CREUSEMENT, ÉROSION ET COMBLEMENT DES FOSSES; L'APPROCHE DES SCIENCES DE LA TERRE

Roger LANGOHR *

INTRODUCTION

L'étude des fossés sur les fouilles archéologiques est un sujet très vaste. Dans cette étude nous nous limiterons aux fossés:
- entièrement ou quasiment entièrement comblés avant l'ouverture du chantier, que nous avons eu l'occasion d'étudier en Belgique et dans le Nord de la France;
- creusés dans des matériaux meubles tels que les lœss, sables de couverture, argile des polders ou argile d'altération sur roche calcaire.

DIRECTIVES POUR UNE ÉTUDE CORRECTE EN SCIENCES DE LA TERRE

DONNÉES PRÉLIMINAIRES SUR LE SITE

Pour effectuer une étude correcte sur les fossés dans le domaine des sciences de la terre, il est impératif de rassembler une série de données bien précises concernant le site en général. Ces données sont rassemblées de préférence avant ou au début des opérations de fouille archéologique.

Un relevé topographique détaillé

Ce relevé doit être levé avant que le site soit fortement décapé par les opérations de dégagement des horizons de labour, de colluvions ou d'autres couches qui sont de moindre intérêt pour l'archéologue. Lors d'études en Flandre sablonneuse, sur des sites avec très peu de relief, nous avons pu évaluer que de tels documents permettent de mieux appréhender la pedolithostratigraphie actuelle et ancienne ainsi que certains aspects du comportement humain tel que le choix de l'emplacement exact de la structure à creuser (FOCKEDEY L. *et al.* 1994; FOCKEDEY L. *et al.* 1995).

Une connaissance de la géologie du site et de ses environs

Ici interviennent les données sur les types de roches meubles ou indurés avec, entre autres, l'âge (Tardiglaciaire, Holocène, Préboréal...), la granulométrie (sables, limons, argiles...), la minéralogie (glauconifères, craie, quartzitiques...), le mode de dépôt (éolien, fluviatile, marin...) de ces matériaux ainsi que les données sur l'origine de la configuration du site (basse terrasse fluviatile, marais salants, dunes paraboliques...). Si ces données ne peuvent être retrouvées dans les documents écrits ou cartographiques, il faudra prévoir le temps – et le budget – nécessaire pour rassembler un minimum de données au cours des prospections de terrain.

Une connaissance aussi précise que possible du paysage pédologique au moment de l'occupation du site

Ici on se trouve devant le problème que le site, depuis la période qui nous intéresse, a souvent connu des processus d'érosion, de nivellement, de colluvionnement, de turbations diverses. Dès lors il faudra prévoir, lors de la prospection de terrain, d'ouvrir des fosses aux endroits où on espère retrouver un ou des profil(s) pédologique(s) les plus proche(s) possible du ou des type(s) de sol(s) originaux. Souvent ces endroits correspondent à de légères dépressions où les sols d'origine ont été enterrés sous des colluvions ou des dépôts éoliens. Toutefois, l'idée que toutes les dépressions partiellement colmatées par des colluvions permettent d'étudier les sols originaux s'avère en général être faux. En effet, sur des grandes étendues, les colluvions couvrent un sol original qui est partiellement, et parfois même fortement tronqué. Cette apparente contradiction est due au fait que, lors de l'érosion par écoulement superficiel, les sols de bas de pente subissent une érosion plus forte que les sols situés plus vers le haut de la pente (LANGOHR R., 1990). Ce n'est donc qu'exceptionnellement qu'on peut étudier sous les colluvions un sol d'origine qui présente encore les horizons de surface (MIKKELSEN J. & LANGOHR R., 1996). Dans d'autres cas le sol le mieux préservé peut se situer sur des

* Laboratoire des Sciences du Sol,
Université de Gand
Krijgslaan 281/S8,
B - 9000 GAND

zones qui ont été, ou sont encore, sous couvert forestier avec peu ou pas d'impact des labours. Ici il faut également procéder avec précaution car on observe souvent que les sols des sites forestiers qui ont connu de longues périodes de pacage de bétail, ont souvent subi une très forte bioturbation par les lombrics et les taupes (LANGOHR R., 1986).

Souvent ces sites de grand intérêt pour le pédologue se trouvent en dehors du périmètre prévu pour les travaux de la fouille archéologique. Dans ces conditions il faudra prévoir ici aussi le temps, le budget et les modalités d'accès pour ouvrir et étudier ces profils.

AU NIVEAU DE L'ÉTUDE DES FOSSÉS

On peut mentionner trois aspects qui sont primordiaux si on veut effectuer au niveau des sciences de la terre une étude correcte sur les structures archéologiques.

Poser les questions le plus vite possible

Comme toujours dans ce type de recherche, il est primordial de poser le plus possible de questions dès le début de l'étude de terrain. Le nombre de caractéristiques pédologiques qui peuvent être enregistrées sur le terrain est énorme et couvre des sujets aussi divers que la morphologie (couleur humide, couleur sec, structure, concrétions diverses...), la physique (granulométrie, consistance...), la minéralogie et la chimie (sable glauconifère, quartzitique ; concrétions de fer, de manganèse, de calcite). Tout cet ensemble est beaucoup trop vaste pour tout enregistrer. Dès lors, dans un but d'efficacité, on orientera les observations surtout vers les caractéristiques qui permettront de mieux répondre aux questions inhérentes à cette recherche bien spécifique. Exemples : les nodules calcaires sont-ils d'origine sédimentaire ou se sont-ils formés *in situ* ? ; les sédiments dans le fond du fossé présentent-ils un tri granulométrique (caractéristique des dépôts des eaux de ruissellement), ou non (caractéristique des effondrements ou des coulées boueuses) ? ; est-ce qu'il y a des traces de stabilisation le long des parois (présence de traces de racines, d'animaux fouisseurs, accumulation de matière organique...) ?

Cette approche qui consiste à poser le plus de questions possible lors de la prospection de terrain est également très importante pour la prise de décisions concernant :
1°) - quels types d'échantillons prélever ;
2°) - où échantillonner dans l'ensemble de la structure et de son environnement ;
3°) - quelles analyses devront être effectuées au laboratoire.

Absence – présence des caractéristiques

L'observation de l'absence de certaines caractéristiques est aussi importante que leur présence. Suite aux exemples donnés dans le paragraphe précédent nous pouvons noter ici que l'absence de stratification dans le fond du fossé peut-être un indicateur qu'il n'a pas plu sur les parois du fossé récemment creusé ; l'absence de traces de stabilisation peut être indicatrice d'un colmatage – naturel ou anthropique - très rapide de cette partie du fossé. Pour faciliter cet aspect de la recherche, il est utile d'élaborer des « listes de contrôle » *(check lists)* en fonction de l'objet étudié tel que fossés, trous de poteaux, murs, puits (FECHNER K. & LANGOHR R., 1993a). C'est au niveau de cet enregistrement des caractéristiques absentes que l'expertise du scientifique sera importante.

Sections plus larges et plus profondes que la structure archéologique

Les divers processus pédologiques qui sont actifs aussi bien au moment ou le fossé est ouvert qu'après colmatage partiel ou complet, peuvent laisser des traces observables sur le terrain. Ces traces, d'origine physique, chimique et/ou biologique se situent au niveau du sol resté en place tout au long des parois et du fond de la structure, ainsi qu'au niveau des sédiments qui remplissent la structure. Pour une étude correcte de ces caractéristiques, il sera nécessaire d'ouvrir des tranchées qui sont plus larges et plus profondes que la seule structure. Cette action est également nécessaire pour positionner la structure au sein de la pédolithostratigraphie du site. Ce dernier aspect est important pour évaluer, par exemple, le degré d'érosion du sol depuis la période d'occupation qui intéresse l'archéologue

ÉROSION ET SÉDIMENTATION EN EUROPE DE L'OUEST

Les processus d'érosion et de sédimentation jouent un rôle très important dans la compréhension de la morphologie et du comblement des fossés. Dès lors il est important de préciser d'abord quelques aspects de ces processus.

Au cours de l'Holocène on peut considérer que les processus d'érosion en Europe de l'Ouest sont largement négligeables tant qu'il n'y a pas d'intervention humaine. Les rares endroits où une érosion ou sédimentation naturelle peut être active sont :
1°) - des effondrements de parois d'affleurement rocheux avec une pente qui dépasse les 30° ;
2°) - l'incision des berges des rivières ;
3°) - les dépôts alluviaux dans les plaines alluviales ;
4°) - les dépôts éoliens associés aux plaines alluviales ;
5°) - les divers processus d'érosion et de sédimentation associés aux côtes marines, tels que les effondrements des côtes crayeuses, les dépôts argileux des *schorre* et *slikke*, la dynamique de formation et progression des dunes côtières.

Tout le reste du paysage est occupé par une couverture forestière permanente et continue qui, dans nos climats au cours du Holocène, protège les sols de l'érosion. Cette situation est largement le résultat d'une répartition très régulière des eaux de précipitation au cours de l'année. Nous ne connaissons pas une saison des pluies telle que la mousson et nous ne subissons quasiment jamais de tornade ou de typhon.

En été, période au cours de laquelle les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration, les sols vont devenir plus secs et la teneur en eau peut parfois atteindre le point de flétrissement de certaines espèces de plantes. Mais l'ensemble de la végétation ne va pas passer à un état de sécheresse tel qu'elle ne procure plus de protection du sol contre l'impact de la pluie, un processus qu'on peut observer en région méditerranéenne par exemple.
C'est en hiver, au moment où la couverture végétale est en état de dormance, que le sol est le moins protégé. L'interception des précipitations par le couvert végétal, qui peut atteindre des valeurs de 20 à 40 % en période estivale, est très réduite dans cette période, sauf sous les conifères. En même temps les sols se trouvent à un état d'humidité fort élevé suite à l'absence de transpiration d'eau par la végétation. Toutefois, trois éléments vont limiter le risque qu'à un moment les eaux de pluie d'hiver ne pénètrent plus dans les sol, avec un risque d'écoulement superficiel.

