

L'enfouissement de vestiges archéologiques par la bioturbation :

La colline du Hexenberg (Leutenheim, 67) - Un cas d'école

Le texte qui suit est extrait d'une monographie archéologique consacrée au site archéologique de la fin du Bronze final du Hexenberg (Lasserre, à paraître). Il nous a semblé que les enseignements de notre étude dépassaient le cadre d'un lectorat d'archéologues, et qu'ils étaient en particulier susceptibles d'intéresser la communauté pédologique. Avec l'autorisation de Marina Lasserre, éditrice scientifique de la monographie en question, et l'accord de D. Arrouays, rédacteur en chef d'EGS, nous en reproduisons ici une version légèrement modifiée et complétée.

D. Schwartz^(1*) et A. Gebhardt⁽²⁾

1) Faculté de Géographie, Université de Strasbourg - Laboratoire Image, Ville, Environnement, ERL 7230, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg cedex

2) Laboratoire Image, Ville, Environnement, ERL 7230, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg cedex - INRAP Grand-Est Nord

* : Auteur correspondant : dominique.schwartz@live-cnrs.unistra.fr

RÉSUMÉ

La colline du Hexenberg (67) est une butte-témoin, lambeau d'une formation alluviale pléistocène déconnecté de tout amont. L'ensemble de sa surface est occupé par un site de la fin du Bronze final, dont les vestiges, tessons de céramique notamment, sont enfouis en moyenne vers 60 cm de profondeur. Aucun processus d'enfouissement par des facteurs éolien, alluvial ou colluvial n'est compatible avec les caractéristiques morphologiques du site et l'âge du gisement archéologique, ce qui permet d'écarter toute origine allochtone du matériau qui recouvre les vestiges. Il apparaît que seule la bioturbation permet d'expliquer l'enfouissement du matériel archéologique, hypothèse confortée par les analyses sédimentologiques, physico-chimiques et micromorphologiques. Le Hexenberg est ainsi un cas d'école, qui illustre parfaitement le rôle de la faune du sol dans la perturbation des sites archéologiques. Il conviendra à l'avenir que les archéologues intègrent davantage ce type de processus dans leur raisonnement.

Mots clés

Géoarchéologie, archéopédologie, bioturbation, ver de terre, Age du Bronze.

SUMMARY

BURRYING OF ARCHAEOLOGICAL REMAINS BY BIOLOGICAL ACTIVITY. THE HEXENBERG HILL (LEUTENHEIM, 67), A SCHOOL CASE

Hexenberg Hill (67, France) is a flat residual hill which is comprised of remnant of Pleistocene alluvial sediments. Today the hill is an isolated topographic high with no sediment input sources. A Late Bronze Age site covers the hill, and the remains, mainly ceramics, are buried at about 60 cm depth. No post-occupation aeolian, alluvial or colluvial processes can have occurred given the site morphology and the age of the archaeological deposit. This allows us to exclude all allochthonous origins for the sediment which has buried the

archaeological remains. Bioturbation then, appears to be the only process that can explain the burial of the archaeological site. This hypothesis is confirmed by by sediment, physico-chemical, and soil micromorphological analysis. Hexenberg Hill is therefore an excellent educative example of the role of pedofauna in archaeological site perturbation. The site also demonstrates the need for archaeologists to consider bioturbation and other natural environmental processes in interpreting sites.

Key-words

Geoarcheology, archeopedology, bioturbation, earthworm, Bronze Age.

RESUMEN**EL ENTIERRAMIENTO DE LOS VESTIGIOS ARQUEOLÓGICOS POR LA BIOTURBACIÓN: LA COLINA DEL HEXENBERG (LEUTENHEIM, 67 – FRANCIA), UN CASO DE ESCUELA**

La colina del Hexenberg (67 – Francia) es un cerro testigo, pedazo de una formación aluvial pleistocena desconectado de todo río arriba. Toda su superficie está ocupada por un sitio del fin del Bronce final, cuyos vestigios, cascos de cerámica notablemente, están enterrados en promedio hacia 60cm de profundidad. Ninguno proceso de enterramiento por factores eólico, aluvial o coluvial está compatible con las características morfológicas del sitio y la edad del yacimiento arqueológico, lo que permite descartar todo origen alóctono del material que cubre los vestigios. Aparece que sola la bioturbación permite explicar el enterramiento del material arqueológico, hipótesis confortada por los análisis sedimentológicos, físico-químicos y micromorfológicos. El hexenberg está así un caso de escuela, que ilustra perfectamente el papel de la fauna del suelo en la perturbación de los sitios arqueológicos. Convendrá en el porvenir que los arqueólogos integran más este tipo de proceso en su razonamiento.

Palabras clave

Geoarqueología, arqueopedología, bioturbación, lombrices, edad de Bronce

INTRODUCTION

Les modes d'enfouissement des niveaux archéologiques sont nombreux et variés. La connaissance des processus physiques, géomorphologiques et pédologiques qui aboutissent à leur scellement plus ou moins rapide est fondamentale à plus d'un titre. Ainsi, lorsqu'un gisement est rapidement enfoui sous plusieurs décimètres ou mètres de sédiment, il est comme fossilisé sous une chape. Il est alors peu susceptible d'être contaminé par des matériaux archéologiques ou par des constituants organiques ou minéraux plus récents. Le gisement pourra être considéré comme homogène, et les structures d'habitat, de foyers, d'ateliers de débitage... comme étant parfaitement en place, non perturbées. Les constituants prélevés à fin de datations ont alors de fortes chances de ne pas être pollués par des contaminations plus récentes. A l'inverse, des niveaux conservés dans des colluvions auront des probabilités non négligeables d'avoir été eux-mêmes transportés à des distances plus ou moins importantes. Quant aux gisements restés un laps de temps plus ou moins long en surface du sol, ils seront selon toute vraisemblance perturbés par l'activité biologique et/ou par des activités humaines comme la succession de travaux agricoles. La prise en compte de ce corpus de mécanismes très différents permet de mieux comprendre la disposition générale des sites, ou la position aberrante de certains artefacts - terme utilisé ici dans son sens de « objet archéologique ». Elle renforce la validité des interprétations archéologiques et donc le degré de fiabilité de l'analyse. Si l'on s'intéresse plus précisément à l'action potentielle de la faune du sol, celle-ci est connue au moins depuis les travaux de Darwin (Darwin, 1881 ; Feller *et al.*, 2003). Différents archéologues et préhistoriens ont publié des articles consacrés au rôle de la bioturbation dans la formation ou la perturbation de gisements archéologiques (Wood et Johnson, 1978 ; Stein, 1983 ; Armour-Chelou et Andrews, 1994 ; Yeates et Van der Meulen, 1995 ; Texier, 2000...). Malgré cela, force est de constater que le rôle de la bioturbation est encore passablement méconnu dans la communauté archéologique.

Le Hexenberg représente un cas d'école exceptionnel pour ce qui est de l'identification du mode d'enfouissement des artefacts présents, en ce sens que les caractéristiques géomorphologiques du site, ainsi que l'extension et l'âge du niveau archéologique permettent d'apporter des réponses claires quant au mode d'enfouissement des artefacts. Après une description succincte du site et une revue des processus susceptibles d'intervenir, nous montrerons que certains de ces mécanismes peuvent être écartés, ce qui revient à réfuter certaines interprétations des modes d'enfouissement évoqués classiquement pour ce site. Nous tenterons de préciser, sur la base d'analyses pédologiques, sédimentologiques et micromorphologiques, le mode d'enfouissement réel des artefacts avant de proposer un nouveau schéma interprétatif.

DESCRIPTION DU SITE

La colline du Hexenberg se dresse à quelques centaines de mètres au sud-ouest de Leutenheim, petit village situé à environ 50 km au nord de Strasbourg. Il s'agit d'une butte-témoin développée dans des alluvions sableuses pléistocènes du Rhin (Geissert *et al.*, 1976, 1977 ; Boes, 1997), qui domine la plaine alluviale d'environ 10 m. Son sommet tabulaire d'une superficie d'environ 6 hectares est presque plat : la pente est de l'ordre de 1 ‰. Le matériau constitutif est un sable bien trié, attribué au « Riss » (Geissert *et al.*, 1977), identique à celui qui compose la terrasse de Haguenau, distante d'un kilomètre environ. Actuellement, la végétation de la butte est forestière. Le site a été occupé à différentes époques. Ainsi, on trouve sur sa partie ouest les vestiges d'une motte féodale. L'époque la mieux représentée est le stade final du Bronze final (Bf 3b). Des vestiges de cette époque, tessons en particulier, ont été découverts sur **toute** la superficie de la butte, même si certains secteurs, interprétés comme des zones d'habitat, sont plus riches. Ils sont en général situés à une profondeur de 50 à 70 cm. Pour l'heure, les fouilles ont concerné une superficie de 4000 m². Malgré une répartition très inégale, l'ensemble du plateau a été au moins partiellement concerné par des excavations. Une structure remarquable est un rempart, partiellement conservé, mais qui semblait ceindre l'ensemble de la surface tabulaire de la butte-témoin, à la rupture de pente entre le plateau et les versants abrupts. Pour l'heure, seules des études très partielles ont été publiées sur les vestiges (Adam et Lasserre, 1996 ; Lasserre et Michler, 2003).

