

Le contexte géologique

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Cahiers d'archéologie romande**

Band (Jahr): **177 (2019)**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDES ENVIRONNEMENTALES

4. LE CONTEXTE GÉOLOGIQUE

par Michel Guélat avec une contribution de François Girod

4.1 INTRODUCTION

4.1.1 PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS

L'étude géologique du site du Mormont comprend deux aspects distincts qui ont été menés en parallèle. L'évolution paléoenvironnementale du site constitue le premier volet de la problématique, traitée dans ce chapitre. Cette approche passe par la définition préalable du cadre géologique général, y compris le découpage morphosédimentaire du site. La reconnaissance des dépôts du Quaternaire et de leur stratigraphie constitue sa base de réflexion et inclut de ce fait la totalité de la zone explorée jusqu'en 2012 y compris, à la différence de l'étude des structures ne couvrant que les découvertes faites avant cette même année. Le second volet consiste en l'analyse géoarchéologique du remplissage de plusieurs fosses. Placé dans la troisième partie de l'ouvrage, sous le chapitre 10, il concerne plus spécifiquement l'occupation humaine.

4.1.2 LES TRAVAUX RÉALISÉS

Le suivi géologique du site du Mormont n'a débuté qu'en 2008 par l'expertise de coupes dégagées à travers la zone C, alors que la zone B, déjà excavée, n'était plus visible et que seul le fond de quelques fosses de la zone A étaient encore en cours de fouille. Par conséquent, les approches de ces deux dernières zones se basent sur la documentation de terrain établie en 2006-2007 par les archéologues Claudia Nițu et Eduard Dietrich.

Lors de chaque campagne de fouilles, la documentation des dépôts quaternaires s'est ensuite poursuivie dans les zones C et D, conjointement à l'observation

de remplissages de fosses. En 2009 et 2011, suite à une reconnaissance essentiellement planimétrique des structures archéologiques, seuls quelques diagnostics de terrain furent effectués. La campagne de 2010 s'avéra plus fructueuse, puisque des profils complets, allant des formations glaciaires jusqu'à la terre végétale, ont pu être relevés grâce à des « témoins » stratigraphiques préservés à cet effet. Enfin, en 2012, des tranchées ont été ouvertes à travers toute la partie nord du site, ce qui a permis une visualisation en continu des dépôts superficiels, encore manquante jusque-là. Bien que les structures découvertes dans cette bande nord soient absentes de ce volume, les observations géologiques réalisées dans ces tranchées sont intégrées à l'étude.

4.1.3 LES TECHNIQUES D'ANALYSE

GRANULOMÉTRIE

Cette analyse a été effectuée au Laboratoire de l'IPNA⁷⁶. Les fractions graveleuses des échantillons (>2 mm) ont été mesurées par tamisage à sec. Les fractions sableuses (de 63 µm à 2 mm) ont subi un tamisage humide sur colonne vibrante, selon le procédé classique. Quant à la fraction silto-argileuse (<63 µm), elle a été analysée à l'aide d'un granulomètre à laser⁷⁷. Le traitement informatique des résultats bruts a été effectué grâce à

⁷⁶ *Integrative Prähistorische und Naturwissenschaftliche Archäologie, Universität Basel*. Les analyses sédimentologiques et la préparation des échantillons micromorphologiques ont été exécutées par Béatrix Ritter, laborante, sous la direction de Philippe Rentzel, responsable de la Géoarchéologie. Qu'ils soient ici vivement remerciés.

⁷⁷ Appareillage de type Malvern Mastersizer MS20 qui, précisons-le, ne permet pas d'analyser les fractions sableuses supérieures à 1 mm.

une application du logiciel Excel. La construction de la courbe granulométrique s'effectue par calcul proportionnel, soit, pour chaque fraction, un rapport au poids total de l'échantillon analysé⁷⁸. Ce logiciel permet entre autres de calculer différents indices, dont le coefficient de classement S_o et celui d'asymétrie Sk ⁷⁹. De plus, il peut exécuter des requêtes selon différents critères pour sélectionner des groupes d'échantillons.

GÉOCHIMIE

Des tests géochimiques ont été réalisés au Laboratoire de l'IPNA sur les mêmes échantillons que la granulométrie, plus précisément sur leur fraction <0.5 mm. Il s'agit de:

- la teneur en carbonates, mesurée à l'aide d'un calcimètre de Müller (exprimée en %);
- le contenu en matière organique par perte au feu (en %), résultant d'une combustion au four à 1000°C avec correction du carbone lié aux carbonates; la teneur totale en phosphates obtenue par colorimétrie (en unités colorimétriques, ou u.c.): cette méthode étant semi-quantitative, les résultats obtenus sont à considérer non pas en valeur absolue, mais selon l'écart relatif entre les différents échantillons;
- les valeurs de matière organique fine («humus»), également par méthode colorimétrique (en u.c.);
- le pH, mesuré sur une solution de chlorure de potassium (pH KCl).

MICROMORPHOLOGIE

Cette technique consiste en un examen microscopique de sédiments meubles, préalablement indurés. Pratiquement,

⁷⁸ Les résultats du granulomètre laser sont exprimés en % volumiques et peuvent de ce fait différer de ceux issus d'une méthode pondérale. Une série de tests a en effet montré que la teneur en argiles (<2 microns) a tendance à être sous-estimée par la mesure au laser, en particulier pour les échantillons riches en particules fines.

⁷⁹ Indices calculés: la médiane M_d à 50%, les quartiles à 25% (Q_1) et 75% (Q_3), ainsi que le centile à 99% (C); à partir de ceux-ci sont tirés les Paramètres de Trask:

- a) Indice de classement $S_o = (Q_3/Q_1)^{1/2}$:
 $S_o < 2.5$: sédiment très bien classé;
 $2.5 < S_o < 3.5$: sédiment bien classé;
 $3.5 < S_o < 4.5$: sédiment normalement classé;
 $S_o > 4.5$: sédiment mal classé.
- b) Coefficient d'asymétrie $Sk = Q_3 \times Q_1 / M_d^2$:
 $Sk = 1$: symétrie parfaite;
 $Sk > 1$: meilleur classement côté éléments fins;
 $Sk < 1$: meilleur classement côté éléments grossiers.

sur le terrain, des blocs de sédiments orientés et non perturbés sont prélevés à l'aide de bande plâtrée dans les couches à analyser. Le traitement en laboratoire consiste tout d'abord en un séchage à l'étuve, puis en une induration sous vide à l'aide de résine époxyde liquide. Après polymérisation, le bloc induré est débité en plaques d'environ 1 cm d'épaisseur à l'aide d'une scie diamantée. À partir de ces tranches polies, des talons sont découpés pour la fabrication des lames minces. Puis, celles-ci ont été examinées grâce à l'utilisation conjointe d'une loupe binoculaire et d'un microscope polarisant à grossissement maximal de 630x⁸⁰. Les descriptions ont été effectuées selon les protocoles préconisés par Bullock *et al.* (1985), Courty *et al.* (1989) et Goldberg et Macphail (2006).

4.2. LE CADRE GÉNÉRAL par François Girod

La colline du Mormont dans laquelle s'étend la carrière représente un important promontoire rocheux qui s'élève au milieu du plateau vaudois. Il s'agit en fait d'une «anomalie» géologique de type «horst», puisque l'on retrouve à cet endroit des roches calcaires du Crétacé inférieur d'origine marine, datées entre environ 135 et 100 millions d'années, similaires à celles rencontrés dans la chaîne du Jura. Le rôle de calcaire du Mormont est d'ailleurs relié à la chaîne principale jurassienne, à l'ouest de La Sarraz.

Au début du Cénozoïque, il a environ 65 millions d'années, les roches calcaires ont été exondées et soumises aux processus de l'érosion et de la karstification. Des cavités et crevasses de dissolution se sont formées, dans lesquelles se sont déposées des argiles rougeâtres, oxydées, appelées dépôts «sidérolithiques», riches en fer.

La colline du Mormont est entourée de Molasse, succession de couches sédimentaires marno-gréseuses détritiques plus récentes, datées du tertiaire, accumulées au pied des Alpes au moment de l'élévation de la chaîne montagneuse elle-même soumise aux actions de l'érosion.

Les roches ont ensuite été plissées et faillées lors du plissement de la chaîne du Jura qui a débuté il y a environ 35 millions d'années dû à la poussée continue de la chaîne alpine (mouvement de la plaque européenne sous la plaque africaine). Les couches constituent un pli de type anticlinal évasé, peu prononcé, d'axe d'orientation est-ouest, avec des strates montrant un plongement faible de 10 à 20° maximum, vers le nord ou le sud. Le massif calcaire du Mormont est passablement fracturé. Il est parcouru par des accidents majeurs qui se présentent

⁸⁰ Microscope de type Leica DMEP.

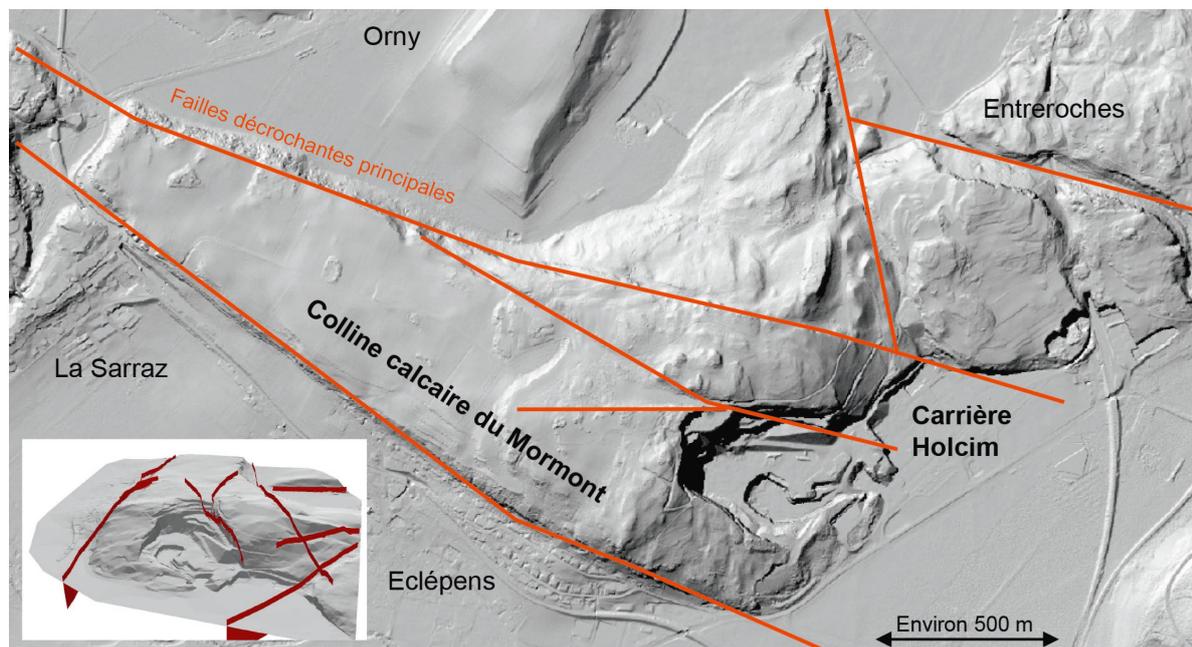


Fig. 151. Situation générale et vue 3D de la colline du Mormont, avec mise en évidence des principales failles. (extrait de la carte ombragée du site internet Geoplanet du canton de Vaud).

sous forme de failles subverticales, transverses («décochantes», fig. 151 et 153).

Ces zones de faiblesse sont localement à l'origine de la formation de gorges d'érosion glaciaire, comme celle bien connue d'Entreroches. Cette dernière a largement été retravaillée lors des différentes phases de glaciation, puis comblée par des dépôts glaciaires d'âge quaternaire, sous l'action de l'avancement et du retrait du glacier du Rhône.

L'une des particularités du Mormont est liée au fait que la colline marque la séparation des bassins hydrographiques du Rhône et du Rhin. Autrement-dit, une goutte d'eau tombant d'un côté ou de l'autre du Mormont aboutira soit à la mer Méditerranée soit à la mer du Nord.

4.2.1 LA CARRIÈRE HOLCIM

L'exploitation des calcaires dans la carrière se fait principalement dans quatre formations géologiques rocheuses appartenant au Barrémien inférieur et à l'Hauterivien, soit du haut vers le bas (fig. 152, 155 et 156) :

- Urgonien Blanc; calcaires oolithiques et bioclastique (fragments fossiles de coquilles d'organisme marins), massifs, très durs, d'excellente qualité pour l'exploitation, de teinte blanc, beige.

- Urgonien Jaune; calcaires oolithiques, jaunes, durs, comprenant des «interlits» marneux plus tendres et des niveaux de calcaires biodétritiques en grumeaux, de teinte grise.
- Pierre Jaune de Neuchâtel Supérieure; calcaires oolithiques, bioclastiques, durs, de teinte jaune, gris-ocre, avec de la glauconie (minéral authigène de couleur verte, riche en silice, potasse et fer, fig. 154).
- Pierre Jaune de Neuchâtel Inférieure; calcaires marneux gris, plus tendres, de moins bonne qualité pour l'exploitation car trop pauvres en CaO (trop argileux) et riches en soufre pyritique, ces deux raisons expliquent qu'un mélange est indispensable avec de l'Urgonien pour son exploitation partielle.

Le ciment produit par Holcim comprend un mélange des matériaux de ces quatre principales formations possédant une définition chimique propre, ce qui explique le mode d'exploitation du site en plusieurs fronts d'attaques étagés. La formation à la base de la carrière «Pierre Jaune de Neuchâtel Inférieure» est moins bonne car pas assez riche en chaux du fait de sa nature trop argileuse et trop riche en soufre pyritique; ces deux raisons expliquent qu'un mélange est indispensable.

En plus des contraintes géochimiques évoquées ci-dessus, des contraintes géotechniques sont imposées



Fig. 152. Vue de la colline et de la carrière du Mormont, ainsi que des principales couches calcaires exploitées, état 2012.

pour la stabilité des versants et la sécurité de l'exploitation. Ceci est dû au fait que le massif est intensément fracturé. Il est donc délicat de suivre une limite d'exploitation sans garder une réserve pour la stabilité. Ces contraintes étaient mal connues lors de la définition des limites du premier permis d'exploitation.

Les eaux souterraines sous la colline du Mormont se répartissent en deux aquifères, supérieur et inférieur, avec des communications entre eux à la faveur de fissures et de fractures.

Le premier aquifère est formé par les calcaires fracturés, karstifiés et perméables de l'Urgonien Blanc et Jaune. Ces derniers sont le siège d'une petite nappe d'eau souterraine perchée dont l'extension en profondeur est limitée par des couches peu perméables de l'Urgonien Jaune. Cette nappe est alimentée par l'infiltration des eaux météoriques locales.

Le deuxième aquifère est constitué par des calcaires fracturés, karstifiés, perméables de la Pierre Jaune de Neuchâtel. Il constitue l'aquifère principal du massif du Mormont et contient d'importantes ressources régionales en eaux souterraines. Son extension en profondeur est limitée par les marnes grises, très peu perméables, de l'Hauterivien Inférieur. L'alimentation de ce réservoir est très probablement assurée, d'une part par les eaux de percolation de l'aquifère supérieur qui transitent à travers les couches de calcaires marneux peu perméables de l'Urgonien Jaune et, d'autre part, par des circulations souterraines régionales liées aux aquifères karstiques jurassiens, situés en amont (au nord-ouest du Mormont). L'écoulement général des eaux souterraines se réalise vraisemblablement de manière rayonnante, soit en direction des vallons du Nozon et de la Venoge, où sont alimentées les alluvions graveleuses aquifères des plaines de la Venoge et de l'Orbe.



Fig. 153. Vue d'une discontinuité géologique régionale avec miroir de faille et stries (témoins de mouvements).



Fig. 154. Limite stratigraphique entre la Pierre jaune de Neuchâtel supérieure et inférieure mise en évidence par le niveau décimétrique des marnes des Uttins (en brun).

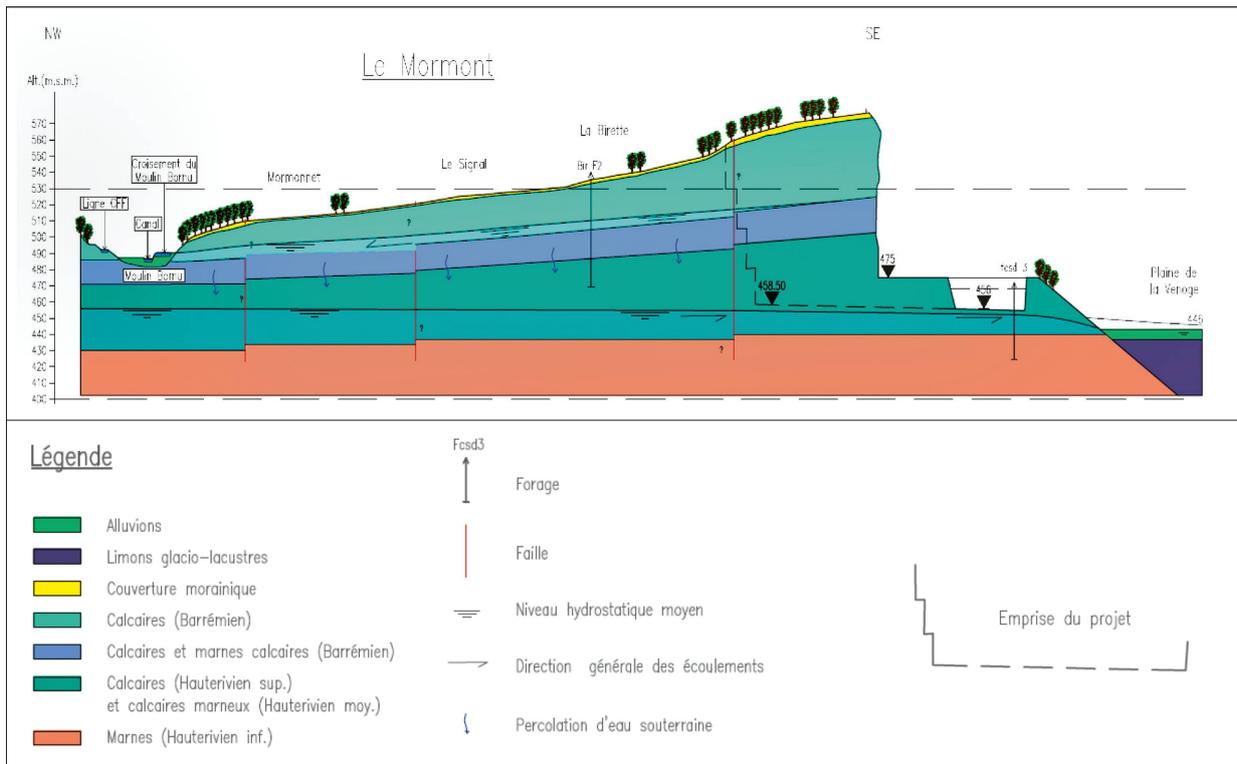


Fig. 155. Profil géologique simplifié du Mormont.

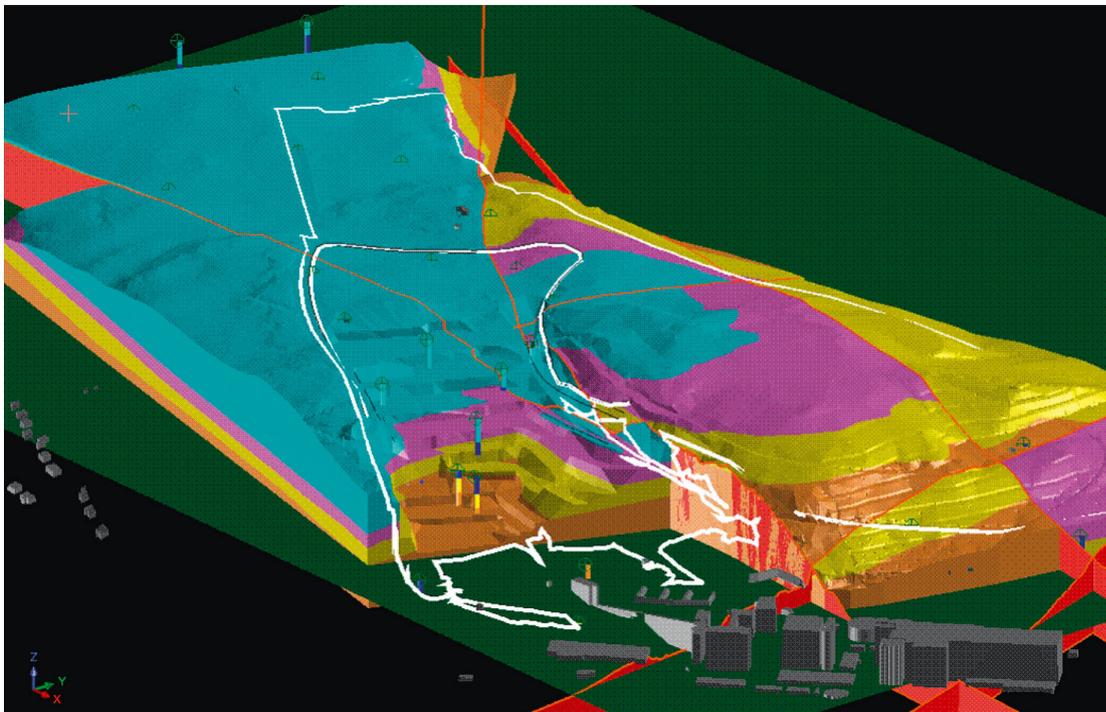


Fig. 156. Modèle géologique 3D du Mormont.

Le suivi hydrogéologique en cours depuis près de dix ans montre que le niveau de la nappe de l'aquifère inférieur se situe à environ 2 m au-dessous du fond de l'exploitation.

4.2.2 L'EMPRISE DE FOUILLE

Sur le site archéologique, les strates calcaires montrent un plongement de 20° au maximum vers le nord et le sud et forment ainsi une voûte peu incurvée, mais découpée par des failles obliques (fig. 157). Les principales, à plan subvertical, ont un azimut de 115°-120°, alors que les familles conjuguées ont une orientation variable, souvent 20° ou 90° (fig. 159). Toutes ces fractures ont scindé le massif en compartiments abaissés (grabens) ou, à l'inverse, relativement surélevés (horsts).



4.3 LA GÉOMORPHOLOGIE DU SITE

4.3.1 LE MODELÉ GLACIAIRE

Au cours des glaciations qui ont jalonné le Quaternaire, le massif du Mormont a constitué de par sa lithologie résistante un obstacle à l'avancée des glaciers vers le nord, formant un véritable verrou entre la vallée de la Venoge au sud et la plaine de l'Orbe au nord. Il y a environ 25 000 ans, lors de la dernière extension maximale des glaciers (= LGM pour Last Glacial Maximum), son sommet était ainsi recouvert par une couche de glace d'une épaisseur estimée à 700 m⁸¹. Il en résulte une morphologie singulière qui s'exprime à différentes échelles.

Si l'on considère tout d'abord le « Haut de Mormont » dans son ensemble, deux principaux types de formes peuvent être identifiés. D'une part, toute une série de petites buttes effilées d'une élévation inférieure à 10 m se dégagent dans le macrorelief. Le massif culmine d'ailleurs grâce à l'une de ces bosses, à une altitude de 604,5 m. Il s'agit d'un champ de petits drumlins rocheux allongés globalement selon l'écoulement du glacier, en l'occurrence du sud vers le nord. De telles buttes se retrouvent également dans la plaine entre Lausanne et Yverdon, mais leur orientation dépend plutôt, à cet endroit, des caractéristiques lithologiques de la molasse⁸². D'autre part, on remarque des escarpements incurvés ou rectilignes, qui constituent autant de zones d'arrachement dû au regel de la glace à l'aval d'un obstacle: on parle du phénomène de détente⁸³. Le long de ces crêtes, les bancs calcaires déjà fracturés ont ainsi décroché suite à la contrainte et aux cisaillements exercés par l'écoulement glaciaire.

À l'échelle du site, un relevé systématique de la topographie du fond rocheux⁸⁴, après décapage de la couverture sédimentaire à la pelle mécanique, révèle

⁸¹ Bini *et al.* 2009.

⁸² Fiore 2007.

⁸³ Van Vliet-Lanoë 2005.

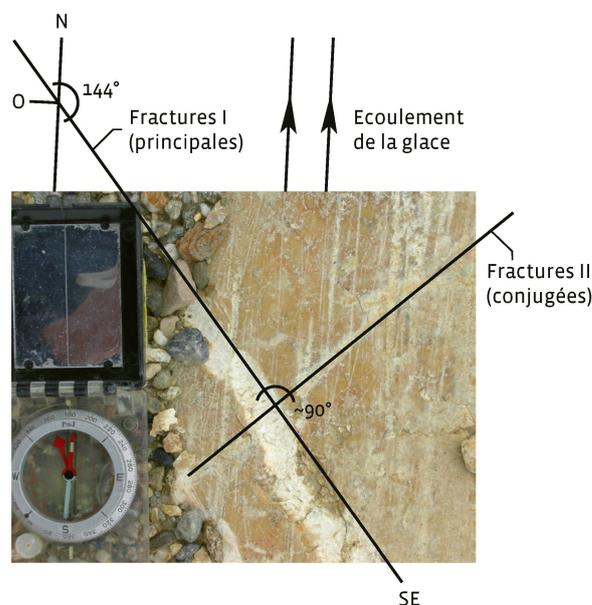
⁸⁴ Ce relevé a été réalisé par Yann Buzzi (Archeodunum SA). Il constitue un outil indispensable pour l'étude géologique, que ce soit pour l'approche morphologique ou pour le traçage des coupes de référence (PRF).

Fig. 157. Vue d'un miroir de faille dégagé en bordure nord de la carrière du Mormont. De grandes stries obliques matérialisent la direction du mouvement entre les deux compartiments.



Fig. 158. Vue vers le nord-est, à partir du horst central, d'un secteur du site décapé par les travaux de fouilles. La roche est «moutonnée». Sur la droite, une cuvette de surcreusement glaciaire apparaît, noyée par une mare.

Fig. 159. Sur les faces polies du calcaire, des stries sont gravées dans le sens de fluage de la glace, soit du sud vers le nord. Plus anciennes, les fractures de la roche sont orientées à l'oblique par rapport à ces linéaments.



également le passage du glacier valaisan. En effet, le calcaire montre de manière générale une surface polie et bombée : il s'agit de « roches moutonnées » (fig. 158). Ce travail de polissage s'effectue principalement par la masse sédimentaire incluse au glacier, mais également par le till⁸⁵ de fond gorgé d'eau, lorsque celui-ci a tendance à s'écouler. Des stries orientées dans le sens de fluage de la glace sont partout gravées sur ces mêmes faces (fig. 159). Enfin, les décapages archéologiques ont révélé la présence de dépressions de toutes tailles dans le calcaire, attribuées au surcreusement glaciaire.

4.3.2 LES FORMES KARSTIQUES

Le déblaiement des sédiments a mis au jour de nombreuses cavités karstiques à la surface du calcaire, sous le till basal, de dimensions très modestes

comparativement à celles visibles dans les parois de la carrière. Il s'agit en général de conduits à section ronde, ouverts à la faveur de fractures perpendiculaires à la stratification de la roche (fig. 160). Ceux-ci sont souvent vides de tout remplissage : lors de la déglaciation, le fonctionnement du réseau endokarstique a sûrement été réactivé par les eaux de fonte, assez acides, ce qui active la dissolution (*ibidem*). Par conséquent, une grande partie du site se trouve en milieu drainant. Des conditions hydromorphes règnent toutefois dans la cuvette du quart nord-est (zone A). À cet endroit en effet, les sédiments glaciaires, extrêmement compacts, ont une épaisseur de plusieurs mètres, ce qui provoque une stagnation des eaux météoriques.

À noter qu'au fond de plusieurs fosses, une corrosion très localisée du calcaire, de type lapiaz caverneux⁸⁶ a été reconnue (fig. 161). Sa formation pourrait être due à l'infiltration en profondeur des solutions acides du sol facilitée par le creusement de la structure.

⁸⁵ Till : dépôt glaciaire hétérogène, non consolidé, de granulométrie très variable (Van Vliet-Lanoë 2005). Les géologues préfèrent ce terme à celui plus ambigu de moraine, qui désigne avant tout une forme de terrain et non pas un sédiment.

⁸⁶ Gèze 1973.



CI-DESSUS À GAUCHE

Fig. 160. Après décapage de la surface du calcaire, de petits conduits karstiques s'ouvrent par endroits. Diamètre de la cavité : 0,3 m.



CI-DESSUS À DROITE

Fig. 161. Au fond de certaines fosses, une corrosion de type lapiaz caverneux marque la roche calcaire. Sa formation s'explique par l'infiltration en profondeur des solutions acides, facilitée par le creusement des fosses.

En outre, la roche a parfois été profondément entaillée en exploitant une cavité préexistante.

4.3.3 LA MORPHOGENÈSE DU FOND ROCHEUX

Vu l'homogénéité lithologique de la roche, les facteurs morphogénétiques prépondérants sont la fracturation d'origine tectonique et l'érosion glaciaire. Le site est clairement délimité au nord par un plan de faille orienté à 120°, qui s'étend tout au long du horst sommital du Mormont (**fig. 162**). En position médiane, un bombement allongé dans l'axe est-ouest a également une origine tectonique. Ce horst central montre une bordure septentrionale très raide, un flanc méridional moins incliné et une terminaison occidentale assez brutale. D'un dénivelé atteignant une dizaine de mètres, sa face nord correspond en effet à un plan de faille à pendage subvertical. Elle comprend des petites niches d'arrachement, ouvertes après le retrait du glacier, dans des zones fracturées.

Entre les compartiments surélevés s'ouvre un fossé d'effondrement qui occupe une bonne partie du quart nord-est du site. Ce graben ne mesure

qu'une vingtaine de mètres de large à son extrémité orientale, puis il s'élargit progressivement vers le nord-ouest. Dans son prolongement se trouve une cuvette à pourtour triangulaire d'une soixantaine de mètres de côté, pour une profondeur de 6 à 7 m par rapport au fond du graben. Elle provient d'un surcreusement glaciaire certainement favorisé par une fissuration intense de la roche, due aux contraintes locales. Une autre dépression fermée de dimensions plus modestes se trouve dans le prolongement du horst central. Ces cuvettes défoncent la surface d'érosion moutonnée par le glacier. Celle-ci s'étend au pourtour du horst central, à une altitude comprise entre 566 m et 567 m. De petits drumlins rocheux et autres bosses fuselées s'en détachent en culminant 3 à 4 m plus haut. Dans le quart nord-ouest du site, ce palier d'érosion se disloque et son bord est découpé par des ravinements allongés dans l'axe sud-nord. Ces concavités à parois émoussées résultent du décrochement des bancs calcaires sous l'effet du flux de glace (**fig. 163**). Au-delà de ce front d'arrachement, une seconde plate-forme semble s'individualiser environ 3-4 m en dessous de la précédente. Elle se développe localement sous la forme d'une dalle calcaire parfaitement polie, dégagée selon un joint

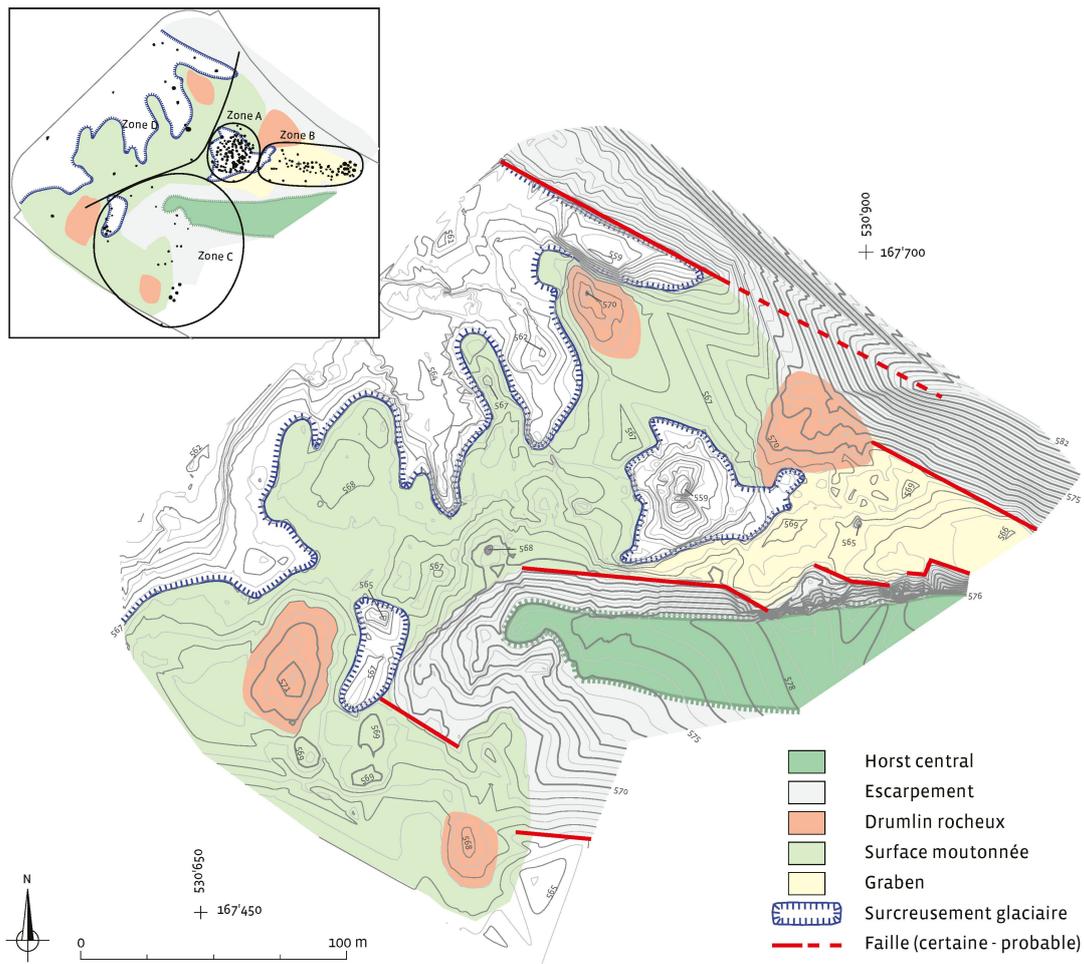


Fig. 162. Morphologie du fond rocheux. Elle résulte de l'abrasion glaciaire ayant remodelé un relief préexistant en buttes (horsts) et fossés (grabens) d'origine tectonique. Médaille : *idem*, mais avec les vestiges archéologiques, dont la répartition spatiale est conditionnée par cette morphologie.



Fig. 163. Vue vers le sud d'un des ravine-ments incisés dans la roche calcaire, dans le quart nord-ouest du site. La formation de cette concavité à parois émoussées provient d'un décrochement des bancs calcaires lors de l'avancée du glacier valaisan. Profondeur : environ 4 m.

de stratification horizontale. En limite nord du site, ce palier inférieur est clairement délimité par un escarpement d'origine tectonique, qui s'inscrit dans l'axe des principales fractures.

4.4 LES SÉDIMENTS QUATÉNAIRES

Les formations de la couverture sédimentaire ont été définies au Mormont grâce aux nombreux levés de coupes et profils réalisés au cours des travaux de fouille (cf. chap. 4.1.2). Décrites ci-après de la base au sommet, ces unités stratigraphiques se retrouvent dans toutes les zones du site, mais dans une succession souvent lacunaire.

4.4.1 LES FORMATIONS GLACIAIRES

Sur la roche polie par le glacier et les aspérités karstiques, ce revêtement atteint environ 5 m au maximum d'épaisseur (zone A) qui, habituellement est plutôt proche du mètre. Ces matériaux glaciaires constituent la roche-mère dont dérive le sol et, au-dessus du front de décarbonatation, ils apparaissent sous une forme différente, très altérée (voir point suivant). Nous avons distingué deux unités principales sur le site, à l'instar des géologues ayant cartographié le Nord vaudois⁸⁷.

À la base, il s'agit d'une formation limono-sableuse carbonatée, très compacte, de teinte gris-vert, ou jaune olive. Hétérométrique, elle renferme des graviers

et cailloux d'origine alpine tels que gneiss, granites, calcaires gris et roches vertes en quantité très variable. Souvent striés, ceux-ci ont une forme arrondie ou en « fer à repasser », à face inférieure plane et supérieure fuselée (fig. 164). Elle incorpore plus rarement des blocs et montre dans sa partie sommitale des traces fossiles de gel-dégel⁸⁸. Il s'agit d'un till de fond, soit les matériaux rocheux que le glacier traîne à sa base lors de son écoulement.

Au-dessus se trouvent des sédiments lités à dominante sableuse ou graveleuse, souvent structurés en chenaux granoclassés et intercalés de sédiments plus fins, silteux ou gravillonneux, de couleur brun-gris ou jaune verdâtre. Les éléments sont en général de nature alpine, émoussés, mais on trouve aussi des composants subarrondis de calcaire local. Leur taille se situe généralement entre 0.05 et 0.15 m, qui peut aller jusqu'à 0.45 m; des blocs erratiques de 1.5 m au maximum sont présents çà et là dans la partie sommitale. Cette formation correspond à un till de fonte et on parlera dès à présent, pour plus de clarté dans les textes qui suivent, de fluvioglacière dans son sens large.

Ces deux unités se sont mises en place respectivement lors de la dernière crue glaciaire en provenance de la région valaisanne et lors du retrait de ce même glacier⁸⁹. Aucun témoin d'une glaciation antérieure n'a été détecté sur le site.

4.4.2 LES LIMONS INFÉRIEURS ET LE LUVISOL

Au-dessus des sédiments glaciaires se trouve ensuite une formation à dominante limoneuse, décalcifiée, dont la granulométrie devient plus fine vers le sommet. D'une épaisseur très variable, mais généralement inférieure au mètre, elle présente à sa base une persistance de graviers et de sables souvent structurés en remplissages de chenaux. Elle montre aussi, par endroits, des déformations qui évoquent de la cryoturbation ou de la gélifluxion. Ainsi, les dépôts édifiés lors de la fonte des glaces ont été soumis aux effets du gel-dégel toujours persistant. Ces matériaux ont par la suite subi un rééquilibrage, avec des

⁸⁷ Custer et Aubert 1935; Aubert 1963.

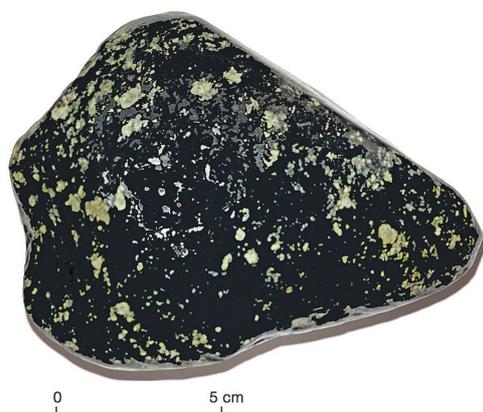


Fig. 164. Galet de roche verte en forme de « fer à repasser », à face inférieure plane et supérieure fuselée.

⁸⁸ Soit une pérostructure lamellaire du sédiment. Celle-ci se caractérise par des plans de fissuration subhorizontaux et parallèles, en « piles d'assiettes ».

⁸⁹ Au cours des travaux de terrain, nous avons envisagé de dater ces deux unités par luminescence (OSL). Il s'avère toutefois que dans ce type de sédiments, la chance d'obtenir une date valable est peu élevée, du fait de leur trop faible exposition à la lumière. En plus de cette inconnue, des raisons budgétaires ont fait que nous avons finalement renoncé à tenter l'expérience.

ravinements superficiels et autres colluvionnements établis en fonction de la morphologie du massif.

Suite à un net ralentissement, sinon un arrêt total de la sédimentation durant des millénaires, la pédogenèse sous couvert forestier a mené au développement d'un sol évolué de type luvisol⁹⁰, avec des variations suivant la zone considérée (fig. 165). Ces dernières étant détaillées dans le chapitre suivant, seuls les traits principaux de ce profil pédologique sont définis ci-après.

Un luvisol se caractérise par une différenciation qui résulte du lessivage des argiles à partir des horizons supérieurs vers les horizons plus profonds. Il se forme préférentiellement sur des matériaux sédimentaires meubles, assez filtrants, pauvres en calcaire, comme on en rencontre souvent dans le Nord

⁹⁰ Selon la terminologie préconisée par le Référentiel pédologique (Baize et Girard 2009). C'est l'équivalent de «sol lessivé» de la classification CPC (1967), utilisée auparavant par les pédologues.

Fig. 165. Stratigraphie type des couches du Quaternaire au Mormont, combinant la succession des sédiments et les horizons pédologiques du luvisol. Celui-ci est tronqué au sommet par une limite d'érosion sur laquelle s'insère le niveau d'occupation de La Tène finale.

| Description | Sédiment | | Sol | |
|---|---|--|---|--|
| | Description | Interprétation | Horizon pédologique | |
|  | Limons sableux bruns avec racines | Terre végétale | A: humifère LA: labouré par endroits | |
| | Limons sableux un peu humifères, brun clair | Colluvions et dépôts de pente | A: organo-minéral | |
|  | Limons brun-jaune à charbons de bois | Niveau d'occupation de La Tène finale | | |
| | Silts sableux jaune clair | Dépôts de ruissellement superficiel et colluvions | E: éluvial (souvent érodé) | |
|  | Limons argileux brun-rouge à graviers siliceux altérés, riches en oxydes Fe et Mn | Formations glaciaires altérées, avec traces de gel et cryoturbations | BT: argilique | |
| | <i>Front de décarbonatation</i> | | C: minéral altéré | |
|  | Graviers, sables et limons gris-vert, très compacts, carbonatés | Fluvio-glaciaire et till de fond | CCa: avec concrétions calcaires | |
| | Calcaire karstifié, poli en surface | Barrémien | M: roche-mère | |
| | | | R: roche dure, substrat | |

vaudois⁹¹. Ses horizons de référence consistent tout d'abord en une couche brun rougeâtre⁹² enrichie en argiles et en oxydes ferriques, ou horizon BT. D'une épaisseur d'un mètre au maximum, totalement décalcifié, celui-ci se développe dans les limons et dans la partie supérieure des matériaux glaciaires. Plus bas dans le profil, ces derniers sont moins altérés, il s'agit de l'horizon C, épais généralement de un ou plusieurs décimètres; puis, au-dessous du front de décarbonatation toujours abrupt, ils renferment des concentrations de calcaire secondaire (horizon Cca). Sous forme de revêtements et de nodules, ces précipitations blanchâtres s'observent également en profondeur, parallèlement à la limite des fosses archéologiques, suite au phénomène d'évaporation qu'engendre cette interface. En revanche, vers le sommet du profil, la transition s'effectue de manière plus graduelle: une couche silto-sableuse jaune clair, peu épaisse (0.1-0.2 m), succède parfois à l'horizon BT. Il s'agit de l'horizon éluvial E, appauvri en argiles et en oxydes, qui n'apparaît clairement que dans les profils les mieux préservés de l'érosion, dans les dépressions du terrain.

⁹¹ Gratier 1980; Guélat 2016.

⁹² 7.5YR selon la charte des couleurs Munsell.

4.4.3 LES LIMONS SUPÉRIEURS ET LE NIVEAU D'OCCUPATION DE L'ÂGE DU FER

L'ablation totale ou partielle de l'horizon éluvial s'exprime dans le profil type par une limite nette entre l'horizon argilique et, au-dessus, des limons silto-sableux un peu humifères, de couleur brun-jaune clair. Les analyses sédimentologiques révèlent que ces dépôts correspondent à des colluvions qui, par endroits, renferment à leur base des graviers siliceux accompagnés de charbons de bois et d'un mobilier archéologique peu abondant (cf. chap. 4.5.3). Nous faisons l'hypothèse que le niveau d'occupation de La Tène finale est matérialisé par cette surface d'arase et les dépôts qui la recouvrent sur une dizaine de centimètres. De manière diffuse, ce niveau passe vers le haut à des limons toujours un peu sableux, brun clair, également d'origine colluviale, qui constituent l'horizon A du profil (0-0.2 m).

