

EROSION RECENTE ET ORGANISATION SPATIALE DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE EN ZONES LIMONEUSES DE GRANDE CULTURE DU N.O. DE LA FRANCE.

Micheline Eimberck, B. Bonnaud, A. Couturier et B. Renaux

INRA Unité de Science du Sol, SESCOF, Domaine de Limère, F 45160 ARDON

RESUME

S'inscrivant dans un programme global d'érosion des sols limoneux de grande culture du Nord-Ouest de la France, l'objectif de ce travail était de déterminer à l'échelle d'une unité de fonctionnement (bassin-versant), la permanence et l'influence des phénomènes érosifs sur la redistribution spatio-temporelle des horizons supérieurs des sols limoneux.

L'étude est réalisée sur un bassin-versant de 350 ha constituant, par ailleurs, un site atelier pour le suivi de l'érosion hydrique agricole depuis plusieurs années. Les NEOLUVISOLS (Luvisols faiblement lessivés) composant l'essentiel de la couverture pédologique du bassin-versant, sont caractérisés par des horizons A limoneux et des horizons BT argilo-limoneux d'épaisseur très variable. La prospection pédologique réalisée au 1/5000 - tout en montrant l'importance des remaniements de certains solums - n'a pas permis d'établir des relations directes et systématiques entre la variabilité des épaisseurs et la topographie. On a donc cherché à établir des corrélations d'ordre statistique entre variables pédologiques, évolution du parcellaire et données morphologiques issues d'un MNT réalisé par ailleurs.

Le travail s'est appuyé sur une typologie de profils d'érosion, établie à partir des levés cartographiques et le croisement de variables pédologiques et de variables morphométriques dérivées du MNT. Les premiers résultats ont montré que :

- les épaisseurs des horizons A limoneux et des horizons BT argilo-limoneux ne sont pas corrélées aux mêmes variables morphométriques. Ceci confirme l'hypothèse d'un remaniement plus ou moins profond des horizons limoneux de surface, indépendamment des horizons BT plus profonds (conformément aux observations de profils) ;
- les corrélations les meilleures sont obtenues, pour les horizons de surface, avec les variables hydrologiques (convexité, surface contributive, indice d'humidité) qui sont aussi explicatives du ruissellement et de l'érosion diffuse. La redistribution des horizons de surface dans l'unité de pédopaysage serait le résultat de processus hydrologiques.

Mots clés : sols limoneux ; variabilité spatiale ; remaniement ; variables morphométriques ; ruissellement ; érosion diffuse.

SUMMARY.

The present work was conducted in the context of a broad-scale study of the erosion of silty soils in regions of intensive agriculture in northwestern France. It involved determining, at the scale of one spatial functional unit (catchment basin)(1), the effect and durability of erosional phenomena on the spatial-temporal redistribution of upper soil horizons.

The study is realized on a 350 ha superficial catchment basin, situated in Normandy, and selected as a runoff erosion monitoring site.

At an intermediate observation scale, the soil cover, developed in a recent loess mantle, is homogeneous, mainly composed of NEOLUVISOLS (moderately leached) and Undifferentiated Colluvial silty soils (COLLUVISOLS) (2). On a large scale (1/5000, 1/1000), soils are characterized by considerable variability of some horizon characteristics as illuviation intensity and thickness.

Two types of data were used :

- soil data : a soil survey, at the scale of 1/5000, on the basis of 353 auger holes and 23 soil profiles described and sampled for analytical characterisation ; analysis of soil sequences ;
- terrain attributes derived from a Digital Altitude Model.

The pedological analysis showed : * the considerable variation of thickness of silty E horizons and silty-clay BT horizons (fig.3) ; * indices of disturbance of the upper part of numerous solums ; * the absence of systematic relationships between horizon characteristics and the situation of solums in topography (fig. 6).

Since the characterisation of the different volumes of the soil cover and their mapping did not enable distribution laws to be determined, we chose another approach : quantitative by studying statistical correlations between soil variables and terrain attributes derived from DEM. The first results show that : * the thickness of the two sets of soil volumes (E and BT horizons) are not correlated with the same explicative variables, meaning that they evolved differently after pedogenesis. That confirms the morphologic indices of disturbance observed at the top of solums ; * the best correlations are obtained, for silty E horizons, with Curvature, Contributive Flow Area and Moisture Index (table 1a), variables considered as controlling volume and velocity runoff (9). This suggests that redistribution of upper soil horizons mainly resulted from runoff processes. This result is quite different to others obtained in french loamy areas where distribution models pointed out the influence of wind. It confirms the specificity of these loamy areas of northwest France.