La répartition des précipitations est, comme déjà mentionné, telle que nous n'avons quasiment jamais de très grandes quantités d'eau en très peu de temps.

En période hivernale il existe quasiment toujours une litière de matière organique qui couvre et protège le sol sous le couvert forestier dans cette période.

Les horizons de surface de nos sols sous couvert forestier naturel avaient une porosité suffisamment grande pour permettre aux eaux de pluie d'hiver d'infiltrer librement dans le sol, sans phénomène d'engorgement complet.

Si nous reculons plus loin dans le temps, on observe au cours du Tardiglaciaire des périodes d'érosion parfois très active. Cette érosion était dramatique au niveau des régions sableuses où seulement les sols des fonds des zones marécageuses ou des fonds des mares ont échappé à l'érosion éolienne au cours des périodes du Dryas moyen et récent. Au niveau des sols développés sur des dépôts de lœss et en position d'interfluve nous n'avons détecté à ce jour très peu de traces d'érosion à condition que les pentes restent assez douces (LANGOHR R. & SANDERS J., 1985). Aux endroits à pente plus forte, on observe localement des processus de type solifluction ou de type glissement de terrain.

Nous pouvons ainsi conclure ce chapitre avec la boutade que, dans les régions des sols développés sur lœss et qui ont été en permanence sous couvert forestier depuis la fin du Tardiglaciaire, la surface actuelle des sols est, au centimètre près, la même surface que celle sur laquelle les derniers mammouths ont déambulé.

MODES D'ÉROSION ET DE COMBLEMENT NATUREL DU FOSSÉ

Les processus d'érosion et de comblement des fossés sont très divers. Nous passons en revue ici brièvement les principaux types.

PRÉLIMINAIRE

On considère, en général, qu'une pente de plus de 30° à 35°, même couverte de végétation, n'est pas stable et va, dès lors, subir, au cours du temps, un certain degré d'érosion. Ce concept des pentes de plus de 35° non stables et de moins de 30° stables, vérifié sur plusieurs sites d'archéologie expérimentale (BELL M. *et al.*, 1996) doit bien sûr être ventilé en fonction d'autres facteurs de l'environnement. Ainsi, une pente de 40° avec un sol toujours humide et une couverture continue de bryophytes (mousses et hépatiques) et/ou d'une végétation herbacée, peut rester stable au cours de nombreuses décennies. Par contre, une surface dénudée, même de 5°, va subir un effet d'érosion pluviale. La pente de stabilité d'un sol sableux qui ne contient ni argile ni limon ni matière organique, descendra nettement en dessous d'une pente de 30° si une nappe phréatique est présente.

ACTION ÉOLIENNE

Sous le climat de l'Europe de l'Ouest, l'érosion éolienne est surtout active dans les régions sableuses. Au cours de l'Holocène toutefois ces sols sont normalement couverts par une végétation continue qui empêche toute déflation. Il faut donc une élimination au moins partielle de cette végétation, ce qui s'observe principalement au niveau des sols cultivés ou lors d'un surpâturage. Des transports éoliens actifs en conditions naturelles s'observent surtout à deux endroits.

Le long de la côte, aux endroits et au moment où il y a un apport important de sable depuis la plage avec formation des avant-dunes (PASKOFF, 1997). Plus loin à l'intérieur des terres ces dunes sont couvertes en conditions naturelles, sous nos climats et en période Holocène, par une végétation forestière. Le long de certaines rivières lors de périodes favorables à un abaissement du niveau de l'eau avec exhumation de dépôts sableux qui permet la formation de dunes riveraines.

L'érosion éolienne peut jouer un rôle important au niveau des dépôts des sédiments sableux qui proviennent du creusement des fossés. L'érosion peut être très active à ce niveau tant que ces structures en relief ne sont pas couvertes par la végétation ou une autre couverture de protection. Sur le site de Ursel, en Flandre sablonneuse, on note ainsi un fossé circulaire qui est colmaté à l'est d'un tumulus, aujourd'hui non perceptible dans le relief et qui à été ensuite recreusé à cet endroit, mais avec un déplacement vers l'orient pour éviter l'allongement du tumulus dans cette direction (BOURGEOIS *et al.*, 1989). L'orientation de la structure va ainsi jouer un rôle très important au niveau du colmatage. Dans le fossé celui-ci sera très asymétrique avec un dépôt, fortement stratifié, surtout situé le long des parois qui se trouvent à l'abri du vent.

La distinction entre une stratigraphie qui résulte d'un ruissellement d'eau, par rapport à une stratigraphie d'origine éolienne, n'est pas toujours évidente. On peut noter ici que la pente de stabilité d'un dépôt éolien peut atteindre des valeurs jusqu'à 30°, ce qui est très rarement le cas pour des dépôts liés au ruissellement de l'eau. Les accumulations éoliennes consistent souvent de fines strates de quelques millimètres d'épaisseur composées de sable à ton clair, composé surtout de grains de quartz et de strates encore plus minces à couleur sombre et composées surtout de matière organique (fraction humifère des sols érodés). Les dépôts de ruissellement ont rarement ce type de stratigraphie très contrastée dans le plan vertical et présentent un tri granulométrique plus étalé le long de la pente de sédimentation.

L'érosion et la sédimentation éolienne sont surtout actives au cours de deux périodes de l'année.

En été, après le labour des champs et lorsque les vents du sud-ouest deviennent très forts, à l'arrivée d'une tempête mais à un moment ou les sols sont encore secs. Il n'est pas rare que dans de telles conditions les fermiers constatent que les fossés de drainage qui bordent les champs sont complètement colmatés de sédiments après une seule tempête.

En hiver, lors des périodes d'anticyclone avec gel prononcé et vents dominants du nord-est. Si les champs se trouvent à ce moment sans couverture végétale, le gel peut très fortement dessécher les horizons de surface avec risque de déflation.

Il est important de noter que le processus de remplissage du fossé par dépôt éolien peut se faire :
1°) - dans des régions à relief quasiment plane ou même en forme de dos ou de butte ;
2°) - avec des sédiments qui viennent de plus loin que les environs immédiats de la structure.

EFFONDREMENTS À CAUSE DE LA NAPPE PHRÉATIQUE

Lorsque de l'eau libre stagne dans un fossé à parois assez raides, on peut observer des effondrements de la partie inférieure des parois. Ces effondrements sont dus à l'abaissement de la cohésion entre les particules du sol qui intervient lorsque les pores sont complètement saturés en eau. Quelques aspects sont intéressants à noter ici.

Le clapotement de l'eau libre peut ajouter un impact mécanique sur les effondrements et accélérer le processus.

L'effondrement est, en fait, déjà actif dans une zone de remontée capillaire qui remonte à partir du niveau de la nappe phréatique libre. La zone d'effondrement peut ainsi commencer à un niveau qui se situe à plusieurs décimètres au-dessus du niveau de la nappe phréatique libre.

Ces processus sont particulièrement actifs dans des sols sableux ; ils sont moindres dans les sols limoneux et encore moins actifs dans les sols argileux.

IMPACT DU GEL/DÉGEL

Lorsque le sol d'une paroi de fossé gèle, l'eau interstitielle de ce sol se transforme en glace. Comme il n'y a plus d'eau libre, ce sol gelé se comporte comme un sol extrêmement sec. À partir de ce moment on observe une migration de l'eau qui se trouve dans le sol non gelé, vers le front du gel. Au fur et à mesure que cette eau vient en contact avec le front du gel, elle se transforme en glace, généralement appelée « glace de ségrégation ». Celle-ci se présente en général sous forme d'aiguilles de glace qui remplissent graduellement les pores du sol. Si à un moment donné tous les pores sont remplis de glace alors qu'il y a toujours une arrivée d'eau, il se formera une lame de glace au contact du front de gel. Cette lame de glace peut graduellement s'accroître et atteindre plusieurs millimètres, et parfois même plusieurs centimètres d'épaisseur. Si le gel continue à pénétrer plus profondément dans le sol, plusieurs lames de glace successives peuvent ainsi se former. Dans le cas où les lames de glace sont formées à partir d'une eau saturée en bicarbonate de calcium (par exemple au niveau d'un lœss encore calcaire), on pourra observer une précipitation de carbonate de calcium au niveau de la glace de ségrégation. Ce type d'accumulation de carbonate de calcium secondaire, parallèle aux parois du fossé ont été observées sur le site de Ribemont-sur-Ancre, en France (FECHNER K., dans ce volume).

Cet ensemble de caractéristiques liées au gel du sol, peut favoriser des effondrements particuliers des parois du fossé. Plusieurs facteurs jouent un rôle ici.

L'appel d'eau vers le sol qui gèle augmente le poids de cette partie de la paroi qui aura dès lors d'avantage tendance à tomber.

La formation de lames de glace, parallèles à la surface de la paroi, peut favoriser un glissement du sol gelé.

Au moment du réchauffement le dégel progresse non seulement à partir de la partie exposée de la paroi mais également, bien qu'en une moindre mesure, au niveau du front intérieur de la zone gelée. Si ce dernier front, en régressant, atteint une lame de glace, il n'y aura quasiment plus de cohésion pour maintenir la partie du sol encore gelée.

Le processus de formation de glace de ségrégation est fonction de la quantité d'eau présente dans le sol au moment où le front de gel pénètre dans la paroi. Cette quantité d'eau peut être considérable, surtout en période hivernale et particulièrement dans la période juste après le creusement du fossé, à un moment où peu d'eau n'a encore pu s'évaporer par la paroi.

La morphologie des effondrements de paroi liés au gel/dégel est différente de celle des effondrements liés à la présence de la nappe phréatique. Les fragments de paroi qui glissent vers le bas suite aux périodes de gel ont les particularités suivantes :
- une épaisseur très régulière qui peut atteindre quelque 15 cm dans les cas que nous avons pu observer ;
- une longueur inhabituelle qui peut atteindre 80 à 100 cm ;
- une conservation remarquable de l'ensemble des caractéristiques du fragment de sol qui est descendu, y compris des horizons normalement très meubles ;
- la possibilité d'observer une succession de tranches de sol effondré qui proviennent du même niveau du sol en place.

Dans le dernier cas on peut supposer que le gel, après un premier effondrement, a continué à agir sur la nouvelle paroi dégagée et qui a subi le même processus d'érosion.

RUISSELLEMENT SUPERFICIEL ET FORMATION DE RIGOLES ET DE RAVINS

Le ruissellement des eaux de pluie sur les pentes du fossé et l'érosion qui en résulte est certainement le processus le plus important dans l'évolution de la structure au cours et juste après son creusement. Une fois que la structure atteint une profondeur dépassant plusieurs décimètres, les parois se trouveront en général à des niveaux du sol originel qui sont très pauvres en matière organique à l'inverse de l'horizon de labour par exemple. Or les colloïdes organiques jouent un rôle stabilisateur ; un horizon riche en ces substances présente une certaine résistance contre l'impact des gouttes de pluie et les agrégats du sol restent bien stables au moment de passer de l'état sec à un état humide. Par contre, un niveau du sol pauvre en matière organique aura une forte tendance à s'effriter lors des pluies.

Au début des précipitations un ruissellement aura lieu le long des parois. Si ces pentes sont assez longues, on peut parfois observer la formation de rigoles, c'est-à-dire des entailles qui peuvent atteindre une profondeur de plusieurs décimètres. Ces entailles sont le plus profond vers le bas de la pente. Ce processus d'écoulement concentré sera fortement favorisé aux endroits où les eaux de précipitation tombées dans le voisinage peuvent drainer vers la structure en creux. Dans ce cas on peut observer une entaille pas très large dans une phase initiale mais qui peut atteindre ensuite une profondeur de plus d'un mètre. C'est le début de la formation d'un ravin dont la profondeur sera la plus grande au sommet de la pente dans ce cas. Finalement la tête de ce ravinement aura une tendance à progresser par érosion régressive, entamant les zones à plus faible pente qui entourent la structure.

Il est évident que l'ensemble de ces processus d'érosion par écoulement superficiel et concentré des eaux de pluie peut amener des quantités considérables de sédiments dans le fond du fossé. Ces sédiments s'accumuleront dans les parties les plus basses du fond du fossé. Dans le cas où ce fond présente une certaine pente, il ne sera pas exclu d'observer une érosion par écoulement d'eau dans les parties les plus élevées du fond lui-même. Les sédiments présentent en général une stratification bien évidente. Les lits à granulométrie plus grossière correspondent au moment où l'écoulement était le plus fort. Les lits à granulométrie plus fine sont en général plus minces et correspondent à la fin des

périodes pluvieuses, à un moment où l'écoulement diminue de vitesse. Il sera ainsi possible d'évaluer le nombre de périodes pluvieuses que la structure a subi à un certain moment de son évolution. Parfois on observe une couche particulièrement épaisse composée d'argile et/ou de colloïdes organiques. De tels dépôts se forment lors de la décantation des colloïdes dans une mare d'eau relativement profonde.

SATURATION EN EAU - HUMIDIFICATION - DESSICCATION

Les personnes qui ont un puits d'eau dont les parois ne sont pas entièrement protégées par un parement savent qu'il existe un risque d'effondrements après une saison ou une année particulièrement sèche. Cette forme d'érosion s'opère surtout par deux processus.

Certains sols se rétrécissent avec formation d'un réseau de fissures lors de la dessiccation. Le degré de rétrécissement est fonction de la quantité et du type de colloïdes organiques et minéraux. Ce processus crée une structure particulière du sol, avec des agrégats qui se trouvent plus ou moins isolés du reste du sol. Certaines de ces unités structurales qui se forment le long de la paroi du fossé peuvent ainsi tomber sous le simple effet de la pesanteur.

Lors de la montée de la nappe phréatique dans un sol qui a d'abord subi une forte dessiccation, l'air qui se trouve dans les pores du sol sec peut se trouver piégée dans certaines zones. Or, une partie de l'eau qui monte avec la nappe peut être aspirée dans les pores très fins du sol par succion capillaire. Ainsi l'air qui était resté piégé dans certains agrégats, va subir une pression qui peut avoir comme conséquence l'éclatement de ces agrégats.

Les sédiments dans le fond du fossé qui résultent de ces processus ne présentent en général pas de stratification fine, ni de traces d'un tri granulométrique.

UNE ÉVOLUTION EN QUATRE PHASES

L'étude du contour et du remplissage de nombreux fossés sur des sites archéologiques nous amène à proposer une évolution qui, en général, passe par quatre phases principales.

- Phase I : creusement de la structure, transport et dépôt des terres. Des installations particulières éventuelles telles que des poteaux, un mur, un recouvrement en bois, avec des mottes de gazon ou avec tout autre matériau qui permet de stabiliser la pente font partie de cette phase mais leur érosion ne sera pas discutée dans ce document.

- Phase II : érosion naturelle, principalement des parois, avec colmatage partiel du fossé. Cet ensemble de processus s'arrête au moment où la pente des parois a suffisamment diminué pour arriver à une inclinaison d'environ 30°.

- Phase III : après abandon du site, il y a stabilité de l'ensemble de la structure avec développement d'une végétation permanente et formation d'horizons humifères le long des parois et du fond existants après la phase II.

- Phase IV : remplissage de ce qui reste du fossé par l'action humaine. Tout cet ensemble peut se compliquer par des phases de recreusement et par des processus pédogénétiques post-dépositionels. Sur certains sites on peut également observer que les phases II et/ou III manquent, où qu'elles ont été de très courte durée. Sur la fouille de Aalter-Woestyne, en Flandre sablonneuse, l'étude archéopédologique (Langohr & Fechner, 1993) a montré qu'il existe une forte présomption que le fossé, qui représente un volume total de quelque 600 m^3, a été remblayé quelques jours après son creusement tout en respectant la séquence des horizons successifs du profil pédologique. Les phases II et III manquent donc sur ce site.

PHASE I

Creusement et morphologie originelle

Il est rare que nous puissions reconstituer avec précision la méthode de creusement de ces structures. En effet, immédiatement après l'ouverture d'un fossé divers processus d'érosion peuvent être actifs. Dans certaines conditions cette érosion peut affecter le fond du fossé. La morphologie originelle de la structure sera une fonction de plusieurs contraintes :
- Main d'œuvre et temps disponible ;
- La fonction de la structure peut être de prestige, militaire, de délimitation de propriété, de drainage, ou de maintien du bétail... ;
- Les contraintes naturelles se remarquent dans la composition du sol (couches sableuses, bancs de graviers, bancs de roche, couches de tourbe...) et au niveau de la nappe phréatique selon le moment de l'année.

Ainsi un fossé à fond plat sera souvent un indicateur de la présence d'une nappe phréatique. Lors du creusement on s'arrêtera de préférence au moment où on atteint le niveau de la montée capillaire à partir de la nappe phréatique. Ceci évitera le risque d'effondrement des parois, surtout dans des sols sableux. Ainsi on a pu observer à Aalter-Woestyne, en Flandre orientale (Bourgeois & Rommelaere, 1991) que le fond d'un fossé d'une structure rectangulaire de 25 sur 45 m et profonde de 1 à 2 m, suit parfaitement le niveau de la nappe phréatique en période estivale. Comme ce fossé a été colmaté très peu temps après son creusement, il n'y a pas eu d'effondrements des parois (Langohr & Fechner, 1993). À Maldegem, par contre, également situé en Flandre sablonneuse, le fossé d'un camp romain (Thoen & Vandermoere, 1985; Thoen, 1991) a été installé très vite et probablement par des personnes qui n'étaient pas bien au courant du degré de fluctuation de la nappe phréatique et on observe des effondrements importants de la base du fossé suite à la remontée de l'eau. Dans une deuxième phase on a stabilisé les pentes, qui étaient devenues moins raides, avec des mottes avec de la végétation herbacée provenant d'une zone marécageuse proche (Thoen & Langohr, 1991).

C'est, toutefois, au niveau des parois de la structure que l'érosion sera la plus active. Une des résultantes de ces processus est un changement, parfois prononcé, de la topographie de ces parois. Nous devons donc être conscients que la morphologie des fossés que nous observons sur le terrain, et qui se retrouvent dans les publications, ne correspond pas au tracé originel du fossé, à l'exception souvent de la partie inférieure. Or c'est ce contour qui peut éventuellement nous renseigner sur le mode de creusement de la structure.