LES PROCESSUS DE RECOUVREMENT DES NIVEAUX ARCHÉOLOGIQUES : UNE REVUE

Le recouvrement de niveaux archéologiques, et plus généralement d'éléments grossiers de la taille des graviers ou des cailloux, fait appel à deux grandes familles de processus :

- l'enfouissement sous des niveaux de sédiments postérieurs, dont l'origine et le mode de dépôt couvrent toute une gamme de situations variées ;
- l'enfoncement dans le matériau originel, formation superficielle ou sol, sur lequel reposaient initialement les artefacts.

Enfouissement sous des sédiments

L'enfouissement des couches archéologiques peut être consécutif au dépôt d'alluvions, particules de tailles variées charriées par les rivières. Le dépôt des alluvions peut être un phénomène récurrent, lié par exemple à des crues saisonnières qui déposent des limons dits « de débordement ». Ce phénomène affecte par exemple de nombreux sites de l'Antiquité gallo-romaine de la vallée du Rhin, comme ceux de Horbourg-Wihr (Ollive et

al., 2006) ou Biesheim (Reddé *et al.*, 2005) en Alsace. Le dépôt des alluvions peut aussi être plus exceptionnel, lié à des phénomènes météorologiques particuliers. C'est le cas des dépôts des alluvions torrentielles, souvent grossières. Un autre fluide susceptible de transporter des particules minérales est le vent. Ce type de dépôt concerne uniquement des particules fines, limons ou sables, en relation avec la force du vent et la nature pétrographique de la source de matériau. Les dépôts éoliens sont nombreux dans les endroits non protégés par la végétation, déserts en particulier. En Alsace, les loess, formés à plus de 80 % de limons, sont des dépôts éoliens datant du Pléistocène (Vogt, 1992). Le recouvrement d'un gisement archéologique peut également être lié à des phénomènes de colluvionnement. Les colluvions sont des particules arrachées par le ruissellement sur les pentes des reliefs et transportées à l'échelle d'un versant. Leur taille varie des argiles aux blocs. Le colluvionnement est donc lié à des phénomènes d'érosion le long de versants peu protégés par la végétation. Ce phénomène peut être naturel; il dépend alors des caractéristiques du milieu: climat, pente, nature du substrat géologique, érodibilité du sol, degré de couverture de la végétation. Mais le colluvionnement est grandement facilité par l'agriculture. Dans de nombreuses régions de la planète Terre, on note en effet une augmentation du phénomène consécutivement à la déforestation et à la mise en culture des sols, et cela dès le Néolithique (par exemple: Brochier, 1991; Gebhardt, 1993; Tricart et Trautmann, 1994; Sellami, 1999; Fourmont *et al.*, 2002; Mäkel *et al.*, 2003). Très souvent, le colluvionnement s'accompagne du remaniement des gisements archéologiques. En effet, le site lui-même peut être en partie affecté par le colluvionnement (le matériel archéologique est alors en partie déplacé), ou bien le recouvrement s'accompagne du dépôt de matériel archéologique érodé en amont. Ainsi, dans les sites colluvionnés, il est fréquent d'observer une « dilatation » verticale des niveaux archéologiques. Un autre mode d'enfouissement résulte du dépôt de matériaux transportés brutalement en masse: coulées de boue, coulées boueuses, glissements de terrain à l'échelle d'une portion de versant ou d'un tronçon de vallée. Pour être complet, il faut encore signaler les processus qui résultent de l'activité volcanique: dépôts de cendres, de lapilli, nuées ardentes, lahar. Mais ces phénomènes particuliers, responsables par exemple de l'enfouissement de sites prestigieux comme Herculaneum et Pompei ne sont pas représentés dans notre région.

Enfoncement des artefacts dans le substratum

L'enfoncement des artefacts dans le matériau du substratum peut, dans l'absolu, résulter de deux types de mécanismes très différents, de nature physique ou biologique. Dans le passé, quelques auteurs ont fait appel à des processus d'origine purement physique: les artefacts archéologiques, au même titre que les éléments grossiers du sol, pourraient s'enfoncer dans le ma-

tériau sous l'effet de leur propre poids. En effet, la densité de l'outillage lithique, des tessons, du mobilier métallique est toujours supérieure à la densité des sols et sédiments, le plus souvent comprise en surface entre 0,8 et 1,5 g/cm³. L'hypothèse a été dans un premier temps proposée par Laporte (1962) pour expliquer la genèse des « stone-lines » (*cf. infra*) qui caractérisent de nombreux sols tropicaux. Mais dans des sols dont la densité apparente avoisine parfois 1,9 en raison de leur richesse en fer, la viscosité nécessaire pour que les éléments grossiers puissent s'enfoncer dans le matériau est telle que les sols ne pourraient subsister sur les pentes (Schwartz, 1996). A la suite de Laporte, Cahen et Moyersons (1977) ont tenté de démontrer expérimentalement la possibilité pour les artefacts préhistoriques de s'enfoncer dans un sol soumis à des alternances d'humectation et de dessiccation, sans vraiment de succès. A l'heure actuelle, cette hypothèse doit être réfutée. En revanche, le recouvrement et la perturbation des gisements par l'activité biologique est une réalité. Une synthèse en a été donnée récemment par Baleck (2002). L'ensemble de ces phénomènes prend le nom de bioturbation. Elle est pour l'essentiel le fait de la macrofaune du sol, en premier lieu les vers de terre et (pour les régions tropicales) les termites. Les fourmis ont aussi un rôle largement sous-estimé. On estime ainsi que chaque année, c'est une fraction non négligeable du sol qui passe dans le tube digestif des vers de terre: dans les sols tempérés, en moyenne 1 % du sol, soit une centaine de tonnes de terre par hectare selon Toutain (1984), tandis que Bouché et Al-Addan (1997) donnent des chiffres de l'ordre de 370 t.ha⁻¹.an⁻¹. Dans les régions intertropicales, Lavelle (1978) estime à 1 250 t.ha⁻¹.an⁻¹ la masse de terre déplacée par les vers de terre en Côte d'Ivoire, alors que Watanabe et Ruaysoongern (1984) donnent des chiffres de 2 600 t.ha⁻¹.an⁻¹ pour la Thaïlande. Dans ces derniers deux cas, c'est entre 10 et 20 cm de sol qui transitent chaque année dans le tube digestif des vers de terre. A l'action de la macrofaune s'ajoute celle des mammifères, dont les terriers perturbent parfois considérablement les sols (rongeurs divers, taupes, blaireaux, renards...). L'action de la macrofaune diffère de celle des mammifères. En effet, si ces derniers peuvent remonter dans les déblais de leurs galeries des éléments grossiers, les vers de terre, termites et fourmis ne remontent en surface que de la terre fine. Les termites peuvent chercher de la terre jusqu'à une quinzaine de mètres de profondeur, comme l'a montré par exemple Bocquier (1973) au Tchad. Les sols tempérés sont moins profonds, mais il nous a été donné d'observer des galeries de lombrics anéciques jusqu'à une profondeur de 1,40 m dans des loess. Or les lombrics anéciques sont précisément les vers de terre qui parcourent l'ensemble du sol, de la surface jusqu'en profondeur. Ce sont eux qui assurent une bonne part des transferts dans les régions tempérées. En conditions initiales, lorsque les artefacts archéologiques sont encore en surface, l'action des vers de terre épigés est également importante, ce que l'on sait depuis les premières observations de Darwin (1881), complétées ultérieurement par quelques autres auteurs

(Wood et Johnson, 1978; Stein, 1983; Armour-Chelou et Andrews, 1994; Yeates et Van der Meulen, 1995; Texier, 2000...). A l'action de la faune du sol se surimpose celle des végétaux. La galette de racines redressées à la verticale qui accompagne les arbres couchés au sol (chablis) lors de tempêtes soulève des centaines de kilos de terre et d'éléments grossiers. Certaines de ces galettes ont un diamètre de plus de 5 m pour une épaisseur de 50 cm. Les chablis sont un facteur de perturbation important des sites archéologiques.