Key words : loamy soils, spatial variability ; disturbance ; terrain attributes ; runoff ; inter rill erosion.

INTRODUCTION

Le travail s'inscrit dans un programme global d'étude de l'érosion des sols limoneux de grande culture du Nord-ouest de la France et consiste à déterminer - à l'échelle d'une unité spatiale de fonctionnement (bassin-versant élémentaire) (1) - l'influence et la permanence des phénomènes érosifs sur la redistribution des horizons supérieurs des sols.

A une échelle moyenne d'observation (1/25000) la couverture pédologique de la région d'étude est homogène. A grande échelle (>1/5000) - celle du bassin-versant élémentaire, voire du versant- on observe une grande variabilité spatiale dans le degré de différenciation des solums et l'épaisseur des horizons Supérieurs Eluviés et Bt qui les composent.

L'objectif de l'étude est donc double :

- . dégager des lois de cette variabilité et, à partir de là, établir un modèle prédictif de distribution spatiale qui permette une extrapolation à des zones plus larges ;
- . caractériser l'influence de l'érosion récente, ou ancienne, pour estimer les volumes de sols déplacés au cours du temps.

MATERIEL ET METHODES

Site d'étude.

* **Localisé** : entre Seine, Somme et Manche, le site d'étude se trouve dans la région naturelle du Pays de Caux (Normandie) qui appartient au système des grands plateaux limoneux du Nord ouest de la France et du Sud de la Belgique (fig. 1).

* **les principaux caractères physiographiques sont** :

- un relief très modéré et des altitudes faibles : 160m à l'est, 80m à l'ouest en bordure du littoral ; - des pentes douces de 1 à 5% , longues, de forme convexo-concave ; - un climat de type océanique, avec des pluies abondantes (750 à 1000 mm par an) mais de faible intensité, réparties sur toute l'année,

- au plan géologique, le secteur est situé dans un bassin sédimentaire secondaire et tertiaire.

Le substratum des plateaux est constitué par la craie crétacée, calcaire marin secondaire très fin, à lits de silex noirs, Ce calcaire est très poreux, très karstifié, altéré en poches remplies de produits résiduels et recouvert par une couverture loessique attribuée au Pléniglaciaire Supérieur (15 à 20 000 ans), de 4 à 5 m d'épaisseur sur le site.

C'est dans ce matériau, non carbonaté, riche en sables fins (15 à 25%) et pauvre en argile (11 à 16%) que ce sont développés les sols, cette texture particulière (fig. 2) leur conférant une forte instabilité structurale et une grande sensibilité à l'érosion hydrique

- Le paysage agricole est ouvert, avec très peu de haies et un parcellaire qui s'est agrandi au cours des 4 dernières décennies.

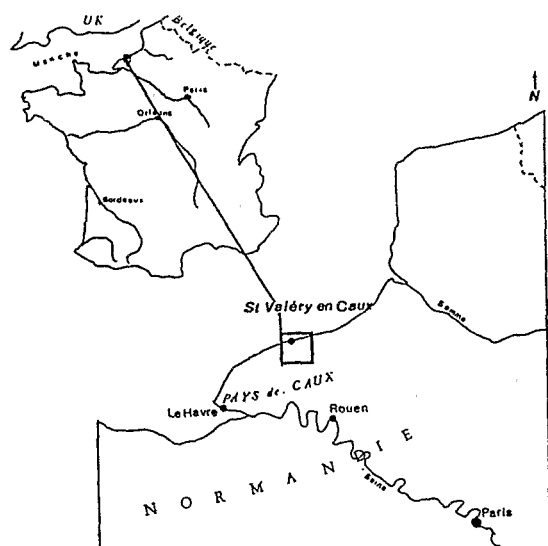
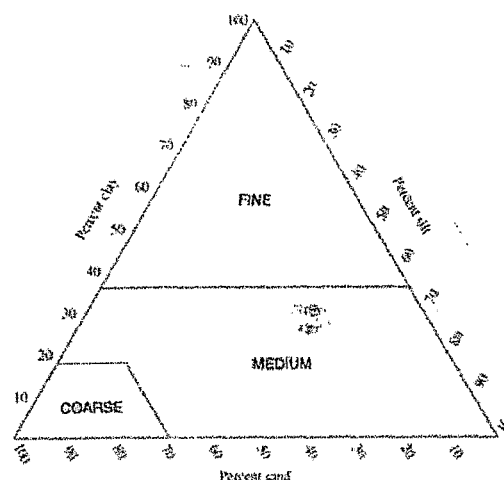