La plupart des structures sont aujourd'hui tellement nivelées qu'il est impossible de détecter à la surface du sol où se trouvaient les déblais du ou des fossés. Une prospection aérienne en Flandre occidentale et orientale, en Belgique, a ainsi permis en quelques années de détecter plus de 650 structures circulaires dont le corps du tumulus a complètement disparu (Ampe *et al.*, 1996). La nature du remplissage du fossé permettra parfois d'émettre des hypothèses sur la position des déblais : à l'intérieur et/ou à l'extérieur de la structure, avec ou sans décalage par rapport au bord du fossé. Des traces d'animaux fouisseurs, qui préfèrent creuser leurs galeries au niveau des talus et des pentes des levées de terre, peuvent également renseigner sur la position originelle des levées de terre. Des traces de galeries de blaireaux nous ont ainsi permis de localiser les levées de terre d'une *Viereckschanze* à Kontich près d'Anvers (Fechner & Langohr, 1993b) et d'un camp romain à Maldegem en Flandre orientale (Pieters & Langohr, 1988)

PHASE II

Érosion naturelle des parois et colmatage partiel du fossé

Une fois que la structure est creusée, et parfois déjà au cours du creusement, les diverses formes d'érosion mentionnées dans le chapitre précédent peuvent entrer en action. Elles ont pour conséquence que la partie inférieure du fossé sera assez vite colmatée par des sédiments.

Par ce processus, la morphologie de la paroi originelle de la structure sera préservée uniquement à ce niveau inférieur. Plus haut, les parois vont régresser en fonction du type d'érosion et de son intensité. On observera ainsi une pente qui devient graduellement moins raide au fur à mesure qu'on monte vers le haut de la paroi, même pour un fossé dont nous supposons que les parois étaient à l'origine rectilignes comme à Ribemont-sur-Ancre (voir l'article de Fechner dans cette publication) et à Kontich (Fechner & Langohr, 1993b). Bien sûr, nous ne prétendons pas ici que tous les fossés qui montrent aujourd'hui une pente qui s'évase vers le haut, avaient à l'origine une pente plus raide et rectiligne. Nous craignons toutefois que ce dernier cas fût beaucoup plus fréquent que ce qu'on peut déduire de la littérature. Il n'est pas rare que l'archéopédologue, par une étude des sédiments qui ont graduellement colmaté le fond du fossé et une recherche sur la nature de la pédolithostratigraphie du site, puisse renseigner sur la nature de l'érosion et de la morphologie initiale des parois de la structure.

PHASE III

Stabilité et développement d'un horizon humifère

S'il n'y a plus d'intervention humaine, tels que le curage du fond du fossé, le creusement de trous de poteaux dans les sédiments du fond, ou dans les parois du fossé, les processus d'érosion et de comblement progresseront jusqu'au moment où les pentes atteignent une inclinaison d'environ 30°. À partir de ce moment la végétation pourra s'installer en permanence et un sol à horizon de surface riche en humus pourra se développer. Ce sol est le témoin d'une stabilisation définitive. Si le site se trouve sous forêt, sans surpâturage, la morphologie restera ainsi préservée au cours des millénaires suivants (Langohr, 1983).

PHASE IV

Remplissage par l'action humaine

Une fois que les pentes de stabilisation sont atteintes, celles-ci seront normalement couvertes par une végétation qui empêchera toute forme d'érosion. Il n'y aura donc plus de possibilité de colmater ce qui reste du fossé avec, par exemple, les terres provenant du talus ou du tumulus. Pour que la structure soit quand même complètement colmatée, comme c'est le cas sur la plupart des sites archéologiques, il faudra l'intervention directe ou indirecte de l'homme. Le surpâturage par du bétail

qui vient éventuellement s'abreuver dans des mares qui stagnent dans le fond du fossé peut ainsi créer à nouveau une surface qui est partiellement ou totalement exempte de protection végétale. Toutefois, en général, le colmatage se fera directement en déversant de la terre et/ou des déchets divers dans la structure en creux.

Quand les pentes sont peu prononcées on peut également observer un colmatage par des colluvions liées au labour de l'ensemble du terrain y compris au niveau du fossé.

Lors d'un remblayage rapide et épais d'un fossé qui était encore assez profond, il faudra tenir compte du fait que les sédiments se tasseront au cours des années suivantes. Ce processus peut durer des dizaines d'années et sera plus rapide s'il existe une nappe phréatique fluctuante qui affecte toute l'épaisseur des remblais. D'autres processus pédogénétiques, tels que des migrations et accumulations de fer, de manganèse, de phosphates, d'argile et de colloïdes organiques peuvent également avoir lieu au sein des sédiments qui remplissent l'ancien fossé.

Ici aussi l'archéopédologue pourra contribuer à détecter la succession des processus et à déchiffrer l'information qu'ils apportent sur l'évolution du paléo-environnement du site.

BIBLIOGRAPHIE

AMPE Carole, BOURGEOIS Jean, CROMBE Philippe, FOCKEDEY Ludo, LANGOHR Roger, MEGANCK Marc, SEMEY Jacques, VAN STRYDONCK Mark & VERLAEKT Koen (1996) – « The circular view, Aerial photography and the discovery of Bronze Age funerary monuments in East- and West-Flanders (Belgium) », *Germania*, 74. Halbband, Mainz, p. 45-94.

BELL Martin, FOWLER P.-J. *et al.* Éd, (1996) – « The experimental Earthwork Project 1960-1992 », *CBA Research report*, 100, York, 267 p.

