

MEMOIRE

Jean Jacques VERRIEZ

présenté à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

pour obtenir le

DIPLOME D'ETUDES APPROFONDIES

DE

GEOLOGIE DYNAMIQUE ET PRATIQUE

par

DOMINIQUE DEGAND

**APTITUDE
DES SOLS**

DE

FLANDRE INTERIEURE

A

L'EPANDAGE SOUTERRAIN



Soutenu en Octobre 1984 devant la commission d'examen

AVANT-PROPOS

Avant de présenter ce mémoire, je tiens à exprimer ma gratitude à :

Monsieur le Professeur P. Celet qui m'a accueilli dans son laboratoire et a accepté d'examiner ce travail.

Monsieur F.X. Masson, l'instigateur de cette étude, qui a consacré beaucoup de son temps à suivre de près la réalisation de ce mémoire. Je le remercie particulièrement de m'avoir fait partager son expérience.

Monsieur J.J. Verriez, pour l'aide qu'il m'a apportée tant sur le terrain que lors de la rédaction du manuscrit.

Monsieur D. Ketels, pour l'aide qu'il m'a apportée sur le terrain.

Mademoiselle C. Mulier qui a assuré la dactylographie de ce mémoire.

Mesdames T. Scheers et A. Brebion, pour leur efficace assistance technique.

Je remercie également les agriculteurs de la région de Wormhout, pour leur gentillesse et leur coopération.

Enfin, je sais gré à Messieurs M. Billionnet et F. Douay de l'aide qu'ils m'ont fournie.

RESUME

Le problème de l'épuration des eaux usées par le sol en "Flandre Intérieure" a conduit à l'élaboration d'une carte pédologique.

Le substrat imperméable, d'âge tertiaire, retient les eaux d'infiltration et asphyxie en grande partie le limon quaternaire qui le recouvre : l'épuration s'effectuant en milieu oxydant, tout horizon saturé, même temporairement au cours de l'année, est inapte à l'assainissement.

Des analyses de texture en laboratoire, ainsi que des mesures d'infiltration "in situ" ont démontré la bonne capacité d'absorption de la plupart des limons.

Des dispositifs d'épandage souterrain peuvent être installés lorsque ces couches perméables sont exemptes de taches d'hydromorphie sur au moins 50 cm de profondeur.

ABSTRACT

Problem of waste water's filtration by the soil in "Houtland" has induced people to work out a pedologic map.

The water repellent tertiary age substratum impounds infiltration water and asphyxiates largely the Quaternary silt which covers it : the purifying is done in an oxidizing way, then, every saturated layer, even temporarily during the year, is unapt to cleanse.

Texture analysis in laboratory, and "in situ" percolating measures has shown the good permeability of most of the silts.

Sewage underground devices can be set up when those permeable beds don't get hydromorphic spots on more than 50 cm depth

TABLE DES MATIERES

	Pages
<u>INTRODUCTION</u>	
<u>CHAPITRE I : LE ROLE DU SOL DANS L'ASSAINISSEMENT</u>	2
I. EPANDAGE SOUTERRAIN.....	2
A. DEFINITIONS.....	2
B. BUT DE L'EPANDAGE SOUTERRAIN.....	2
II. PROCESSUS NORMAUX D'EPURATION.....	2
A. COMPOSITION DE L'EFFLUENT.....	2
B. DEGRADATION.....	2
III. ROLE DU SOL.....	3
A. INTRODUCTION.....	4
B. FACTEURS INFLUENCANT LA QUALITE DE L'EPURATION.....	4
1. Nappe phréatique.....	4
2. Perméabilité.....	4
a. Porosité utile.....	4
b. Influence du colmatage sur la perméabilité.....	6
IV. DISPOSITIFS D'EPURATION.....	9
A. L'EPANDAGE SOUTERRAIN PAR CANALISATIONS ENTERREES.....	9
B. TERTRE D'INFILTRATION.....	9
V. CONCLUSION.....	10
<u>CHAPITRE II : CARTE D'APTITUDE</u>	12
I. DESCRIPTION DU BASSIN DE L'YSER.....	12
A. DONNEES GEOGRAPHIQUES.....	12
B. DONNEES GEOLOGIQUES.....	12
II. CARTE DES SOLS.....	14
A. CAMPAGNE DE SONDAGE.....	14
B. ETUDE PEDOLOGIQUE.....	16
1. Bicouches.....	16
a. Limon sur sable.....	16
b. Limon sur argile.....	17
2. Multicouches.....	20
a. Alluvions.....	20
b. Interstratifiés.....	20

c. Limons épais.....	20
d. Sables glauconieux.....	22
C. ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE.....	22
1. Dissymétrie de versants.....	22
2. Exemple de versant occidental.....	24
3. Exemple de versant oriental.....	24
D. ETABLISSEMENT DE LA CARTE D'APTITUDE DE CASSEL 4	
A L'EPANDAGE SOUTERRAIN.....	26
<u>CHAPITRE III : CARTE D'UTILISATION DES SOLS.....</u>	<u>28</u>
I. ANALYSE TEXTURALE.....	28
A. INTERET.....	28
B. PRELEVEMENTS.....	28
C. GRANULOMETRIE.....	28
D. CAPACITE D'ABSORPTION EN FONCTION DE LA TEXTURE.....	32
II. MESURE DE PERMEABILITE.....	36
A. INTERET.....	36
B. LOCALISATION DES SITES DE MESURE.....	36
C. PRINCIPE DE LA MESURE.....	36
1. Description de l'appareillage.....	36
2. Calcul du coefficient de perméabilité.....	38
D. PROFILS PEDOLOGIQUES.....	38
E. RESULTATS.....	40
F. RELATION TEXTURE-PERMEABILITE.....	40
1. Graphe.....	40
2. Interprétation.....	42
III. COMMUNE DE LEDRINGHEM (Carte d'utilisation des sols).....	45
A. INTRODUCTION.....	45
B. ZONATIONS EFFECTUEES A PARTIR DES TEXTURES ET DE	
L'HYDROMORPHIE.....	45
CONCLUSION GENERALE.....	48

INTRODUCTION

Cette étude sur l'aptitude des sols à l'épandage souterrain des sols de Flandre Intérieure a été menée sous la direction du Service Régional d'Aménagement des Eaux, en collaboration avec le laboratoire de géologie dynamique de l'Université des Sciences et Techniques de Lille.

Cette étude locale fait suite à un mémoire effectué par F.X. Masson et D. Turckx en 1981, concernant la totalité des sols du département du Nord : la zonation a été basée sur l'observation des terrains rencontrés. Des mesures de perméabilité ont aidé à déterminer les régions où la technique de l'épandage était possible.

Les sols peuvent, dans certaines conditions, absorber, filtrer et minéraliser les matières en suspension contenues dans les effluents : une étude sur leur aptitude à l'assainissement individuel ou semi-collectif est indispensable lorsqu'ils sont destinés à faire partie du dispositif d'épuration.

Une prospection pédologique a donc été entreprise dans la région de Wormhout (Bassin de l'Yser) : elle met en évidence divers types de sols qui sont ensuite classés d'après les critères suivants :

- hydromorphie (hauteur de la nappe phréatique hivernale) ;
- texture (argile, sable, limon) ;
- perméabilité (capacité d'absorption).

Ces données permettent d'établir une carte d'utilisation des sols.

Le travail se décompose donc en trois parties.

En 1re partie, je parlerai de la nature de l'effluent moyen issu des habitations, ainsi que les processus d'épuration de ces effluents. Ensuite, je tenterai d'expliquer le rôle du sol vis-à-vis des eaux usées qui y sont injectées. En conclusion de ce chapitre, je décrirai le fonctionnement des dispositifs d'épandage souterrain pouvant être utilisés.

Une 2e partie a pour but de présenter la région étudiée et de tenter un premier classement des sols suivant :

- la nature des zones sédimentaires ;
- la texture ;
- l'hydromorphie.

Une carte à 1/25 000 conclut cette première étude.

Une 3e partie est consacrée aux analyses quantitatives qui permettent de préciser les différents critères d'aptitude énoncés en 2e partie.

a) Des analyses granulométriques déterminent le type de texture des sols de Flandre intérieure.

b) Des mesures d'infiltration évaluent la capacité réelle d'absorption de ces sols.

c) Des corrélations entre perméabilité et texture des sols peuvent être envisagées.

Une carte communale conclut cette deuxième approche du problème : dans certains cas, des dispositifs d'épuration sont proposés, sous réserve d'analyses ultérieures.

Ce mémoire a pour but de mettre en évidence les caractéristiques des sols rencontrés en Flandre Continentale : il peut ainsi servir de base à d'éventuels projets d'assainissement dans cette région.

CHAPITRE I : LE ROLE DU SOL DANS L'ASSAINISSEMENT

I. EPANDAGE SOUTERRAIN

A. DEFINITIONS

L'épandage est un procédé d'épuration biologique ne pouvant être employé que pour des effluents dégradables et assimilables par les organismes liés au sol, et non dangereux pour la vie en général.

L'épandage souterrain (C. T. G. R. E. F., 1979) est un dispositif qui vise à répartir des eaux prétraitées dans une tranche de sol assez proche de la surface (80 cm environ) au moyen de drains.

B. BUT DE L'EPANDAGE SOUTERRAIN

Les eaux usées industrielles sont rejetées dans des bassins filtrants à ciel ouvert : les débits importants provoquent un colmatage rapide de la couche de graviers qui constitue le fond du bassin : celui-ci fait l'objet d'un remplacement périodique.

L'épandage souterrain par canalisations enterrées est d'entretien plus délicat : les conditions d'accès y sont difficiles. Il faut dans ce cas limiter le débit de rejet des effluents. Cette technique paraît donc idéale pour l'assainissement individuel ou l'assainissement collectif (périodique : terrain de camping) : en effet, dans le cas de l'assainissement individuel, le débit maximal a été évalué à 150 l par jour et par habitant (Alozy, 1977).

L'assainissement par épandage souterrain a pour but (D. D. A., 1979) :

- de débarrasser les habitants de leurs eaux usées ;
- de restituer ces eaux au milieu naturel sans créer de pollution chimique ou bactériologique des ressources en eau.

II. PROCESSUS NORMAUX D'EPURATION

A. COMPOSITION DE L'EFFLUENT

Le tableau 1 donne la composition moyenne par litre d'effluent rejeté par l'habitation individuelle.

B. DEGRADATION

a) La biodégradabilité de la matière organique se mesure comme suit :

- DBO₅ (demande biochimique en oxygène) : il s'agit de la quantité d'oxygène consommée après incubation durant 5 jours dans l'obscurité ;
- DCO (demande chimique en oxygène) : quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables existant dans l'eau (du dichromate de K catalyse la réaction).

Une bonne biodégradabilité est assurée lorsque le rapport DCO/DBO₅ est inférieur à 2,5. C'est le cas pour l'effluent moyen (rapport égal à 2,1 ; Petit, 1975).

Tableau 1
COMPOSITION MOYENNE PAR LITRE D'EFFLUENT

DBO ₅ = 621 mg	} DCO/DBO ₅ = 2,1
DCO = 1 300 mg	
Graisses = 167 mg	
Azote total (N _T) = 124 mg	
avec : . 72 mg de NH ₄ ⁺	
. 0,74 mg de (NO ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻)	
. 67,8 mg de N. org.	
PO ₄ ³⁻ = 27 mg	
MES = 367 mg	
Détergents = 77 mg	
Indicateurs fécaux :	
. <i>E. coli</i> : 10 ⁸ à 10 ¹¹	
. St. fécaux : 4.10 ⁵ à 5.10 ⁹	
. <i>Clostridium</i> : 6.10 ³ à 2.10 ⁸	

b) Les matières en suspension (M. E. S.) et les graisses sont en quantité importante : elles sont en partie retenues au niveau des dispositifs de décantation.

Les M. E. S. qui se décantent très difficilement sont responsables de la propriété colmatante de l'effluent.

c) L'azote se présente principalement sous deux formes : N organique et NH₄⁺ : ces composants doivent subir des réactions de nitrification en milieu aérobie et de dénitrification en milieu anaérobie pour être éliminés correctement.

Le tableau 2 résume les principales étapes permettant l'obtention d'un effluent épuré.

III. ROLE DU SOL

A. INTRODUCTION

Le sol ne sera un bon épurateur que s'il est capable d'absorber la totalité des eaux usées qui y seront injectées et d'éliminer les polluants ainsi apportés (nitrates, phosphates M. E. S.).

Le sol peut filtrer l'eau qui y percole (rétention au niveau des particules minérales). Les microorganismes vivant dans le sol peuvent dégrader et assimiler une grande partie des produits injectés.

L'épuration n'est complète que si, à un moment donné, le milieu a été oxydant (cf. tabl. 2). Il est donc nécessaire de conserver une zone non saturée pendant l'épandage.

Une bonne oxygénation dépend de deux facteurs essentiels : la nappe phréatique et la perméabilité.

B. FACTEURS INFLUANT SUR LA QUALITE DE L'EPURATION

1. La nappe phréatique

L'épandage consiste en premier lieu à injecter un surplus d'eau dans le sol : si la nappe est trop élevée dans le profil, cet apport supplémentaire provoquera une remontée d'eau jusqu'au dispositif d'injection qui deviendra inutilisable.

De même, l'apport d'eaux usées se mêlant, dès l'arrivée dans le sol, aux eaux de la nappe phréatique, entraîne des risques de pollution.

Avant toute étude, il convient de s'assurer que la hauteur de la nappe permette un épandage.

Dans la plupart des cas, la nappe phréatique fluctue au cours de l'année, il faut donc tenir compte de sa hauteur maximale (période hivernale).

Il est possible de déterminer ce niveau en toutes saisons : en effet des taches d'hydromorphie temporaire sont visibles dans les horizons de battement de nappe : en période humide, le fer est à l'état ferreux (Fe^{2+}), réduit par une anaérobiose temporaire et reprécipite à l'état de fer ferrique (Fe^{3+}) lorsque le niveau d'eau descend : la présence d'un horizon caractérisé par des taches ocre vif à rouille de Fe^{3+} , mélangées à des concrétions durcies de couleur noire (Fe^{2+}), est la preuve de stagnation temporaire de l'eau (Duchaufour, 1970).

Lorsque cet horizon apparaît trop proche de la surface, le rejet d'effluents y est compromis en hiver : l'assainissement individuel durant toute l'année, on considère qu'un sol est inapte à l'épandage souterrain quand la nappe phréatique atteint, même temporairement, la tranche de sol située de 0 à 50 cm de profondeur.

Dans les autres cas, le sol fait l'objet d'une étude plus approfondie.

2. La perméabilité

Cette propriété est essentielle ; elle permet de savoir si le sol est capable d'absorber en une journée les 150 l d'effluents qui doivent y être rejetés.

Il est également important de vérifier dans quelle mesure les effluents peuvent modifier la perméabilité initiale.

a. Notion de porosité utile

Une bonne perméabilité est favorisée par une porosité utile importante (porosité par laquelle l'eau peut s'écouler).

Porosité utile : $n_s = \frac{V_v - V_a}{V_T}$ avec

- (V_T = volume total du sol
- (V_v = volume des vides
- (V_a = volume occupé par la pellicule d'eau adsorbée aux grains

Tableau 2

PRINCIPAUX PROCESSUS D'ÉPURATION DES EFFLUENTS
(C. GOUGOUSSIS, 1982)

EFFLUENT BRUT	DÉCOMPOSITION EN ANAÉROBIOSE : 'HYDROLYSE'	DÉCOMPOSITION EN AÉROBIOSE : 'OXYDATION'	ÉPURATION PAR
<ul style="list-style-type: none"> • présence de MATIÈRE ORGANIQUE : { C, H, O, N, P, S... } <ul style="list-style-type: none"> - protéines - lipides - glucides - urée - détergents • présence de MATIÈRE MINÉRALE non soluble • présence de SELS { Na⁺, NH₄⁺, Ca⁺⁺, Cl⁻, ... } • présence de GERMES PATHOGÈNES. 	<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> protoplasme bactérien CH₄, CO₂ NH₃, H₂, H₂O, H₂S sels: { PO₄⁻⁻⁻, SO₄⁻⁻⁻ ... <li style="padding-left: 40px;">Na⁺, Ca⁺⁺, NH₄⁺ ... produits intermédiaires - urée → NH₄⁺, CO₂ - détergents → PO₄⁻⁻⁻ → MAT. MIN. → Na⁺, NH₄⁺, Ca⁺⁺, Cl⁻ → GERMES PATH. 	<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> protoplasme bactérien CO₂ NO₂⁻, NO₃⁻, H₂O sels: { PO₄⁻⁻⁻, SO₄⁻⁻⁻, NO₂⁻, NO₃⁻ } <li style="padding-left: 40px;">Na⁺, Ca⁺⁺ → NO₂⁻, NO₃⁻, CO₂ → PO₄⁻⁻⁻ → MAT. MIN. → Na⁺, { NO₂⁻, Ca⁺⁺, Cl⁻ } <li style="padding-left: 40px;">NO₃⁻ → GERMES PATH. 	<ul style="list-style-type: none"> - filtration - assimilation par les microorganismes - mort - adsorption - précipitation - dénitrification - complexation

La porosité utile dépend de la texture du sol. La texture est définie par l'assemblage des trois classes granulométriques suivantes (Bonneau, 1979) :

- SABLES (grosiers de 2 mm à 200 μ , fins de 200 μ à 50 μ) ;
- LIMONS (grosiers de 50 à 20 μ , fins de 20 μ à 2 μ) ;
- ARGILES (particules inférieures à 2 μ).

Quelques remarques sont à faire avant de poursuivre cette étude.

1°) Les sables présentent un inconvénient : les vides laissés entre les particules sont de grande taille (la porosité utile est importante car V_v est très supérieur à V_a). Les eaux usées risquent d'y percoler trop rapidement. Elles n'auront pas le temps de se débarrasser de la totalité des impuretés qu'elles transportent avant d'atteindre la nappe.

2°) A l'inverse, les argiles pures empêchent une infiltration rapide :

- bien que leur porosité totale ($\frac{V_v}{V_T}$) soit très élevée, leur porosité utile est très faible du fait des petites dimensions des pores : l'eau adsorbée aux particules occupe une grande partie du volume des vides ;
- les argiles minéralogiques (montmorillonites) constituent la majorité des argiles granulométriques ; ces argiles minéralogiques ont des propriétés gonflantes à saturation, ce qui réduit d'autant la perméabilité du sol.

3°) Les formations limoneuses ont une porosité totale élevée ($n \approx 40\%$). Cependant, l'arrangement des grains est tel que, dans certains cas, la porosité utile chute à 2 % (Donville, 1979).

b. Influence du colmatage sur la perméabilité

L'effluent injecté est colmatant (l'eau se décharge des matières en suspension qu'elle transporte dans les premiers centimètres du sol). Ce colmatage a pour conséquence une diminution de la perméabilité.

Une étude en laboratoire, effectuée par J. Bouma en 1972, permet d'expliquer ce phénomène.

1°) Pression d'eau dans le sol : en figure 1, des tubes plongés dans l'eau simulent le sol (la section des tubes est équivalente au diamètre des pores. De la base du récipient jusqu'au sommet des tubes, l'eau se trouve à des niveaux de pression différents :

- l'eau du récipient peut être assimilée à la nappe phréatique ; il s'agit d'une eau gravitationnelle : la pression P de l'eau est importante au fond de récipient et décroît lorsqu'on monte, pour s'annuler en surface ($P = 0$) ;

- au-dessus de la surface d'eau libre, le sol est encore saturé (tous les tubes sont remplis d'eau) : cette zone est l'équivalent de la frange capillaire ; l'eau est retenue dans les pores, la pression est devenue négative et représente une tension Ψ qui s'oppose à la face gravitationnelle ;

- au fur et à mesure que l'on monte dans le profil, cette tension Ψ s'accroît (on s'éloigne du point d'équilibre à $P = 0$). La figure 1

Fig. 1

Expression graphique de la relation entre la taille des pores tubulaires et le potentiel matriciel " Ψ " correspondant.

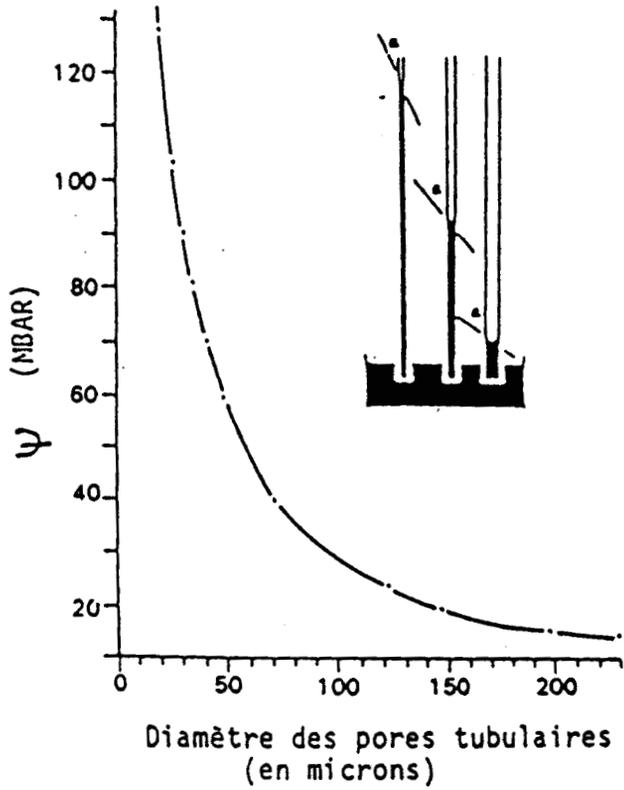
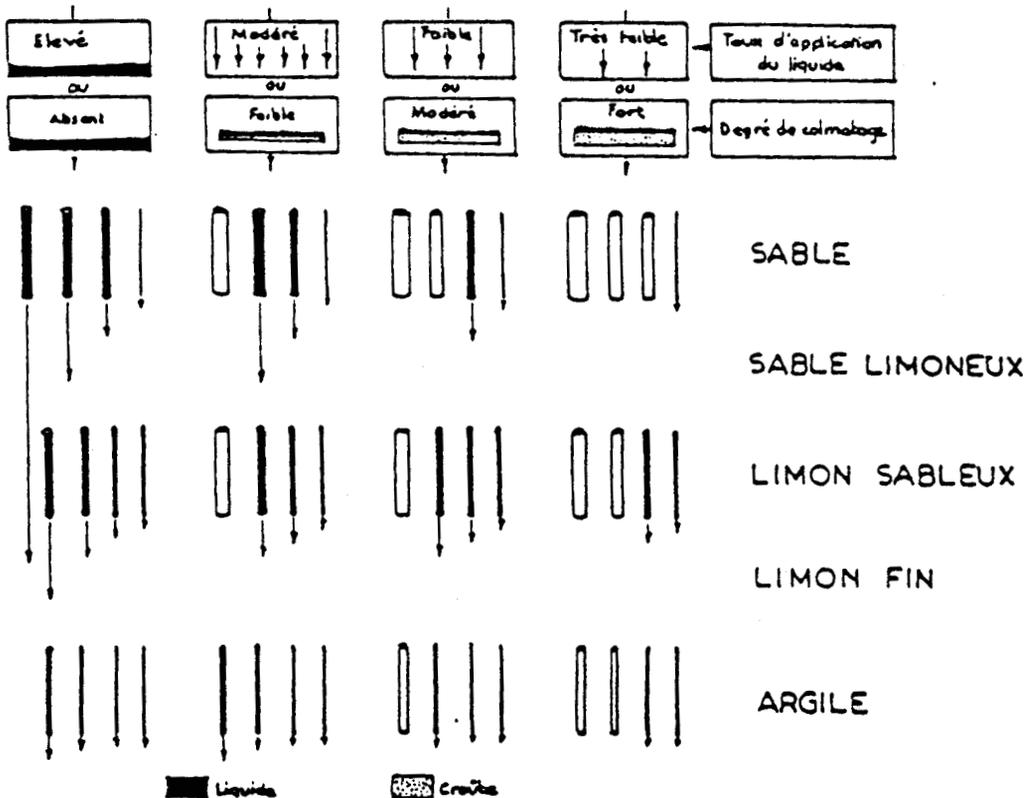


Fig. 2 : effet du colmatage ou du type d'application d'un liquide sur le taux de percolation :



montre que les tubes fins retiennent l'eau à des tensions élevées alors que les tubes grossiers se vident : plus le capillaire est fin, plus l'eau s'élève et combat ainsi la gravité. (Le graphe donne la relation entre la taille des pores et la succion Ψ qu'exercent ces pores sur l'eau).

Cette expérience permet de comprendre ce qui se passe dans le sol lors de l'injection d'effluents.

2°) Simulation de colmatage : la figure 2 montre l'effet d'un degré croissant de colmatage sur le taux de percolation à travers trois sols différents : SABLE, LIMON SABLEUX et ARGILE.

Les différentes tailles de pores sont représentées pour chaque sol, à l'aide de tubes de section variable.

Le colmatage progressif est simulé par un débit d'eau claire qu'on diminue petit à petit.

Au départ (colonne de gauche), le débit élevé sature tous les sols ; cela correspond à un colmatage nul ; on a un écoulement gravitaire de l'eau, la tension Ψ est donc nulle. Cette anaérobiose permet l'hydrolyse, première phase de l'épuration.

En deuxième colonne, le débit devient modéré (apparition d'une faible croûte de colmatage), l'eau commence à être retenue au niveau de cette croûte ; cette rétention d'eau entraîne un accroissement de la succion Ψ en dessous de la croûte de colmatage.

On a vu (fig. 1) que les pores grossiers ne retiennent pas l'eau : l'augmentation de la succion Ψ entraîne le drainage des pores les plus grossiers qui se remplissent d'air : un faible taux de colmatage s'accompagne donc d'une réduction des perméabilités du sable et du limon sableux, mais n'influe pas sur la perméabilité de l'argile.

Ce drainage induit l'apparition de conditions aérobies dans les deux premiers sols permettant la deuxième phase de l'épuration (cf. "oxydation", tabl. 2). Elle a pour effet d'éliminer une partie de la croûte de colmatage : il y a donc antagonisme entre l'apport régulier d'effluents qui alimente la croûte et la dégradation de celle-ci due aux conditions aérobies qu'elle a elle-même provoquée.

Le colmatage est un phénomène normal présentant l'avantage d'améliorer les performances d'épuration des sols à texture grossière (sables et limons sableux) (Gril, 1980).

Pour les argiles et les sols à texture fine, on constate que le drainage des pores ne se fait qu'après la formation d'une croûte épaisse (fig. 2, 3e et 4e colonnes). Les pores de faible dimension engendrent des conditions aérobies insuffisantes pour dégrader cette croûte (trop de pores contiennent encore de l'eau). Le degré de colmatage s'accroît donc au point que l'argile, de faible perméabilité au départ, devient un écran imperméable.

Pour éviter cela, il faudrait injecter dans le sol des débits d'effluents bien inférieurs à 150 l/j.

Les argiles pures ainsi que les limons argileux (un sol argileux bien structuré a une perméabilité supérieure à celle d'un limon à teneur en argile beaucoup plus faible : C. T. G. R. E. F., 1980) sont donc médiocres vis-à-vis de l'épandage souterrain.

Il est cependant possible d'y installer des dispositifs d'injection mais ceux-ci, pour un même débit, doivent avoir une surface d'infiltration beaucoup plus grande que pour un sol perméable, d'où une installation plus coûteuse.

IV. DISPOSITIFS D'EPURATION

Les dispositifs permettant une épuration par le sol sont les drains enterrés et le terre filtrant (Gougoussis, 1978). Ces dispositifs sont encore peu développés et leur utilisation n'est pas réglementée.

A. L'EPANDAGE SOUTERRAIN PAR CANALISATIONS ENTERREES

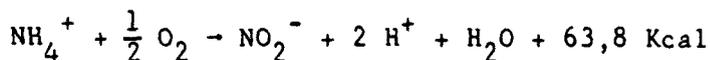
Ce type de dispositif est le moins coûteux car il utilise au maximum les propriétés du sol en place.

Exemple : le podzol (fig. 3). A gauche, le sol initial est représenté avec son horizon humifère A_1 . A droite, le sol a été décapé sur 50 cm de profondeur : la tranchée ainsi réalisée a été comblée par une couche de graviers dans laquelle une canalisation a été insérée : l'intérêt du gravier est sa forte porosité qui évite ainsi que le colmatage ne se fasse juste au débouché du drain mais 10 à 20 cm plus bas. Ainsi l'eau peut stagner pendant un certain temps sur la croûte de colmatage sans noyer le drain. De même, ce gravier permet d'éviter que des particules bouchent la canalisation (ce risque aurait été élevé avec du sable ou du limon grossier).

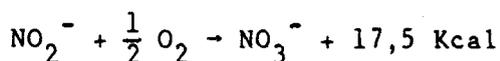
Un remblai en terre végétale permet une mise en culture (ce procédé n'entraîne pas de perte de surface), il faut néanmoins éviter d'y planter des arbres ou des arbustes.

La croûte de colmatage induit un flux non saturé dans l'horizon sableux A_2 du podzol : la décomposition de l'effluent s'effectue en anaérobiose au niveau de la croûte et se poursuit en aérobiose lors de la percolation en A_2 . Dans ce cas, l'azote subit sa dégradation complète : la nitrification s'effectue en A_2 (aérobiose).

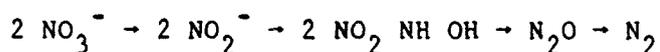
a) Nitrosation grâce à Nitrosomonas :



b) Nitratation grâce à Nitrobacter :



L'horizon B_2 d'accumulation d'humus retient temporairement l'eau (perméabilité plus faible qu'en A_2). Ces nouvelles conditions anaérobies permettent une dénitrification :



(Dommergues, 1970). La pollution par les nitrates n'a pas lieu avec ce dispositif.

B. TERTRE D'INFILTRATION (fig. 4)

Ce dispositif est plus coûteux que le précédent. Il est cependant intéressant pour les sols suivants :

- sols dont la nappe phréatique se situe entre 50 et 100 cm de la surface, en hiver ;
- sols perméables peu épais (horizon imperméable à moins d'un mètre de profondeur).

Dans ces deux cas, la proximité immédiate d'une nappe ou d'un niveau imperméable empêche toute injection à 50 cm de profondeur.

Le tertre (fig. 4) est constitué de sable pour assurer une bonne perméabilité. Les drains d'injection sont placés au sommet pour donner le plus de profondeur possible à la zone non saturée.

Des barrières d'argile assurent la stabilité du tertre. Le tout est recouvert de terre végétale.

Le sable permet une bonne infiltration, la couche humifère du sol en place, non décapée, joue le même rôle que le Bh du podzol ; il s'agit en fait d'une surélévation du dispositif précédent, proportionnelle à la hauteur de la nappe hivernale ou du plancher imperméable, selon les cas.

V. CONCLUSION

Les critères principaux d'aptitude des sols à l'épandage souterrain sont :

- a) l'hydromorphie :
 - nappe hivernale à moins de 50 cm de la surface → inapte ;
 - nappe hivernale de 50 à 100 cm de la surface → tertre ;
 - nappe hivernale à plus de 100 cm → tranchée ;
- b) la profondeur d'un éventuel niveau imperméable :
 - niveau imperméable à moins d'1 m de la surface → inapte ;
 - niveau imperméable à plus d'1 m de la surface → apte ;
- c) la texture du sol en place : l'aptitude du sol décroît avec l'augmentation de particules fines.

Nous pouvons maintenant passer à l'utilisation de ces données, en vue d'une étude sur l'aptitude des sols de Flandre Intérieure à l'épandage souterrain.

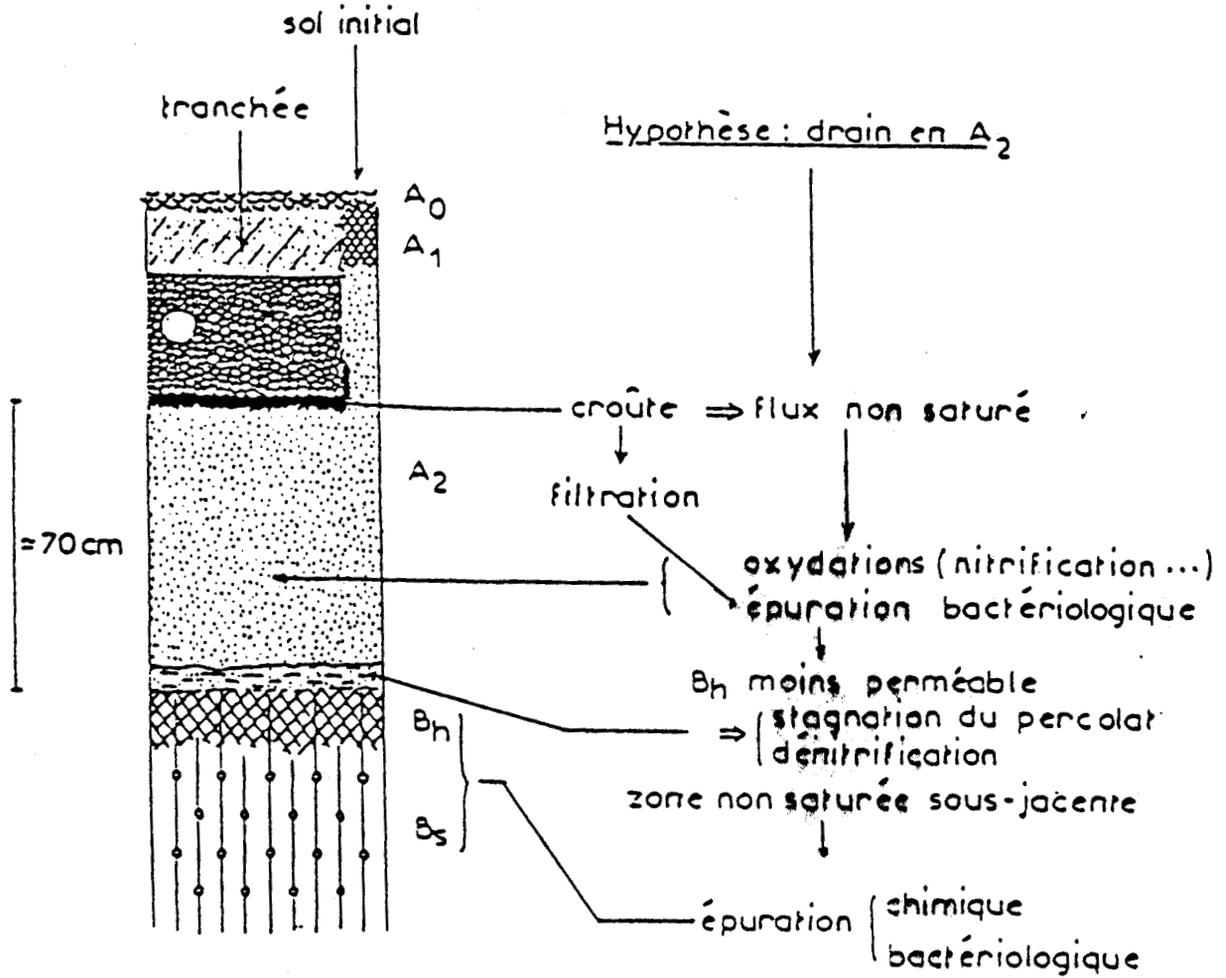
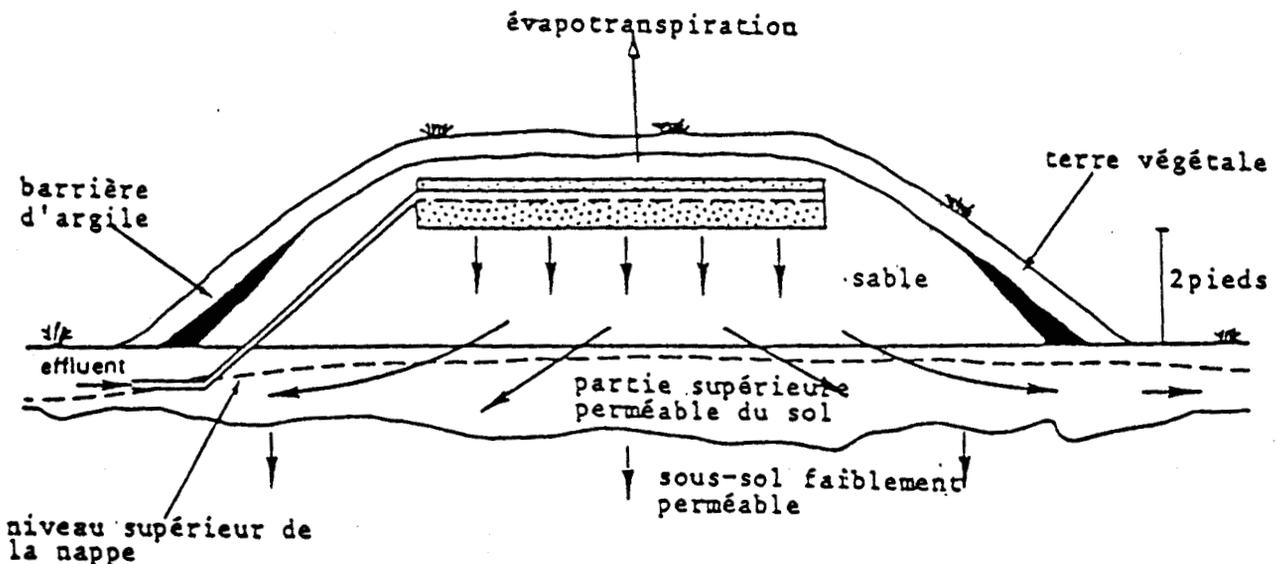


Fig. 3 : LE POOZOL

Fig. 4 : TERTRE D'INFILTRATION SUR SOL PEU PERMEABLE

Sol lentement perméable à trois pieds sous la surface du sol.



CHAPITRE II : CARTE D'APTITUDE

I. DESCRIPTION DU BASSIN DE L'YSER

A. DONNEES GEOGRAPHIQUES (fig. 5)

Le bassin de l'Yser est situé en Flandre Intérieure. Il est bordé au Nord par la plaine des Wateringues, à l'Ouest par l'Artois, au Sud par les Monts de Flandre (Mont Cassel, Mont des Récollets, Mont des Cats, Mont Noir). Il se prolonge vers l'Est jusqu'au delà de la frontière belge.

Ce bassin occupe en France une surface totale d'environ 330 km², essentiellement localisé dans le département du Nord.

L'Yser et ses principaux affluents (Peene Becque, Sale Becque) prennent leur source au Sud, dans les buttes témoins argilo-sableuses du Mont Cassel et du Mont des Récollets. Ces collines, ainsi que celles de la région de Bailleul, s'orientent selon une direction principale (axe des Monts de Flandre : WNW-ESE), et une direction secondaire NNE-SSW mise en évidence par A. Briquet (1906), qui affecte le tracé des divers éléments de relief : ainsi, dans le bassin de l'Yser, les vallées rectilignes forment des coudes relativement brusques (Sommé, 1975) et les becques accusent parallèlement les mêmes déviations de cours au Nord des monts.

Topographiquement, cette région s'individualise par une faible altitude (25 à 30 m maximum) et des versants à très faible pente : elle constitue la transition entre les monts de Flandre au Sud (altitude maximale : 176 m et versants marqués) et la plaine maritime (altitude inférieure à 10 m, relief très peu marqué).

B. DONNEES GEOLOGIQUES

1. Introduction

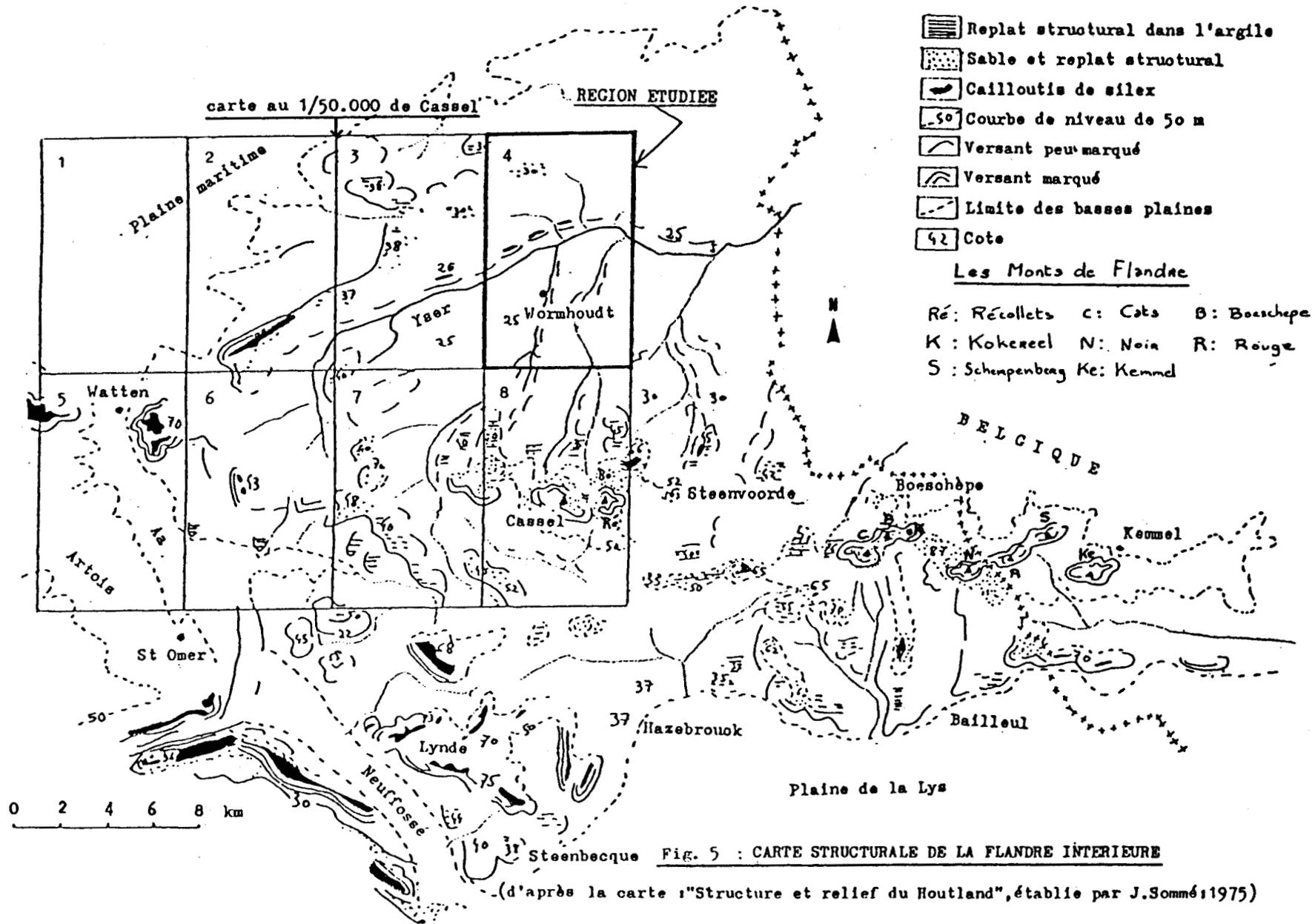
La présente étude s'effectue sur une partie représentative du bassin de l'Yser, il s'agit d'une surface correspondant au 1/8e de la feuille au 1/50 000 de Cassel (la figure 5 montre la position de la feuille de Cassel par rapport à la région décrite ; le huitième n° 4 est le secteur soumis à la prospection pédologique : ce secteur sera appelé Cassel 4 .

2. Carte géologique de Cassel 4 (fig. 6)

A conditions climatiques égales, la pédogenèse dépend principalement de la roche-mère (Duchaufour, 1977). L'inventaire des zones sédimentaires sert donc de base à l'étude des sols.

Les dépôts affleurant dans cette région sont au nombre de 4 ; on trouve dans l'ordre chronologique :

a. "L'argile de Roubaix" (Yprésien supérieur, Tertiaire) : il s'agit d'une argile compacte et homogène. Elle contient des bancs, parfois très épais (6 à 7 m), de sable très fin et argileux. Cette assise a une puissance de 75 m et a été très bien décrite à partir de la coupe du mont Cassel (Pomerol, 1968). Elle est homogène dans l'ensemble de la Flandre Intérieure et en constitue le substratum.



b. Les formations résiduelles à silex (Eocène terminal à début quaternaire) occupent une place importante à l'Ouest de la Flandre Continentale (collines de Watten, à plus de 70 m d'altitude) (fig. 5). On les retrouve sous forme de cailloutis, à des altitudes beaucoup plus faibles dans le secteur étudié où elles n'affleurent qu'en deux endroits :

- à l'altitude de + 20 à Quaëdypre ;
- à l'altitude de + 15 à La Crulle.

c. Les limons des plateaux (Pléistocène) : cette formation constitue les 3/4 des sols de la région. Elle a longtemps été considérée comme un résidu d'altération de l'argile yprésienne sous-jacente. En fait, une origine éolienne est plus probable pour deux raisons :

1°) le recouvrement limoneux est important sur les versants orientaux des collines qui sont en pente douce. Les versants tournés vers l'Ouest, par contre, laissent souvent affleurer l'argile et sont en pente plus raide (Sommé, 1977). Ceci suppose un régime de vents dominants dirigés d'Est en Ouest en territoire désertique (VATAN, 1967).

2°) Les limons deviennent souvent plus sableux au contact de l'argile yprésienne. Ils n'en sont donc probablement pas issus. La fraction argileuse importante que l'on trouve dans certains limons peut provenir de la contamination des apports éoliens (limons + sables) par l'argile sous-jacente.

d. Les alluvions modernes (Quaternaire récent) sont des dépôts très peu développés en bordure des becques. Ils se présentent sous forme d'interstratifications de niveaux à dominante argileuse et de niveaux sableux.

On peut noter dans la région l'absence de tout faciès crayeux. Le calcium n'apparaît en petite quantité que dans les limons (Poupées de Loess). Les nodules de craie que l'on trouve dans l'argile yprésienne sont dus au ruissellement qui a dissous le calcaire des fossiles. Ce calcaire a reprécipité plus bas.

Ainsi, deux faciès sédimentaires vont influencer la pédogenèse : l'argile sableuse yprésienne et les limons pléistocènes qui feront l'objet d'une analyse précise, notamment au niveau de la texture.

Les formations résiduelles sont trop peu développées dans cette région pour influencer la pédogenèse.

Les alluvions, du fait de leur hydromorphie totale et permanente, sont exclus de l'étude, leur extension est d'ailleurs très réduite.

L'utilisation de la carte géologique est malgré tout assez limitée : en effet, le contour des formations géologiques a souvent été fait à partir d'hypothèses non vérifiées telles que : absence de tectonique, aclinalité des niveaux anté-quaternaires et régularité des apports fluviaux.

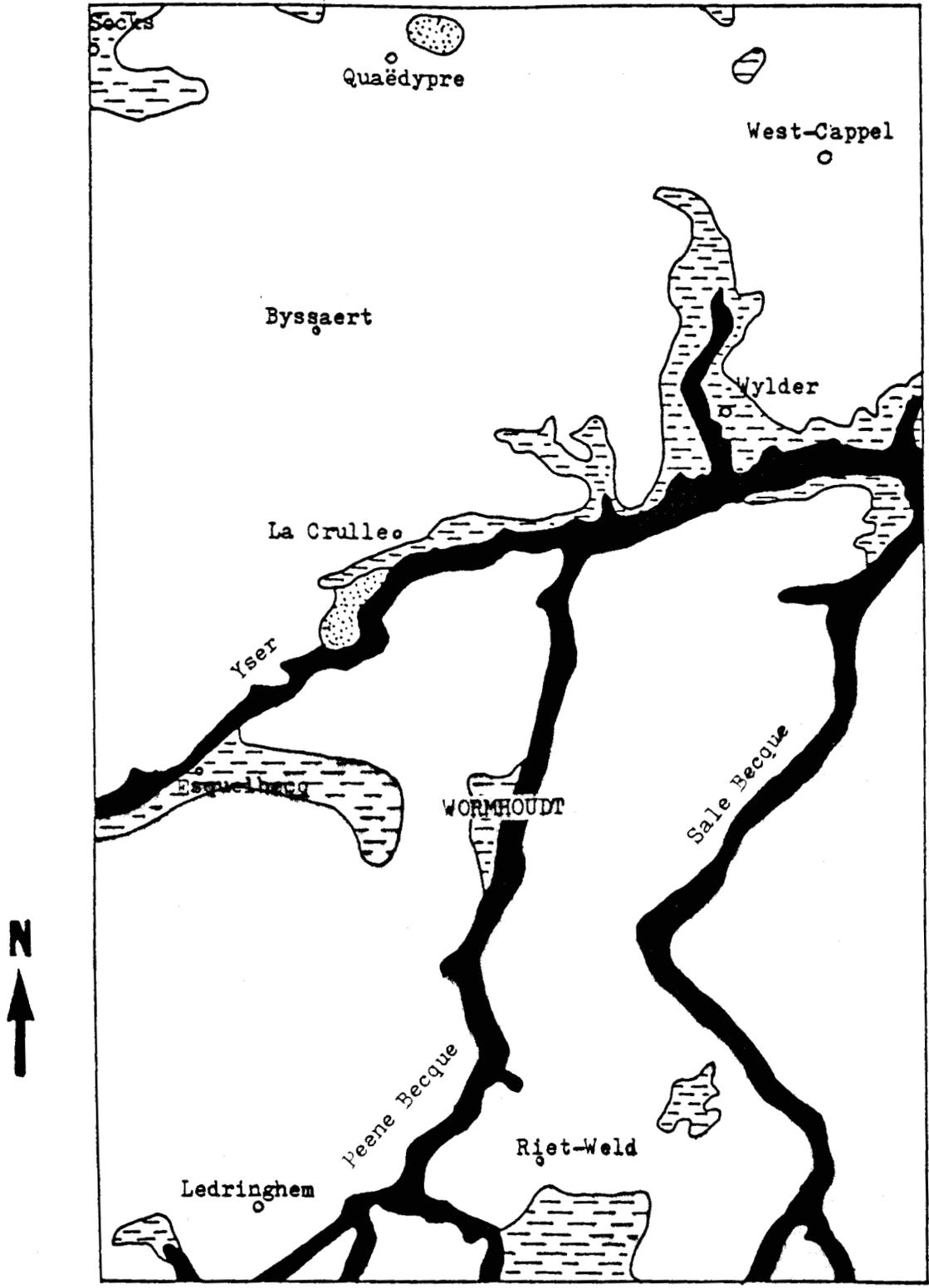
De même, la nature précise des limons ainsi que leurs variations latérales de texture ne sont pas indiquées : une campagne pédologique est nécessaire pour bien connaître la nature des sols.