Figure 1 : Localisation du site d'étude



+ E horizons □ BT horizons O roche-mère
Figure 2 : texture des horizons (t.t.FAO)

Les données disponibles sont de 2 types

***pédologiques** : Une prospection pédologique du bassin versant réalisée au 1/5000 a permis de disposer des données de

- 353 sondages: tarière (1,20m de profondeur).

- 23 profils pédologiques représentatifs décrits et échantillonnés pour caractérisations analytiques. Tous les points d'observation ont été géoréférencés, les caractéristiques des horizons organisés en base de données.

***topographiques**. Les caractères morphométriques du site ont été obtenus grâce à un modèle numérique d'altitude réalisé à partir de mesures au tachéomètre de terrain

Tout cet ensemble de données a été constitué en système d'informations géographique ou SIG.

***anthropiques**, concernant le parcellaire dont l'évolution est étudiée sur documents d'archives et photographies aériennes (couvertures de 1947 à 1985).

Au cours de ce travail, deux approches successives ont été utilisées :

* une approche spatiale de type déterministe, au moyen de levés cartographiques conventionnels et d'analyse de toposéquences ;

* une approche quantitative par analyse statistique des données et croisement des différentes couches de données du SIG.

RESULTATS ET DISCUSSION

Hormis près de l'exutoire, la totalité de la couverture pédologique est développée dans le matériau loessique et présente 4 caractéristiques majeures :

* 1/une faible diversité des solums et des horizons :

on a 2 grands types de sols : des LUVISOLS plus ou moins lessivés, avec un Indice de Différenciation Texturale (argile % h.E / argile % h.BT) variant de 1,3 à 1,8, plus rarement 2, et des COLLUVISOLS (Sols Colluviaux indifférenciés).

Les LUVISOLS sont caractérisés par :

- . avec des horizons supérieurs, limoneux (moins de 16% d'argile), peu cohérents clair mais non délavés, non structurés, non tachés, passant progressivement aux horizons inférieurs,
- . des horizons moyens, brun jaune, limono-argileux, cohérents, à structure polyédrique et prismatique nette, et présentant de minces revêtements argilo-ferrugineux sur les faces des agrégats ;
- . des horizons inférieurs, beige jaune, limoneux, non structurés, comparables aux horizons de surface.

Dans les sols Colluviaux indifférenciés, sous l'horizon labouré, ce sont les caractéristiques des apports successifs qui différencient les horizons.

Tous ces solums montrent très rarement des traces d'engorgement ; ils ressentent très vite grâce à leur assez forte macro et micro porosité, et l'activité biologique est notable.

*2/ à l'échelle décimétrique et même métrique,

- une très forte variabilité de certaines caractéristiques d'horizons telles que intensité d'illuviation et épaisseur.

A partir des données de sondages on a réalisé, sur la base de la texture, une analyse fréquentielle des classes d'épaisseur des horizons Supérieurs Eluviés et des horizons BT:(fig.3)

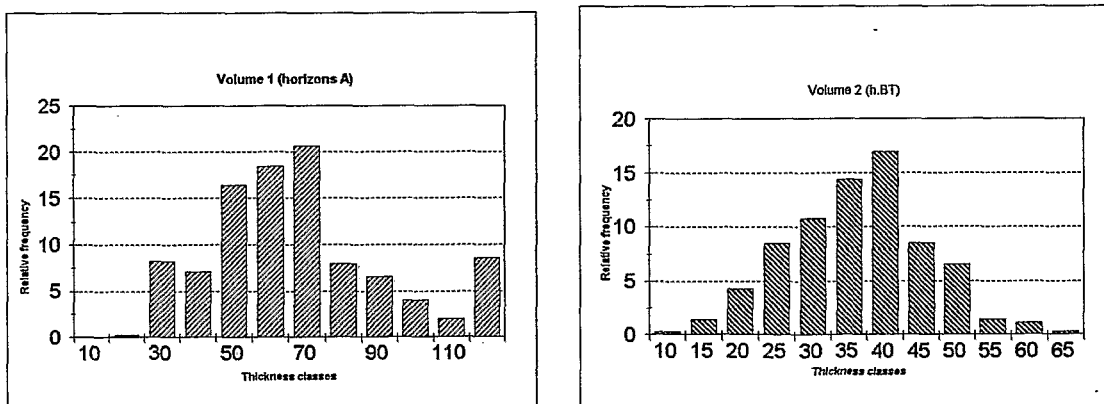


Fig. 3 : distribution des classes d'épaisseur des horizons E (Volume 1) et BT (Volume 2)