La réflexion sur l'enfouissement des éléments grossiers a fait l'objet de centaines, pour ne pas dire de milliers, de publications dans les régions tropicales, en raison de la présence dans de nombreux sols de ces régions d'une « *stone-line* » très développée, d'épaisseur en général comprise entre 10 et 200 cm, et constituée à plus de 70 % de sa masse par des éléments grossiers. Ces *stone-lines* se trouvent à des profondeurs variables dans les sols, parfois plusieurs mètres. Elles reposent parfois directement sur les altérites. Les niveaux qui les surplombent sont entièrement dépourvus d'éléments grossiers. Chose étrange, les niveaux meubles supérieurs sont entièrement constitués de matériaux pédologiques autochtones, tandis que dans les *stone-lines* on peut trouver des éléments grossiers allochtones, naturels ou archéologiques. Ainsi, en Afrique centrale, des artefacts appartenant à des industries préhistoriques du Middle Stone Age sont très abondants (Lanfranchi et Schwartz, 1991; Schwartz, 1996). D'innombrables hypothèses ont été émises pour expliquer leur genèse, très complexe. Il semble que les *stone-lines* se soient formées grâce à la combinaison de facteurs biologiques (remontées de terre fine par les termites) et de facteurs géomorphologiques (colluvionnement sur les versants). On lira à ce sujet la synthèse donnée par Schwartz (1996). Dans les régions tempérées, il n'y a guère de *stone-lines* aussi développées. Il n'est donc pas étonnant que la réflexion sur l'enfouissement des éléments grossiers n'ait pas fait l'objet d'aussi nombreuses publications, même dans le milieu scientifique que cela devrait intéresser au premier chef, à savoir la communauté des archéologues.

QUELS MÉCANISMES D'ENFOUISSEMENT SUR LE HEXENBERG ?

La situation géomorphologique du Hexenberg et l'âge des industries permettent d'établir un diagnostic clair en ce qui concerne l'enfouissement du niveau archéologique. Il apparaît ainsi que tout un ensemble de processus classiques d'enfouissement des niveaux archéologiques ne peuvent s'appliquer ici.

A l'Âge du Bronze, le Hexenberg avait déjà une configuration proche de l'actuelle: le rempart qui ceinture la colline au niveau de la rupture de pente actuelle est une preuve tangible que cette limite topographique n'a guère évolué depuis 3000 ans. À l'époque, la colline était déjà une butte témoin, lambeau

de terrasse alluviale complètement déconnecté d'un amont. Il est donc rigoureusement impossible que les artefacts archéologiques aient été recouverts par des alluvions. L'absence d'amont permet aussi d'éliminer complètement une hypothèse telle qu'un apport brutal de type glissement de terrain. Par ailleurs, l'âge du gisement permet également d'écarter un recouvrement éolien. À l'Holocène moyen, la couverture végétale de la région était trop dense pour que la déflation éolienne puisse jouer. Qui plus est, le recouvrement du gisement est constitué à près de 70 % par des sables grossiers. Du matériau de cette taille ne peut guère se déplacer que par saltation à proximité du sol. Aucune source ne permet d'envisager de tels apports, qui de plus auraient été complètement limités spatialement à cette colline. Pour écarter définitivement cette hypothèse, rappelons que, même en pleines périodes glaciaires, le vent n'a guère transporté que des limons dans notre région.

Apports alluviaux, dépôts éoliens, glissements de terrain sont donc à éliminer avec certitude du panel des processus qui ont pu contribuer à l'enfouissement des niveaux archéologiques conservés sur le Hexenberg. L'hypothèse du colluvionnement nécessite une discussion à peine plus étoffée. Le matériau qui recouvre le gisement et celui du substratum sont très sableux (entre 80 et 85 % de sables) et très poreux (entre 40 et 70 % de porosité selon le niveau: cf. *infra*). Dans de tels matériaux, l'infiltration de l'eau est très rapide. Pour qu'il y ait colluvionnement, il faut donc des précipitations très abondantes et très violentes. De plus, la pente de la butte-témoin est presque nulle, incompatible avec un ruissellement généralisé et l'érosion qui s'en suit, colluvionnement compris. Les dénivelés mesurés par les topographes sont en effet de l'ordre de 30 cm sur 300 m, soit une pente de l'ordre de 1 ‰. Par ailleurs, le gisement occupe la totalité du plateau. Si certaines zones sont plus riches en artefacts, on rencontre des tessons pratiquement partout. Nous en avons fréquemment remontés dans nos tarières, le plus souvent entre 30 et 60 cm de profondeur. Aux problèmes de matériau et de pente se rajoute donc celui de l'absence d'un amont qui aurait pu produire des colluvions. On voit bien ainsi que l'hypothèse d'un recouvrement par du colluvionnement est à écarter de façon presque aussi certaine que les hypothèses précédentes.

Ainsi, par élimination, il n'y a guère qu'un enfouissement des artefacts par l'activité biologique qui puisse expliquer les caractéristiques géo-archéologiques du gisement. Toutefois, scientifiquement, une démonstration par élimination n'est guère satisfaisante. Pour cette raison, nous avons procédé à différentes investigations de terrain et analyses pour essayer de conforter notre hypothèse.

LES MÉTHODES D'INVESTIGATION

Des observations de terrain ont été effectuées sur le site. Il s'agit de sondages pédologiques à la tarière ainsi que de la

description et de l'analyse d'une coupe creusée à l'aplomb d'une ancienne carrière ou d'une grosse ravine entaillant légèrement la bordure du plateau. Quatre niveaux ont été prélevés à 0-4, 28-32, 58-62 et 85-89 cm de profondeur. Le dernier niveau est situé nettement sous le niveau archéologique, les deux premiers sont situés au-dessus; le troisième correspond pratiquement au sommet du niveau très enrichi en artefacts selon les descriptions des fouilles précédentes. Sur chacun des niveaux ont été mesurés le pH, la teneur en matière organique par perte au feu, la densité apparente sèche de la terre fine (prélèvement de 2 cylindres de 52 cm³ par niveau; séparation des éléments grossiers et de la terre fine; pesée des éléments grossiers; soustraction du volume des éléments grossiers au volume du cylindre; calcul de la densité apparente de la terre fine), et la composition granulométrique mesurée en continu au granulomètre laser. Nous avons également repris ici des analyses faites précédemment par l'INRA d'Arras sur des échantillons de sols prélevés au niveau des structures archéologiques fouillées. Nous avons séparé les données dans deux tableaux différents, pour ne pas induire de biais d'interprétation, les profondeurs de prélèvement et les méthodes d'analyses étant différentes (mesure de la matière organique par perte au feu et granulométrie mesurée au granulomètre laser sur nos échantillons; matière organique via le dosage du carbone par la méthode Anne et granulométrie classique à la pipette Robinson sur les échantillons INRA). L'objectif principal des analyses est de caractériser des paramètres intervenant sur l'activité biologique (granulométrie, pH), ou de mettre en évidence cette activité: tri granulométrique éventuel, ameublissement mesuré par la densité apparente.

Cette étude a été complétée par une étude micromorphologique du sol, effectuée sur des échantillons prélevés par A. Gebhardt lors d'une précédente campagne d'échantillonnage. Les lames minces ont été décrites selon la nomenclature internationale en vigueur (Bullock *et al.*, 1985), traduite en français par Stoops (1996).

RÉSULTATS

Morphologie de la séquence pédo-sédimentaire (description de terrain)

Le matériau dans lequel se développe le sol est une alluvion sableuse ancienne du Rhin, sans doute un niveau « Riss » (Geissert *et al.*, 1976, 1977; Boes, 1997). Il contient des galets de quartz dont la proportion varie avec la profondeur. Le sol est un aloctisol dans la nomenclature du Référentiel Pédologique (Baize et Girard, 1995), c'est-à-dire un sol brun acide (*photo 1*). Il est constitué d'un horizon de surface A organo-minéral, à humus de type moder, épais de 12 à 13 cm. On passe ensuite en quelques centimètres à un horizon structural S_{al}, puis progressivement

vers 70-80 cm à l'horizon d'altération C. L'ensemble du sol est très sableux, et les structures biologiques sont peu visibles à l'exception de l'horizon de surface dans lequel la structure microagrégée, de type « grains de couscous » est d'origine faunistique. On note localement une tendance vers la podzolisation, qui se traduit sous végétation forestière ancienne et dense, par la présence d'un humus de type moder-mor contenant de nombreux grains de quartz nus. À partir de 50 cm environ apparaissent des bandes légèrement plus argileuses et plus compactes, très nettes en dessous de 70 cm de profondeur. Ces bandes n'ont pas une origine sédimentaire, mais pédologique. D'aspect légèrement plus argileux et plus compact que le reste du matériau, elles se révéleront être plutôt ferri-organiques au microscope (*tableau 3*). L'occurrence de bandes argileuses en milieu sableux est connue dans la littérature sous le nom de « Bt en bandes ». Elles sont fréquentes dans de nombreux sols sableux, sans que leur origine soit bien identifiée (Legros, 1970; Robin et De Coninck, 1975).

