastructure routière et le mode de financement des voies sont également abordés. Un riche catalogue (plus de 550 objets) illustre une production céramique inédite pour la région, de nombreux objets métalliques liés au transport et plus de 50 monnaies gauloises et romaines. L'insertion de la route dans le réseau régional des voies de communication amène les auteurs à proposer un nouveau tracé pour la traversée du Jura. L'une des rares monographies entièrement conçues autour d'une chaussée, qui intéressera tant les spécialistes que les amateurs d'histoire régionale.

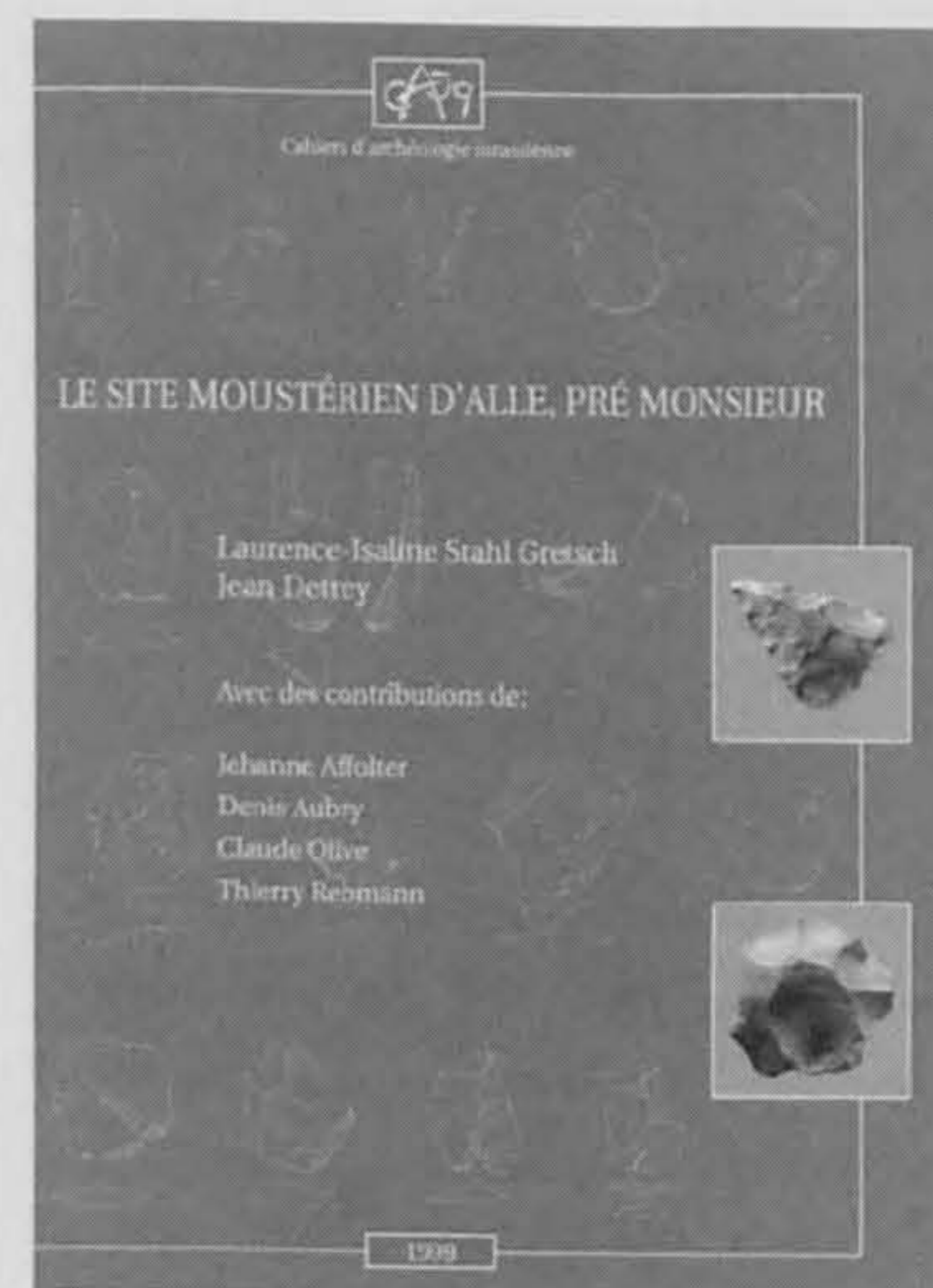




## LE SITE MOUSTÉRIEN D'ALLE, PRÉ MONSIEUR

Laurence-Isaline Stahl Gretschi, Jean Detrey et al.