pour les horizons Supérieurs Eluviés ou SE, que nous appellerons Volume V1, on voit que l'épaisseur varie de 20 à 120 cm, limite imposée par la tarière, et que les plus grandes fréquences se situent dans les classes 50 et 70 cm

pour les horizons BT, que nous appellerons Volume V2, compte tenu de la limite de 120 cm, nous avons retiré de l'analyse tous les sondages pour lesquels la base de l'horizon n'était pas atteinte. L'épaisseur varie de 10 à 65 cm, et le mode est obtenu pour la classe 40 cm

- une très forte variabilité latérale par les combinaisons d'horizons rencontrés.

la figure suivante présente schématiquement les principales combinaisons de V1 et V2 rencontrées sur l'ensemble du secteur

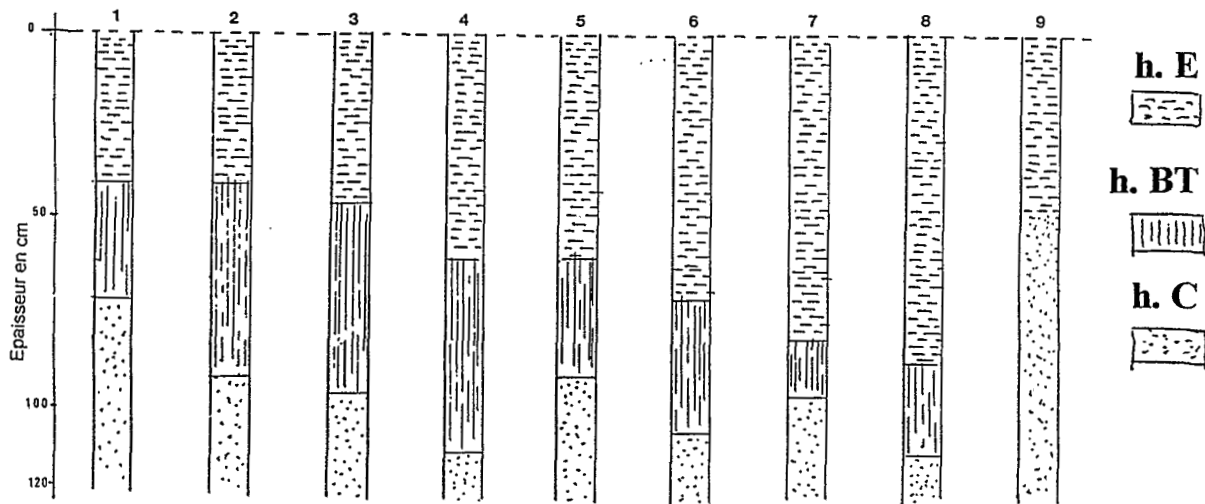


Figure 4 : Principales combinaisons d'horizons E et BT rencontrés.

On remarque qu'aucune d'entre elle n'associe des V1 avec des V2 d'épaisseurs modales définies par l'analyse précédente. Se pose donc le problème du profil local typique qui puisse nous servir de référence.

A l'inverse les données analytiques, et en particulier les données minéralogiques et granulométriques, ne montrent pas de différence significative. Lorsqu'on étudie le squelette (c'est à dire l'ensemble des particules constitutives $> 2\mu$) on n'observe pas de coupure sédimentologique entre le loess profond, les horizons d'illuviation et la surface. (figure 5)