LES DONNÉES ANALYTIQUES

Matière organique

Les teneurs en matières organiques des horizons de surface sont très variables entre les deux profils analysés (*tableaux 1 et 2*), mais difficiles à comparer en raison des profondeurs et épaisseurs de tranches de prélèvement différentes. Elles sont peu élevées au niveau de la fouille (3,3 %), mais cette teneur est normale sur des sols sableux. Elles sont bien plus élevées sur le profil décrit en 2009: 11 % en surface. Cette dernière valeur est à relier au fait que le prélèvement, très superficiel, n'intègre que les 4 premiers centimètres du sol. Les teneurs décroissent très vite avec la profondeur dans les deux profils.

pH

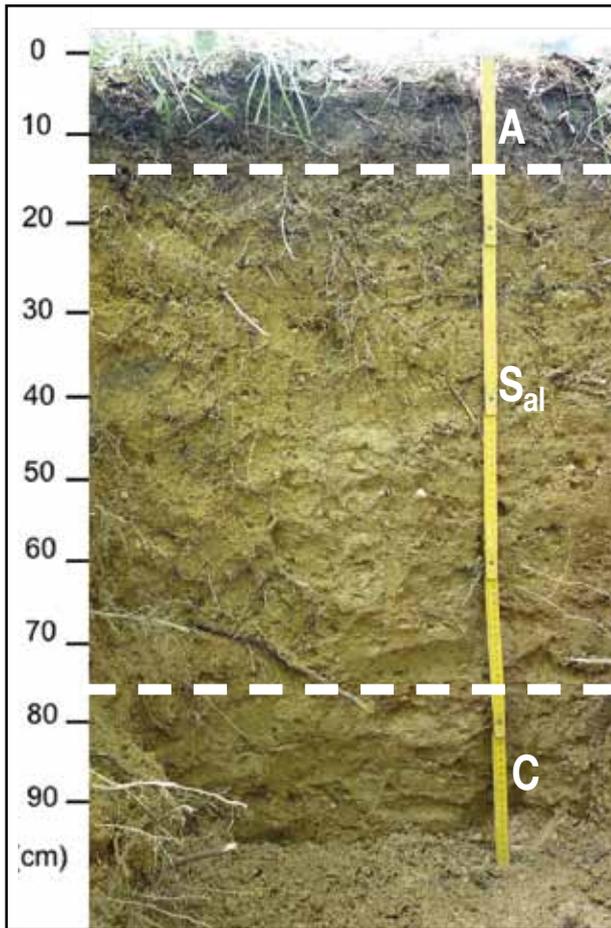
Les pH sont très acides. On observe une petite différence entre les deux profils. Sur le site archéologique même, ils sont compris entre 4,2 en surface et 4,6 en profondeur (*tableau 1*). Sur le profil 2009, ils varient entre 3,1 et 4,1 (*tableau 2*). Cette différence pourrait être liée au fait que sur le site même, l'analyse met en évidence la présence d'un peu de calcaire total, très faible en soi (4 g/kg de sol), mais étonnante dans de tels types de sols. Il s'agit vraisemblablement d'apports d'origine anthropique, sous une forme restant à déterminer (chaux? microfragments d'ossements?).

Densité apparente et porosité

La densité apparente du profil (tabl. II) 2009 varie considérablement avec la profondeur. En surface, elle n'est que de 0,55, ce qui est très faible dans l'absolu, même avec des teneurs en ma-

Photo 1 - Profil de sol décrit en 2009. Cliché D. Schwartz.

Photo 1 - Soil profile described in 2009.



tière organique de 11 %. La densité apparente enregistrée vers 30 cm de profondeur est encore faible (environ 1). Des valeurs habituelles pour des matériaux aussi sableux se trouvent à partir de 50 - 60 cm environ (1,3 à 1,4).

En approximant la densité réelle du matériau à 2,5 (soit la densité du quartz et des argiles) pour les 3 horizons inférieurs et à 2,35 pour le niveau superficiel, compte tenu de sa forte teneur en matière organique, on peut calculer la porosité du sol. Celle-ci est, de la surface à la profondeur, respectivement de 77, 59, 48 et 45 %. On notera une nette différence entre les 2 niveaux supérieurs, où la porosité est extrêmement forte, et les deux niveaux inférieurs, où bien qu'encore élevée, elle est plus conforme aux valeurs moyennes relevées en général dans les sols sableux.

Courbes granulométriques

L'analyse granulométrique confirme la prédominance des sables grossiers (80 à 85 % dans le profil que nous avons prélevé, 70 à 75 % dans le profil analysé par l'INRA). Les courbes granulométriques des quatre niveaux analysés au granulomètre laser se superposent pratiquement (*figure 1*): le matériau qui recouvre le niveau archéologique est rigoureusement de même nature que les niveaux situés en dessous. Tout au plus relèvera-t-on un très léger enrichissement en particules fines de l'horizon très superficiel : la somme des teneurs en argile et limons y est d'environ 10 % contre 4 à 7 % pour les autres horizons. Cet enrichissement s'observe très bien sur les valeurs reportées dans le *tableau 2*. On y note que les proportions d'argile, de limons fins et de limons grossiers doublent entre 30 cm de profondeur et la surface.

Teneurs en éléments grossiers

Ces éléments grossiers sont des galets, de quartz pour l'essentiel. La teneur est faible dans l'horizon de surface (7 %). Elle augmente avec la profondeur, pour atteindre un pic entre 52 et

Tableau 1 - Analyses de sols (effectuées par le laboratoire de l'INRA Arras) au niveau de la fouille sur les niveaux analysés en micromorphologie.

Table 1 - Chemical soil analysis of the same archaeological site profile described by soil micromorphology Analysis by INRA, Arras, France.

| Profondeur (cm) | n° lame mince | pH eau | Calcaire total | Carbone organique | Matière organique | Azote total | C/N | Argiles (0-2 µm) | Limons fins (2-20 µm) | L. grossiers (20-50 µm) | Sables fins (50-200 µm) | S. grossiers (200-2000) |
|-----------------|---------------|--------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------|-------|--------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | g.kg ⁻¹ | | | | | g.kg ⁻¹ | | | | |
| 05 - 15 | 6 | 4,2 | 4 | 19,65 | 33,8 | 0,7 | 28,07 | 70 | 79 | 59 | 107 | 681 |
| 20 - 30 | 5 | 4,5 | 4 | 3,75 | 6,5 | 0,22 | 17,05 | 67 | 68 | 50 | 87 | 724 |
| 45 - 55 | 3 | 4,4 | 4 | 1,57 | 2,7 | 0,16 | 9,81 | 60 | 69 | 51 | 106 | 710 |
| 70 - 82 | 1 | 4,6 | 4 | 0,5 | 0,9 | 0,09 | 5,56 | 34 | 42 | 50 | 126 | 744 |

Tableau 2 - Analyses de sols (effectuées par l'UMS 830, Strasbourg) sur le profil décrit en 2009.**Table 2** - Soil analysis of the soil profile described in 2009 (Analysis by UMS 830 Strasbourg).

| n° échant | profondeur (cm) | pH eau | Densité apparente | Densité réelle* | Porosité | Matières organiques | Éléments grossiers | Argiles (0-2 µm) | Limons fins (2-20 µm) | L. grossiers (20-50 µm) | Sables fins (50-200 µm) | S. grossiers (200-2000 µm) |
|-----------|-----------------|--------|--------------------|--------------------|----------|---------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| | | | g.cm ⁻³ | g.cm ⁻³ | (%) | g.kg ⁻¹ | (%) | g.kg ⁻¹ | | | | |
| Hex001DS | 0-4 | 3,14 | 0,55 | 2,35 | 77 | 119,3 | 7,1 | 17,6 | 46,9 | 32,1 | 98,4 | 805 |
| Hex002DS | 28-32 | 3,94 | 1,03 | 2,5 | 59 | 19,1 | 11,7 | 8 | 16,5 | 15,1 | 101,4 | 859 |
| Hex003DS | 58-62 | 4,1 | 1,31 | 2,5 | 48 | 4,2 | 28,3 | 9,4 | 19,3 | 17,8 | 98,5 | 855 |
| Hex004DS | 85-89 | 3,97 | 1,39 | 2,5 | 45 | 3,5 | 19,4 | 12,6 | 25,7 | 20,4 | 103,3 | 838 |

* estimée

68 cm (28 %), c'est-à-dire dans le niveau archéologique. Dans l'horizon C, elle décroît à 19 %.

MICROMORPHOLOGIE DES SOLS

L'interprétation brute des lames minces est donnée par le tableau 3. Les niveaux analysés sont donnés sur la figure 2, qui comprend aussi des photographies des lames minces.