II. CARTE DES SOLS

A. CAMPAGNE DE SONDAGE

Une prospection systématique avec équidistance des sondages permet de

CARTE GEOLOGIQUE



(CASSEL 4)

-  Argile sableuse de ROUBAIX ; YPRESIEN SUPERIEUR : e_{4a}
-  Formations résiduelles à silex : RS
-  Limon argilo-sableux. PLEISTOCENE : e_{4r}
-  Alluvions modernes : Fz

Fig. 6 (Extrait de la carte au 1/50.000 de Cassel, établie par G. Waterlot : 1969)

rencontrer tous les types de sols avec une probabilité proportionnelle à leur extension. On aura ainsi une bonne idée de la nature pédologique de la région.

La prospection se fait suivant un maillage : des sondages occupent les sommets de carrés de 800 m de côté, d'autres sondages occupent le centre de ces carrés ; l'équidistance minimale des sondages est de : $800/\sqrt{2} = 565,7$ m en diagonale. Les sondages sont repérés grâce au carroyage kilométrique et hectométrique LAMBERT (cf. annexe I).

En abscisse, chaque kilomètre est noté par un numéro (Cassel 4 débute au n° 20 et se termine au n° 26).

En ordonnée, chaque kilomètre est noté par une lettre (Cassel 4 débute en haut par la lettre A et se termine par la lettre K).

Chaque carré kilométrique est divisé en 100 carrés hectométriques numérotés de 1 à 10 en abscisse et de A à J en ordonnée. Ce type de numérotation est développé dans la thèse de 3e cycle de Masson (1979), fig. 1, 2 et 4).

La lecture des sondages se fait comme suit. Exemple, le premier sondage de la première colonne se lit :

7	B 20	C 3
n° de la feuille au 1/50 000	n° du carré kilométrique	carré hectométrique

La prospection comporte environ 180 sondages pour couvrir $6,2 \times 10,7 = 66$ km² environ. Certaines zones avaient déjà fait l'objet d'une prospection.

Les sondages sont faits à la tarière à main. Cette méthode permet de déterminer la texture du sol au toucher : la structure n'est pas décelable, elle est détruite par rotation de la tarière.

Cette campagne de sondage remet en question certains tracés de la carte géologique.

Exemple : au Sud de Socx, le sondage C 20 E 7 (cf. annexe I) montre un affleurement d'argile à moins de 50 cm de la surface, là où on a cartographié des limons (voir en détail planche 1). De même, la carte géologique montre un gisement d'argile en G 21 I 1 alors que le sondage effectué à cet endroit révèle une forte épaisseur de sable.

B. ETUDE PEDOLOGIQUE

Types de sols rencontrés : les sondages à 1,60 m ont montré que la plupart des sols se présentent sous forme de bicouches (superposition de deux niveaux de textures différentes : Limon/Sable ; Limon/argile .

Une place sera faite à part pour les sols ne pouvant être représentés par bicouches.

1. Bicouches

a. ----- Limon sur sable

C'est le cas le plus courant : environ 70 à 80 sondages montrent un niveau limoneux passant, soit brutalement, soit progressivement en profondeur, à une texture plus sableuse (sable limoneux, sable pur ou sable argileux). Le pourcentage d'argile de ces sols est souvent trop faible pour être pris en compte (moins de 15 %).

Deux exemples de limon sur sable sont donnés en planche 1.

Le sondage C 22 A 7 présente une différenciation bien marquée des horizons, la transition entre le limon sableux et le sable pur est très nette et se situe à environ 1,20 m de profondeur.

La hauteur de la nappe hivernale se situe à 60 cm de profondeur (taches gris-clair et rouille dans le limon).

En période estivale, le niveau d'eau se situe à plus de 1,60 m de profondeur (non rencontré lors du sondage).

Le sondage C 21 E 5 montre un limon d'environ 1,20 m d'épaisseur reposant sur un niveau plus sableux. Ce limon est un peu plus argileux que le précédent. Le passage à du sable faiblement argileux est progressif et se fait sur 20 cm de profondeur (entre 105 et 125 cm, le limon disparaît peu à peu et est remplacé par du sable).

La nappe hivernale se situe à 30 cm de profondeur (taches grises et rouilles dans une matrice ocre).

La nappe estivale n'a pas été atteinte.

Ces deux sondages se trouvent tous deux à une côte légèrement supérieure à 25 m, dans la même série de buttes : cependant, le premier est mieux drainé en hiver que le second (nappe hivernale plus basse). De même, la fraction argileuse y est moins importante que dans le deuxième d'où une meilleure perméabilité.

Le critère d'hydromorphie entre en ligne de compte et ces deux sols, bien que de même texture, n'auront pas les mêmes propriétés d'épuration.

b. Limon sur argile

Le substratum anté-quaternaire étant constitué d'argile, il n'est pas rare de la rencontrer lors de sondages à faible profondeur (1,60 m). Le limon qui le surmonte est plus ou moins argileux selon le degré de contamination par l'argile.

Deux exemples illustrent cette observation :

- C 20 E 7 : le limon argileux à la surface devient plus argileux encore à son contact avec l'argile tertiaire qui se situe à 1 m de profondeur. Le limon avait à l'origine une épaisseur beaucoup plus faible. En effet, la couche de matière organique n'excède pas 20 à 30 cm dans des conditions normales. Or, ici, elle atteint 60 cm de profondeur, preuve que l'agriculteur a apporté de la terre pour faciliter le labour (une terre argileuse est très difficile à travailler).

Les concrétions calcaires accumulées entre 1,10 m et 1,20 m de profondeur sont dues à la dissolution des fossiles inclus dans l'argile. Ce calcaire a pour effet d'augmenter la porosité de l'argile (pouvoir flocculant de l'ion Ca^{2+} très élevé ; cf. Bottero, 1972).

L'hydromorphie est très marquée dans ce sol, l'abondance de taches grises d'anaérobiose temporaire le prouve : l'argile forme un plancher très peu perméable et toutes les eaux d'infiltration y stagnent pendant un temps assez long en période humide. Les sols sur argile proche sont à la fois hydromorphes et très peu perméables ; il y a asphyxie presque totale du profil ;

- le sondage D 25 C 5 révèle également, mais à plus forte profondeur, un niveau argileux (1,20 m).

Le limon qui le recouvre est cependant très peu contaminé. Il se compose d'un limon sablo-argileux de 1 m d'épaisseur reposant sur l'argile par l'intermédiaire d'une couche de sable presque pur.

LEGENDE DES PROFILS

par G.LAPORTE (1964-1976)

Les profils pédologiques sont présentés sur 3 colonnes

COLONNE 1 : Matière organique

Matériaux originels organiques



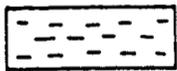
Matière organique



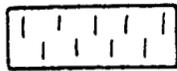
Végétaux: racines vivantes

COLONNE 2 : Texture

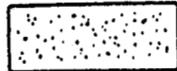
Matériaux originels minéraux



Argile

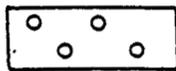


Limon

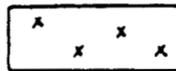


Sable

Calcaire formant une partie des matériaux ou des inclusions



concrétions calcaires



calcaire diffus

COLONNE 3 : Colorations

// teinte verte (sable glauconieux)

Concrétions d'oxyde

⊕ Fe Mn

Réductions

Oxydation



gley



horizon oxydé



tache de décoloration



faiblement oxydé



réduit par tache



oxydé par tache



tache éclaircie

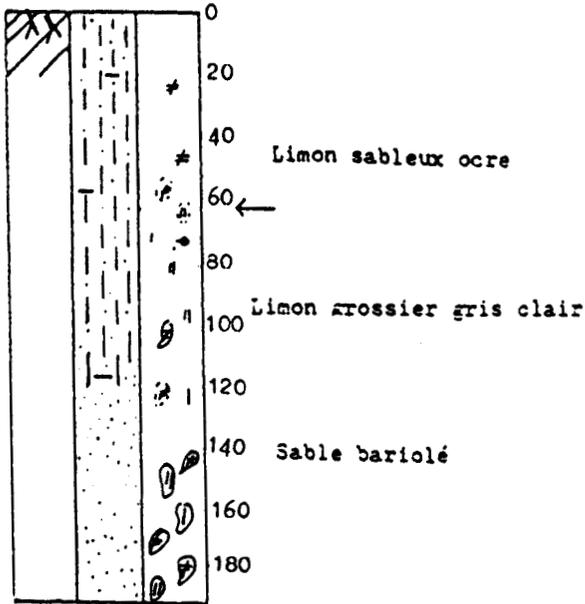


tache d'oxydation faible

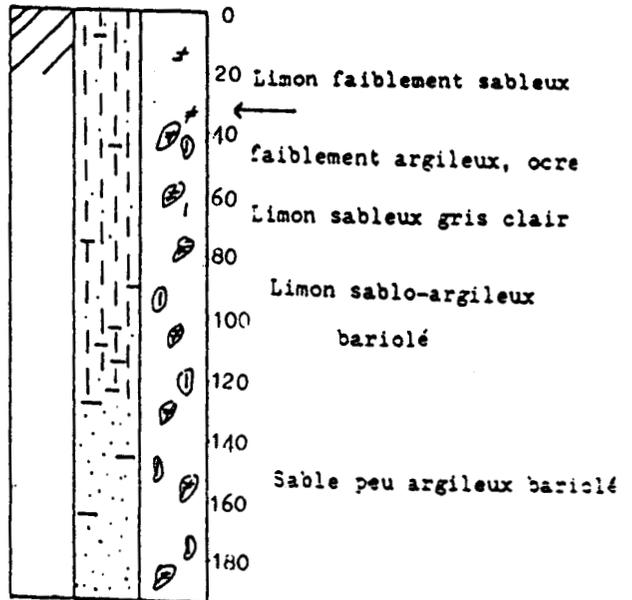


hauteur maximale de la nappe phréatique

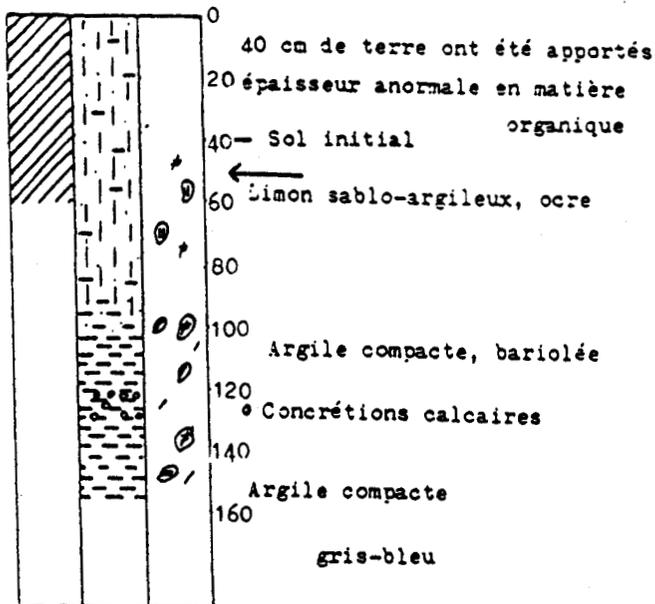
PLANCHE 1 : bicouches (échelle 1/20)



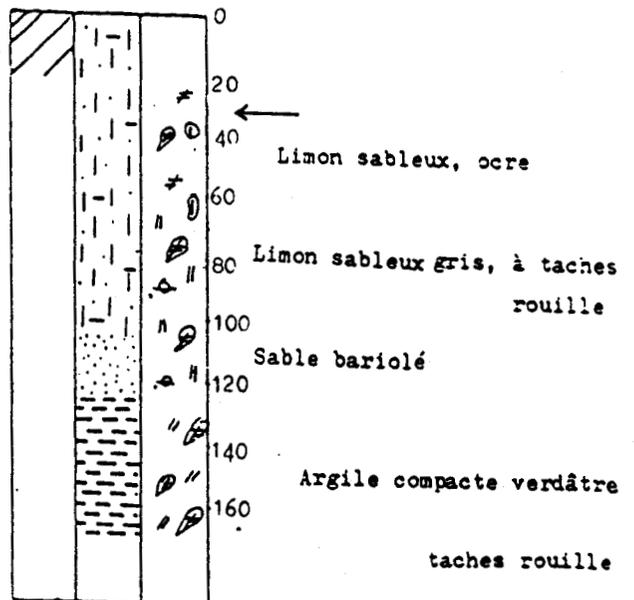
C22-A7



C21-B5



C20-E7



D25-C5

Le limon est en cela tout à fait semblable à celui du C 22 A 7 (limon de 1 m d'épaisseur passant brutalement à un niveau sableux).

La différence réside dans le fait que le substratum argileux apparaît plus rapidement en D 25 C 5, ce qui induit une hydromorphie plus importante (nappe hivernale à environ 30 cm).

Ce sol, bien que de perméabilité satisfaisante, devient inapte à l'épandage souterrain à cause de son hydromorphie marquée.

Il existe cependant des limons peu épais sur argile, perméables et bien drainés (pente de l'argile assez forte au sommet de butte). Ces sols sont favorables à l'épandage souterrain et seront distingués des autres sols sur argile.

2. Les multicouches

a. Les alluvions

Ils se présentent sous forme d'interstratification de niveaux argileux, sableux et limoneux.

Ces sols se trouvant en bordure de becque, sont très hydromorphes et parfois tourbeux. A certains endroits, ces matériaux forment des talus souvent très sableux. Ceux-ci sont très peu étendus et très instables (les haies sont indispensables pour retenir ces formations). Il est donc exclu de procéder à de quelconques installations en zone alluvionnaire.

b. Les interstratifiés

Une dizaine de sondages ont montré, sous des formations limoneuses, une alternance de lits sableux et argileux, repassant parfois en profondeur à des limons.

Ces formations se trouvant à des altitudes relativement faibles (moins de 13 m), elles peuvent avoir des origines diverses : limons éoliens, alluvions, colluvions de bas de pente.

Le sondage G 25 E 5 montre, sous le limon, un mélange de sable limoneux et d'argile. Ce sol est situé au niveau d'un plateau à environ 13 m de hauteur. La becque la plus proche est à l'altitude + 10 et se trouve à une distance de 300 m.

Le sondage I 25 E 1, effectué sur un versant descendant vers la Sale Becque, montre à sa base un sable presque pur. En remontant le profil, on s'aperçoit que la texture devient brutalement plus fine. Cette barre argileuse d'environ 1 m d'épaisseur est imperméable et la couleur bleue du sable sous-jacent prouve l'existence d'une nappe d'eau permanente (pas de tache rouille d'oxydation).

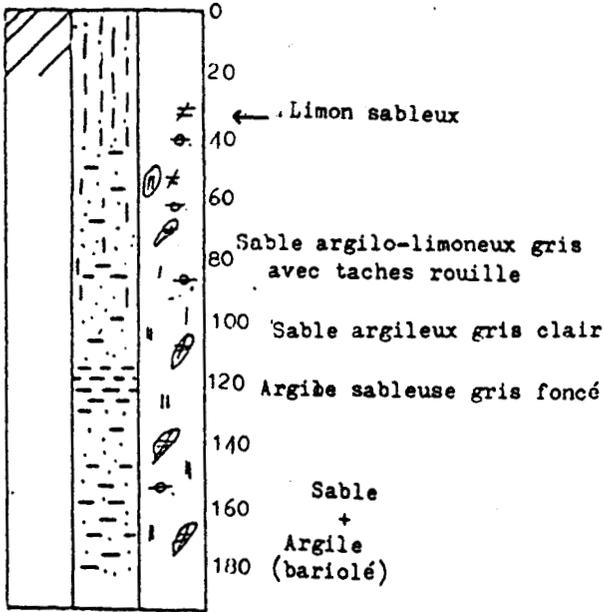
Ces sols interstratifiés sont très hétérogènes et souvent hydromorphes ; ils présentent les mêmes inconvénients que les alluvions.

c. Les limons épais

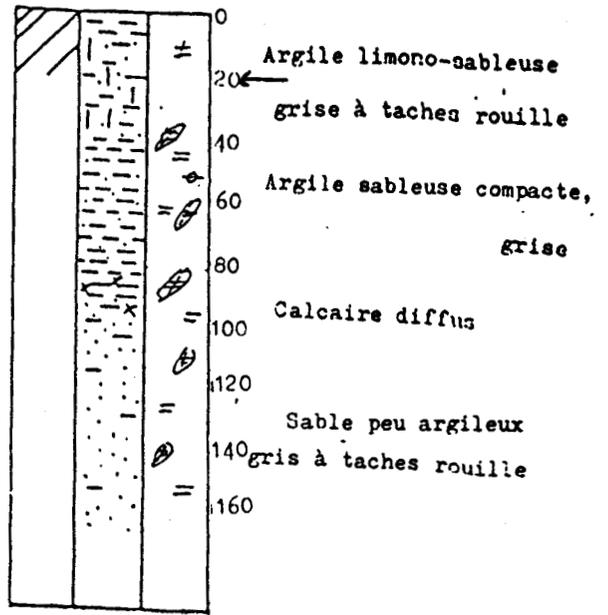
Par endroits, la texture reste à dominante limoneuse sur plus d'1,60 m de profondeur et dépasse souvent les 2 m.

Ces limons, très épais, ne peuvent être assimilés aux sols précédemment décrits ; ils ont leurs propres caractéristiques. Cependant, la perméabilité variant sensiblement d'un limon à un autre, il n'est pas possible de tous les ranger dans la même catégorie.

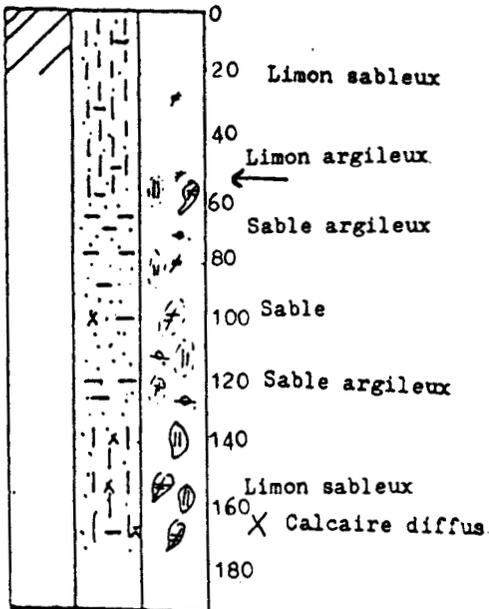
PLANCHE 2 : sols complexes (échelle 1/20)



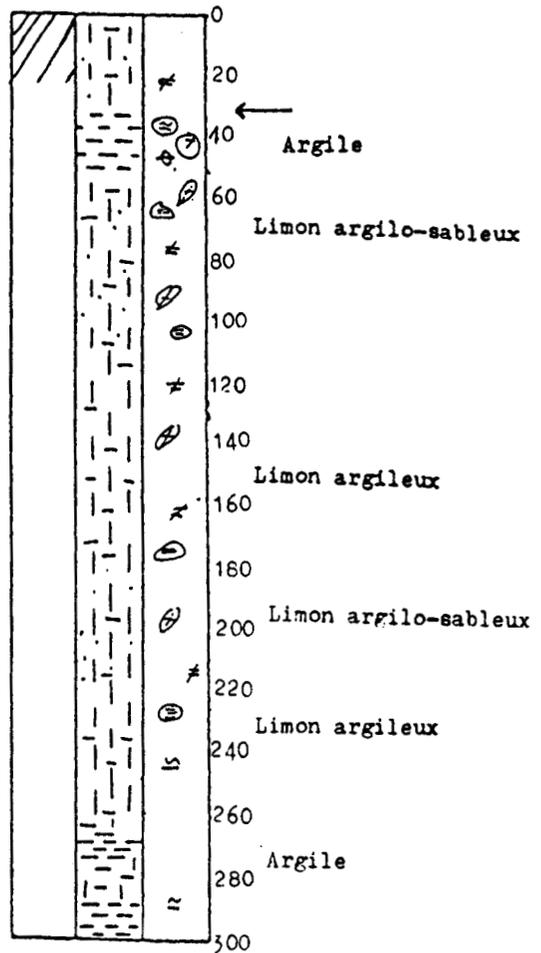
G25-E5



I25-E1



G23-A6



G24-E9

Il faut donc distinguer d'une part les limons épais renfermant des particules grossières (sable) et d'autre part, les limons fortement imprégnés de particules fines (argiles).

Le sondage G 23 A 6 s'arrête à 1,60 m, endroit où le limon réapparaît sous un niveau plus sableux. Ce sol est considéré comme un limon sableux.

Le sondage G 24 E 9, profond de 2,80 m, atteint l'argile yprésienne vers 2,40 m. Le limon présente de nombreux niveaux argileux. Cette présence permanente d'argile réduit sa perméabilité : les particules de petite dimension comblent une bonne partie des pores. Ce sol est donc asphyxiant car l'oxygène y circule mal. Le rejet d'effluents colmatants aggrave encore sa faible capacité d'absorption.

d. Les sables glauconieux

L'argile de Roubaix renferme des lentilles de sable glauconieux. Celui-ci a été rencontré dans quelques sondages.

On peut distinguer deux zones où ce sable affleure :

1°) au SW de Wormhout : en longeant une ligne de crête à 25 m d'altitude, des sondages révèlent la présence de sable glauconieux. Il apparaît de 0,9 à 1,50 m de profondeur selon les sondages. Ce sable est très argileux et passe rapidement en profondeur à une argile (sondage I 21 A 5) ou contient des passées argileuses de 20 cm d'épaisseur (sondage H 21 G 9). Ce sable paraît en outre assez grossier (cf. coupe 1) ;

2°) au SW de Quaëdypre, à proximité d'un point culminant à 30 m, quelques sondages ont également atteint du sable glauconieux ; il est beaucoup plus fin que celui cité précédemment et la teneur en argile y est très faible voire nulle (sondages B 22 C 7, B 22 G 3, C 21 A 9) (cf. coupe 2). La relation entre les deux gisements de sable glauconieux est difficile à établir ; il s'agit soit de deux niveaux différents, soit d'une variation latérale de faciès.

Ces deux formations ont cependant un point commun : elles se trouvent toujours en sommet de butte. On a donc un substrat tertiaire constitué d'argile compacte, parsemé de petites buttes témoin, couronnées par des niveaux sableux. Les limons du Quaternaire ont ensuite inégalement recouvert l'ensemble.

Les sables glauconieux ne sont pas cartographiés en tant que tels :

- lorsqu'ils sont peu argileux, ils sont confondus avec les niveaux sableux quaternaires qui les surmontent ;
- lorsqu'ils sont très argileux, ils sont assimilés à de l'argile pure (leur perméabilité devient très réduite).

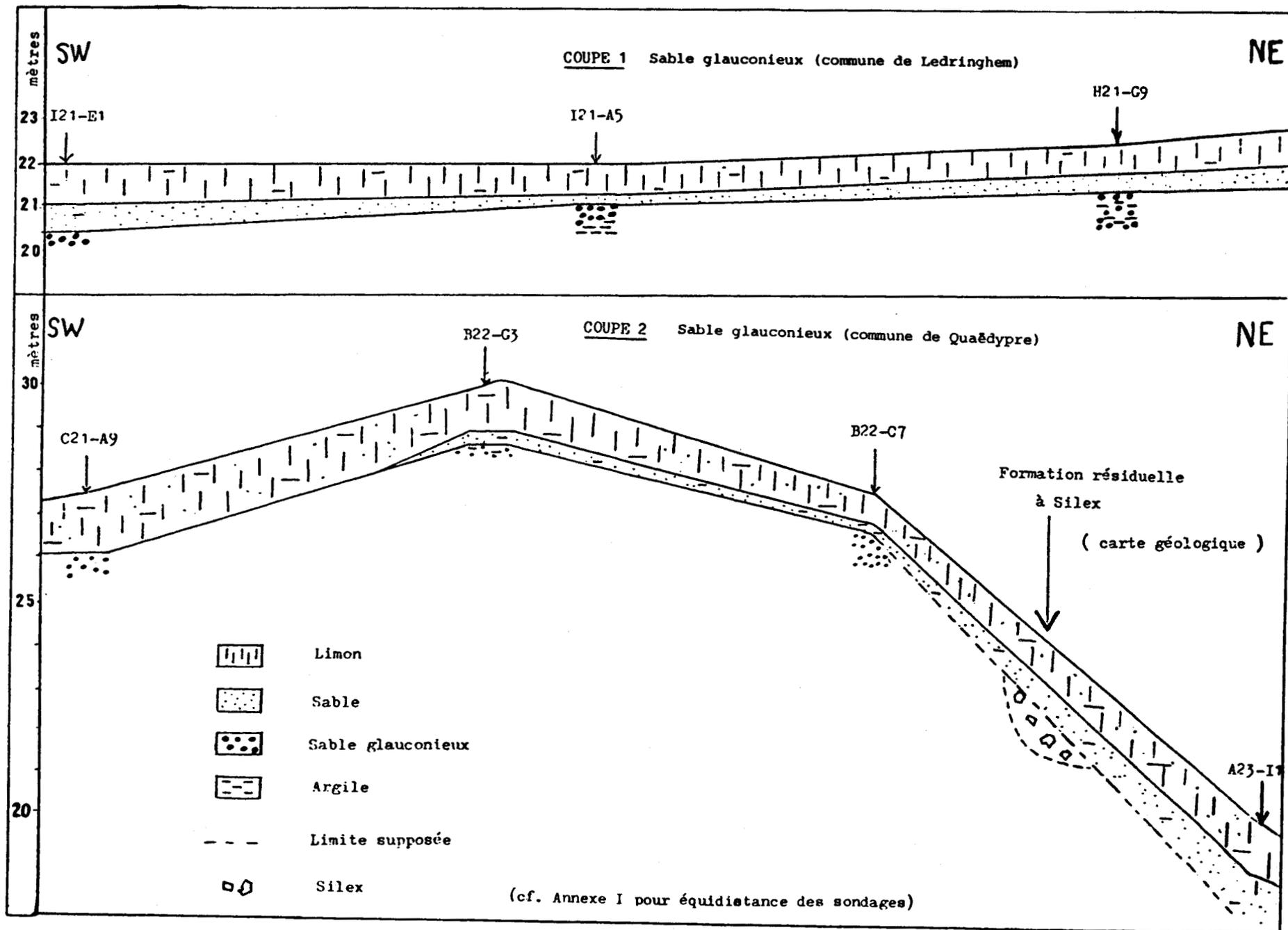
Ces simplifications sont effectuées afin de ne pas surcharger la légende de la carte.

C. ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE

1. Dissymétrie de versant

Cassel 4 présente un relief peu marqué, cependant on peut y distinguer une certaine dissymétrie de versants.

Le bloc diagramme 1, effectué à partir d'une vue prise en E 25 E 1 (cf. annexe III a), permet de mettre en évidence cette dissymétrie.



Le versant oriental convexe présente un épaissement limono-sableux important ; le sondage effectué à cet endroit n'a pas atteint le substrat argileux.

Les alluvions de la Cray becque qui passe à cet endroit sont argileuses ou sableuses, parfois tourbeuses, mais leur extension est très réduite.

Le versant concave, tourné vers l'Ouest, laisse affleurer de l'argile, très légèrement recouverte de limons : aucun sondage n'a été effectué à cet endroit, cependant on remarque que le versant limoneux est mis en culture (le limon est une "bonne terre", pour les agriculteurs), alors que sur le versant opposé, plus argileux, on a une pâture.

Cette dissymétrie de versants se remarque tout le long de la Cray becque qui a un écoulement Nord-Sud.

D'après A. Vatan (1967), l'apport de particules éoliennes a une action sur la morphologie : la pente d'où vient le vent est plus douce que la pente sous le vent. Ainsi on aurait eu, en période glaciaire, un épandage éolien dirigé d'Est en Ouest.

2. Exemple de versant occidental

Le bloc diagramme n° 2 a été construit à partir d'un panorama effectué en H 21 G 1 (cf. annexe III b).

Le sondage de 1,60 m montre, sous un limon, un niveau sableux qui passe brutalement à du sable glauconieux et argileux d'âge yprésien.

Le sondage le plus proche vers le NE est le numéro H 21 C 5 qui montre une argile compacte sous un recouvrement limoneux d'environ 1,20 m.

Le sondage qui se situe au NW du premier (H 20 C 7) est à une cote beaucoup plus basse et présente un recouvrement limono-sableux important.

Le versant déterminé par ces trois sondages de 1,60 m de profondeur est orienté vers l'Ouest, si l'on excepte la base du versant qui est le siège d'une accumulation sablo-limoneuse, on remarque que l'Yprésien (argile compacte et sable glauconieux) apparaît rapidement dans le profil à environ 1 m de profondeur.

3. Exemple de versant oriental

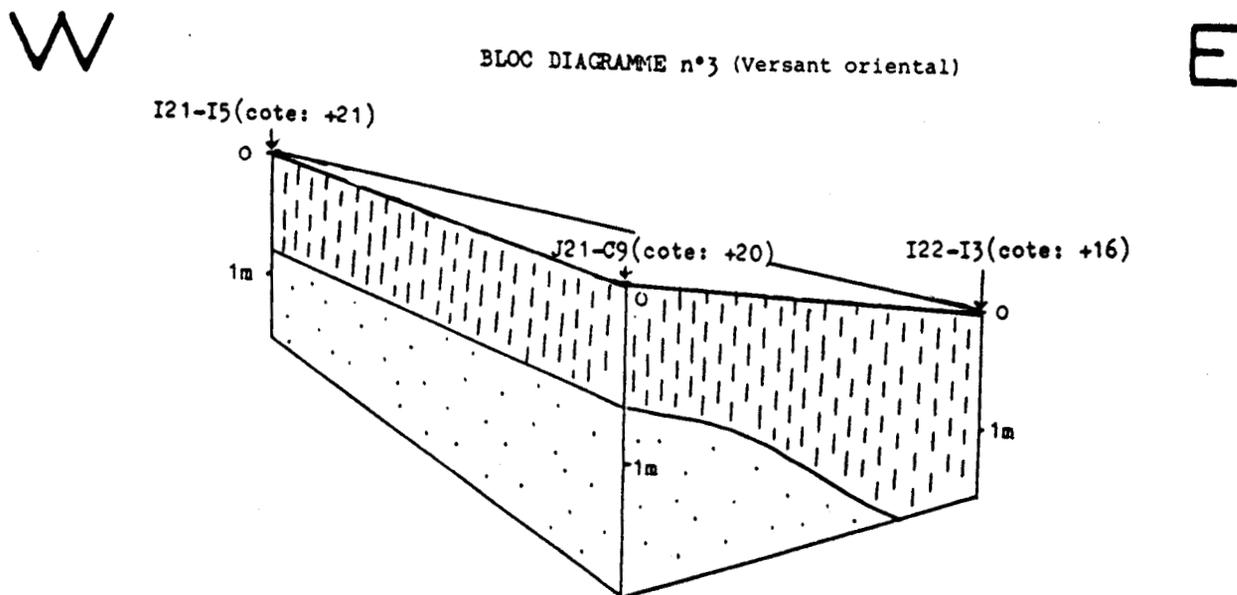
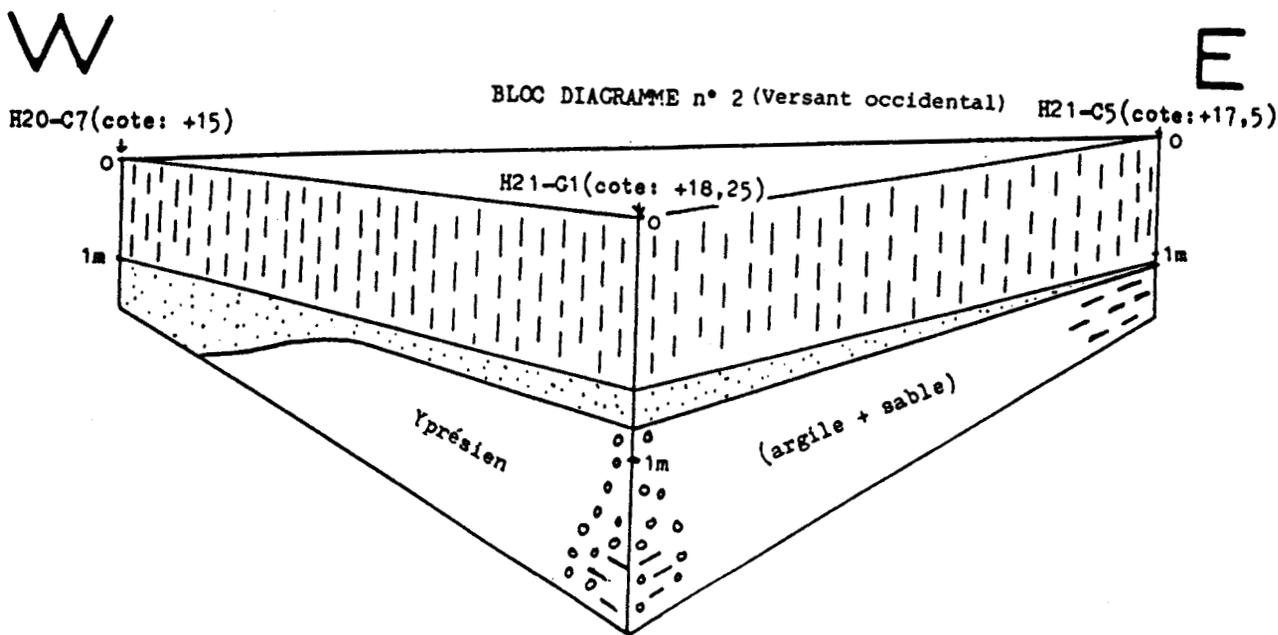
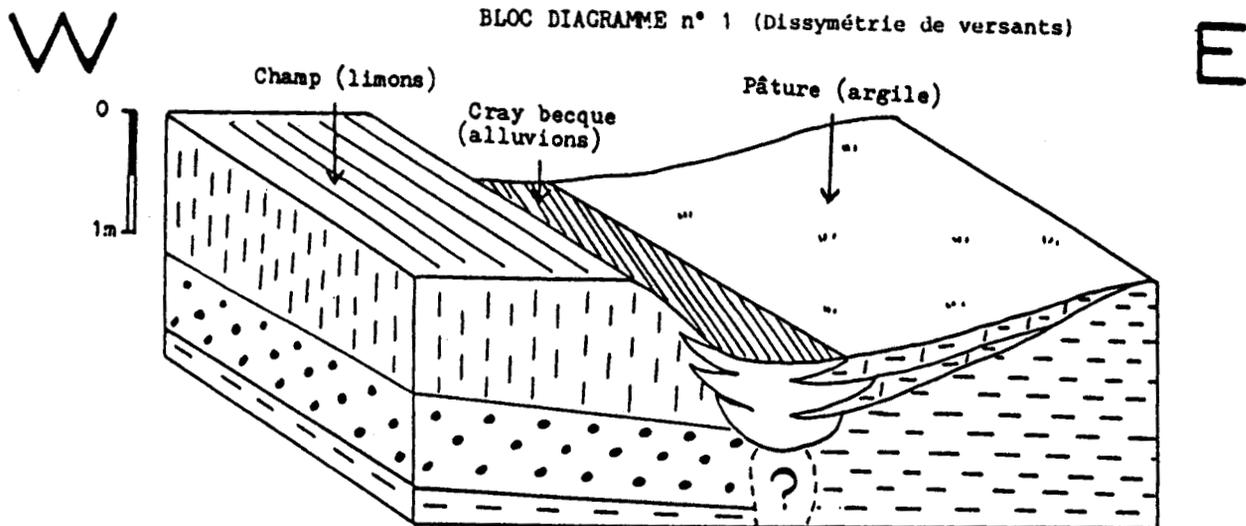
Le bloc diagramme n° 3 a été effectué d'après une observation faite à la Borne tétard (sondage J 21 C 9, annexe III c).

Ici le sondage montre une superposition limon sur sable, de même que le sondage I 21 I 5 situé au NW. Les cotes de ces sondages sont respectivement : + 20 et + 21.

Le sondage I 22 I 3 est nettement plus en contrebas (cote + 16) et montre un limon épais sableux.

Le versant déterminé par ces trois sondages est orienté vers l'Est et à aucun moment, l'argile yprésienne n'a été atteinte.

La dissymétrie morphologique s'observe ainsi assez souvent ; en résumé, les limons sont suffisamment épais en bas de pente et sur les versants orientaux, l'Yprésien affleure sur les versants occidentaux (argile) et en sommet de butte (argile et sable glauconieux).



D. ETABLISSEMENT DE LA CARTE D'APTITUDE DE CASSEL 4 A L'EPANDAGE SOUTERRAIN
(cf. annexe II)

Les sols doivent être classés selon leur aptitude estimée à l'épandage souterrain (hydromorphie et texture, déterminées par la simple observation et par le toucher).

On distingue ainsi des séries de sols : font partie d'une même série, tous les sols présentant dans un matériau originel de même nature (lithologie et texture), le même type de profil. Tous présentent donc la même succession d'horizons génétiques et une économie en eau analogue (Jamagne, 1967).

Le tableau ci-dessous donne :

- en 1re colonne, les sols en place (texture) ;
- en 2e colonne, une première zonation en fonction de la nature des sols et de la profondeur d'apparition des différents niveaux (bicouches) ;
- en 3e colonne, la zonation complémentaire déterminée par la hauteur maximale de la nappe dans les sols à perméabilité suffisante. Trois cas peuvent se présenter :
 - + zone de type a : la nappe apparaît à moins de 50 cm de la surface du sol ($n < 50$). C'est le domaine des sols hydromorphes donc inaptes à l'épandage souterrain ;
 - + zone de type b : la nappe hivernale se situe entre 50 et 100 cm de la surface ($50 < n < 100$) ;
 - + zone de type c : la nappe n'est jamais présente à moins d'1 m de la surface du sol ($n > 100$).

TABLEAU 3

ZONATION DES SOLS EN FONCTION DE LA TEXTURE ET DE L'HYDROMORPHIE

Sols	Première zonation	Zonation complémentaire
Limon sur sable	Zone 1 : L/S $L \leq 1$ m	Zone 1a : ($n < 50$)
		Zone 1b : ($50 < n < 100$)
	Zone 2 : L/S $L \geq 1$ m	Zone 1c : ($n > 100$)
		Zone 2a : ($n < 50$)
Limon sur argile	Zone 3 : L/A $L \leq 1$ m	Zone 2b : ($50 < n < 100$)
		Zone 4 : L/A $L \geq 1$ m
Limon sableux	Zone 4a : ($n < 50$)	Zone 5 : Ls
		Zone 4b : ($50 < n < 100$)
		Zone 5a : ($n < 50$)
Limon argileux	Zone 5b : ($50 < n < 100$)	Zone 6 : La
		Zone 5c : ($n > 100$)
Sols interstratifiés	Zone 7 : Sols complexes	
Alluvions	Zone 8 : All.	

Les zones 3, 6, 7 et 8 sont exclues dès la première zonation. Leur texture ne permet pas l'injection régulière d'effluents :

- les sols à texture fine (zones 3 et 6) limitent considérablement les débits acceptables (perméabilité très faible) ;

- les sols hétérogènes (zones 7 et 8) ne permettent pas de prévoir leur comportement vis-à-vis de l'eau injectée. De plus, ces sols sont très souvent hydromorphes.

Les zones 1, 2, 4 et 5 correspondent à des sols homogènes et de bonne perméabilité. Une deuxième zonation est nécessaire pour éliminer ceux qui sont hydromorphes. Le plancher argileux tertiaire n'est jamais très profond et constitue un écran qui fait barrage aux eaux d'infiltration. Si la pluviométrie est importante et le sol mal drainé, ceci peut conduire à une asphyxie du profil :

- en zone de type a, les sols sont inaptes à l'épandage souterrain ;
- en zone de type b, un tertre filtrant peut être installé : seuls les premiers horizons du sol sont utilisés ;

- en zone de type c, les sols sont aptes à l'épandage souterrain par drains enterrés. Cependant, un gonflement de la nappe phréatique dû à l'injection d'effluents peut atteindre ce dispositif et l'usage du tertre est préférable dans ce cas également.

La carte au 1/25 000 résumant la présente étude mentionne la nature des matériaux et l'hydromorphie (carte d'aptitude des sols).

Cependant, il est impossible de représenter à cette échelle tous les facteurs limitant l'utilisation de ces sols.

Des cartes au 1/10 000 ou au 1/5 000 permettent, à l'issue d'une prospection à maillage plus serré et d'analyses d'échantillons du sol, de préciser leurs conditions d'utilisation.

Le chapitre suivant est donc consacré aux granulométries fines et aux mesures de perméabilité permettant d'établir une carte d'utilisation des sols.

CHAPITRE III : CARTE D'UTILISATION DES SOLS

I. ANALYSE TEXTURALE

A. INTERET

Les limons de Flandre Intérieure paraissent perméables d'après l'appréciation de leur texture au toucher. On remarque qu'en général, ils deviennent plus grossiers en profondeur, vers 80 à 100 cm. Or c'est environ à cette profondeur que doivent être enterrées les canalisations d'injection si le sol est suffisamment perméable.

Nous avons vu en chapitre II que la nappe hivernale remonte fréquemment à 50 cm sous la surface du sol.

L'assainissement individuel qui, en principe, dure toute l'année, ne peut pas se faire par l'intermédiaire de canalisations enterrées. Par contre, un assainissement collectif estival (terrain de camping), peut être envisagé par cette méthode car en cette saison, la nappe se trouve souvent à plus d'1,60 m de profondeur.

Une étude d'échantillons de sol à 80-100 cm de profondeur n'est donc pas inutile en vue d'un assainissement collectif.

B. PRELEVEMENTS

Trois types de sols peuvent être favorables à l'épandage souterrain (planche 3) :

- sol 1 : les limons sur sable (E 21 E 7) (L/S) ;
- sol 2 : les limons sur argile (J 24 E 7), argile à plus d'1 m de profondeur (L/A) ;
- sol 3 : les limons épais à dominante sableuse (J 25 G 7) (LS).

Le problème de l'hydromorphie en été ne se pose pas pour ces sols, sur les 1,60 m de profondeur, aucune trace d'anaérobiose permanente n'apparaît (absence de gley).

Les échantillons à analyser sont prélevés vers 80-100 cm de profondeur ; il est important que la perméabilité soit bonne à ce niveau car c'est le premier horizon du sol à recevoir l'effluent (l'injection se fait à 80 cm) : s'il n'est pas suffisamment perméable, il y a risque d'engorgement par l'eau au niveau des drains et remontée probable du surplus d'eau dans le dispositif d'assainissement.

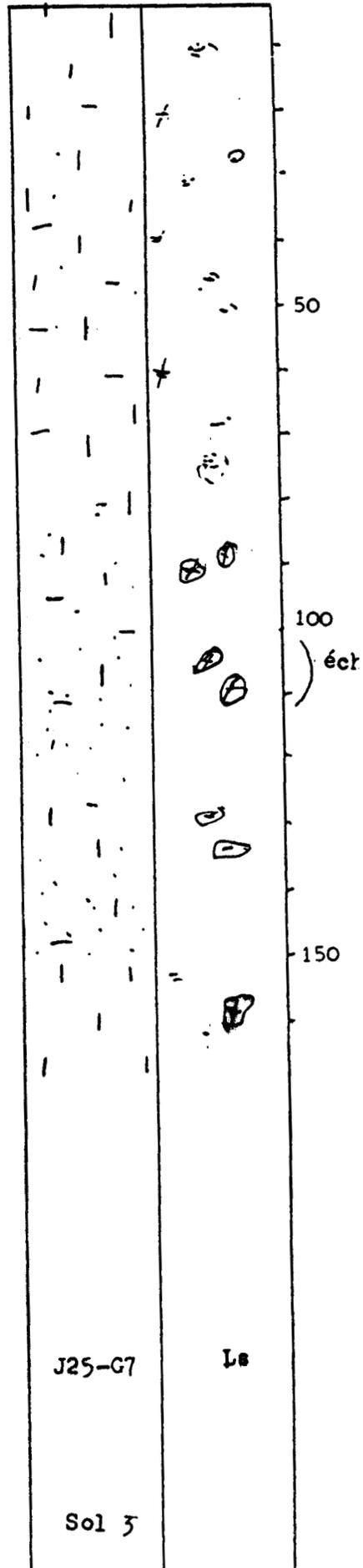
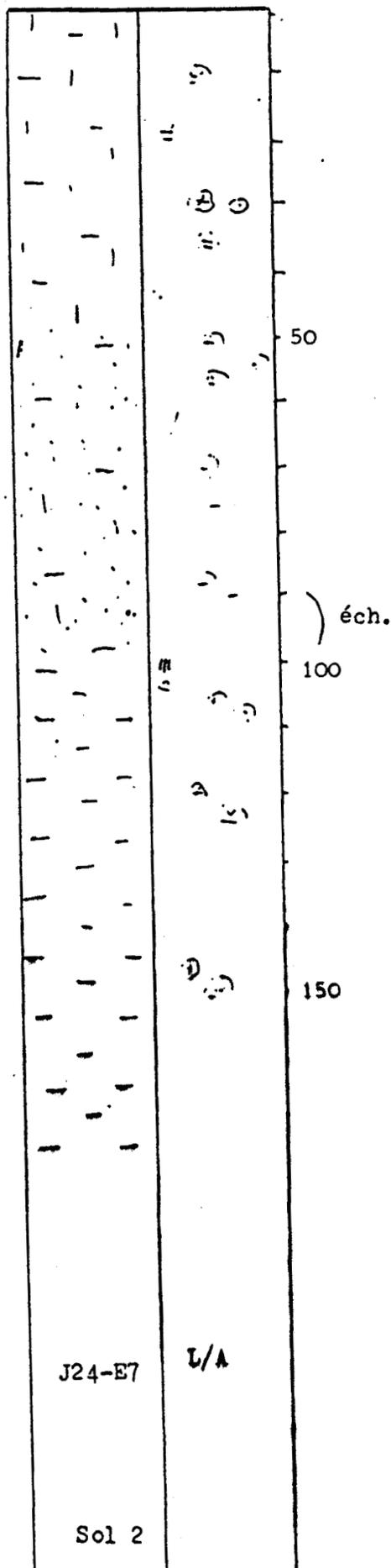
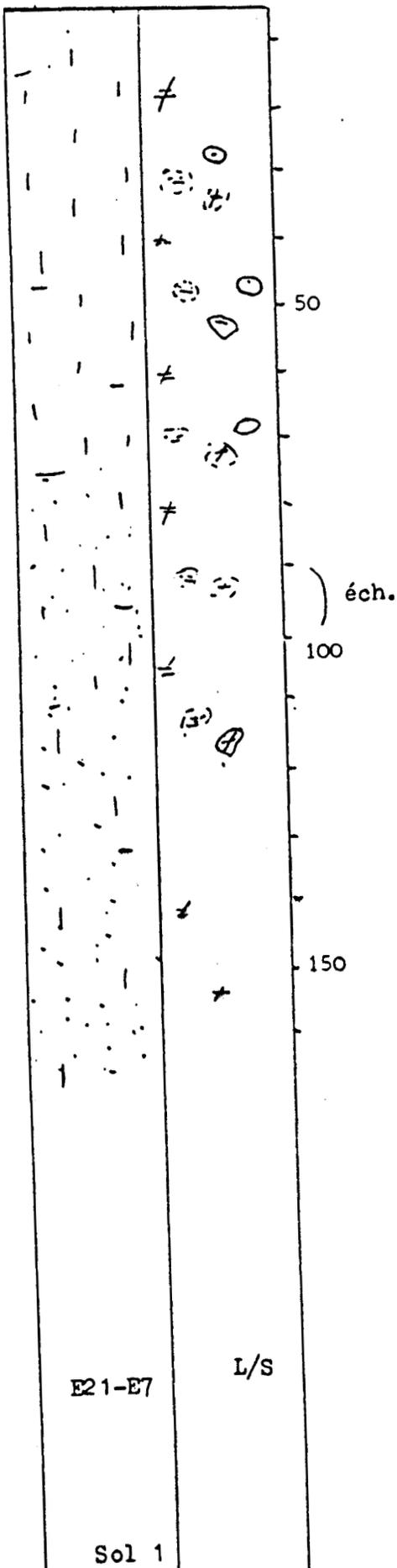
Une analyse fine de la texture de cet horizon permettra de prévoir son comportement vis-à-vis de l'injection d'effluents.

C. GRANULOMETRIE

L'analyse granulométrique se fait par tamisage pour les particules supérieures à 50 μ et par sédimentométrie pour les particules de diamètre inférieur à 50 μ . (Le détail de l'analyse est donné par Verriez, 1972).

Les sols étudiés dans ce paragraphe ont été analysés par le centre d'études et d'analyses agricoles (C. E. E. A., 1981).

PLANCHE 3 : PROFILS PEDOLOGIQUES (échelle 1/10)



Les résultats sont donnés dans le tableau 4. On y trouve les trois échantillons décrits plus haut ainsi que cinq autres prélevés également dans la région de Wormhout à la même profondeur.

La texture est divisée en six classes : les valeurs pondérales des différentes classes sont données par l'analyse granulométrique et ramenées à 1 000 pour un même sol. Les résultats cumulés donnent 999 % à chaque fois, l'erreur est donc négligeable.

La représentation d'un sol se fait sur un diagramme triangulaire dont les sommets correspondent aux classes de texture suivantes :

- argile ($< 2 \mu$) ;
- limon ($2-50 \mu$) ;
- sable (50μ à 2 mm).

Pour les huit échantillons, les six fractions sont ramenées à 3 (tableau 5) et les valeurs sont données en pourcentage.