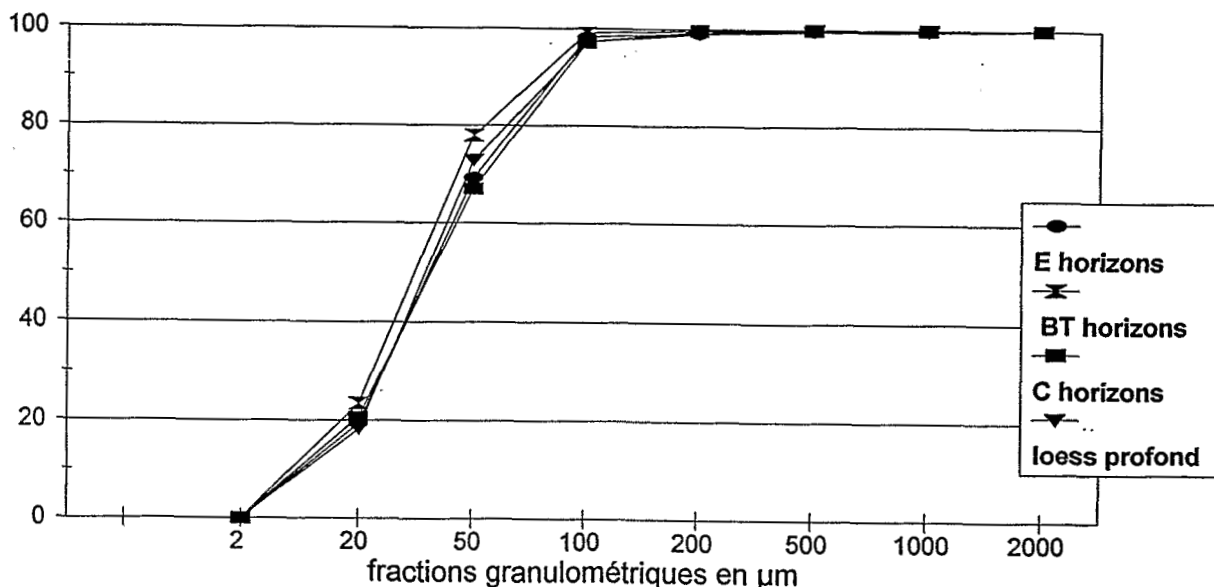


Figure 5 : granulométrie des squelettes (particules $> 2\mu$)

Ceci exclue donc l'apport d'un sédiment allochtone en surface, venant épaissir les solums, et quand on observe un remaniement, il s'agit très probablement d'une reprise du matériau sur lui-même et à courte distance..

***3/ de nombreux solum présentent des indices de remaniement,**

principalement macro et micromorphologiques tels que : contacts anormaux, graviers, fragments d'horizons enfouis, pédoreliques... Mais ces éléments restent très fragmentaires et dispersés, et ne constituent pas véritablement de niveau repère

***4/ le caractère aléatoire de la variabilité à faible distance.**

• A l'échelle du 1/50 ou du 1/25 000 la variabilité intra - unités de sols est lissée et la répartition simple : LUVISOLS épais sur les plateaux et les pentes faibles, tronqués avec apparition du substrat de craie sur les pentes fortes à l'exutoire, SOLS COLLUVIAUX dans les talwegs et les creux,

A l'échelle du 1/5000, ou du 1/1000), voire de la parcelle, la distribution des horizons SE et BT ne semble pas en relation étroite avec la morphologie, comme le montre par exemple la figure 6. Sur les plateaux, à pente quasi nulle, la variabilité à faible distance reste tout aussi importante et aléatoire.