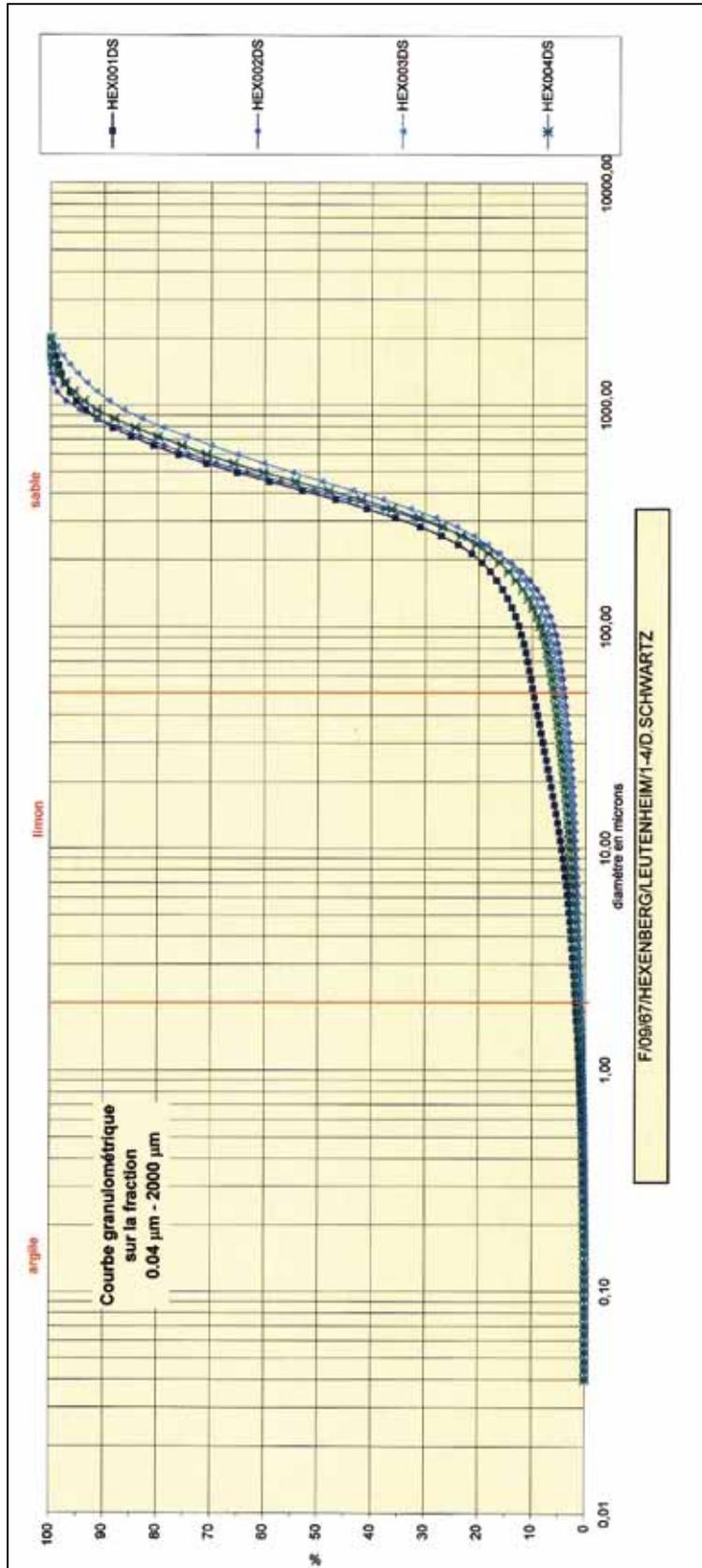
Au microscope, le profil prélevé au niveau du site archéologique (tableau 3 et figure 2) est constitué d'un sable assez grossier affecté par une structure plus ouverte au sommet devenant plus compacte, avec une matrice fine plus abondante vers la base. Les composants minéraux grossiers sont les mêmes tout au long du profil, avec toutefois une plus forte proportion d'éléments plus grossiers vers la base du profil. La fraction matricielle qui enrobe les différents composants se densifie vers la base et semble peu argileuse (faible biréfringence). Elle passe de la forme écaillée, c'est-à-dire en boulettes peu abondantes, à une répartition chitonique en ponts entre les éléments, puis à la forme porphyrique qui englobe tous les grains. La fraction organique fraîche n'est bien représentée que dans la partie supérieure du profil (figure 2-L6). Micro-charbons (figure 2-L5, L4) et phytolithes (squelette siliceux de graminées, figure 2-L4a,d) sont surtout présents dans la moitié supérieure du profil. Les indices d'activité biologique du sol sont surtout présents en surface sous la forme de déjections de petits vers de terre blancs (les Enchytréides). L'absence de traces de vers de terre s'explique par un matériau sableux très acide peu propice à leur développement. L'action des fourmis et autres insectes fouisseurs reste difficile à observer dans ce matériau sableux, car leur action est essentiellement mécanique, transportant des grains de sables de la profondeur vers la surface pour creuser des galeries qui s'effondrent régulièrement. Parmi les rares indices de remaniement, on peut noter un petit fragment de charbon pris dans une gangue d'horizon de sol plus compacté et peu émoussé indiquant une prove-

nance proche (figure 2-L5). Le faible remaniement en masse du sédiment est également mis en évidence par la présence de gros charbons, éclatés sur place et peu disloqués (figure 2-L5). Dans la moitié inférieure du profil apparaissent des revêtements ferri-organiques sous forme de bandes orangées (figure 2-L2) qui semblent se mettre en place après l'occupation du site. En effet, ces bandes semblent localement reposer sur des artefacts anthropiques (comme le fragment de poterie de la figure 2-L3). L'activité biologique ne semble pas avoir perturbé des bandes dont la mise en place ne peut être datée précisément. L'occurrence de ces bandes ferri-organiques dans les sables de l'Hexenberg ne sont sans doute pas à comparer aux doublets argileux d'origine périglaciaire observés dans les limons (Robin et De Coninck, 1975; Legros, 1970). Sur le Hexenberg, les bandes ne sont pas argileuses mais sont peut-être à lier à un début de différenciation d'horizons humo-ferrugineux au sein des podzols de dégradation décrits par Duchaufour (1977). Quelques revêtements argileux poussiéreux non remaniés (brun gris, empoussièrément gris/noir, figure 2-L4c) sont également observés au sein du niveau d'occupation. Ce type de trait microscopique observé par Jongeius (1970) dans les sols labourés caractérise l'effet 'splash' de la pluie sur un sol sans végétation. Ici, on pourrait relier ces traits à une circulation intense sur un sol au moins temporairement humide. Leur conservation pourrait indiquer un recouvrement relativement rapide du niveau de circulation.

INTERPRÉTATION DES ANALYSES ET DISCUSSION

Les analyses de sol effectuées sur le profil 2009 apportent des éléments d'interprétation clairs. En premier lieu, l'identité granulométrique presque parfaite entre le substrat et le matériau qui recouvre le niveau archéologique montre que ce recouvrement est directement issu, pratiquement sans tri supplémentaire, du substrat. Seuls deux mécanismes permettent d'expliquer ce fait:

Figure 1 - Courbes granulométriques du profil décrit en 2009.
 Figure 1 - Grain-size analysis of the profile described in 2009.



la bioturbation ou un colluvionnement à très faible distance. Toutefois, le colluvionnement est quasiment impossible ici. Nous avons donné *supra* des arguments généraux qui montraient que ce processus était peu vraisemblable. La très forte porosité du matériau qui recouvre le niveau archéologique renforce nos arguments. Le colluvionnement a en général plutôt tendance à tasser le matériau. À l'inverse, le brassage du matériau pédologique par la macrofaune est un processus assez général et bien connu d'ameublissement des sols et d'augmentation de leur porosité, même si des exceptions ont été relevées dans le monde tropical (Chauvel *et al.*, 1999). Les valeurs de la porosité dans la partie supérieure du profil, extrêmement élevées, ne peuvent s'expliquer que par l'activité de la faune du sol. De plus, cette très forte porosité, comprise entre 60 % et plus de 75 % dans les niveaux situés au dessus du gisement archéologique, a pour corollaire une augmentation des vitesses d'infiltration de l'eau dans le sol. Si l'on se rappelle que les pentes sont de l'ordre de 1 ‰, qu'il n'y a pas d'amont susceptible de fournir le matériau, le colluvionnement devient quasiment impossible.

C'est donc bien à la bioturbation qu'il convient de rapporter le recouvrement du niveau archéologique. L'ensemble de ces processus explique bien les caractéristiques analytiques relevées sur le profil 2009 :

- identité granulométrique du matériau de recouvrement et du substrat,
- très léger enrichissement en fines du niveau superficiel (alors que dans un sol dont la tendance actuelle est à la podzolisation, on aurait pu s'attendre au contraire à une diminution de la teneur en fines),
- enrichissement en éléments grossiers naturels (galets provenant du matériau) à la même profondeur que le niveau archéologique;
- porosité très forte dans les niveaux superficiels, moins élevée à partir du niveau archéologique.

Figure 2 - Analyse micromorphologique du profil au niveau du site archéologique. Les triangles marquent l'emplacement de fragments de poterie. Les étoiles l'emplacement des analyses pédo-chimiques faites au niveau du site (tableau 1).

L6: aspect général de l'horizon de surface A1, très organique et bioturbé.
 L5a: fragment de charbon pris dans un fragment de sol allochtone remanié.
 L5b: charbon fragmenté sur place et donc peu remanié.
 L4a: aspect général de l'horizon B.
 L4b: détail de la lame précédente, avec de nombreux phytolithes (P) et un fragment de revêtement ferri-argileux orangé remanié (FfaR).
 L4c: fragment ferri-argileux orangé remanié et revêtement argileux poussiéreux (RP) grisâtre en place.
 L4d: abondants micro charbons et phytolithes.
 L3: fragment de poterie pris dans une bande ferri-argileuse non remaniée.
 L2: bande d'accumulation ferri-argileuse.

Figure 2 - Soil Micromorphological analysis from the archaeological soil profile. Triangles indicates potteries, stars place of chemical analysis (table 1)

L6 : General aspect of Surface Horizon A1, very organic et bioturbated
 L5a :Charcoal fragment in a reworked soil fragment.
 L5b : In situ, non reworked, fragmented charcoal.
 L4a : General aspect of B horizon
 L4b : Details for L4a, with numerous phytolithes (P) and one fragment of reworked orange iron-clayey coating (FfaR)
 L4c : Reworked orange iron-clayey coating and in situ grey clayey dusty coatings (RP)
 L4d : Abondant micro charcoals and phytolithes.
 L3 : Potery fragments in an iron clayey undistrubed band.
 L2 : Iron clayey accumulation band.

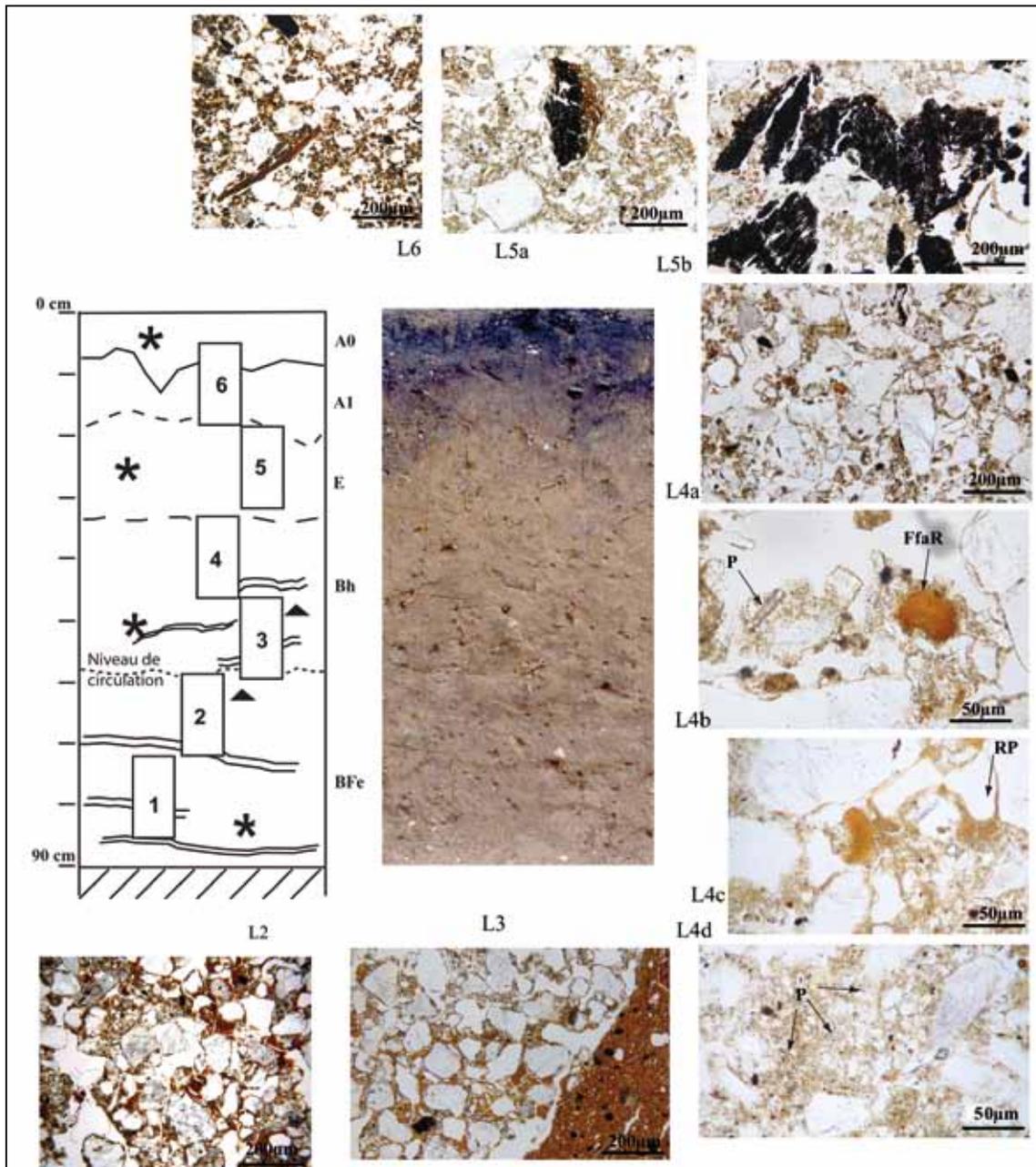


Tableau 3 - Description micromorphologique du profil.**Table 3** - Soil profile micromorphological description.

| | Microstructure | Constituants | Traits micromorphologiques |
|-------------------------|--|---|--|
| L6 -5 -15 cm | Microstructure à entassement lâche de déjections, bien développées, bonne porosité entre les déjections de la microfaune, rares chambres agrégats organiques (déjections) millimétriques arrondis bien individualisés. | Quartz et quartzites émoussés (40 %) sables grossiers dominants (0,25/1 mm), masse énaulique, de très faible biréfringence. Nombreux fragments organiques frais, abondants hyphes de champignons (?), abondants phytolithes (2 %), nombreux micro-charbons. | Déjections arrondies (25 µm) d'enchytréides Quelques concrétions ferrugineuses denses. |
| L5 -20 -30 cm | Microstructure plus compacte à entassement de déjections, bonne porosité entre les agrégats, quelques chambres mieux visibles. | Quartz et quartzites émoussés (40 %) sables grossiers dominants (0,25/1 mm), masse chitonique de très faible biréfringence. Fragments organiques frais nettement moins abondants, localement quelques accumulations de "jus organiques" isotropes, abondants phytolithes (2 %), nombreux micro-charbons, quelques gros fragments charbonneux en connexion. | Déjections d'enchytréides un peu moins abondantes, Quelques concrétions ferrugineuses denses. Charbon avec revêtements de sol remanié |
| L4 -35 -45 cm | Microstructure plus compacte, déjections plus petites isolées dans les cavités, bonne porosité entre les agrégats, quelques chambres et de rares bio-galeries verticales mieux marquées. | Quartz et quartzites émoussés (40 %) sables grossiers dominants (0,25/1 mm), quelques très gros éléments gréseux (0,5 cm) masse géfurique à porphyrique de très faible biréfringence. Fragments organiques frais rares, localement quelques accumulations de 'jus organiques' isotropes, abondants phytolithes (2 %), micro-charbons, une déjection phosphatée avec phytolithes (herbivore?). | Quelques accumulations ferri-organiques sous forme de bandes en place et localement des fragments de ces accumulations et remaniés. Quelques revêtements argileux poussiéreux épars en place. |
| L3 -45 -55 cm | Microstructure assez compacte, bonne porosité entre les agrégats, quelques chambres, de rares bio-galeries verticales, quelques fissures horizontales bien marquées. | Quartz et quartzites émoussés (40 %) sables grossiers dominants (0,25/1 mm), quelques très gros éléments gréseux (0,5 cm) masse porphyrique de très faible biréfringence. Fragments organiques frais rares, abondants phytolithes (2 %), micro-charbons, un gros tesson (1,5 cm) | Abondantes accumulations ferri-organiques sous forme de bandes épaisses (0,5 cm). Quelques rares accumulations poussiéreuses peu épaisses dans de petites cavités ou en coiffe sur certains éléments grossiers. |
| L2 -58 -70 cm | Microstructure compacte, bonne porosité inter-agrégats, quelques chambres, de rares bio-galeries verticales, quelques fissures horizontales bien marquées. | Quartz et quartzites émoussés (40 %) sables grossiers dominants (0,25/1 mm), gros éléments gréseux plus abondants (0,5/1 cm) masse porphyrique de très faible biréfringence. Phytolithes moins abondants (1 %), rares micro-charbons. | Toujours abondantes accumulations ferri-organiques sous forme de bandes épaisses. Accumulations poussiéreuses mieux marquées sous forme de bandes dans la porosité. |
| L1 -70 -82 cm | Microstructure compacte, bonne porosité, quelques chambres, de rares bio-galeries verticales, quelques fissures horizontales bien marquées. | Quartz et quartzites émoussés (40 %) sables grossiers dominants (0,25/1 mm), gros éléments gréseux plus abondants (0,5/1 cm) masse porphyrique de très faible biréfringence. Phytolithes moins abondants (1 %), rares micro-charbons. | Toujours abondantes accumulations ferri-organiques sous forme de bandes épaisses. Accumulations poussiéreuses mieux marquées sous forme de bandes dans la porosité, ou isolées. |

A ces éléments analytiques s'ajoute également l'interprétation de nombreuses photos prises par M. Lasserre (1997) lors des fouilles : de nombreuses structures archéologiques s'effacent complètement dans les 40 cm supérieurs du sol. La limite entre la partie inférieure, bien conservée, et la partie supérieure, obli-térée, se fait par une transition où les matériaux s'interpénètrent selon une morphologie caractéristique de l'activité de la macro-faune : on observe clairement un mélange de matières des deux horizons, sous forme de taches à section arrondies (par exemple, photo 9 du rapport de fouilles de M. Lasserre (1997), correspon-dant au secteur 26, structures 209 et 206).

Une activité biologique d'une telle ampleur peut paraître sur-prenante dans des sols aussi acides et sableux. C'est toutefois une réalité. A titre d'illustration, nous présentons ici une photo (*photo 2*) prise dans la forêt de Haguenau, dont les sols tout aussi sableux et acides, sont analogues à ceux du Hexenberg, juste après un incendie. Le contraste de couleur lié à la présence de particules carbonisées en surface du sol met bien en évidence les remontées de sable par des animaux de la macrofaune, four-mis sans doute. Au vu de sa couleur franchement jaune, il semble bien que ce sable ait été remonté d'une profondeur supérieure ou égale à 20 cm au moins.

Si le recouvrement des niveaux archéologiques du Hexenberg par l'activité biologique ne fait guère de doute, il est plus difficile de préciser quels sont les organismes qui en sont responsables. D'une façon très générale, les traces directes de l'activité biolo-gique, telles que des turricules de vers de terre, se conservent mal dans les sols sableux, même si là aussi des exceptions sont signalées, comme dans les savanes de Côte d'Ivoire (Blanchart, 1990). L'analyse micromorphologique ne met guère en évidence que des boulettes fécales d'Enchytréides. S'il est vraisemblable que ce soit ce groupe zoologique qui soit responsable de la très faible densité apparente de l'horizon de surface, il est douteux que les Enchytréides aient pu provoquer un recouvrement d'une telle ampleur, l'activité de ce groupe zoologique se concentrant dans les horizons supérieurs du sol. Les fourmis, dont le rôle est souvent sous-estimé, ont sans doute contribué à cette action. Mais il est également difficile de croire que leur seule action aurait pu aboutir à la formation d'un recouvrement atteignant par endroits 60 cm d'épaisseur. En fait les organismes les plus efficaces pour cela sont les vers de terre. Mais ceux-ci sont peu abondants dans les sols très acides (Toutain, 1984). Toutefois, il semble que des actions comme le pâturage en forêt, probable par le passé, puisse avoir un impact indirect sur les sols acides en augmentant l'activité biologique du sol sans modifier son acidité et sa pauvreté en bases (Langohr, 2001). Nous pouvons égale-ment proposer une autre hypothèse : il est très possible que les sols aient été au moment de l'abandon du site par les hommes de l'Age du Bronze moins acides qu'actuellement. D'une part, le cou-vert végétal n'était sans doute pas constitué d'une forêt, végéta-tion dont certains faciès sont acidifiants : les résineux en premier lieu, mais aussi les chênaies, essences sous lesquelles la po-

Photo 2 - Mise en évidence de remontée de matériau profond (en jaune) en surface du sol (en noir, la photo ayant été prise juste après un incendie). Sols sableux de la forêt de Haguenau, à granulométrie comparable à celle des sols du Hexenberg. Cliché D. Ertlen.

Photo 2 - Deep yellow soil material brought to surface contrasting with the black color of soil surface after burning as an evidence of macrofaunal (ants) bioturbation. Sandy soils from the Haguenau forest, same grain-size characteristics than Hexenberg soils.



dzolisation peut être active (Duchaufour, 1977). D'autre part, les effets directs (apports d'amendements organiques) ou indirects (présence d'ossements divers qui sont source de calcium et de phosphore) de l'activité humaine ont pu limiter pendant un laps de temps plus ou moins long l'acidification des sols, qu'au contraire la politique forestière moderne a accentué depuis le XIX^e siècle. La légère différence de pH observée directement entre le site et le profil 2009 plaide également en ce sens. Il est très vraisemblable que dans les premiers temps qui ont suivi l'abandon du site, les sols du Hexenberg, occupés par une végétation ouverte amélio-rante, et fertilisés par des apports volontaires (amendements) ou non (déchets divers, ossements), aient été moins acides. Dans ce contexte, une activité plus importante des vers de terre dans les siècles qui ont immédiatement suivi l'abandon du site n'est pas à exclure. L'un d'entre nous a pu observer, dans un contexte certes très différent, des exemples d'activité biologique très intense sur une courte période : à une vingtaine de kilomètres au nord de Pointe-Noire (Congo), un site de l'Age du Fer abandonné il y a 1 800 ans environ, situé au sommet d'une colline, a été recouvert si rapidement par l'activité des termites, que l'horizon organique A a été en partie conservé (Schwartz, inédit). Un ralentissement, voire un arrêt de l'activité des lombrics après une période indé-terminée (quelques siècles ?) permettrait aussi de comprendre

l'apparition des Bt en bandes, dont la micromorphologie montre que leur formation est postérieure à l'enfouissement des artefacts archéologiques.

On peut ainsi proposer un scénario explicatif de l'évolution du site.

Phase 1: abandon du site; la surface du sol (au sens pédologique) est le niveau de circulation (au sens archéologique).

Phase 2: recouvrement par les remontées biologiques dans un contexte un peu moins acide. L'ensemble des artefacts protohistoriques subit de ce fait un enfoncement relatif, ce qui explique une certaine dilatation verticale du niveau de circulation. Dans le matériau de recouvrement, les structures archéologiques ne sont pas conservées, les artefacts sont dispersés sur 20-30 cm d'épaisseur.

Phase 3: Le milieu s'acidifie, l'activité biologique des vers de terre est moins intense. Les vers de terre sont relayés par les fourmis, et en surface par les Enchytréides. Des mammifères (taupes, lapins...) et les chablis ajoutent une touche supplémentaire, qui explique une recharge partielle en éléments grossiers (galets) et artefacts archéologiques de la partie superficielle du sol.

CONCLUSION

Même si les éléments analytiques que nous avons développés ne permettent pas de trancher avec certitude (notamment pour ce qui est des organismes responsables de la bioturbation), le scénario que nous proposons est le plus vraisemblable. On l'a vu, les processus géomorphologiques n'offrent pas d'alternatives crédibles, au regard des conditions de milieu qui caractérisent le site, son environnement spatial et sa chronologie. Ce scénario est tout de même conforté par les analyses pédo-sédimentaires que nous avons effectuées.

Nous voudrions ajouter un point qui nous semble important. Le site du Hexenberg est un remarquable cas d'école, car ses caractéristiques morphologiques rendent *de facto* le scénario du recouvrement biologique comme étant le plus vraisemblable, pour ne pas dire le seul possible. L'approche pédo-archéologique, irréfutabile, éclaire les conditions de conservation du site, et notamment le fait que la « surface de circulation » archéologique soit si peu visible. Mais les leçons que l'on peut tirer de l'analyse de ce cas d'école vont bien plus loin. En effet, il n'y a aucune raison de considérer que l'activité biologique ne s'exerce qu'en terrain plat, bien au contraire. Il est dès lors vraisemblable qu'une partie des processus d'enfouissement de gisements archéologiques interprétés, par habitude culturelle ou confort intellectuel, en présence de pente comme résultant du colluvionnement soit en fait l'œuvre de la faune du sol. Il conviendrait que les archéologues prennent à l'avenir ce fait davantage en considération, car son intégration dans le raisonnement permettrait peut-être de mieux aborder la question de la présence d'artefacts en position *a priori* aberrantes en contexte archéologique.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent à Marina Lasserre qui nous a autorisés à reproduire sous une forme à peine modifiée le texte à paraître dans la synthèse des travaux archéologiques effectués sur le Hexenberg, à Mme Anne McConnell, Consultante - Cultural Heritage Management, Archaeology & Quaternary Geoscience à Hobart (Australie), qui a effectué la mise en forme du résumé anglais et à Mme Martine Trantmann (UMS 830) qui a effectué les analyses de sol.

BIBLIOGRAPHIE

- Adam A.M. et Lasserre M., 1996 - Le site archéologique du Hexenberg à Leutenheim (Bas-Rhin): premiers résultats des fouilles 1994-1995. Cah. Alsaciens d'Art, d'Archéologie et d'Histoire, 39, 35-48.
- Armour-Chelu M. et Andrews P., 1994 - Some effects of bioturbation by earthworms (*Oligochaeta*) on archaeological sites. *J. Archaeol. Sci.* 21, 433-443.
- Baize D. et Girard M.C. (éds.), 1995 - Référentiel pédologique. INRA, Paris, 332 p.
- Baleck C.L., 2002 - Buried artifacts in stable upland sites and the role of bioturbation: a review. *Geoarchaeology*, 17,1, 41-51.
- Blanchart E., 1990 - Rôle des vers de terre dans la formation et la conservation de la structure des sols de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire). Thèse Univ. Rennes I, 163 p.
- Bocquier G., 1973 - Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Mém. n° 62, ORSTOM, Paris, 350 p.
- Boes X., 1997 - Approche géomorphologique. In: M. Lasserre, Prospection thématique 1997 : programme P. 15. L'environnement du site du Hexenberg, Leutenheim (67) à la transition Bronze-Fer. SRA-DRAC, Strasbourg, p. 14-21.
- Bouché M.B., 1979 - Contribution des lombriciens aux migrations d'éléments dans les sols tempérés. In: Migrations organo-minérales dans les sols tempérés. Colloques Internationaux du CNRS, p. 145-153.
- Bouché M.B. et Al-Addan F., 1997 - Earthworms, water infiltration and soil stability: some new assessments. *Soil Biol. Biochem.*, 29, 441-452.
- Brochier J.E., 1991 - Géoarchéologie du monde agropastoral. In: J. Guilaine (éd.), Pour une archéologie agraire. Armand Colin, Paris, p. 303-322.
- Bullock P., Fedoroff N., Jongerius A., Stoops G., Tursina T., et Babel U., 1985 - Handbook for soil thin section description. Waine Research Publication, 152 p.
- Butler David R., 1995 - Zoogeomorphology. Animal as geomorphic agents. Cambridge University Press, 230 p.
- Cahen D. et Moeyersons J., 1977 - Subsurface movement of stone artefacts and their implications for the prehistory of Central Africa. *Nature*, 266, 5605, 812-815.
- Canti Matthew G., 2005 - Wondering about Worms, Stones, Soils and Stratigraphy. In: Fertile Ground, papers in honour of Susan Limbrey, Symposia of the Association for Environmental Archaeology n° 22, Smith D.N., Brickley M.B., Smith S. (ed), Oxbow books, p. 30-42.

- Chauvel A., Grimaldi M., Barros E., Blanchart E., Desjardins T., Sarrazin M. & Lavelle P., 1999 - Pature damage by an Amazonian earthworm. *Nature*, 398, 32.
- Darwin, C., 1881 - The Formation of Vegetable Mould Through the Action of Worms with Some Observations on Their Habits. John Murray, London.
- Duchaufour P., 1977 - Pédologie. T.1. Pédogenèse et classification. Masson, Paris, 477 p., 2^e éd.
- Gebhardt A., 1993 - Micromorphological evidence of soil deterioration since the mid-Holocene at archaeological sites in Brittany, France. *The Holocene*, 3, 333-341.
- Gebhardt A. et Marguerie D., 2006 - Les sols, leur couvert végétal et leur utilisation. *In*: Monuments mégalithiques à Locmariaquer (Morbihan), Le long Tumulus d'Er Grah dans son environnement, C.-T. Leroux (dir.), CNRS (éd.), p. 13-23.
- Geissert F., Ménéillet F. et Farjanel G., 1976 - Les alluvions rhénanes dans le département du Bas-Rhin. *Sc. Géol.*, 29, 121-170.
- Geissert F., Ménéillet F. *et al.*, 1977 - Notice. Carte géologique à 1/50 000, feuille Seltz-Wissembourg, n° 169. BRGM, Orléans.
- Gobat J.M., Aragno M. et Matthey W., 2005 - Le sol vivant. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, collection: Gérer l'environnement, 570 p.
- Green W.P., Pettry D.E. et Switzer R.E., 1998 - Formicarius Pedons, the Initial Effect of Mound-Building Ants on Soils, *Soil Survey Horizon*, 39, 2, 31-60.
- Jongerijs A., 1970 - Some morphological aspects of regrouping phenomena in dutch soils. *Geoderma*, 4, 311-331.
- Feller C., Brown G.G., Blanchart E., Deleporte P. & Chernyanski S.S., 2003 - Charles Darwin, earthworms and the natural sciences: various lessons from past to future. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99, 29-49.
- Fourmont A., Macaire J.J., Bréheret J., Argant J., Di-Giovanni C., Gay I., Lopez Saez J.A., Prat B., Trément F. et Vernet G., 2002 - Influence des activités humaines sur la production et le stockage de matières à l'Holocène dans le bassin lacustre de Sarliève (Puy-de-Dôme, France). *In*: Colloque Eclipse, 21-22/10/02, Paris, vol. résumés, 2 p. (non paginé).
- Lanfranchi R. et Schwartz D., 1991 - Les remaniements de sol pendant le Quaternaire supérieur au Congo. Evolution des paysages dans la région de la Sangha. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 26, 1, 11-24.
- Langohr R., 2001 - L'anthropisation du paysage agricole de la Belgique depuis le Néolithique ancien - apport de la pédoarchéologie. *Etude et Gestion des Sols*, 8, 2, 103-118.
- Laporte G., 1962 - Reconnaissance pédologique le long de la voie ferrée COMLOG. ORSTOM, Brazzaville, 149 p.
- Lasserre M. (éd.), à paraître - Synthèse des travaux consacrés au site de la fin du Bronze final du Hexenberg.
- Lasserre M. et Michler M., 2003 - Deux gros outils en alliage cuivreux de la fin du Bronze final découverts sur les fouilles 2002 au Hexenberg, Leutenheim (Bas-Rhin). *Bull. Soc. Préhist. Fr.*, 100, 4, 791-797.
- Lavelle P., 1978 - Les vers de terre de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire). Peuplements, population et fonctions de l'écosystème. *Publ. Lab. Zool., ENS Paris*, 12, 1-301.
- Lenselink G., Kroonenberg S.B. et Loison G., 1990 - Pleniglacial to Holocene paleo-environments in the Artière basin in the western Limagne rift valley, Massif Central, France. *Quaternaire*, 1, 2, 139-146.
- Legros J.-P., 1976 - Migrations latérales et accumulations litées dans les arènes du massif cristallin et cristallophyllien du Pilat, Ardèche, Loire, Haute Loire, *Science du Sol*, 3, 205-220.
- Mäckel R., Schneider R. et Seidel, J., 2003 - Anthropogenic impact on the landscape of southern Badenian (Germany) during the Holocene-documented by colluvial and alluvial sediments. *Archaeometry*, 45, 3, 487-501.
- Ollive V., Petit C., Garcia J.P. et Reddé M., 2006 - Rhine flood deposits recorded in the gallo-roman site of Oedenburg (Haut-Rhin, France). *Quaternary International*, 150, 28-40.
- Reddé M., Nuber H.U., Jacomet S., Schibler J., Schucany C., Schwarz P.A. et Seitz G. avec la collaboration de Ginella F., Joly M., Plouin S., Plogmann H.H., Petit C., Popovitch L., Schlumbaum A., Vandorpe P., Viroulet B., Wick L., Wolf J.J., Gissinger B., Ollive V. et Pellissier J., 2005 - Oedenburg: une agglomération d'époque romaine sur le Rhin supérieur: fouilles françaises, allemandes et suisses sur les communes de Biesheim et Kunheim (Haut-Rhin). *Gallia*, 62, 215-277.
- Robin.-M. et De Coninck F., 1975 - Interprétation d'un horizon pédologique profond ferro-argillique en forêt de Fontainebleau, *Science du Sol*, 3, 213-228.
- Schwartz D., 1996 - Archéologie préhistorique et processus de formation des stone-lines en Afrique centrale (Congo-Brazzaville et zones périphériques). *Geo-Eco-Trop*, 20,1/4, 15-38.
- Sellami F., 1999 - Reconstitution de la dynamique des sols des terrasses de la Dordogne à Creysse (Bergeracois). Impact sur la conservation des sites archéologiques de plein air. Thèse INA-PG, 255 p.
- Stein J., 1983 - Earthworms activity: a source of potential disturbance of archaeological sediments. *Am. Anthropol.* 48, 277-289.
- Stoops, G., 1996 - Multilingual translation of the terminology used in the Handbook for Soil thin Section Description. *Pedology*, 36, 337-348.
- Texier J.P., 2000 - A propos des processus de formation des sites préhistoriques. *Paléo* 12, 379-386.
- Toutain F., 1984 - Biologie des sols. *In*: Livre Jubilaire du Cinquantenaire. AFES, Plaisir, 253-271.
- Tricart J. et Trautmann J., 1994 - Complexité du Quaternaire à Bellefosse (flanc W du Champ du Feu, Bas-Rhin, Vosges du Nord). *Rev. Géomorph. dyn.*, 43, 4, 113-124.
- Valentin.C, Poesen J. et Yong Li, 2005 - Gully erosion: impact, factors and control, *Catena*, 63, 132-153.
- Vogt H., 1992 - Le relief en Alsace. Etude géomorphologique du rebord sud-occidental du fossé rhénan. Oberlin, Strasbourg, 239 p.
- Watanabe H. et Ruaysoongern S., 1984 - Effect of shifting cultivation on soil macrofauna in northeastern Thailand. *Mem. Coll. Agric., Kyoto Univ., Japan*, 125, 35-43.
- Wood R.W. et Johnson D.L., 1978 - A survey of disturbance processes in archaeological site formation. *In*: *Advances in Archaeological Method and Theory*, vol. 1. Academic Press, New York, 315-381.
- Yeates G.W. et van der Meulen H., 1995 - Burial of soil-surface artifacts in the presence of lumbricid earthworms. *Biol. Fert. Soils* 19, 73-74.