Le diagramme utilisé pour la représentation est celui des U. S. A. (fig. 7) qui met en évidence quatre domaines principaux (Soltner, 1981) :

1. Texture argileuse

C'est le domaine le plus large. En effet, les argiles, même à des pourcentages modérés, masquent les sables et les limons. Ces particules sont les seules à être actives dans la pédogenèse : les argiles granulométriques sont constituées pour une grande part de minéraux argileux. Ceux-ci ont diverses propriétés :

- gonflement des montmorillonites ; elles peuvent augmenter de 66 % en volume après plusieurs jours d'humidification (Grim, 1962) ;
- les charges négatives à la périphérie des minéraux argileux permettent à différents cations d'être adsorbés.

2. Texture limoneuse

Ce domaine caractérise les sols à texture fine. Les particules sont inertes et la porosité y est très variable (dépend de la structure).

3. Texture sableuse

Cette zone est très restreinte et concerne les terrains stériles ; la texture grossière engendre une porosité de grande taille qui ne retient pas l'eau libre.

4. Texture équilibrée

La grande quantité de sable permet l'adjonction de particules de plus faibles dimensions sans que la perméabilité y soit diminuée. La présence de particules argileuses permet les réactions chimiques dans de tels sols.

En figure 8, les huit points représentatifs des sols sont placés dans le triangle avec les pourcentages donnés dans le tableau 5.

On constate que ces points se placent dans le domaine limono-sableux de la figure 7, en texture équilibrée.

TABLEAU 4
COMPOSITION GRANULOMETRIQUE DE 8 ECHANTILLONS DE SOLS PRELEVES DANS LA REGION DE WORMHOUT

COMPOSITION GRANULOMETRIQUE (6 fractions) %			Sol 1 (L/S)	Sol 2 (L/A)	Sol 3 (Ls)	Sol 4 (L/S)	Sol 5 (L/A)	Sol 6 (L/A)	Sol 7 (L/S)	Sol 8 (Ls)
Argile	inf. à	2 microns	152	180	168	165	168	167	166	174
Limons fins	2 à	20 microns	70	61	73	60	30	101	82	76
Limons grossiers	20 à	50 microns	168	90	192	147	109	224	182	160
Sables fins	50 à	100 microns	319	209	152	209	244	140	218	369
Sables moyens	100 à	200 microns	250	404	310	345	394	284	277	201
Sables grossiers	200 à	2 000 microns	40	56	104	73	55	84	75	19

TABLEAU 5
VALEURS PERMETTANT DE POSITIONNER LES POINTS REPRESENTATIFS DE CES SOLS DANS LE TRIANGLE DE TEXTURES:

COMPOSITION GRANULOMETRIQUE (3 fractions) %			Sol 1 (L/S)	Sol 2 (L/A)	Sol 3 (Ls)	Sol 4 (L/S)	Sol 5 (L/A)	Sol 6 (L/A)	Sol 7 (L/S)	Sol 8 (Ls)
Argile	inf. à	2 microns	15,2	18	16,8	16,5	16,8	16,7	16,6	17
Limons	2 à	50 microns	23,8	15,1	26,5	20,7	13,9	32,5	26,4	23,6
Sables	50 à	2 000 microns	61	66,9	56,7	62,8	69,3	50,8	57	59

La première chose qui attire l'attention est la régularité du pourcentage d'argile (les points s'alignent dans une bande correspondant à 16,5-18 % d'argile).

Les niveaux sableux en contact avec l'argile pure (sol 2) ont une granulométrie semblable aux niveaux sableux des limons épais ou des limons sur sable (sols 1 et 3). La contamination du limon par le substrat argileux est donc négligeable. Les points représentatifs de l'argile sableuse ou des sables argileux de l'Yprésien supérieur sont donnés dans le triangle.

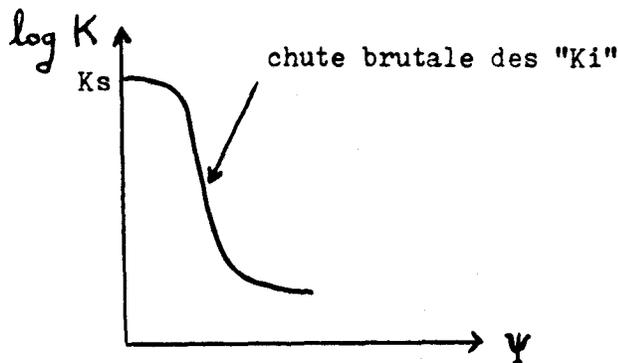
D. CAPACITE D'ABSORPTION EN FONCTION DE LA TEXTURE

Le comportement de ce type de texture vis-à-vis de l'épandage a été étudié par Bouma (1972). Il s'agit, pour chaque sol, de suivre l'évolution de la perméabilité avec le colmatage : l'importance du colmatage est donné par l'indice de succion Ψ (cf. chapitre I).

Trois exemples simples permettent de comprendre cette évolution :

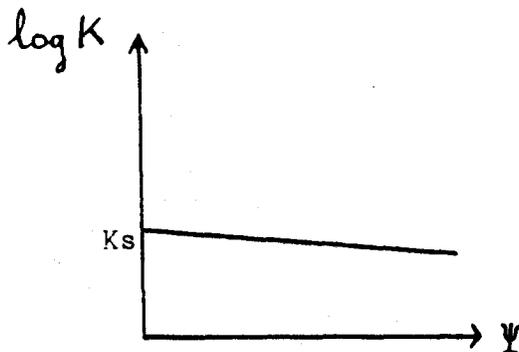
1) l'absence d'une taille de pores provoquera une chute brutale de la perméabilité.

Exemple : dans le cas d'un sable grossier isogranulaire, les pores sont grossiers et de taille identique, la perméabilité K_s à saturation est très élevée, mais à des suctions Ψ relativement faibles, les pores vont se drainer (capacité de rétention faible : cf. fig. 1, chapitre I) et entraîneront une chute brutale de la perméabilité ;



2) argile : bien que ce matériau soit très poreux, la petite taille des pores induit une rétention très élevée et la porosité non occupée par de l'eau adsorbée est très faible.

L'eau libre a donc du mal à traverser cet écran, la perméabilité, faible à saturation décroît très légèrement à des suctions élevées ;



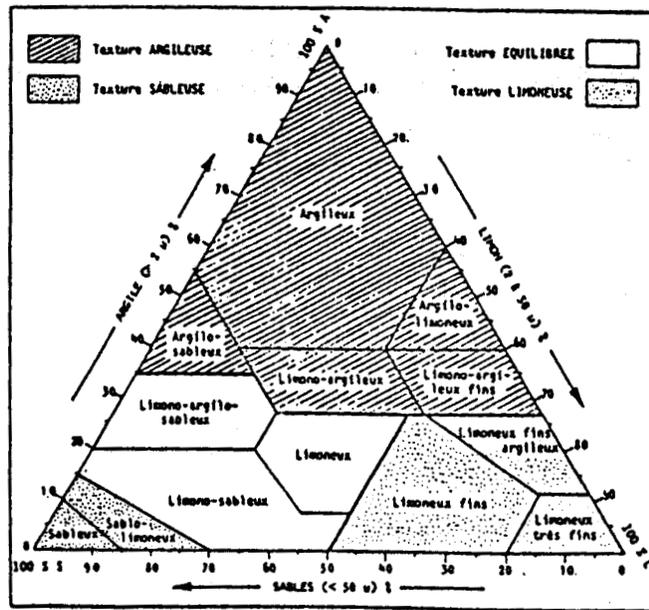


Fig. 7 - Triangle des textures (Soltner D. 1981)

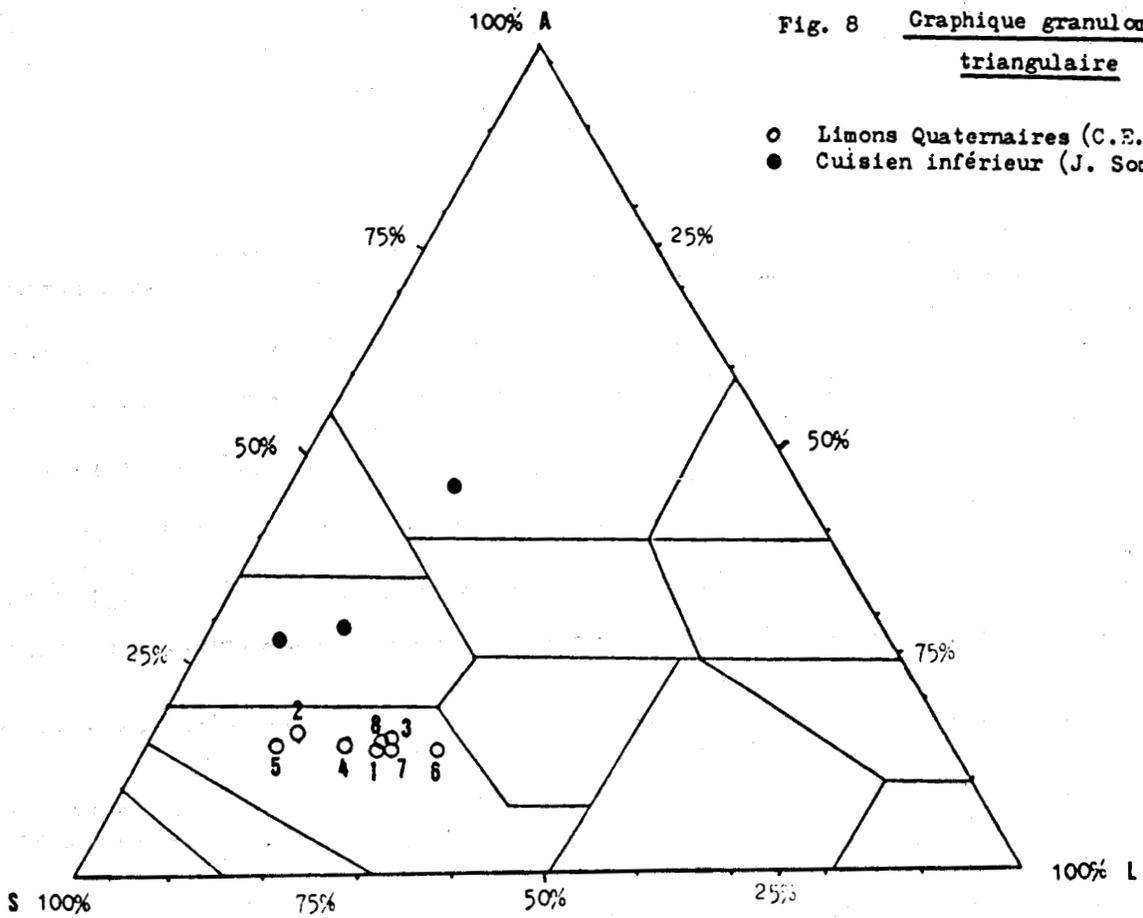
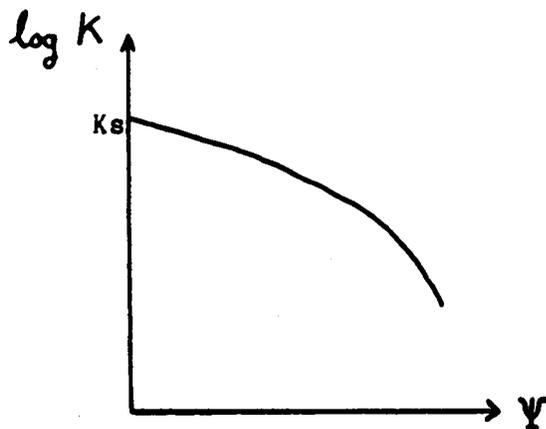


Fig. 8 Graphique granulométrique triangulaire

3) enfin, si toutes les tailles de pores existent, la perméabilité, assez importante au départ, chute régulièrement avec l'augmentation de Ψ .



A partir de ces quelques données, nous pouvons passer à l'étude même.

Le point qui se rapproche le plus de la texture trouvée dans les limons est le n° 5 (Ls : cf. triangle fig. 9)

A $\Psi = 0$, c'est-à-dire avec une croûte nulle, la perméabilité K_s est évaluée à 21 cm/j, perméabilité de Darcy (cf. graphe fig. 9). Ensuite, lorsque Ψ croît, cette perméabilité chute très peu ; à $\Psi = 60$ mb (suction extrêmement forte), la perméabilité est encore de 9 cm/j. Un sol est considéré comme imperméable lorsque sa perméabilité chute à moins de 6 cm/j

TABLEAU 6

CLASSEMENT DES SOLS EN FONCTION DE LEUR PERMEABILITE

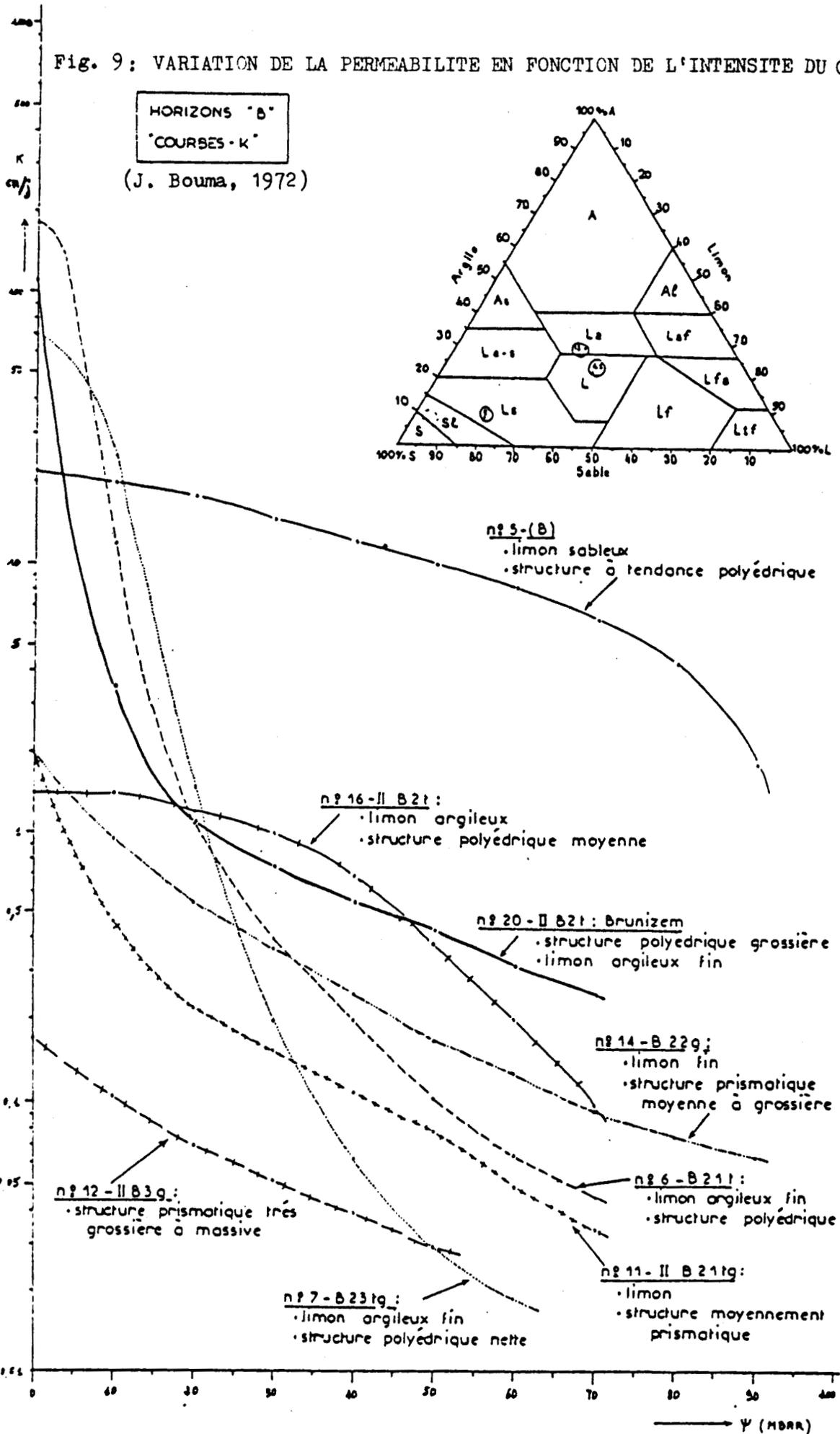
(Perméabilité de Darcy	:	:	:	:
(K (mm/h)	:	500 à 50	50 à 20	20 à 10
((C. T. G. R. E. F., 1979)	:	:	:	10 à 6
(Correspondance	:	:	:	:
(K (cm/j)	:	710 à 27	27 à 6	6 à 2,15
((Bouma, 1972)	:	:	:	2,15 à 1
(Classes	:	:	:	:
(de sol	:	perméable	assez perméable	médiocre
(:	:	:	très peu perméable

Le tableau 6 donne les classes de perméabilité des sols (définies par le C. T. G. R. E. F., 1979) en mm/h et leur correspondance en cm/j.

On se rend compte que, malgré les fortes succions, ce sol conserve toujours une perméabilité suffisante due au fait que toutes les tailles de pore existent.

De plus, des dispositifs d'épandage ayant déjà été mis en place, on a pu constater que les succions maximales induites dans le sol par les rejets d'effluents ne dépassent jamais 30 mb.

Fig. 9: VARIATION DE LA PERMEABILITE EN FONCTION DE L'INTENSITE DU COLMATAGE



Si l'on se réfère au graphe, à 30 mb, le limon sableux a une perméabilité de 15 cm/j qui est largement suffisante.

Cependant, cette valeur de perméabilité est surestimée car elle ne tient pas compte :

- de la désorganisation de la structure par apport de certains cations (Na^+ provoque un tassement du sol ; Bottero, 1962) ;

- du gonflement et du retrait des montmorillonites par alternance humidification-dessiccation.

On est de toutes façons assez loin de la valeur critique de 6 cm/j en deçà de laquelle, le sol a une perméabilité insuffisante.

On peut remarquer en outre, que les autres sols mis en parallèle et de texture plus fine (La ou L) voient leur perméabilité chuter de façon importante entre 10 et 20 mb (n° 7, 6 et 20 : limons argileux).

En conclusion, on peut dire que les sols limoneux de Flandre Intérieure sont de texture équilibrée (toutes les tailles de pores) et assez grossiers (+ de 50 % de sable). Cette texture leur permet :

- une bonne perméabilité, intrinsèque, K_s ;
- une chute modérée de cette perméabilité lors de l'injection d'effluents colmatants.

Ces sols sont donc aptes à l'assainissement par canalisations enterrées, en période estivale uniquement. La hauteur de la nappe en hiver empêche ce type d'épandage.

II. MESURES DE PERMEABILITE

A. INTERET

Ces mesures permettent de déterminer les capacités d'infiltration des sols et de corréliser les résultats avec leur texture. Ainsi, il sera possible de savoir, au seul vu des caractéristiques pédologiques, si les sols sont aptes à recevoir des effluents.

B. LOCALISATION DES SITES DE MESURE

Quelques mesures de perméabilité in situ ont été effectuées dans les limons de Flandre Intérieure. La figure 10 montre la localisation de ces points. Seul le numéro 3 apparaît en bordure de cette région mais à cet endroit, c'est l'Argile Yprésienne qui affleure : cette assise étant homogène dans tout le Nord de la France, on peut extrapoler le résultat obtenu à toutes les argiles tertiaires.

C. PRINCIPE DE LA MESURE

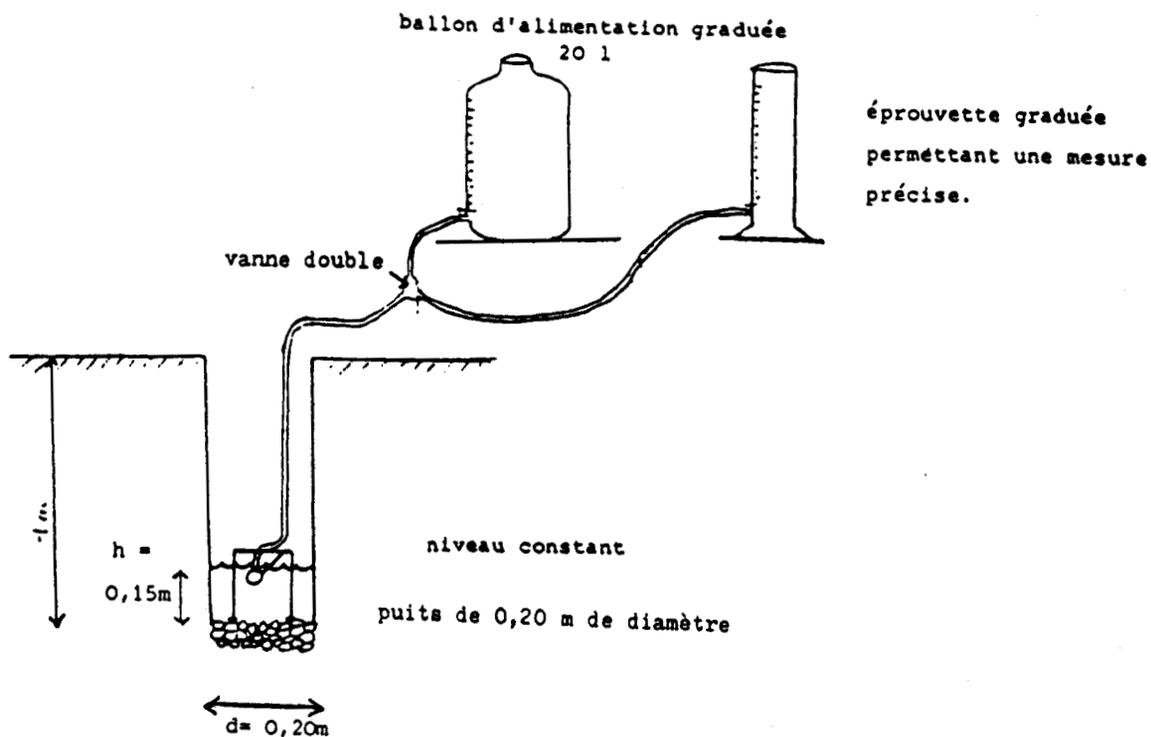
1. Description de l'appareillage

Le test de percolation se fait à l'aide d'un infiltromètre à charge constante. Cet appareil comprend (fig. 11) :



Fig. 10 Position des 5 points de mesure en Flandre intérieure

Fig. 11 Schéma du perméamètre à charge constante (C.T.G.R.E.F. 1980)



- un régulateur de niveau d'eau (système à clapet qui se ferme lorsque le niveau de 0,15m est atteint ;
- un réservoir de 20 l servant à l'humectation avant la mesure, elle ne s'effectue qu'après saturation du sol ;
- un récipient cylindrique qui donne une lecture du débit ;
- une vanne double permettant d'alimenter le régulateur à partir du réservoir ou du récipient cylindrique.

La saturation du sol pendant un temps donné (3h environ) permet le gonflement des argiles ; la perméabilité évolue irrégulièrement avant de se stabiliser après 3h.

2. Calcul du coefficient de perméabilité K

On mesure le débit Q à l'aide du récipient cylindrique. Par application de la loi de Darcy, on obtient la valeur de K en régime permanent :

$$K = \frac{Q}{S} \quad \text{avec :} \quad \begin{array}{l} Q = \text{débit en l/h} \\ S : \text{section du trou + paroi cylindrique} \\ \text{mouillée :} \\ S = \frac{\pi d^2}{4} + h \pi d \end{array}$$

On a $h = 0,15$ m et $d = 0,20$ m.

La relation entre K et Q est : $K = 7,955 \times Q$. K est donné en mm/h

On prend en compte, pour le calcul, le débit stabilisé, c'est-à-dire au bout de 3 à 4 heures en régime permanent.

Lorsque l'infiltration est trop importante, la mesure ne dure qu'une heure.

Compte tenu de la dispersion des résultats sur un même site, trois mesures sont effectuées simultanément de façon à éliminer les écarts importants (cf. annexe IV, mesures de Q en fonction du temps pour les points n° 1, 2, 4 et 5).

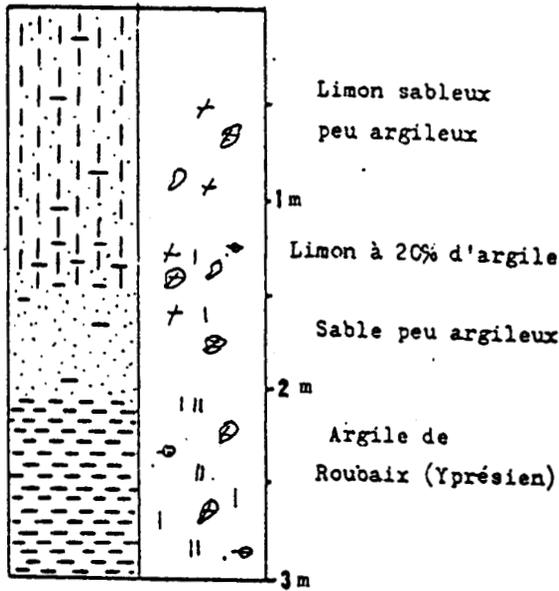
Les mesures pour le point n° 3 ne font pas l'objet d'un graphe ; en effet, les quantités infiltrées dans le sol sont respectivement 10 ml, 10 ml et 15 ml en 2h 30 d'humectation.