BOURGEOIS Jean & ROMMELAERE Johan (1991) – « Bijdrage tot de kennis van het Meetjesland. De opgravingen te Ursel (1985-1989) en Aalter (1989-1990) », *Appeltjes van het Meetjesland*, Jaarboek 42, p. 59-88.

BOURGEOIS Jean, SEMEY Jacques & VANMOERKERKE Jan (1989) – « Ursel. Rapport provisoire des fouilles 1986-1987. Tombelle de l'Âge du Bronze et monuments avec nécropole de l'Âge du Fer », *Scholae Archaeologicae*, 11, Gand, 88 p.

FECHNER Kai & LANGOHR Roger (1993a) – « Testing of the archaeopedological checklist in the excavations of Melsele (N. Central belgium) and Gavisse (N.E. France) », *Notae Praehistoricae*, 12, Gand, p. 95-104.

FECHNER Kai & LANGOHR Roger (1993b) – « Bodemkundige gegevens en interpretatie » dans ANNAERT Rica, *Een Viereckschanze op de Alfsberg te Kontich (prov. Antwerpen): meer dan een cultusplaats, Archeologie in Vlaanderen*, III, p. 85-90.

FOCKEDEY Ludo, AMPE Carole & LANGOHR Roger (1994) – « Milieuonderzoek van archeologische sites aan de hand van Reliëf en bodem in de Vlaamse zandstreek. Testgebied: Aalter-Woestyne », *Lunula, Arcaheologia Protohistorica*, Gand, p. 57-61.

FOCKEDEY Ludo, AMPE Carole & LANGOHR Roger (1995) – « Comparative study of aerial photographs and of microtopography, in relation with the soilscape and location of archaeological monuments at Knesselaere-Dorp (East Flandres) », *Lunula, Archaeologia Protohistorica*, Gand, p. 53-56.

LANGOHR Roger (1983) – « La forêt de Soignes, témoin unique des traces de l'homme » dans *Traces de l'homme en Soignes*, Vol. 2, Bruxelles, p. 9-14

LANGOHR Roger (1986) – « La pédologie et l'évolution des terres dans la région limoneuse de Belgique », *Hommes et terres du Nord*, 2-3, p. 94-97.

LANGOHR Roger (1990) – « L'homme et les processus de l'érosion des sols limoneux de Belgique et du Nord-Ouest de la France », dans *Les Celtes en France du Nord et en Belgique, VI-Ier siècle avant J.-C*, Crédit Communal, Bruxelles, p. 211-222.

LANGOHR Roger & FECHNER Kai (1993) – « The digging and filling of Iron Age monument ditches in the sandy area of nort-West Belgium: the pedological and palaeo-environmental approach ». *Lunula, Archaeologica Protohistorica*, I, Gent, p. 45-50.

LANGOHR Roger & PIETERS Marnix (1986) – « Preliminary data about the soils of the Roman site of the Vake (Maldegem-Belgium) » dans THOEN Hugo & VANDERMOERE Nele, *The Roman fortified site at Maldegem (East Flanders) 1985 Excavation Report, Scholae Archaeologicae*, 6, Gent, p. 29-39.

LANGOHR Roger & SANDERS Joris (1985) – « The Belgian lœss belt in the last 20000 years: evolution of soils and relief in the Zonian Forest » dans *Soils and Quaternary Landscape Evolution*, p. 354-366.

MIKKELSEN Jari Hinch & LANGOHR Roger (1996) – « A pedological characterisation of the Aubechies soil, a well preserved soil sequence dated to the earliest Neolithic agriculture in Belgium ». *Proc. XIII Int. Congress Prehistoric and Protohistoric Sciences*, Vol. 3: Palaeoecology, Forly, p. 143-149.

PASKOFF Roland (1997) – « Typologie des milieux dunaires européens » dans *Biodiversité et protection dunaire*, Tec. & Doc., Paris, p. 198-219.

PIETERS Marnix & LANGOHR Roger (1988) – « Soil Survey of the Roman site of the Vake (Maldegem, Belgium) », *Scholae Archaeologicae*, 9, Gent, p. 37-54

THOEN Hugo (1991) – « Le camp romain de Maldegem (Flandre orientale, Belgique) et les invasions des Chauques en 172-174 de notre ère » dans THOEN Hugo, BOURGEOIS Jean *et al.* (Eds), *Studia Archaeologica. Liber Amicorum Jacques A.E. Nenquin*, Gent, p. 185-200.

THOEN Hugo & LANGOHR Roger (1996) - « Het Romeins kamp van MALDEGEM -Vake. Strategisch bolwerk in een militair conflict met de Germanen ca. 172-174 n. Chr. » dans *Uit Vlaamse Bodem*, 10, Archeologische Verhalen, Sint Niklaas, p. 54-66.

THOEN Hugo & VANDERMOERE Nele (1985) – « The Roman fortified site at Maldegem (East Flanders). 1984 Excavation Report », *Scholae Archaeologicae*, 2, Gent