Un autre cas de figure, beaucoup moins fréquent sur le site, consiste en une ablation totale du BT. Tout indique que dans ces secteurs particuliers, les phénomènes d'érosion

du sol et de colluvionnement consécutif ont démarré à une époque plus précoce encore (cf. chap. 4.5.1). Le résultat est un épaississement notable des dépôts de pente, de plus d'un demi-mètre, venant directement coiffer l'horizon C, soit le glaciaire altéré. Postérieurement à leur mise en place, ces colluvions anciennes ont bien entendu subi une pédogénèse menant dans les cas les plus évolués au développement d'un horizon structural S, décalcifié, typique des brunisols.

Au sommet de toutes les coupes se trouve un horizon organo-minéral A, de couleur brune et d'une épaisseur comprise entre 0.15 m et 0.25 m. Très humifère, fortement bioturbé, il est intensément parcouru par des racines lorsque le profil se situe sous forêt, ce qui constitue le cas le plus fréquent. Dans certaines zones planes du site, autrefois des clairières, il paraît très homogène et sa limite inférieure, abrupte, est soulignée d'un lit de graviers, ce qui incite à penser qu'il a été labouré. Il s'agirait dans ce dernier cas plutôt d'un horizon LA mais, dans les textes qui suivent, cette nuance est négligée et nous utilisons le terme courant de «terre végétale» pour l'horizon sommital.

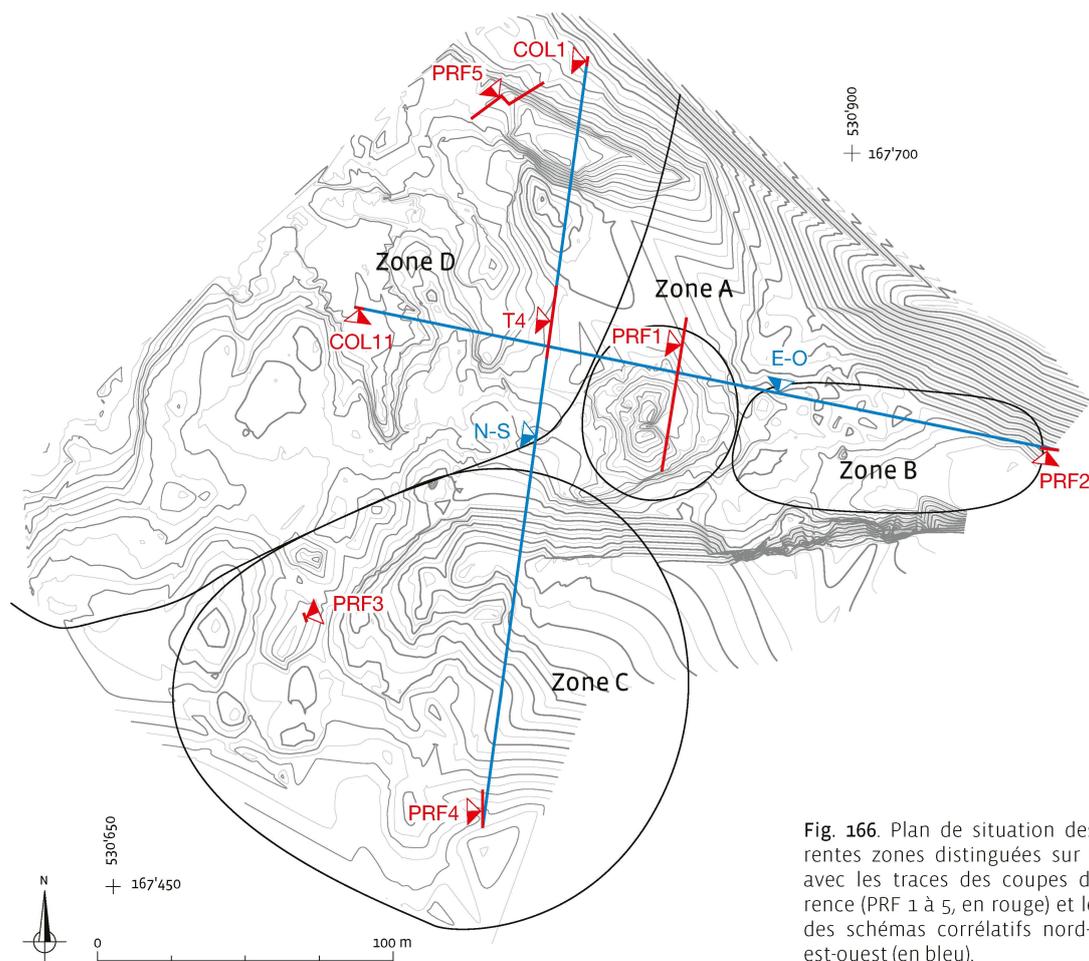


Fig. 166. Plan de situation des différentes zones distinguées sur le site, avec les traces des coupes de référence (PRF 1 à 5, en rouge) et les axes des schémas corrélatifs nord-sud et est-ouest (en bleu).

4.5 LES ZONES

La zonation du site a été conçue d'après la répartition spatiale des vestiges archéologiques, mais elle implique à l'évidence des aspects morphosédimentaires car les secteurs délimités s'individualisent aussi par leur stratigraphie (fig. 166). Ces données du terrain⁹³ sont complétées ci-après par les résultats d'analyses sédimentologiques et de datations ¹⁴C.

⁹³ Pour des raisons déjà évoquées en introduction (cf. chap. 4.1.2), les approches des zones A et B se basent uniquement sur la documentation établie en 2006-2007 par les archéologues.

4.5.1 LA ZONE A

Ce secteur occupe une position centrale sur le site et circonscrit assez précisément la grande cuvette de surcreusement dégagée dans le calcaire, qui montre un poli glaciaire à sa surface. D'une épaisseur maximale de 6,5 m, le comblement est constitué essentiellement d'un till de fond, en l'occurrence des sables limoneux très compacts, avec des bancs de graviers saturés en eau dans la partie profonde (cf. chap. 4.2.1). La stratigraphie des couches plus superficielles, épaisses au total de 1,2 m à 1,5 m, a été établie grâce à l'ouverture d'une tranchée exploratoire.

Une coupe nord-sud, le PRF 1, constitue la référence pour cette zone (fig. 167). Schématiquement, l'horizon BT

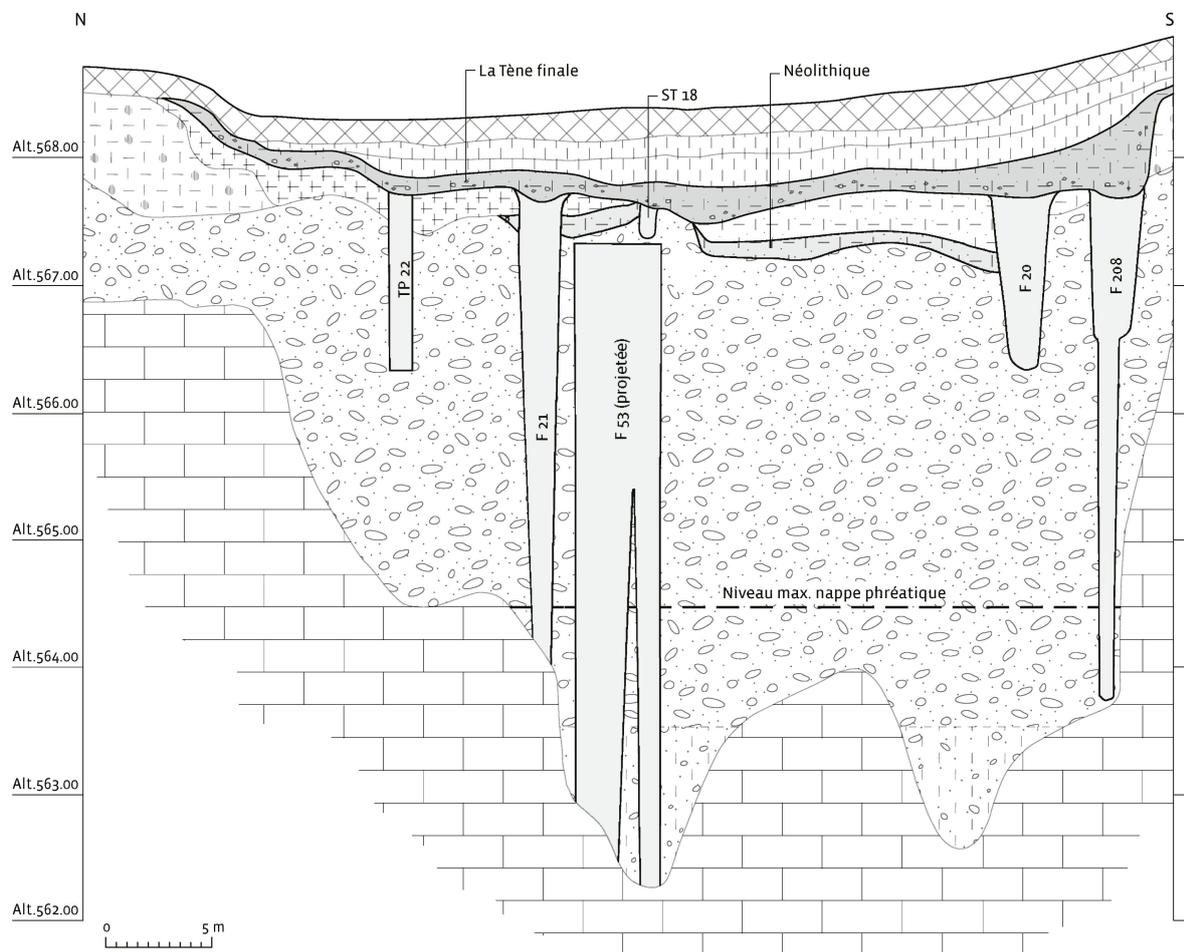


Fig. 167. Coupe PRF 1 à travers la zone A, dont la partie profonde est saturée en eau. L'horizon BT n'est présent que sur les bords de la cuvette (cf. fig. 165). Dans la partie centrale, une couche discontinue, à rares artefacts du Néolithique, repose selon un contact érosif sur les formations glaciaires. Au-dessus de limons colluviaux apparaît ensuite un second niveau anthropisé, plus continu. Il renferme du mobilier de La Tène finale et les fosses s'y raccordent. Hauteurs exagérées d'un facteur 6.

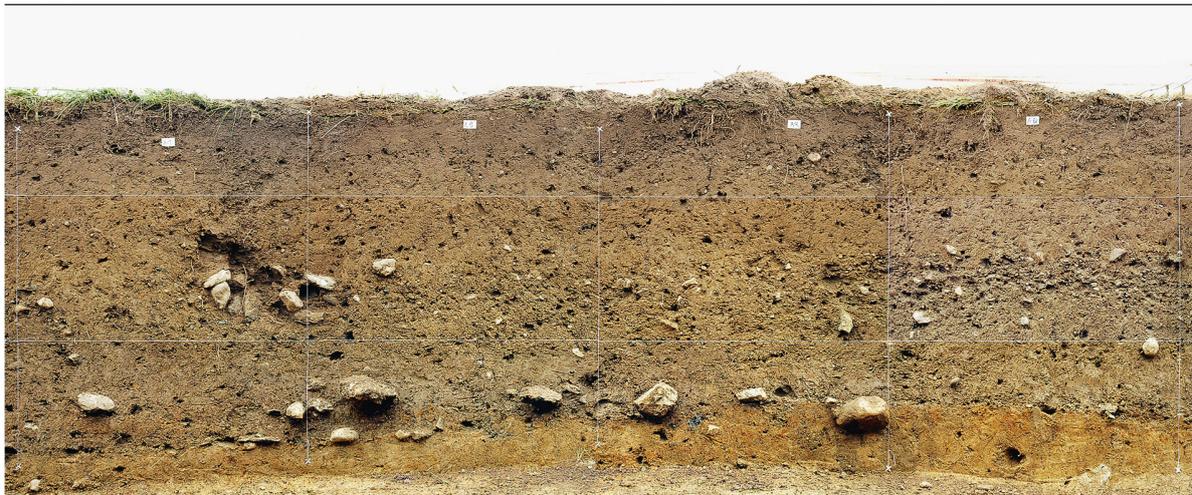


Fig. 168. Vue partielle de la coupe à travers la zone A, partie centrale. On distingue à la base le niveau du Néolithique, avec des cailloux plaqués sur le substrat glaciaire altéré, selon un contact érosif. La couche de La Tène finale, plus graveleuse, occupe la partie médiane du profil. À relever l'absence d'horizon BT.

n'apparaît qu'en bordure sud et surtout nord de la cuvette, avec une épaisseur maximale d'environ un mètre. Ailleurs, cet horizon argilique est érodé et remplacé par une succession de couches limoneuses à graviers, incluant la partie supérieure du remplissage hétérogène de plusieurs fosses. Entre ces structures, la séquence antérieure est toutefois préservée. À la base, selon un contact érosif avec les dépôts glaciaires altérés, à savoir des limons jaunâtres, une couche de limons bruns, organiques, à graviers et cailloux épars apparaît sur 0.1-0.2 m d'épaisseur. Elle renferme de rares artefacts qui sont attribués au Néolithique (cf. chap. 3.3.1) et peut être interprétée comme un paléosol⁹⁴ (fig. 168).

Au-dessus vient se plaquer une unité colluviale épaisse de 0.4 m, soit des limons brun clair à charbons de bois. Les fosses se raccordent avec la couche sus-jacente, constituée de limons humifères bruns, riches en graviers, d'une épaisseur variant entre 0.1 et 0.2 m et incluant de rares artefacts. Ce niveau d'occupation de La Tène finale est de colluvions brunes, d'une épaisseur pouvant atteindre 0.5 m et se subdivisant en deux niveaux au centre de la cuvette; à la

base, ce sont des limons graveleux à charbons de bois; au-dessus se trouvent des limons plus fins. Enfin, au sommet de la séquence, l'homogénéité de la terre végétale tend à montrer qu'elle a subi un labourage au cours de la période historique.



⁹⁴ Le terme de paléosol désigne classiquement en géologie un sol généré durant un interglaciaire du Quaternaire (Leser *et al.*, 2005; Lozet et Mathieu 2002). Cette expression est cependant aussi utilisée dans un sens plus large pour toute formation ayant subi une pédogenèse antérieure à l'actuelle (Hintermaier et Zech 1997; Scheffer et Schachtschabel 2002): c'est le cas dans notre étude.

Fig. 169. Vue de la coupe PRF 2 dégagée dans l'extrémité orientale du graben, ou zone B. Sur les formations glaciaires, l'horizon BT est particulièrement bien développé et son sommet correspond à une limite d'érosion. Au-dessus se place un niveau brun interprété comme le niveau d'occupation laténienne. Hauteur: 2.6 m.

4.5.2 LA ZONE B

Allongée dans l'axe est-ouest, cette deuxième zone archéologique se calque exactement sur le fond du fossé d'effondrement, dans la partie orientale du site. D'après les observations de l'encaissant des fosses fouillées dans ce secteur, la couverture sédimentaire s'épaissit en allant vers l'est : elle passe de 2.2 m aux abords de la cuvette (fosse F 259) à plus de 5 m en limite de fouille, au front de taille de la carrière (fosse F 301). À l'instar de la zone A, les dépôts glaciaires forment l'essentiel de ce revêtement, mais ils sont ici mieux drainés.

Les couches superficielles, pédogénisées, atteignent une épaisseur d'environ 0.6 m d'après une coupe qui se place en pied de paroi du graben, dans sa partie orientale, la plus étroite (PRF 2, fig. 169). L'horizon d'altération BT y est bien marqué, mais il est probablement tronqué au sommet. Un niveau brun roux décimétrique, renfermant des graviers épars et des charbons de bois, interprété comme le niveau d'insertion des fosses laténiennes, vient en effet le coiffer. Le sommet du profil est peu distinct, mais il se compose certainement de colluvions humifères assez minces.

4.5.3 LA ZONE C

Cette zone à géomorphologie plurielle englobe la partie occidentale du horst, ses flancs et surtout son pourtour, c'est-à-dire l'extension sud du palier d'érosion glaciaire. Celle-ci comprend en outre une petite cuvette de surcreusement et deux buttes fuselées, de type drumlin rocheux. L'épaisseur des sédiments quaternaires s'en trouve ainsi très inconstante. Sur le bombement central, à sa terminaison ouest, le calcaire n'est qu'à 0.3 m de profondeur puis celle-ci s'accroît vers l'est pour atteindre 1.2 m au maximum, sous un placage glaciaire. Sur les flancs du horst, l'épaisseur des sédiments ne varie que très peu, elle se situe aux environs du mètre. La stratigraphie s'y compose essentiellement de dépôts glaciaires altérés, dans lesquels se développe, en pied de pente, l'horizon BT. Dans les autres secteurs morphologiques, deux coupes de référence, détaillées ci-dessous, ont été réalisées.

LA CUVETTE GLACIAIRE : COUPE PRF 3

Un témoin aménagé spécialement sur 75 m de long, selon un axe orienté nord/ nord-ouest - sud/ sud-est, a facilité l'étude de la stratigraphie aux environs du groupe de



Fig. 170. Vue de la coupe PRF 3, dans la cuvette de la zone C. Sous les dépôts glaciaires, la roche calcaire n'a été atteinte qu'à une profondeur de 3.9 m. Dans la partie supérieure, un Luvisol s'est développé.

fosses découvertes dans ce secteur (structures 476-493). Une coupe complète du remplissage de la cuvette, le PRF 3, a ainsi pu être levé grâce à un approfondissement à la pelle mécanique (fig. 170).

STRATIGRAPHIE

La roche n'a été atteinte qu'à une profondeur de 3.9 m. Les dépôts glaciaires, essentiellement des sables et graviers gris-vert, sont en général très compacts sur toute leur épaisseur (2.8 m). Leur partie sommitale, structurée en chenaux, montre des déformations (involutions) et contient des carbonates secondaires (horizon Cca). La limite supérieure est nette et correspond au front de décarbonatation.

Au-dessus, on trouve des limons très argileux brun-rouge, à teneur en graviers et cailloux siliceux variable (0.5 m). Cette formation altérée montre par endroits des traces de gel fossiles (cryoturbations, pédostructure lamellaire à la base). Son sommet est coiffé, selon un contact graduel, par des limons sableux brun-jaune (0.2 m). L'horizon BT se développe dans ces deux dernières unités. Il passe graduellement vers le haut à un niveau moins argileux, jaunâtre, préservé très localement (0-0.1 m). Il s'agit de l'horizon éluvial E, en grande partie érodé: hypothétiquement, le niveau de circulation laténien coïncide avec cette surface d'arase qui est recouverte par des limons assez silteux, brun-jaune, d'origine colluviale (0-0.2 m). La terre végétale coiffe la séquence. Vu son épaisseur (0.25 m), son homogénéité et sa limite inférieure abrupte, cet horizon humifère a certainement été labouré à l'époque moderne.

ANALYSE SÉDIMENTOLOGIQUE

Les courbes cumulatives permettent de visualiser la distribution granulométrique des différents sédiments composant la coupe (fig. 171). Seuls cinq échantillons jugés représentatifs sur les onze testés sont ici présentés (cf. annexe 1, p. 158). Concernant les dépôts glaciaires, on relèvera leur relative pauvreté

en argiles et silts fins (particules < 4.3 µm), soit moins de 10%, et leur mauvais tri (So>4.5). Une lentille de silts sableux en position médiane fait toutefois exception et montre un bon classement (So = 3.5). La courbe de l'horizon BT s'apparente aux sédiments glaciaires, mais avec un décalage vers la gauche du diagramme: la teneur en particules fines, soit 21%, constitue un maximum pour le profil, ce qui montre bien le carac-

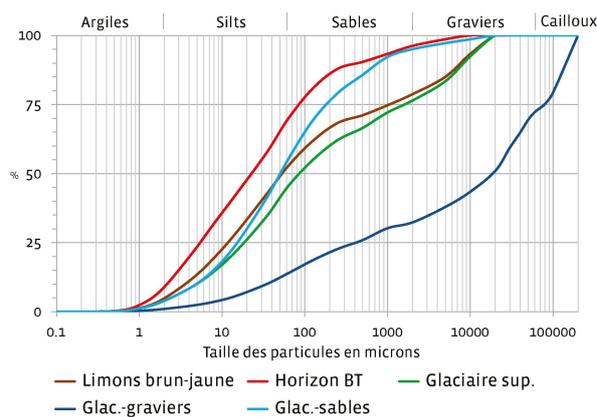


Fig. 171. Courbes granulométriques représentatives des différentes unités stratigraphiques du profil PRF 3.

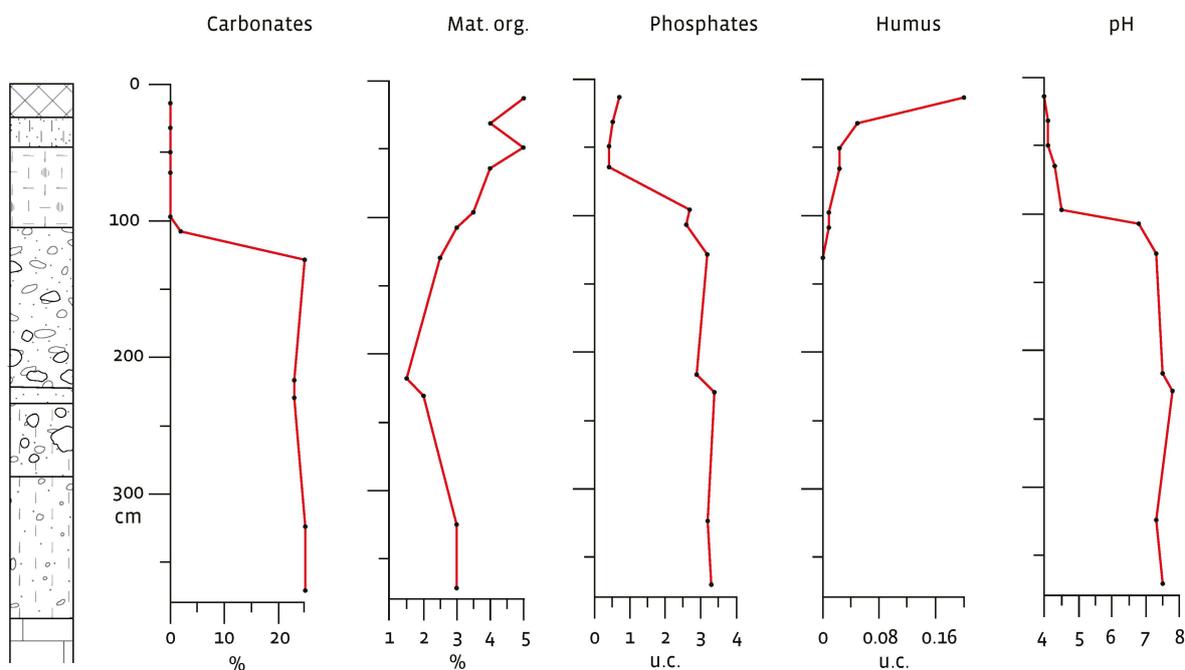


Fig. 172. Analyse géochimique de la coupe PRF 3.

tère lessivé du sol. Les limons brun-jaune de la partie sommitale ne sont que modérément triés ($3.5 < S_o < 4.5$) et renferment près de 70% de sables: il s'agit de dépôts issus de ruissellements superficiels, sur courte distance, processus inclus au terme plus général de colluvionnement⁹⁵.

L'évolution des paramètres géochimiques montre que la partie supérieure de la coupe ne renferme pas de carbonate, en accord avec le diagnostic de terrain (fig. 172). Au-dessous du front de décarbonatation, cette teneur s'accroît très rapidement dans la matrice des sédiments glaciaires, pour se stabiliser à 25%. Les composants organiques ne constituent qu'une part très faible de ces mêmes dépôts (2.5% en moyenne). À partir de la base de l'horizon BT, leur proportion s'élève régulièrement pour atteindre un maximum, tout relatif il est vrai (5%), dans l'horizon humifère LA. La valeur locale des phosphates pour les sédiments naturels non altérés, pauvres en matière organique et «stériles» du point de vue archéologique est fixée par l'analyse entre 2.9 et 3.4 u.c. Cette même valeur chute très nettement au sein de l'horizon BT et devient négligeable au-dessus (0.5 u.c. en moyenne). Ceci s'explique certainement par la présence de minéraux phosphatés⁹⁶ contenus par la matrice des dépôts glaciaires et qui sont complètement dégradés dans la partie pédogénisée du profil. Par ailleurs, ce test ne signale aucun apport anthropogénique dans les couches superficielles. Quant à la teneur en humus, elle s'élève logiquement dans l'horizon LA uniquement et confirme ainsi l'absence de tout paléosol dans la coupe. Enfin, les sédiments analysés déterminent un milieu très acide à acide dans le luvisol ($4 < pH < 4.5$), alors qu'au-dessous du front de décarbonatation, les conditions édaphiques s'approchent de la neutralité ($7.3 < pH < 7.8$).

LE SECTEUR MÉRIDIONAL : COUPE PRF 4

Située en bordure sud du plateau d'érosion, cette coupe de 10 m de long orientée nord-sud renferme des niveaux d'occupation de l'âge du Fer (fig. 173). Elle est donc particulièrement adaptée pour la définition de l'impact anthropique sur les sédiments.

DESCRIPTION

Le calcaire poli par le glacier a été mis au jour sur toute la longueur de la coupe, sous une épaisseur de sédiments variant de 0.8 m côté nord à 2.2 m au sud. La description ci-après se réfère donc à un profil situé dans la partie médiane (fig. 174). À la base, des dépôts fluvio-glaciaires brun-gris, à litage conforme au contact avec le calcaire, sont silto-sableux, avec des graviers épars (épaisseur 0.6 m); ils renferment des carbonates secondaires (horizon Cca), alors qu'au contact supérieur, ils sont décalcifiés. Au-dessus se trouvent tout d'abord des graviers mal classés, souvent très altérés, scellés par une matrice brun rouille de limons sableux à gravillons, décarbonatés (0.4 m). Dans la partie sud, où les couches deviennent plus épaisses, cette unité n'est pas décarbonatée à sa base: elle apparaît alors comme des graviers dans des sables jaune-vert. Cette formation grossière est recouverte par des limons argileux brun rougeâtre, à graviers épars. Leur épaisseur est très variable car ils nivellent les concavités marquées au sommet de la couche sous-jacente (0.2-0.5 m). À l'instar du PRF 3, ces deux dernières unités sont le siège de l'horizon BT. Implantée à son contact supérieur, une structure en creux (ST 413) est comblée par différents niveaux de limons à charbons de bois, contenant des fragments de céramique du Premier âge du Fer (cf. chap. 3.3). Cette structure est scellée par des limons sableux brun-jaune, contenant de rares nodules de terre cuite et dont l'extension est limitée à la moitié nord de la coupe (0.25 m). Ce sédiment est interprété comme des colluvions remaniant les horizons BT et E du luvisol, probablement mises en place au cours de l'âge du Fer. En effet, leur limite supérieure, très nette, est soulignée par des graviers de nature siliceuse, inclus à l'unité sus-jacente, soit des sables silteux brun clair un peu humifères (0.15 m). Ceux-ci se sont mis en place sur un contact érosif vers la fin de l'âge du Fer, pendant l'occupation principale du site, d'après le mobilier archéologique qu'ils renferment (La Tène finale, cf. chap. 3.4.1). La séquence se termine au sommet par des colluvions sablo-silteuses brun grisâtre (0.1 m), la terre végétale ayant été décapée lors de l'ouverture du chantier.

⁹⁵ Lozet et Matthieu 2002.

⁹⁶ Principalement l'apatite: $Ca_5[PO_4]_3[OH,Cl,F]$.

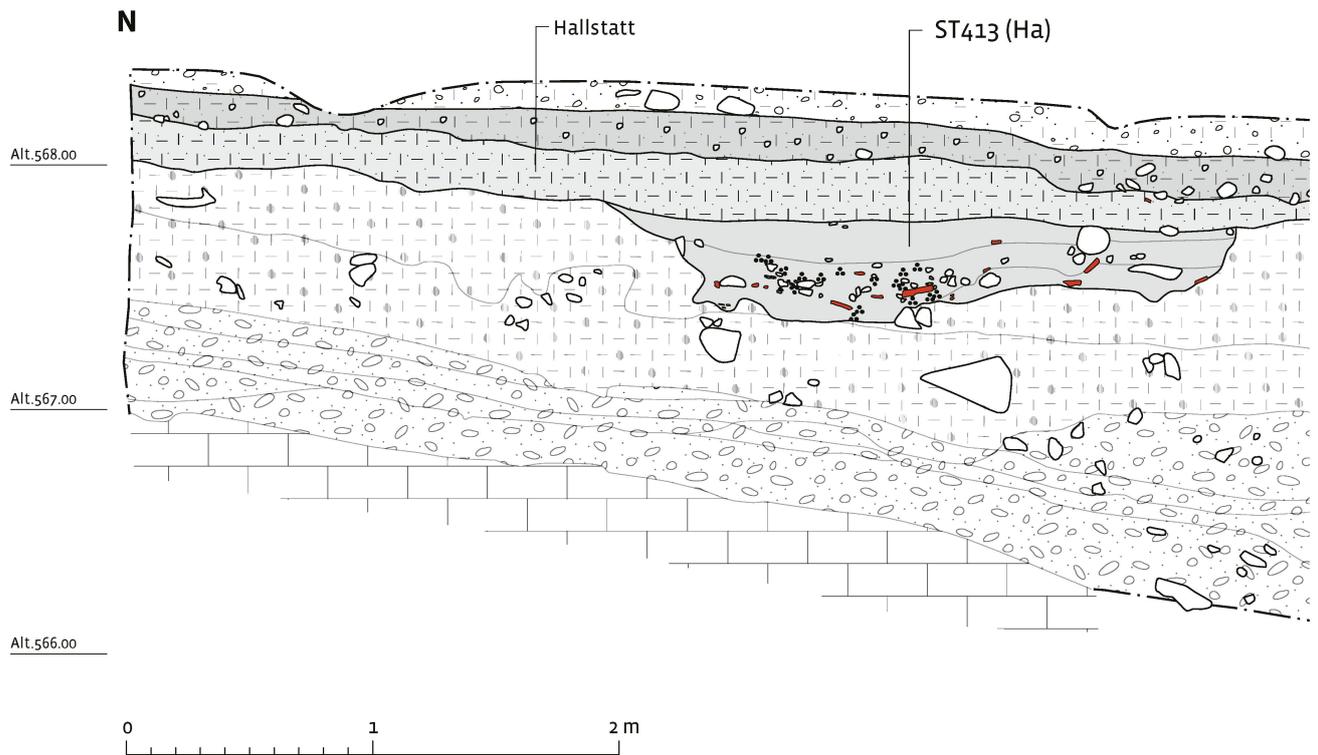
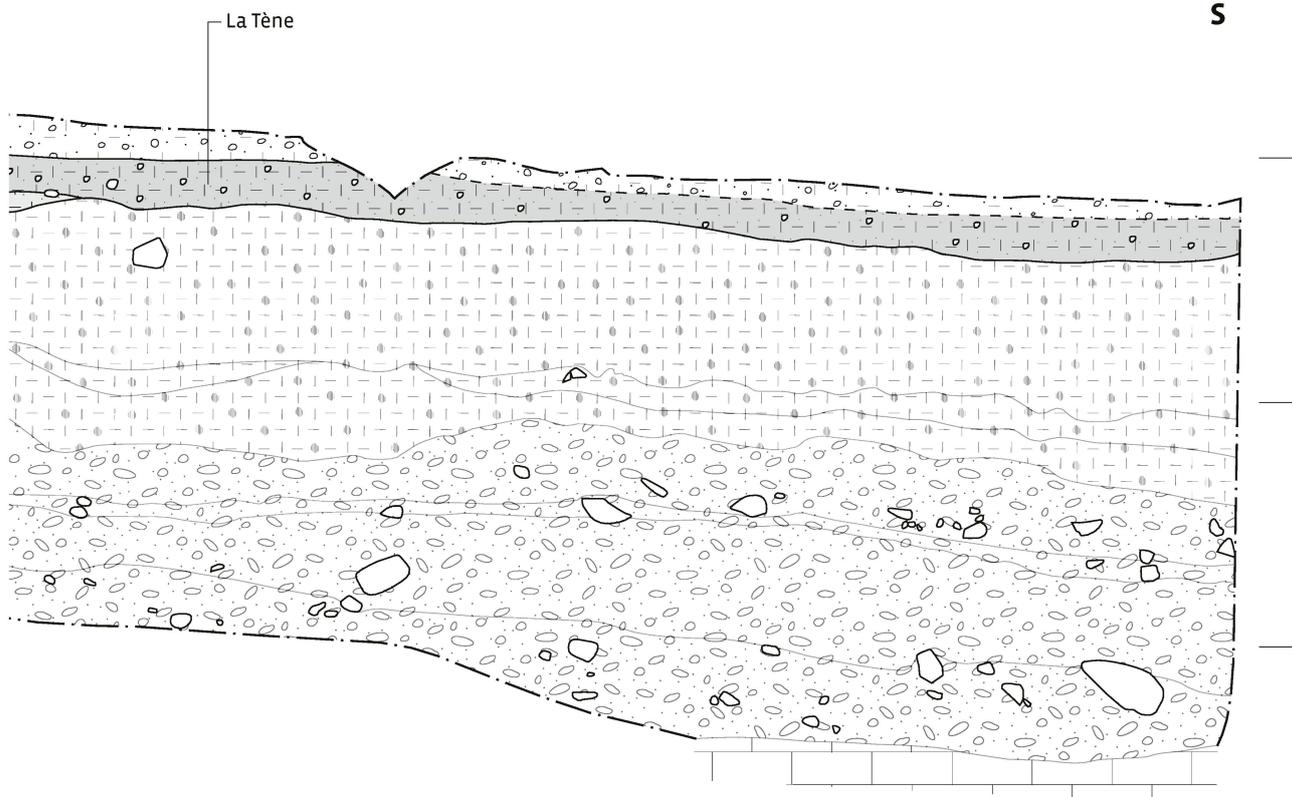


Fig. 173. Coupe PRF 4 en bordure sud du plateau de la zone C. À la base, des dépôts fluvio-glaciaires bien lités coiffent la roche calcaire. Plus haut, une structure du Premier âge du Fer (ST 413) est implantée sur l'horizon BT. Le niveau d'occupation laténienne se développe au-dessus, selon un contact d'érosion.



Fig. 174. Vue de la partie médiane de la coupe PRF 4, en zone C. Au-dessus des formations glaciaires altérées apparaît une structure contenant de la céramique du Premier âge du Fer (ST 413). Celle-ci est scellée par des limons brun-jaune, d'origine colluviale, dont la limite supérieure, érosive, est revêtue par des sables brun clair mis en place pendant l'occupation de La Tène finale. La séquence se termine au sommet par des colluvions brun grisâtre, la terre végétale ayant été décapée. Les prélèvements de sédiments analysés se placent à proximité de la structure ST 413.



ANALYSE SÉDIMENTOLOGIQUE

Les tests de laboratoire ont concerné cinq échantillons ciblés sur la problématique de l'occupation humaine, prélevés dans la partie médiane de la coupe également (cf. annexe 2, p. 159). Les courbes granulométriques obtenues montrent deux tendances distinctes (fig. 175). D'une part, les couches en lien avec l'occupation hallstattienne et l'horizon BT ont une granulométrie très semblable: ils sont assez bien classés ($3.4 < S_0 < 4.2$), relativement riches en fines (15-20%) et dominés par la fraction silteuse (46-51%). Il s'agit de colluvions issues surtout de ruissellements superficiels, qui ont érodé l'horizon BT dans la plupart des cas. D'autre part, le niveau laténien se démarque par sa courbe étalée témoignant d'un très mauvais classement ($S_0 > 4.5$) et par sa forte proportion en gravillons et graviers (49%). Il correspond à des colluvions au sens large avec, à la base, un enrichissement en graviers qui résulte d'un délavage (niveau de réduction) et éventuellement de la circulation.

Contre toute attente, la géochimie de ces cinq échantillons n'est guère parlante. Seul le remplissage inférieur de la structure hallstattienne s'individualise par une teneur légèrement plus élevée en matière organique, à mettre en relation avec la présence de gros charbons de bois.

4.5.4 LA ZONE D

Délimité au nord par la pente concordante à un plan de faille du calcaire, cette zone du site comprend la partie nord-ouest du palier d'abrasion glaciaire, sur lequel une bosse de type drumlin se dégage très nettement. La marge nord-ouest de la plate-forme est découpée par trois ravinements dans lesquels l'épaisseur des sédiments quaternaires atteint souvent plus de 2 m; elle peut même dépasser 3 m vers la terminaison de ces ravins, à proximité du front d'érosion régressive. Ailleurs, sur le palier, la puissance des sédiments superficiels varie de 1.8 m dans la partie méridionale à 1 m en limite avec la zone A. Quant au drumlin rocheux, il n'est recouvert que par une couche décimétrique de terre végétale.

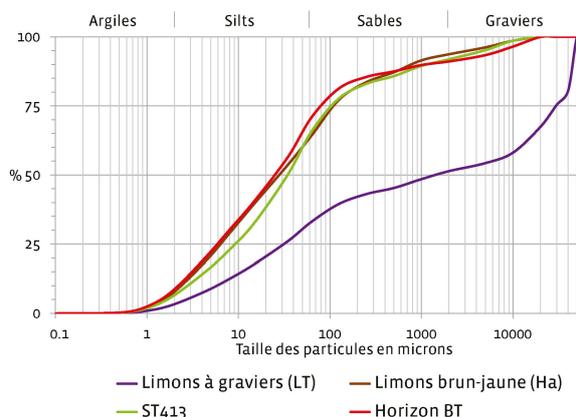


Fig. 175. Courbes granulométriques comparatives de quelques unités stratigraphiques de la coupe PRF 4.

LE PIED DE PENTE : COUPE PRF 5

Dans ce secteur important pour l'histoire du site, une coupe PRF 5 a pu être tracée grâce aux tranchées ouvertes en 2012 (fig. 176).

DESCRIPTION. DATATIONS ¹⁴C

Sous une épaisseur de sédiments variant entre 0,5 et 1,2 m, le fond rocheux a été rencontré aux extrémités de la coupe mais, du fait de la présence d'une faille d'effondrement, il n'a pas été atteint dans la partie médiane où les dépôts fluvio-glaciaires ont une puissance qui dépasse certainement 2 m. Il s'agit d'une formation à dominante sableuse, extrêmement compacte, mal classée, avec des lentilles et autres lits de graviers. Au sommet, reposant sur un contact érosif,

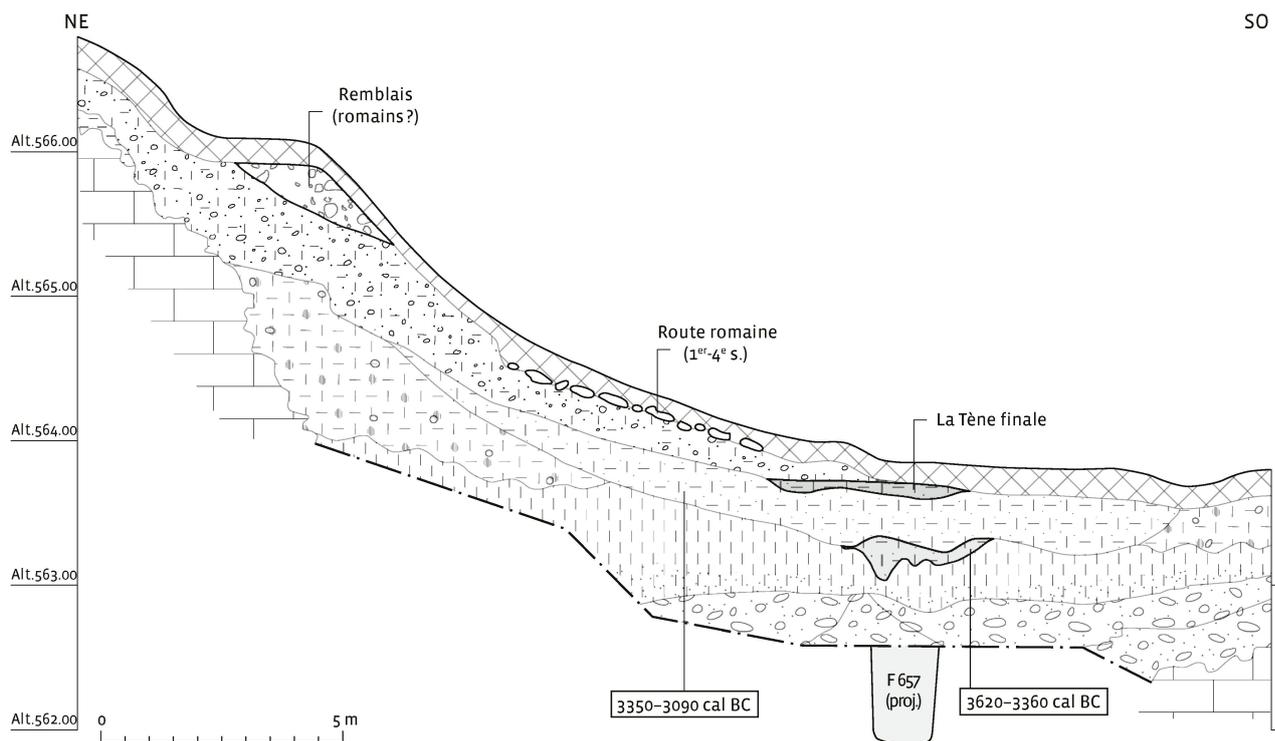


Fig. 176. Coupe PRF 5 en limite nord de la zone D. À la base, une formation glaciaire à dominante sableuse vient combler un affaissement d'origine tectonique. L'horizon BT s'est développé au sommet de ce remplissage, puis il a été érodé. Dans la partie médiane de la coupe en effet, il fait place à une séquence de dépôts de pente dont l'accumulation a débuté au Néolithique et qui sont localement coiffés par la route romaine (ST2). Hauteurs exagérées d'un facteur 3.

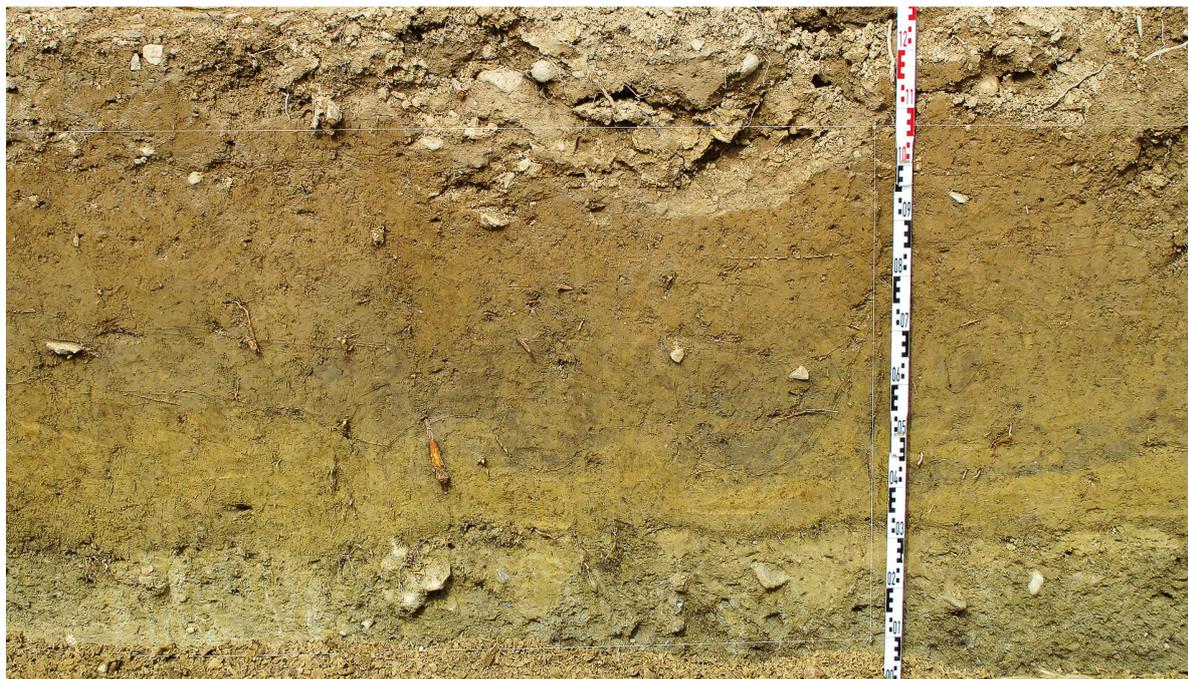


Fig. 177. Vue de la partie médiane de la coupe PRF 5, en zone D. De la base au sommet: le till un peu graveleux avec, au-dessus, des limons jaunes décarbonatés; puis, à mi-hauteur, le niveau du Néolithique moyen, sous la forme de poches limoneuses brun-gris; au-dessus, des colluvions brunes mises en place à l'époque protohistorique; au sommet, la terre végétale.

se trouvent des sables silteux gris-verts, bien classés. Ceux-ci deviennent plus argileux dans leur frange décarbonatée, épaisse de 0.3 à 0.6 m, où ils ont une teinte brun-jaune clair (horizon C).

Au-dessus, on trouve des limons argileux brun rouille, riches en oxydes ferro-manganiques et parsemés de graviers de nature siliceuse. Cet horizon BT apparaît sous une forme réduite au sud-ouest (0.3 m), mais il est mieux conservé en pied de pente (0.7 m) et disparaît à nouveau à l'extrémité nord-est de la coupe. Dans la partie centrale où il est complètement absent, il est remplacé par une séquence de dépôts de pente. À la base de celle-ci, au contact avec les limons jaunes, se trouvent quelques poches décimétriques d'un sédiment silteux gris-brun contenant de rares charbons de bois (fig. 177). La datation au ^{14}C de ces derniers a livré un âge de 3620-3360 cal BC⁹⁷: ce niveau inférieur est interprété comme les restes d'un paléosol du Néolithique. L'unité sus-jacente, d'épaisseur assez constante (0.3 m) se compose de limons sablonneux plus riches en gravillons au sommet, brun clair, renfermant également des charbons

de bois qui ont été datés au ^{14}C de 3350-3090 cal BC⁹⁸. Une date du Néolithique récent, soit 3330-2930 cal BC⁹⁹, a en outre été obtenue sur une couche en position stratigraphique analogue, mais provenant d'un autre témoin stratigraphique (T4, fig. 180), situé plus au sud. À noter aussi que plusieurs chablis¹⁰⁰ ont été identifiés dans le secteur méridional de la zone D. L'un d'eux a d'ailleurs été daté par ^{14}C de 2430-2140 cal BC¹⁰¹, soit du Néolithique final. Tous ces indices témoignent d'une phase d'occupation initiale de longue durée ayant mené à une érosion profonde du luvisol holocène.

Plaqué sur une limite érosive, le niveau suivant se compose de limons sableux de couleur brun rouille, riches en gravillons et galets mal triés, incluant de rares charbons de bois et petits fragments de terre cuite. Interprétée comme des colluvions remaniant l'horizon BT dans la pente, cette couche inclut un rare mobilier archéologique d'époque laténienne. Son épaisseur plutôt

97 ETH-48865: 4676 ± 27 BP; charbons de bois de chêne (*Quercus* sp.). Cf. chap. 7.2.2.

98 ETH-48864: 4498 ± 27 BP; charbons de bois de chêne (*Quercus* sp.).

99 ETH-45237: 4445 ± 30 BP; charbons de bois de chêne (*Quercus* sp.).

100 C'est-à-dire une perturbation de la stratigraphie due au déracinement d'un arbre.

101 ETH-45243: 3825 ± 25 BP; charbons de bois de chêne (*Quercus* sp.) provenant de l'anomalie 504 (chablis).

constante (0,3 m) augmente fortement dans la partie nord-orientale de la coupe (environ 1 m). À cet endroit, sa portion supérieure pourrait correspondre à des remblais provenant par exemple de la construction de la route romaine (ST2). Cette voie a en effet été aménagée sur ce même dépôt après un décapage superficiel. Elle se constitue de plusieurs lits de galets siliceux de 0,05 à 0,1 m de diamètre, assez bien calibrés et posés « à plat » dans une matrice limono-sableuse brune, très compacte. Elle est recouverte de limons brun foncé d'origine colluviale (0,1 m), parcourus de nombreuses racines et se confondant au sommet avec la terre végétale.

ANALYSE SÉDIMENTOLOGIQUE

Ces tests ont porté sur une série de huit échantillons (cf. annexe 3, p. 159) provenant de la partie centrale du PRF 5 et d'une coupe parallèle, dégagée 25 m au sud-est, à travers la route romaine (ST 2). Dans cette coupe en effet, la partie supérieure de la séquence était bien exprimée, des sédiments y ont donc été prélevés afin de compléter le PRF 5.

Les courbes granulométriques de six échantillons représentatifs permettent de distinguer les cas. Tout d'abord, avec des courbes sigmoïdes, quatre couches contiguës montrent un net apparemment, avec un degré de classement faiblement décroissant de bas en haut de la stratigraphie (fig. 178). Il s'agit tout d'abord des limons jaunes à la base qui sont donc les mieux triés ($S_o = 2,5$); ce caractère est certainement hérité de la dynamique glacio-lacustre.

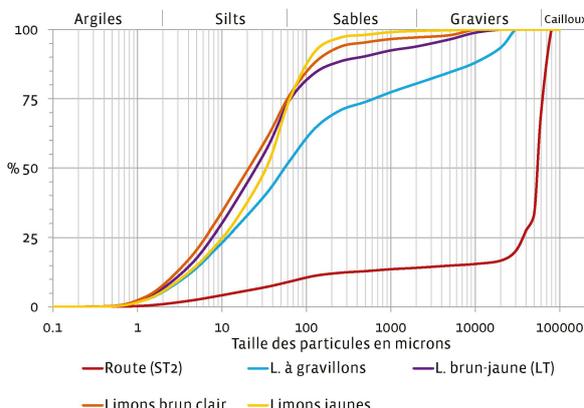


Fig. 178. Courbes granulométriques de quelques unités stratigraphiques représentatives de la coupe PRF 5.

Les limons gris datés du Néolithique moyen ont une distribution des particules quasi identique, avec un classement un peu moins bon ($S_o=2,9$); les limons sous-jacents constituent ainsi le matériau parental sur lequel s'est développé ce paléosol. Les limons bruns qui le recouvrent sont eux aussi bien triés ($S_o = 3,1$); interprétés en tant que dépôts de ruissellement, ils reprennent les couches sous-jacentes. Enfin, dans ce même groupe se placent les limons brun-jaune au sommet desquels s'insère le niveau d'occupation laténien. En revanche, les limons brun-roux qui colmatent cette séquence sont mal classés ($S_o = 7,4$): ils renferment 20% de gravillons et graviers fins (2-30 mm) et

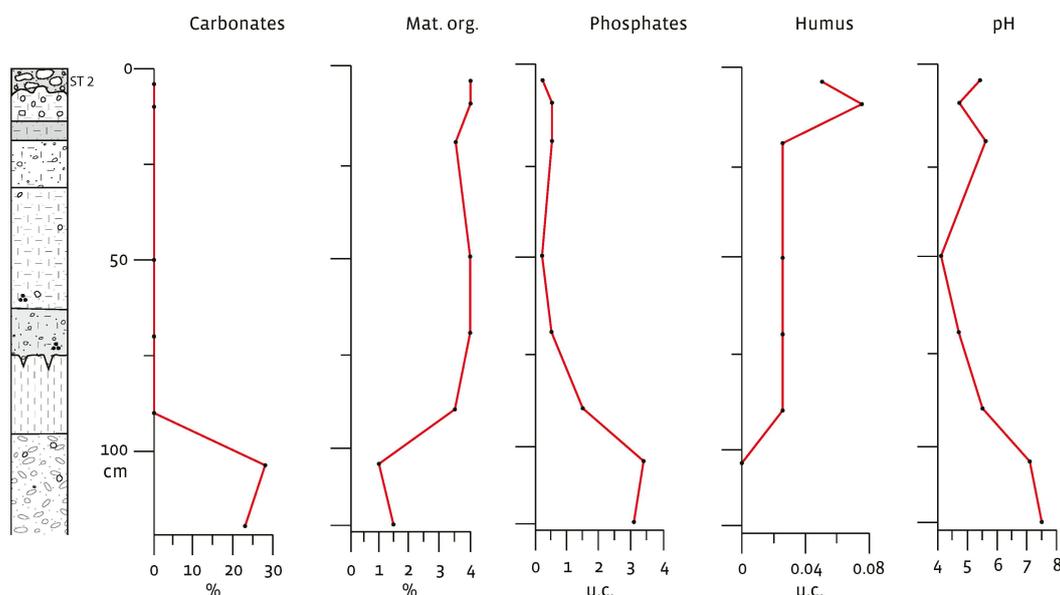


Fig. 179. Analyse géochimique de la coupe PRF 5.

pourraient correspondre à des colluvions issues de l'érosion des horizons profonds (BT et C) du sol holocène. En outre, ils ont semblé-t-il être utilisés comme niveau de réglage pour la route romaine. À noter que cette voie se compose à 66% de graviers compris entre 50 et 80 mm, calibrage résultant sans doute d'une préparation du matériau de construction.

Les analyses géochimiques confirment que la coupe est dépourvue de carbonate jusqu'aux sédiments glaciaires non altérés, qui en renferment environ 25%, comme dans le PRF 3 (fig. 179). Ceux-ci sont en outre très pauvres en matière organique, alors que les couches pédogénisées en renferment 3 à 4%. La présence de charbons de bois explique cette teneur pour trois unités mais, comme le profil a été ouvert dans une zone sous forêt, des radicules se rencontrent également dans la matrice des dépôts. La mesure des phosphates n'indique aucun apport particulier et leur augmentation à la base de la coupe est plutôt due à l'apparition de certains minéraux, à l'instar du PRF 3 (cf. chap. 4.5.3). La teneur en humus reste très faible, le niveau du Néolithique ne se démarquant pas spécialement. Enfin, le milieu peut être qualifié d'acide à peu acide ($4.1 < \text{pH} < 5.5$), et de neutre en dessous du front de décarbonatation ($7.1 < \text{pH} < 7.5$).

4.6 CONCLUSIONS

Les mouvements tectoniques et l'érosion glaciaire ont façonné de manière prépondérante le massif du

Mormont. Sur l'ensemble de la zone explorée, le relief tourmenté du fond rocheux implique que les sédiments quaternaires, principalement d'origine glaciaire, varient fortement en nature et en épaisseur suivant le secteur considéré. Au cours de l'Holocène, cette couverture a subi une pédogenèse durant plusieurs millénaires, avec pour résultat le développement d'un luvisol, du moins là où elle est suffisamment épaisse. Ce sol évolué traduit une stabilité du milieu, couvert par la forêt, et comprend un horizon argilique BT facilement identifiable dans les profils du site. Les occupations humaines se marquent en général au-dessus de cet horizon. Ainsi, la morphologie du massif conditionne non seulement la répartition spatiale des sédiments quaternaires, mais également celle des vestiges archéologiques.

4.6.1 SYNTHÈSE STRATIGRAPHIQUE ET ÉVOLUTION SÉDIMENTAIRE

Un essai de corrélation entre les stratigraphies des différentes zones permet de reconstituer quelques étapes importantes de l'histoire sédimentaire du site.

Selon l'axe nord-sud, à travers les zones D (profils COL 1 et T4) et C (profil PRF 4), on remarque tout d'abord un affaissement d'origine tectonique, propice à l'accumulation des sédiments glaciaires (fig. 180). Le luvisol développé au sommet de ces derniers a subi une érosion assez conséquente. Nous postulons

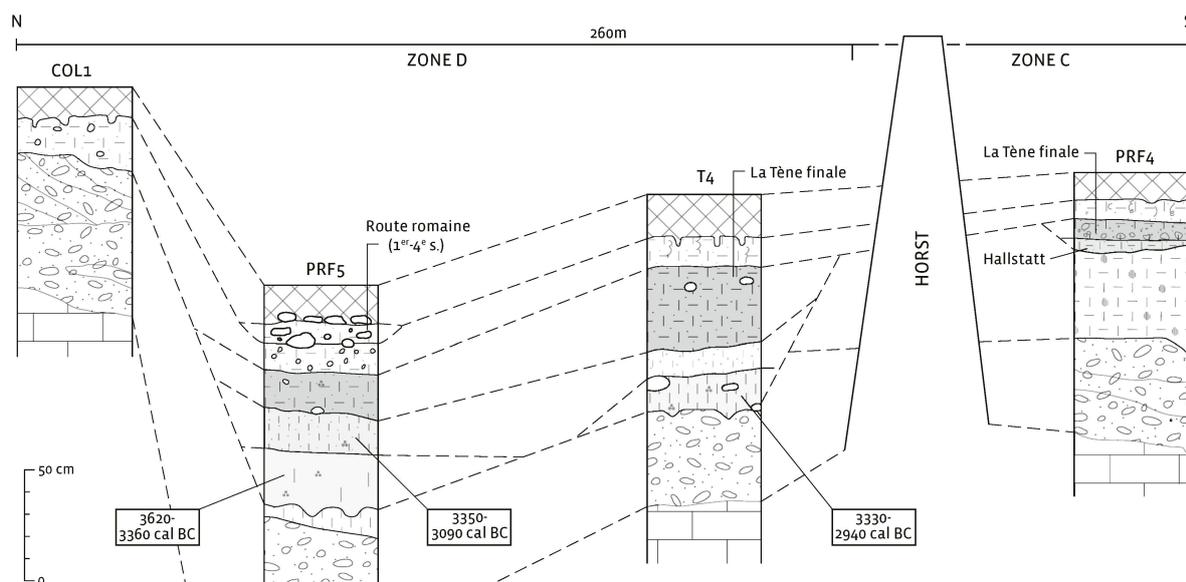


Fig. 180. Schéma de corrélation stratigraphique à travers le site, selon un axe nord-sud (cf. fig. 166). Altitudes et distances des profils non respectées.

que cette phase d'ablation se rapporte aux premiers déboisements et à l'exploitation du sol au Néolithique, entre 4000 et 3000 BC environ d'après les datations ^{14}C à disposition (cf. chap. 3.2 et 3.3.1). Ce pied de pente correspondrait ainsi à la voie de pénétration de la colonisation humaine. Plus au sud, l'horizon BT apparaît sur les contreforts du horst central, mais il est absent au sommet de cette éminence, de même que sur les drumlins rocheux où la couverture sédimentaire s'amincit fortement. Toutes ces buttes sont plutôt le siège de sols caillouteux, sous l'influence directe de la roche calcaire.

En bordure méridionale, le BT est bien préservé, ce qui laisse penser que ce secteur n'a subi aucune atteinte particulière avant l'âge du Fer. Une discontinuité s'insère toutefois à son sommet dans certaines

coupes dégagées. Les sédiments recelant du mobilier hallstattien et laténien viennent se placer sur cette limite érosive et l'analyse sédimentologique révèle qu'il s'agit de colluvions. Ceux-ci traduisent des bouleversements du sol liés à des activités humaines d'une intensité nouvelle pour le site.

Si l'on revient au bord nord du transect, le luvisol a apparemment été plus précocement fragilisé et, comme le montrent aussi les tests de laboratoire, des colluvions ont été générées en bas de pente. Mais dès La Tène finale, toujours à ce même endroit, le colluvionnement tend à s'accroître. Enrichis en argiles et graviers suite à l'érosion qui atteint le BT, ces apports du versant seront utilisés comme assise pour la construction de la route romaine.

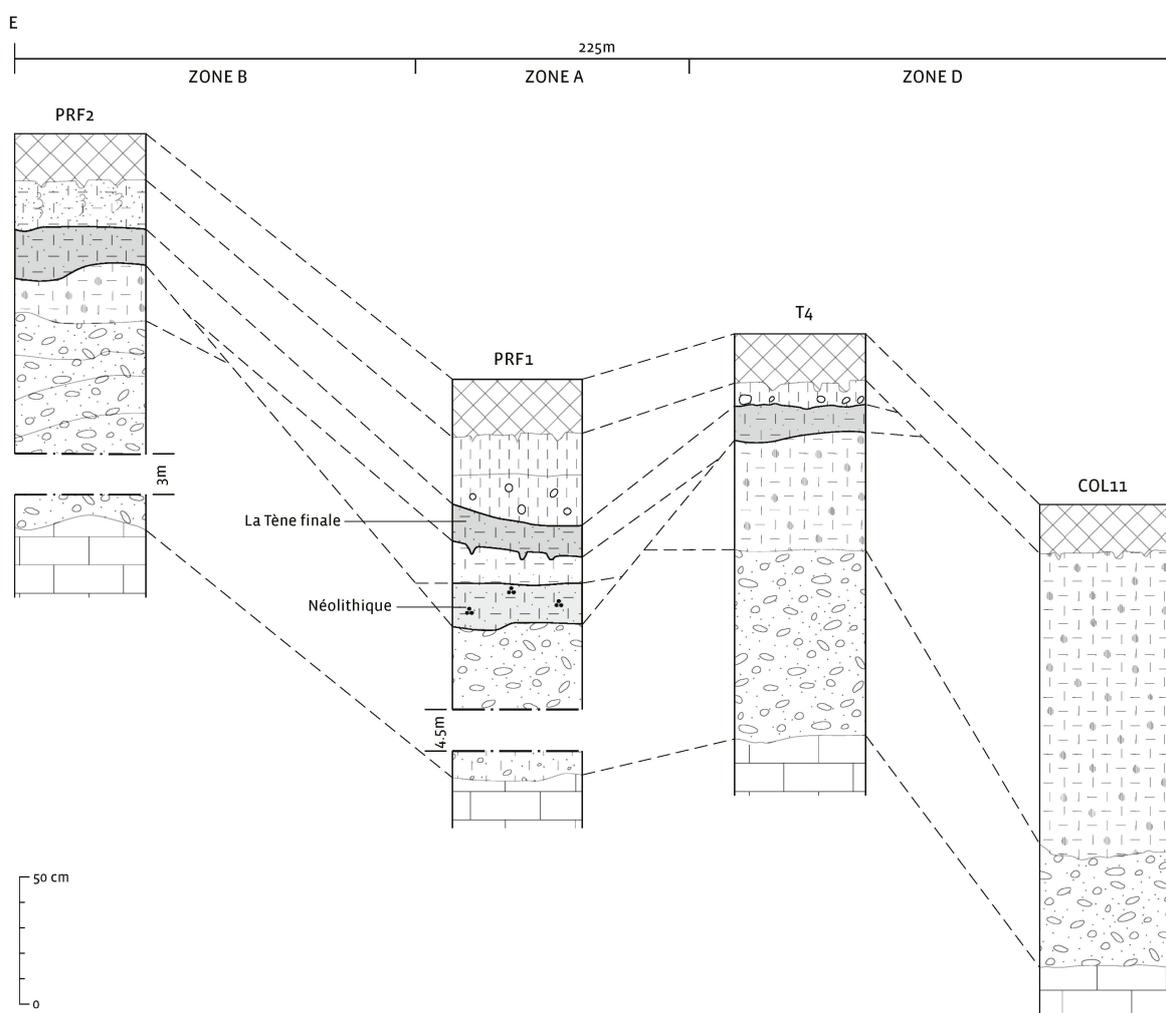


Fig. 181. Schéma de corrélation stratigraphique à travers le site, selon un axe est-ouest (cf. fig. 166). Altitudes et distances des profils non respectées.

On retrouve ces différentes étapes de sédimentation dans l'axe est-ouest, respectivement à travers les zones B (PRF 2), A (PRF 1) et D (T4 et COL 11). En bordure orientale, dans le fond du graben, l'horizon BT est bien marqué, mais il est tronqué par une limite d'érosion au-dessus de laquelle se trouve une couche avec du mobilier laténien (fig. 181). Ainsi, dans ce secteur, la séquence originelle du Mormont n'a apparemment pas été perturbée avant l'âge du Fer; l'absence de toute trouvaille du Néolithique plaide également pour cette hypothèse.

Dans la cuvette de surcreusement glaciaire (zone A), le remplissage se compose principalement d'un till de fond saturé en eau, du moins à sa base. Au-dessus, le BT n'est présent que sur les bords de la cuvette et, en son centre, une séquence colluviale le remplace. Cette succession d'unités limoneuses comprend deux niveaux anthropisés distincts, interprétés comme des paléosols. Attribué au Néolithique, le premier repose directement sur le till altéré. Ce niveau inférieur est clairement recoupé par de nombreuses fosses qui, elles, se rattachent avec le second niveau daté de La Tène finale.

Plus à l'ouest, sur la plateforme calcaire et les ravinelements de sa marge nord-occidentale (zone D), le BT est en général présent. À l'instar de la partie méridionale du site, la couche laténienne s'insère au-dessus de cet horizon, à condition que l'érosion n'ait pas trop entamé les profils.

4.6.2 LES FOSSES LATÉNIENNES, DES CLÉS POUR COMPRENDRE

Les fosses laténiennes sont implantées au sommet du luvisol qu'elles traversent de part en part pour atteindre le matériel glaciaire qu'elles percent à son tour, souvent jusqu'à la roche. À la faveur d'une cassure ou d'une cavité karstique, cette dernière a parfois été excavée afin d'atteindre la profondeur voulue. Ainsi, les conditions de gisement régnant dans ces structures sont en général favorables à la conservation du mobilier archéologique et des restes fauniques, grâce à l'effet tampon du calcaire et des formations glaciaires, carbonatées. C'est une chance, car les niveaux pédogénisés, plus superficiels, constituent à l'inverse un milieu assez acide ($4 < \text{pH} < 5$), auquel les vestiges auraient très mal résisté.

Du point de vue de la perception spatiale, la grande cuvette se remarque d'emblée du fait de son fond relativement plat engendré par un puissant comblement glaciaire, sur lequel un sol profond s'est développé. Une végétation plus luxuriante que sur le horst central et autres bosses drumlinoïdes pouvait certainement y croître. Cette délimitation naturelle de l'espace a

semble-t-il frappé l'esprit humain dès les temps reculés, les conditions locales se révélant favorables aux divers besoins des occupations successives: au Néolithique tout d'abord, pour une exploitation des ressources forestières et peut-être l'agriculture; puis à La Tène finale, pour l'implantation des fosses à dépôts; à l'époque romaine enfin pour l'instauration d'une voirie. Cas unique au Mormont, une nappe phréatique occupe en outre le fond de la dépression où son niveau oscille de manière régulière. Vu les caractéristiques du revêtement glaciaire¹⁰², nous postulons que ces variations du niveau piézométrique réagissent à une certaine durée des précipitations (ou de la fonte des neiges) et dépendent donc des saisons. En conséquence, la population de l'âge du Fer a forcément été confrontée à des venues d'eau lors du creusement des fosses dans ce secteur, à quatre ou cinq mètres sous la surface.

Relevons pour conclure que du point de vue des sciences naturelles, ces conditions hydromorphes ont eu une influence très positive, puisque des sédiments organiques et des fragments de bois ont pu être conservés durant plus de deux mille ans (cf. chap. 7), jusqu'à leur découverte lors des travaux de fouille.

¹⁰² Épaisseur de plus de 5 m, fort degré de compaction, structures sédimentaires chaotiques, granulométrie très variable.

4.7 ANNEXES

ANNEXE 1 : ZONE C, PRF 3

| Analyses granulométriques | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|------|-----|
| Éch. | Couche | Quartile % microns | Médiane microns | Quartile % microns | Centile microns | So | Sk |
| S1 | Horizon LA | 11.8 | 45.2 | 303.1 | 26531.4 | 5.1 | 1.8 |
| S2 | Limons brun-jaune | 11.7 | 53.7 | 1053.4 | 18034.3 | 9.5 | 4.3 |
| S3 | Horizon BT-sup. | 7.0 | 31.2 | 122.8 | 11224.6 | 4.2 | 0.9 |
| S4 | Horizon BT | 5.4 | 22.6 | 87.1 | 6095.1 | 4.0 | 0.9 |
| S5 | Horizon BT-base | 9.5 | 40.3 | 386.3 | 12968.4 | 6.4 | 2.3 |
| S6 | Horizon C | 27.9 | 128.4 | 1942.3 | 17361.8 | 8.3 | 3.3 |
| S7 | Glaciaire-sup. | 18.3 | 87.8 | 1596.0 | 18256.6 | 9.3 | 3.8 |
| S9 | Glaciaire-graviers | 411.4 | 18403.8 | 78480.3 | 193413.8 | 13.8 | 0.1 |
| S10 | Glaciaire-sables | 15.3 | 50.6 | 187.6 | 12190.1 | 3.5 | 1.1 |
| S11 | Glaciaire-silts | 7.4 | 38.6 | 287.2 | 18139.8 | 6.2 | 1.4 |
| S12 | Glaciaire-base | 8.1 | 48.1 | 740.5 | 37155.6 | 9.6 | 2.6 |

| Analyses géochimiques | | | | | | |
|-----------------------|--------------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------|-----|
| Éch. | Couche | Carbonates % | Mat. organique % | Phosphates u.c. | Humus u.c. | pH |
| S1 | Horizon LA | 0 | 5 | 0.7 | 0.2 | 4 |
| S2 | Limons brun-jaune | 0 | 4 | 0.5 | 0.05 | 4.1 |
| S3 | Horizon BT-sup. | 0 | 5 | 0.4 | 0.025 | 4.1 |
| S4 | Horizon BT | 0 | 4 | 0.4 | 0.025 | 4.3 |
| S5 | Horizon BT-base | 0 | 3.5 | 2.7 | 0.01 | 4.5 |
| S6 | Horizon C | 2 | 3 | 2.6 | 0.01 | 6.8 |
| S7 | Glaciaire-sup. | 25 | 2.5 | 3.2 | 0 | 7.3 |
| S9 | Glaciaire-graviers | 23 | 1.5 | 2.9 | 0 | 7.5 |
| S10 | Glaciaire-sables | 23 | 2 | 3.4 | 0 | 7.8 |
| S11 | Glaciaire-silts | 25 | 3 | 3.2 | 0 | 7.3 |
| S12 | Glaciaire-base | 25 | 3 | 3.3 | 0 | 7.5 |

ANNEXE 2 : ZONE C, PRF 4

| Analyses granulométriques | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|------|-----|
| Éch. | Couche | Quartile ¼ microns | Médiane microns | Quartile ¾ microns | Centile microns | So | Sk |
| S21 | Limons- grav. (LT) | 31.1 | 1431.2 | 29390.4 | 49431.1 | 30.7 | 0.4 |
| S22 | Limons b-jaune (Ha) | 6.3 | 27.8 | 111.2 | 12190.1 | 4.2 | 0.9 |
| S23 | ST413-sup. (Ha) | 6.9 | 30.3 | 103.4 | 16583.3 | 3.9 | 0.8 |
| S24 | ST413-inf. (Ha) | 9.1 | 34.4 | 107.0 | 12190.1 | 3.4 | 0.8 |
| S26 | Horizon BT | 5.8 | 24.6 | 82.5 | 16406.7 | 3.8 | 0.8 |

| Analyses géochimiques | | | | | | |
|-----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|--------------------|---------------|-----|
| Éch. | Couche | Carbonates % | Mat.organique % | Phosphates u.c. | Humus u.c. | pH |
| S21 | Limons- grav. (LT) | 0 | 2.9 | 0.5 | 0.075 | 4.7 |
| S22 | Limons b-jaune (Ha) | 0 | 2.9 | 0.5 | 0.05 | 4.7 |
| S23 | ST413-sup. (Ha) | 0 | 3 | 0.5 | 0.05 | 4.8 |
| S24 | ST413-inf. (Ha) | 0 | 3.6 | 0.5 | 0.25 | 5 |
| S26 | Horizon BT | 0 | 3.2 | 0.5 | 0.05 | 5 |
| | Moyenne | 0.0 | 3.1 | 0.5 | 0.1 | 4.8 |

ANNEXE 3 : ZONE D, PRF 5

| Analyses granulométriques | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----|-----|
| Éch. | Couche | Quartile ¼ microns | Médiane microns | Quartile ¾ microns | Centile microns | So | Sk |
| D1541-S1 | Route (ST2) | 36295.3 | 54340.4 | 63243.5 | 79251.4 | 1.3 | 0.8 |
| D1541-S2 | Limons à grav. | 11.4 | 55.1 | 621.7 | 28185.8 | 7.4 | 2.3 |
| D1541-S3 | Limons b-jaune (LT) | 7.6 | 24.9 | 65.7 | 10650.4 | 2.9 | 0.8 |
| COL3-S3 | Limons brun clair | 6.3 | 20.7 | 60.0 | 7071.1 | 3.1 | 0.9 |
| COL3-S4 | Silts gris (Néol.) | 6.9 | 24.9 | 57.9 | 1259.9 | 2.9 | 0.6 |
| COL3-S5 | Limons jaunes | 10.0 | 33.1 | 64.0 | 933.0 | 2.5 | 0.6 |
| COL3-S6 | Glaciaire-sup. | 20.5 | 57.9 | 306.3 | 9622.2 | 3.9 | 1.9 |
| COL3-S7 | Glaciaire | 154.2 | 917.8 | 3843.2 | 27940.1 | 5.0 | 0.7 |

| Analyses géochimiques | | | | | | |
|-----------------------|---------------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------|-----|
| Éch. | Couche | Carbonates % | Mat. organique % | Phosphates u.c. | Humus u.c. | pH |
| D1541-S1 | Route (ST2) | 0 | 4 | 0.2 | 0.05 | 5.4 |
| D1541-S2 | Limons à grav. | 0 | 4 | 0.5 | 0.075 | 4.7 |
| D1541-S3 | Limons b-jaune (LT) | 0 | 3.5 | 0.5 | 0.025 | 5.6 |
| COL3-S3 | Limons brun clair | 0 | 4 | 0.2 | 0.025 | 4.1 |
| COL3-S4 | Silts gris (Néol.) | 0 | 4 | 0.5 | 0.025 | 4.7 |
| COL3-S5 | Limons jaunes | 0 | 3.5 | 1.5 | 0.025 | 5.5 |
| COL3-S6 | Glaciaire-sup. | 28 | 1 | 3.4 | 0 | 7.1 |
| COL3-S7 | Glaciaire | 23 | 1.5 | 3.1 | 0 | 7.5 |