D. PROFILS PEDOLOGIQUES

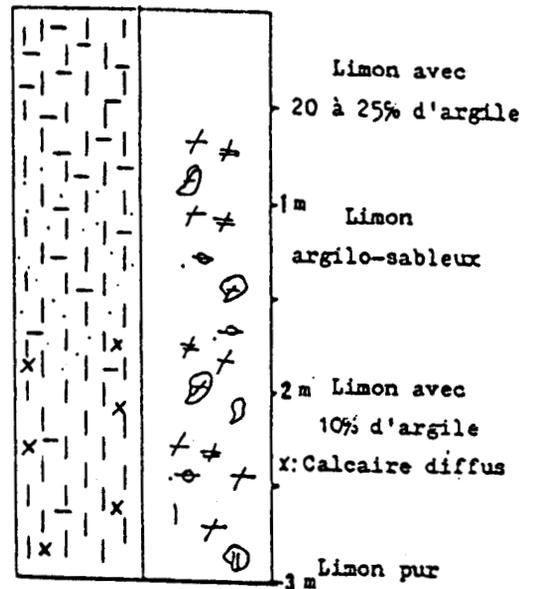
A chaque point de mesure correspond un sondage sur 3 m de profondeur (planche 4). Les profils sont les suivants :

- n° 1 : un limon sablo-argileux repose sur l'Argile des Flandres par l'intermédiaire d'une couche sableuse.
Le profil est de type Limon sur sable sur argile, ou plus généralement, Limon épais/Argile ;
- n° 2 : le limon très épais est très argileux. Au toucher, le calcaire diffus masque l'argile à partir de 1,60 m de profondeur : le limon paraît moins argileux à partir de ce niveau, alors qu'il contient vraisemblablement 20 à 25 % d'argile du haut en bas du profil. Ce sol est un limon épais argileux ;

PLANCHE 4: sondages de 3m correspondant aux endroits où les mesures de perméabilité ont été effectuées (D. Turckx, 1979)

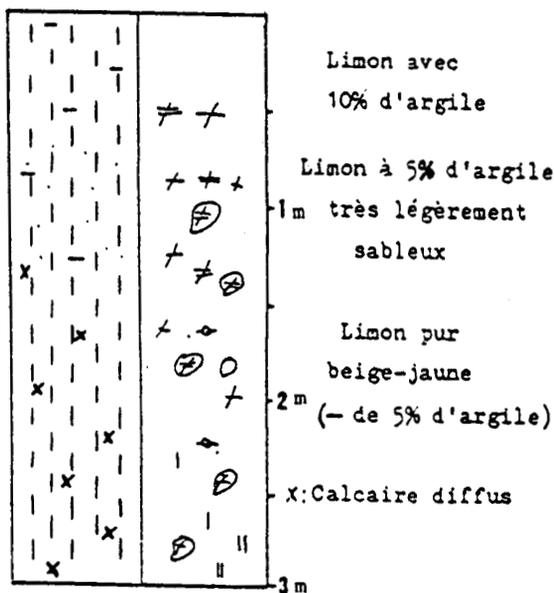


n° 1 (West-Cappel)

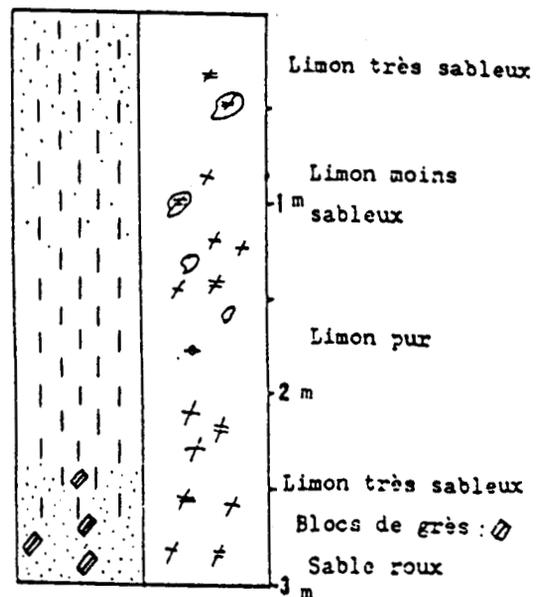


n° 2 (Arnèke)

n° 3 (Renescure) : Argile des Flandres



n° 4 (St Sylvestre-Cappel)



n° 5 (Boeschèpe)

- n° 3 : l'Argile des Flandres apparaît dès le début du sondage ; il s'agit d'une argile compacte, légèrement sableuse ;
- n° 4 : le limon est peu argileux et peu sableux ; on peut l'assimiler à un limon pur ;
- n° 5 : un limon plus ou moins sableux repose vers 2,50 m sur un substrat franchement sableux ; ce sol est de type Limon épais/sable.

E. RESULTATS

Le tableau 7 met en évidence différents types de sol, la perméabilité mesurée et la texture approchée ; les cinq premiers numéros correspondent aux sondages effectués en Flandre Intérieure et décrits ci-dessus, les vingt-et-un autres représentent des sols pris dans le reste du département du Nord (Masson, 1981).

La 1re colonne donne les numéros d'entrée des sols dans le tableau (les 5 premiers points sont localisés en fig. 10).

La 2e colonne donne le repérage kilométrique et hectométrique.

La 3e colonne donne les résultats des 3 mesures simultanées effectuées pour un même sol ; les valeurs paraissant aberrantes ont été soulignées.

En 4e colonne, le débit moyen est calculé à partir d'au moins deux valeurs de la colonne précédente.

La formule $K = 7,955 Q$ est appliquée pour donner la perméabilité des sols, en mm/h (colonne 5).

Enfin en colonne 6, les textures des sols sont divisées en 5 classes distinctes (d'après observation des profils de 3 m) :

- L/S : correspond aux limons épais reposant à plus de 2 m de profondeur sur du sable, ou contenant de nombreux niveaux sableux (5 sols dont le n° 5) ;

- L : il s'agit de limons épais ne présentant pas de niveaux très sableux ni très argileux sur les 3 m de profondeur ; ces sols sont considérés comme des limons purs (2 sols dont le n° 4) ;

- les limons épais sur argile sont divisés en 2 sous-classes :
 - a) Ls/A : limons épais sableux reposant à plus de 2 m sur un niveau argileux (4 sols dont le n° 1) ;
 - b) La/A : limons épais argileux reposant à plus de 2 m de profondeur sur un niveau argileux (7 sols, mais aucun exemple en Flandre Intérieure) ;

- L/Ap : limon sur argile proche (limon inférieur à 1 m), comprend également les limons très argileux (5 sols dont le n° 2) ;

- A : des mesures ont été effectuées dans des affleurements d'argile pure ; ceci justifie un classement à part (3 sols dont le n° 3).

F. RELATION TEXTURE-PERMEABILITE

1. Le tableau 7 peut être utilisé pour construire le graphe donnant la perméabilité moyenne en fonction de la texture du sol (fig. 12) :

TABLEAU 7

Numéros de sols	Carroyage kilométrique et hectométrique	Mesures du débit Q (3 sites)			Moyenne * des débits Q	K (mm/h)	Texture
1	7 C 25	9	13,2	10,6	10,93	86,95	La/A
2	7 M 15 F 3	0,5	0,6	0,45	0,517	4,113	La = L/Ap
3	12 C 15	0,015	0,01	0,01	0,0116	0,0923	A
4	8 T 4 C 9	2,25	2,5	1,95	2,23	17,74	L
5	8 R 13 J 11	19,2	20,8	-	20	159,1	L/S
6	Maulde Fortin	<u>9,7</u>	8,6	8,5	8,55	68	L/S
7	37 D 15 C 3	2,6	1,95	1,5	2,02	13,76	L
8	37 B 23 D 5	3,23	4,2	2,8	3,41	27,13	La/A
9	20 P 15 D 6	0,45	<u>0,2</u>	0,4	0,425	3,38	L/Ap
10	28 P 9 A 9	2,6	2,3	2,4	2,43	19,33	La/A
11	27 M 23 I 8	1	<u>1,3</u>	1	1	7,955	La/A
12	20 K 21 A 9	2,45	2,8	2	2,42	19,25	L/Ap
13	21 K 10 E 1	1,35	1,6	1	1,32	10,5	La/A
14	30 Q 9	2,8	<u>4</u>	3,1	2,95	23,47	La/A
15	39 B 5 C 9	7,8	<u>10</u>	7,7	7,75	61,65	La/A
16	39 B 12 C 3	3,9	3,7	<u>4,8</u>	3,8	30,23	La/A
17	20 N 23 I 9	0,3	0,22	<u>0,44</u>	0,26	2,07	A
18	28 O 8	0,18	0,12	0,24	0,18	1,43	A
19	21 M 9 I 3	5	<u>2,4</u>	4,4	4,7	37,39	L/S
20	27 A 12 F 7	23	24,8	<u>16,2</u>	23,9	190	L/S
21	27 M 20 A 3	<u>7,15</u>	18,6	24,6	21,6	171,83	L/S
22	29 M 4 C 7	3,35	1,9	0,95	2,07	16,41	La/A
23	20 N 17 A 2	1,85	1,65	<u>1,15</u>	1,75	13,92	L/Ap
24	14 N 6 G 1	10,2	9,7	-	9,95	79	La/A
25	38 Q 9 A 3	<u>1,9</u>	2,6	2,95	2,775	22	L/Ap
26	38 S 23 E 6	12,8	<u>34</u>	13	12,9	102,62	La/A

* : Elimination des valeurs douteuses (soulignées) pour le calcul de la moyenne

VALEURS PERMETTANT DE CONSTRUIRE LE GRAPHE DES VARIATIONS
DE PERMEABILITE EN FONCTION DE LA TEXTURE

- en abscisse, les 6 classes de texture sont données avec un taux croissant d'argile, de gauche à droite ;

- en ordonnée, les perméabilités sont données en mm/h.

A droite, les domaines de perméabilité du C. E. M. A. G. R. E. F. sont rappelés (cf. tabl. 6) :

- zone A : 500 à 50 mm/h = sols perméables ;

- zone B : 50 à 20 mm/h = sols assez perméables ;

- zone C : 20 à 10 mm/h = sols médiocres ;

- zone D : 10 à 6 mm/h = sols très peu perméables ;

- zone E : 6 à 0 mm/h = sols imperméables.

Les points noirs correspondent aux moyennes de perméabilité trouvées pour chaque type de texture.

Les traits verticaux indiquent l'amplitude des variations de cette perméabilité pour des sols de même texture.

Bien que seuls 5 points soient représentatifs de la Flandre Intérieure, pour plus de prudence, il est nécessaire de tenir compte de tous les résultats pour l'interprétation.

2. Interprétation

+ Deux types de sols entrent dans la classe de très bonne perméabilité : les limons épais sur sable (5) et les limons sableux épais reposant sur un substrat argileux (1). Ils sont en cela semblables aux sols étudiés en I de ce chapitre. Le limon épais sur sable peut être assimilé au sol 1 et le limon sur argile peut être comparé au sol 2 (cf. sols 1 et 2, planche 3). On a vu que, pour ce type de sol, la perméabilité est excellente au départ et chute peu, lors de la formation de la croûte de colmatage.

Dans le pire des cas (cf. graphe fig. 12), ces sols ont une perméabilité de 40 cm/j et restent probablement dans la zone de bonne perméabilité (B) même pendant l'épandage.

+ Les limons purs n'ont fait l'objet que de 2 mesures dont 1 en Flandre Intérieure (n° 4) : cependant ces 2 mesures sont assez proches l'une de l'autre ; elles donnent des valeurs faibles (moins de 20 cm/j). On se situe dans les sols médiocres. Le limon présente, à un moindre degré, les mêmes inconvénients que l'argile pure : la porosité totale est assez élevée mais les pores étant de petite taille, l'eau adsorbée aux grains occupe plus des 3/4 des rides et réduit d'autant le passage de l'eau libre.

+ Les limons épais argileux sur argiles, d'environ 2 m d'épaisseur, sont contaminés par l'argile sur toute leur hauteur. Ce type de sol a été trouvé en Flandre Intérieure mais aucune mesure de perméabilité n'y a été effectuée. Des mesures faites sur des sols de cette nature dans d'autres régions montrent une perméabilité fluctuante entre 30 et 60 cm/j. Les sols regroupés dans cette classe présentent une fraction sableuse plus ou moins importante qui détermine la valeur de la perméabilité. Il est préférable, lorsqu'on rencontre ce type de sol, d'effectuer des mesures d'infiltration en vue de déterminer son coefficient de perméabilité.

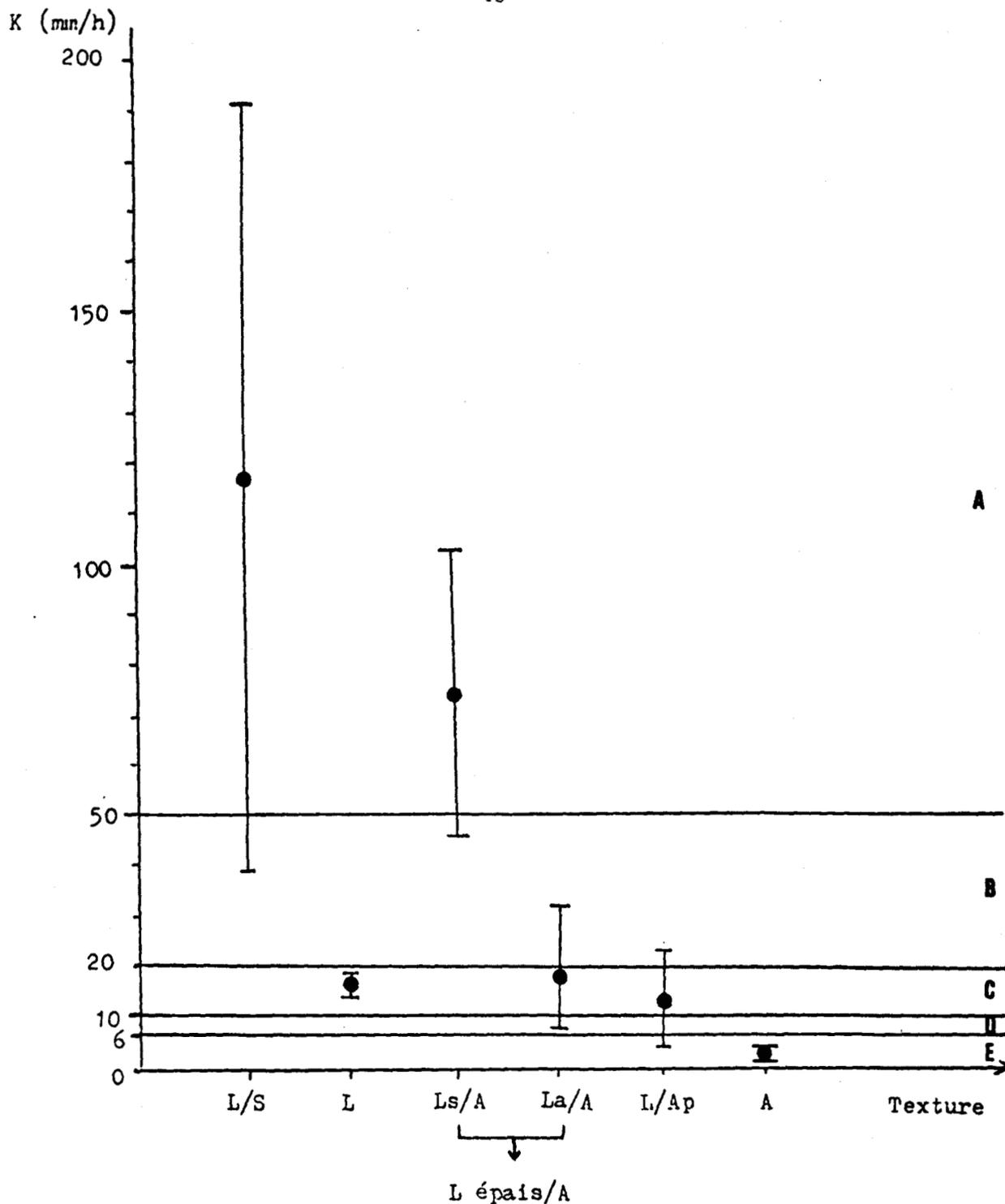


Fig. 12 : relation entre la texture et la perméabilité

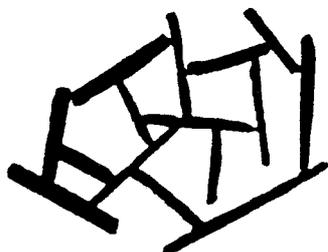
+ Enfin, les limons sur argile proche (limon inférieur à 1 m), les limons très argileux ainsi que les argiles pures, peuvent être exclus de tout projet d'assainissement.

L'excellente capacité épuratrice des argiles (capacité d'adsorption) est couplée à une très faible perméabilité (capacité d'absorption). La figure 12 montre que ces sols ont très rarement une perméabilité satisfaisante. Cette bonne perméabilité est souvent favorisée par une bonne structure du sol ; or, cette structure peut être détruite par l'apport de certaines substances.

Exemple : une argile contient du calcaire diffus, elle est bien structurée et a une perméabilité suffisante. Les particules argileuses (charge négative) sont reliées bord contre face par l'intermédiaire de l'ion Ca^{2+} (fig. 13 a).

L'ion Na^+ , apporté en grande quantité par les eaux usées va se substituer progressivement aux ions Ca^{2+} . Or l'ion Na^+ a tendance à s'hydrater fortement, il s'entoure donc d'une pellicule d'eau très épaisse qui empêche les liaisons ioniques de se faire. Il y a éclatement des agrégats et les particules argileuses se repoussent, il y a tassement du sol et diminution de la porosité (fig. 13 b).

Fig. 13



a) STRUCTURE FLOCULEE

b) STRUCTURE DISPERSÉE

Le tableau 8 montre les variations de perméabilité d'un même sol soumis à l'apport de Ca^{2+} d'une part, à l'apport de Na^+ , d'autre part (Bottero, 1971).

TABLEAU 8 : Perméabilité de l'argile en fonction de l'apport cationique

Sol	Contrainte appliquée		
	0,25 bar	1 bar	8 bars
Floculé (Ca^{++})	482,73	191,43	18,71
Naturel	64,26	12,71	1,08
Dispersé (Na^+)	9,86	2,65	0,376

Valeurs de la perméabilité en 10^{-11} m/s

Pour chaque effluent, le rapport d'adsorption du sodium est calculé :

$$\text{R. A. S.} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

Si ce rapport est trop élevé, le Na^+ provoque une désorption de Ca^{2+} et Mg^{2+} et les argiles se dispersent (Maresca, 1979).

Il est donc important de prétraiter les eaux usées avant de les injecter dans le sol.

III. COMMUNE DE LEDRINGHEM (Carte d'utilisation des sols)

A. INTRODUCTION

Les études précédentes déterminent à l'issue d'une simple prospection pédologique, les classes de sols vis-à-vis de l'épandage souterrain.

L'observation des textures et leur corrélation avec les valeurs de perméabilité de la figure 12 évaluent les capacités d'absorption et d'épuration des sols.

Cette démarche a été effectuée pour l'établissement de la carte à 1/5 000 de Ledringhem (annexe V) (Douay et Masson).

B. ZONATIONS EFFECTUEES A PARTIR DES TEXTURES ET DE L'HYDROMORPHIE (planche 5) :

- Zone 1 : alluvions formées de matériaux divers : sables, argiles, limons interstratifiés, formations complexes souvent humides ; le niveau de nappe se rapproche souvent de la surface en période hivernale. Vitesse d'infiltration estimée : $K = 1,7$ à 30 mm/h. Cette vitesse est très variable en raison de l'extrême complexité du matériau.

- Zone 2 : argile affleurante ou subaffleurante, très humide en période hivernale. Ces matériaux sont consolidés et compacts.
 $K \approx 2$ mm/h.

- Zone 3 : limon argileux interstratifié avec une argile limoneuse
 $K < 12$ mm/h.

- Zone 4 : limon épais supérieur ou égal à 2 m sur sables. Le niveau de nappe en période hivernale se situe à une profondeur supérieure ou égale à 0,50 m sous la surface du sol.
 $K \geq 40$ mm/h ; peut atteindre 190 mm/h.

- Zone 5 : limon supérieur ou égal à 1 m reposant sur des sables. Le niveau de nappe en période hivernale se situe à plus de 1 m sous la surface du sol.
 $K = 30$ mm/h.

- Zone 6 : limon supérieur ou égal à 1 m reposant sur des sables. Niveau de nappe hivernale supérieur ou égal à 0,50 m sous la surface du sol.
 $K = 30$ mm/h.

- Zone 7 : limon inférieur à 1 m reposant sur des sables.
7 a : niveau de nappe hivernal supérieur ou égal à 0,50 m.
 $K \geq 70$ mm/h.

7 b : niveau de nappe inférieur à 0,50 m.

- Zone 8 : limon inférieur à 1 m reposant sur le substrat argileux à 1,50 m par l'intermédiaire d'une couche de sable.
 $K \geq 70$ mm/h.

8 a : nappe hivernale à une profondeur supérieure ou égale à 0,50 m.

8 b : nappe hivernale à une profondeur inférieure à 0,50 m.

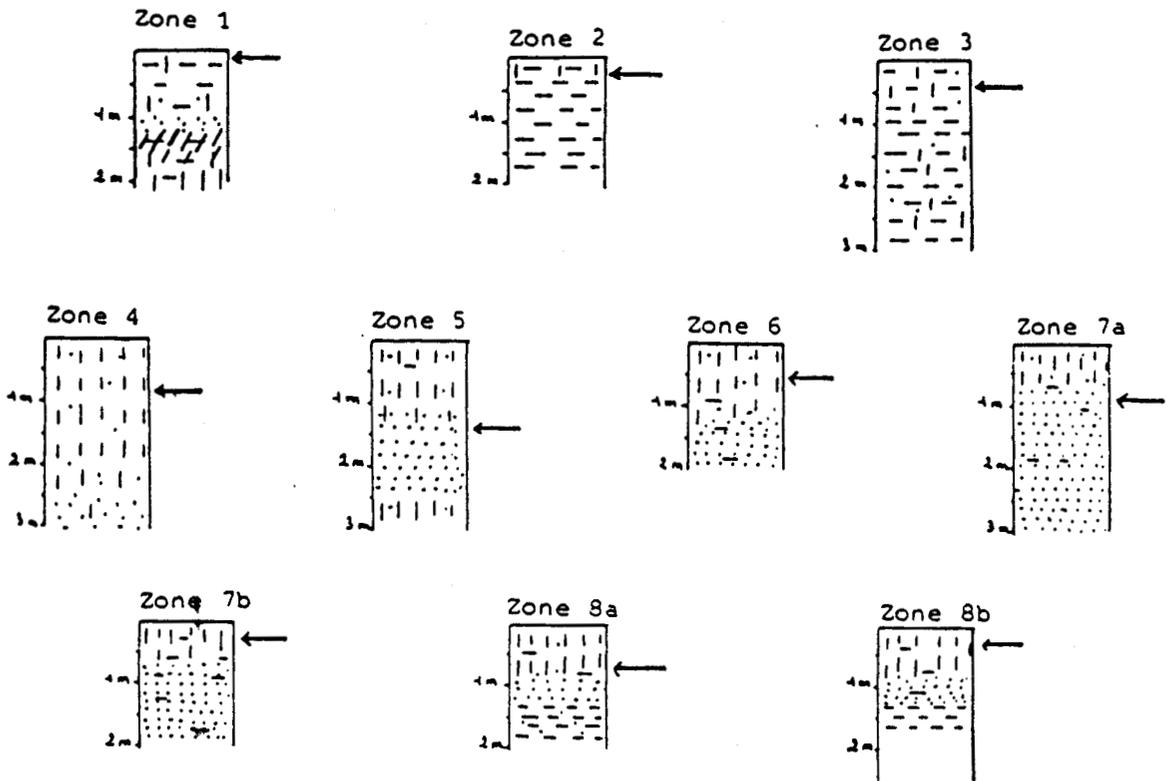
C. INTERPRETATION

1. Zones 1, 2, 3, 7 b et 8 b : impossibilité d'appliquer la technique de l'épandage souterrain, le niveau de nappe hivernale asphyxie tout le profil.

2. Zones 4, 6, 7 a et 8 a : possibilité d'appliquer la technique de l'épandage souterrain grâce au terte, la nappe hivernale empêche l'utilisation des horizons compris entre 50 et 100 cm de profondeur malgré leur bonne perméabilité. (fig. 14)

3. Zone 5 : l'épandage souterrain par canalisations enterrées peut être utilisé en toutes saisons.(fig. 15)

PLANCHE 5 PROFILS TYPES DES DIFFERENTES ZONES (Douay F. et Masnon F. 1984)



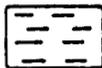
LEGENDE :



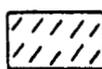
Limon



Sable



Argile



Matière organique de profondeur



Niveau de la nappe en période hivernale

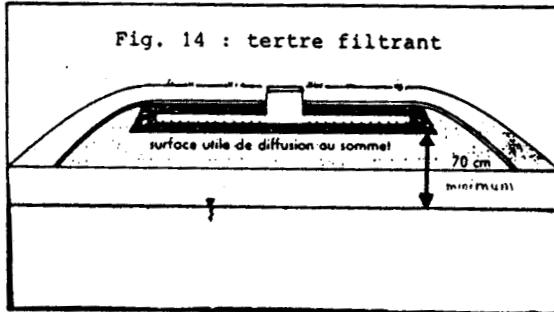
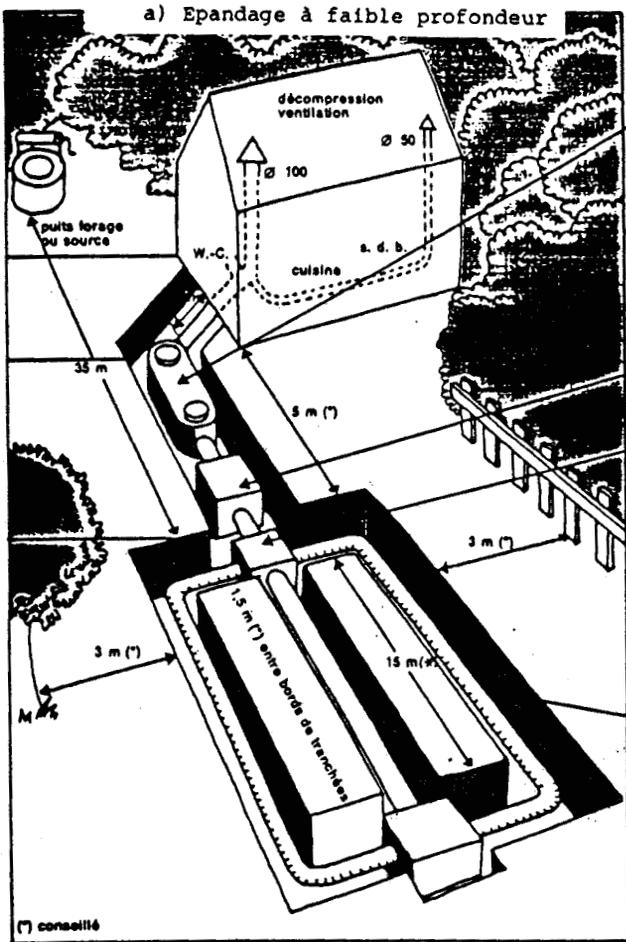
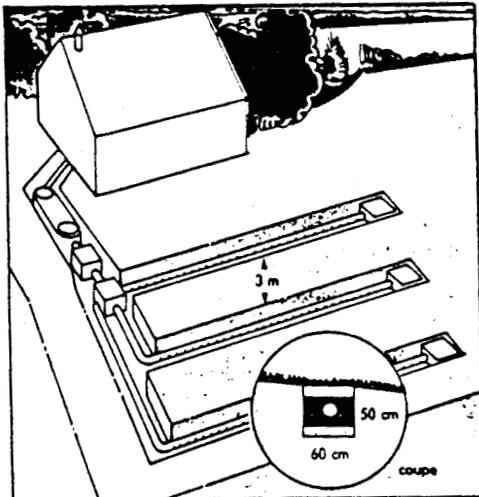


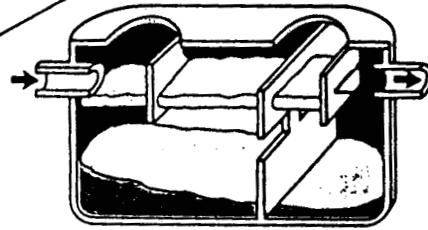
Fig. 15



b) Epanchage sur terrain en pente

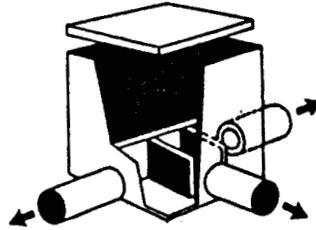


Fosse septique toutes eaux

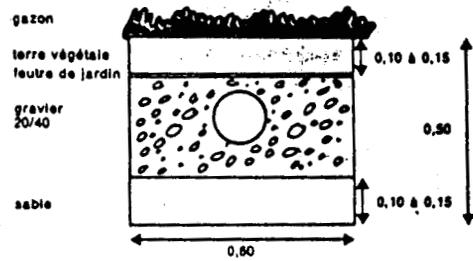


Regard indicateur de fonctionnement

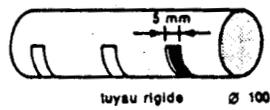
Regard de répartition



Tranchées



Canalisation de répartition



(d'après le C.F.E.S, 1983)

CONCLUSION GENERALE

Les limons de Flandre intérieure occupent plus des 3/4 des sols de la région : l'appréciation tactile de leur texture a permis de montrer qu'ils étaient homogènes et se composaient dans la plupart des cas d'un niveau limono-sableux en surface, relayé en profondeur par un niveau plus sableux.

La répartition globale de ces limons est la suivante (cf. Annexe II) :

- les limons sont très épais dans les fonds de vallée et sur les versants orientaux ;
- ils sont peu épais en sommet de butte et sur les versants occidentaux où ils laissent apparaître le substrat tertiaire argilo-sableux, très peu perméable ;
- enfin, les bordures de becque et les points topographiquement bas montrent des sols hétérogènes et hydromorphes.

Des analyses de perméabilité "in situ" ont mis en évidence l'excellente perméabilité de la couverture quaternaire de nature limono-sableuse : cependant, la hauteur trop élevée de la nappe hivernale y interdit tout rejet d'eau supplémentaire, on remarque, en annexe II, que la plupart des sols présentent des traces d'hydromorphie à moins de 50 cm de profondeur.

La mise en place de dispositifs d'épandage souterrain utilisant les propriétés des sols en place est donc très limitée dans cette région.

BIBLIOGRAPHIE

CARTES :

- I. G. N.- "Fond topographique de la carte de Cassel" (3-4) (1/25 000).
MASSON F.X. et DOUAY F. (1984).- "Carte communale d'aptitude à l'épandage souterrain en vue de l'assainissement collectif ou individuel" (1/5 000).
WATERLOT G. (1968).- "Carte géologique de Cassel" (1/50 000).

OUVRAGES COLLECTIFS :

- C. E. A. A. (1981).- Analyses granulométriques de sols. Région de Wormhoudt. I. S. A.
COMITE FRANCAIS D'EDUCATION POUR LA SANTE (1983).- Les eaux usées faciles à traiter. Document technique n° 1, 13 p. Ministère de la Santé.
C. T. G. R. E. F. (1979).- L'assainissement individuel : état actuel des connaissances. Note technique n° 8, 38 p. Groupement d'Antony, Division : qualité des eaux, pêche et pisciculture.
C. T. G. R. E. F. (1980).- L'épandage des eaux usées domestiques : études préalables de l'aptitude des sols et règles de dimensionnement des installations. N° 50, 75 p. Groupement d'Antony, Division : qualité des eaux, pêche et pisciculture.
D. D. A. Seine Maritime (1979).- Etude de l'aptitude des sols à l'assainissement individuel. 1re tranche, laboratoire agronomique, Gargenville, département de Seine Maritime, 16 p.
MINISTERE DE L'AGRICULTURE.- Fiches pédologiques. Documents S. R. A. E.

OUVRAGES ET ARTICLES :

- ALOZY Ch. (1977).- Etude expérimentale d'une microstation d'épuration biologique des eaux usées pour l'assainissement individuel. Thèse de Doctorat, Univ. Montpellier, Fac. Pharmacie, 215 p.
BOTTERO A. (1971).- Etude des propriétés mécaniques des matériaux argileux en fonction de leurs propriétés physico-chimiques. Thèse 3e cycle.
BOUMA J., ZIEBELL N.W., WALKER W.G., OLCOTT P.G., Mc COYE et HOLE F.D. (1972).- Soil Absorption of Septic Tank Effluent. Information Circ, n° 20, Univ. Wisconsin. Extension. Geological and Natural History Survey, 235 p.
BRIQUET A. (1906).- Sur l'origine des collines de Flandre : quelques considérations de tectonique et d'hydrographie. *Ann. Soc. géol. Nord*, XXXV, p. 273-288.
DOMMERMUES Y. et MANGENOT F. (1970).- Ecologie microbienne des sols. Masson et Cie (Ed.), 796 p., 180 fig., 101 tabl.
DONVILLE B. (1979).- Essai de carte d'aptitude des sols à l'assainissement individuel. Techniques et Sciences Municipales, n° 5. Mai, 74e année, p. 257 à 271.
DUCHAUFOUR Ph. (1970).- Précis de pédologie. Masson et Cie (Ed.), 481 p.

- Sous la direction de DUCHAUFOR Ph. et SOUCHIER B. : Pédologie.
Tome I : DUCHAUFOR Ph. (1977).- Pédogénèse et classification. Coll. Masson, 477 p.
Tome II : BONNEAU M. et SOUCHIER B. (1979).- Constituants et propriétés du sol. Coll. Masson, 459 p.
- GOUGOUSSIS C. (1982).- Assainissement individuel et aptitude des sols à l'élimination et à l'épuration des effluents domestiques. *Document du B. R. G. M.*, n° 38, 354 p.
- GRIL J.J. (1980).- L'épandage des eaux usées domestiques. *C. T. G. R. E. F.*, n° 50.
- GRIM R.E. (1962).- Applied clay mineralogy. Mc Graw Hill Book Company, Inc., 422 p.
- JAMAGNEM et coll. (1967).- Bases et techniques d'une cartographie des sols. *Ann. Agronomiques*, n° hors-série 18, 142 p.
- LAPORTE G. (1976).- Légende des profils. *Documents S. R. A. E.*, 5 p.
- MARESCA B. (1979).- L'épandage des eaux usées. Manuel de recommandations techniques. Edition : la documentation française (Ministère de l'agriculture et de l'environnement et du cadre de vie, de la santé et de la famille), 176 p.
- MASSON F.X. (1979).- Recherche sur les sols et leur cartographie dans la plaine maritime des Wateringues du Nord et du Pas-de-Calais. Thèse 3e cycle, 116 p.
- MASSON F.X. (1981).- Epandage souterrain dans le département du Nord. *S. R. A. E. Nord Pas-de-Calais*.
- PETIT G. et CLEYRERGUE M. (1976).- Typologie des effluents issus des résidences unifamiliales. Synthèse des résultats de mesure. Conclusions. La technique de l'eau et de l'assainissement, n° 353, p. 41-45.
- POMEROL Ch. (1968).- Progrès récents dans la connaissance des formations tertiaires du Bassin de Paris. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), X, p. 5-12.
- SOLTNER D. (1981).- Les bases de la production végétale. Tome I : le sol, coll. Sciences et techniques agricoles, 10e édition. Phylotechnie générale, 456 p.
- SOMME J. (1977).- Les plaines du Nord de la France et leur bordure. Thèse 3e cycle. Tome I, 809 p. Tome II, 185 fig.
- TURCKX D. (1979).- Aptitude générale à l'épandage souterrain des régions naturelles du département du Nord. D. E. A.
- VATAN A. (1967).- Manuel de sédimentologie, Technip (Ed.), 397 p.
- VERRIEZ J.J. (1972).- Travaux pratiques de physique du sol. Pédologie. Univ. Lille I, 27 p.

LISTE DES FIGURES

	Pages
Fig. 1.- Expression graphique de la relation entre la taille des pores et le potentiel matriciel.....	7
Fig. 2.- Effet du colmatage ou du type d'application d'un liquide sur le taux de percolation.....	7
Fig. 3.- Le podzol.....	11
Fig. 4.- Tertre d'infiltration sur sol peu perméable.....	11
Fig. 5.- Carte structurale du "Houtland".....	13
Fig. 6.- Carte géologique de "CASSEL 4".....	15
Fig. 7.- Triangle de textures.....	33
Fig. 8.- Graphique granulométrique triangulaire.....	33
Fig. 9.- Variation de la perméabilité en fonction de l'intensité du colmatage.....	35
Fig. 10.- Position des 5 points de mesure en Flandre Intérieure.....	37
Fig. 11.- Schéma du perméamètre à charge constante.....	37
Fig. 12.- Relation entre la texture et la perméabilité.....	43
Fig. 13.- Structure de l'argile en fonction de l'apport cationique..	44
Fig. 14.- Tertre filtrant.....	47
Fig. 15.- Epandage par canalisations enterrées.....	47

LISTE DES TABLEAUX

Tabl. 1.- Composition moyenne par litre d'effluent.....	3
Tabl. 2.- Principaux processus d'épuration des effluents.....	5
Tabl. 3.- Zonation des sols en fonction de la texture et de l'hydromorphie.....	26
Tabl. 4.- Composition granulométrique de 8 échantillons de sols prélevés dans la région de Normhout.....	31
Tabl. 5.- Valeurs permettant de positionner les points représentatifs de ces sols dans le triangle des textures..	31
Tabl. 6.- Classement des sols en fonction de leur perméabilité.....	34
Tabl. 7.- Valeurs permettant de construire le graphe des variations de perméabilité en fonction de la texture.....	41
Tabl. 8.- Perméabilité des argiles en fonction de l'apport cationique.....	44

PLANCHES

Pl. 1.- Bicouches.....	19
Pl. 2.- Sols complexes.....	21
Pl. 3.- Profils pédologiques.....	29
Pl. 4.- Sondages de 3 m correspondant aux endroits où les mesures de perméabilité ont été effectuées.....	39
Pl. 5.- Profils types des différentes zones (commune de Ledringhem).	47

BLOCS-DIAGRAMMES

1. Dissymétrie de versants.....	25
2. Versant occidental.....	25
3. Versant oriental.....	25

COUPES

1. Sable glauconieux (commune de Ledringhem).....	23
2. Sable glauconieux (commune de Quaëdypre).....	23

LISTE DES ANNEXES

- I.- CASSEL 4 : Carroyage (1/25 000)
- II.- CASSEL 4 : Carte d'aptitude des sols à l'épandage souterrain (1/25 000)

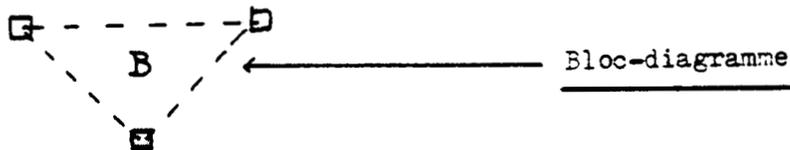
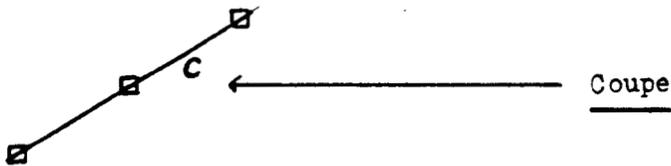
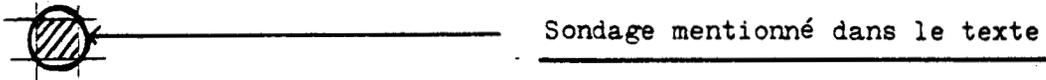
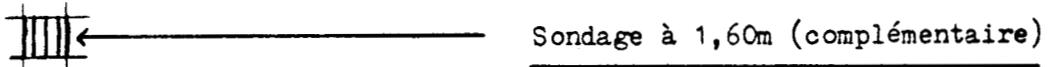
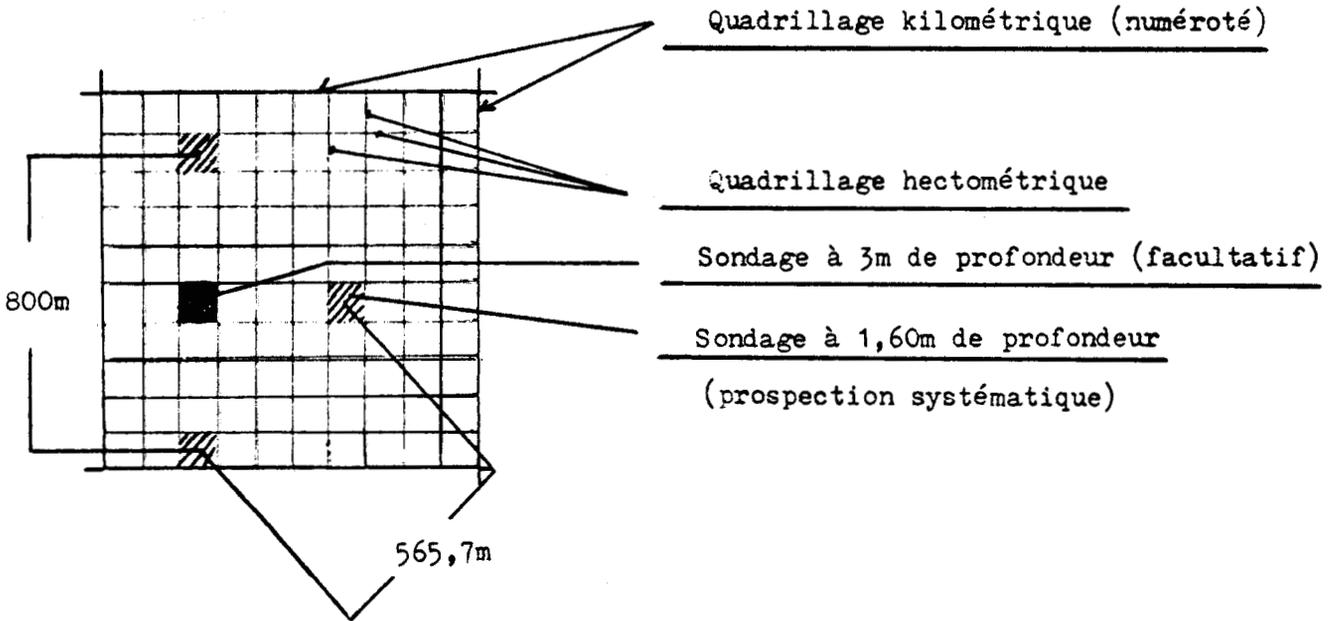
III.- a : Dissymétrie de versants..... Sondage E 25 - C 1
b : Versant occidental..... Sondage H 21 - G 1
c : Versant oriental..... Sondage J 21 - C 9

IV.- Mesures de débits pour les profils n° 1, 2, 4 et 5

V.- Carte communale d'aptitude à l'épandage souterrain (commune de Ledringhem,
1/5 000)

ANNEXE I : CARTE A 1/25 000 DE CASSEL 4

(carroyage kilométrique et hectométrique)



ANNEXE II

CARTE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES EN VUE DE L'EPANDAGE

SOUTERRAIN DE CASSEL 4 (1/25 000)

LEGENDE :

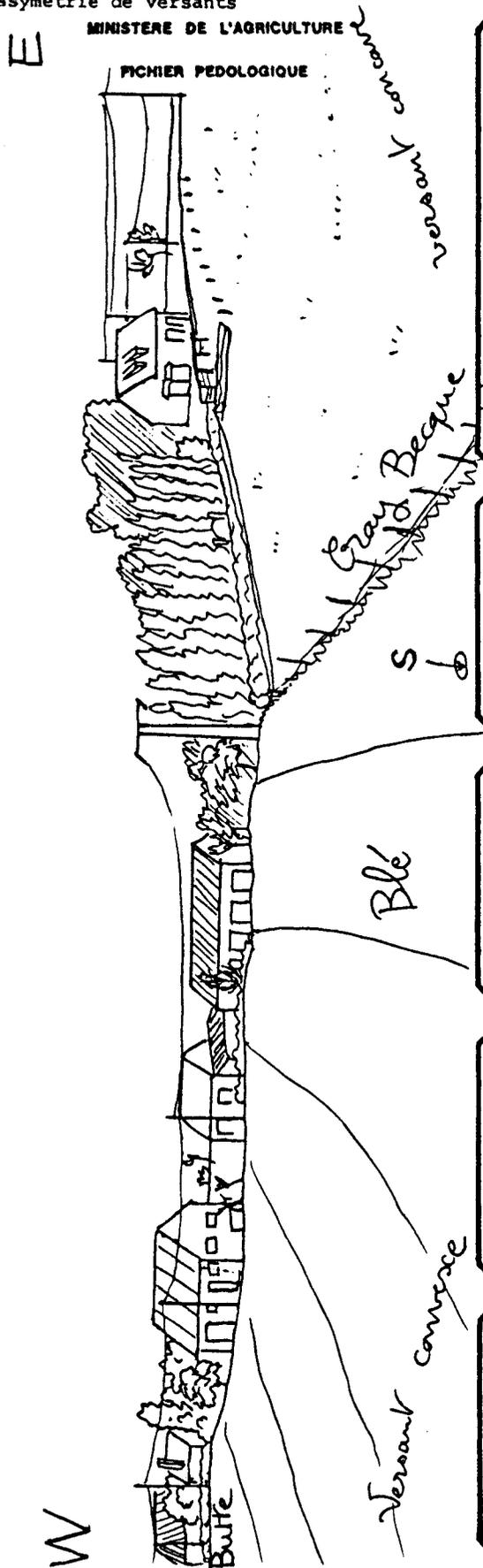
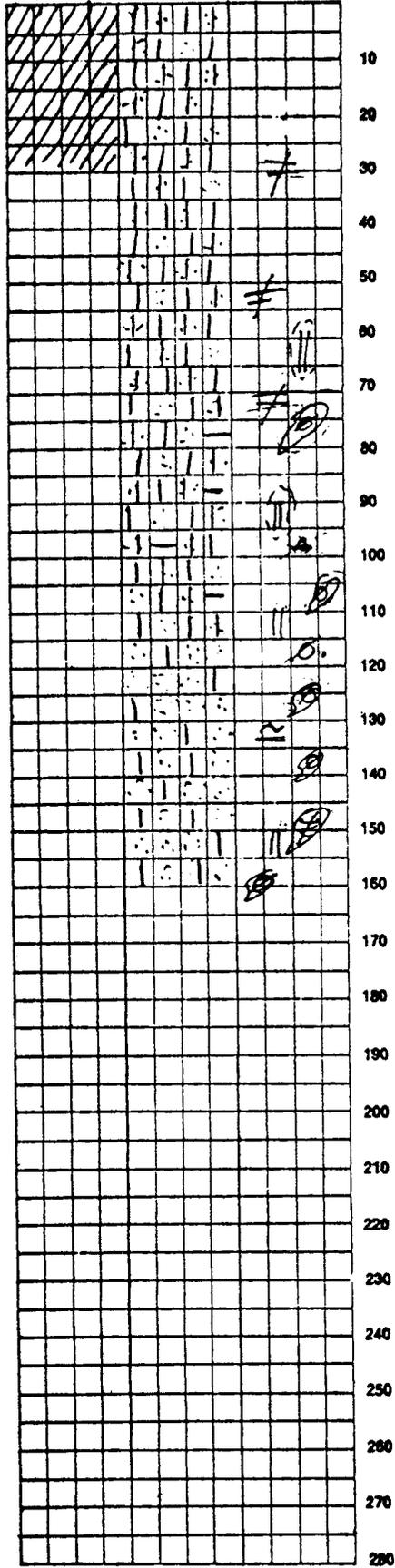
Zone 1 : Limon sur sable $L \leq 1m$	
Zone 2 : Limon sur sable $L \geq 1m$	
Zone 3 : Limon sur argile $L \leq 1m$	
Zone 4 : Limon sur argile $L \geq 1m$	
Zone 5 : Limon sableux	
Zone 6 : Limon argileux	
Zone 7 : Sols complexes	
Zone 8 : Alluvions	

Hydromorphie pour les zones 1,2,4 et 5

type a → non indiqué

type b → b

type c → c

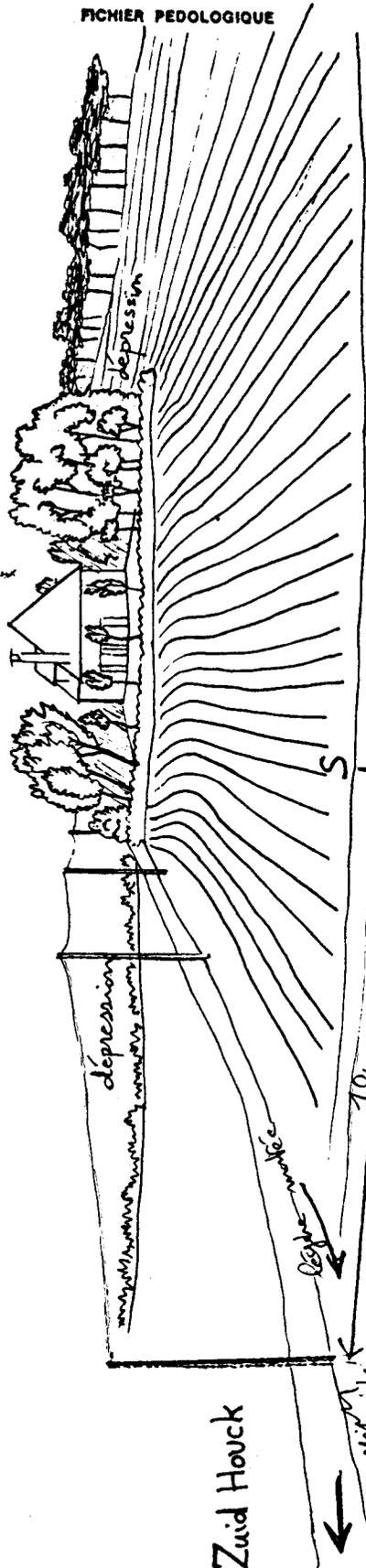
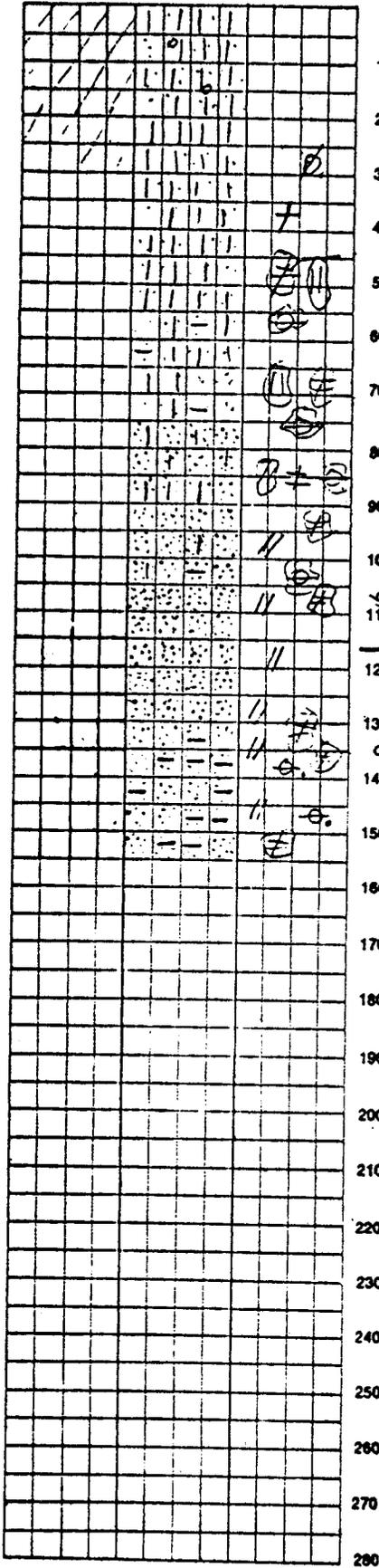


GEOLOGIE		GEOMORPHOLOGIE		HYDROGRAPHIE		COUVERT		coordo. Lambert	
		Dépression		Boué de béguine		Blé		F25-F1-1	
Relief et microrelief								N° SERVICE	
Situat. sur et. de relief								Date	
								20/6/84	
								Auteurs	
								DEGAND - KETELS	

4

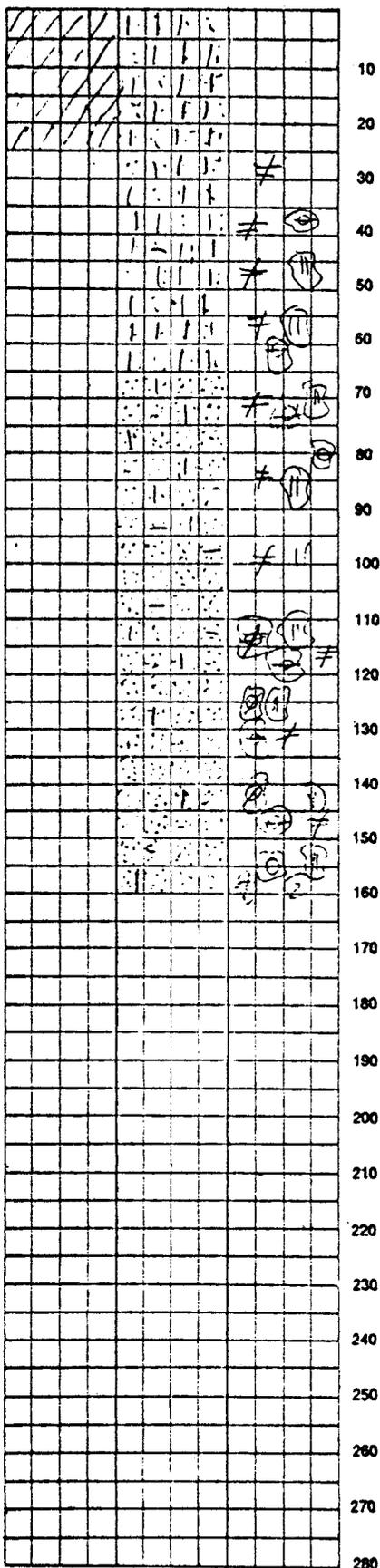
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

FICHER PEDOLOGIQUE



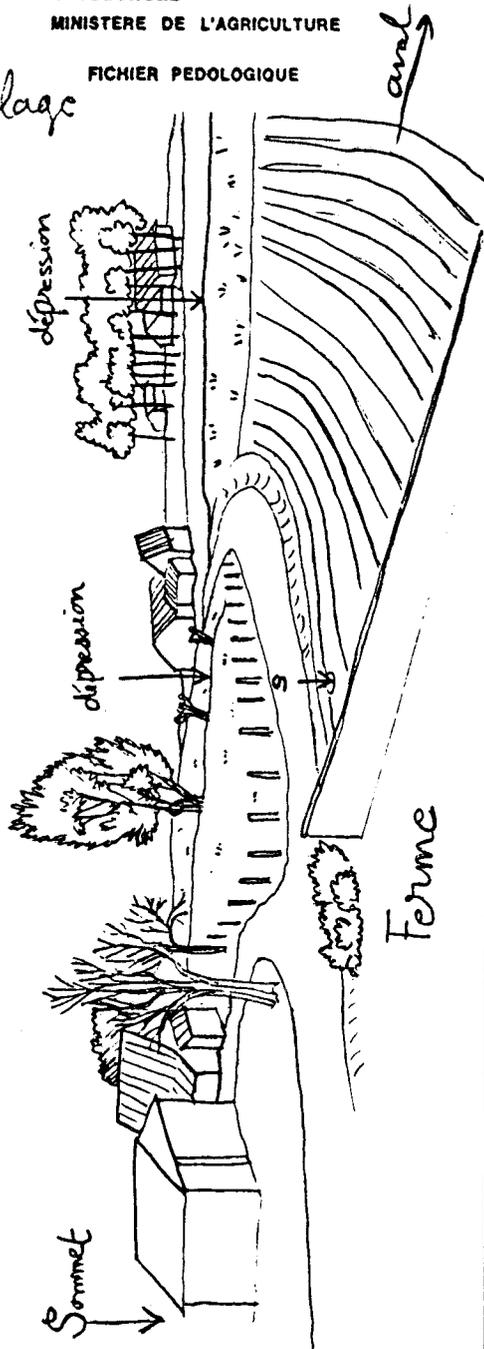
GÉOLOGIE		GÉOMORPHOLOGIE		HYDROGRAPHIE		COUVERT	
L.P.		terreux		nulls		ml	
N°		H21-G1-1		Coordonnées Lambert		Date	
FORMULE				3 nov. 1981		Auteurs	
						DEGOND - KETELS	

W



chaulage
W

FICHER PEDOLOGIQUE



W

GÉOLOGIE		GÉOMORPHOLOGIE		HYDROGRAPHIE		COUVERT		N°	
LP		Pentes d'axe principal				Nu		J21-C9-1	
Coordonnées Lambert		Date		Auteurs					
								3 mai 1984	
								DEGAND-KETELS	

ANNEXE IV : MESURES DE DEBIT AU PERMEAMETRE A CHARGE
CONSTANTE

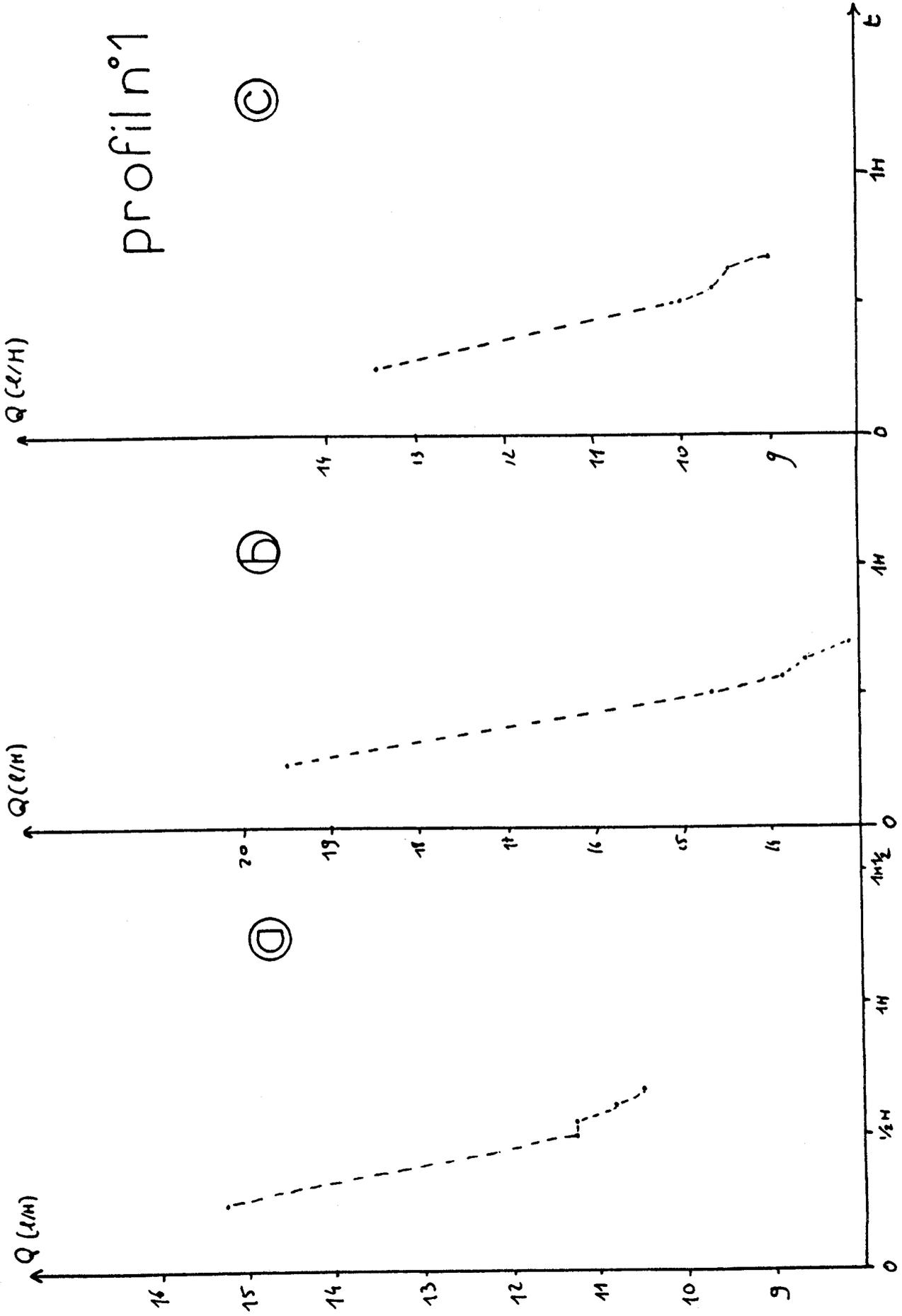
Profil n° 1 : Limon épais sur argile (limon sableux)

Profil n° 2 : Limon épais argileux

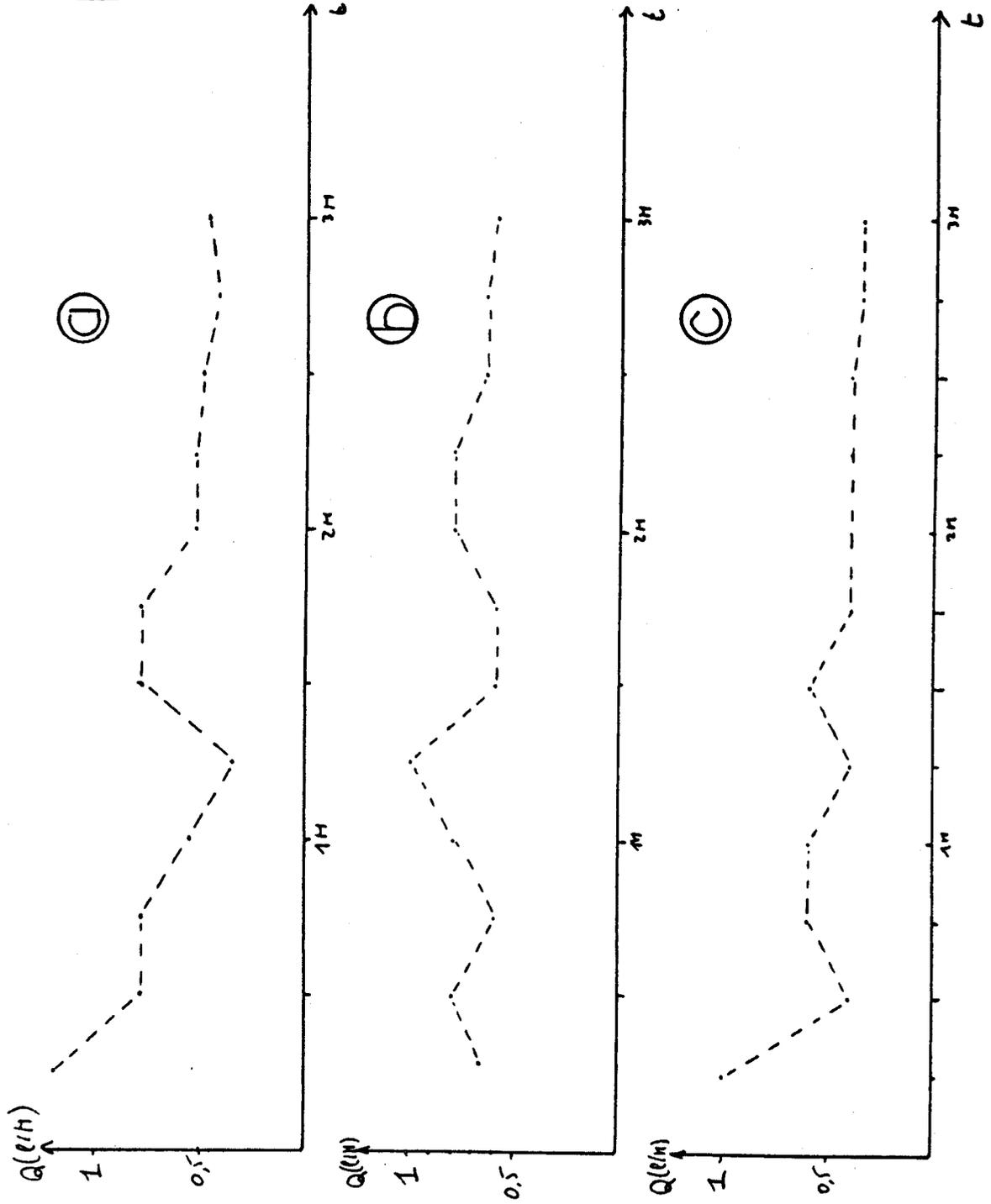
Profil n° 4 : Limon épais peu sableux et peu argileux

Profil n° 5 : Limon épais sur sable

profil n°1

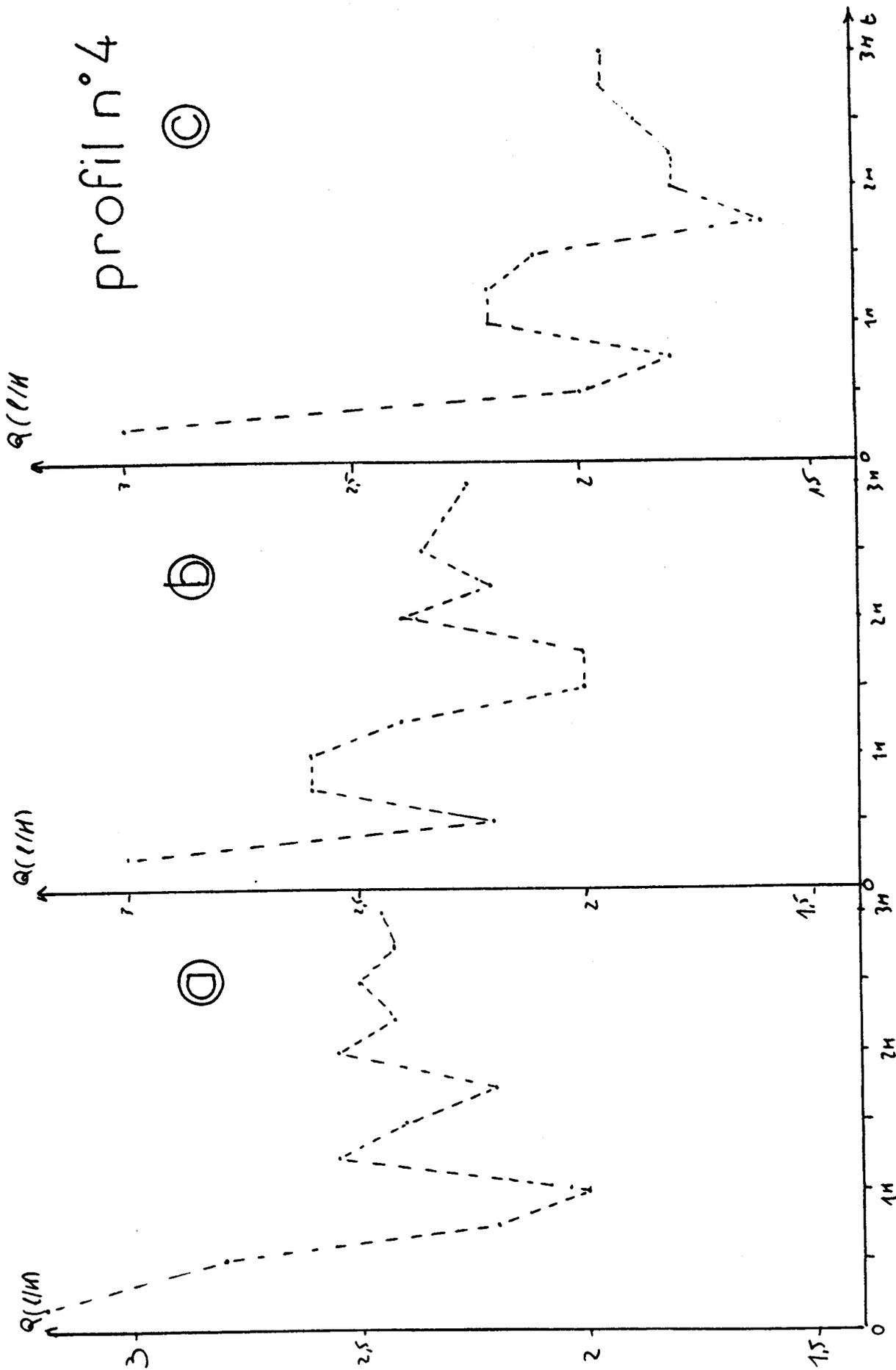


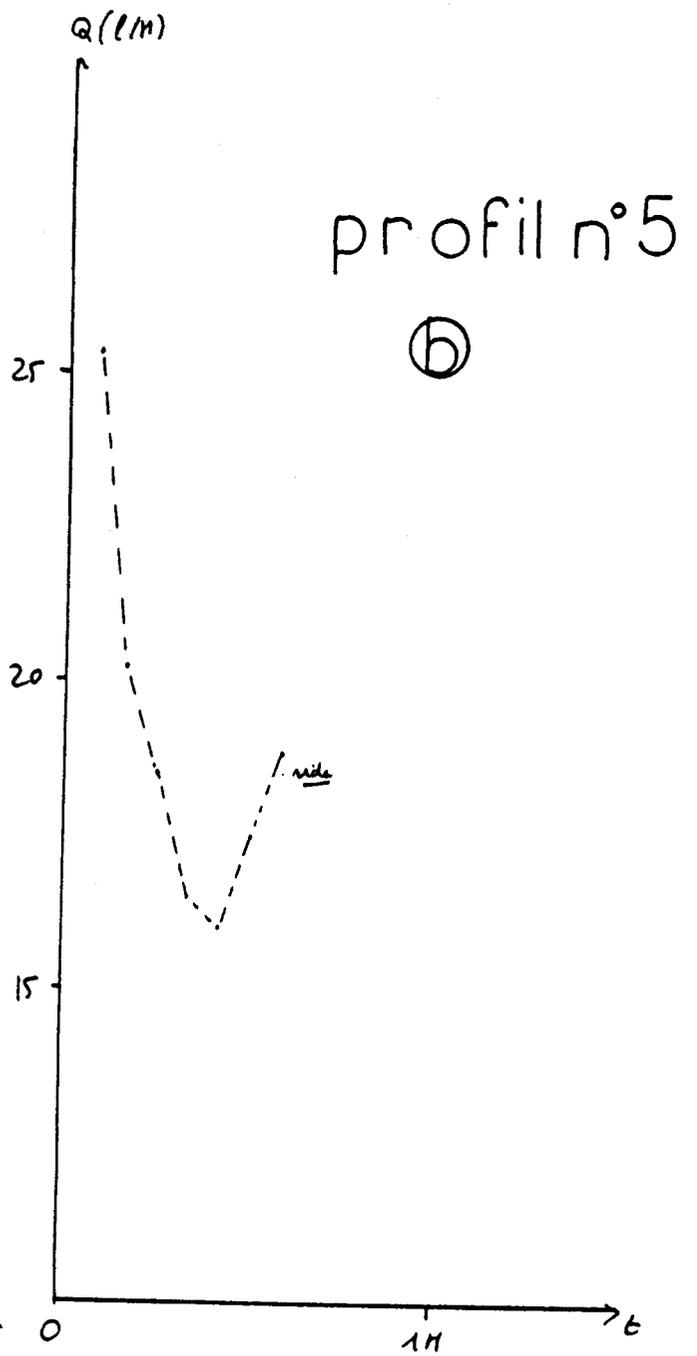
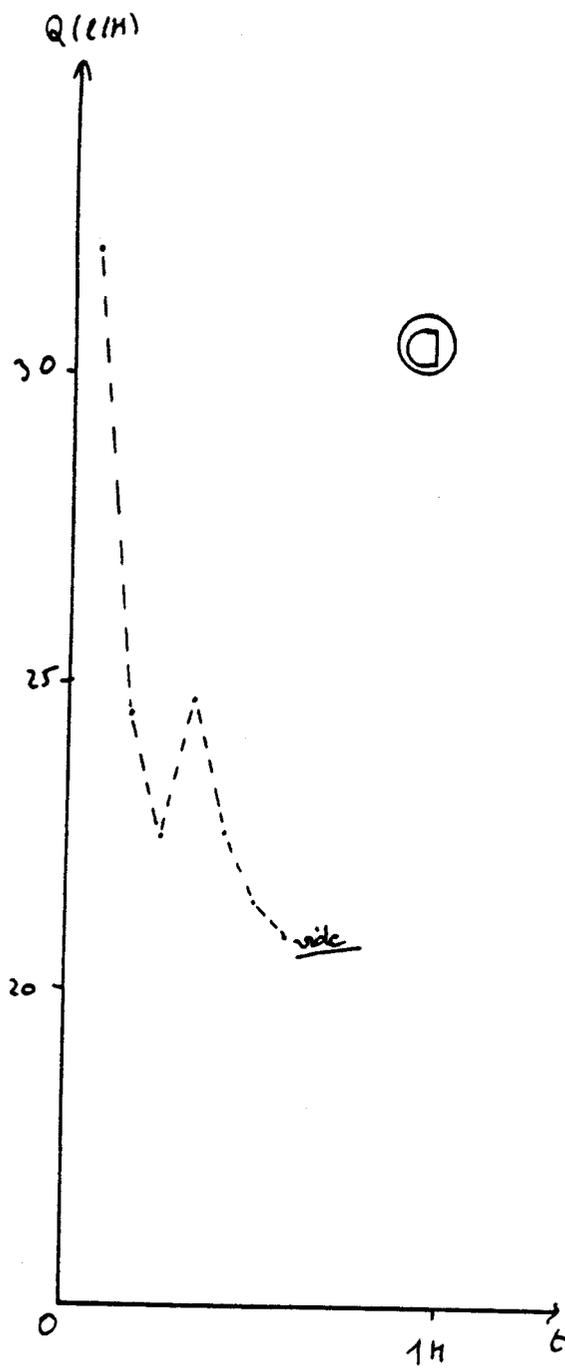
profil n°2



profil n°4

©





INSTITUT SUPERIEUR D'AGRICULTURE
DE LILLE
SCIENCES DE LA TERRE
LABORATOIRE DE PEDOLOGIE

MINISTERE DE L'AGRICULTURE
SERVICE REGIONAL DE
L'AMENAGEMENT DES EAUX
NORD-PAS-DE-CALAIS
SERVICE D'ETUDE DES SOLS

GROUPEMENT D'ETUDE DES SOLS

ANNEXE V

COMMUNE DE LEDRINGHEM

Carte communale d'aptitude a l'epandage
souterrain en vue de l'assainissement
collectif ou individuel

par F.X. Masson et F. Douay

Maille : 2
Indice de couverture : 1/4
Echelle de levée : 1/20000
Echelle de représentation : 1/5000

- Sondage à 1,60 m
- ⊙ Sondage à 3 m



Septembre 1984