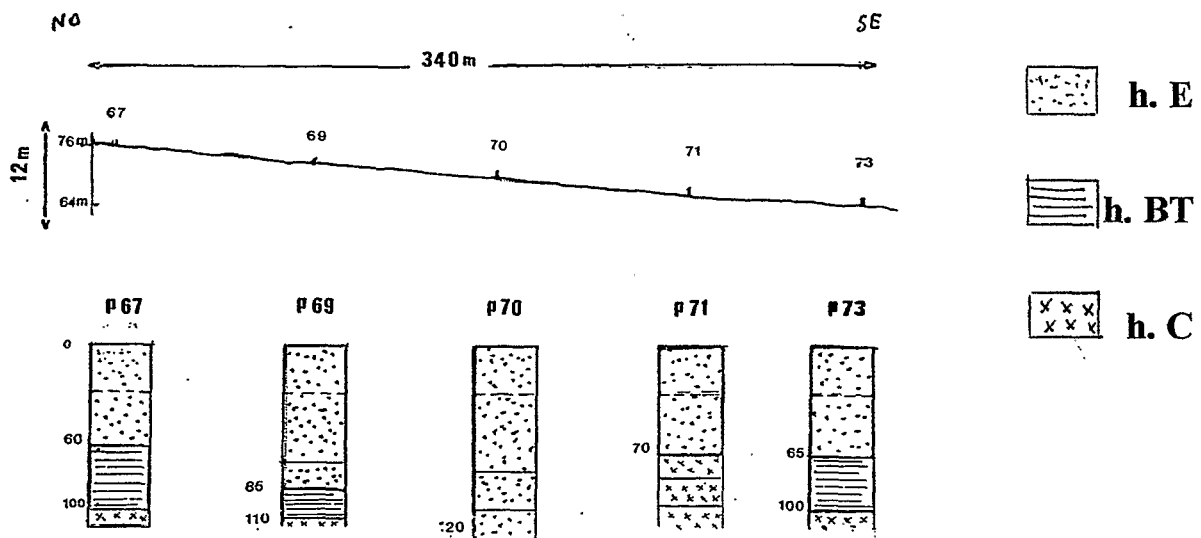


Figure 6 : Exemple de toposéquence de sols.

En résumé, la cartographie conventionnelle et l'analyse pédologique ont montré que :

- la couverture pédologique est peu diversifiée, mais qu'au sein des unités, la combinaison des volumes pédologiques varie fortement, sur de courtes distances, et ceci de façon souvent aléatoire ;
- de nombreux solums présentent un remaniement de leur partie supérieure, assez net mais difficile à quantifier en raison de l'absence de niveau repère ou de profils de référence régionaux permettant de raisonner en termes de troncature ou d'apport.

Cette première approche n'ayant pas permis de dégager des lois de distribution, on a adopté une autre démarche, de type quantitatif, en étudiant les corrélations d'ordre statistique entre variables pédologiques et variables morphométriques

- Les variables morphométriques sont dérivées du Modèle Numérique d'Altitude ou MNA

Il faut souligner que ce Modèle Numérique réalisé principalement pour les études de suivi de ruissellement effectuées sur le site correspond au bassin versant hydrologique fonctionnel, et exclue, une partie des secteurs de plateau cartographie.

les paramètres topographiques utilisés sont : la pente, l'altitude, les orientations, les convexités, la surface contributive et l'Index d'humidité, chacun ayant une signification hydrologique

- *Parmi les variables pédologiques*, nous avons privilégié la texture et l'épaisseur des 2 groupes d'horizons V1 h.E (312 individus) et V2 h.BT (231). Bien entendu, ont été exclus les sondages de plateau situés hors Modèle Numérique

Corrélations horizons ES / variables morphologiques (tableau 1a)

Les corrélations avec l'Altitude, la pente et l'orientation ne sont pas significatives.

- **Altitude et Pente** : il convient de nuancer ce résultat car les zones hautes, c'est à dire les plateaux, et de pentes > 4%, occupent de faibles surfaces sur le bassin versant couvert par le MNA;

- **Orientation** : ce résultat est très intéressant car il exclut une action des vents dominants (et donc d'apports de surface) sur la distribution des épaisseurs du volume V1. Cela confirme donc l'homogénéité des matériaux montrée par l'analyse granulométrique.

Les corrélations sont nettes avec **la convexité, la surface contributive et l'indice d'humidité**, variables considérées comme contrôlant le ruissellement (volumes et vitesses de flux). En clair, les épaisseurs sont plus importantes dans les zones concaves et à surfaces contributives élevées, les zones de réception de particules transportées par l'eau. In fine, les variations d'épaisseur seraient donc liées principalement à un remaniement superficiel hydrique et diffus.

Corrélations h.BT / variables morphométriques (tableau 1b)

Peu de chose à en dire car les coefficients de corrélation sont trop faibles pour montrer une relation significative. Paradoxalement, les h BT semblent plus épais, en tendance, dans les zones convexes, hautes et à surface contributive faible qui sont plutôt des zones de départ que des zones d'accumulation.