Le gisement moustérien d'Alle, Pré Monsieur est l'un des trois sites de plein air du Paléolithique moyen de Suisse. Situé en bas de pente et en bordure d'une rivière, il s'est mis en place en plusieurs phases successives, par glissement dans la pente. Le contenu de sa douzaine de couches garde pourtant la marque d'une ancienne organisation. Aucune date absolue n'a malheureusement pu être obtenue, mais les analyses sédimentologiques, géochimiques et typologiques permettent de donner une chronologie relative de ces dépôts et placent les occupations entre 110 000 et 70 000 avant J.-C. Bien qu'étant caractérisé par l'exploitation du silex local, on y a retrouvé un lot de pièces exogènes, dont la provenance dessine des liens avec l'Arc jurassien et les Vosges. Les industries trouvées dans ces couches sont attribuées au Moustérien typique riche en racloirs et en encoches. On peut pourtant y distinguer deux, voire trois, ensembles d'après la composition de l'outillage et les proportions de différents modes de débitage (séquence de production multiple comme le Levallois et séquence de production unique comme le débitage unifacial). Des évolutions typologiques laissent penser qu'on a là les traces de nombreux passages de différents groupes humains culturellement proches. Quelques objets plus récents, dont un petit ensemble La Tène finale, complètent la présentation du site.



## GUIDE ARCHÉOLOGIQUE DU JURA ET DU JURA BERNOIS

Ce guide archéologique est une œuvre collective de membres du comité du Cercle d'Archéologie de la Société jurassienne d'Émulation. Il met en valeur 68 sites, de Milandre à l'Île Saint-Pierre, ayant livré des témoignages de notre passé, du Moustérien au XVIII<sup>e</sup> s. L'ouvrage, après une notice introductive, traite les sites les uns après les autres dans l'ordre alphabétique des Communes. Après quelques indications topographiques et bibliographiques, un texte succinct fournit les principales caractéristiques archéologiques des lieux choisis dans un langage accessible à chacun. Une riche iconographie, dont plus de la moitié est en couleur, agrmente la lecture, tout en fournissant une documentation complémentaire. Un glossaire, une carte de situation des endroits décrits, un tableau chronologique et des répertoires complètent cet ouvrage et en font un instrument de travail ou de référence, une invitation à la ballade et à la (re)découverte d'un passé pluri-millénaire où nos plus lointains ancêtres parcouraient la région à la recherche de leurs besoins alimentaires et en matériaux divers ou empruntaient les premières voies reliant nos vallées jurassiennes. Depuis 1876, date à laquelle Auguste Quiquerez dressa l'inventaire des sites archéologiques jurassiens, aucun ouvrage n'a tenté de présenter un vaste panorama du patrimoine archéologique régional. Cette lacune est enfin comblée avec la parution d'un livre qui se veut avant tout «grand public».



Pour toute commande, voir page 2: édition et diffusion.

### A paraître (titres provisoires):

- CAJ 11 Alle, Noir Bois, un habitat La Tène ancienne
- CAJ 12 Recherches archéologiques sur le district sidérurgique du Jura central suisse
- CAJ 13-17 L'habitat rural mérovingien de Develier-Courtételle
13. Les structures
  14. La métallurgie du fer et le mobilier métallique
  15. La céramique, la pierre, le verre et l'os travaillé
  16. L'environnement naturel et anthropique
  17. Etude spatiale et synthèse générale



Achevé d'imprimer le 11 décembre 2000  
sous les presses de l'Imprimerie du Pays,  
à Porrentruy,  
sur papier Biber Allegro couché brillant 135 grammes.