En fait les variables morphométriques du relief actuel ne permettent pas d'expliquer la variabilité à faible distance des épaisseurs, et de faire ainsi la part de la pédogénèse, et celle de l'érosion.

a - Volume 1 = E horizons									
	!	Alt	P	Sin φ	Cos φ	Ch	Ct	Sc	W
Épaisseurs	!								
312	!	0.02	-0.14	-0.04	-0.01	-0.36	-0.40	0.32	0.45
sondages tarière		les valeurs de coefficient de corrélation linéaire inférieures à 0,15 ne sont pas significatives au seuil de 5%							
b - Volume 2 = BT horizons									
	!	Alt	P	Sin φ	Cos φ	Ch	Ct	Sc	W
Épaisseurs	!								
231	!	0.21	-0.12	-0.16	-0.11	0.15	0.20	-0.24	-0.12
Sondages tarière		les valeurs de coefficient de corrélation linéaire inférieures à 0,18 ne sont significatives au seuil de 5%							

Alt = Altitude Sin φ = Sin orientation Ch = Convexité horizontale Sc = Surface Contributive
P = Pente Cos φ = Cos orientation Ct = Convexité transversale W = Index d'humidité

Tableau 1 : corrélations entre variables pédologiques et morphométriques

Essai de modélisation.

La recherche des lois de distribution avait pour but d'établir un modèle prédictif de distribution des volumes de la couverture pédologique.

On a essayé de le faire pour le volume VI. Dans l'état actuel le modèle n'explique que 40% de la variabilité. Ceci est sans doute du pour une part, aux imprécisions de mesure, mais aussi au fait que d'autres variables morphométriques intervenant dans d'autres processus physiques ou anthropiques n'ont pas encore été prises en compte.

CONCLUSIONS - PERSPECTIVES.

La complémentarité des deux approches adoptées dans ce travail a permis de montrer que :

* la variabilité des épaisseurs des 2 groupes d'horizons n'est pas corrélée aux mêmes variables explicatives ; ceci signifie qu'après pédogenèse les h.E et les h.BT ont évolué différemment.

* le remaniement de la partie supérieure de la couverture pédologique est assez général et principalement du à des processus hydrologiques diffus de surface..

Ce résultat diffère très sensiblement de ceux obtenus dans des secteurs limoneux du centre du Bassin de Paris avec des modèles de distribution mettant en évidence le rôle du vent. Il souligne donc la particularité de cette partie du nord-ouest de la France.

* Cependant, les paramètres morphométriques utilisés ne suffisent pas à expliquer toute la variabilité, et pour aboutir à un modèle prédictif de distribution plus solide, il conviendra d'injecter d'autres variables explicatives contrôlant d'autres processus physiques ainsi que des variables d'ordre anthropique comme le parcellaire, le sens du travail

* En l'absence de profils de références et de niveaux repères chronologiques, l'estimation des volumes de sols affectés et de la durée des actions de remaniement restent très difficiles à faire.

Des essais de corrélation avec l'évolution du parcellaire depuis plusieurs décennies, le recours à des mesures par des techniques isotopiques pourront peut-être apporter des éléments de réponse à ces aspects spatio-temporels de la distribution des sols.

BIBLIOGRAPHIE

- (2) Référentiel Pédologique. 1995. BAIZE D. & GIRARD M.C. Coord. AFES. INRA Ed.
- (3) LAUTRIDOU J.P., 1993- L'eau dans les loess de Normandie. *Quaternaire*, 4(2-3), 91-96.
- (4) LEBRET P., 1986- Variation de la sédimentation loessique entre Bray et Somme au cours du dernier cycle du froid du Weichselien. *Bull. n°31 du Centre de Géomorphologie*, pp 105-114, CNRS, Caen. France.
- (5) BOIFFIN J., PAPY F., PEYRE Y., 1986- Système de production, systèmes de culture et risques d'érosion dans le Pays de Caux. *DIAME/INAPG/INRA*.
- (6) EIMBERCK M., 19906 Facteurs d'érodibilité des sols limoneux : réflexions à partir du cas du Pays de Caux. *Cah. OSTOM, sér. Pédologie*, vol. 25, n°1-2, 81-94.
- (7) Le BISSONNAIS Y. & Al., 1996,- Genèse du ruissellement et de l'érosion diffuse sur sols limoneux : analyse du transfert d'échelle du m² au bassin-versant élémentaire agricole *Géomorphologie : Relief, processus, environnement*. 1996. n°3, 51-64.
- (8) MOORE I.D. & Al., 1991- Digital terrain modelling : a review of hydrological, geomorphological, and biological application. *Hydrological processes*, 5, 3-30.
- (9) MOORE & Al., 1993- Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science American Journal*, 57, 443-452.

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Eimberck, M.; Bonnaud, B.; Couturier, A.; Renaux, R. - Erosion récente et organisation spatiale de la couverture pédologique en zones limoneuses de grande culture du N.O. de la France, pp. 389-396, Bulletin du RESEAU EROSION n° 18, 1998.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr