50376
1992
105-2

N° d'ordre: 795

50376
1992
105-2

Université des Sciences et Technologies de Lille (Lille I)

U.F.R. des Sciences de la Terre

T H E S E

présentée devant

l'Université des Sciences et Technologies de Lille (Lille I)

pour l'obtention du grade de

DOCTEUR D'ETAT Mention SCIENCES NATURELLES

François-Xavier MASSON

GESTION DES SOLS DE LA REGION DU NORD (FRANCE)

Relation sols et formations superficielles

Proposition d'une démarche générale

BIBLIOTHEQUE U. SECTION DE SCIENCES LILLE

Tome II

BIBLIOTHEQUE INTERUNIVERSITAIRE SECTION DE SCIENCES LILLE

Soutenue publiquement le 24 juin 1992 devant la commission d'examen

JURY:

MM. P.	CELET	Président-Rapporteur
J.	SOMME	Rapporteurs
J.C.	FAVROT	
J.	MAUCORPS	Examinateurs
E.	ROOSE	
J.	LOZET	

030 036371

IIIème PARTIE

LA CONNAISSANCE DES SOLS ET LES AMENAGEMENTS

INTRODUCTION

Mes travaux se rapportant à différentes techniques d'aménagement du sol telles que la lutte contre l'érosion, le drainage, la maîtrise de la salinité, la limitation du lessivage des engrais, et l'épandage souterrain des eaux usées, permettent d'illustrer la diversité des domaines pour lesquels la connaissance des sols est indispensable.

Ces objectifs nécessitent l'acquisition de références scientifiques et expérimentales préalables à l'élaboration des réponses techniques attendues par les décideurs.

CHAPITRE I

L'EROSION DES TERRES AGRICOLES DE LA REGION DU NORD

INTRODUCTION.

L'érosion des terres dans la Région du Nord est due à plusieurs agents, dont le vent et l'eau sont les principaux. L'érosion éolienne, limitée à la zone littorale ne concerne pas les terres agricoles. Elle reste modérée et les moyens de lutte contre les effets du vent sont bien connus. Par contre, l'érosion hydrique revêt diverses formes, dont la plus spectaculaire est l'érosion par ruissellement concentré dont la genèse est en cours d'étude.

L'érosion par ruissellement concentré des terres agricoles est un phénomène généralisé en France et dans le monde (HENIN 1950 a et b, HENIN *et al.*, 1950, 1969, LEFEBVRE 1958, MICHEL *et al.* 1983, RAFINRINGA 1983, ROOSE *et al.* 1983, VALENTIN 1985, GRIL *et al.* 1987). Elle a été ressentie dans la Région Nord-Pas-de-Calais, lors d'inondations répétées de villages par des eaux boueuses (Cas de Longuenesse près de Saint-Omer en 1977, d'Ecuires près de Montreuil en 1978, etc.). Par ailleurs, lors des dernières décennies, les agriculteurs de plusieurs régions agricoles ont vu apparaître dans leurs champs

des rigoles d'érosion parfois larges, de 1 à 2 m, gênant les pratiques culturales (WISCHMEIER *et al*, 1960, WISCHMEIER, 1976, ROOSE, 1980).

Des études menées dès 1978 par le S.R.A.E. (Service Régional de l'Aménagement des Eaux) et le laboratoire de Géologie Dynamique de L'U.S.T.L.F.A. (Université des Sciences et Techniques de Lille-Flandres-Artois), ont mis en évidence l'origine du ruissellement qui apparaît essentiellement lié aux conditions d'utilisation des sols de la région. (MASSON *et al.* 1979).

Ces études ont permis de sélectionner et d'affiner, avec l'aide de l'O.R.S.T.O.M., un certain nombre de méthodes et d'outils scientifiques permettant d'apprécier l'origine de ce type d'érosion, son étendue, son impact et les techniques de lutte (ROOSE et MASSON 1983, MASSON 1984 a, 1987).

Dans ce chapitre, la présentation de ces travaux ne vise pas uniquement la recherche, mais également les applications en matière d'ingéniérie et d'agronomie, pour limiter soit les causes, soit les conséquences de l'érosion.

D'autres types d'études concernent l'impact du ruissellement et de l'érosion sur l'environnement : c'est le cas de travaux portant sur l'envasement de fossés, d'étangs, de canaux d'assainissement ou de navigation, sur l'altération de la qualité des eaux de surface et souterraines, etc. (PREAUX *et al.* 1985, CELET *et al.* 1989). Des installations coûteuses sont parfois envisagées pour limiter les transferts nuisibles de matières en suspension par les rivières. Citons par exemple les projets de bassins décanteurs sur les rivières Sensée et Aa.

Dans ce chapitre, nous aborderons l'impact de l'érosion dans la Région du Nord de la France, son importance, les zones impliquées, les difficultés rencontrées, les méthodes d'études, les propositions de lutte contre l'érosion et leurs résultats.

I - L'APPARITION DU RUISSELLEMENT ET DE L'EROSION.

Le ruissellement apparaît, même si la pente est très faible (1°/₀₀), dès qu'un niveau superficiel du sol s'imperméabilise et limite l'infiltration de l'eau, il génère ensuite l'érosion.

L'imperméabilisation superficielle est plus fréquente dans les sols limoneux dont la structure est fragile, que dans les autres sols. Cette imperméabilisation intervient soit à la base du labour (semelle de tassement), soit à la surface du sol (croûte de battance). La battance ou glaçage des terres est provoquée par la reprise par l'eau des particules élémentaires de limons libres venant sédimenter à la surface du sol et colmatant les espaces libres entre les agrégats (fig. 79). Ces particules seront d'autant plus facilement libérées et mobilisées, que les agrégats formant l'architecture du sol seront moins riches en colloïdes (argile et matière organique) et en agent floculant (calcium). La battance est donc nettement plus importante en sols limoneux pauvres en argile, en matière organique et en calcium.

A l'inverse, les matériaux les plus argileux sont généralement plus stables et plus cohérents et moins sujets à l'imperméabilisation superficielle.

L'émiettement excessif du sol, lors des travaux culturaux, constitue aussi un facteur non négligeable de libération des particules de limons, accélérant ainsi l'imperméabilisation du sol.

Les formes du relief interviennent également dans le développement du processus de ruissellement et d'érosion. Le couvert végétal limite le ruissellement et l'érosion en favorisant l'infiltration de l'eau.

Le schéma du ruissellement est présenté sur la figure 80.

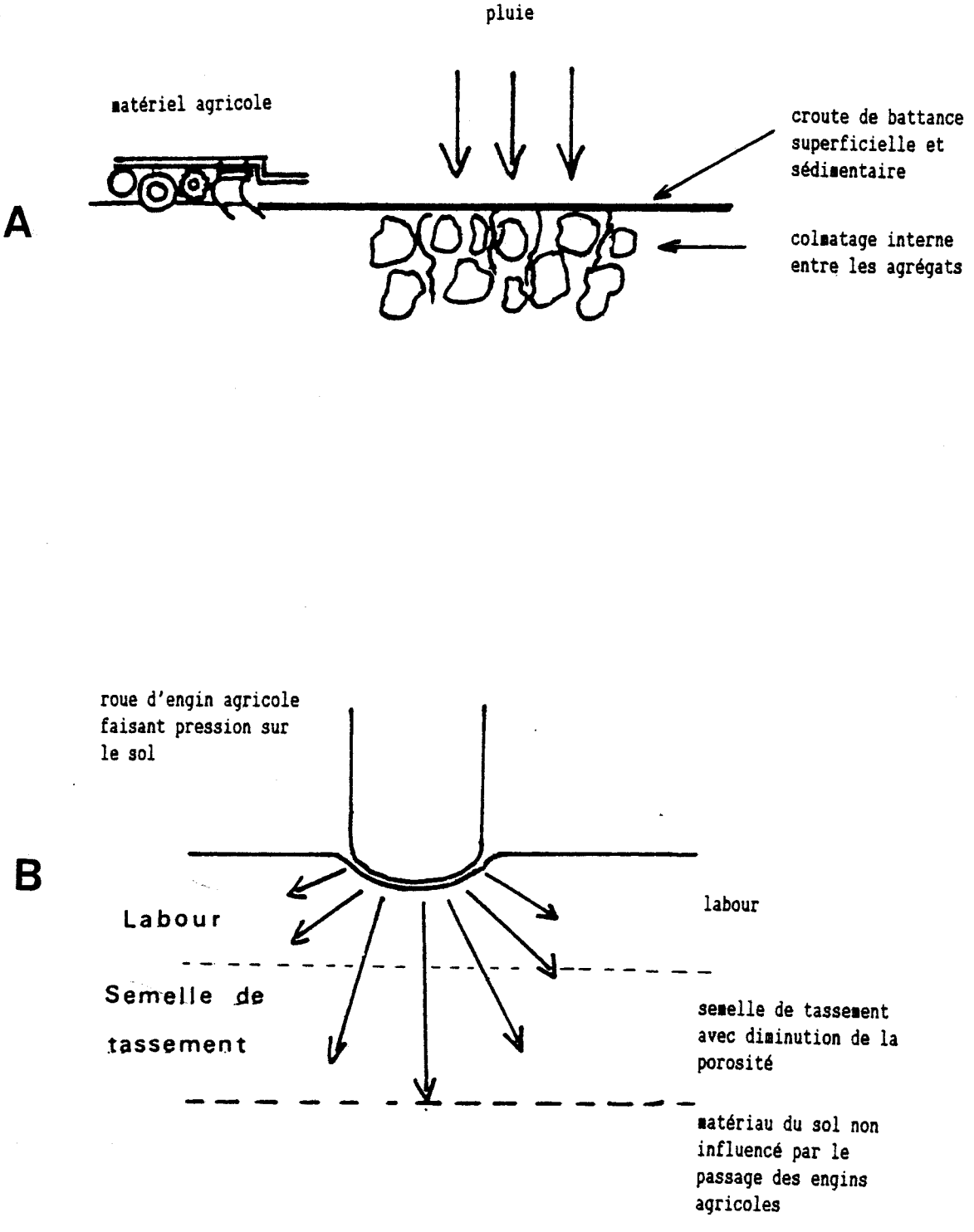


Fig. 79 : Battance et tassement entraînant l'imperméabilisation du sol.

A. Effet de la pluie et des façons culturales.

B. Effet de tassement dû au passage des engins agricoles

Genèse du ruissellement sur sol battant ou tassé	Concentration du ruissellement	Incision par ruissellement concentré	Sédimentation
Imperméabilisation ruissellement en nappe fine (érosion faible)	Début d'érosion concentrée (érosion moyenne)	Cisaillement et création de ravines (érosion forte)	Dépôts et atterrissements

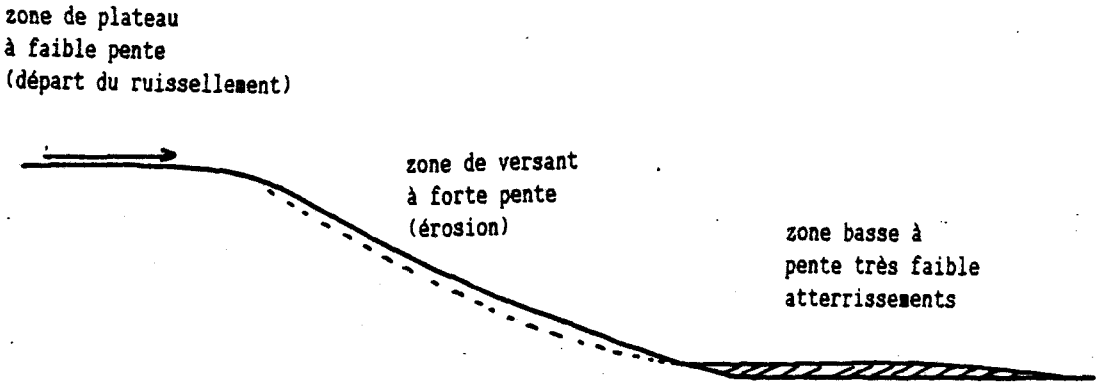


Fig. 80 : Schéma du ruissellement

II - CAUSES DE L'EROSION.

Outre la pluie, la nature des sols, les types de cultures pratiquées, la mécanisation des travaux interviennent souvent dans le déclenchement du ruissellement et de l'érosion.

1/ Nature des sols.

Les sols les plus sensibles de la région sont les sols de limons épais à texture peu argileuse des dépôts de limons pléistocènes. Leur évolution a donné généralement naissance à des sols bruns faiblement lessivés à lessivés. Lors des études réalisées sur le plateau entre Canche et Authie, en zone sensible, les analyses ont montré que le taux d'argile est faible, généralement de 12 à 16 %, celui de matières organiques aussi: 9 pour mille environ. Les réserves en CaO sont souvent faibles et les pH souvent inférieurs à 7 (MASSON et PELLETIER, 1979). De telles caractéristiques indiquent une prédisposition à la battance, et donc à l'imperméabilisation du sol.

2/ Les successions culturales.

Le système de culture pratiqué dans la région, de type intensif, privilégie souvent une succession triennale: betterave, blé, escourgeon; les têtes d'assolement peuvent aussi être la pomme de terre, le maïs fourrager ou les cultures légumières. Cette succession peut être raccourcie aux dépens des pailles qui constituent souvent le principal apport de matière organique nécessaire à la structuration du sol. La diminution de l'élevage restreint les restitutions de matière organique sous forme de fumier.

Les cultures avec labour représentent dans les zones sensibles (Artois, Pays de Montreuil) 80 à 90 % de la surface agricole. Le reste est occupé par les prairies et les forêts.

Ce système, joint aux exportations de paille et à des apports d'engrais importants, conduit à diminuer dangereusement le taux de carbone organique des sols et donc à les déstabiliser.

En hiver, les sols sont faiblement couverts par la végétation, ce qui accroît leur vulnérabilité aux agressions de la pluie et du ruissellement.

3/ La mécanisation.

La mécanisation agit négativement sur les sols de deux manières différentes. Les engins agricoles lourds provoquent un tassement d'autant plus important que les passages sont répétés. Les outils animés, utilisés lors des travaux du sol, l'affinent souvent exagérément. Ainsi se développent en profondeur une semelle de tassement et en surface une croûte de battance, toutes deux à l'origine de ruissellement et d'érosion. Les labours trop profonds ont tendance à "diluer" la matière organique, et donc à conduire à un appauvrissement relatif de cet élément dans la couche arable. Les travaux réalisés depuis 1979 (MASSON et PELLETIER 1979, DOUAY et MASSON, 1980) confirment que l'influence du travail du sol est prépondérante dans la libération des particules élémentaires, et par suite dans leur transport par l'eau, sous forme de matières en suspension. DALLEINE (1978, 1979, 1982, 1984) présente diverses formes de travaux du sol, leur effet sur l'affinement du sol et la dynamique de l'eau. L'effet du choc des gouttes de pluie sur les agrégats reste souvent secondaire.

Un autre effet indirect de la mécanisation est d'entraîner un agrandissement de la surface des parcelles et la disparition du réseau hydraulique (fossés), phénomènes qui concourent tous deux à favoriser l'entraînement des terres par les eaux de ruissellement concentré.

Enfin, certaines machines utilisées lors de la

récolte ne peuvent fonctionner en travers des pentes les plus fortes, ce qui incite à travailler le sol dans le sens de la pente, pratique qui accélère l'écoulement des eaux.

L'ensemble de ces facteurs concourt à rompre l'équilibre qui pouvait exister avant le développement de l'agriculture mécanisée actuelle; il faut donc qu'un nouvel équilibre soit trouvé, sous peine de voir se dégrader le capital sol, et ceci d'autant plus rapidement que les techniques actuelles utilisées en agriculture ont vis-à-vis des sols une forte agressivité.

4/ Les effets du climat.

La période la plus courante de l'activité de l'érosion est la période hivernale , de novembre à avril . Les orages importants en période estivale peuvent aussi avoir quelques effets, mais leur conséquence bien que souvent spectaculaire est nettement plus faible comparée à l'ensemble des ravines fonctionnant en période hivernale.

La Région Nord-Pas-de-Calais jouit d'un climat très modéré en ce qui concerne notamment le régime des pluies. L'analyse des séquences pluvieuses nous conduit à plusieurs constatations: Les précipitations annuelles varient entre 600 et 1000 mm dans la région . Ces pluies sont bien réparties au cours de l'année . L'étude statistique des intensités d'averse à Lille-Lesquin (DUROUSSEAU *et al*, 1969) donne pour une pluie d'une heure, et de retour 10 ans , une hauteur égale à 33 mm. Cette pluie de type orageux dépasse nettement en intensité les pluies de la période hivernale de 10 à 15 mm par jour, qui se répètent plusieurs fois dans l'année, et qui assurent le fonctionnement des ravines.

Ceci montre la faible agressivité du climat de notre région vis à vis de l'altération des sols. Par contre le mode d'utilisation des sols semble un facteur beaucoup plus déterminant.

IV - LES METHODES DE MESURE.

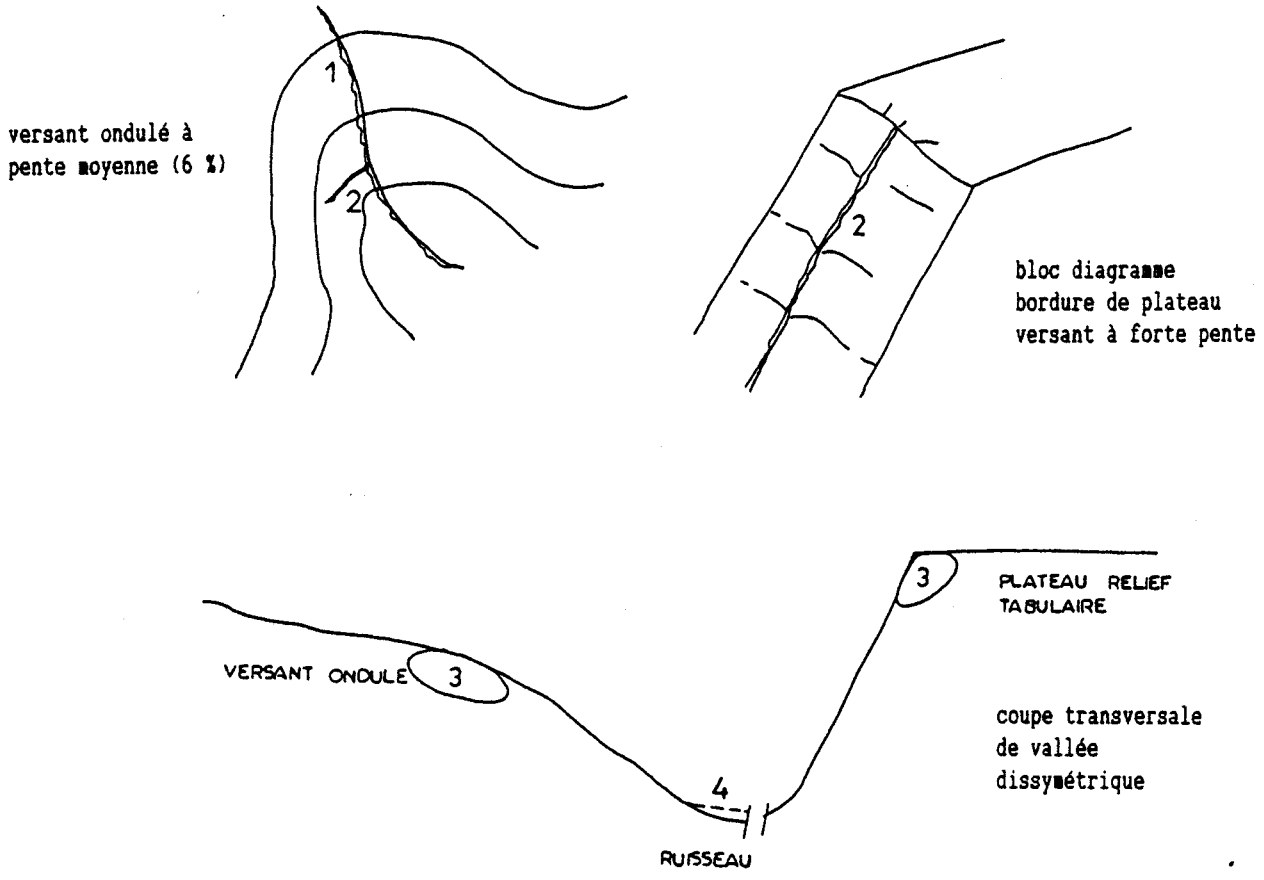
Nous présentons ici les principales démarches et méthodes de mesure que nous avons choisies pour localiser les zones où le ruissellement se matérialise, et pour quantifier, de façon relative, les facteurs de ruissellement, liés à l'état des sols. Ceci nous permet de hiérarchiser les sols à faible risque et ceux à haut risque. Les méthodes sont les suivantes:

1/ Inventaires des traces d'érosion.

Il s'agit d'inventaires du paysage à partir de l'examen de photographies aériennes (MASSON *et al.* 1979, MASSON, 1980, DEPRIESTER, 1984), et de visites de terrain permettant de vérifier les observations. Les objets visualisés sur les photographies sont:

- les ravines , qu'elles soient en fond de talweg ,lieu de rassemblement naturel des eaux , ou sur une portion de versant rectiligne dépendant de l'état du sol, sur une parcelle ou sur un ensemble de parcelles situées plus haut;
- des aires blanchâtres sur les parties convexes des versants;
- des zones d'atterrissement dans les fonds, ou en rupture de pente (fig 81 et 82).

L'analyse de ces traces, leur forme et leur organisation en rapport avec les éléments de relief et de l'occupation des sols, nous renseignent en chaque zone du paysage sur la situation des sols vis à vis du ruissellement et de l'érosion. Les figures 81 et 82 montrent les traces qu'il est possible de voir sur les photographies aériennes et leur report sur fond topographique I.G.N. à 1/25 000..



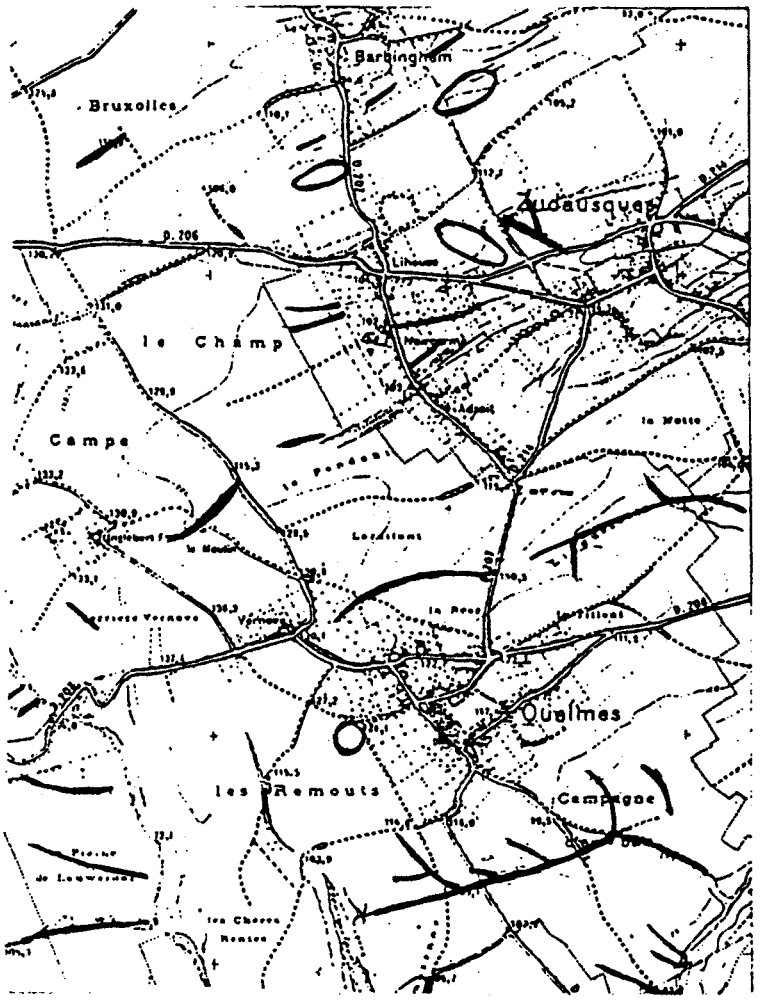
1 . Ecoulement normal de fond de talweg.

2 . Ravine dont la localisation dépend du ruissellement de parcelles de cultures très imperméabilisées, ou zones de plateau cultivé à très faible pente.

3 . Zone sensible de rupture de pente, formant des plages claires sur photographie aérienne.

4 . Zone d'atterrissement.

Fig. 81 Localisation des zones affectées par le ruissellement et visibles sur photographies aériennes.



LEGENDE

ravine isolée

ravine ramifiée

zone blanchâtre sur la convexité des versants

Feuille de Desvres 3 - 4, à 1/25 000)

Fig. 82 : Report sur fong I.G.N. des traces d'érosion répérées sur photographies aériennes. Région de Saint Omer, Nord de la France.

2/ La cartographie des sols.

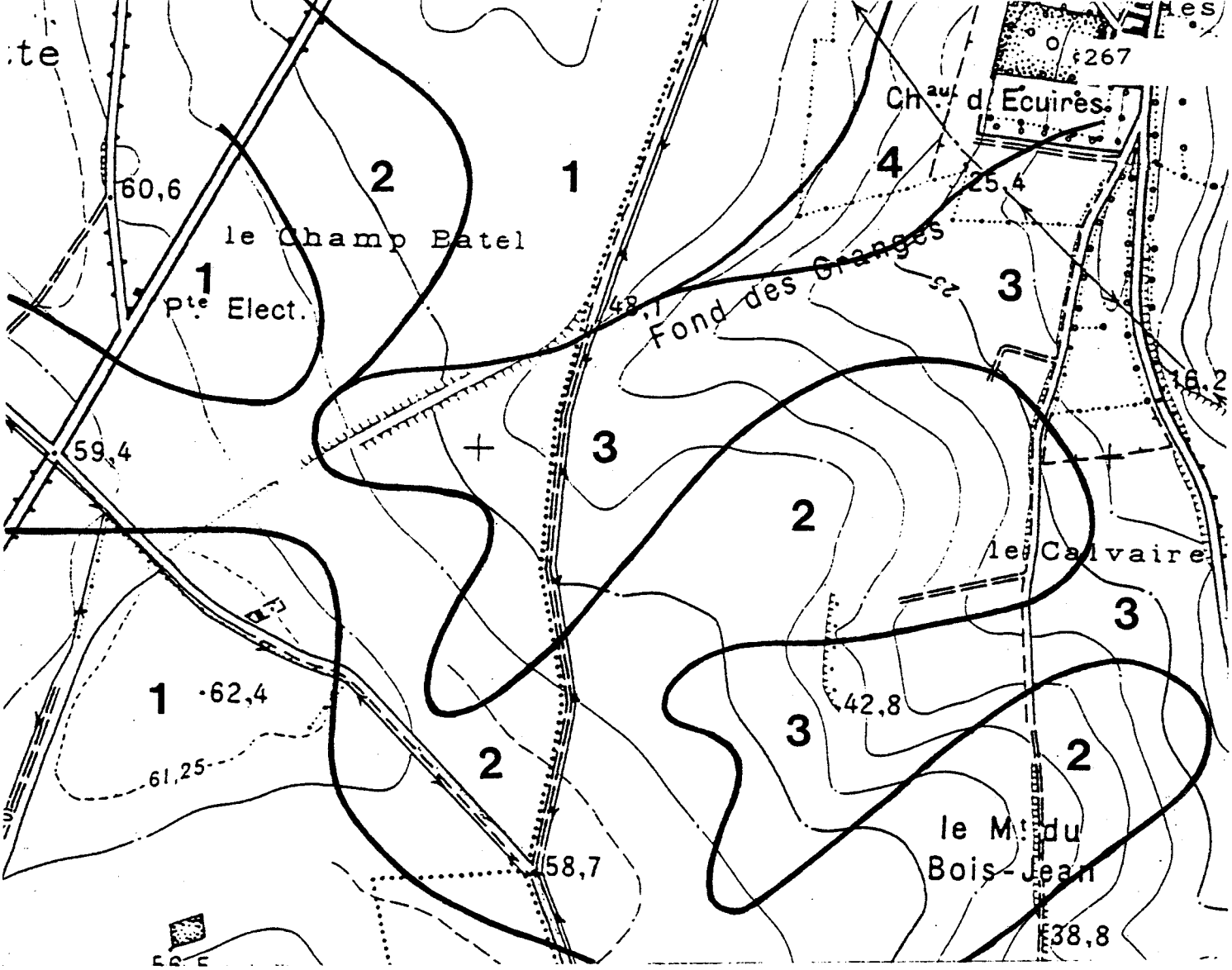
La cartographie des sols renseigne sur la nature des sols des secteurs atteints par l'érosion, elle peut nous informer sur les caractéristiques lithologiques (nature des dépôts), mécaniques (sensibilité au tassement), hydrodynamiques (perméabilité), pédologiques (existence d'horizons sensibles à la battance ou imperméables), etc., les effets de tassement et de battance propres aux matériaux limoneux. Elle permet de distinguer les différentes zones de sols sensibles au démarrage du ruissellement, c'est-à-dire principalement les limons faiblement argileux, non carbonatés, dont l'association de particules de dimensions différentes favorise la battance, le tassement et la faible porosité. Les matériaux limoneux, argileux et carbonatés mieux structurés, et donc plus perméables, sont par contre moins soumis aux effets du ruissellement.

La figure 83 montre un exemple de cartes où l'on distingue plusieurs zones à risques de ruissellement en fonction principalement de la texture plus ou moins argileuse et de la teneur en carbonate de calcium. L'observation des profils des sols permet de vérifier les caractéristiques des agrégats du sol, déterminant la présence de vides et donc la possibilité de circulation de l'eau.

La résistance des agrégats aux agents d'agression, tels que travaux du sol et pluie, détermine la rapidité plus ou moins grande du colmatage des espaces libres, permettant d'emmagasiner de l'eau lors d'une pluie, ou de l'évacuer vers les couches inférieures du sol.

3/ Analyses de sols.

L'analyse granulométrique des terres, et les mesures de teneur en matière organique, d'acidité, de teneur en



Localisation des risques de ruissellement
Site de Ecuires
Agrandissement à 1/10 000 d'un levé à 1/25 000

200 m

LEGENDE

Texture des matériaux	Risque de ruissellement généré Sensibilité à la fermeture de surface
zone 1. Limon sur sable	Très sensible
zone 2. Limon sur argile sableuse	Sensible
zone 3. Limon de fond de vallon carbonaté	Moyennement sensible
zone 4. Limon sur craie superficielle	Peu sensible

Fig. 83 : Carte des matériaux et risque de ruissellement

Pays de Montreuil, Nord de la France.

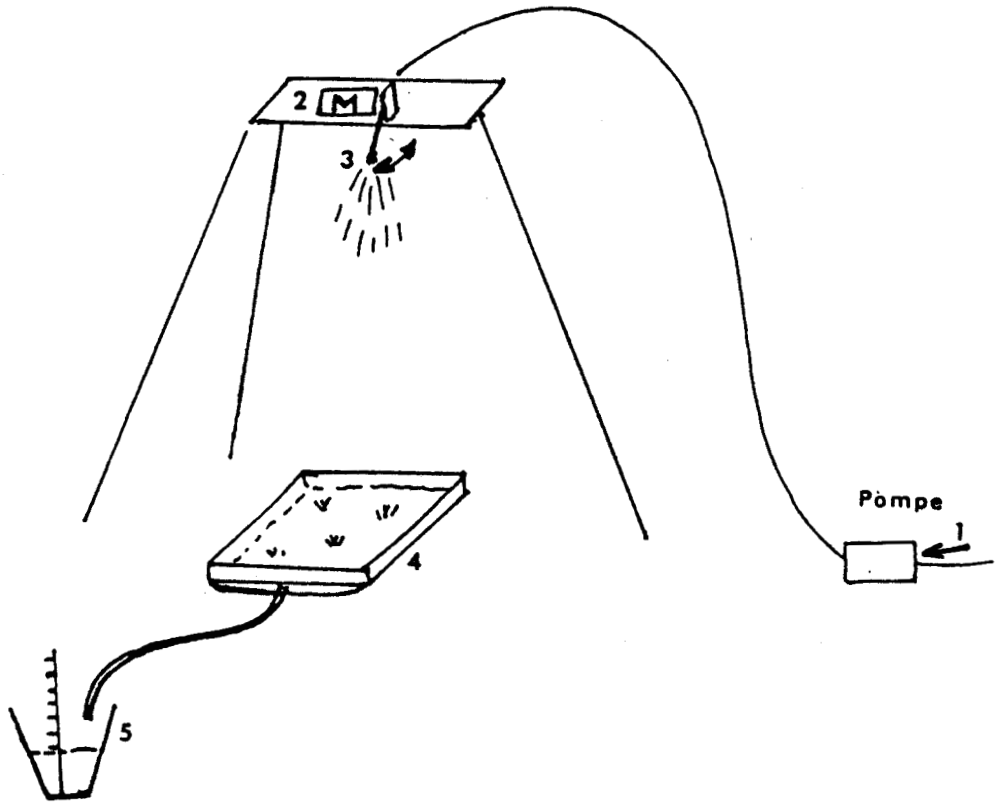
calcium, qualifient les éléments qui conditionnent la structuration du sol et sa perméabilité. Sur les plateaux limoneux entre Canche et Authie (MASSON *et al*, 1979), on constate notamment que la teneur en argile des limons ne dépasse pas 15 % (Cf fig. 30 p. 99). Le taux de carbone organique est très généralement inférieur à 1 %, les pH varient entre 5,0 et 7,5, la teneur en CaO est souvent nulle ou inférieure à 2 °/₀₀.

4/ Pénétrométrie.

Les mesures de pénétrométrie permettent de vérifier l'état du tassement du sol ,dans le labour et dans la zone sous-jacente au labour (semelle de labour et horizon compacté par les engins agricoles). Ces mesures mettent en évidence des zones très tassées et faiblement perméables dont l'épaisseur varie couramment de 15 à 20 cm.

5/ Mesures d'infiltration sous simulateur de pluie.

Ces mesures sont réalisées avec un infiltromètre, (de type VALENTIN-ASSELINE, fig. 84). Elles visent à reproduire une pluie standard et ses effets sur le sol (ASSELINE *et al*, 1977, ROOSE *et al*, 1978. La hauteur de chute prévue avec ce type d'appareil détermine une énergie correspondant à 80 % de l'énergie d'une pluie naturelle. La dimension des gouttes est déterminée par la pression du jet et le diamètre de la buse. L'effet de balayage de la pluie est reproduit par le balancement de ce jet. Dans la région ,l'intensité de pluie choisie est de 33 mm/heure: pluie décennale à la station de Lille-Lesquin (DUROUSSEAU *et al*, 1969). L'analyse des résultats permet de distinguer (fig. 85) les différents régimes transitoires d'infiltration-ruissellement qui seront à expliciter par les facteurs de ruissellement mis en évidence



1 . Alimentation en eau.

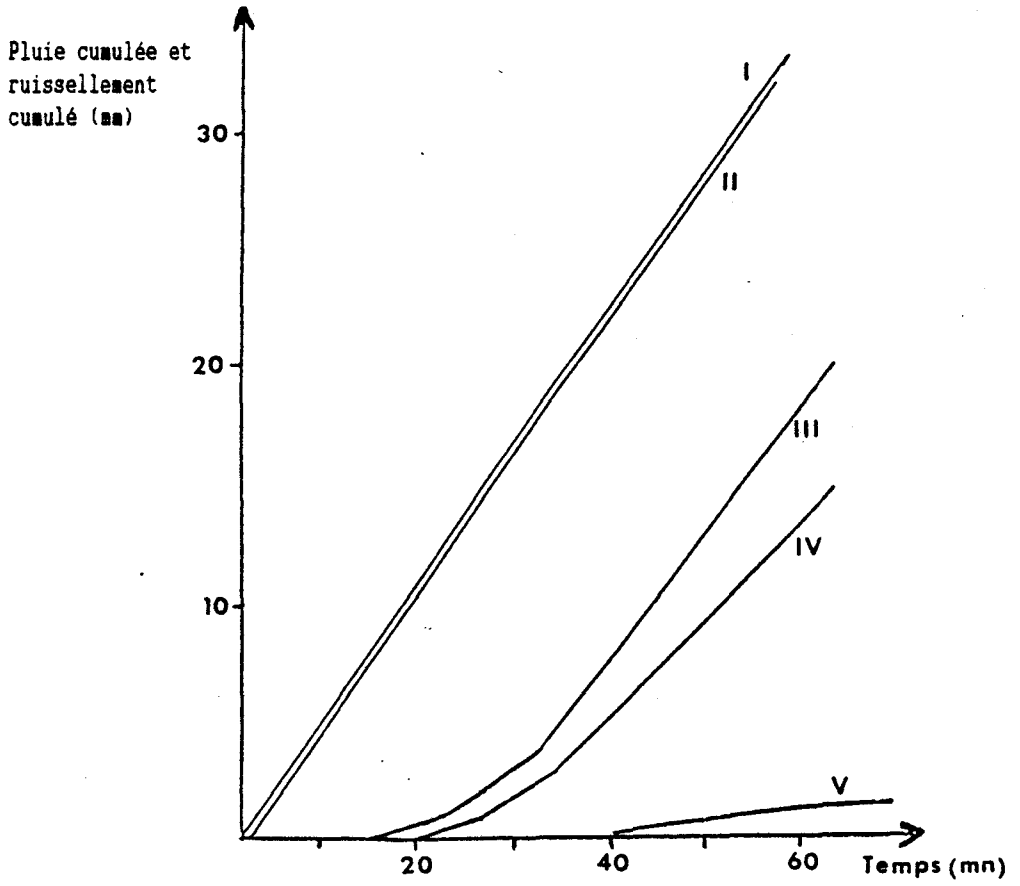
2 . Mouvement et régulation du jet.

3 . Jet asperseur basculant.

4 . Cadre de réception de la pluie délimitant une parcelle de 1 m².

5 . Bac de mesure du volume ruissellé.

Fig. 84 : Simulateur de pluie.



I Graphe de la pluie

II Sol glacé imperméable, avec ruissellement total de la pluie

III Culture avec semelle de labour imperméable.
Retard initial de 15 mn, puis ruissellement total de la pluie à partir de 33 mn

IV Culture avec semelle de labour perméable
Retard initial de 20 mn, puis ruissellement incomplet à partir de 35 mn en raison de la perméabilité médiocre de la semelle de labour

V Prairie naturelle
Retard initial de 40 mn, puis ruissellement faible de la pluie en raison de la perméabilité importante du sol

Fig. 85 : Résultats de simulation de pluie.

lors de l'examen du sol et du milieu. Par exemple, la présence d'une semelle de tassement peut se traduire par un ou plusieurs régimes transitoires ou intermédiaires, qui seront suivis par un régime permanent de ruissellement, dont l'intensité est inférieure ou égale à celle de la pluie. Il en résulte la possibilité de déterminer l'influence des différents facteurs qui provoquent le ruissellement.

Ces mesures permettent de déterminer pour une pluie d'intensité constante, la vitesse d'infiltration et le volume du ruissellement.

Les résultats, traduits sous forme de graphes (fig. 84, p. 269), déterminent les différentes étapes du déclenchement du ruissellement, qui sont mises en relation avec les facteurs potentiels observés sur les sites de mesures.

Ces mesures sont déterminantes pour caractériser les différents états du sol (sol glacé, sol couvert par une culture, sol de prairie, etc.),et pour sélectionner ceux qui sont les moins contraignants. Il s'agit donc d'une mesure relative des facteurs de déclenchement du ruissellement.

Influence du système de culture sur la dégradation du sol et le ruissellement sous l'effet d'une simulation de pluie de 33 mm par heure, en période hivernale, sur sol brun faiblement lessivé.
D'après MASSON et PELLETIER 1979.

n° de la mesure	1	12	25	15	16	18	23	24	28
Culture ou travaux du sol	Avant labour	Seigle	Labour le jour de la mesure	Chaumes et repousses	Déchaumage chaumes apparents	Déchaumage chaumes apparents et mélangés	Lit de semence de choux	Escourgeon racine fond de labour	Prairie
Profondeur de travail récent du sol	0	15	30	0	15	15	25	27	0
Etat de surface	Glacé	Quelques mottes visibles	En mottes	Tassé	Mottes et chaumes apparents	Mottes et chaumes apparents	Très affiné	Quelques mottes visibles	Tassé
Couvert végétatif	0	91	0	25	39	41	0	60	100%
Ruissellement:									
-début en mn	2	25	25	10	26	41	15	20	16
-ruissell. total en mm	24	14	10	30	14	2	20	3	2,5
-ruissell. moyen en %	36	5	3,6	28	4	-	12	2	3
-ruissell. final en %	73	42	30	91	42	6	61	9	7,5

L'on peut ainsi discriminer les situations de sol qui permettent l'infiltration et celles qui favorisent le ruissellement et l'érosion, et donc proposer des méthodes pour limiter l'érosion.

6/ Autres mesures.

D'autres mesures permettent de caractériser le milieu: mesures de pentes par relevé topographique(1); ou de quantifier certaines conséquences de l'érosion, telles que les concentrations de matières en suspension dans les eaux de ruissellement(2), ou encore les pertes en engrais(3).

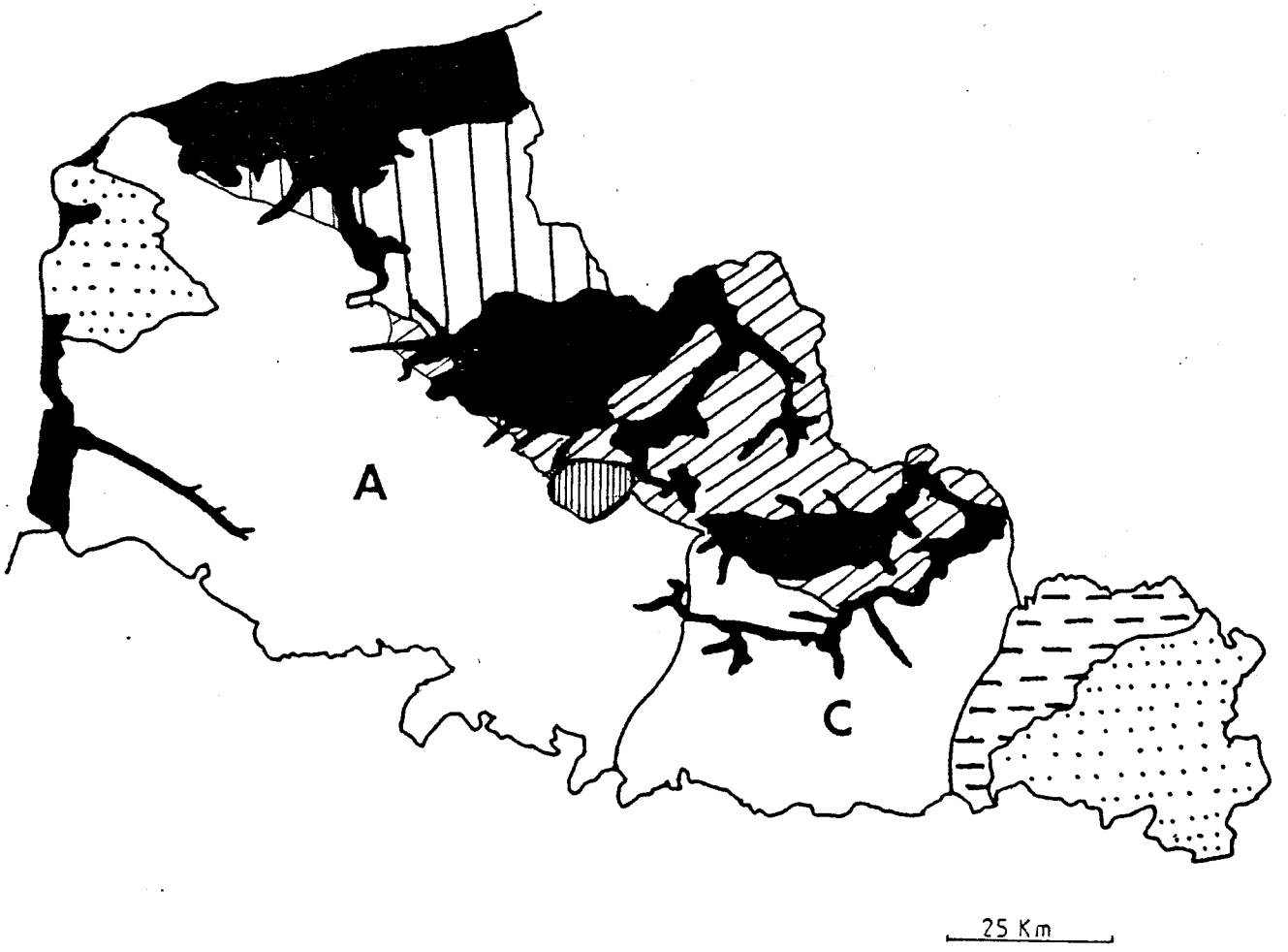
IV - EXTENSION DES ZONES SENSIBLES ET SIGNIFICATION DE L'EROSION DANS LA REGION NORD-PAS-DE-CALAIS.

Dans les années 1970 l'érosion des terres agricoles s'est révélée active dans les zones limoneuses de l'Artois (Haut Pays d'Artois , Pays de Montreuil), au point d'inquiéter les agriculteurs en raison d'une part, des ravines apparaissant dans les champs et les morcelant, et d'autre part des inondations de villages. D'autres intervenants constataient dans le même temps des colmatages d'étangs ou de canaux. L'extension des zones sensibles à l'érosion a été précisée dans un document (DOUAY et MASSON, 1980, MASSON, 1987) *"Erosion des terres agricoles du Nord-Pas-de-Calais"*. Ce document conduit à l'établissement d'une carte régionale de sensibilité à l'érosion (fig 86). Elle figure les zones présentant un certain nombre de facteurs favorables au ruissellement telles que les

(1) Entre Canche et Authie, les terres cultivées sur le plateau et générant le ruissellement ont des pentes souvent inférieures à 3,5 % et parfois 0,1 % (Masson. et al 1979)

(2) 0,1 g à 14 g/l de M.E.S. mesurés par le S.R.A.E. Nord - Pas-de-Calais de 1978 à 1991 sur les secteurs de la Canche, de l'Authie et de la Sensée.

(3) 10 mg/l de NO^3 obtenu dans les eaux du ruissellement provoqué par simulation de pluie sur terre de culture en période hivernale (MASSON et al. 1984)



LEGENDE

1. Zone non sensible : plaines basses humides, dunes

2. Zone peu sensible : éléments de bocage et d'aménagements, formes de relief peu accusées

3. Zone à sensibilité discontinue : quelques affleurements argileux, bocages importants, prairies

4. Zone à sensibilité limitée : protection végétale importante (bocage)

5. Zone à sensibilité limitée : morphologie, reliefs très faibles

6. Zone très sensible : A. Artois; C. Cambrésis

7. Zone peu sensible: craie subaffleurante, sol riche en calcium

Fig. 86 : Carte schématique de la sensibilité à l'érosion des sols du Nord - Pas-de-Calais. Nord de la France.

textures limoneuses, les formes de relief des plateaux laniérés entourés de versants vallonnés, l'utilisation du sol par la culture intensive privilégiant les plantes sarclées. Les régions les plus sensibles sont l'Artois et le Cambrésis en raison de leurs sols limoneux, aptes au glaçage superficiel et au tassement, imperméabilisant de vastes étendues de plateaux à faible pente. L'eau ruisselant en nappe sur ces plateaux se concentre ensuite sur les versants où se produit l'érosion.

Dans d'autres régions le développement de l'érosion est limité par la morphologie de petites collines avec des pentes courtes, ou par le bocage: Flandre intérieure, Ferrain, Weppes, Mélantois, ou bien par la végétation de prairie naturelle et par les boisements: Avesnois, Sud-Est de Valenciennes, Boulonnais. Cependant, dans ces régions, l'érosion peut se déclencher dès lors que dans un secteur un nouvel usage du sol rompt l'équilibre antérieur.

Les plaines basses ne subissent pas d'érosion, mais elles peuvent supporter les conséquences de celle-ci, dans la mesure où le ruissellement se développe sur les terres hautes, sur les versants, et provoque l'envasement d'étangs et de canaux dans les zones basses.

Il ne semble pas que l'érosion des parcelles agricoles soit très significative actuellement, et d'une importance économique très grande, même si elle ne peut être considérée comme négligeable pour l'agriculteur qui la subit. Les cas d'érosion catastrophiques sont exceptionnels. Toutefois les facteurs qui imperméabilisent les sols (effet de tassement et de battance) et provoquent l'érosion, limitent également l'utilisation des sols par les plantes et donc diminuent leur productivité. Cet effet limitant est économiquement important pour l'agriculteur.

D'autres conséquences moins visiblement liées à l'activité agricole, parce qu'éloignées des parcelles générant

le ruissellement, sont importantes pour la collectivité. Ce sont les coûts des curages des canaux et des étangs envasés par les matières en suspension, la pollution des eaux de surface par les éléments chimiques (phosphates et nitrates) et les limons, ainsi que l'augmentation de la pollution des eaux souterraines par les nitrates.

V - LES PROPOSITIONS DE LUTTE ANTI-EROSION.

Les résultats des différentes démarches d'études ont montré que, bien plus que l'influence climatique, l'usage du sol est déterminant pour le déclenchement de l'érosion.

Les travaux réalisés en 1979 ont permis de sélectionner les principaux remèdes sur lesquels il convient de porter les efforts (fig. 87):

- couverture végétale en période hivernale,
- travail du sol grossier, évitant l'affinage excessif de la terre,
- rétablissement du réseau hydraulique, des zone enherbées et de rideaux de haies.
- etc .

La mise en application de ces remèdes a été réalisée par les techniciens des Chambres d'agriculture et les agriculteurs. De ces mesures découlent un certain nombre de modifications de comportement des agriculteurs. Il s'agit de travaux du sol simplifiés, évitant la destruction des agrégats et la formation de poussière colmatant la porosité du sol, il s'agit également de couvertures végétales dont la pratique, compte tenu des techniques utilisées par les agriculteurs, reste le meilleur garant actuel de la protection du sol.

Des aménagements d'ouvrages, à l'aval des zones imperméabilisées (routes, zones urbaines, etc.) sont réalisés quand on prévoit que les remèdes naturels ne sont pas

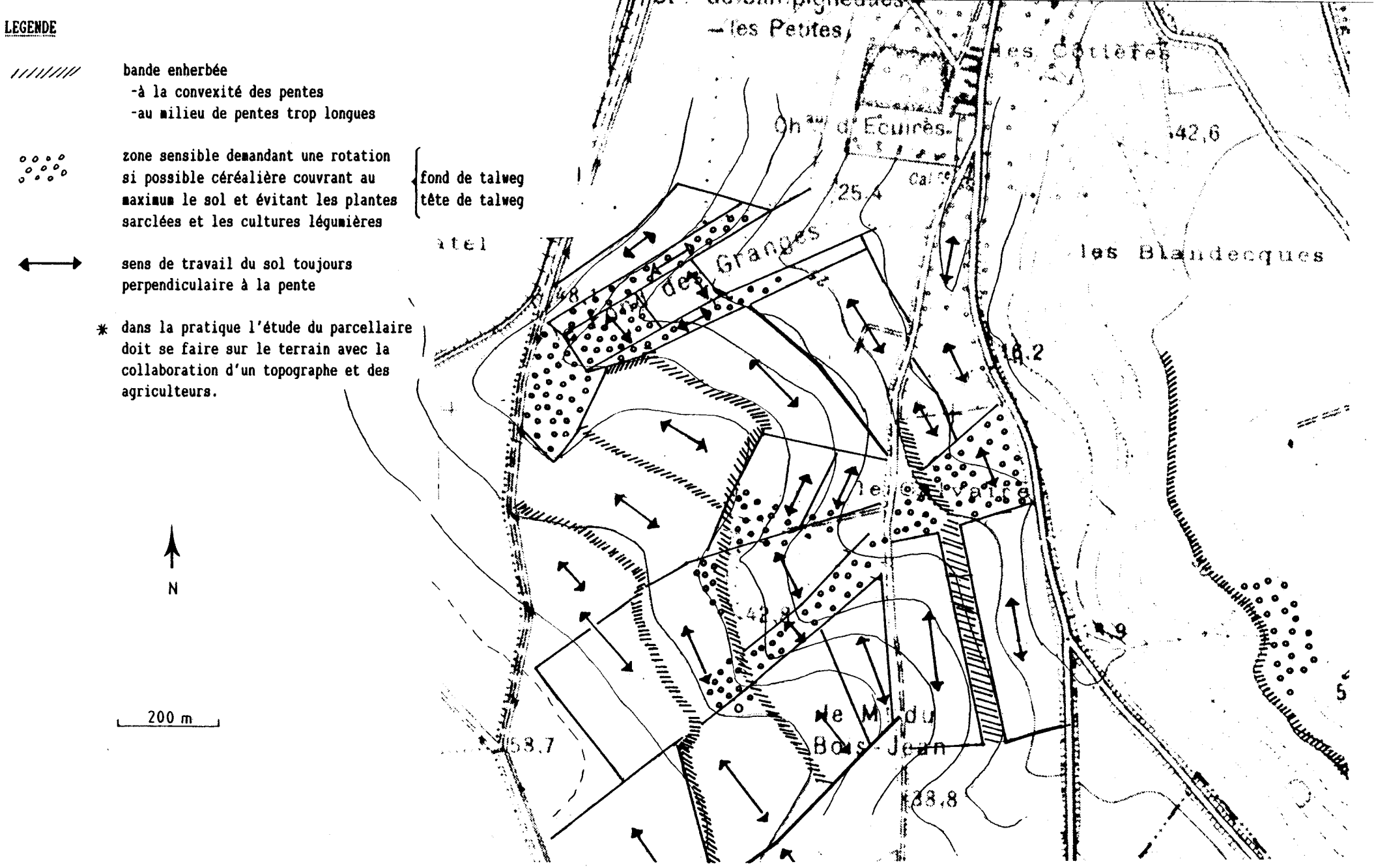


Fig. 87 : Schéma théorique d'aménagement du site d'Ecuires. Pays de Montreuil. Nord de la France.

F.X. MASSON 1979

utilisés ou insuffisants, et quand le ruissellement se déclenche. Compte tenu de la faiblesse relative des pluies, dans les périodes à risque, (période hivernale), ces remèdes simples sont souvent suffisants pour limiter le ruissellement.

Si l'on considère que la pluie est un facteur nécessaire pour le déclenchement du ruissellement, ce facteur ne s'exprime qu'en raison de l'état du sol. La faiblesse des intensités de pluie dans notre région en période hivernale permet généralement leur infiltration dans les sols protégés. A l'inverse il n'est pas rare de voir se déclencher du ruissellement pour des intensités de 1 à 2 mm/heure sur certains sols cultivés sans précaution, mettant en évidence l'imperméabilisation très accentuée du sol.

La fermeture totale de la porosité de la partie supérieure du profil, est signalé de plus en plus fréquemment, lors des discussions mettant en cause des aménagements ou des ouvrages qui semblent de ce fait insuffisants pour évacuer les eaux.

CONCLUSION.

L'expérience tirée de la lutte anti-érosive montre les potentialités intéressantes de cette action. Les remèdes proposés permettent une meilleure infiltration de l'eau dans les sols. Ils conduisent également à réduire certains facteurs limitant la fertilité du sol, notamment la battance et le tassement.

Cependant, il est certain que l'aménagement hydraulique reste une donnée fondamentale de la lutte contre l'érosion dans notre région. Il commence au niveau de la parcelle, de façon à réduire au maximum l'imperméabilisation artificielle, due à un usage immodéré du sol: tassement, battance etc. Il faut tenter de se rapprocher de l'état

naturel du terrain (forêt et prairie). On réduit ainsi le ruissellement à un phénomène mineur pouvant être canalisé pour un faible coût, et on diminue ses effets négatifs signalés précédemment.

CHAPITRE II

LE BASSIN-VERSANT DE LA SENSEE. SON SCHEMA HYDRAULIQUE.

INTRODUCTION.

Dans le bassin-versant de la Sensée, la gestion des sols et des eaux doit résoudre trois problèmes de grande ampleur:

- le ruissellement et l'érosion des sols cultivés sur les parties hautes de l'Artois;
- l'altération de l'infrastructure hydraulique comprenant la disparition des fossés et ruisseaux vers l'amont, et en aval, l'envasement des canaux et étangs, ce qui crée des difficultés pour l'évacuation des eaux de drainage, de ruissellement, de voirie et des rejets urbains;
- la pollution de la nappe de la craie à partir des pertes se substituant au réseau de fossés défaillant.

Pour proposer des solutions, permettant de limiter ces phénomènes, deux voies sont analysées dans ce chapitre:

- l'étude des facteurs et des mécanismes responsables de la dégradation du réseau hydraulique et de l'environnement,

- la synthèse des données sous forme d'un schéma hydraulique.

Cette analyse conduit à deux types de solutions opposées, l'une qui minimise les coûts, avec un risque de détérioration de l'environnement et notamment de la qualité des nappes souterraines, l'autre qui vise à maintenir la qualité du milieu, mais qui se traduit, à court terme, par des coûts d'aménagement plus élevés, dans le domaine de l'hydraulique.

Rappelons d'abord les traits généraux de cette petite région.

I - DESCRIPTION DU BASSIN-VERSANT.

Le bassin-versant de la Sensée s'inscrit approximativement dans le quadrilatère Arras - Bapaume - Cambrai - Douai (fig. 88). Il s'étend sur la retombée nord de l'Artois et recoupe plusieurs petites régions naturelles: Artois, Cambrésis, Ostrevent. Il est séparé au Sud et à l'Est des bassins de la Somme et de l'Escaut par les hauteurs de l'Artois et du Cambrésis, et au Nord du bassin de la Scarpe, par quelques buttes de l'Ostrevent aux dimensions modestes.

Les secteurs les plus élevés du bassin-versant appartiennent à l'Artois et au Cambrésis; c'est une zone de plateaux (fig. 89) qui correspond à la définition de "Haut Pays" (SOMME, 1977). La partie aval se raccorde au Bas Pays par un versant à faible pente parcouru par de longs vallons secondaires d'orientation Sud-Ouest/Nord-Est plus ou moins rectilignes et dont les pentes varient de 1 à 4%. Ce versant comprend quelques petites collines ou buttes pouvant atteindre la cote 75 m , avec des versants aux pentes plus accusées de l'ordre de 6 %.

La basse vallée de la Sensée présente une aire d'alluvionnement large de 1 à 3 km au milieu de laquelle coule la rivière. Elle comprend de nombreux étangs provenant de

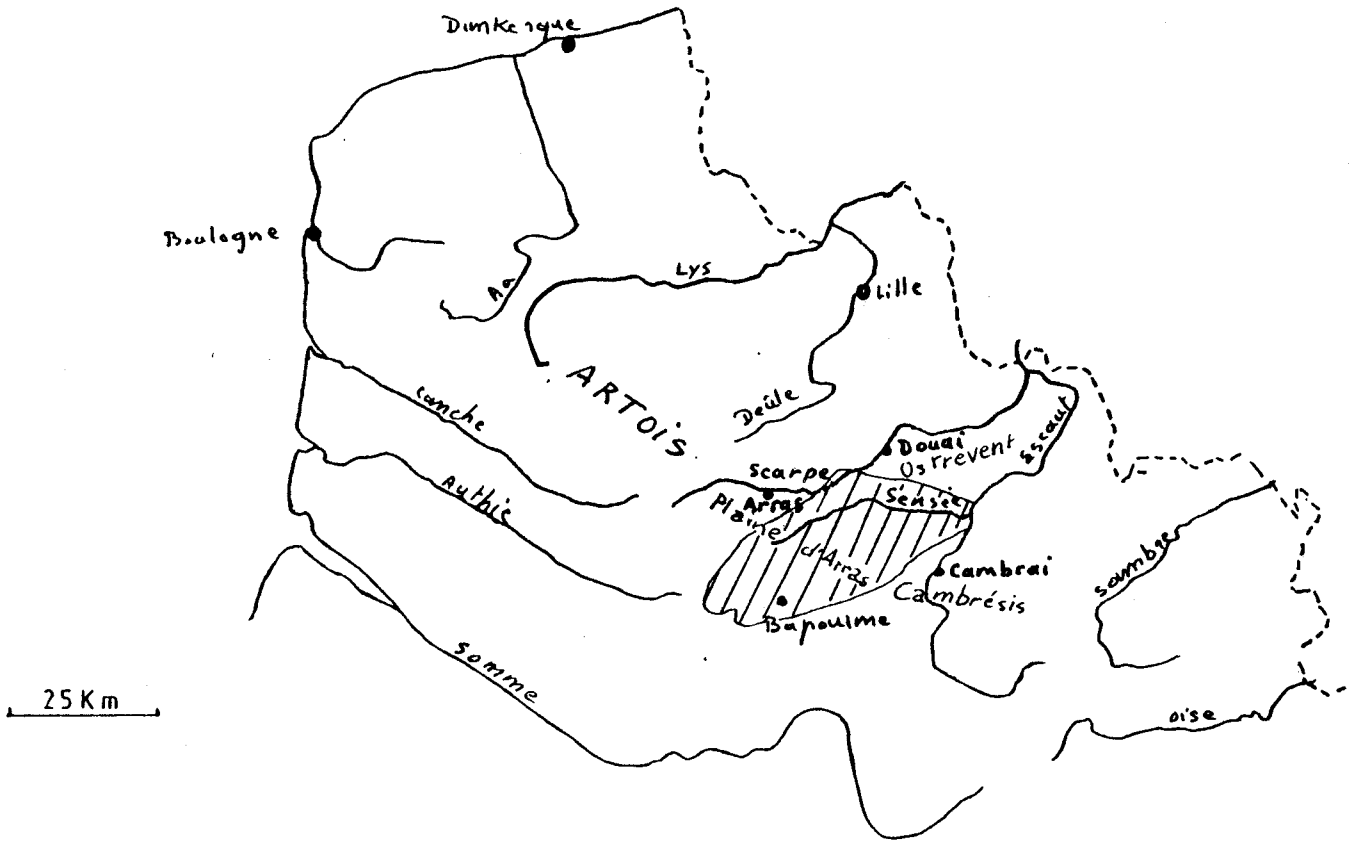


Fig. 88 : Situation du bassin versant de la Sensée, Nord de la France.

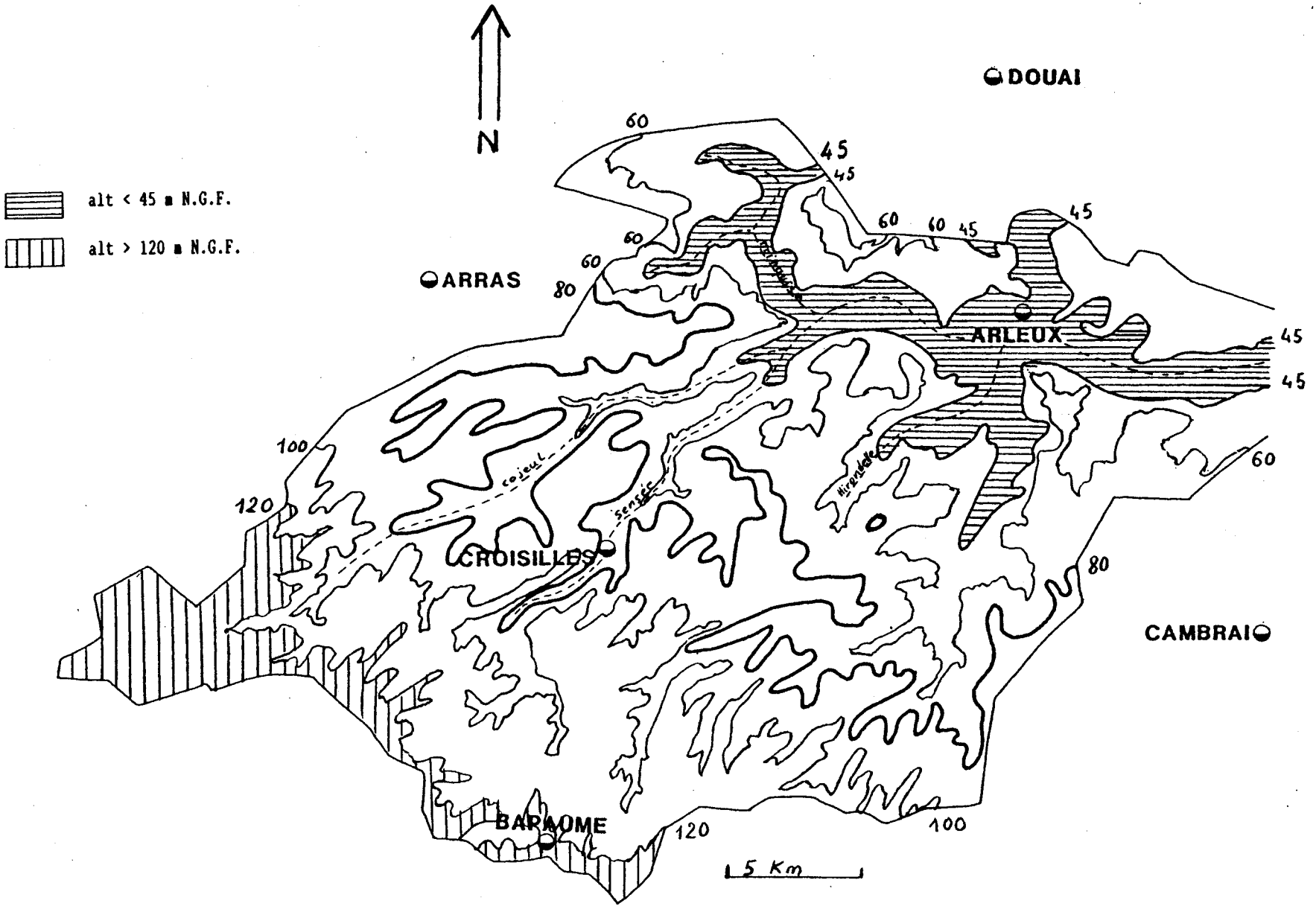


Fig. 89 : Topographie du bassin-versant de la Sensée, Nord de la France.

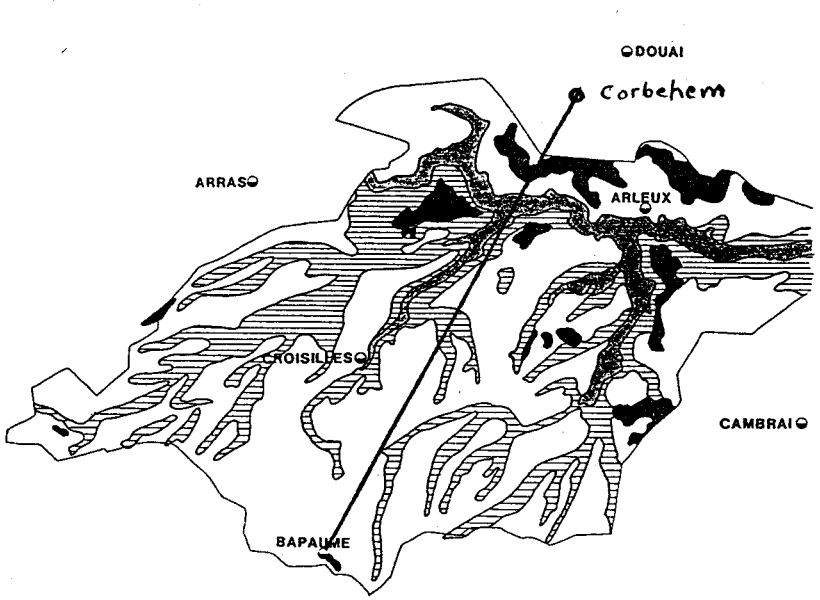
l'exploitation de la tourbe (FROMENT, 1947). A sa jonction avec l'Escaut, elle prend des allures de plaine.

La coupe topographique de la figure 90 met en évidence la dissymétrie importante du bassin-versant de la Sensée, dont l'alimentation se fait essentiellement à partir de son versant sud .Signalons encore que le bassin-versant de la Sensée a été artificiellement rétréci par la déviation de la Scarpe d'Arras vers la Plaine de la Scarpe, alors qu'elle coulait précédemment vers la Sensée à la hauteur de Vitry en Artois (LADRIERE, 1888).

II - GEOLOGIE ET SOLS DU BASSIN DE LA SENSEE.

En matière d'hydraulique, il est nécessaire d'acquérir des données sur les flux hydriques, tant dans les sols, que dans les formations géologiques sous-jacentes, dont nous présentons les principaux traits.

Le bassin-versant de la Sensée comprend dans sa plus grande partie un substrat de craie sénonienne (fig. 91), sur lequel reposent quelques placages de matériaux tertiaires: argiles et sables landéniens, qui forment parfois des buttes témoins. Celles-ci sont plus nombreuses dans le Bas Pays, de part et d'autre de la Sensée. Quelques témoins de plus petites dimensions sont, cependant, signalés jusque dans le Haut Pays. L'ensemble est recouvert de façon presque continue, de limons quaternaires, plus ou moins épais, d'origine éolienne, laissant par endroits affleurer, les argiles, les sables ou la craie. Dans la vallée les alluvions récentes sont formées de limons, de limons argileux, d'argiles limoneuses, de tourbes, et de "tufs" calcaires.Ces matériaux ont donné des sols aux caractéristiques différentes, mais où prédominent essentiellement les sols développés sur les limons (fig. 92).



Situation de la coupe , Cf fig. 91

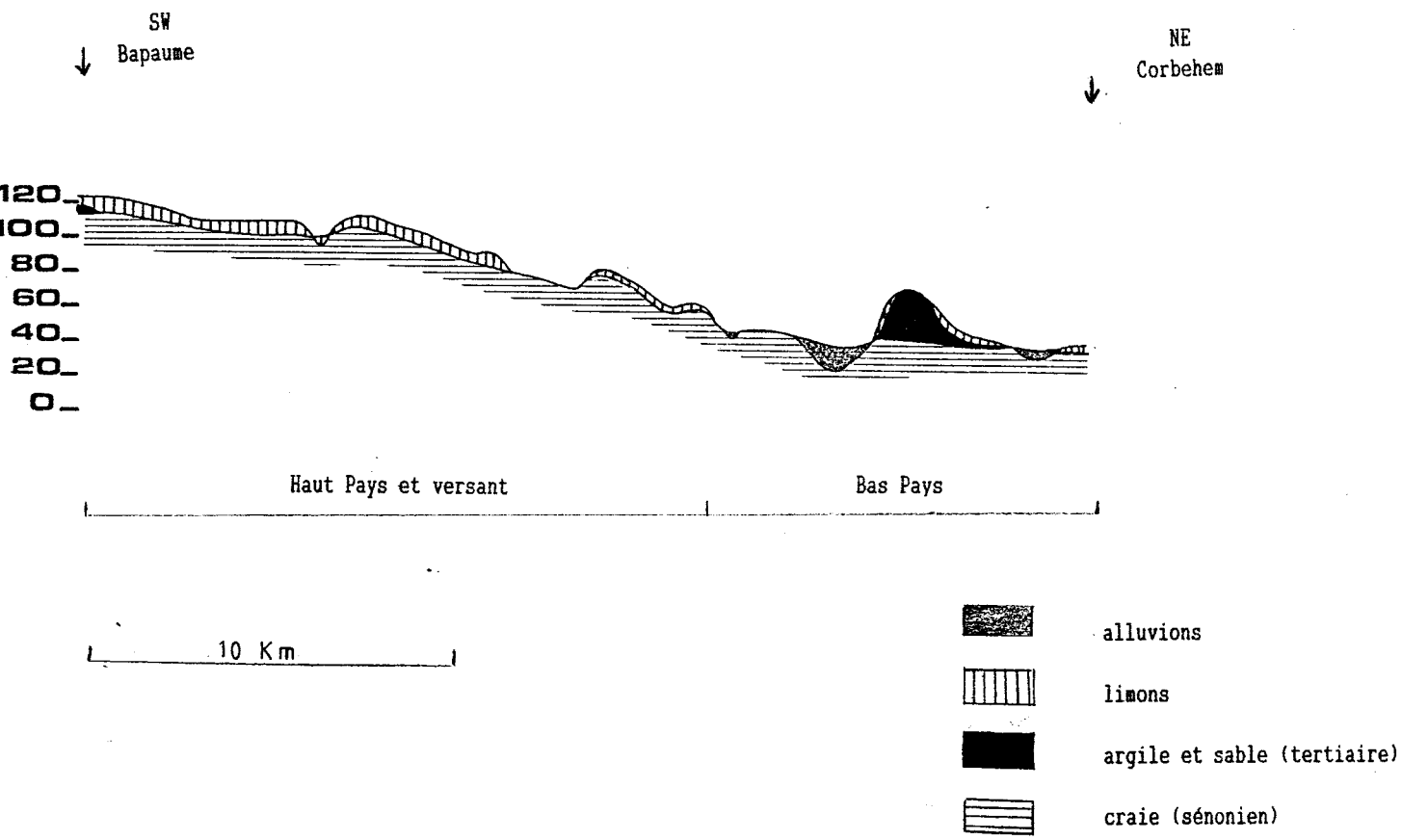


Fig. 90 : Coupe topographique et géologique du bassin versant de la Sensée, Nord de la France.

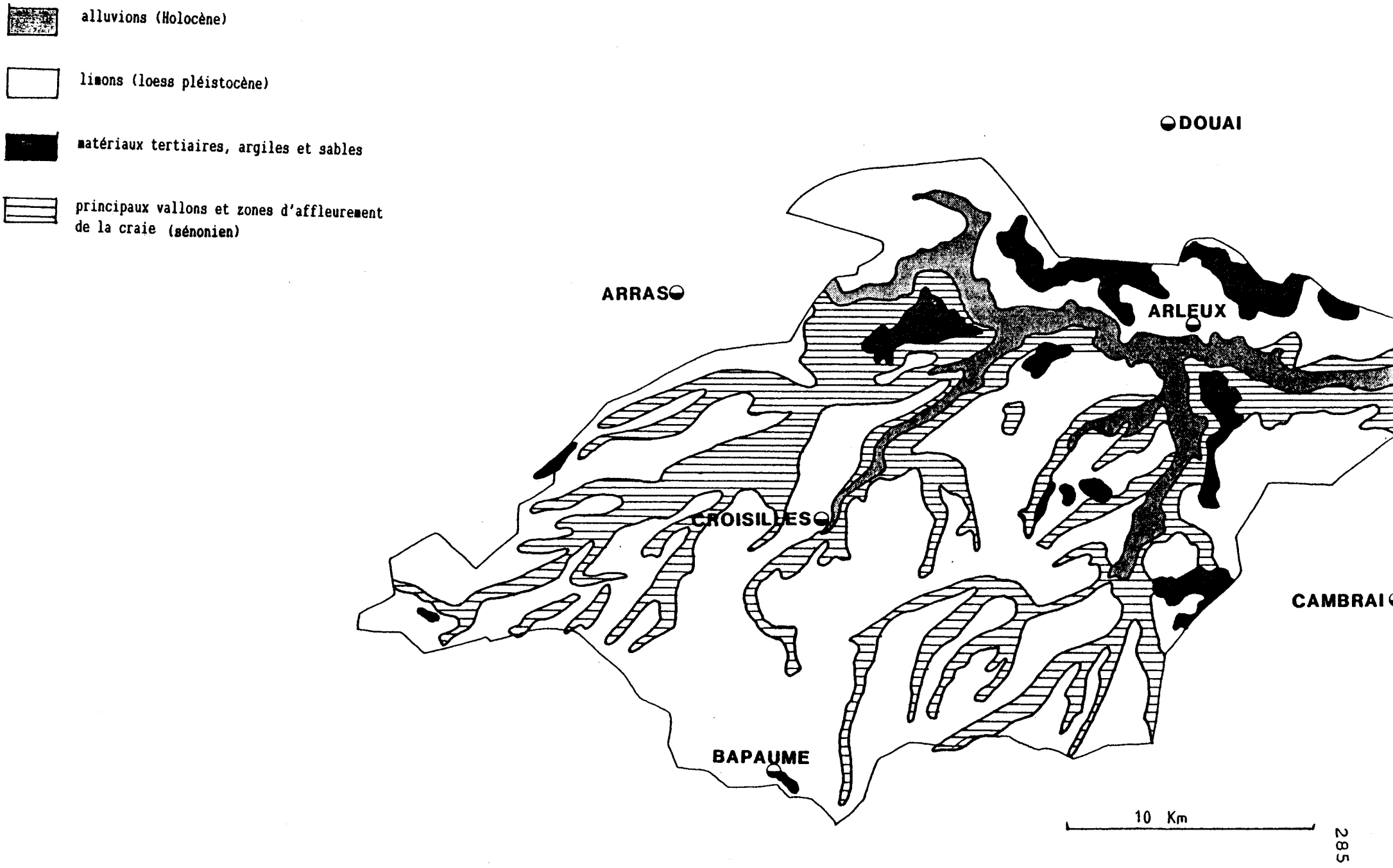


Fig. 91 : Eléments de la géologie du bassin versant de la Sensée, Nord de la France.

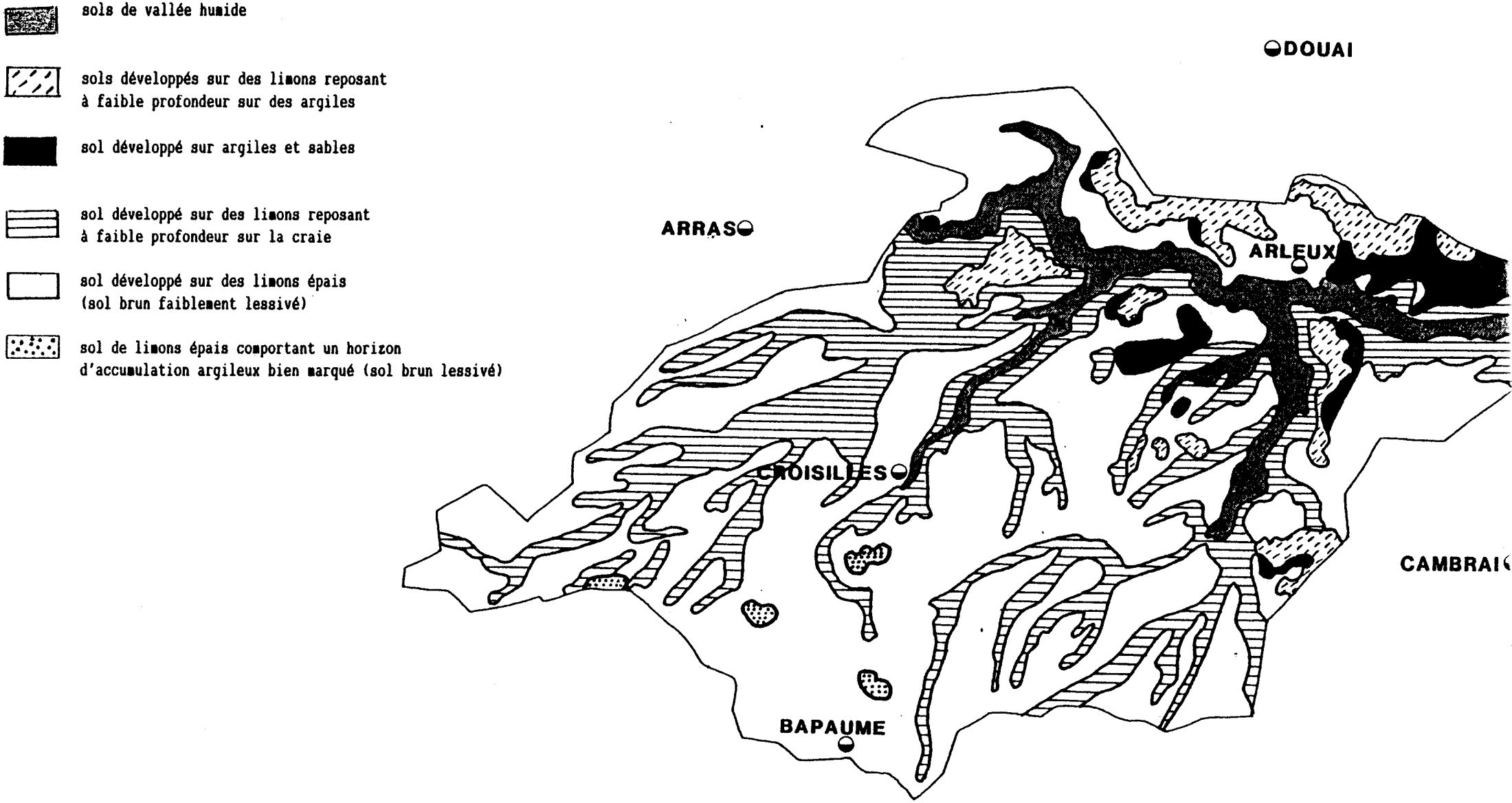


Fig. 92 : Eléments sur les sols du bassin versant de la Sensée, Nord de la France

Sur les plateaux et les versants, les sols limoneux généralement bien drainés reposent sur la craie, ce sont:

- sols sur limon épais développés en sols bruns faiblement lessivés et parfois bruns lessivés, avec un début d' horizon d'accumulation Bt (textural), et en sols bruns lessivés localisés dans le Haut Pays, où peut exister un horizon argileux (Bt) très développé; le substrat est crayeux et ces sols sont perméables, bien drainés, à l'exception des quelques secteurs comportant un horizon Bt plus argileux,
- sols bruns calcaires (ou redzine) formés de limon peu épais reposant sur la craie,
- sols bruns calcaires de limon épais avec granules de craie,
- sols limoneux d'accumulation des vallées sèches.Ces sols généralement bien drainés recouvrent la majeure partie du territoire.

Sur les sols des buttes et témoins tertiaires ce sont:

- sols argileux ("biefs") et sols sableux de buttes témoins reposant souvent sur un substrat argileux. Ces sols, qui peuvent présenter un horizon de surface limoneux, sont des sols brunifiés à hydromorphie souvent marquée. Enfin, les sols de vallées humides sont formés sur alluvions, limoneuses ou argilo-limoneuses, et parfois sur des tufs calcaires ou des tourbes. Il s'agit de sols à pseudo-gley et à gley.

III - RELATION ENTRE LES SOLS ET L'EAU.

Certains sols sont hydromorphes (Cf carte des sols hydromorphes, fig. 93). Il s'agit d'une part des sols des vallées humides, et d'autre part des sols argileux et sableux à substrat argileux des buttes, et des sols de limons avec horizon Bt imperméable. Les sols humides situés hors des

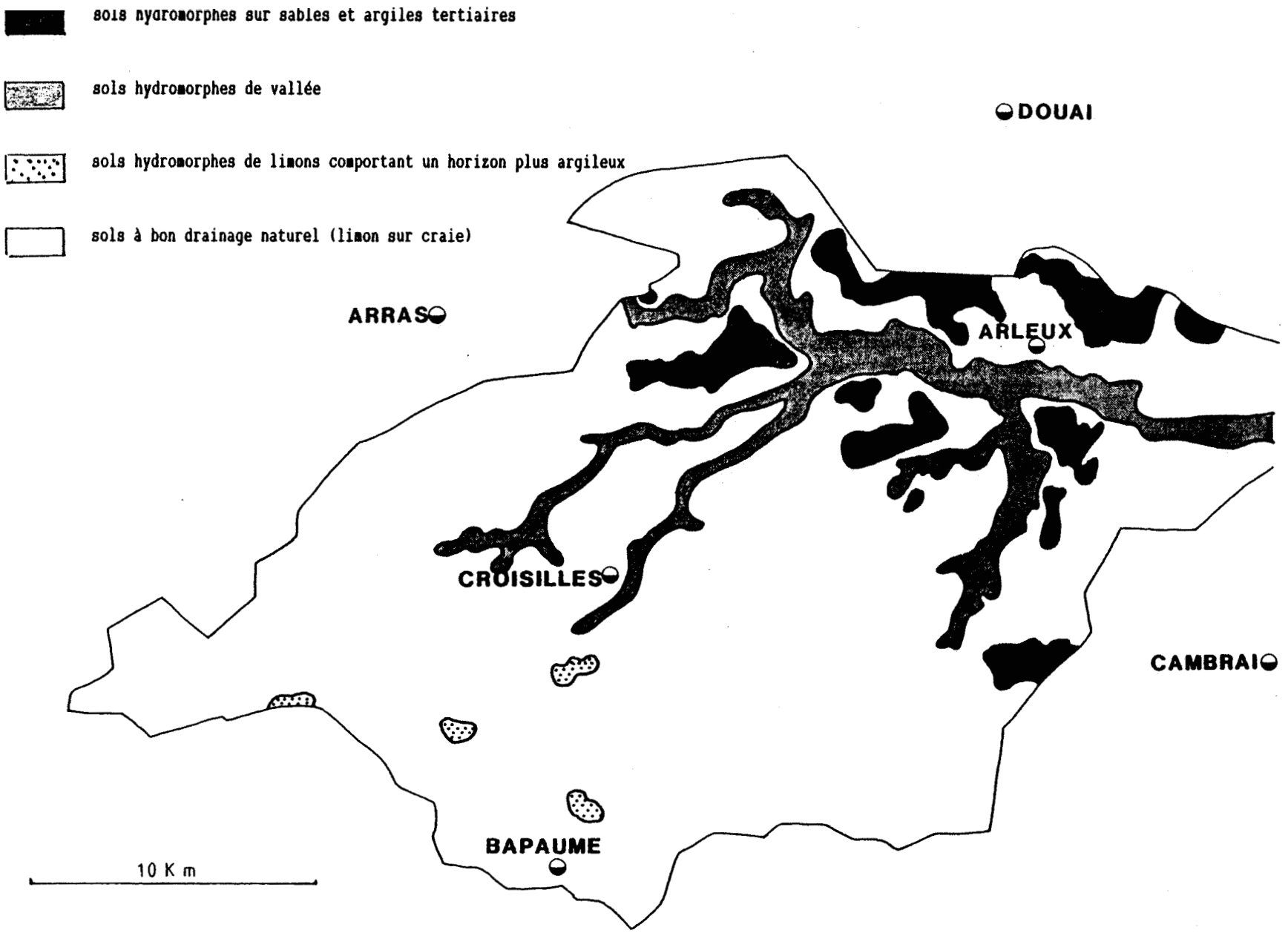


Fig. 93 : Sols hydromorphes du bassin versant de la Sensée, Nord de la France.

vallées sont souvent situés sur des hauteurs à la périphérie desquelles apparaissent des écoulements, exutoires de drainages latéraux naturels plus ou moins temporaires.

A l'inverse, les sols de limons peu épais sur craie ou les sols de limons épais avec granules de craie sont très perméables.

Enfin, les sols de limons épais, dans la mesure où l'horizon de surface est faiblement limoneux, sont sujets à la battance et au tassement et sont fréquemment à l'origine du ruissellement (MASSON 1987, MASSON *et al*, 1988). Les limons des vallées sèches, sauf s'ils sont carbonatés ont des caractéristiques proches des limons des plateaux (limons épais),et même si leur position topographique les prédispose moins à générer le ruissellement, mais plus à le subir, ils peuvent être le siège des mêmes phénomènes d'imperméabilisation, de ruissellement, et surtout d'incision. On constate donc que les sols limoneux légers faiblement lessivés constituent la majeure partie du bassin-versant de la Sensée (fig. 92, p.285), et sont le siège en certains secteurs de phénomènes de ruissellement venant surtout des parties hautes de l'Artois et du Cambrésis.

De cette distribution des sols découle au niveau hydraulique un certain nombre de conséquences: les zones basses à sols hydromorphes sont alimentées par la nappe de la craie et le réseau des sources qui en dépend. Les zones hautes hydromorphes correspondent à un niveau de matériaux imperméables (buttes argileuses et sableuses, ou recouvertes de sols limoneux avec un développement d'un horizon d'accumulation Bt). Ces zones sont séparées des zones humides basses par des étendues de terrain plus perméables, sols limoneux épais faiblement lessivés, ou sols limoneux plus ou moins calcaires souvent très perméables, non générateurs de ruissellement. Dans les zones intermédiaires, seuls des écoulements superficiels et épisodiques peuvent se produire. Ajoutons que d'autres

écoulements d'eau ne dépendent pas des sols, mais peuventprovenir des voiries et des rejets urbains disséminés sur l'ensemble du bassin-versant. Nous observons une perte de cohérence apparente des problèmes de l'eau, compte tenu, d'une part de l'incertitude de l'utilité du réseau hydraulique dans certains secteurs, liée à des possibilités d'infiltration rapide: fossés se terminant par des pertes dans les zones crayeuses (Exemple de Oisy-le-Verger), et d'autre part, de la discontinuité ou de l'émiettement des besoins en matière d'hydraulique: zones humides hautes ou villages isolés. La tentation est grande de régler les difficultés qui semblent ponctuelles au coup-par-coup, c'est-à-dire le plus souvent par création de pertes (1) ou d'éléments de fossés se terminant sur des sites où l'infiltration est rapide. Pour ces raisons, il apparait donc utile d'établir un schéma d'écoulement des eaux cohérent à partir duquel l'on pourra raisonner les aménagements.

Rappelons que les problèmes importants liés à la gestion l'eau sont les suivants:

- la pollution des nappes souterraines(nappe de la craie servant à l'alimentation en eau potable),
- l'envasement des étangs et canaux,
- la qualité des eaux de surface,
- les inondations de routes et zones urbaines,
- les problèmes d'évacuation de l'eau ,des rejets urbains, des voiries, et leur traitement,
- les problèmes liés à l'évacuation de l'eau des zones hydromorphes (drainage agricole),
- le ruissellement sur les terres agricoles et l'érosion, avec les pertes de récoltes liées aux mêmes causes que le ruissellement.

Ces problèmes, demandent un aménagement continu du bassin-versant. L'évacuation des eaux nécessite le choix entre

(1) perte: puits perdu permettant l'infiltration directe de l'eau dans le sous-sol, vers les nappes souterraines.

le système de pertes directes avec circulation de l'eau par la nappe, et le système de circulation en surface. La protection de la qualité de la nappe passe par une gestion de l'eau (1) en surface, ou tout au moins par son traitement préalable avant son infiltration. Le traitement des eaux en station peut difficilement s'appliquer aux importants volumes d'eaux de ruissellement et au drainage agricole.

On constate aussi que les accidents majeurs en matière de ruissellement et de drainage, intervenus ces dernières années, sont apparus dans des zones où le réseau hydraulique avait disparu ou était inexistant. Par la suite un embryon de réseau hydraulique a été constitué ou restauré après l'inondation, pour permettre localement le passage de l'eau en de moins mauvaises conditions.L'élaboration d'un schéma hydraulique permettrait donc, dans tous ces cas, de prévoir le cheminement de l'eau et son traitement.

IV - LE SCHEMA HYDRAULIQUE DE LA SENSEE.

Notre approche pédologique associée à d'autres (hydrographie, topographie, géologie, etc;) a permis la conception d'un schéma hydraulique de la Sensée par le Service Régional de l'Aménagement des Eaux Nord-Pas-de-Calais (MASSON *et al*, 1987), à la demande des syndicats d'Aménagement de l'Artois, de la Gohelle, et de la Sensée, et de la Chambre d'Agriculture du Pas-de-Calais.Ce schéma a pour but de matérialiser sur un fond géographique (I.G.N.) la reconstitution d'un réseau hydraulique minimal du bassin de la Sensée. Ce réseau est nécessaire pour assurer la gestion harmonieuse et l'évacuation des eaux de l'ensemble du bassin-versant.

(1) eau usée, eau de drainage et eau de ruissellement.

1/ Eléments du schéma hydraulique.

Le schéma hydraulique (fig. 94) représente les éléments suivants:

- les émissaires existants et comportant un écoulement permanent,
- les émissaires existants avec écoulements temporaires,
- les émissaires disparus ou manquants dont il ne reste que quelques indices dans le paysage,
- les émissaires qui sont inexistants, mais seraient nécessaires.

Sur ce schéma apparaissent également des ouvrages annexes au réseau hydraulique: buses, ponts ou ponceaux, même si ces ouvrages sont tombés en désuétude en raison de la disparition des fossés et ruisseaux. Le document montre les secteurs qui nécessitent la création d'un émissaire pour évacuer les eaux et en assurer éventuellement le traitement. Il s'agit des zones urbaines et de voiries qui apparaissent sur le fond de plan I.G.N., et sont à l'origine de débits d'eau non négligeables. Il s'agit également des zones avec des sols hydromorphes qui sont susceptibles d'être aménagées par drainage agricole, ou des zones humides, qui sont conservées comme zones naturelles ou de loisir, et nécessitent de ce fait des émissaires et des aménagements assurant la régulation des plans d'eau. Les zones sujettes au ruissellement et à l'érosion sont signalées par une limite départageant les zones sensibles de celles qui ne le sont pas. Sur ces zones ont été relevées des traces de ravines, ou encore des événements importants ou remarquables comme les inondations de Duisans, près d'Arras, en mai 1987, par exemple.

LEGENDE

Canaux, Rivières, Ruisseaux ou Fossés

- Existant avec écoulement permanent
- Existant avec écoulement temporaire
- A créer

Ouvrages existants

- Perte
- Buses
- Bassin d'orage
- Ponts

Principaux besoins des émissaires

- Zones humides
- Zones les plus sensibles au ruissellement
- Zones urbaines

Limites géographiques

- Bassin versant de la Sensée
- Syndicats d'aménagement

BU LILLE

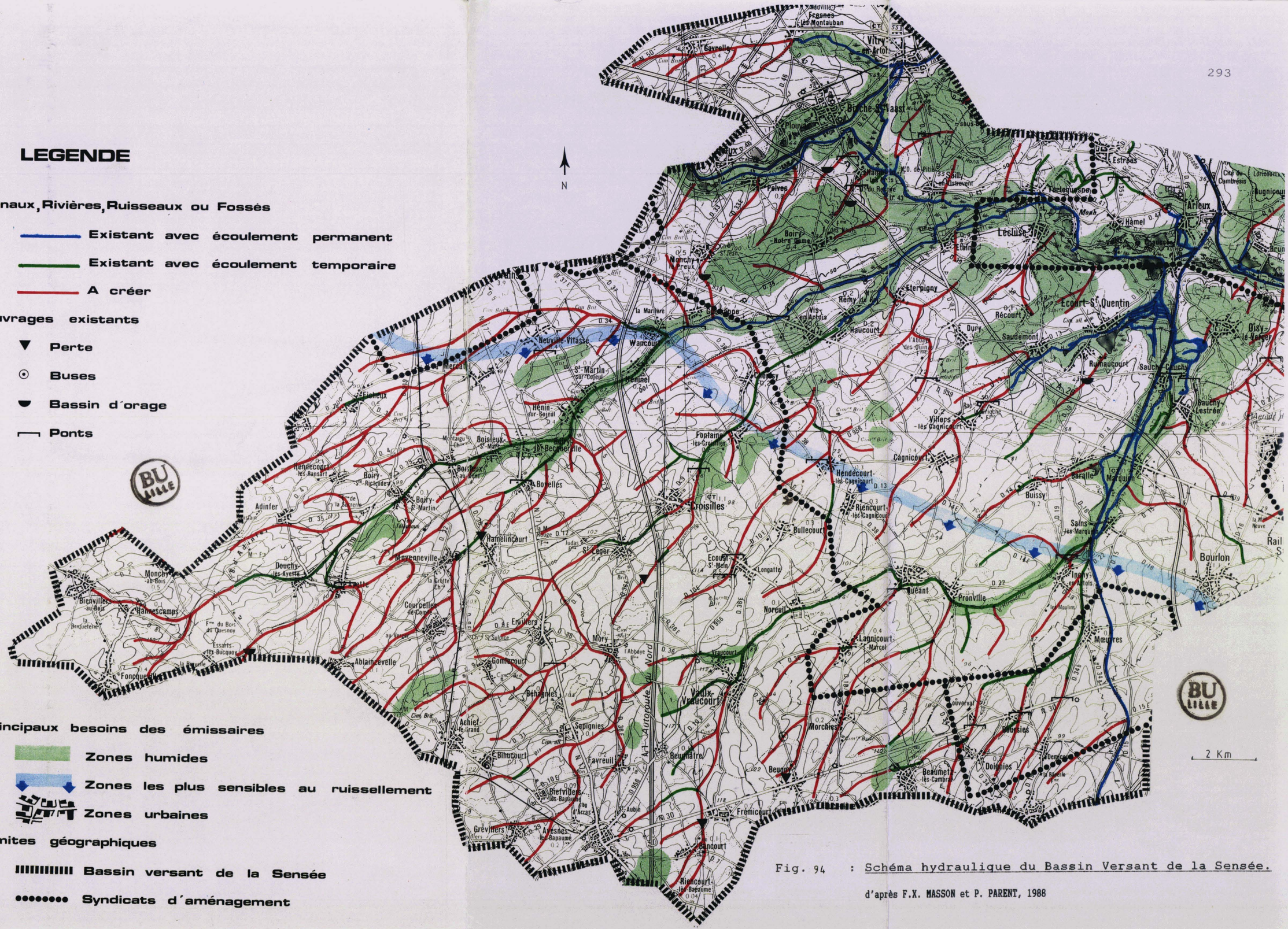


Fig. 94 : Schéma hydraulique du Bassin Versant de la Sensée.

d'après F.X. MASSON et P. PARENT, 1988

2/ Méthode d'élaboration du schéma.

La réalisation du schéma a compris plusieurs démarches complémentaires:

* L'analyse du modelé à partir de documents topographiques a mis en évidence les lignes de crêtes, les talwegs et l'emplacement de fossés existants ou disparus ainsi que les sites possibles des ouvrages annexes (ponts,buses, bassins etc.).

* Une reconnaissance de terrain effectué à partir des routes et chemins a permis de recouper dans les fonds de talweg, l'emplacement des émissaires existants ou à créer, et de noter la présence de buses ou ponts sous la voirie: ouvrages comportant ou non un émissaire de part et d'autre de la route.

* Ce schéma est complété en faisant apparaître les principaux besoins d'aménagements:
- zones à sols hydromorphes à drainer éventuellement, et zones humides,
- zones sujettes au ruissellement superficiel,
- zones urbaines auxquelles l'on peut adjoindre les voiries.

3/ Précision du document.

Le schéma ne prétend pas réaliser une cartographie précise, c'est un document réalisé par défaut. En ce qui concerne les ouvrages annexes, nous avons recensé les ouvrages situés sur les principales branches du réseau hydraulique, dans la mesure où ils sont facilement et rapidement repérables. C'est ainsi que des ponts ou passages souterrains ne sont pas représentés dans les zones urbaines, ni dans la partie aval du bassin-versant, pour lesquels les éléments du réseau

hydraulique sont bien connus. Les zones humides sont celles repérées lors des études précédentes (carte des sols hydromorphes, secteur de référence drainage, etc.). Les zonations réalisées signalent qu'il existe dans ces secteurs des terrains engorgés susceptibles d'être drainés ou aménagés . Les zones signalées sont donc des enveloppes approximatives.Il en est de même de la partie du réseau hydraulique à recréer, matérialisée sur le document par un tracé rouge. L'emplacement du tracé correspond approximativement aux fonds de vallons, mais doit être précisé lors des projets d'hydraulique.

4/ Intérêt du schéma hydraulique.

Le schéma apporte une réflexion cohérente de l'ensemble de l'hydraulique du bassin-versant de la Sensée. Il permet de visualiser rapidement les besoins et les manques en matière d'hydraulique. Il rend possible les démarches de planification des aménagements à réaliser concernant la gestion de l'eau, qu'elle soit quantitative ou qualitative, qu'elle concerne les zones urbaines, les eaux de surface ou les nappes souterraines. L'intérêt du schéma hydraulique s'est révélé principalement en raison de problèmes de ruissellement qui se déclenchaient dans les zones amont, et des écoulements qui s'ensuivaient vers l'aval colmatant les émissaires et les étangs des zones basses. L'origine du ruissellement se rapporte le plus souvent aux pratiques agricoles liées à l'agriculture moderne. Des méthodes modifiant les itinéraires techniques des agriculteurs permettent de limiter fortement les possibilités de ruissellement et d'érosion. (MASSON et PELLETIER, 1979, MASSON, 1987).

Cependant ces méthodes sont moins performantes que la prairie naturelle qui semble la protection la plus sûre, et permettrait d'infiltrer l'eau dans le sol. De plus, elles comportent inévitablement des périodes de sensibilité accrue au

ruissellement. Il s'agit par exemple des périodes de semis où l'affinement du sol peut favoriser le colmatage superficiel et le déclenchement du ruissellement. Il est certain que les agriculteurs sont capables de réaliser une lutte anti-érosive, mais aussi que cette lutte anti-érosive ne peut être absolue, dans la mesure où les choix agricoles et alimentaires dans une région à la fois fertile et peuplée ne conduisent pas à implanter des herbages, mais à augmenter plutôt les surfaces de culture. D'autre part, compte tenu des aléas qui interviennent dans la conduite d'une terre (contraintes économiques, climatiques, humaines) les exploitants n'ont pas toujours la possibilité d'optimiser toutes les pratiques et notamment celles qui concernent la lutte anti-érosive. Ajoutons qu'il existe beaucoup de situations aggravantes ou génératrices de ruissellement et de transport de matières en suspension (M.E.S.) et qui ne sont pas toujours liées à l'agriculture et sur la genèse desquelles les pratiques des champs n'ont aucun effet. Il s'agit des écoulements provenant des voiries, des rejets urbains, et du drainage naturel des sols humides. Il est donc certain que l'évacuation des eaux de ruissellement provenant principalement du haut pays, nécessite de façon épisodique la présence d'un réseau hydraulique dont la réfection passe dans un premier temps par l'établissement d'un schéma hydraulique.

V - DISCUSSIONS SUR L'OPPORTUNITE DU SCHEMA HYDRAULIQUE.

La réalisation du schéma hydraulique a servi de révélateur à plusieurs prises de position contradictoires de la part d'un certain nombre de personnes.

* Le schéma peut paraître inutile et dangereux dans la mesure où une partie ou l'autre du réseau proposé n'aurait jamais existé et entraînerait des possibilités de conflit entre les

différents intervenants sur le terrain.

* L'augmentation du volume de l'eau dans les fossés ainsi que du nombre de fossés peut entraîner une augmentation des débits de pointe à l'aval.

* Les observations réalisées sur les bassins versants expérimentaux, tant en France qu'à l'étranger montreraient que le lien n'est pas établi entre l'érosion sur les parcelles situées à l'amont et les dépôts de matières en suspension dans les étangs, dans la mesure où la majorité des matériaux transportés sur la parcelle se déposerait à courte distance. Les travaux de BOLLINE (1982) ont souvent été cités à l'appui de cette affirmation . Les dépôts aboutissant à l'aval ne seraient dus qu'à l'érosion des berges des émissaires et non au phénomène de ruissellement sur le bassin-versant.

D'autres arguments se basant sur des informations locales sont à prendre en compte: L'analyse des matériaux comblant les étangs de la Sensée (BACROT *et al*, 1988, MERCIER *et al*, 1989) montre une proportion de carbonates importante. Ceux-ci peuvent provenir des rivières et des sources alimentant directement les étangs de la Sensée. Ceci est à mettre en relation avec les dépôts de tufs importants qui comblent les étangs de la Sensée, et qui ont contribué au colmatage de la vallée. (MASSON, PELLETIER, VERDEVOYE, 1982). Quelle serait la part des carbonates dans le comblement des étangs , quelle est l'origine exacte de ces carbonates, la raison et le mécanisme de leur précipitation en ce lieu?

Un certain nombre d'observations permettent d'apporter des réponses à ces questions.

Les travaux de cartographie réalisés précédemment par MASSON, PELLETIER, VERDEVOYE, (1982) montrent que les dépôts comblant les étangs de la Sensée sont composés en majeure partie de limons bruns interstratifiés avec d'autres

matériaux, tourbe, tufs. Ces limons sont identiques à ceux provenant des versants et existent sur l'ensemble du bassin de la Sensée.

MASSON et PELLETIER ont observé en 1981 (inédit) sur les berges de la Sensée aval, à proximité des étangs des dépôts limoneux gris (réduits) signalant un séjour prolongé de ces limons dans l'eau. Cet argument pourrait confirmer l'idée d'une érosion de berge importante, mais cette idée est contredite par la géographie des lieux et des dépôts holocènes, existant dans la partie aval du bassin de la Sensée, qui forme une plaine alluviale étroite. Il s'agit bien d'une zone de comblement et non d'ablation et de creusement. Et s'il y a bien reprise des sédiments dans le lit de la Sensée, ceux-ci semblent provenir de l'amont. Les curages successifs du lit de cette rivière montrent bien que le lit aval de la Sensée est en voie de comblement.

Les sédiments peuvent avoir d'autres origines, telles que les villes et les voiries. Les rejets urbains sont plus ou moins chargés d'éléments en suspension. Le lavage des routes en période de campagne de betterave par exemple envoie du limon dans les fossés. Il reste à vérifier le mécanisme exact des rejets et à quantifier l'importance des différents apports: villes,routes ou champs.

Ce qui provient des champs est sans doute le plus difficile à déterminer. Si l'on reprend les travaux de BOLLINNE (1982) sur l'érosion, celui-ci indique des valeurs assez faibles, de 2 g/l dans les écoulements, sur sol limoneux en moyenne Belgique. A l'inverse les observations de MASSON et PELLETIER en 1979 sur les versants de la Canche montraient que les écoulements temporaires envoyaient des quantités non négligeables de limon directement dans la rivière. Les concentrations atteignaient couramment 5 g/l et parfois 10 g/l de M.E.S. dans la partie aval des ruisseaux temporaires.On peut

BU LILLE

supposer qu'il existe des épisodes pluvieux importants pendant lesquels la concentration et la charge totale sont encore plus fortes.

Les premières mesures (inédit) réalisées par le S.R.A.E. (1989-1990-1991) sur le bassin amont de la Sensée montrent que les écoulements peuvent être relativement fréquents bien que brefs.

Les mesures réalisées à l'amont de Croisilles en 1983 par LEMOINE-HONORE montrent des transferts non négligeables de M.E.S. de l'amont vers l'aval avec des concentrations de 0,8 g/l sur la Sensée amont dont l'écoulement est temporaire. Ces concentrations plus modestes n'ont été mesurées que par des prélèvements ponctuels et ne sont qu'une indication sur le déplacement des M.E.S.

D'autres arguments peuvent être développés dans d'autres domaines que le ruissellement, montrant la nécessité d'un schéma hydraulique:

* Le mitage de la gestion de l'eau conduit inéluctablement à une politique de pertes vers la nappe de la craie. Ces pertes même bien aménagées en période initiale, risquent ensuite de vieillir (colmatage ou manque d'entretien des filtres). L'expérience montre que les pertes anciennes ou naturelles ne présentent généralement à quelques exceptions près, aucune sécurité vis à vis de la nappe.

Le recueil des eaux dans un réseau de surface organisé, permet de mieux contrôler la situation, de gérer l'ensemble des rejets, de diminuer même les risques d'écoulements catastrophiques, en aménageant le parcours hydraulique: chemin d'eau, zones de piégeage des sédiments, retenues temporaires etc. Le manque de réseau et d'aménagement tant de la parcelle que des écoulements, peut conduire à des phénomènes catastrophiques: Ervillers 1975, Longuenesse 1977, Ecuires 1978, Duisans, 1988, Montcravel, 1990.

CONCLUSION.

Le schéma hydraulique, même s'il ne conduit pas au rétablissement complet et obligatoire du réseau hydraulique permet de prendre la mesure de l'ensemble des difficultés liées à la gestion des sols et à l'écoulement des excès d'eau sur le bassin-versant.

C'est un outil aidant aux réflexions sur l'aménagement de cette région, ainsi que sur les choix techniques et économiques à envisager. Est posé à nouveau le problème bien évident de la protection des grands ouvrages contre l'envasement, et celui de la protection de la nappe de la craie, pour laquelle il faut envisager un système d'épuration avant toute infiltration, ou bien la gestion des eaux en surface.

CHAPITRE III

LES CONSEQUENCES DU DRAINAGE DES TERRES AGRICOLES SUR LES SOLS ET LES PAYSAGES DE LA REGION DU NORD DE LA FRANCE

INTRODUCTION

La maîtrise de l'eau constitue un axe important de la gestion des territoires ruraux, des espaces naturels et urbains. Dans le domaine agricole, en vue d'améliorer la productivité des sols, le drainage constitue une technique éprouvée et efficace. Toutefois, sa mise en oeuvre suppose deux types de données:

- des informations sur les incidences du drainage sur le régime et la qualité des eaux des terres drainées ou situées à l'aval et au voisinage des réseaux,
- des données en vue de l'adaptation des modalités de drainage (choix des matériaux, des moyens de pose des drains, du dimensionnement des réseaux, du calendrier, etc.), aux caractères des sols et aux objectifs culturaux.

Notre approche pédologique contribue à apporter les informations nécessaires, comme nous allons tenter de le montrer pour la Région du Nord de la France.

La Région du Nord de la France à la charnière du Bassin parisien et de la dépression flamande, constitue l'une des grandes régions "humides" de la France.

Elle comprend des sols à la fois hydromorphes et fertiles pour lesquels l'aménagement hydraulique a été de tout temps une préoccupation majeure.

Parmi les techniques de maîtrise de l'excès d'eau, le drainage des sols par conduites enterrées a pris ces deux dernières décennies un essor important, en raison notamment de la mécanisation de la pose des drains.

L'accroissement du drainage agricole s'est accompagné d'une modification des paysages déjà en partie assainis par des méthodes traditionnelles: drainage ancien en poterie, fossés et ados. Par ailleurs les sols subissent certaines modifications, souvent positives, en raison de l'oxygénation de leur profil.

Ces modifications ont une importance variable suivant la nature des sols des différentes petites régions et des besoins d'assainissement.

Après analyse de la situation actuelle, ce chapitre permet de faire le point sur le développement de cette technique dans la région. Il met en évidence les aspects positifs du drainage, et d'autres négatifs qu'une réflexion judicieuse permet d'éviter.

I - DESCRIPTION GENERALE DE LA REGION.

Le Nord de la France, contrairement à d'autres régions françaises bien individualisées, comprend une mosaïque complexe de petites régions très contrastées, comme nous l'avons vu au Chapitre I, IIème partie, p. 108 (SOMME, 1977).

Les contrastes topographiques, la couverture des formations superficielles, ainsi que les formations géologiques du substrat, perméables ou non, ont conditionné le drainage

naturel des sols de la région, déterminant ainsi des paysages agricoles distincts. On distingue ainsi les plaines basses, dont l'évacuation des eaux est conditionnée par le réseau hydraulique (fossés et canaux), les régions de petites collines argileuses, hydromorphes et plus ou moins bocagées, les régions hautes de la craie, bien drainées, avec champs ouverts.

II - ORIGINE DE L'EXCES D'EAU

L'excès d'eau des sols de la région n'est pas seulement due aux précipitations, plutôt modérées, bien réparties sur l'ensemble de l'année et ne dépassant pas en général 800 mm. Il dépend aussi des caractéristiques des sols des différentes petites régions naturelles:

- altitude basse (0 à 20 m) et manque de relief, de la Plaine des Wateringues, de la Plaine de la Lys, de la Plaine de la Scarpe et de l'Escaut, de la Plaine de la Sambre, des Bas Champs picards, du Marquenterre, de la Slack etc., où l'écoulement des eaux est freiné par la faiblesse des pentes;

- nature argileuse du substrat antéquaternaire pour les sols du Boulonnais, de l'Avesnois, de la Flandre intérieure, du Pévèle, du Hainaut et de la Thiérache.

Ces ensembles contrastent avec les régions crayeuses de l'Artois, du Cambrésis, de la Gohelle et du Mélantois où seules les basses vallées et quelques zones hautes plus argileuses peuvent être considérées hydromorphes.

III - PARTICULARITES HYDRAULIQUES DE LA REGION.

Au delà de la morphologie et de l'altitude basse de nombreux territoires, existe toute une série de particularités hydrauliques propres à la région (fig. 35, p. 120).

Le réseau des voies navigables se confond souvent avec le réseau d'hydraulique agricole. Les intérêts des différents acteurs ou intervenants peuvent être divergents: niveau d'eau élevé pour la navigation mais gênant pour les agriculteurs, ce qui rend nécessaire la construction de stations de relèvement des eaux pour assainir les terres agricoles (BORTOLOTTI, 1981). Des systèmes de porte à la mer dans les zones les plus basses (DEPARDIEU *et al*, 1970, S.R.A.E. 1972, 1988), pour régulariser les hauteurs de plans d'eau, complètent ce dispositif (fig. 95).

Dans les régions d'altitude plus élevée, zones de petites collines, l'inorganisation générale du réseau hydraulique ou son absence rendent parfois difficile l'évacuation des eaux de drainage. C'est le cas du Boulonnais ou de certains secteurs de l'Artois.

Les réseaux anciens de fossés gênent, dans de nombreux cas, l'implantation de nouveaux dispositifs et apparaissent souvent comme une contrainte d'aménagement.

IV - LES BESOINS EN DRAINAGE.

L'inventaire pédologique du Nord-Pas-de-Calais permet de déterminer que 18 % de la surface agricole de la région, soit 176 000 hectares, peuvent faire raisonnablement l'objet de demandes de drainage. Ce chiffre est à comparer aux 350 000 ha des zones à sols hydromorphes, techniquement drainables si l'on inclut les petites régions où la demande n'est pas

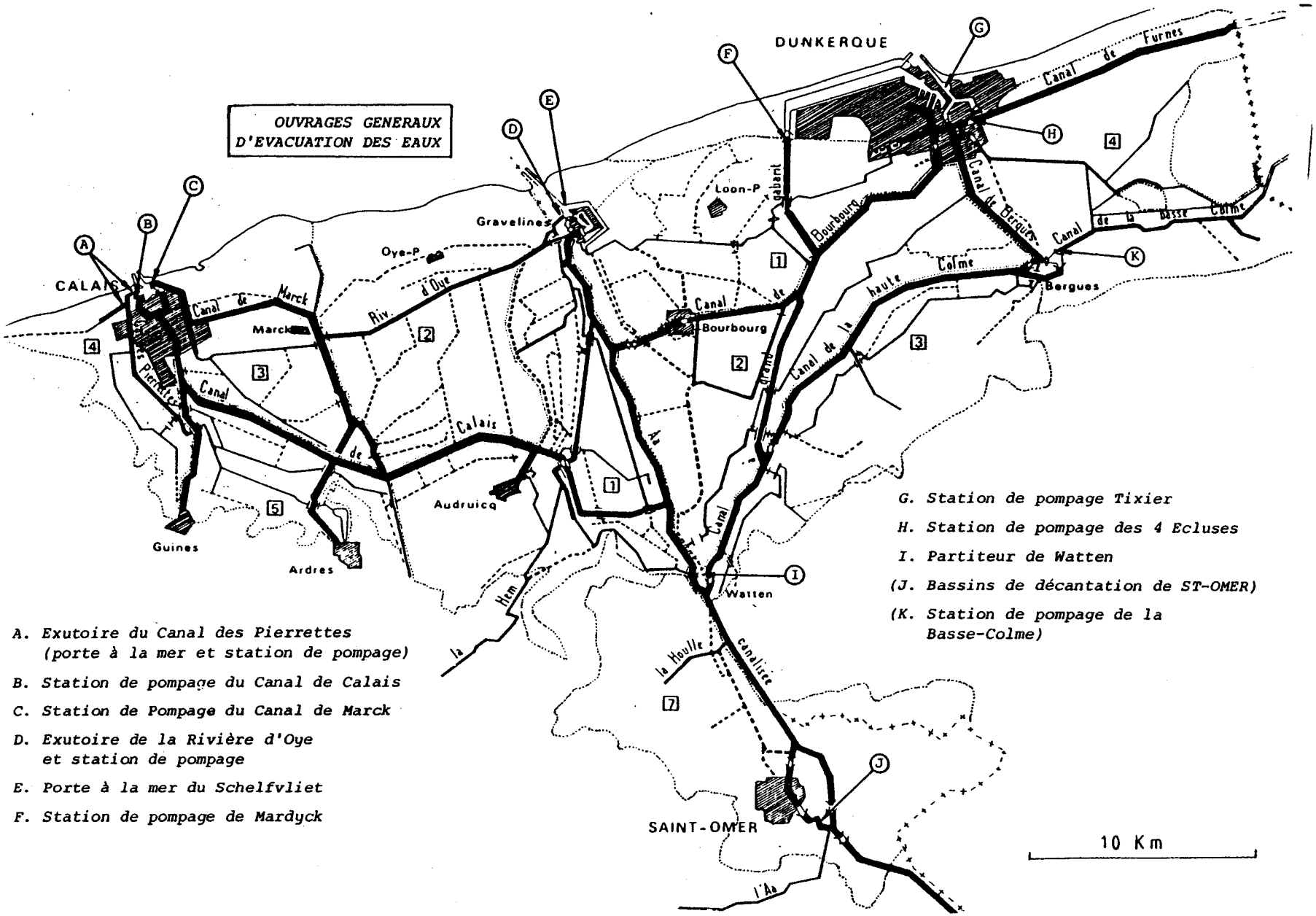


Fig. 95 : Schéma hydraulique des Wateringues. (S.R.A.E. 1987)

exprimée à ce jour. L'inventaire, réalisé à partir des petites régions agricoles (découpage administratif), donne les résultats présentés sur la figure 96.

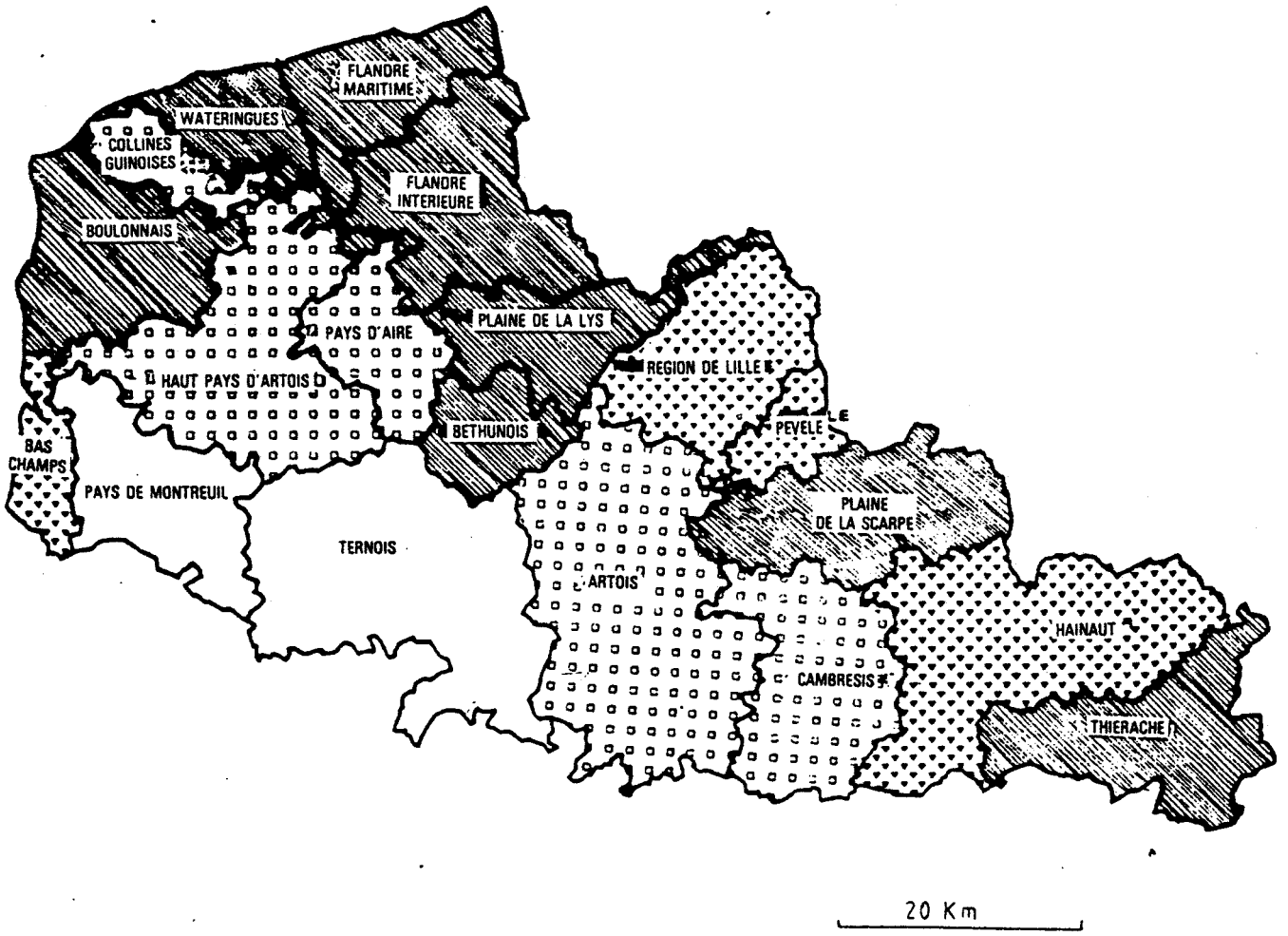
Le drainage est cependant limité par les structures agricoles régionales formées de petites et moyennes exploitations; celles-ci ne favorisent pas l'auto financement, expliquant également le faible pourcentage de terres drainées par rapport à la surface importante des zones humides.

Le drainage moderne a débuté dans ces régions il y a une vingtaine d'années. Actuellement la superficie concernée est de 56 000 ha. Le rythme actuel est très nettement ralenti en raison notamment du coût élevé du crédit bancaire, et ceci malgré l'organisation des agriculteurs en Association Syndicales Autorisées de Drainage permettant le subventionnement des ouvrages collectifs. Parmi les petites régions où le drainage s'est développé abondamment, citons la Plaine maritime des Wateringues, la Flandre intérieure, la Plaine de la Lys et le Boulonnais. D'autres connaissent un développement plus récent et plus lent du drainage: la Plaine de la Scarpe, le Pévèle, le Bassin de la Sensée. D'autres régions, enfin, sont restées à la phase initiale: l'Avesnois, et le Marquenterre en Picardie.

V - LA VOLONTE D'UTILISER LES SOLS POUR L'USAGE AGRICOLE.

Les terres de la Région Nord sont le plus souvent des sédiments meubles et très fertiles;, propices à la culture. Par ailleurs, la population y est relativement dense, et l'agriculture traditionnellement intensive.

Toute la région a été aménagée anciennement et même "construite" pour l'usage agricole. L'on peut citer l'exemple



LEGENDE

Région naturelle où il existe plus de 50 % de sols (hydromorphes) nécessitant un drainage.

Région naturelle où il existe de 20 à 50 % de sols hydromorphes nécessitant un drainage.

Région naturelle où les sols (hydromorphes) à drainer représentent moins de 20 % des sols mais qui correspondent à des unités topographiques bien définies dont la surface totale atteint au moins 5 000 ha.

Région naturelle aux terres saines ne nécessitant pas de drainage (moins de 20 % et moins de 5 000 ha de terres humides au total)

Fig. 96 : Classement des besoins en drainage par petites régions agricole, Nord de la France.

F.X. MASSON 1983, Document S.R.A.E.

des "ados" de la Plaine de la Lys, des "prises" du Marquenterre, des "renclôtures" de la Baie de l'Authie (BRIQUET 1930), des aménagements de relevage des eaux de la plaine de la Scarpe, et surtout des systèmes de digues, portes à la mer, stations de pompage, et watergands dans le Plaine maritime des Wateringues.

Les zones humides et non assainies ne sont plus dans la région que les "délaissés" de cet aménagement général en raison de contraintes techniques ou économiques trop importantes. Ces secteurs ont néanmoins souvent fait l'objet de tentatives d'aménagement, telles qu'en témoigne d'anciens systèmes d'assainissement, qui n'ont pas donné satisfaction en raison de contraintes trop importantes: nappe trop élevée, zones de sources difficiles à capter, etc.

Le drainage agricole ne doit pas être considéré seulement comme un élément déterminant l'assainissement des sols, mais la conséquence d'un choix politique ou économique visant l'utilisation du sol (O.T.A.M. 1972, 1973). La différences entre zones drainées et zones humides ne se situe pas au niveau de la technique. Nous sommes dans une région fertile et peuplée, où le choix de faire de l'agriculture est accepté largement et pour des raisons diverses.

L'intérêt général des populations rejoint celui des agriculteurs dans la lutte contre les inondations. L'entretien du réseau hydraulique est encore souvent majoritairement à la charge des agriculteurs au travers des associations de propriétaires.

La Plaine maritime des Wateringues constitue l'exemple évident de la nécessité de l'entretien hydraulique dont bénéficient les villes littorales. Sans programme d'assainissement, cette région serait inondée et impraticable, isolant les villes de la côte. De même, les sites d'habitat de

la plaine devraïent être abandonnés. On peut dire que les choix d'utilisation des sols ont interrompu le cycle naturel d'inondation et d'exondation de la plaine, limitant par exemple le développement des tourbières.

VI - LES TECHNIQUES DU DRAINAGE.

Les techniques anciennes de drainage sont diverses dans la région. Dans les plaines basses l'assainissement est réalisé systématiquement par fossés de 1,00 à 1,20 m de profondeur, avec un écartement de 10 à 30 m. Les fossés se jettent eux-mêmes dans un grand collecteur. Ce système découpe la surface des champs en lanières parallèles. La profondeur des fossés a souvent diminué par manque d'entretien, durant les dernières décennies, laissant croire à une faible profondeur initiale des ouvrages. Des sondages à la tarière ont confirmé la profondeur réelle originelle des fossés.

Un autre système de drainage comprend un maillage de petits fossés, plus ou moins irrégulier et adapté aux régions de collines, que l'on peut observer par exemple, dans la Flandre intérieure, le Boulonnais ou l'Avesnois.

Le drainage par drains enterrés en poterie est également une technique ancienne. Les observations au champ montrent parfois jusqu'à trois ou quatre réseaux successifs de drains entrecroisés, les plus anciens (1850) étant souvent les plus profonds, entre 1,20 m et 1,50 m de profondeur , les plus récents (1960) situés parfois à 0,30 à 0,40 m de profondeur. Alors que certains drains anciens fonctionnent encore actuellement, lorsque le réseau hydraulique a été entretenu, les plus récents, à trop faible profondeur ne fonctionnent pas, ayant été détériorés par le passage des engins mécaniques.

Des tranchées comblées de scories ont aussi été observées en Thiérache, comme moyen d'améliorer la circulation de l'eau et éventuellement le captage des mouillères dans les terrains les plus lourds et humides.

Les ados, obtenus par le labour en déportant la terre vers le centre de la parcelle, constituent des dénivellations importantes, parfois de l'ordre du mètre, permettant d'exonder la majeure partie de la parcelle. Le système d'ados (largeur, 30 m, longueur 100 m) peut être complété par un système de fossés collectant les eaux en bas de la parcelle. Avant le drainage moderne, cette technique était très répandue dans la plaine de la Lys où les ados sont encore souvent visibles aujourd'hui.

La technique moderne du drainage:

Les réseaux sont constitués par des drains en matière plastique, posés à l'aide de machines guidées par laser pour assurer une pente régulière des conduites enterrées. La qualité des matériaux posés fait l'objet de normes. Cette pose est rapide et de bonne qualité. La conception de tels réseaux repose sur des études de sols préalables au drainage permettant le choix des modes d'intervention et de dimensionnement des ouvrages (DEVILLERS *et al*, 1977 a et b, 1979, POIREE *et al*, 1965, CONCARET *et al*, 1980, CROS, 1972 a et b, LESAFFRE *et al*, 1982, LESAFFRE, 1981, GUYON, 1972, a, b, c, 1975, 1980, GUYON *et al*, 1972, 1981, FAVROT 1981, 1987, FAVROT *et al*, 1981, 1984, 1987): des équations d'hydraulique agricole sont utilisables pour le calcul de l'écartement des drains. Le calcul réalisé le plus souvent, dans la Région du Nord de la France, suit la méthode du régime permanent. Il tient compte de la hauteur de pluie à évacuer (pluie biennale de 3 jours variant de 11,5 mm/jour à Dunkerque, jusqu'à 21 mm/jour à Réty), de la profondeur des drains (0,8 m à 1,20 m), de la profondeur des

niveaux imperméables dans les sols, de la conductivité hydraulique des sols (de 0,1 m/jour à plus de 10 m/jour), et de la charge d'eau admise au dessus des drains (0,6 m à 0,8 m) (Cf Annexe III).

Des projets de réseaux sont établis, à partir de levés topographiques, et du calcul des débits à évacuer; ils indiquent les écartements des drains (8 à 20 m), les profondeurs (0,8 à 1,2 m), les diamètres des conduites de drains (50 mm à 60 mm), les pentes (1 °/₀₀ à 3°/₀₀ en plaine basse).

Il s'agit aujourd'hui d'une véritable industrie du drainage, avec des chantiers importants, pouvant couvrir en une seule fois plusieurs centaines d'hectares, et des réseaux de drains assainissant parfois plusieurs parcelles.

Les caractéristiques des réseaux de drainage sont donc étroitement liées à celles des sols. Il est nécessaire, en cartographie, de bien repérer les caractéristiques du sol, contraignantes pour le drainage, et influençant les paramètres à fixer pour chaque réseau, en terme de profondeur, écartements et précautions à envisager pour assurer la longévité de l'aménagement. Dans la Région du Nord, on retient fréquemment les critères suivants:

* le besoin de drainage: fonction de l'engorgement du sol indiqué par l'hydromorphie:
* l'écartement et la profondeur des drains:
  - on tiendra compte de la perméabilité du sol, généralement fonction de la texture, de la structure et de la profondeur du substrat imperméable.
* le besoin de filtres,
  - dépend du risque de colmatage minéral, fonction de l'instabilité des particules du sol (sables dont la teneur en argile est inférieure à 13 %, limons très purs, matériaux plus ou moins argileux, mais dispersés):

* le drainage direct permettant la surveillance des drains:

- risque de colmatage chimique (colmatage ferrique en raison de la présence de fer libre, provenant de sources, de l'écoulement latéral d'une nappe, ou de la présence de matières organiques dans le sol;

- risque de colmatage racinaire;

- risque de déformation du sol: présence de tourbe, de matériaux humifères, de dépôts hydrauliques non consolidés;

* la pente régulière des drains permettant l'autocurage:

- risque de colmatage primaire en zone de limon loessique, ou colmatage secondaire dans les zones d'argile peu stable;

* l'isolation hydraulique des réseaux:

- présence de sources, rivières ou canaux, dont le plan d'eau est plus élevé que les terrains environnants, écoulement latéral d'une nappe provenant d'un terrain voisin plus élevé, ruissellement;

* la stabilisation chimique du sol:

- risque d'instabilité des sols légèrement sodiques, et à texture fine;

* le sous-solage et le travail:

- tassement profond du sol et risque de ruissellement, principalement dans les zones limoneuses.

VII - INFLUENCE DU DRAINAGE SUR LES SOLS.

Le drainage a une influence positive sur l'évolution des sols dès lors que l'on considère l'amélioration des performances agronomiques d'un sol comme un progrès. Les effets du drainage sont bien connus.

Le drainage améliore la structuration et l'aération du sol et favorise la vie des racines des plantes cultivées, des bactéries permettant l'humification des débris de végétaux, et d'animaux, etc. L'oxygénation du profil entraîne sa

brunification progressive. Celle-ci s'interrompt rapidement au niveau du drain. Souvent on observe que la coloration bleue, ou des tâches d'oxydo-réduction réapparaissent à ce niveau, montrant la limite de la zone exondée et de la zone inondée (Cf, la plaine maritime où le plan d'eau est souvent maintenu à proximité immédiate des drains).

L'oxygénation du profil modifie le processus d'évolution de la matière organique. On observe généralement un abaissement du taux de la matière organique, une variation des composants, et une évolution de la flore microbienne nécessaire à son évolution.

L'action du drainage sur les sols se traduit par un bilan d'oxygénation positif sur les plantes cultivées tel que les pertes de récoltes deviennent rares.

Il existe une liaison étroite entre l'hydromorphie des sols, les pertes de rendement et donc la nécessité de drainage. Pour la Plaine maritime des Wateringues, FAVROT (1984) cite PERIGAUD (1977) qui indique des variations de rendement suivant l'humidité des sols, en quintaux/ha.

	Zone très humide (non drainée)	Zone humide (non drainée)	Zone saine (drainée)
Blé d'hiver	32 *	38 **	50
Orge	15	25	40
Betterave	320	380	500
Pomme de terre de consommation	200	250	350

* avec un risque élevé de récolte nulle
** avec un risque faible de récolte nulle.

(FAVROT, 1984)

Cependant dans la Région du Nord, la notion de risque est moins celle des pertes de récoltes que du risque d'inondation. Les agriculteurs n'admettent pas l'inondation de

la surface de leurs champs, à laquelle ils lient les diminutions de rendement. cette inondation n'intervient que pour des événements rares, en regard desquels le réseau hydraulique est de dimension limitée et parfois insuffisant. C'est en ces termes qu'à été choisie la pluie biennale de trois jours (en période hivernale) servant au calcul des réseaux de drainage.

VIII - INFLUENCE SUR LES PAYSAGES.

Le drainage agricole des sols entraîne une diminution des zones humides (1) et des surfaces en eau (fossés et flaques). L'effet le plus visible du drainage est l'agrandissement des parcelles avec la suppression des fossés et la disparition des champs en lanières ou des systèmes de petits fossés. Quelques maîtres-fossés ou émissaires restent seulement.

De même, disparaissent les ados et les petits fossés les ceinturant, qui modelaient des régions entières.

Ces modifications sont dues essentiellement à la mécanisation agricole qui nécessite pour une grande part des parcelles de grandes dimensions afin d'abaisser le coût des travaux agricoles. Les fossés sont donc bouchés et les ados nivelés avec la nouvelle orientation des labours, en fonction du nouveau parcellaire.

Outre ces modifications du système hydraulique, le bocage est modifié ou risque de disparaître dans de nombreux cas. En effet les racines des arbres colmatent les drains. Ceux-ci, pour leur protection nécessitent la destruction des arbres ou des aménagements supplémentaires telle l'isolation du réseau par un fossé, ou un drain perdu. L'organisation du

(1) Les zones humides peuvent correspondre à des terres parfois cultivées antérieurement, mais où l'absence d'entretien des systèmes d'assainissement a provoqué la remontée du plan d'eau et leur inondation fréquente. L'affectation des terrains, zone humide ou zone cultivée, dépend donc souvent, dans la Région du Nord, de l'aménagement.

bocage s'en trouve souvent perturbée. La tentation première est de supprimer tous les arbres, sans se soucier du bocage, les arbres étant considérés comme une contrainte. L'on voit ainsi apparaître en plaine basse des espaces de champs ouverts avec absence totale de protection contre le vent.

Le développement du drainage est parfois limité lorsque certains facteurs contrarient sa mise en oeuvre. Les paysages ne seront donc pas modifiés, ou le seront plus modérément, dans certains secteurs. Les contraintes peuvent être pédologiques, comme l'instabilité des sols qui provoque le colmatage ou la déformation des conduites enterrées. Citons plusieurs exemples:

- boulance des sables fins: ce cas est répandu dans la Région Nord, et nécessite l'utilisation d'un enrobage,
- dispersion des matériaux argileux sous l'effet du sel, et migration dans les drains, dans la Plaine maritime des Wateringues,
- la présence de tourbe entraîne un risque de déformation du sol, et donc de déformation des drains, créant des contre pentes, et entraînant leur mauvais fonctionnement,
- l'abondance de matières organiques entraîne le risque de colmatage ferrique par production de Fe^{++} soluble qui vient floculer dans les drains sous forme ferrique (phénomène microbien). Il en est de même des eaux de source ou de toute venue latérale d'eau provenant de réserve d'eau voisine en charge par rapport au drainage (colmatage ferrique des drainages d'essai de Verchin, 1981, inédit).

Il existe également des limites économiques au drainage lorsqu'il représente une charge financière à l'hectare insupportable pour l'exploitant.

L'aménagement "drainage" dépend souvent de considérations politiques et économiques. C'est la mécanisation avec son cortège de décisions économiques et techniques qui

conduit au drainage de grandes parcelles.

Le drainage est-il en concurrence avec le bocage? Plutôt qu'une concurrence, il s'agit d'une nouvelle organisation des boisements, à maille plus large, compatible avec la nouvelle organisation des cultures. Il ne faut pas perdre de vue que les haies et les boisements apportent, en plaine basse non protégée, une protection contre le vent.

Un maillage, plus large qu'aujourd'hui, de zones plantées en arbres et de zones de culture, n'est pas incompatible avec une gestion économique harmonieuse de l'espace agricole. Citons l'exemple de la Plaine des Wateringues, qui peut jouer la carte de l'hôtellerie et du tourisme vert en habillant avec des rideaux d'arbres un paysage particulièrement peu protégé.

Le problème du boisement peut se situer autrement dans d'autres plaines, telle que celle de la Scarpe, où celui-ci s'effectue de façon anarchique au détriment de zones vouées précédemment à la culture et aménagées pour elle. Ces boisements sont parfois réalisés sur des terrains sans valeur pour le boisement et sans réseau hydraulique compatible avec celui-ci.

Globalement les zones humides semblent disparaître au profit des terres cultivées, sans surface d' eau apparente. En effet, les zones intéressantes pour la culture peuvent être assainies par drains enterrés. Cependant les autres zones, tourbeuses, sourceuses, si elles doivent l'être, ne pourront être aménagées qu'avec des fossés à ciel ouvert , laissant ainsi en eau un certain nombre de surfaces: Marais de Guines, Marais de Saint-Omer, Moëres d'Hondschoote, Marais du Marquenterre, etc.

Les zones humides ont en commun avec les zones de culture, la nécessité d'un aménagement pour leur maintien et l'équilibre de leur faune et de leur flore. Il en est ainsi

surtout dans les secteurs construits par l'homme. Citons l'exemple du Marquenterre (MASSON *et al*, 1987) où le pseudo équilibre existant est dû essentiellement à l'aménagement. Le système de portes à la mer tend à maintenir le sel en dehors du marais , et à préserver un éco-système de type lacustre.

Les zones humides actuelles ne sont pas toujours naturelles et ont souvent été accrues artificiellement en raison des aménagements. La canalisation des rivières en plaine basse a souvent tendance à empêcher le drainage des terres, en raison du relèvement du plan d'eau pour permettre la navigation. L'exemple de la Plaine de la Scarpe est très net où les surfaces humides se sont accrues au détriment de terres autrefois assainies gravitairement, exondées et cultivées.

Il n'existe pas toujours un antagonisme entre les zones cultivées exondées, et les surfaces en eau. En effet, l'aménagement hydraulique nécessite l'entretien d'un réseau hydraulique minimal, et le drainage peut provoquer, de façon limitée, la régénérescence d'émissaires formant des surfaces en eau, surtout s'il s'agit de drainage en direct. Il peut également se concevoir avec le maintien des plans d'eau. De même, la juxtaposition de zones de culture et de zones humides, voulues comme telles, permet l'entretien d'un réseau hydraulique nécessaire à l'équilibre des zones humides, etc. L'aménagement hydraulique peut être souvent l'outil qui permet de concilier la protection des paysages, pour peu que l'on prenne la peine de le raisonner.

La disparition des fossés n'est pas directement liée au drainage, mais à la mécanisation. Les conditions de l'agrandissement des parcelles et de la suppression des fossés ont souvent précédé de longue date le drainage, soit par absence d'entretien des fossés , soit par comblement partiel de ces fossés qui ont fini par devenir insuffisants.

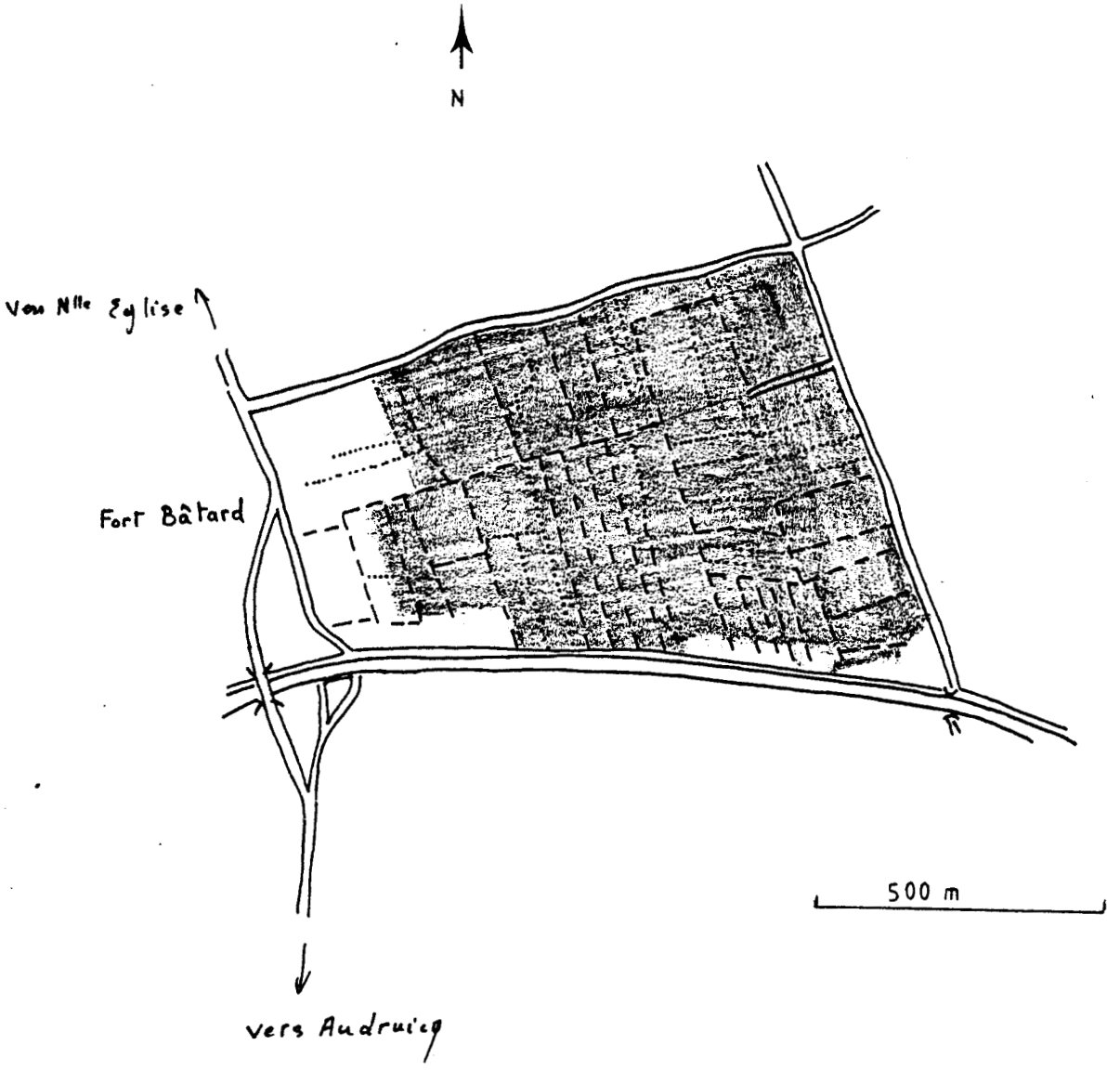
Si l'on observe les cartes I.G.N. et les plans projets de drainage de la région de Guines , on constate que la disparition des fossés, coïncide généralement avec la réalisation des drainages (fig. 97). Avec le défaut d'entretien des fossés (certains n'avaient plus que 0,4 m de profondeur), dû à la diminution de main d'oeuvre dans les exploitations et au coût plus élevé de cet entretien, la nécessité du drainage enterré est apparue d'autant plus impérative.

Le drainage a été souvent perçu de l'extérieur comme un aménagement lié à la nécessaire disparition du réseau hydraulique secondaire et du bocage, alors que le but primordial était simplement d'agrandir le maillage du parcellaire, afin de permettre aux machines agricoles modernes d'évoluer rationnellement à la surface des champs.

On a vu également l'intérêt de la disparition des fossés et des arbres au travers d'une augmentation des surfaces cultivées, à laquelle sont très sensibles les agriculteurs de la région; cette augmentation de surface devant conduire à une augmentation du bénéfice de l'exploitant.

Ce gain n'est peut-être que partiel dès lors qu'apparaissent d'autres inconvénients :

- manque d'abris contre le vent,
- manque de fossés en cas de précipitations très importantes provoquant un ruissellement généralisé,
- monotonie du paysage,
- difficulté d'obtenir un réseau hydraulique qui soit toujours cohérent avec le modelé du paysage etc.



— — — — fossés existant en 1980 (carte I.G.N. Guines 3-4, à 1/25 000, 1980)

····· fossés existant en 1963 et disparus en 1980 (carte I.G.N. Guines 3-4, à 1/25 000, 1963)

zone drainée en 1973
l'ensemble des fossés était signalé sur les plans de drainage en 1973

Fig 97 : Diminution du nombre des fossés entre 1963 et 1980, lieu-dit de Fort Batard, Région d'Audruicq, Plaine Maritime des Wateringues, Nord de la France.

IX - LES CONTRAINTES DE L'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE GENERAL.

L'aménagement hydraulique général de la Région du Nord concerne plusieurs finalités souvent contradictoires: assainissement des sols, maintien des niveaux d'eaux pour la navigation, transport d'eau douce pour l'irrigation, l'industrie ou l'eau potable, etc., ce qui conduit à rechercher des solutions équilibrées entre ces différents objectifs.

Il existe, de ce fait, dans la région, un ensemble d'organisme importants pour assurer la gestion complexe des rivières et canaux, dont les débits sont souvent insuffisants en cas de crue. Ce sont principalement les sections de Wateringues, l'Union des syndicats d'assainissement du Nord et surtout, l'Institution interdépartementale des Wateringues.

L'hydromorphie des sols résulte dans les plaines basses, de la platitude du relief, de la faible altitude et de la présence de cuvettes qui permettent ou non leur drainage gravitaire vers la mer, enfin du dimensionnement médiocre du réseau hydraulique général assurant le drainage et l'écoulement vers la mer.

La complexité de la gestion des aménagements anciens ou récents a souvent conduit à faire varier le niveau de l'eau, modifiant ainsi l'aptitude des sols à la culture. Plusieurs exemples sont biens connus: la Vallée de la Sensée avec les moulins à eau, les Plaines de la Scarpe (BORTOLOTTI, 1981) et des Wateringues avec la canalisation des rivières, ont vu accroître l'extension des zones humides. Seule l'installation de stations de relèvement des eaux a permis d'inverser la tendance, ces dernières décennies, sans toutefois revenir dans tous les cas au système naturel antérieur.

Dans la Plaine de la Lys, on observe ainsi des sols dont certains caractères morphologiques ne correspondent pas au niveau actuel de la nappe. C'est à dire que l'évolution naturelle de ces sols suppose un niveau de nappe autrefois plus

bas et donc un meilleur drainage (Cf chapitre V IIème partie, p.192).

La gestion des eaux est également difficile dans la mesure où les décisions doivent tenir compte de plusieurs objectifs simultanés interférant entre eux. Citons l'exemple de l'Aa dans les Wateringues. Cette rivière a pour rôle d'assurer l'évacuation des eaux, venant des versants, vers la mer, et aussi d'assurer le transit de l'eau douce, pour alimenter la zone littorale. Ceci nécessite, pour cette zone, de gérer à la fois les débits, la qualité des eaux et de dévier les eaux les plus salées par des émissaires spécialisés.

X - LE DRAINAGE DANS LES DIFFERENTES PETITES REGIONS.

(Figure 98)

En matière de besoins, de modalités, et de conséquences du drainage, la Région Nord offre des situations très différentes en fonction des caractéristiques propres aux petites régions. Un rapide examen de ces situations est évoqué maintenant.

1/ Les plaines basses

Comme il a été dit précédemment, la Plaine maritime des Wateringues est un marais contraire. Il est tourbeux et argileux vers l'intérieur, d'altitude basse, une partie des terrains se situe même au dessous du niveau moyen de la mer. Il est sableux, limono-argileux et d'altitude plus élevée vers le littoral. L'écoulement des eaux provenant de la plaine est donc gêné par le relèvement de l'altitude vers la zone littorale, et aussi par la canalisation des rivières dont le niveau est souvent plus élevé que celui des terres avoisinantes.

Les contraintes sont si importantes que le maintien

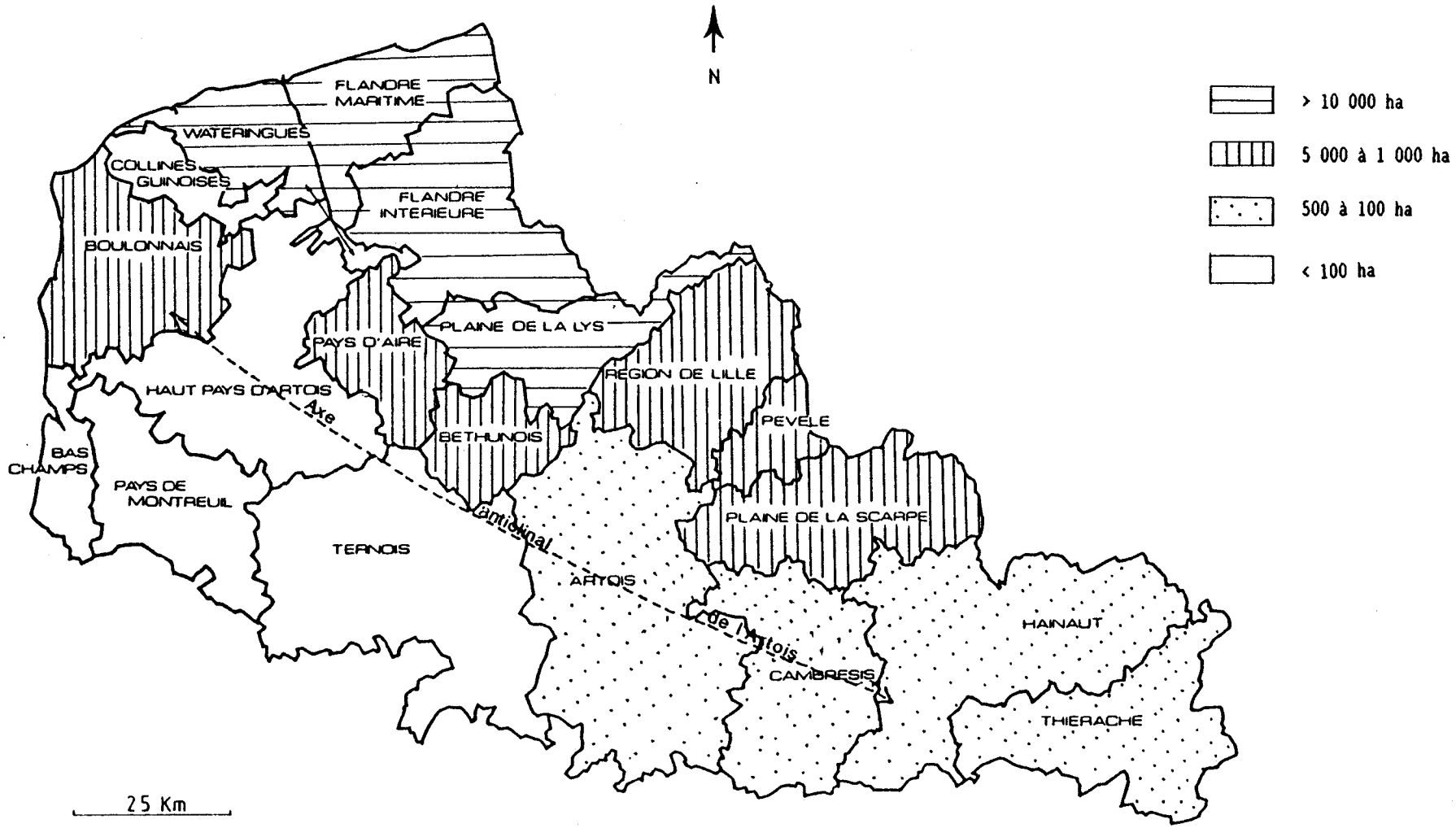


Fig. 98 : Estimation des zones drainées à partir des techniques modernes par petites régions agricoles. Nord de la France.

hors d'eau du sol ne peut se faire que par réseau de drains, fossés, watergands, pompes, canaux et portes à la mer.

La plus grande partie des Wateringues est ainsi assainie par des drains enterrés, et le bocage a tendance à disparaître totalement en raison de la présence de ces réseaux. Un paysage de champs ouverts, avec de grandes parcelles, remplace les champs en lanières, séparés par des fossés et des haies.

La mise en oeuvre du drainage se heurte, toutefois, à certaines contraintes.

Ainsi, les sols les plus tourbeux ne peuvent être facilement assainis et cultivés, sauf à envisager des précautions techniques, difficiles à dominer par l'agriculteur. L'humectation permanente des tourbes est nécessaire pour éviter leur tassement et le déficit hydrique des plantes cultivées. Les sols tourbeux ne sont pas assainis par drains enterrés, mais par fossés, avec maintien à niveau constant du plan d'eau.

Ailleurs, il est peu rentable de drainer des sols entièrement sableux, car ils sont souvent peu fertiles, ou bien il faut prévoir leur irrigation pour les périodes de déficit en eau. Les sols d'altitude légèrement plus élevée et bien perméables se drainent naturellement. Par contre, il est possible d'assainir les sols argileux dont l'instabilité résulterait du sel, par stabilisation chimique des sols (gypsage) ou par usage de filtres anticontaminants.

Enfin, l'altitude plus basse de certaines parcelles ne permet pas l'écoulement des eaux ou nécessiterait un assainissement trop coûteux.

La Plaine de la Lys présente peu de secteurs difficiles à drainer. Cette région était drainée assez facilement par gravité dans les époques précédant la canalisation des rivières.

Seules quelques zones de basse vallée entourant la

Lys et ses affluents, ainsi que quelques secteurs marécageux situés au sud de la plaine (Secteur de Bellenville), sont inondables et ne sont pas drainables. On notera encore la présence d'argile relativement instable au Sud-Ouest de la Plaine dans la région de Béthune - Hinges où d'anciens reliefs, interfluves argileux, ennoyés par les alluvions quaternaire affleurent au niveau de la plaine. On observe donc un développement important du drainage avec l'apparition d'un parcellaire de grande dimension et également la disparition d'arbres et de haies.

La Plaine de la Scarpe a été fortement transformée par la canalisation des rivières datant du siècle dernier, et qui a entraîné le relèvement du plan d'eau. Les fossés d'assainissement, parallèles aux canaux n'ont pas été maintenus en état par les agriculteurs, en raison du coût élevé de leur entretien, ce qui a entraîné une remontée du niveau de l'eau et l'extension des zones humides marécageuses au détriment des terres anciennement cultivées. L'engorgement des sols s'est accru également en raison des affaissements miniers dûs à l'exploitation du charbon. S'y ajoute l'accroissement anarchique des boisements, souvent de mauvaise qualité, dans les zones de culture. Ces phénomènes, joints à une structure agricole et foncière de petites dimensions, en perte de vitesse, contrarient l'économie agricole de cette région.

Le réaménagement hydraulique moderne avec l'installation de stations de pompage tente actuellement d'inverser cette tendance et de sauver ce qui peut l'être de l'agriculture dans ce secteur. Cette situation est d'autant plus dommageable que les sols de cette zone sont potentiellement fertiles et devraient permettre notamment l'implantation de cultures légumières.

Actuellement, le drainage agricole est moyennement

développé dans ce secteur et couvre 3000 ha, ce qui représente 5 % de la S.A.U.

La Plaine de la Sambre, très argileuse, avec une nappe alluviale fluctuante en raison des crues ne semble pas présenter un potentiel agricole important. Les prairies restent prédominantes et les boisements se développent.

Les Bas-Champs Picards, actuellement ne sont pas encore assainis par des réseaux de drains enterrés. L'altitude des terrains (4 m N.G.F.) suffisamment élevée et le drainage par fossés ont suffit vraisemblablement à ce jour aux agriculteurs de ce secteur. Cependant quelques projets isolés sont à l'étude.

La Plaine de la Slack constitue une cuvette dont l'estuaire est rétréci par des formations dunaires importantes. (Cf ch. VI, II*** partie, p. 220). Sur le littoral, près du Fort d'Ambleteuse, l'élévation continue par la mer d'un cordon de galets exige son exploitation ce qui évite l'inondation de la plaine intérieure.

Toutefois les crues importantes de la Slack, en raison de l'importance du bassin-versant (superficie d'environ 400 km²) inondent la plaine épisodiquement. Elle est cependant assainie par un système de fossés, de clapets et une porte à la mer. Le drainage agricole n'y est donc pas conseillé en raison du niveau trop élevé des émissaires et des risques de colmatage. Les prairies y sont largement dominantes.

Le Marquenterre est, également, une plaine maritime intérieure, dont la construction et la fermeture progressive se sont effectuées par renclôtures (1) et prises (2) successives, ainsi que l'aménagement d'un système hydraulique de canaux et de portes à la mer (BRIQUET, 1930, DE LAMERVILLE, 1969, BEUN,

(1) Renclôture: digue protégeant de la mer un terrain qui peut être ensuite asséché.

(2) Prise: terrain gagné sur la mer par renclôture.

1973, BRIAULT, 1982, BROQUET *et al*, 1980, MONTAIGNE, 1972).

Ceci entraîne la juxtaposition de marécages tourbeux, de prairies humides, de secteurs favorables aux cultures,de dunes littorales. Ces différents secteurs sont diversement mis en valeur: culture, élevage, chasse, loisir, réserves naturelles. Une étude d'ensemble (Secteur de référence de drainage du Marquenterre, MASSON *et al*, 1987) a montré l'intérêt de l'entretien de l'aménagement hydraulique, canaux, vannes, et portes à la mer, afin de maintenir les niveaux de la nappe aux cotes utilisées par chacun des intervenants (cultivateur, chasseur, pêcheur,etc.).

Les études ont mis en évidence que le laisser-aller et le manque d'entretien conduirait à rompre les équilibres écologiques de cette région. L'exemple de la remontée progressive du sel dans les zones intérieures a été ainsi signalé: cette remontée du sel était due au mauvais entretien des ouvrages à la mer (fig. 99, p 350).

La préservation des équilibres naturels les plus intéressants passe donc paradoxalement par un entretien et un suivi du milieu, nécessitant souvent des aménagements. Ces derniers sont parfois utiles pour lutter contre les évolutions naturelles régressives pouvant faire évoluer négativement les zones humides les plus intéressantes au niveau de la faune et de la flore.

Le drainage ne concerne qu'une très modeste superficie dans cette plaine (4 % de la S.A.U.), et ne concerne pas les zones de marais, sans intérêt d'ailleurs pour la culture. Les réflexions entreprises à cette occasion seront bénéfiques, elles conduiront à restaurer les aménagements essentiels à cette plaine: portes à la mer, vannes, canaux, etc.

2/ Les zones argileuses hautes.

Il s'agit de la Flandre intérieure, du Boulonnais, de la Thiérache, du Pévèle et du Hainaut. Dans ces zones l'hydromorphie est due à un substrat souvent argileux et imperméable. Pour cultiver les terres, l'assainissement des sols est impératif et le drainage enterré s'y est développé parfois anciennement.

La Flandre intérieure et le Pévèle ont vu, dès le siècle dernier, le développement du drainage par poteries ainsi qu'un début d'évolution du paysage. la Flandre intérieure autrefois le "Pays aux Bois" a perdu une partie de son bocage. Le drainage moderne n'a fait que prolonger cette évolution ancienne. Le modelé du paysage a permis la conservation des anciens réseaux hydrauliques avec les becques (1) de la Flandre intérieure, et les courants (2) du Pévèle.

Il ne semble pas exister de limite au développement du drainage agricole dans ces régions (15 % de la S.A.U.), sauf dans quelques secteurs très localisés, buttes témoins sableuses et caillouteuses, ou zones de sources. Les limons recouvrant généralement les argiles se drainent facilement par drains enterrés, et les sols d'argiles lourdes, apparemment peu perméables, permettent cependant le fonctionnement des drains en raison de fentes de retraits importantes, apparaissant en période estivale et favorisant la structure du sol.

Les haies du bocage assuraient autrefois la protection des cultures et l'agrément des paysages. Le bocage est actuellement mieux conservé dans le Pévèle, mais diminue fortement dans la Flandre intérieure.

Le Boulonnais, région de petites collines voit ces dernières années le développement du drainage (11 % de la S.A.U.). Toutefois celui-ci est parfois limité en raison des contraintes suivantes:

---

(1) Becque: ruisseau.

(2) Courant: ruisseau.

- la présence de pierres et de rochers venant gêner la pose des drains;
- un relief accidenté;
- la présence fréquente de sources, et de mouillères;
- l'existence de sols d'argile non gonflante plus difficiles à drainer, nécessitant des écartements de drains plus serrés et donc un investissement supérieur,
- un réseau hydraulique mal coordonné,
- un aménagement plus désordonné du paysage,

Le réaménagement général de cette zone est plus difficile à concevoir, et la destruction du bocage, sans aménagement spécifique, peut entraîner dans cette zone à couverture limoneuse des phénomènes de ruissellement et d'érosion.

L'habitude de voir couler de l'eau en de nombreux points, sans que personne ne sache très bien où elle s'écoule, et la situation anarchique du réseau de fossés ne permettent pas de vérifier la dégradation du système hydraulique, souvent basé sur des écoulements non aménagés.

L'équilibre actuel du système hydraulique tient à la densité du bocage, des prairies et des réseaux de fossés encore assez importants.

A l'inverse d'autres petites régions, il ne semble pas y avoir une prise de conscience de la nécessité d'un aménagement général.

La Thiérache comprend un ensemble de sols engorgés en raison de la présence d'un substrat souvent argileux, généralement recouverts de limons. Elle a été largement cultivée pendant plusieurs siècles, avant de se spécialiser dans l'élevage, après la Révolution. Un début d'évolution inverse semble s'amorcer depuis une quinzaine d'années. La large place donnée à l'élevage, tenait compte du climat plus humide et de l'intérêt économique de la production de lait.

Les prairies sont encore fréquentes et le bocage encore très important. Le drainage n'a jamais été très répandu. Une reprise modeste actuelle du drainage suppose, comme dans le Boulonnais, une réflexion approfondie au niveau hydraulique.

La remise en culture intensive , après le drainage de ces paysages, pourrait être une décision délicate pour les sols de cette région potentiellement sensible au ruissellement et à l'érosion.

Le bocage, lié aux prairies, qui a prévalu pendant un siècle et demi, était très adapté à la protection des sols. Cependant, cette solution n'est plus aujourd'hui satisfaisante au plan économique, la production de lait étant en perte de vitesse. Il sera donc nécessaire de réadapter le paysage, sans adopter les mêmes solutions qu'en plaine basse, car elles seraient immanquablement vouées à l'échec dans cette région de limons légers instables, sensibles à l'érosion.

Dans ces conditions si la culture intensive nécessite le drainage, ce choix demande aussi des moyens efficaces de lutte contre le ruissellement et l'érosion.

Dans la Thiérache, la demande de drainage est relativement individuelle (quelques centaines d'hectares) et elle concerne en général les plus mauvais terrains, alors que l'ensemble des sols nécessite un aménagement hydraulique. Ce sont les terrains argileux qui souffrent de la comparaison avec les terrains limoneux considérés comme meilleurs. C'est donc sur ces terrains argileux que se porte le choix du drainage, là où l'aménagement est le plus couteux, le moins efficace et le moins rentable. Les sols étant peu perméables, l'écartement des drains est serré. Le captage des mouillères contribue encore à augmenter le coût de l'aménagement qui peu atteindre 15 000 F à l'ha, alors que le coût ordinaire s'élève habituellement entre 6 000 et 12 000 F à l'ha, en 1992.

Les argiles de l'Avesnois, produit de décomposition

des schistes, confèrent aux sols un certain nombre de propriétés des formations géologiques primaires. L'écoulement des eaux s'effectue parfois dans ces sols, non dans le sens vertical, mais suivant le pendage des couches. Ces matériaux anciens ne sont pas toujours formés d'argile gonflante. Il s'ensuit un fonctionnement du drainage médiocre, qu'il convient de compléter par des techniques de captage.

Par ailleurs, le drainage ne semble pas voué à un grand développement dans l'Avesnois en raison des structures agricoles médiocres et du manque de dynamisme de son agriculture.

CONCLUSION.

Le drainage moderne est la conséquence de la mécanisation et des nouvelles techniques agricoles. Il supplante progressivement d'anciennes formes d'assainissement, tel que le drainage par fossés. Cette technique intervient dans la prise de conscience des nécessités de l'aménagement hydraulique général dans une région particulièrement soumise à l'excès d'eau. Il influe, indirectement et partiellement, sur les paysages par l'augmentation de la taille des parcelles, des mailles des réseaux de fossés et du bocage. Il induit un redimensionnement et une réorganisation de l'ensemble des systèmes hydrauliques.

La complexité des aménagements hydrauliques et leur influence sur les paysages nécessite une connaissance approfondie des formations superficielles et des sols, aide indispensable aux décisions de l'aménageur, en matière de gestion des sols et d'architecture des paysages.

CHAPITRE IV

SALINITE DES SOLS ET DE LA NAPPE DE LA PLAINE MARITIME DES WATERINGUES

La Plaine maritime des Wateringues, d'altitude voisine du niveau de la mer, est formée pour l'essentiel de sédiments marins contenant du sel. La salinité du sol et de la nappe est ressentie dans certains cas comme une véritable nuisance (S.R.A.E., 1985) vis à vis de l'utilisation agricole du sol et de l'usage des eaux de surface, pour l'eau potable et l'industrie.

L'influence des divers aménagements hydrauliques sur la salinité est souvent abordée dans les études régionales, dont certaines attribuent les déséquilibres constatés au drainage agricole, et redoutent par suite une salinisation progressive de la plaine.

Sans vouloir répondre à toutes les questions, le présent chapitre vise à faire le point des connaissances acquises lors de nombreuses études sur le sol et la nappe. Ces études concernent, soit l'aménagement hydraulique, soit à la protection de l'eau douce contre la salinisation, soit la remise en état des sols inondés temporairement par l'eau de mer. Elles contribuent à la compréhension des mécanismes

influant le plus dans cette région sur la stabilité structurale des sols.

L'expérience que nous rapportons ici concerne pour l'essentiel la Plaine maritime des Wateringues. Nous ferons part également d'observations réalisées dans les Bas Champs picards et dans le Marquenterre.

I - RAPPELS SUR L'ORGANISATION DES PRINCIPALES PLAINES LITTORALES DU NORD DE LA FRANCE.

Les plaines concernées par nos observations sont principalement la Plaine maritime des Wateringues et dans une moindre mesure les Bas Champs et le Marquenterre.

Ces plaines (Cf ch. I, IIème partie, p. 108) forment des marais contraires littoraux. Elles comprennent des cordons littoraux en arrière desquels se sont déposés des matériaux pour partie d'origine continentale.

La fermeture vers la mer est souvent complétée par des systèmes de digues artificielles et de portes à la mer.

Les eaux, d'origine continentale, véhiculées par des rivières souvent endiguées, traversent les plaines basses et sont rejetées directement à la mer. Des systèmes de canaux permettent l'assainissement des terres. En raison de l'altitude basse des terres, et pour éviter leur envahissement à marée haute, un système de porte à la mer permet la fermeture des émissaires à marée haute.

La Plaine maritime des Wateringues est la plus vaste. Elle s'étend de Sangatte jusqu'à la frontière belge. Son périmètre compris approximativement dans le triangle Calais, Watten, Dunkerque, représente environ 60 000 ha de surface agricole utile.

L'altitude des sols est souvent proche de 1 m N.G.F. Elle atteint 0 N.G.F. dans sa partie continentale la plus basse pour atteindre 3 m à proximité du cordon de dunes littorales. A l'Est la dépression des Moëres atteint dans sa partie la plus basse - 2 m N.G.F.

Les autres plaines moins étendues, Bas Champs et Marquenterre présentent un schéma plus simple de marais contraires tourbeux protégé de la mer par des cordons littoraux de galets ou des dunes. Ces protections naturelles ont été renforcées par un système de digues (BRIQUET, 1930). L'altitude des terrains y est plus élevée, 2 m N.G.F. et les apports continentaux à partir des rivières généralement plus importants, notamment en ce qui concerne le calcium.

II - LA PRESENCE DU SEL

Le sel d'origine marine est présent dans les sols de la Plaine maritime des Wateringues. Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer l'origine de ce sel:

- origine marine des sédiments,
- inondations de la mer,
- embruns
- pénétration de la nappe salée à partir de la mer,

Il semble que l'on doive retenir principalement la première hypothèse de l'origine marine des sédiments, avec pour conséquence la présence d'une nappe salée retenue dans les matériaux. Les deuxième et troisième hypothèses, inondation de la mer et embruns, plus épisodiques, participent dans une moindre mesure à la salinisation du milieu. La dernière hypothèse, pénétration d'une nappe salée à partir de la mer, n'intervient vraisemblablement que pour une faible part.

On constate que la partie supérieure des sédiments d'après les analyses chimiques , ne contient que très peu de sel. Par contre, en profondeur la teneur est plus élevée. Il en est de même en ce qui concerne l'eau de la nappe, relativement douce en surface et devenant progressivement plus salée en profondeur (SOGREAH, 1970, S.H.C., 1969). Les observations peuvent être éventuellement interprétées comme l'indice d'une nappe salée inférieure, ou "triangle salé", en communication avec la mer, et apportant le sel dans les Wateringues. Cependant, d'après la SOGREAH (1970) la pénétration marine serait très faible. Par ailleurs, signalons que LEBBE, pour ses travaux concernant le territoire belge, proche de la frontière française prend pour hypothèse une pénétration de l'eau de mer négligeable (LEBBE, 1983, LEBBE *et al*, 1989).

1/ La présence de sodium dans les sols

Les analyses de sol ne révèlent habituellement, en surface, que des teneurs très minimes de sodium, laissant envisager que ces sols ne sont pas sodiques, ni même alcalins. Mais un certain nombre de comportements montrent que ces sols subissent néanmoins l'influence du sodium:

* la coloration très noire du sol qui est liée, pour, partie à la dispersion de la matière organique,

* en saison humide, la battance importante; celle-ci se manifeste malgré des taux d'argile relativement élevés atteignant parfois 40 %,

* les défauts de structure, qui entraînent l'asphyxie fréquente du sol, et l'apparition de taches de gley dans le labour,

* l'entraînement par l'eau de matériaux fins déstructurés, qui sédimentent dans les drains.

Les analyses de sols réalisées par l'I.N.R.A. (SERVANT *et al*, 1971, 1972 a et b, 1973 a, SERVANT, 1973), ont montré la présence constante de sodium échangeable, de sodium total et de magnésium, même si les quantités mesurées restent faibles. Les teneurs en sodium échangeable dans l'horizon de surface sont généralement faibles, comprises entre 0,10 et 0,25 meq par 100 g de terre. Cependant, quelques résultats montrent des teneurs plus élevées, de 0,30 à 4,20 meq pour 100 g (profils n° 8 et n° 18) D'autre part, la teneur en sodium échangeable augmente rapidement avec la profondeur du profil. (profils n° 7 et 8, S.E.S., n° 166, tableau ci-dessous).

Les tableaux suivants nous indiquent les teneurs les plus élevées, relevées dans la partie supérieure du sol par SERVANT *et al* (1972 b, 1973 a). Ces indications sont représentatives de plus de 70 % des sols des Wateringues.

Etude pédologique dans les Wateringues.
Secteur de Dunkerque - Bergues - Hondschoote - Ghyvelde.
J. SERVANT et B. NAERT, 1972 a
S.E.S. n° 166, I.N.R.A., Montpellier
Zone des Moëres: 'marais'

N° profil	Communes	Profondeur en cm	Teneur en sodium échangeable, meq/100g terre
7	Les Moëres	0 - 15 15 - 35 35 - 65	0,32 0,64 1,58
8	Les Moëres	0 - 20 20 - 50	0,3 1,1
18	Petites Moëres d'Hondschoote	0 - 40	4,20
84	Slinkaert	0 - 30	1,04
111	Ouest Petites Moëres	0 - 30	1,55

Etude pédologique dans les Wateringues
Secteur Guines - Ardres - Audruicq - Bourbourg.
J. SERVANT et J.P. BARTHES, 1972 b.
S.E.S. n° 165, I.N.R.A., Montpellier.
Zone du Calaisis: "plaine"

N° profil	Commune	Profondeur en cm	Teneur en sodium échangeable, meq/100g de terre
90	Guemps	0 - 21	0,93
93	Nouvelle-Eglise	0 - 18	0,41
94	Guemps	0 - 23	0,81
84 bis	Pont d'Ardres	0 - 24	0,39

Etude pédologique dans les Wateringues
Secteur Watten - Bourbourg - Bergues
J. SERVANT et J.P. BARTHES, 1973 a
S.E.S n° 194, I.N.R.A. Montpellier
Zone des estuaires:"marais"

N° profil	Commune	Profondeur en cm	Teneur en sodium échangeable, meq/100g de terre
409	Brouckerque	0 - 25	0,79
436	Bierne	0 - 20	0,34
451	Steene	0 - 30	0,90
460	Pitgam	0 - 20	0,39
474	Looberghe	0 - 20	0,39
477	Pitgam	0 - 15	4,56
479	Pitgam	0 - 25	0,51
487	Looberghe	0 - 15	5,89
507	Holques	0 - 8	0,39
520	Lynck	0 - 27	0,41
523	Cappellebrouck	0 - 20	0,40

D'autres analyses ont été réalisées en 1977 (MASSON, 1979). La valeur moyenne obtenue à partir de 16 sites de prélèvements dans l'horizon 25 - 35 cm est de 0,315 meq par 100 g de terre.

Des analyses, réalisées dans des zones où apparaissent des dépressions de la végétation, montrent une variabilité assez importante de la teneur en sodium dans un rapport de 1 à 4 environ.

Les teneurs indiquées ne correspondent en aucun cas à des seuils de phytotoxicité, mais rendent compte de la dégradation de la structure entraînant l'asphyxie du sol.

Les pH des sols sont souvent proches de 8 ou même supérieurs, et correspondent ainsi aux pH des sols alcalins.

Ces résultats doivent être également relativisés, dans la mesure où, rapporté à la capacité d'échange (T), le taux de sodium échangeable n'excède pas souvent 2 %, et atteint rarement 10 %.

Classes de Na échangeable en % de T	Pourcentage d'observations	
	Horizon de culture	Horizon le plus sodique
moins de 0,5	3	1
0,5- 1	13	2
1 - 2	64	27
2 - 3	14	9
3 - 5	3	26
5 - 10	2	33

SERVANT, 1973

Toutefois, l'observation sur le terrain a permis de constater que les phénomènes de dégradation de la structure des sols étaient important à partir d'une teneur en Na^+ égale à 1 meq/100 g de terre. Cette dégradation se traduit en période pluvieuse humide par un effondrement de la structure (effet de l'eau douce) conduisant à une prise en masse du sol telle que celui-ci devient imperméable à l'eau et à l'air. L'asphyxie du sol provoque l'arrêt de la croissance des plantes cultivées (AYERS *et al*, 1988).

2/ La salinité de la nappe.

La salinité de la nappe a été constatée à partir de nombreuses campagnes de mesures. Plusieurs études ont été réalisées à l'aide de "flûtes de Pan" (piézomètres échelonnés de 1 à 5 m de profondeur). Les mesures montrent une frange superficielle, de 1 à 2 m sous la surface du sol, faiblement salée, de teneur inférieure à 250 mg/l de NaCl; puis une zone intermédiaire, ou zone d'interface comprise entre 2 et 3 m, de montée de la salinité (0,250 à 1 g/l); enfin une zone inférieure au delà de 3 m, ou la teneur en sel s'élève rapidement, avec parfois plus de 10 g/l vers 4 m (FOURRIER, 1979).

3/ Effet du drainage sur la salinité

La qualité des eaux de drainage, que ce soit celles issues des réseaux drains enterrés ou celles des fossés ou des watergands, est modifiée lorsqu'ils fonctionnent (5 à 10 g/l de NaCl vers 2 m de profondeur au droit des drains). La mise en circulation de la nappe salée inférieure aux ouvrages drainants, s'effectue à une profondeur d'autant plus grande que le gradient hydraulique est plus élevé (Hypothèse de HOOGHOUT, Cf Annexe III). Elle aura donc pour effet d'augmenter la salinité de l'eau à proximité des ouvrages drainants, assurant le rejet vers les émissaires d'une eau d'autant plus salée, pouvant dépasser 2 g/l (MASSON, 1978, FOURRIER, 1979).

4/ La salinité des rivières et des émissaires de drainage.

Selon le schéma général d'écoulement, les eaux qui circulent dans les plaines basses maritimes vers la mer ont deux origines. Les unes sont continentales et proviennent des ruisseaux et rivières qui proviennent des versants. Les autres

proviennent de l'excédent des précipitations tombant sur les plaines. Dans la partie ouest des Wateringues (fig. 95, p. 305), les eaux continentales proviennent de l'Aa, de la Hem, de la rivière de Nielles et de quelques ruisseaux de faible importance, ainsi que de la nappe de la craie qui affecte directement le Marais de Guines. Ces eaux ont généralement pour origine la nappe de la craie et contiennent peu de sel (Na^+ : 10 mg/l, Cl^- : 15 à 20 mg/l, VERDEVOYE *et al*, 1979, VERDEVOYE, 1983). Dans la plaine, les eaux provenant des rivières sont généralement canalisées et endiguées; elles s'écoulent à une altitude supérieure aux terres environnantes, et sont rejetées gravitairement à la mer.

Dans la partie est de la plaine, de Watten à la frontière belge, seules quelques "becques" de faible importance s'écoulent à partir du versant argileux tertiaire. L'alimentation en eau douce de cette partie des Wateringues est donc très faible.

Les eaux provenant du drainage généralement par drains enterrés ou par fossés, peuvent être légèrement salées (2 g/l en période de drainage, MASSON, 1978, FOURRIER, 1979). Les émissaires peuvent atteindre des teneurs de l'ordre de 10g/l de NaCl en certaines périodes sèches; ces fortes concentrations sont dues, pour partie à la stagnation des eaux et à l'évaporation.

5/ La notion d'interface

Dans la Plaine maritime des Wateringues, comme dans d'autres plaine maritimes, un phénomène est fréquent: la superposition d'une nappe d'eau douce (1 à 3 m d'épaisseur), alimentée par les pluies, sur la nappe salée profonde. Le contact entre ces eaux - l'interface - se situe en général dans les Wateringues vers 3 m de profondeur. Ce contact est

souvent progressif, en raison d'un mélange partiel des deux nappes, et on détermine ainsi une zone de transition.

La lame d'eau joue évidemment un rôle important pour l'alimentation hydrique des cultures, et il importe de connaître les variations de profondeur de l'interface. Or certains accusent souvent la technique du drainage de modifier le régime de l'interface, et d'écrêter uniquement la lame d'eau douce. Nous donnerons un avis sur ce phénomène dans la suite de ce chapitre.

III - LE FONCTIONNEMENT DU RESEAU HYDRAULIQUE DES WATERINGUES EN RELATION AVEC LE SOL.

Deux systèmes hydrauliques coexistent, dans la Plaine maritime des Wateringues, celui des cours d'eau et des grands exutoires, et celui des réseaux de drainage.

Le premier comprend les principales rivières , les canaux et les portes à la mer.

L'Aa constitue l'axe principal. Les eaux douces provenant en grande partie du bassin amont de ce fleuve sont de bonne qualité (1). Elles sont réservées actuellement au maintien d'un niveau suffisamment élevé pour permettre la navigation. Elles servent aussi à l'alimentation des villes et des industries sur le littoral. Des pertes d'eau, tout au long des canaux, réalimentent partiellement des terres environnantes. Quelques prises d'eau subsistent encore, rattachées à l'ancien système irrigateur. Elles permettent encore aujourd'hui d'alimenter quelques petits secteurs, essentiellement de maraîchage, ou encore les terres tourbeuses des 4ème et 5ème sections des Wateringues du Pas de Calais.

(1) Les teneurs en chlorure s'élèvent à environ 30 à 50 mg de Cl-/l à l'entrée dans les Wateringues. Ces pollutions proviennent de l'amont du bassin, mais aussi des eaux venant du Bassin Minier qui s'écoulent par le canal de Neuffossé. (Cf Schéma d'aménagement des eaux des Wateringues, S.R.A.E., Délégation de Bassin Artois - Picardie, 1988)

Ce système intervient peu dans la réhumectation des Wateringues , dans la mesure où les débits des rivières sont à peine suffisants pour les utilisateurs ayant priorité sur l'agriculture (1). Le système des irrigateurs a quasiment disparu, et sa réhabilitation ne semble plus envisagée actuellement. Il permettait autrefois la réalimentation très partielle de la nappe en période sèche, l'humidification des sols et l'abreuvement du bétail.

Ce système a souvent été présenté comme permettant de lutter contre la remontée de la nappe salée, et donc contre la salinisation des terres et des rejets de drainage des terres agricoles; ce qui peut être contesté dans la mesure où l'alimentation hydrique des Wateringues est essentiellement pluviale.

Le deuxième système hydraulique comprend les réseaux de drainages, et les stations de pompage, il est alimenté par les pluies. Dans ces régions basses, les pluies provoquent la remontée de la nappe et l'engorgement de la grande majorité des sols qui s'asphyxient et deviennent ainsi impropres aux cultures.

Le drainage par tuyaux débouchant sur des fossés ou sur des collecteurs nécessite également des maîtres fossés ou "watergands", dont le niveau est à une cote égale ou parfois inférieure au niveau de la mer. A l'extrémité des watergands se trouvent des pompes qui remontent l'eau dans les canaux ou rivières qui l'évacuent ensuite gravitairement vers la mer.

Ce système contamine les eaux de rivières par des rejets plus ou moins salés, provoquant parfois de véritables phénomènes de pollution pour les utilisateurs de ces eaux. Celles-ci doivent être alors désalinisées, à partir d'installations de désalinisation.

---

(1) Pour l'agriculture, il reste actuellement en période d'étiage 2 m^3/s d'eau de bonne qualité sur l'Aa, quantité faible rapportée aux 60 000 ha de S.A.U. , compte tenu qu'il n'existe pas de possibilité de stockage (soit 0,2 mm/jour/ha)

IV - LA MAITRISE DE LA SALINITE.

Le contrôle de la salinité peut être abordé à partir d'un certain nombre de mécanismes ou de processus entraînant la circulation ou le stockage du sel.

1/ Le fonctionnement du drainage.

Le drainage par drains enterrés, fossés, émissaires, fonctionne par rabattement de la nappe. L'écoulement de l'eau dans le sol entraîne une mise en mouvement, jusqu'à une profondeur, correspondant à un substrat imperméable, inférieure à l'ouvrage drainant, si ces derniers ne sont pas trop distants l'un de l'autre (distance inférieure à 0,5 m). Dans le cas où il n'existe pas de substrat imperméable proche, la profondeur de la circulation sous les drains est limitée par l'allongement du circuit effectué par l'eau et déterminant une perte de charge, telle que le mouvement de l'eau devient négligeable. (Hypothèse de HOOGHOUDT, Cf Annexe III).

Cette hypothèse est confirmée par les mesures sur la salinité, effectuées à partir de flûtes de Pan. A l'interdrain, la salinité de la nappe ne varie pas beaucoup. Par contre, on observe près du drain une remontée importante de la salinité (5 à 10 g/l de NaCl à 1 m de profondeur sous les drains) due aux filets d'eau qui, ayant atteint la nappe salée, convergent ensuite vers le drain. Ce brassage est fonction de la mise en charge du drainage. C'est cette mise en charge qui est responsable pour partie de la salinité des eaux de drainage.

A l'idée courante d'un simple écrêtement de la nappe d'eau douce, il convient donc de substituer celle d'un mécanisme plus dynamique qui conduit à brasser, au niveau de l'interface, une partie de l'eau douce météorique avec de l'eau salée. C'est de ce mélange que provient le sel rejeté

par les drains. Ce brassage implique également une désalinisation partielle de la nappe salée.

2/ Le lessivage du sel

Le lessivage du sel dans les sols des Wateringues, est une notion assez mal comprise par l'ensemble des aménageurs, parce que les rejets de drainage sont salés (1 à 3 g/l de NaCl), et, qu'à l'image du drainage agricole, est associé l'idée d'un drainage de la nappe d'eau douce superficielle, suivi d'une remontée de la nappe salée alimentée par la mer, pouvant favoriser une salinisation du sol. Cependant, plusieurs arguments s'opposent à cette vue. Le drainage est une technique pouvant dessaler le milieu. Il assure en effet le lessivage des sels, lors des précipitations, jusqu'à la profondeur des drains, et cela, par l'ensemble des précipitations annuelles, hormis la quantité nécessaire pour rétablir, sur l'épaisseur d'environ 0,8 m à 1 m, la réserve en eau du sol.

L'absence de drainage, s'il n'écrête pas la lame d'eau douce ne permet pas non plus le lessivage du sol et l'entraînement du sel par le drainage.

Le drainage est particulièrement utilisé dans les régions chaudes où l'accumulation du sel est provoquée soit par la remontée capillaire, soit par l'apport de sel lors des irrigations (AYERS *et al*, 1988).

L'argument du lessivage obtenu par drainage naturel ou artificiel des sols est conforté par la sodicité généralement très faible du sol, souvent inférieure à 1 meq Na^+/100 g de terre.

L'accélération du lessivage du sodium est favorisé par le déplacement de l'ion sodium par l'ion calcium, avec apport de gypse ($Ca\ SO_4\ nH_2O$). Cette technique est utilisée notamment en Belgique et en Hollande.

Elle permet de rétablir l'équilibre ionique du complexe adsorbant tel que ce rapport:

$$\frac{Ca}{K + Na + Mg}$$ soit supérieur à 5,33 (GAUCHER 1968)

Dans les Wateringues, les apports de calcium sont utiles, même si les analyses de sols révèlent des réserves en calcium, car le calcium analysé peut être issu des débris de coquillages très peu solubles dans la nature. Comme il a été explicité au chapitre III, II• partie (p. 154), la structure des sols est plus stable à l'Ouest de l'Aa, vers la zone du marais, soumis aux apports de carbonate de calcium soluble de la craie, issus de la nappe artésienne, et des rivières. Elle est moins stable ailleurs et surtout à l'Est de l'Aa, dans le secteur où la majeure partie des carbonates de calcium sont constitués presqu'intégralement de débris coquilliers. On constate aussi, que dans le marais de Guines, où la stabilité structurale est la meilleure, les teneurs en sodium sont moins élevées. Ces valeurs sont équivalentes à celles du Marquenterre (inférieure à 0,2 meq de Na• %), secteur soumis à l'influence de ruisseaux provenant de collines à substrat crayeux, où les problèmes de structure sont moindres.

La déstabilisation des agrégats se produit en période humide par apport d'eau douce venant entourer les ions Na• et faisant augmenter la pression dans les agrégats. On observe, dans les wateringues, vers octobre, novembre, que les mottes de terre fondent littéralement et ne laissent plus la place qu'à une surface plane et glacée alors que les textures varient de 15 à 40 % d'argile.

3/ Les inondations par l'eau de mer.

Des inondations stratégiques ont eu lieu lors des deux dernières guerres, mais nous n'avons pu en apprécier les effets. En revanche, nous avons eu l'opportunité de nous intéresser à deux inondations d'eau de mer, intervenues respectivement à Cucq dans les Bas Champs et à Loon-Plage dans les Wateringues.

Dans le secteur de Cucq une rupture de digue s'est produite en 1984 sur l'Authie en période de grande marée. Le sol est devenu glacé en surface, quelques temps après l'inondation, avec fermeture superficielle de la porosité, et destruction des cultures. Les résultats d'analyses ont donné une conductibilité électrique, en terre salée de 2,8 millimhos, et de 0,4 millimhos en terre non touchée par l'inondation (résultats transmis par la Chambre d'Agriculture du Pas-de-Calais). Pour les différentes cultures à implanter, les seuils de phytotoxicité sont les suivants: Maïs: 2,5 millimhos, blé: 7,4 millimhos, betterave: 8,7 millimhos, orge: 10 millmhos/an. Sauf pour le maïs, le risque de phytotoxicité n'est donc pas à craindre. Par contre, la structure risque d'être partout dégradée, et le sol asphyxié.

La solution proposée vise à chasser le sodium du sol par apport de gypse et ensuite par drainage.

Après quelques hésitations devant une méthode qui leur parait nouvelle, un certain nombre d'exploitants a accepté l'essai de cette solution en période hivernale.

Des essais comparatifs sur culture de maïs réalisés par les agriculteurs eux-mêmes, sur des terres limono-argileuses montrent en zone gypsée des pieds, d'allure correcte pour la saison (juin), de 0,5m de haut, un sol structuré et ressuyé. A l'inverse, en zone non traitée des pieds de 0,1m, un profil de sol fermé, glacé en surface,

imperméabilisé et gorgé d'eau. L'ouverture à la bêche dans l'horizon de labour montre des poches d'eau qui ne peuvent se drainer.

Dans le secteur de Loon-Plage, une rupture accidentelle de la digue du Port Autonome s'est produite en 1985. L'eau de mer a stagné plusieurs jours sur les terres agricoles, provoquant la destruction complète de la végétation (céréales, betteraves).

Les premiers échantillons prélevés dans l'horizon de labours, après l'inondation, par Mr RAVERDY, Ingénieur Expert, montrent les résultats suivants:

ANALYSES DU 24/09/85 (Mr RAVERDY) I.N.R.A.
Sols sablo-limono-argileux (prélèvement 0 - 25 cm)

Paramètres \ Sites	1	2	3	4	5	6
Sodium soluble meq/100 g	3,3	4,7	2,2	2,2	2,4	3,4
Conductibilité totale - mmhos/cm	0,8	1,27	0,7	0,7	0,5	0,8

La sodicité mesurée y est plus importante qu'à Cucq.

Les mêmes remèdes sont appliqués avec toutefois des doses de gypse plus importantes, de l'ordre de 10 à 12 T/ha

La situation est plus difficile à rétablir dans la mesure où le drainage de cette zone est compromis par manque d'entretien du réseau hydraulique. Les cultures se rétablissent avec des pertes de rendement atteignant 40 %, dès la première année de gypsage. Il faudra dans certains secteurs limités, difficiles, plusieurs années (3 à 5 ans) pour obtenir à nouveau des rendements d'un niveau équivalent à ceux existant avant l'inondation.

Il apparait par ailleurs que l'apport de gypse ne doive pas forcément être très important, ceci en raison de la solubilité du produit et des hauteurs de précipitations qui n'autorisent qu'une dissolution de 2 T par an et par hectare.

L'effet du traitement est malgré tout immédiat, et le mélange du gypse et de la terre dans le labour entraîne un effet rapide sur cet horizon, ce que montre les analyses effectuées sur les échantillons prélevés par le S.R.A.E., sur le site de Loon-Plage (échantillons A, B, C, D, prélevés dans les secteurs inondés, échantillon T prélevé dans une zone témoin non inondée).

PRELEVEMENTS DU 4/10/85: S.R.A.E. (analyses I.N.R.A. Arras)

Sites / Paramètres	A		B	C		D		T
Profondeur (cm)	0-20	20-40	0-20	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20
Ph eau	8,5	8,9	8	7,9	8,6	8,8	8,2	8,1
Na^+ ech. meq/100g	3,9	1,0	0,9	2,4	0,1	2,3	2,2	0,2
Na^+ soluble meq/100g	3,3	0,9	0,8	2,0	0,1	1,3	2,0	0,1
Conductibilité mmhos/cm	0,7	0,3	0,3	0,6	0,1	0,3	0,8	0,1

PRELEVEMENTS DU 20/12/85: S.R.A.E. (analyses I.N.R.A. Arras)

Sites / Paramètres	A		B	C		D		T
Profondeur (cm)	0-20	20-40	0-20	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20
Ph eau	8,1	8,3		8,05	8,5	8,9	9,3	
Na^+ ech. meq/100g	1,0	0,4		1,6	0,5	1,6	2,8	
Na^+ soluble meq/100g	0,8	0,2		1,4	0,3	1,2	2,2	
Conductibilité mmhos/cm	0,4	0,1		0,9	0,2	0,2	0,4	

PRELEVEMENTS DU 29/01/86: S.R.A.E. (analyses I.N.R.A. Arras)

Sites / Paramètres	A		B	C		D		T
Profondeur (cm)	0-20	20-40	0-20	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20
Ph eau	7,8	8,6		8,1	7,6	9,1	9,0	
Na^+ ech. meq/100g	0,4	0,7		1,2	0,9	1,8	3,5	
Na^+ soluble meq/100g	0,3	0,5		1,0	0,8	1,1	2,5	
Conductibilité mmhos/cm	0,3	0,2		0,5	0,9	0,2	0,5	

LEFEVRE *et al* (1980) signalent que le lessivage ne peut à lui seul améliorer totalement la structure du sol et préconise aussi le gypsage pour favoriser la désalinisation.

Il le propose aussi à la suite des récentes inondations de Cayeux en 1990.

4/ Les portes à la mer

Indépendamment des inondations par rupture de digue, la salinisation du sol peut avoir pour origine l'état défaillant du système hydraulique qui n'assure plus vis à vis de l'eau de mer une circulation en sens unique, allant des sols vers la mer (DON TRAN *et al*, 1986).

Le délabrement de certaines "portes à la mer"(1) a plusieurs fois été invoqué pour expliquer le retour de l'eau salée très loin à l'intérieur des terres, par l'intermédiaire du réseau hydraulique.

Une étude réalisée dans le Marquenterre (MASSON *et al*, 1987) a permis d'illustrer ce genre d'accident (fig. 99) Les teneurs en Cl^-, dans les émissaires et rivières, atteignaient 5000 mg/l à 2 km à l'intérieur des terres, alors que les teneurs habituelles constatées étaient de 100 mg/l de Cl^-.

5/ La spécialisation des exutoires.

L'évacuation des eaux salées issues des réseaux de drainage peut entraîner la contamination de l'eau de surface, de très bonne qualité, provenant des versants. Celle-ci est nécessaire aux industries littorales dont les exigences de qualité sont même supérieures à celles demandées pour l'eau potable.

La solution adoptée actuellement dans la Plaine maritime des Wateringues est la gestion à la fois quantitative et qualitative des eaux. Dans ce but le rejet des eaux les plus salées est généralement effectué par des émissaires spécifiques de façon à ne pas contaminer les eaux de meilleure qualité. Par ailleurs, dans les rivières et les canaux acheminant l'eau douce, des dispositions sont prises, en cas de précipitations importantes, pour arrêter les rejets de

(1) Portes barrant les cours d'eau à marée haute et empêchant la mer d'avancer dans les terres.

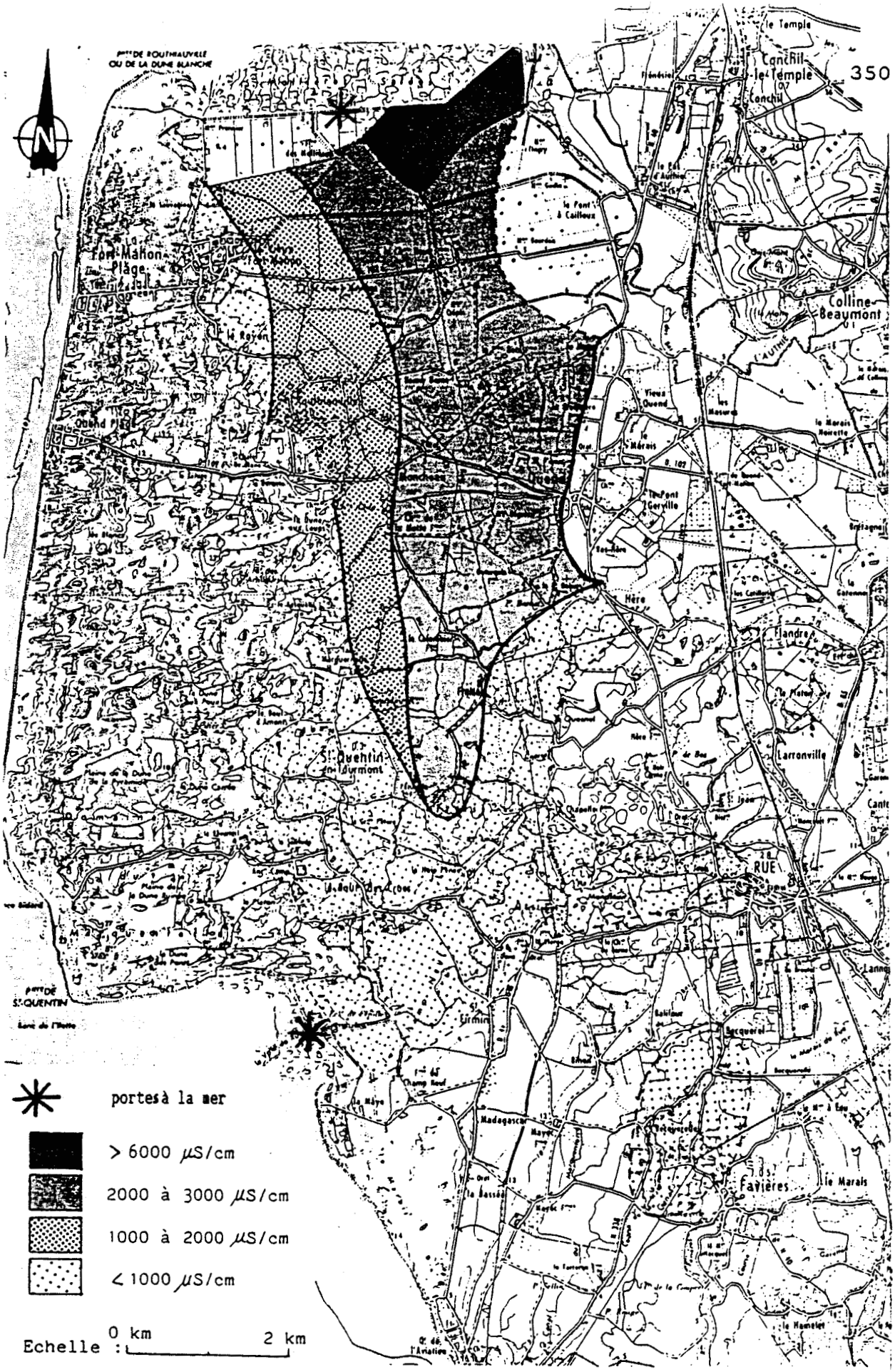


Fig. 99 : Entrée de l'eau salée dans le Marquenterre à partir de la Porte à la Mer située au Nord. Conductivité des eaux de surface. (Mesures des 5 et 23 juin 1986, réalisées par P. VERDEVOYE, S.R.A.E. Nord - Pas-de-Calais). (MASSON et al. 1987)

drainage, faisant monter la salinité des eaux de ces rivières ou canaux au niveau des "prises d'eau"(1) industrielles.

6/ Les "brulins", zones stériles ou de végétation clairsemée.

Les "brulins" observés par les exploitants ont parfois été attribués, par erreur, au sel présent dans le sol. Ils se manifestent dans les cultures par des "ronds" ou des zones bien délimitées de végétation clairsemée ne parvenant pas à maturité. Ils sont caractérisés par un bon démarrage de la végétation et puis par un arrêt brutal de la croissance, suivi de la mort des plantes, dans les cas les plus graves. Parfois, des observations ponctuelles avaient été interprétées comme étant le résultat d'un excès de sel.

Ces phénomènes s'observaient autrefois dans les secteurs assainis par les réseaux de fossés. Ils étaient limités en dimension par l'étroitesse des parcelles et l'impact des fossés pouvant intervenir éventuellement comme irrigateur.

Une campagne d'observations, par sondages à la tarière sur 4 000 ha dans les Wateringues orientales durant l'été 1989 (MASSON, inédit) a permis de mettre en évidence une relation très nette entre des sols peu épais sur sable, et la présence de brulins. Dans cette région, la résistance au dessèchement dépend de la réserve en eau du sol, elle même fonction de l'épaisseur de limon argileux ou d'argile limoneuse reposant sur les sables.

(1) Prise d'eau: site et installation de prélèvement d'eau dans un canal ou une rivière.

V - BILAN DE LA SALINITE.

L'approche que nous pouvons faire sur l'origine et l'équilibre de la salinité, dans les Wateringues, est sans doute incomplète et imprécise, mais elle permet d'estimer les risques de salinisation des sols à long terme. Avant d'esquisser une nouvelle formulation de ce problème, nous rappelons différentes références et propositions présentées antérieurement:

- L'étude des restitutions des eaux de drainage (MASSON 1978, FOURRIER 1979) montre que le brassage de la nappe salée entraîne l'évacuation dans les collecteurs et les pompages d'eaux pouvant atteindre assez régulièrement des teneurs de l'ordre de 1 à 3 g/l de NaCl. Il apparait donc un rejet de sel vers les émissaires dû à l'apport de la nappe salée inférieure.

- L' étude de la nappe salée des Moëres faisait apparaître une teneur en sel à l'interface de 2,5 g/l de NaCl, vers 2m de profondeur: (FOURRIER *et al*, 1984)

- MERCIER *et al* (1988) présentent pour la Plaine maritime des Wateringues un modèle d'évaporation par cheminée capillaire salant progressivement le sol en certains points. Dans leur hypothèse, le bilan du sel apparait positif (augmentation de la teneur en sel dans les sols) dans la mesure où ils attribuent au drainage l'élimination de la nappe d'eau douce (BACROT *et al*, 1985, 1986) compensé par la nappe salée en communication avec la mer.

- Les études réalisées, dans les Wateringues, pour le compte du S.R.A.E. Nord-Pas-de-Calais par l'U.S.T.L. (MANIA et MEENS, 1980, 1984, MEENS, 1980) indiquent que la généralisation du drainage agricole à partir des systèmes de drains

enterrés, watergands et pompes, accentue la salure des eaux rejetées dans les canaux. Ces études restent toutefois théoriques avec des exemples de la teneur à l'interface de 36 g/l de NaCl (valeur théorique), alors que les prélèvements réalisés dans les flûtes de pan montrent des valeurs nettement inférieures (5 à 10 g/l) (FOURRIER, 1979) en période de drainage intense.

- Dans son livre "Les Wateringues du Nord de la France" G. DELAINE (1969) présente un bilan hydrologique en vue de déterminer les besoins en eau de cette région (cultures et maintien de la nappe d'eau douce). Il conclut à un déficit et à la nécessité, en période estivale, de maintenir en charge les watergands avec de l'eau douce, pour assurer une lame d'eau douce au dessus de l'eau salée. Cependant son calcul néglige certains éléments (brassage de la nappe salée avec l'eau douce superficielle) et sous estime nettement la capacité de rétention du sol qu'il limite à 6 %.

Ces approches sont partielles et méritent d'être approfondies à partir d'un nouvel essai de bilan hydrologique, présenté ci-après.

La pluie P annuelle moyenne est égale à 641 mm. L'évapotranspiration potentielle (E.T.P.) a été calculée dans différentes études (DARVES BORNOZ *et al*, 1966) et notamment dans "l'étude sur les besoins en eau des Wateringues" (VILLAIN *et al*, 1980). Cette étude montre qu'il existe en période estivale un déficit hydrique qui peut être compensé par une irrigation d'appoint ou une irrigation capillaire.

La réserve en eau peut être estimée entre 50 et 100 mm suivant l'épaisseur du sol, sa teneur en éléments fins et les possibilités de remontée capillaire. C'est cette réserve

du sol, qui, jouant le rôle de réservoir tampon, permet l'alimentation des plantes en période estivale. Le déficit est généralement peu important, ainsi que la sollicitation de la nappe salée inférieure. La remontée capillaire est d'autant plus faible que dans de nombreux cas la présence de sable ou de tourbe au niveau inférieur empêche cette remontée. Si le sol est peu épais, on constate le déficit de consommation d'eau et de croissance des plantes cultivées, ce qui survient fréquemment en zone de brulins où l'horizon supérieur limono argileux est de faible épaisseur.

VILLAIN (1980)indique qu'en l'absence de mesure l'évapotranspiration réelle (E.T.R.) pourrait être estimée à 0,8 E.T.P.

Si E.T.P. = 518 mm , E.T.R. = 414 mm.

La fourchette de la restitution des drainages peut être estimée de 216 mm. En effet les stations de pompages refoulant les eaux de drainage sont calculées pour 1,2 l/s/ha et fonctionnent entre 500 et 700 heures.

Comme l'eau n'est pas pompée partout dans les Wateringues, et que le débit nominal des pompes n'est pas toujours respecté (en raison de la hauteur variable de la nappe et du réglage des niveaux de pompage), on retiendra le bas de la fourchette de la hauteur d'eau rejetée, soit 216 mm.

La balance des apports et des consommations d'eau douce et d'eau salée est la suivante :

Apport (en mm)		Consommation d'eau (en mm)	
Pluie	641	E.T.R.	414
		Drainage	216
Total	641		630

La balance des apports et consommation d'eau apparait à peu près équilibrée selon ces hypothèses, et même légèrement excédentaire.

Au niveau du bilan du sel par contre la balance est déficitaire. L'injection d'eau douce par brassage dans la nappe salée peut être estimée de la façon suivante: Compte tenu de la salinité des eaux de drainage à 2 g/l pour un interface à 10 g/l, (valeurs approchées à partir des différentes études sur la salinité réalisée par le S.R.A.E.). On extrait, par drainage, 216 mm d'eau à 2 g/l de sel, ce qui équivaut à 43 mm d'eau salée à 10 g/l échangé contre la même quantité d'eau douce.

La balance s'écrit ainsi

Apport d'eau douce (en mm)		Consommation d'eau douce (en mm)	
Pluie	641	E.T.R.	414
		Drainage	216 - 43
Total	641		587

Soit un surplus annuel d'eau douce de 54 mm, ce qui indiquerait une désalinisation lente et progressive des sols de la plaine maritime.

Ce bilan peut apparaître approximatif, compte tenu de la marge d'erreur possible, mais plusieurs arguments peuvent le conforter:

1/ Dans l'hypothèse d'une réalimentation importante de la nappe des Wateringues, à partir de la mer, les pompages, rejetant les

réseaux de drainage, seraient plus conséquents et la somme E.T.R. et drainage dépasserait nettement la somme des précipitations. Dans ce cas, la faible épaisseur de la lame d'eau douce serait rapidement épuisée et nous aurions un bilan déséquilibré avec une salinisation rapide, qui ne s'est pas produite jusqu'à ce jour.

L'étude des ressources en eau des Wateringues confirme d'ailleurs que les rentrées d'eau de mer seraient relativement négligeables (SOGREAH, 1970), ce qui plaide en faveur du bilan que nous avons proposé.

2/ Un autre argument tient au fait que les réseaux de drainage ne sont pas généralisés sur l'ensemble de la plaine. Nous pouvons aussi considérer que les anciens réseaux de fossés étaient, au moins, aussi profonds et efficaces que les drains enterrés qui n'atteignent malheureusement pas toujours la profondeur minimale de 0,8m, sous la surface du sol. (Seule l'observation durant ces dernières décennies d'anciens systèmes non entretenus a pu faire croire à un drainage moins performant que celui réalisé actuellement). Ces réseaux de fossés n'ont cependant pas entraîné sur de longues périodes de phénomènes de salinisation.

Les systèmes de drainage et de pompage modernes ne sont vraisemblablement pas plus performants que les systèmes anciens qui n'ont pas déséquilibré l'état du sol et de la nappe en entraînant leur salinisation.

3/ Si nous examinons les altitudes des drains et des plans d'eau de pompages, celles-ci sont presque toujours supérieures au niveau moyen des mers (altitude des drains à 1 m, niveau bas des émissaires à 0,10 m , et niveau moyen à 0,5 m , niveau moyen des mers à 0,54 m , cotes I.G.N. 69). Communication personnelle MULLER, 1990, S.R.A.E. Nord-Pas-de-Calais.

Le niveau des systèmes drainants est rarement inférieur à celui du niveau moyen des mers. Le gradient hydraulique trop faible ou négatif n'indique pas des possibilités importantes de transfert des eaux marines réalimentant ainsi la nappe des Wateringues et entretenant sa salinité.

4/ Dans la zone des Moëres la cote des réseaux de drainage (- 2,2 m I.G.N. 69) est plus basse que le niveau moyen des mers, mais il n'est pas constaté de déséquilibre important, montrant un drainage des eaux marines à partir des réseaux de drains, le gradient hydraulique restant très faible.

5/ Les inondations à l'eau de mer n'ont eu qu'un effet très passager sur la salinité des sols, le sel étant ensuite évacué par drainage.

6/ Les systèmes d'irrigateurs anciens, même s'ils constituaient un appoint utile pour les plantes, ne représentaient dans le bilan hydrologique qu'une quantité faible, relativement négligeable.

7/ Les zones stériles de brulins ne seraient pas des zones salées, mais des zones où les sables empêchent la remontée capillaire et l'utilisation de l'eau par les plantes.

8/ MANIA et MEENS (1980 - 1984) admettent dans leurs études sur la salinité que la remontée de l'interface est la plus grande au niveau des ouvrages drainants, dans le cas où la perméabilité des matériaux supérieurs est la plus importante. Or dans ce cas, l'E.T.R. est la plus faible par manque de remontée capillaire (cas des brulins sableux), ce qui tendrait à augmenter le lessivage du sel et la réserve en eau douce de la nappe.

CONCLUSION.

Il apparait que l'équilibre du système eau/sel n'est pas compromis par le drainage agricole , et que même s'il existe un déséquilibre, celui-ci ne peut être très important.

Il subsiste bien une faible teneur en sel dans les sols des Wateringues, celle-ci étant moindre dans les autres plaines maritimes (Bas Champs et Marquenterre).

Les sols sodiques peuvent être améliorés en apportant le cas échéant des apports de calcium sous forme de gypse.

Par ailleurs, dans la gestion des terres agricoles, on constate que le cas des "brulins" ne se rapporte pas à des phénomènes liés au sol; mais à un déficit hydrique dû à l'absence de remontée capillaire.

CHAPITRE V

LIXIVIATION DES ENGRAIS EN TERRE MARAICHERE DANS LE MARAIS DE SAINT-OMER

Ce chapitre, présente quelques résultats obtenus ces dernières années quant à l'entraînement des éléments fertilisant dans les sols portant des cultures maraîchères en zone de marais. Il apporte ainsi des informations sur les transferts d'engrais vers la nappe. Ces données proviennent pour l'essentiel d'essais agronomiques, mis en place en 1983 et 1984, visant à définir des orientations en matière d'apport d'engrais.

Ces travaux s'inscrivent dans la préoccupation générale visant à limiter la pollution des eaux par les nitrates (HENIN, 1981)

Cette pollution est-elle significative? Peut-on suggérer des méthodes la limitant, et déterminer ainsi les possibilités d'aide à la décision à partir de l'étude des sols d'un milieu et des techniques agricoles pratiquées?

Le Marais de Saint-Omer constitue une zone dépressionnaire de marais située sur le cours de l'Aa. Cette zone est relativement sensible aux pollutions d'origines urbaine , industrielle, ou agricole. Le maraîchage nécessitant

l'utilisation intensive de fertilisants, fait partie des origines possibles de cette pollution.

Les mesures réalisées à partir de ce dispositif expérimental ont pour objectifs:

- l'évaluation des pertes en engrais
- la vérification des possibilités de stockage dans la tourbe des trois principaux éléments fertilisants: azote, phosphore et potassium, avec évolution selon la profondeur du sol et dans le temps.

Le suivi est effectué dans le sol et dans la nappe au moyen d'analyses régulièrement réparties au cours de l'année et plus nombreuses en cas d'épisodes pluvieux importants.

I - PRESENTATION DU MARAIS.

Le Marais de Saint-Omer est une zone basse d'altitude comprise entre 3 et 12 m N.G.F.. Il est limité par les Flandres à l'Est, l'Artois à l'Ouest, la ville de Saint-Omer et la forêt de Rihoult Clairmarais au Sud, la forêt d'Eperlecques, le bois du Ham et le goulet de Watten, qui le raccorde à la Plaine maritime, au Nord. Sa superficie est approximativement de 3000 ha, et l'activité agricole couvre environ 83 % de cette surface.

Zone naturelle d'étalement de l'Aa, à la retombée de l'Artois, est marqué par l'omniprésence de l'eau. Il comprend:

- un réseau dense de grands fossés et d'étangs qui alimente le marais à partir de l'Aa, et qui permet en même temps son drainage; il quadrille les parcelles, cultivées le plus souvent en maraîchage.
- d'anciennes tourbières exploitées, transformées en étangs,
- des prairies humides.

Les sols sur alluvions limoneuses de l'Aa comportent des couches tourbeuses. Dans le Marais de Saint-Omer, l'épaisseur des limons est la plus importante dans l'axe du débouché de l'Aa.

Les sols, souvent organiques, particulièrement dans les points les plus bas, sont propices à la culture maraîchère, mais aussi à d'autres utilisations: prairies et espaces naturels.

La mise en valeur agricole du marais est importante, les surfaces agricoles utiles se répartissent ainsi: VAUDOIS et DESCAMPS (U.S.T.L. Géographie 1975).

	Maraîchère	Non maraîchère	Totale	Surface non agricole	Total marais
Surface (en ha)	850,22	1615,46	2465,68	493,48	2959,16
% marais	28,7 %	54,6 %	83,3 %	16,7 %	100 %

Ces données traduisent des situations différentes, avec des prairies à l'Est et au Nord, une zone essentiellement maraîchère à proximité de Saint-Omer et de Clairmarais, une zone mixte, formant une couronne autour de la zone maraîchère.

Le chou-fleur occupe 55 % des surfaces maraîchères, et représente la principale source de revenu des exploitations (fig. 100).

Après les choux-fleurs, cinq légumes forment l'essentiel de la production: l'endive, le poireau, le chou de Bruxelles, le chou et le céleri.

La pluviométrie moyenne est comprise entre 600 et 700 mm et le nombre de jours de pluie varie de 11 à 18 par mois.

Malgré la relative importance du nombre de jours de pluie, une irrigation de complément est souvent nécessaire.

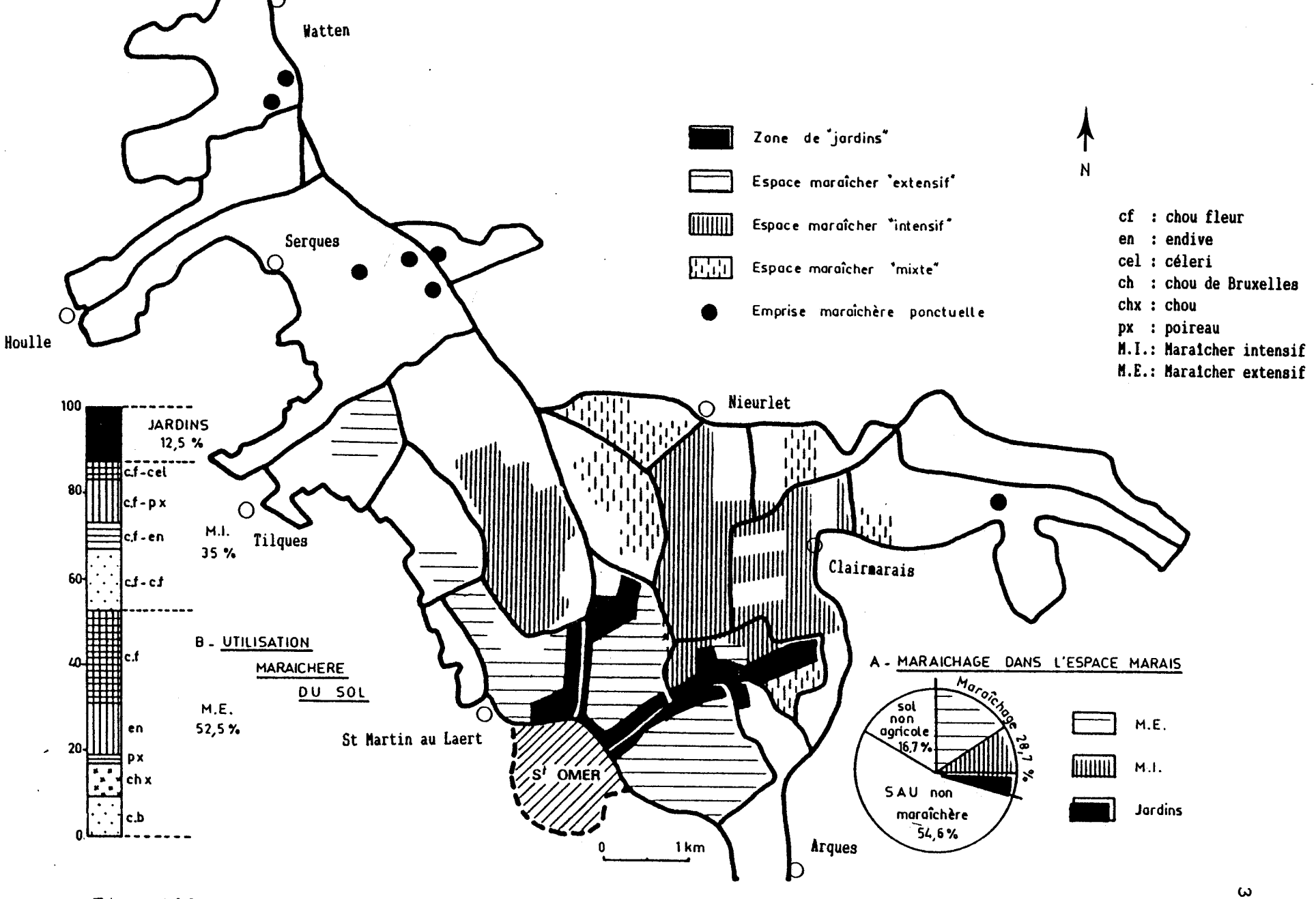


Fig. 100 : Utilisation du sol dans le Marais de Saint Omer (Nord de la France): les espaces maraîchers. (J. VAUDOIS et F. DESCAMPS, 1975)

II - HYDROLOGIE.

La Marais est alimenté par les eaux du bassin-versant de l'Aa, principalement par la basse et la haute Meldyck (bras de l'Aa avant sa canalisation) qui arrivent directement dans le marais.

Trois nappes superposées ont été identifiées, dans des terrains reconnus comme perméables:

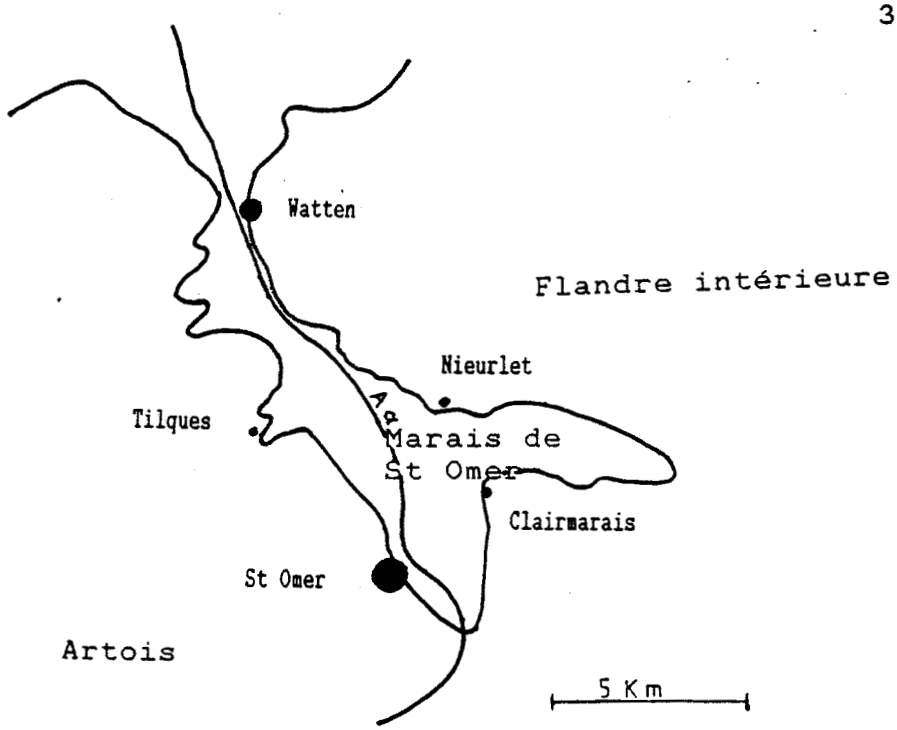
- la nappe superficielle qui nous intéresse ici; elle s'écoule dans les formations tourbeuses et possède une surface libre en relation directe avec les canaux et les rivières.
- la nappe des sables d'Ostricourt,
- la nappe de la craie dont l'eau de bonne qualité, n'approvisionne plus le marais que par le fossé du Moulin, au niveau de Tilques.

III - DESCRIPTION DE LA PARCELLE D'ESSAI.

1/ Situation de la parcelle

La parcelle d'essai est une parcelle classique, subhorizontale, de maraîchage, allongée entre un watergand et un fossé; elle s'étend sur une longueur de 130 m et a une largeur de 6,75 m.

Le niveau de la nappe dépend de la pluviosité et du fonctionnement d'une pompe, qui sert à la maîtriser (fig. 101).



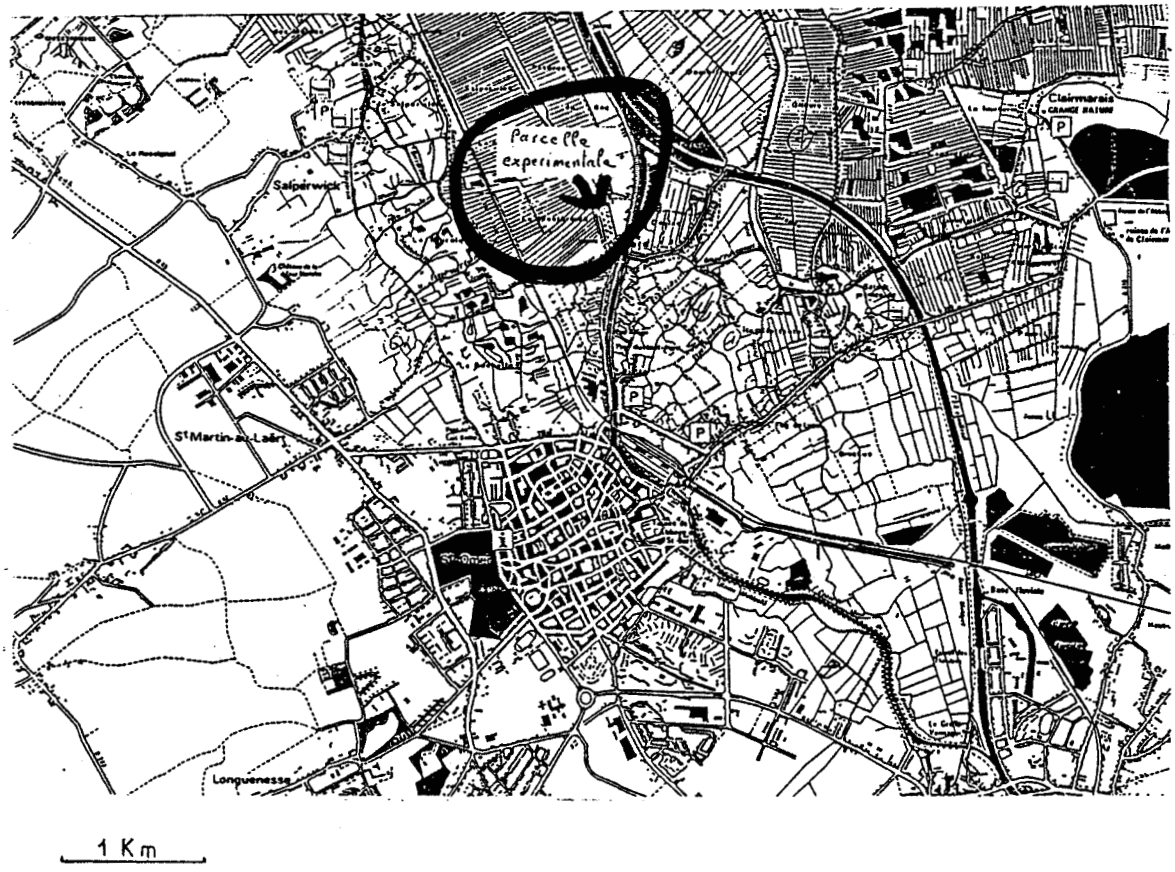


Fig. 101 : Situation géographique de la parcelle expérimentale Marais de Saint-Omer. Nord de la France.

2/ Description du sol

Le sol de la parcelle (fig. 102) présente les caractéristiques suivantes:

- un horizon supérieur limono-sableux, faiblement argileux, d'environ 0,20 m d'épaisseur, humifère, (7 % de matières organiques). Le pH est basique (pH eau: 7,6).

- un horizon limono-sableux sous jacent, (0,20 - 1,40 m) de couleur brun à brun-jaune, avec des traces d'oxydation et de réduction ponctuelles traduisant un léger excès d'eau temporaire dû à la remontée de la nappe. La base de cet horizon est organique et contient des débris de coquilles d'eau douce (planorbes).

- à la base des niveaux tourbeux brun à brun-noir fibreux, avec quelques débris végétaux dans lesquels s'intercalent des niveaux limoneux enrichis en matières organiques.

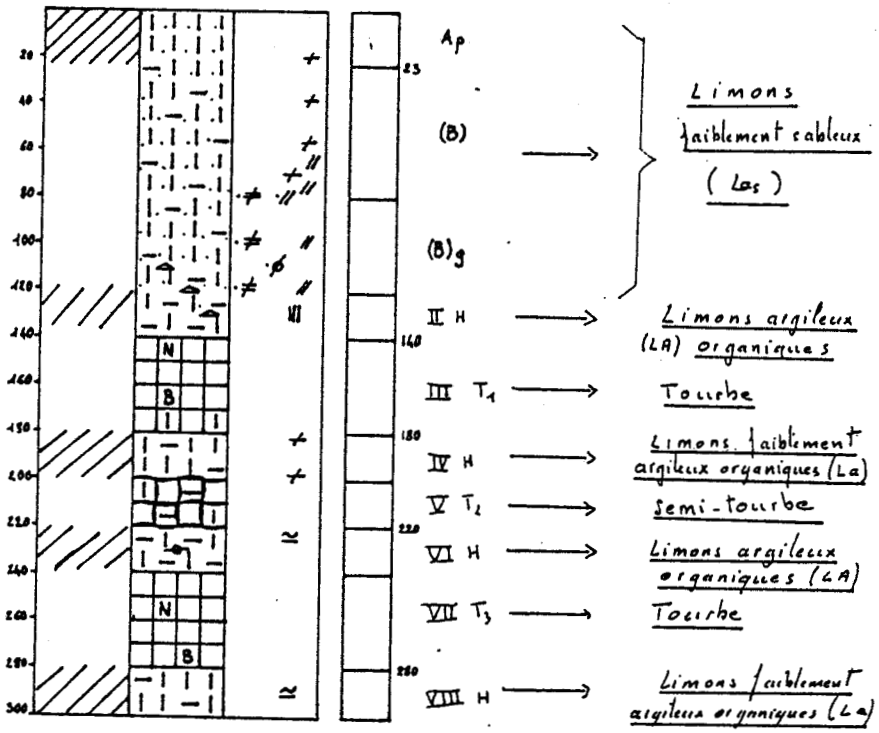
- à partir de 2,20 m de profondeur, se situe le niveau permanent de la nappe, les matériaux sont totalement réduits.

La parcelle n'est pas parfaitement homogène; il existe des variations dans l'épaisseur des dépôts cités ci-dessus.

IV - DISPOSITIF EXPERIMENTAL.

1/ L'essai de fertilisation.

Le plan d'expérience est un essai en bloc de 3 répétitions avec "split plot" dans le but de déterminer les besoins en éléments fertilisants (SCHVARTZ 1984). Le niveau I comprend 3 niveaux de fumure phosphatée et le niveau II, 3 niveaux de fumure azotée (fig. 103). Les choux ont été plantés le 6 juin. La fumure a été réalisée selon le protocole suivant:



Composition des premiers horizons

Profondeur Horizon	Granulométrie ‰ A	L	S	M.O. ‰	PH H_2O	KCl
0-20 cm	98	523	319	70	7,6	7,4
20-40 cm	129	695	176	27	7,8	7,4
40-60 cm	126	675	199	17	8,0	7,7

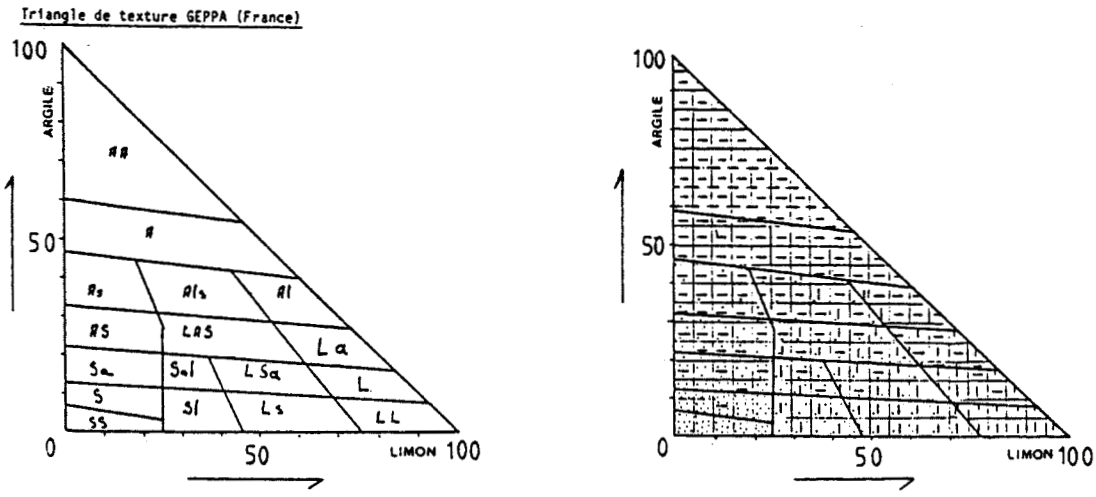
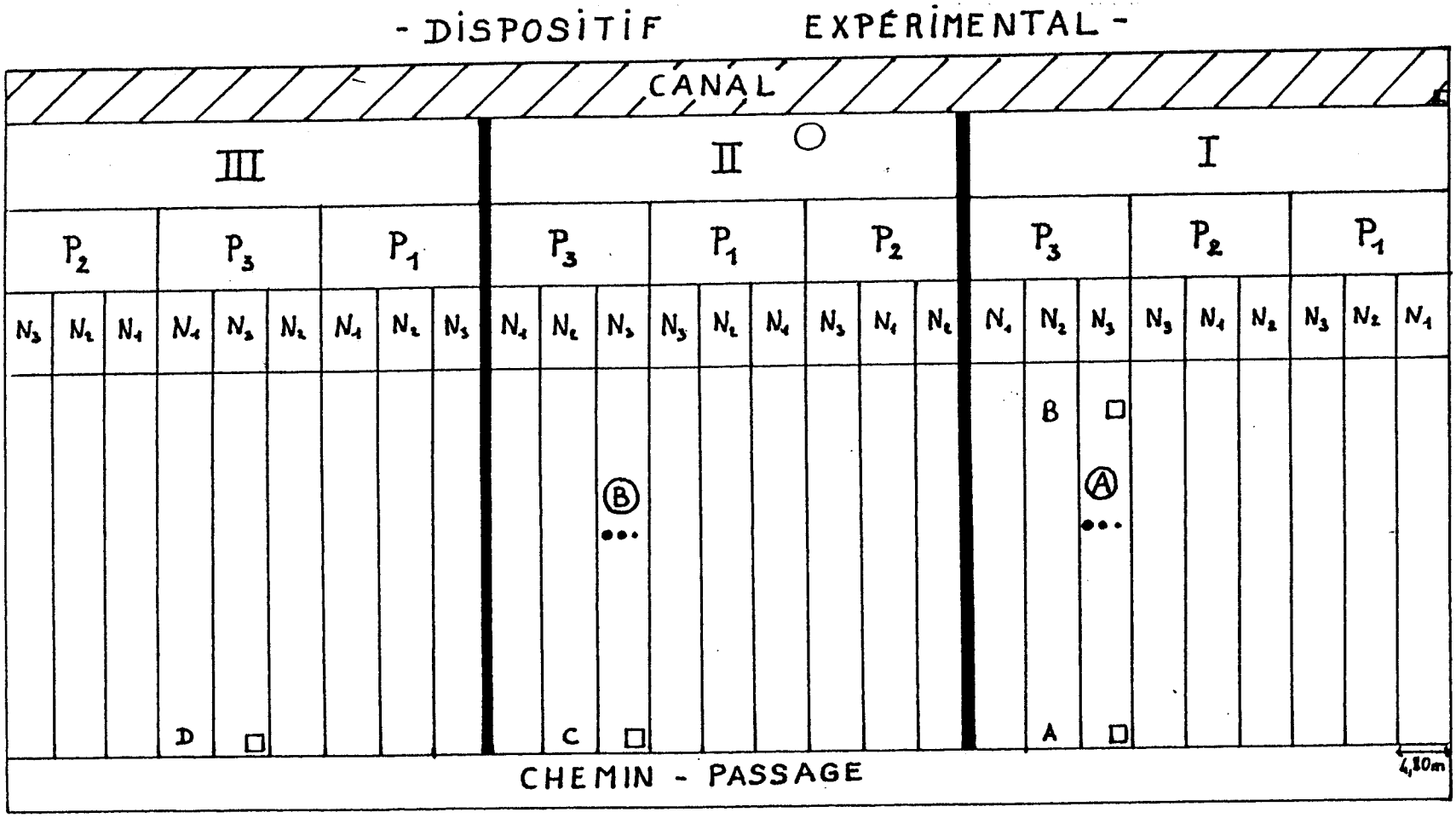


Fig. 102 : Profil du sol de la parcelle expérimentale.

Marais de Saint-Omer. Nord de la France.



□ site de prélèvement de sol

••• Piezomètres

▣ limnigraphe

○ Pluviographe

P_1 = 75 u / ha

P_2 = 110 u / ha

P_3 = 150 u / ha

N_1 = 130 u / ha

N_2 = 190 u / ha

N_3 = 250 u / ha

Fig. 103 : Dispositif expérimental sur la parcelle Marais de Saint-Omer. Nord de la France.

Dispositif en 3 répartitions :

- Traitements principaux, épandage de phosphore:

P1 = 75 u/ha

P2 = 110 u/ha

P3 = 150 u/ha

- Traitements secondaires, épandage d'azote:

N1 = 130 u/ha

N2 = 190 u/ha

N3 = 250 u/ha

- Apport général de 300 unités par hectare de potasse.

P3 et N3 correspondent à la fumure habituellement pratiquée.

Les parcelles qui nous intéressent ici sont celles où ont été épandues les plus fortes doses d'azote et de phosphore soit: 150 u d'anhydride phosphorique et 250 u d'azote.

Le calendrier est le suivant :

INTERVENTIONS	Epandage phosphates potasse	Plantation	Premier épandage d'azote	Deuxième épandage d'azote	Troisième épandage d'azote	Récolte Début/Fin	Labour	Nouvel épandage d'engrais
Dates	1/06	6/06	8/06	27/06	18/07	5/08 5/09	7/04	14/05

2/ Les dispositifs de mesure.

La méthode envisage plusieurs démarches :

- une mesure relative des pertes en engrais solubles à partir d'un dispositif piézométrique permettant des prélèvements d'eau périodiques dans la nappe , ce qui conduit à estimer le mécanisme de ces pertes: lessivage provoqué par la pluie ou le battement de la nappe;

- un bilan des matières fertilisantes de la parcelle à partir de la connaissance des apports et de la mesure des exportations: épandage d'engrais, analyses des éléments fertilisants contenus dans le sol et dans les végétaux exportés;

- une évaluation des possibilités de stockage des éléments fertilisants dans la tourbe à partir d'un sondage profond et le dosage des éléments concernés.

Deux dispositifs ont été installés pour répondre aux deux premiers points.

1°/ Deux séries de piézomètres disposés en "flûtes de Pan" (Cf fig. 104) qui permettent de prélever à trois profondeurs différentes sont implantés sur les plots N3 et P3 des blocs I et II, correspondant aux doses les plus fortes d'azote et de phosphate (fig. 103 p. 367).

La fréquence des prélèvements de la nappe dans le sol est, en moyenne, d'une par semaine, plus en cas d'épisodes pluvieux. Les éléments dosés sont l'azote nitrique, les phosphates, la potasse.

2°/ Sur quatre sites d'échantillonnage du sol d'un m^2 chacun (fig. 105), répartis suivant la disposition notée A, B, C, D sur la figure 103 p. 367, le sol est prélevé en moyenne tous les 15 jours. Trois horizons 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm sont échantillonnés sur chacun des sites. Sur chaque échantillon sont effectués les analyses suivantes:

- azote total (N)
- azote nitrique (NO_3^-)
- azote ammoniacal (NH_4^+)
- phosphore assimilable (P_2O_5, selon la méthode JORET-HEBERT)

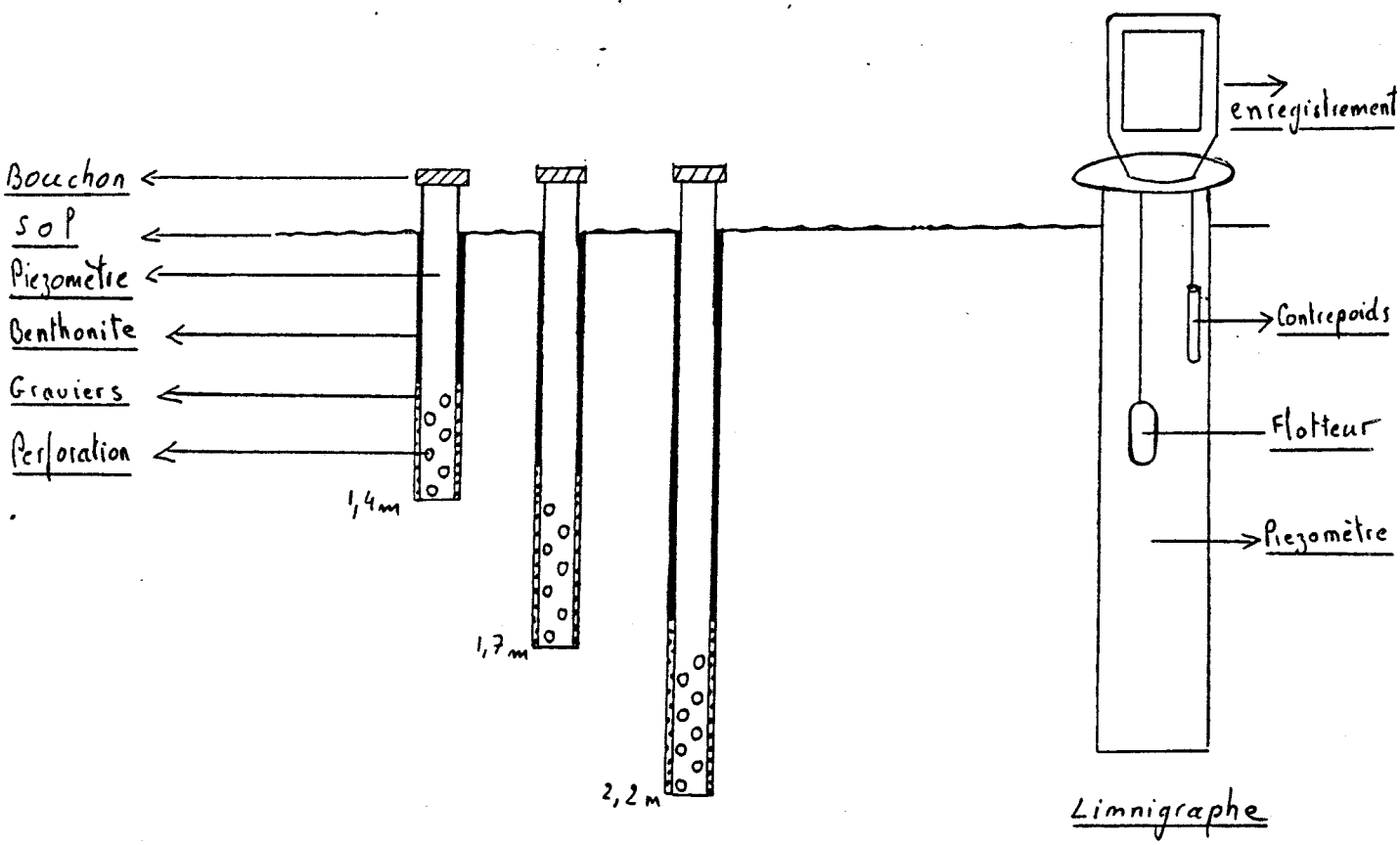


Fig. 104 : Schéma du dispositif en "flûte de Pan".

Marais de Saint-Omer. Nord de la France.

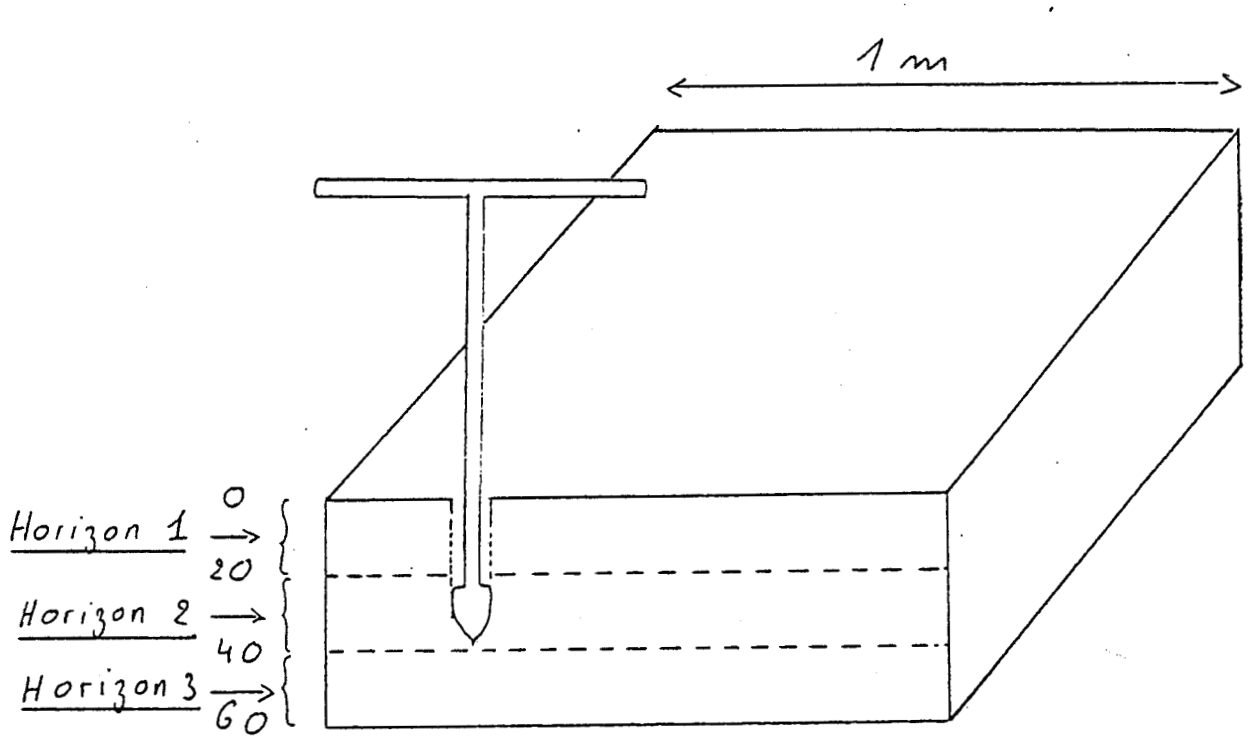


Fig. 105 : Schéma d'un carré de prélèvement des échantillons de sol en vue de la réalisation des analyses. Marais de Saint-Omer. Nord de la France.

- phosphate soluble (à partir du mois d'octobre et avant épandage)
- potasse assimilable (K20)

Ces dispositifs ont été complétés par plusieurs appareils de mesure. Un pluviographe de type "auget basculeur" enregistre les hauteurs de la pluie et également les apports d'irrigation, réalisée par aspersion (fig. 106).

Deux limnigraphes permettent de localiser le niveau de nappe dans le sol et dans le watergand adjacent (fig. 107).

Les températures sont mesurées à la station climatologique de Watten, et données sous forme de valeur moyenne décadaire (fig. 108).

Ces dispositifs permettent de suivre au cours du temps la teneur en N-P-K de l'eau qui sature le sol à différentes profondeurs, d'interpréter les différences de concentration en fonction de facteurs divers (épandage d'engrais, pluies, températures etc...) et donc de mettre en évidence les périodes où la lixiviation est le plus intense.

Le stockage des éléments N-P-K en profondeur dans la tourbe a été estimé à partir de 6 prélèvements à 0, 1, 2, 3, 4 et 5 m sous la surface du sol. Les déterminations suivantes ont été réalisées sur la matériau tourbeux:

- azote total
- azote nitrique
- phosphate assimilable (JORET-HEBERT)
- phosphate soluble à l'eau
- potasse échangeable.

3/ Résultat des mesures.

Les teneurs en azote, phosphore et potassium dans la nappe et dans le sol, sont présentées sous forme de courbes en fonction du temps, ainsi que les valeurs des facteurs

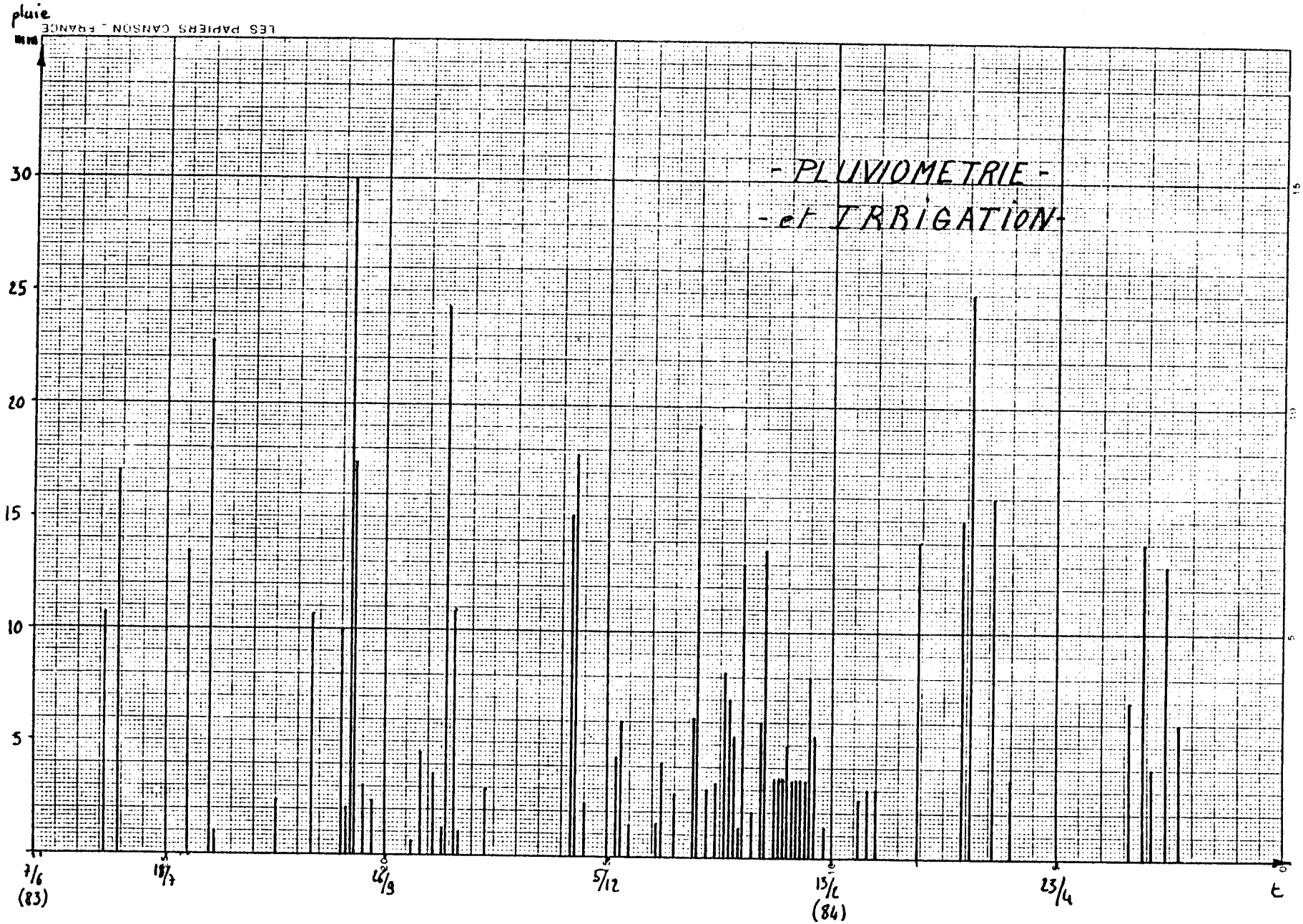


Fig. 106 : Pluviométrie et irrigation par aspersion sur la parcelle expérimentale Marais de Saint Omer. Nord de la France.

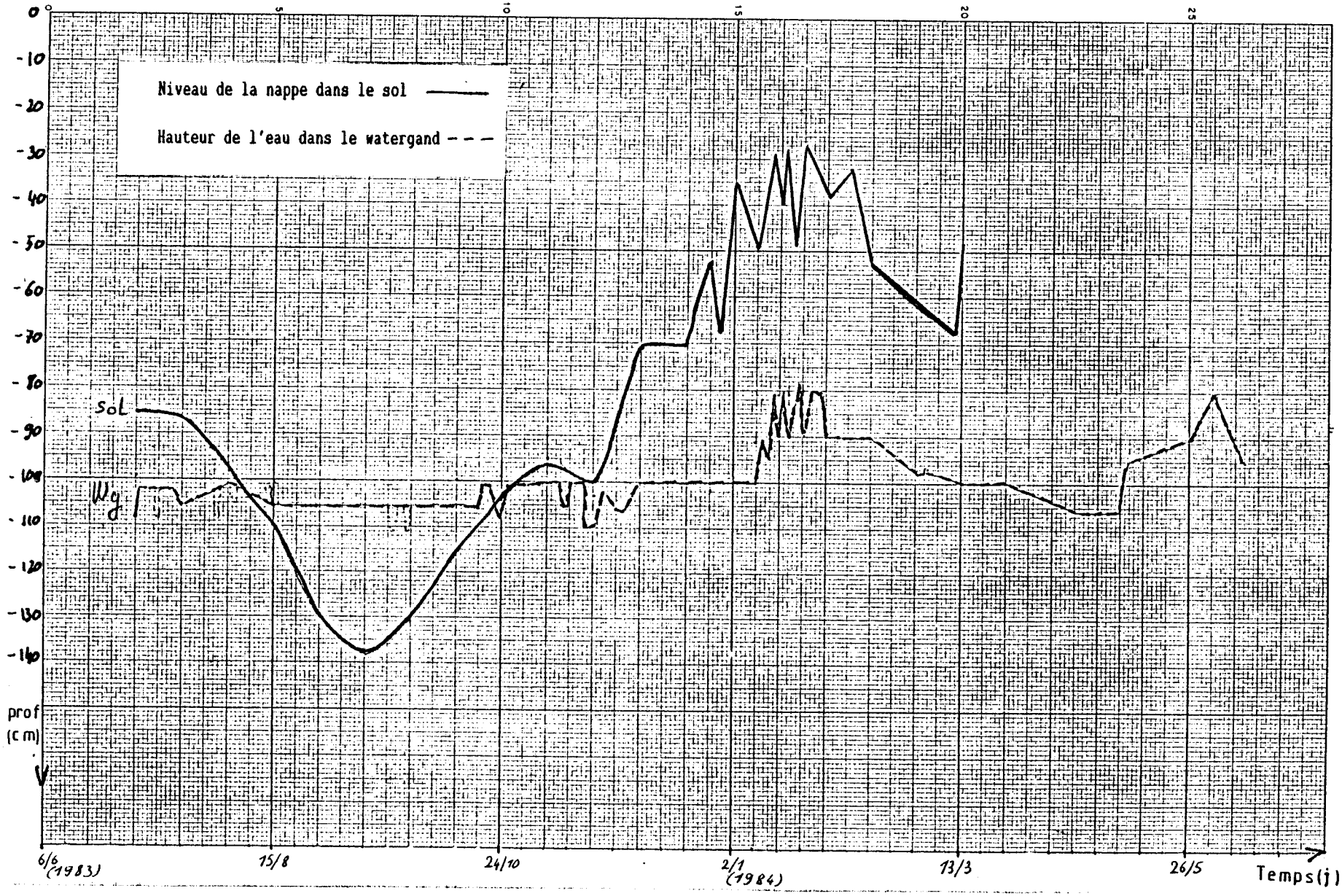


Fig. 107 : Hauteur de la nappe dans le sol et dans le watergand (par rapport à la surface du sol)

Marais de Saint Omer. Nord de la France.

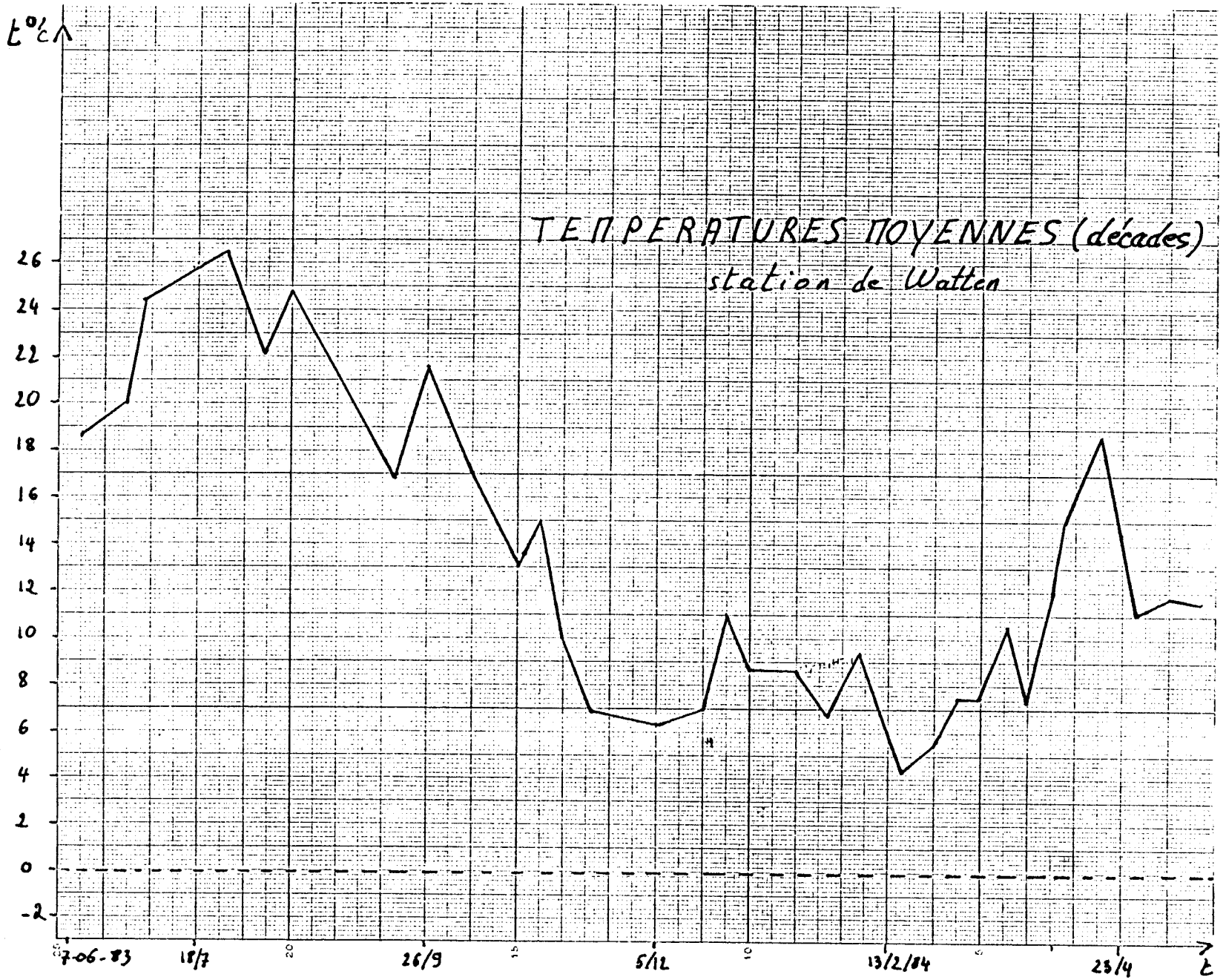


Fig. 108 : Température moyenne décadaire à la Station de Watten. Nord de la France.

conditionnant leur évolution (température, précipitations, hauteur de la nappe). Ces courbes montrent les différentes périodes de variations de ces teneurs.

Evolution des teneurs en nitrates dans le sol.

Les teneurs en nitrates dans l'horizon (0 - 20 cm) sont présentées à la figure 109. Les horizons inférieurs subissent des évolutions moins importantes , étant moins influencés par les épandages et les prélèvements des plantes cultivées; cependant l'évolution des teneurs y suit la même logique.

Les pics 1 et 12, le palier 2 - 3 correspondent aux périodes d'épandage d'engrais. Le pic situé en 5 intervient après la récolte , à la période de minéralisation des résidus de récolte (feuille et racines). Le pic 8 semble résulter d'une augmentation de la température favorisant la minéralisation de l'azote. La période 10 - 11 correspond au labour enfouissant des repousses qui peuvent ainsi minéraliser grâce à une température plus élevée en cette période.

On observe également des diminutions de la teneur qui correspondent à des périodes de consommation d'azote par les choux (2 et 4) ou par les repousses (6). La période 9 correspond à une perte par lessivage: pluie importante, accompagnée d'une augmentation de la teneur de la nappe et des horizons inférieurs du sol.

Evolution des teneurs en nitrates dans la nappe.

Dans la nappe, les teneurs restent faibles jusqu'en décembre. On peut émettre l'hypothèse que le stock d'engrais azotés correspond au besoin des choux-fleurs et qu'une part des nitrates a pu être réorganisée par la flore du sol.

Sur le graphe (fig. 110) l'augmentation de nitrate dans la nappe débute après le 26/12, à une période de forte pluie où le sol est déjà saturé; la montée du niveau sur les

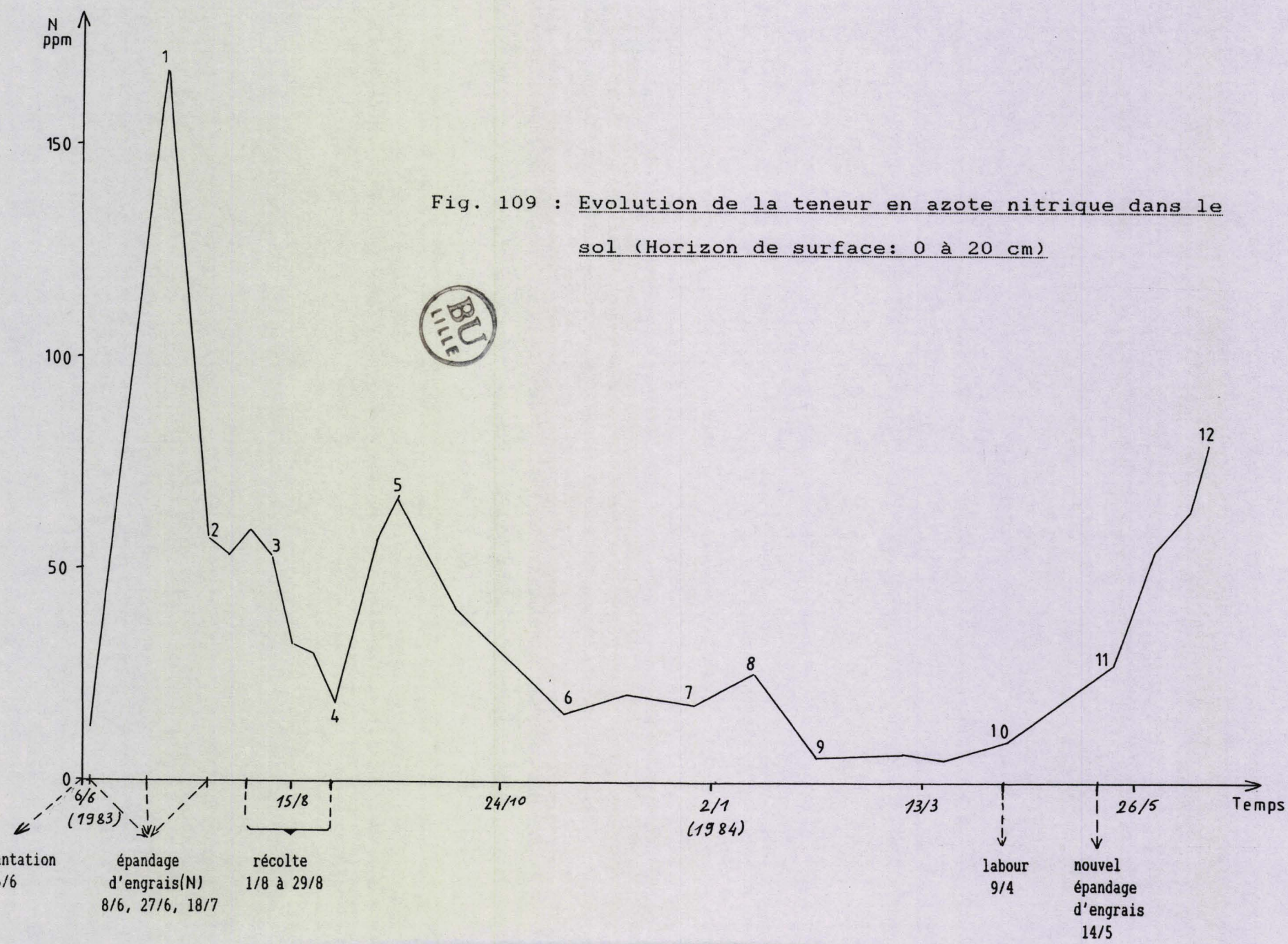


Fig. 109 : Evolution de la teneur en azote nitrique dans le sol (Horizon de surface: 0 à 20 cm)

BU LILLE

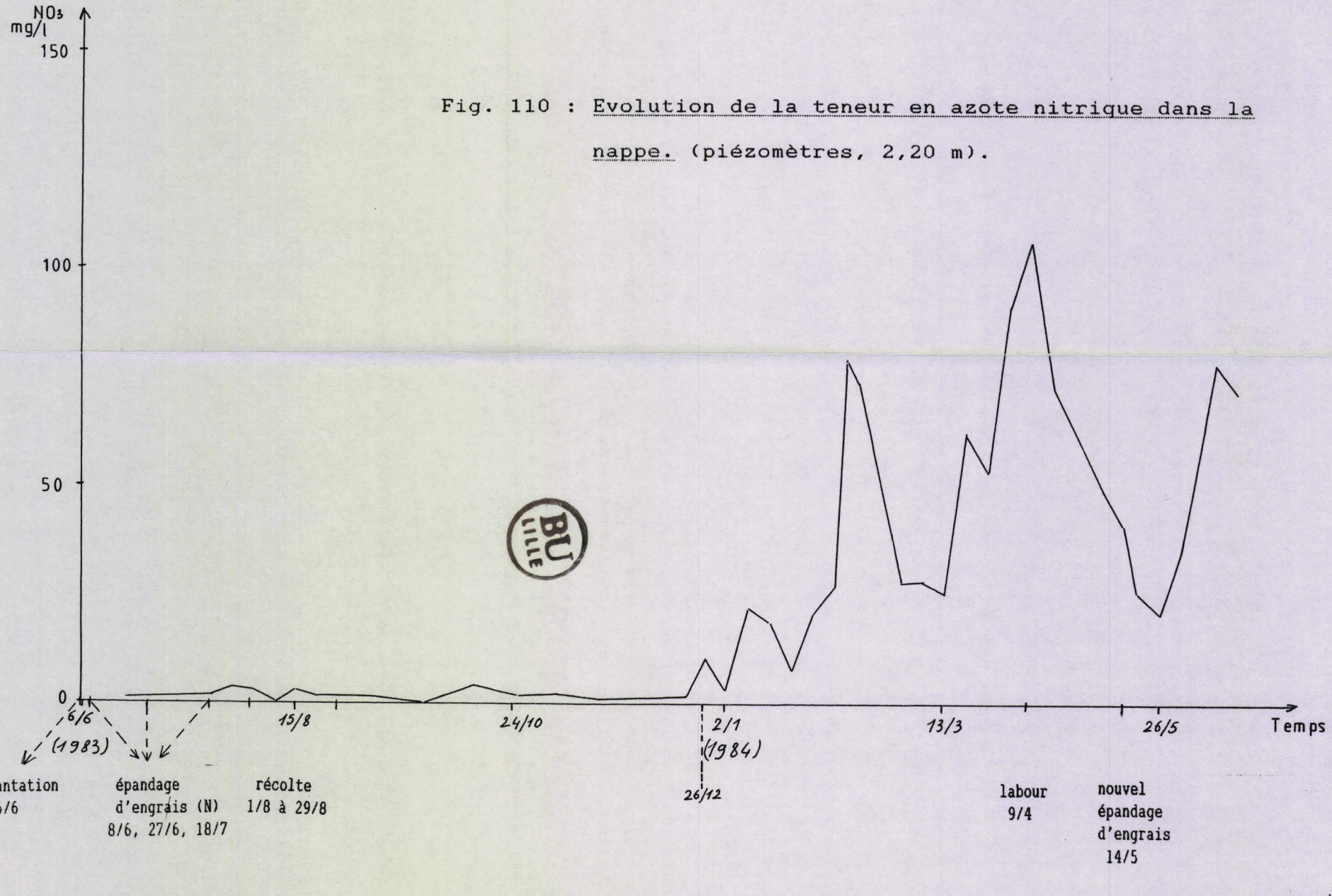


Fig. 110 : Evolution de la teneur en azote nitrique dans la nappe. (piézomètres, 2,20 m).

BU LILLE

limnigrammes est toujours immédiate. L'augmentation des nitrates dans la nappe correspond dans le sol au lessivage des éléments azotés. Elle est parallèle à l'accroissement des teneurs en nitrate dans l'eau du watergand. Les fortes pluies du mois de mai 1984 entraînent la migration des engrais épandus au début de ce mois.

Bilan de l'azote.

Il est difficile de faire un bilan complet de l'azote, en raison des pertes par voie gazeuse et de l'importance du stock par rapport aux importations-exportations dans le sol. Le bilan du stock du sol de NO_3 et NH_4, par apport d'engrais et consommation par la plante, donnerait 60 unités perdues sur les 40 cm de sol explorés par les racines, sans que l'on puisse indiquer les destinations de ces 60 unités.

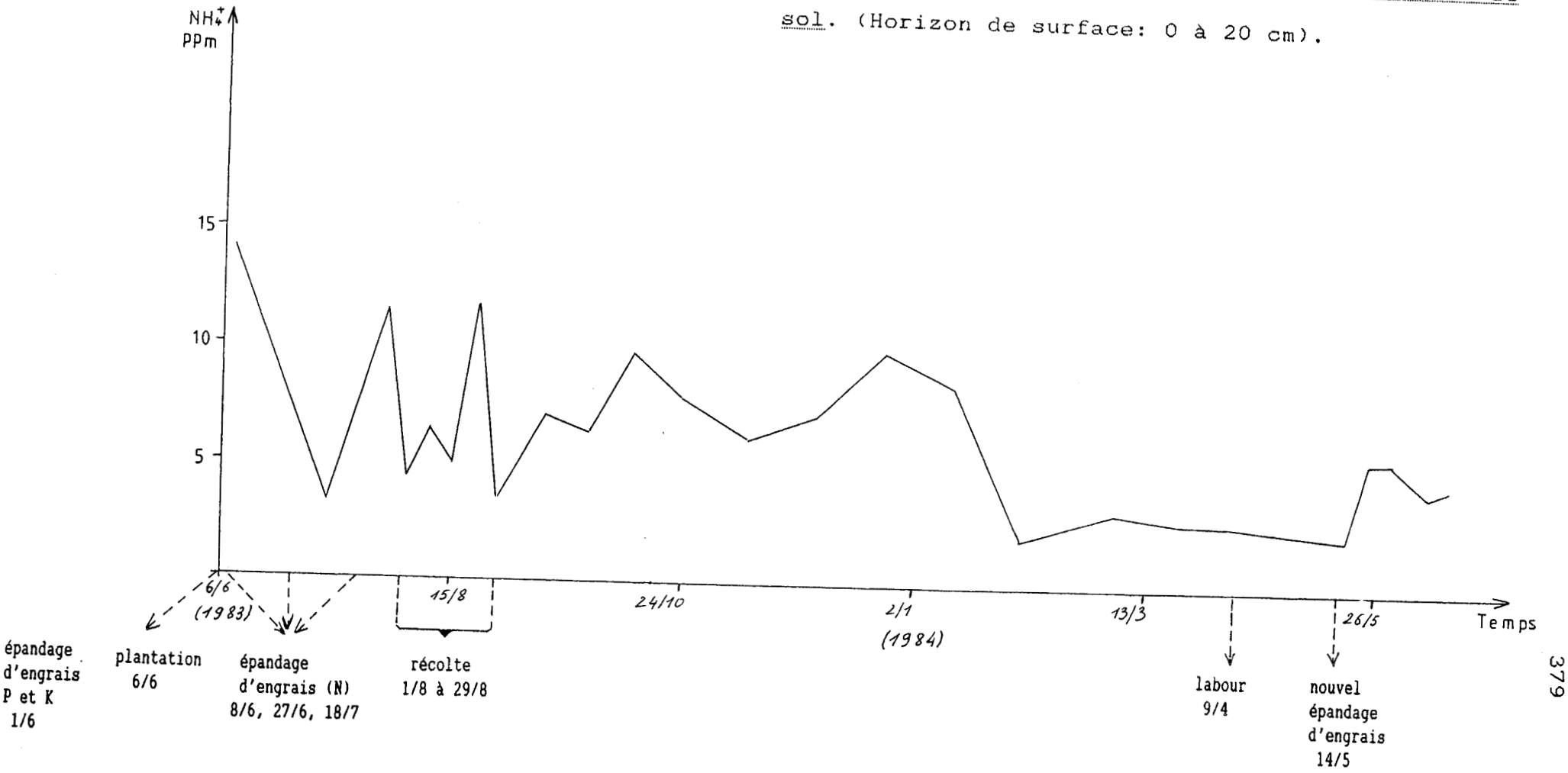
En ce qui concerne le lessivage , la diminution de NO_3 et NH_4 sur 0,6 m de profondeur, pendant la période du 26 janvier au 5 février, donnerait 55 unités qui doivent se retrouver dans la nappe.

On constate par ailleurs , que l'accroissement des teneurs en nitrate de l'eau des watergands coïncide avec le lessivage mis en évidence par les piézomètres. L'accroissement assez moyen des teneurs en nitrate de l'eau du watergand peut correspondre à une étanchéité naturelle du fond et des berges du canal, ce que confirme des différences de niveau assez importantes et fréquentes entre le watergand et le toit de la nappe. L'amplitude de la variation des teneurs dans le watergand est de l'ordre de 10 mg/l.

Les teneurs en azote ammoniacal montrent des variations analogues à celles de l'azote nitrique, mais de façon moins nette, en raison du phénomène de nitrification (fig. 111).

L'azote total représente 10 000 unités/ha. Les

Fig. 111 : Evolution de la teneur en azote ammoniacal dans le sol. (Horizon de surface: 0 à 20 cm).



variations dues aux importations et exportations sont donc négligeables par rapport au stock d'azote total du sol.

On peut encore envisager les quantités d'eau drainée et les teneurs de la nappe en période de drainage.

En prenant une teneur de 50 mg/l pour la période du 14/11/83 au 9/4/84 avec le drainage de 270 mm d'eau , on obtient 134 unités d'azote/ha, mais l'on ne sait pas comment cet azote est réaménagé et réparti dans le sol et dans le watergand.

Le bilan de l'azote est donc relativement incertain à partir de ces observations, par contre, l'on met en évidence l'effet des mécanismes de mobilisation.

L'évolution des teneurs en phosphates

Comme pour les nitrates on peut retrouver sur le graphe représentant l'évolution des teneurs , les périodes de variation de la teneur en phosphate du sol (fig. 112).

Les pics correspondent, avec un certain retard, aux épandages d'engrais. Après les pics la concentration diminue, et cette diminution correspond à la consommation des plantes estimées à 30 u, et également la rétrogradation des phosphates sous des formes non extractibles à l'analyse et donc moins utilisables par les plantes, soit à leur migration en profondeur dans le sol et la nappe. Ces dernières pertes sont estimées à 120 unités. Après la récolte le niveau se stabilise vers 400 ppm soit environ 520 u/ ha

L'évolution des teneurs en phosphates dans l'eau (fig. 113) est marquée par une forte augmentation de la concentration de la nappe au moment des épandages d'engrais. La teneur chute ensuite en raison d'une dilution en janvier, février, sans entraînement important de phosphate provenant du sol. Ceci confirme qu'une part importante des phosphates est sous forme insoluble, et donc difficilement utilisable par les plantes.

Fig. 112 : Evolution de la teneur en phosphates dans le sol.

(horizon de surface 0 et 20 cm)

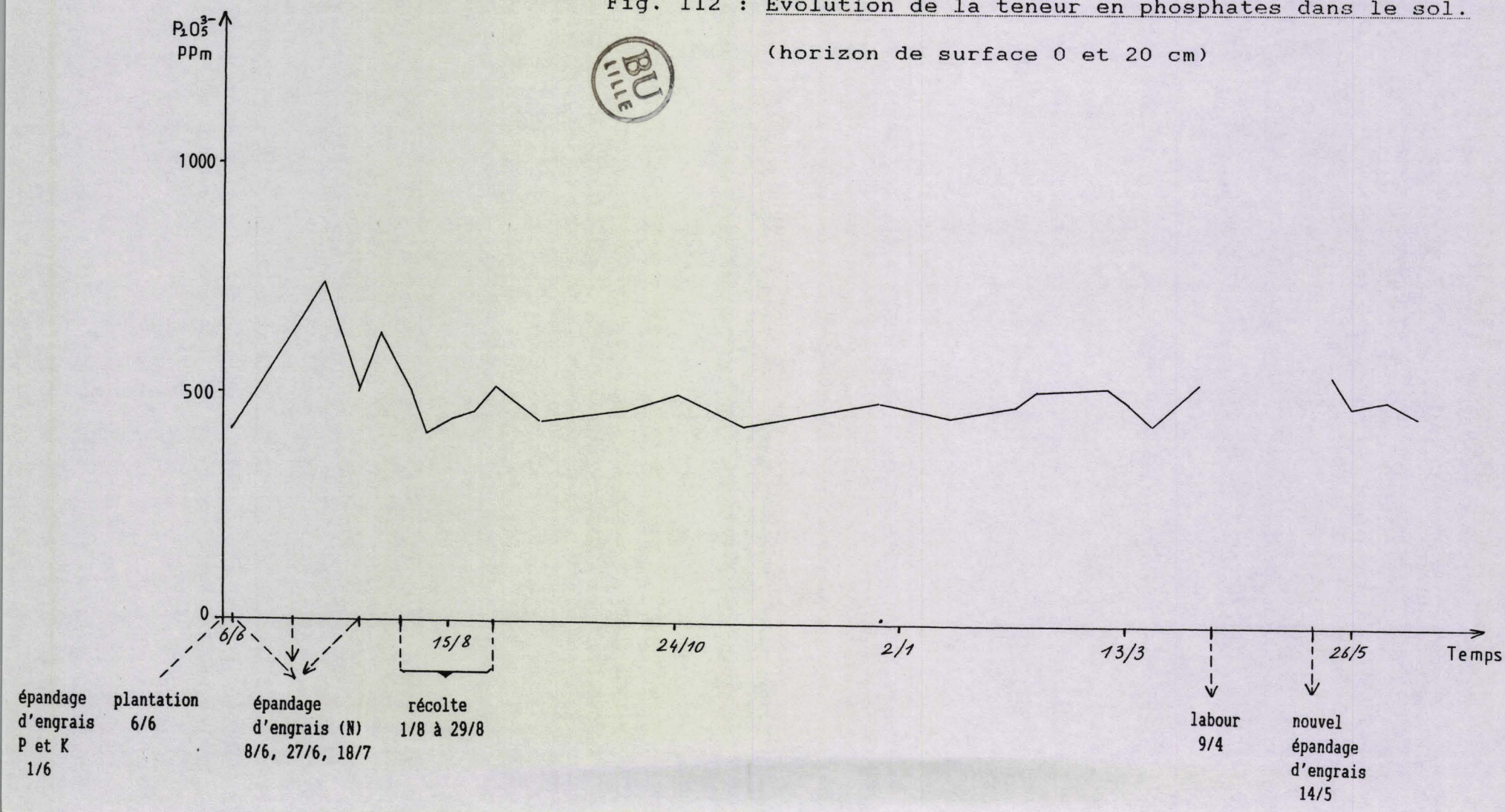


Fig. 113 : Evolution de la teneur en phosphates dans la nappe.

(piézomètres: 2,20 m)

Evolution des teneurs en potasse.

La teneur en potasse dans le sol varie principalement en fonction des épandages d'engrais (fig. 114). On observe un accroissement de la teneur aux époques d'épandage des mois de juin 1983 et mai 1984. On remarque une diminution du stock, au printemps, avant épandage, qui peut indiquer un prélèvement du potassium par les adventices dont l'activité a repris en raison d'une augmentation de la température. On note également la teneur importante de potasse avant culture: 200 ppm soit 150 unités/ha.

Dans la nappe les teneurs les plus fortes se situent en été après épandage (fig. 115). La concentration décroît ensuite pour atteindre des valeurs faibles au mois de mai, l'année suivante.

Bilan de la potasse.

Les apports de 300 unités/ha de potasse amènent le stock du sol à 320 ppm/ha sur les 20 premiers centimètres, soit environ 800 unités/ha sur 0,20 m. Les besoins de la culture étant de 200 u, l'accroissement du stock semble excessif. Cependant, le stock existant avant épandage semble rétrogradé, les teneurs avant épandage et après récolte étant identiques (500 u/ha sur 0,20 m); l'on peut également penser que 100 unités ne sont pas utilisées par les plantes, ni stockées par le sol, ce qui peut expliquer les fortes teneurs de la nappe en potassium après épandage.

Possibilité de stockage des éléments fertilisants P et K dans la tourbe.

Des analyses réalisées sur les échantillons prélevés en profondeur ont mis en évidence un stockage non négligeable des phosphates et de la potasse. On retrouve en dessous du niveau du fond du watergand, de 3 à 5 m de profondeur, des concentrations moyennes de 245 ppm de P_2O_5 et 225 ppm de K_2O.

Fig. 114 : Evolution de la teneur en potasse dans le sol.

(profondeur: 0-20 cm)

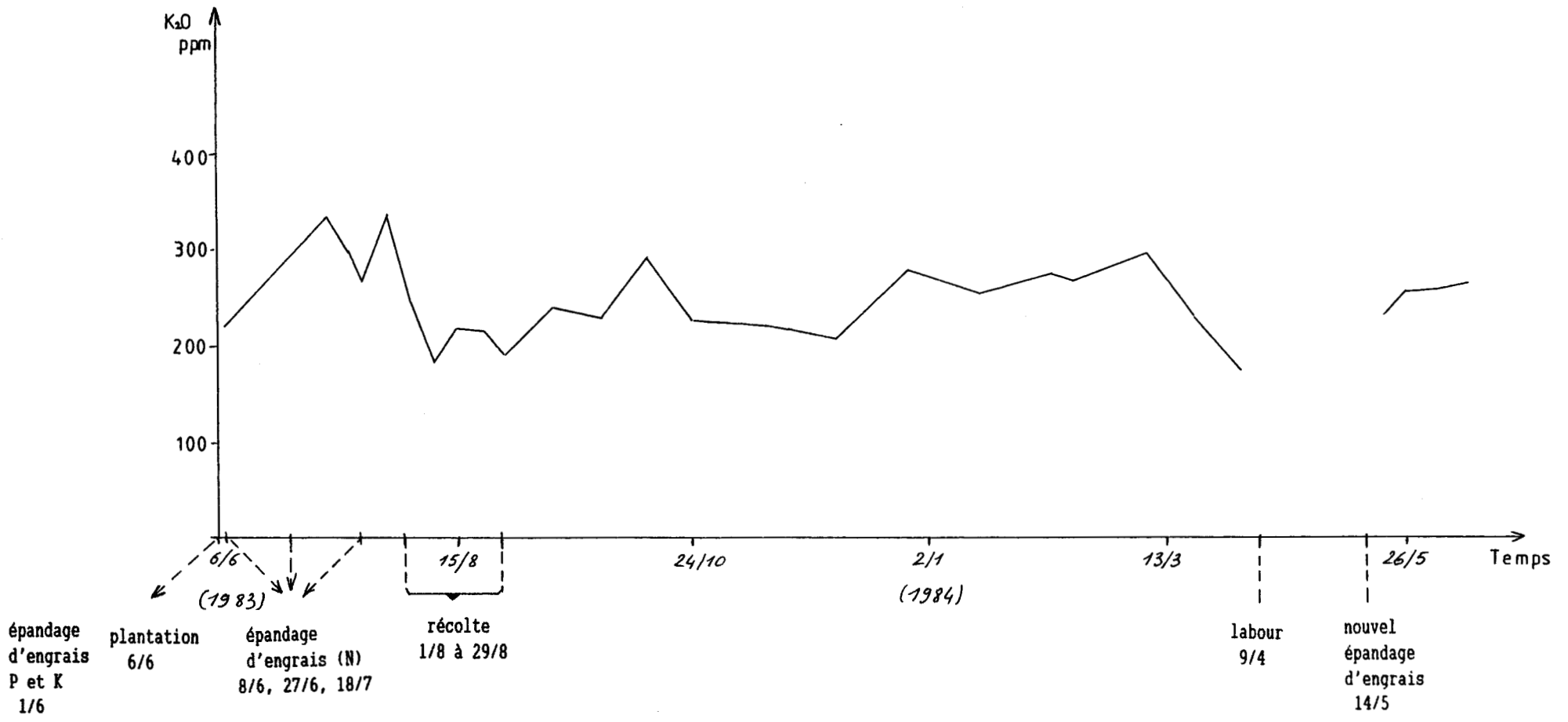


Fig. 115 : Evolution de la teneur en potassium dans la nappe.

(piézomètre: 1,40 m et 2,20 m)

Le stock d'azote nitrique, par contre, est beaucoup plus faible.

Les propositions de fertilisation.

Les variations des concentrations des éléments fertilisants (nitrates, phosphates et potasse) situées dans le temps, en fonction des pratiques culturales, de la température et de la pluviométrie, permettent de mettre en évidence les périodes d'utilisation par les plantes ou de lessivage.

A partir de cela l'on peut tenter d'ajuster les épandages d'engrais et les pratiques culturales afin de limiter les pertes.

En ce qui concerne la fumure azotée, l'on continuera le fractionnement en ayant soin d'ajuster au mieux les apports et les consommations par les plantes cultivées. Le suivi de la teneur en azote permettra peut être de diminuer ces doses. Par contre en raison de la minéralisation importante après la récolte des déchets de choux-fleurs, et du risque de lessivage en période hivernale, on essaiera de capter cet azote minéralisé, à l'aide d'une culture intercalaire ou d'une couverture végétale, et de le conserver ainsi jusqu'au printemps suivant.

Les besoins en phosphates (30 unités) et en potasse (200 unités) des choux sont faibles. D'autre part, on constate un transfert des ions P et K vers la nappe et les eaux de surface, avec notamment dans ces dernières des concentrations, supérieures à 0,3 mg/l, valeur considérée comme un seuil de pollution entraînant un risque d'eutrophisation des eaux de surface.

Les apports de phosphates et de potasse pourraient être limités moyennant l'interprétation des plots P_1 - P_2, N_1 - N_2 où les doses sont faibles, et éventuellement la répétition de ces essais pour rechercher jusqu'à quel niveau on peut diminuer les doses épandues sans nuire au rendement et

à la qualité, une grande partie des phosphates et de la potasse étant vraisemblablement sous forme dégradée.

CONCLUSION

L'expérimentation étudiée montre que le lessivage vers la nappe des éléments fertilisants ne peut être considéré comme négligeable. Elle permet d'envisager les méthodes limitant ces pertes. ces résultats peuvent servir de base à l'estimation des pertes dans d'autres types de sol, en fonction de leur perméabilité, des itinéraires techniques et du contexte hydrologique.

Ces méthodes pourraient être utilisées dans d'autres petites régions de plaines basses, présentant une nappe (Wateringues, Lys, Scarpe, Sambre, Marquenterre), ou dans d'autres régions où la concentration de la solution du sol serait mesurée à partir d'autres dispositifs de prélèvement comme des bougies poreuses disposées à différentes profondeurs.

CHAPITRE VI

APTITUDE DES SOLS A L'EPURATION PAR L'EPANDAGE SOUTERRAIN DANS LE DEPARTEMENT DU NORD DE LA FRANCE.

L'épandage souterrain consiste à infiltrer des effluents dans le sol, à partir de canalisations souterraines, placées dans des tranchées gravillonnées de 0,8 m de profondeur. Il permet d'utiliser le pouvoir épurateur du sol afin de purifier les eaux usées d'origine industrielle ou ménagère. Cette utilisation du sol revêt un caractère d'utilité affirmée dans un contexte où il est nécessaire de protéger la qualité des nappes souterraines. Cette pratique nécessite de connaître les caractéristiques des sols. Divers travaux ont été réalisés dans la région, visant à vérifier l'infiltration dans les sols, sans risque excessif de colmatage ou d'engorgement des installations, ni de percolation trop rapide vers les nappes.

Une première étude (MASSON *et al*, 1981) a été réalisée dans le département du Nord, afin de délimiter les sols où cette technique est possible.

Cette démarche débute par l'élaboration d'un schéma de répartition des sols, et comprend ensuite la caractérisation des sols reconnus aptes, en ce qui concerne leur perméabilité

et leur possibilité d'infiltration. Cette première démarche a pour but d'orienter les études de projets d'assainissement.

Il s'agit d'un exemple d'application des méthodes de cartographie, développées précédemment et s'appuyant sur la lithologie (formations superficielles) et la pédologie (les sols).

Par la suite d'autres études appliquées ont été réalisées à petite échelle (DEGAND, 1984), et à grande échelle, dans le cadre de projets ou de schéma d'assainissement communaux (MASSON et DOUAY, 1984 b, MASSON et KOSZAREK *et al*, 1990).

I - LE DEPARTEMENT DU NORD: APTITUDE DES SOLS A L'EPANDAGE

Le département du Nord forme, au Nord-Est de la région, une bande de territoire longue d'environ 250 km de long et 40 km de large. Il constitue un échantillonnage représentatif des différentes situations de la région, déjà décrite dans la 2ème partie (Ch.. I, p. 108)

L'application de l'épandage souterrain nécessite de reconnaître les sols sur une profondeur minimale de 3 m, englobant les matériaux de couverture, et des matériaux plus anciens, assimilables pour certains à des sols fossiles (DONVILLE, 1979, BIZE *et al*, 1979).

L'approche est essentiellement lithologique (BALLAY, 1981) et s'intéresse aux caractères suivants:

- la texture,
- l'hydromorphie,
- la perméabilité du sol.
- la perméabilité du substrat,

Les plaines et les basses vallées comportant une nappe proche de la surface n'ont pas fait l'objet d'examen approfondi, ni de mesures de conductivité, car le niveau moyen

de la nappe ne permet pas l'épandage souterrain en terrain naturel. Dans ces zones, cette technique nécessite, soit une surélévation du terrain par un tertre dont les matériaux artificiels sont perméables, soit un rabattement de nappe dont l'effet entraînerait une variation du comportement du sol.

Nous présentons une cartographie des principales unités des terrains du département à la figure 116, précisant essentiellement l'épaisseur des formations limoneuses reposant sur un substrat perméable ou imperméable.

Ce schéma a été établi d'après les données des cartes géologiques, les sondages du B.R.G.M., et les relevés de sols d'autres études.

II - LEGENDE DU SCHEMA DES TERRAINS.

Pour la carte d'aptitude à l'épandage souterrain, les formations distinguées le sont en fonction de leur perméabilité et des possibilités d'infiltration des affluents.

- les sables sont perméables et permettent l'infiltration des effluents et leur épuration,
- les argiles et les marnes sont imperméables, et ne permettent pas l'infiltration, ou maintiennent l'engorgement des matériaux perméables supérieurs,
- les matériaux argileux d'altération des schistes auront un comportement identique à celui des argiles,
- la craie, perméable en grand forme un substrat filtrant, mais ne protège pas la nappe de la craie par une épuration suffisante si elle est proche de la surface.
- les calcaires, s'ils sont fracturés peuvent avoir un comportement voisin de celui de la craie, mais peuvent parfois former un écran étanche s'il y a absence de fracturation,
- les limons permettent généralement l'infiltration et une épuration si leur épaisseur est suffisante et s'il n'existe pas

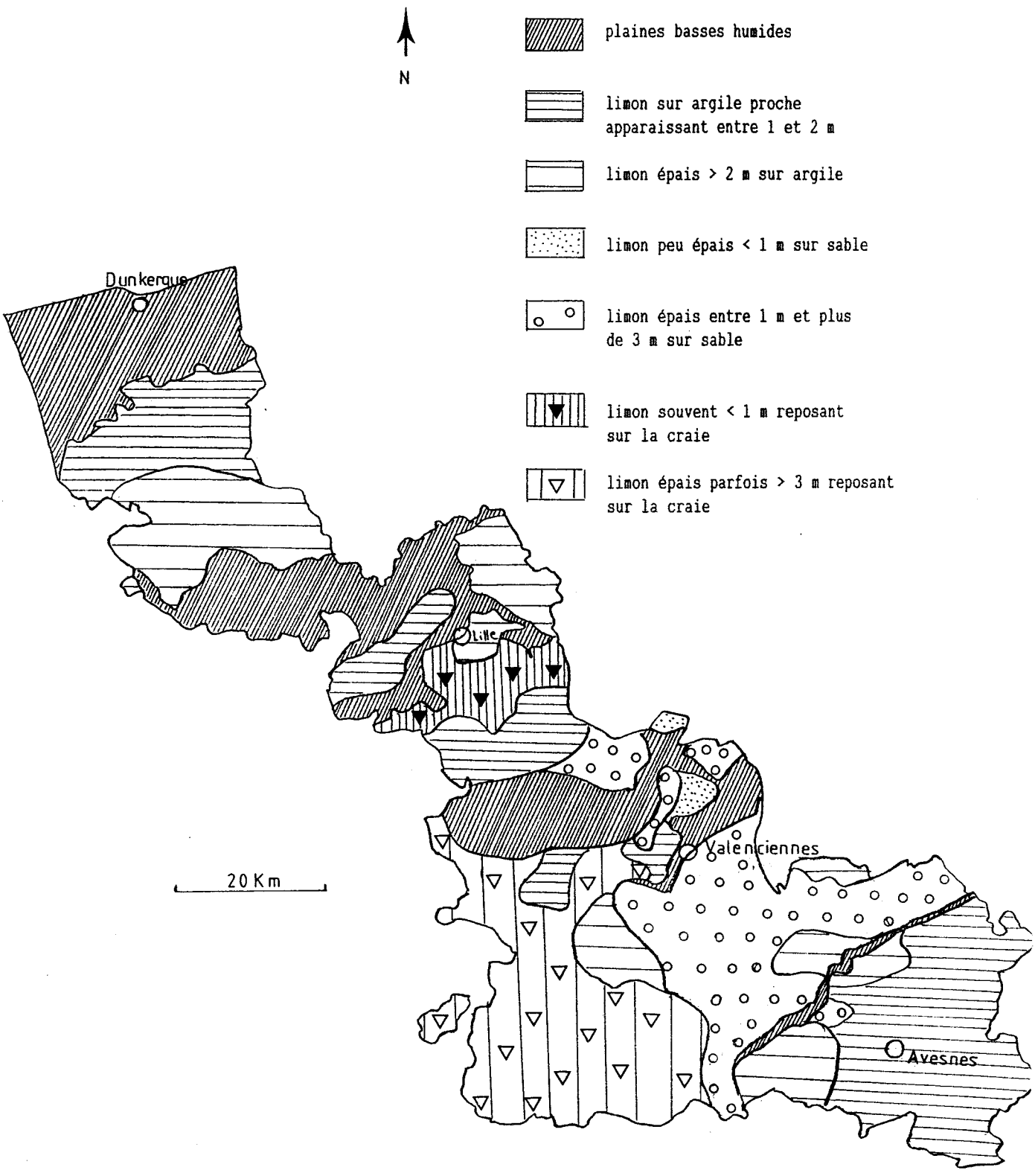


Fig. 116 : Carte schématique des sols en vue de l'épandage souterrain dans le département du Nord. Cf note (1) p. 129.

(d'après MASSON et TURCK 1981).

de niveau imperméable trop proche de la surface.

Dans les zones limoneuses, afin de bien marquer l'influence du substrat à une profondeur comprise entre 0 et 3 m, et permettant ou non l'infiltration en profondeur, nous avons effectué plusieurs subdivisions. Les limons dont l'épaisseur est comprise entre 2 et 3 m, reposant sur des argiles ou des sables; de même les limons d'épaisseur inférieure à 2 m et à 1 m seront distingués par des trames différentes.

On distingue aussi sur les matériaux crayeux, auxquels sont assimilés les calcaires, des recouvrements de limons épais, supérieurs à 3 m, ou des recouvrements faibles, inférieurs à 1 m.

Une dernière distinction est réalisée pour les zones à caractère d'hydromorphie marquée où les nappes aquifères sont présentes à moins de 1,5 m de la surface. Ces zones concernent l'ensemble des plaines basses.

III - CARACTERISATION HYDRODYNAMIQUE DES SOLS.

La caractérisation hydrodynamique des sols a été réalisée sur trente points répartis sur le département du Nord dans les secteurs où le niveau suffisamment bas de la nappe permettait l'infiltration de l'eau.

La méthode de mesure utilisée applique la loi de DARCY; la mesure est réalisée avec une charge d'eau à niveau constant de 0,25 m dans un puits de 20 cm de diamètre et profond de 0,8 m; le régime permanent est atteint au bout de 3 à 4 heures d'infiltration. Chaque mesure est répétée trois fois.

Les matériaux caractérisés sont les suivants :

- limon épais/craie : 1,60 m à 2,10 m de limon sur la craie,
- limon/argile : 0,80 à 1,80 m de limon sur l'argile,
- limon/sable : 1,60 m de limon sur le sable,
- sable,
- argile.

Moyenne des débits en fonction de la texture des matériaux (l.h)

S	L	L / S proche	L épais / S	L épais / A	L / A proche	A
8,96	5,94	3,92	1,32	2,26	1,11	0,34
20,1	2,23	6,53	2	8,48	2,42	0,011
20,13		12,48	3,4	4,12	0,49	0,32
		5,88		10,93	0,45	0,18
		16,8		2,97	1,55	
		21,26		10,06		
		2,05		2,48		
		1,45				
16,39	4,085	8,79	2,24	5,9	1,204	0,212

Coefficients de perméabilité moyens en fonction de la texture des matériaux (mm.h)

S	L épais	L / S proche	L épais / S	L épais / A	L / A proche	A
130,42	32,51	69,95	17,83	46,95	9,58	1,69

Nous avons donc retenu quatre catégories, en regroupant ensemble, en un seul groupe, les matériaux limoneux épais, les matériaux limoneux sur substrat perméable, les matériaux limoneux épais sur argile:

1) Matériaux sableux (K = 130 mm.h)
2) Matériaux limoneux épais (K varie de 18 à 70 mm.h)
3) Matériaux limoneux sur substrat argileux proche (K = 10 mm.h)
4) Matériaux argileux (K = 1,7 mm.h)

Dans le contexte des mesures d'infiltration, quel que soit le substrat, il semble que les matériaux limoneux réagissent selon leurs caractères propres, et seul un substrat imperméable très proche aura une influence en provoquant la saturation rapide du profil, ce que montrent les mesures réalisées en zone de limon sur argile proche.

Les mesures de limon sur craie sont trop peu nombreuses. Elles semblent conduire à des valeurs se rapprochant des autres mesures effectuées sur les divers limons.

Sur les cartes, la couverture limoneuse est prédominante par rapport aux autres matériaux. Les mesures faites montrent l'influence prépondérante de la fraction limoneuse sur la perméabilité des sols.

Les argiles sont peu perméables et souvent hydromorphes. Les possibilités d'épandage souterrain dépendent de l'épaisseur des limons qui les surmontent. Il convient de vérifier (dans le cas où cette couche limoneuse permet une infiltration convenable) l'absence de remontées épisodiques de la nappe jusqu'au niveau du système d'épandage souterrain. Les manifestations de l'hydromorphie indiquent la profondeur maximum de l'épandage. Cette vérification est améliorée en surveillant le niveau piézométrique de la nappe en période hivernale.

L'épandage souterrain est également limité par la proximité d'un substrat trop perméable (craie). On définit une épaisseur minimum de 3 m de limon permettant au sol de jouer

son rôle épurateur, afin de ne pas polluer les nappes souterraines. Les sables seront un milieu favorable à l'infiltration. On veillera à reconnaître également que leur épaisseur est suffisante pour l'épuration des effluents.

CONCLUSION

Le département du Nord présente, en dehors des zones basses où la nappe reste proche de la surface, de nombreuses possibilités d'épandage souterrain à condition de respecter un certain nombre de précautions ou de vérifications.

Nous avons retenu ainsi les zones sableuses et limoneuses épaisses qui permettent tout à la fois une infiltration dans les sols et un pouvoir épurateur suffisant des eaux usées

La carte schématique des sols nous donne ainsi une première zonation se rapportant aux possibilités d'épandage souterrain.

Cette indication demande, lors de chaque projet, une étude préalable où interviendront la nature des sols, l'épaisseur des matériaux (principalement au dessus de la craie), la texture et le niveau de la nappe hivernale (hydromorphie ou piézométrie).

Dans le cadre des projets communaux d'assainissement de telles études de sol sont réalisées (MASSON *et al*, 1990). Les nouvelles mesures ainsi obtenues complètent et précisent les premières références existant sur le département du Nord.

Ces vérifications sont nécessaires pour la plupart des sites. En effet, il n'est pas possible de disposer d'emblée de cartes à grande échelle permettant de préciser, en tout lieu, la perméabilité du sol. Ces documents sont coûteux à établir et ne s'amortissent que sur de nombreuses années.

Il apparaît donc souhaitable de rassembler

progressivement les données pédologiques obtenues pour chaque cas particulier (cartographie ponctuelle) dans une même banque de données. Les premières approches réalisées sont nécessaires comme références dans la mesure où il n'est pas possible de choisir, dans le cadre d'un projet local, la saison la plus adéquate pour réaliser les mesures de conductivité hydrodynamique.

Enfin il est possible d'étendre le schéma sur l'épandage souterrain à l'ensemble de la Région du Nord, moyennant un certain nombre de précautions et d'études préalables. En effet, il existe des dépôts semblables notamment en ce qui concerne la couverture limoneuse et qui peuvent avoir des comportements identiques (conductivité, hydromorphie, etc.).

Cette approche n'exclue pas la possibilité d'épandage souterrain, à partir de procédés artificiels dans les secteurs où l'épandage en terrain naturel ne serait pas possible.

Ces travaux appliqués dans la Région du Nord de la France conduisent aux mêmes observations que BALLAY (1981): L'approche des sols est d'abord d'ordre lithologique. Les méthodes d'analyse progressive à partir de coupes régulières pourront être un outil intéressant pour déterminer les couches de matériaux dans lesquels sera possible l'aménagement d'épandage souterrain. On constate également qu'il s'agit de repérer dans ces niveaux lithostratigraphiques un certain nombre de caractères se rapportant au fonctionnement du sol: hydromorphie, perméabilité, etc.

CONCLUSION de la 3ème partie

Les exemples d'études appliquées se rapportant à différents domaines techniques ont permis de montrer la variabilité des besoins en matière de connaissance du sol. Ils permettent de se rendre compte pour chaque domaine du type de données nécessaires, justifiant ou non une étude pédologique.

Il existe donc un mode d'étude du sol et des formations superficielles, spécifique à chacune des techniques ou des questions posées, suivant qu'elles font appel à des données différentes d'un cas à l'autre, tels que la structure, l'hydrodynamique, la compaction, la battance, etc.

Le classement d'aptitude des sols se fera selon des critères particuliers de chacune des techniques en fonction des réponses qu'en attendent les utilisateurs et du type de décision qu'ils envisagent dans leur propre cheminement intellectuel.

En vue d'assurer une gestion des sol, les travaux déjà effectués constituent des références utiles régionalement. Ces références pourront être organisées et complétées dans le cadre de travaux d'inventaires que nous exposerons dans la 4ème partie.

4ème PARTIE

LES INVENTAIRES CARTOGRAPHIQUES DES OUTILS D'AIDE A LA DECISION POUR LA GESTION DES TERRES, EXEMPLES DANS LA REGION NORD

INTRODUCTION

Dans cette quatrième partie, nous nous intéresserons à l'apport de la cartographie des sols pour l'aide à la décision en matière de gestion des terres. Celle-ci nécessite différents outils qui peuvent prendre la forme d'études, de schémas, ou de cartes, transposant les données recueillies de données dans différents systèmes de cartographie, selon le souhait exprimé par l'utilisateur ou le décideur.

Parmi les outils de transmission du savoir, deux sont pratiqués couramment dans la Région du Nord. Le premier consiste en études sectorielles qui répondent simplement à une seule question. La réponse aux demandeurs se fera au travers d'une représentation cartographique thématique et d'une note, appliquées à cette question. La représentation cartographique peut suivre éventuellement un système de cartographie connu ou non, suivant les habitudes des demandeurs locaux.

Le deuxième consiste en inventaires généraux, dont la démarche et la forme sont toutefois spécifiques à la Région du Nord. Le principe est simple: il s'agit sur un territoire donné d'effectuer des recueils d'informations par thèmes élémentaires de telle manière soient croisés, et que l'information initiale reste aussi claire que possible. Les thèmes pourront ensuite être croisés afin d'obtenir différents types de synthèses.

Sur un territoire donné, les recueils d'informations

peuvent concerner, par exemple, les thèmes suivants:

- le modelé,
- la texture des horizons,
- les pentes,
- l'hydromorphie,

Ces démarches ont un double but:

- fournir de l'information à un utilisateur qui pourra retrouver les éléments qui l'intéressent, prévoir la reformulation de sa question et les compléments d'information qui lui seraient nécessaires.

- faire le récolement et la synthèse d'informations, pour composer ainsi rapidement des études ou des rapports de synthèse.

Ces inventaires peuvent être comparés ainsi à des atlas. Ceux-ci ne sont pas de simples recueils de données. Les données brutes sont souvent inaccessibles à l'utilisateur, par leur langage et le volume important des informations. Les atlas sont le rassemblement d'une succession de présynthèses par thèmes. Ils permettent la réalisation rapide de certaines études ou des réponses à des demandes d'informations parfois complexes.

Nous présentons trois exemples d'inventaires, qui illustrent trois niveaux de gestion des terres, concernant des domaines plus ou moins vastes de l'activité humaine (Ch. I, II, III).

- la réalisation de la carte départementale des terres agricoles, dans la Région du Nord, qui permet la planification générale de l'utilisation des terres, et l'arbitrage entre différents domaines d'activité économique: agricole, urbaine, industrielle, routière, etc.;

- l'inventaire du milieu et schéma de répartition des sols dans l'Arrageois oriental, qui fournit des réponses à un secteur d'activité particulier, en l'occurrence l'activité agricole;

BU LILLE

- l'inventaire des sols de la vallée de la Haute Lys, réponse à un thème précis: l'aménagement drainage.

Cette démarche est suivie d'une réflexion sur "l'intérêt de la cartographie des sols pour l'agriculture" (Ch. IV). Cela regroupe un ensemble de réflexions communes aux utilisateurs sur l'utilité ou le non intérêt de documents se rapportant aux sols.

Cette réflexion conduit à exprimer une démarche de recherche, d'arguments d'ordre économique qui illustrent l'intérêt de la connaissance des sols, en tant qu'outils de la gestion raisonnée du territoire (Ch. V), pour les utilisateurs du sol.

CHAPITRE I

LA REALISATION DE LA CARTE DEPARTEMENTALE DES TERRES AGRICOLES DANS LA REGION DU NORD.

Les pertes en terres agricoles de la Région du Nord proviennent essentiellement de l'agrandissement des zones urbaines, de la croissance des voiries, des lignes de chemin de fer, des zones portuaires, des espaces naturels, etc. Dans une région où la population est importante (4ème région française), et où l'ensemble des sols sont fertiles et très généralement cultivés, les emprises se font nécessairement au détriment des terres agricoles. Plus que la protection absolue de celles-ci, il s'agit de faire des choix raisonnés, et de proposer aux autres domaines d'activité économique, les terres les moins aptes à l'activité agricole, et qui peuvent être valorisées autrement.

La carte départementale des terres agricoles (C.D.T.A.), document consultatif prévu par la loi du 4 juillet 1980 fut voulue par le législateur, comme un outil de défense des meilleures terres agricoles contre les emprises de toutes natures et plus particulièrement celles des grands ouvrages. Elle conduit au classement des terres agricoles en 6 classes,

de façon à bien distinguer les sols à haut potentiel (à conserver dans le patrimoine agricole), et ceux de moindre intérêt.

La carte doit être la synthèse d'un grand nombre d'observations, relatives au milieu physique et au contexte économique. Ce doit être un document permettant de raisonner la gestion du patrimoine foncier, d'orienter les investissements collectifs, ou de prévoir de nouvelles structures agro-alimentaires (BARTHELEMY, 1985).

La carte départementale des terres agricoles intègre des données sur les formations géologiques, sur la topographie, la géomorphologie, l'hydrologie (piézométrie), le climat, sur la pédologie (caractérisation des sols, leur fertilité: profondeur et nature du substrat, réserve en eau, drainage, granulométrie, porosité, éléments chimiques, etc.), sur la mise en valeur des sols et leur mode d'occupation (BARTHELEMY, 1985). Dans la Région du Nord, ces données sont recueillies par thèmes.

La superposition progressive des différents documents ou recueils thématiques permet de faire la somme des facteurs favorables ou des contraintes physiques défavorables intervenant sur les sols. On obtient ainsi un document que l'on appelle carte des contraintes, dans laquelle on intègre les données de l'aménagement, et les données économiques, pour obtenir la C.D.T.A.

Les démarches thématiques qui font l'objet de recueils de données et de documents de synthèses particuliers se rapportent:

- aux cartes géologiques,
- à l'étude du modelé et des formes de relief,
- à l'organisation de la prospection des sols,
- à la texture des sols,
- à l'hydromorphie,
- aux pentes,

- à la dimension du parcellaire,
- aux traces d'érosion,
- au réseau hydraulique,
- aux agrosystèmes.

Ces documents visent bien sûr à répondre à la question posée par la demande de réalisation d'une carte des terres agricoles, mais aussi à constituer une banque de données de documents monofactoriels. Ces derniers pourront être utilisés tels quels, ou faire l'objet de modifications par apport ou retrait partiel d'informations, pour résoudre d'autres questions que celles de l'élaboration d'une C.D.T.A.. Ils pourront contribuer à l'élaboration d'autres documents de synthèse tels, par exemple, que la carte d'aptitude à l'épandage souterrain du S.D.A.U. de Dunkerque (MASSON et LEROUX, Document S.R.A.E. - D.R.E., inédit 1987). Ces documents partiels ont des applications plus variées que la C.D.T.A., ils se rapportent à de nombreuses questions concernant les paysages et l'aménagement telles que le drainage, l'épandage souterrain, l'érosion et la conservation des sols, l'utilisation des sols pour l'agriculture, etc.

Ils pourront donc s'intégrer dans d'autres démarches d'études futures: recherches, études préalables aux aménagement, études d'impact, etc.

Nous reprenons donc la succession des démarches élémentaires qui ont été organisées par les services du Ministère de l'Agriculture, dans lesquelles il sera moins important de présenter les critères se rapportant au classement du sol dans la C.D.T.A., que de voir la façon originale d'aborder les inventaires tels qu'ils se présentent dans la Région du Nord.

Ces démarches ont été réalisées sur différentes coupures à l'échelle de 1/50 000: Calais partie, Dunkerque, Hondschoote, Cassel, Steenvoorde, Lille, Béthune.

I - L'EXAMEN DES CARTES GEOLOGIQUES.

L'examen critique de la carte géologique permet de mettre en évidence les principaux traits de la géologie qui ont une influence sur les sols, par exemple, la nature du substrat et le drainage naturel. Les principales unités géologiques sont décrites, signalant ainsi les informations utilisables pour la connaissance des terrains, mais les modes de représentations conventionnels pouvant conduire à une vision erronée des formations superficielles (Exemple: diminution systématique de la couverture limoneuse et création de fenêtres pour faire apparaître le substrat antéquaternaire, Cf feuille de Béthune).

Un tel examen évite de surestimer les renseignements fournis par la carte géologique en ce qui concerne les formations superficielles. Ce type d'erreur est commune à beaucoup de chargés d'études et d'utilisateurs, qui désirent s'informer sur les sols et les formations superficielles à partir de cartes géologiques, en raison de la quasi absence d'autres documents. Par ailleurs, les cartes géologiques sont des cartes chronostratigraphiques et ne donnent pas toujours une indication précise sur le faciès des dépôts et encore moins sur la texture.

II - L'ETUDE DU MODELE ET DES FORMES DE RELIEF.

L'étude du modelé permet de mettre en évidence les éléments du relief. Les méthodes conduisant à l'élaboration des cartes ont déjà été présentées précédemment. Elles donnent une première maquette, corrigée ensuite par des observations complémentaires sur le terrain (fig. 117). Cette carte dont un certain nombre de courbes de niveau sont soulignées par des couleurs ou des symboles appropriés permet de visualiser facilement les grands ensembles de la région étudiée, c'est à

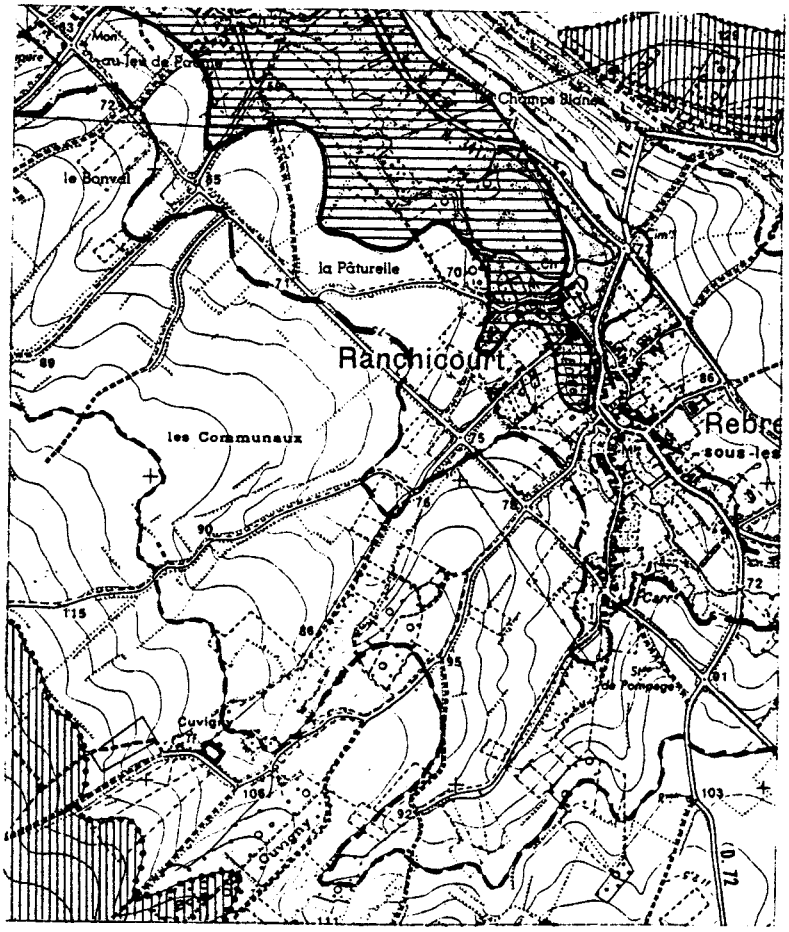


Fig. 117 : Carte du modelé (extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France)

dire, les dépressions, les diverses formes de versant, et les zones d'altitude plus élevée.

Ce document peut avoir différentes utilisations:

- position altimétrique des sondages, et réalisation des profils topographiques des coupes de sol,
- détermination des pentes générales des plaines en vue d'obtenir un schéma cohérent de leur drainage,
- délimitation des sous-bassins-versants, voire des casiers hydrauliques,
- choix de l'emplacement des principaux ouvrages d'évacuation des eaux,
- étude de l'habitat,
- étude des zones agricoles,
- étude des agrosystèmes, etc.
- aide à l'élaboration d'une carte des pentes.

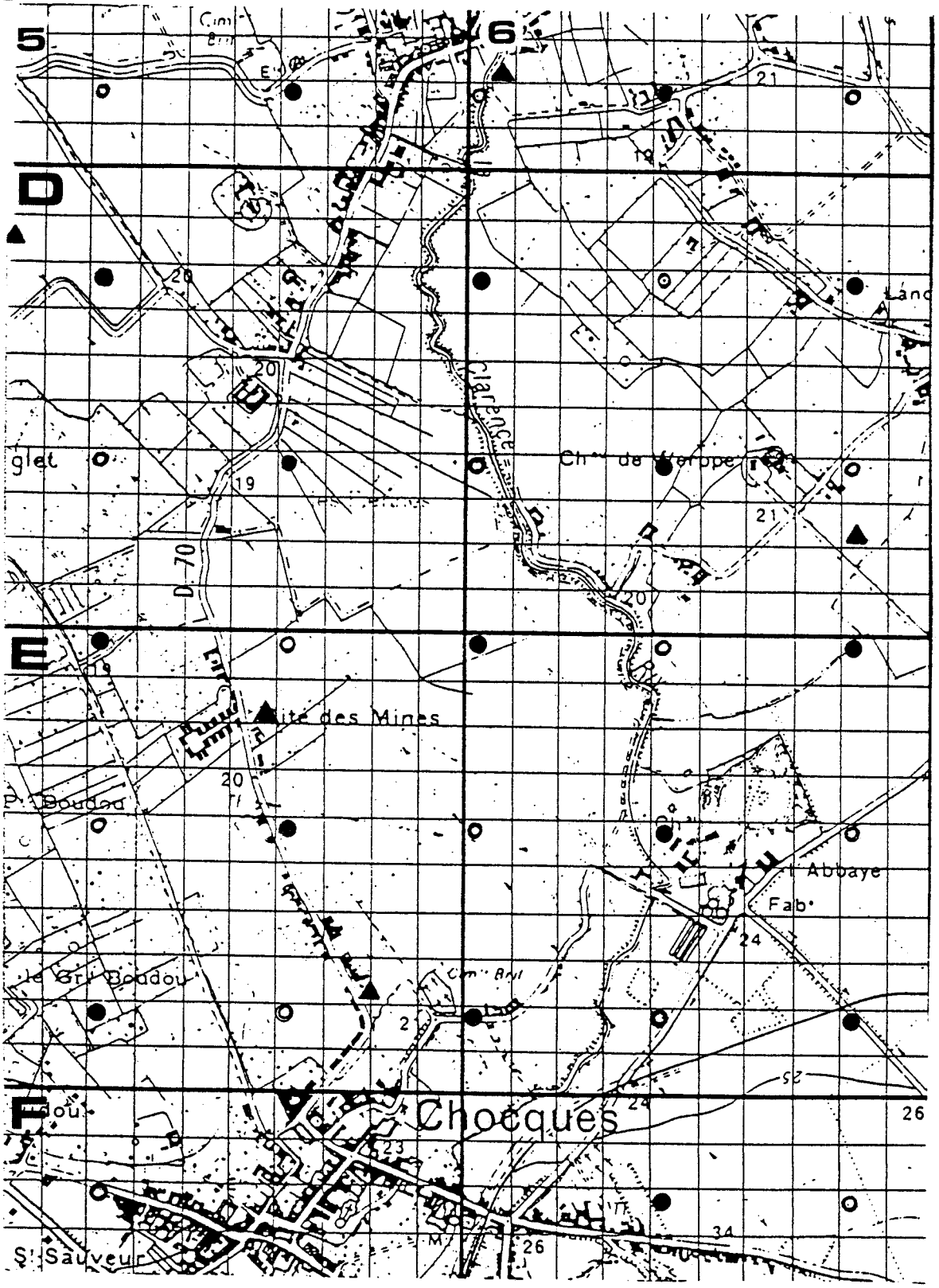
III - PROSPECTION DES SOLS.

La prospection des sols est organisée sur l'ensemble de la Région Nord-Pas-de-Calais suivant la méthode présentée dans la première partie, avec une répartition régulière et systématique des points de sondage. Le levé est réalisé à raison d'un sondage pour 32 hectares pour être compatible avec les différentes échelles possibles.

Sur l'extrait de carte joint, correspondant à la bordure de la Plaine de la Lys (fig. 118), l'on peut voir la position :

- des points de sondages prévus à l'échelle choisie;
- des points de sondages complémentaires pour la présente cartographie;
- des points de sondages futurs pour une application ultérieure éventuelle demandant une cartographie plus précise.

Il n'est souvent pas nécessaire de refaire la



● points de sondages prévus

▲ points de sondages complémentaires

○ points de sondages éventuels pour une cartographie plus précise

Fig. 118 : Plan de prospection (extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France)

totalité des sondages; en effet sont repris, dans le plan de sondage, ceux provenant de prospections antérieures sectorielles et réutilisés ici, dans le cadre de la C.D.T.A.

IV - LA CARTE DE TEXTURE.

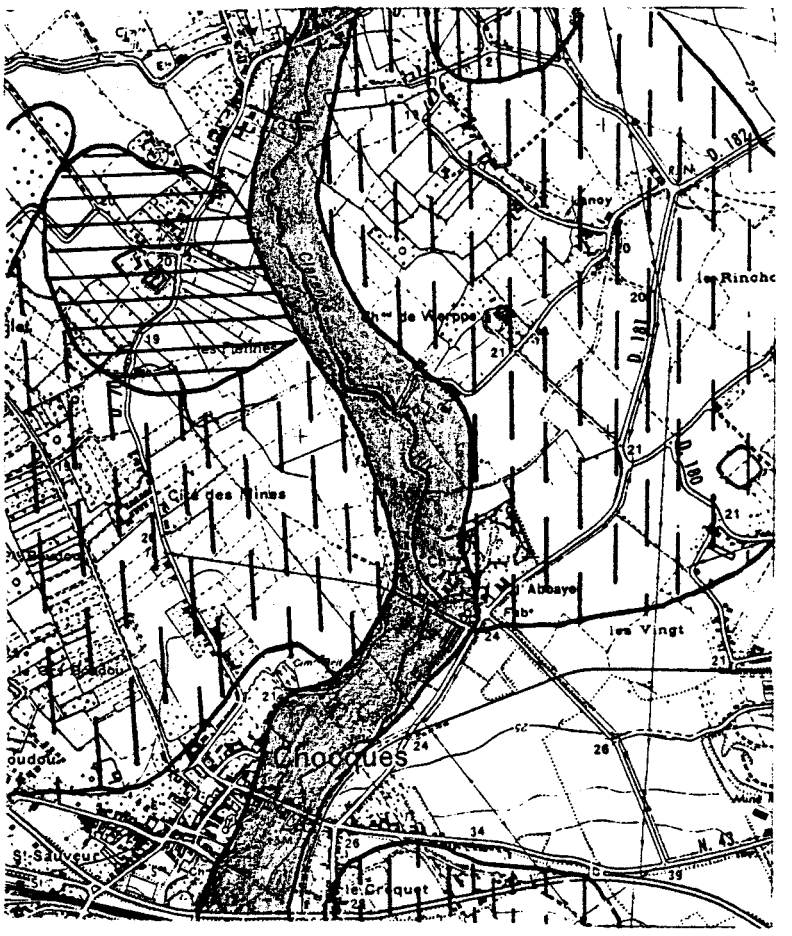
La carte des textures (fig. 119) est réalisée afin d'établir la carte des terres agricoles. Elle indique la nature texturale des sols, sur une profondeur d'environ 0,8 m. Ceci permet de distinguer les sols sableux, argileux, limoneux, ou riches en pierres ,et qui auront un intérêt plus ou moins grand pour les professionnels agricoles (difficulté du travail du sol, assainissement, réserve en eau).

En dehors du classement des terres agricoles, le document peut contribuer à d'autres applications: la remise à jour des cartes géologiques, l'élaboration de cartes pédologiques, la réalisation de documents thématiques généraux sur le drainage, l'érosion, la vocation des sols, les agrosystèmes, etc.

V - LA CARTOGRAPHIE DE L'HYDROMORPHIE DES SOLS.

A partir de l'étude du modelé, et d'un prospection de terrain, il est possible de réaliser une carte de l'hydromorphie des sols (fig. 120). La profondeur de sol retenue pour l'élaboration de la carte est de 1,60 m au minimum, en raison de la profondeur des aménagements (drainage) les plus fréquents dans cette région.

Ce document donne le contour des zones hydromorphes, la texture des sols, leur degré d'engorgement et les techniques qu'il convient d'adopter en vue de leur amélioration. Il indique pour le classement des sols dans le cadre de la



LEGENDE

Limon

Limon argileux

Argile limoneuse

Sable

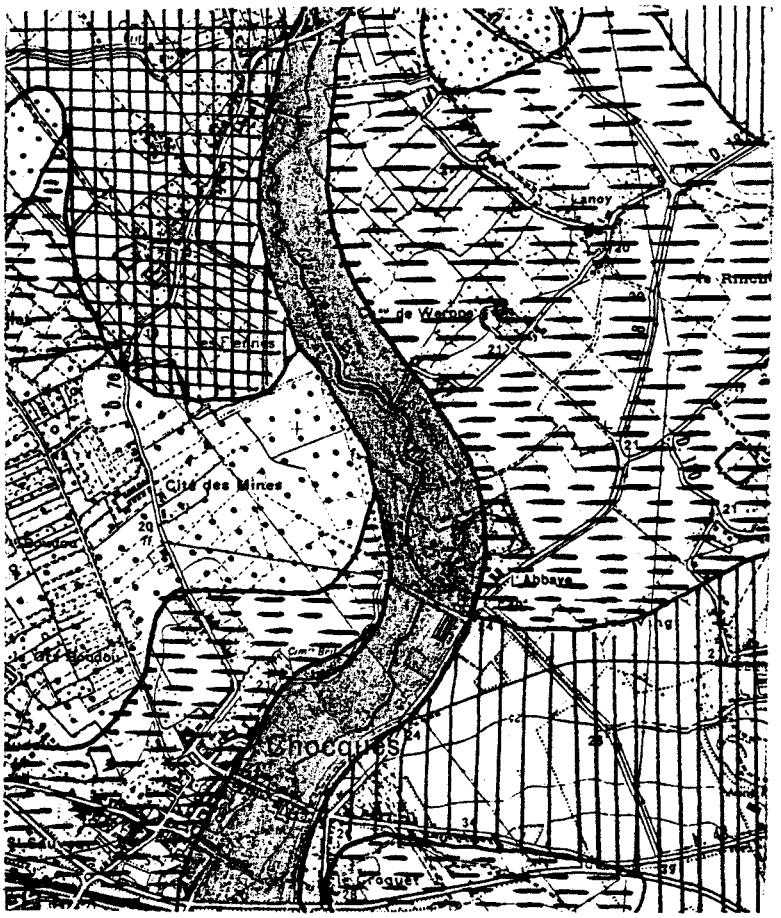
Limon sableux

Argile limoneuse: alluvions récentes (plaine de la Lys)

Echelle : 1/50 000 agrandie à 1/25 000

Fig. 119 : Carte des textures de sol, sur 0,80 m d'épaisseur.

(extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France)



Sols à dominante limoneuse à bon drainage naturel

Sols à dominante limono-argileuse à drainage naturel assez bon , pouvant être drainés - drains enrobés (sable)

Sols à dominante limono-sableuse à drainage naturel très moyen pouvant être drainés

Sols à dominante argileuse à drainage naturel très faible pouvant être drainés

Alluvions (récentes) à dominante argileuse, à drainage naturel très faible nécessitant un drainage direct

Fig. 120: Carte de l'hydromorphie des sols en vue du drainage.

(extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France)

C.D.T.A., le niveau de contrainte entraîné par l'engorgement.

Ce type de carte peut aider à la planification des travaux concernant, par exemple, l'assainissement et le drainage.

VI - LA CARTE DES PENTES.

La pente des parcelles est un facteur qui interdit parfois certaines cultures pour des raisons de mécanisation. La carte des pentes permet de cerner les zones où les pentes interviennent comme facteur limitant les cultures (fig. 121).

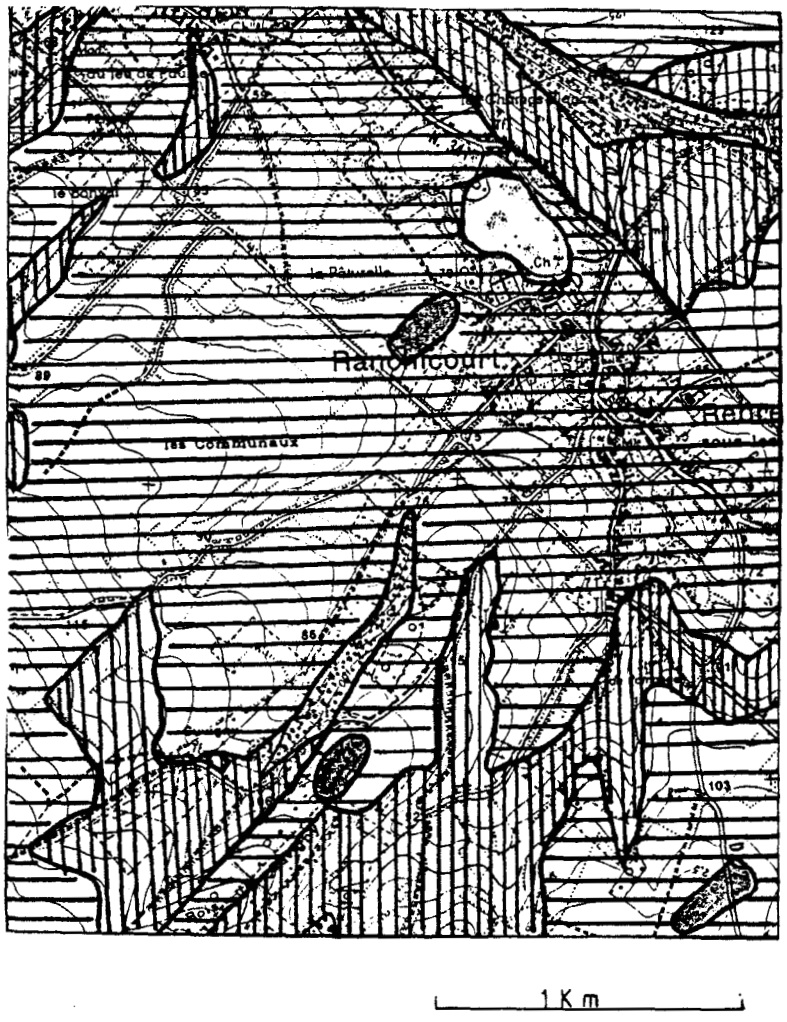
On distingue cinq classes:

- Zones à pente très faible .....$\leq$ 0,5 %
- Zones de faible pente .....$\leq$ 2 %
- Zones de pente moyenne .....2 % < x < 6 %
- Zones de pente forte.....6 % < x < 15 %
- Pente très forte .....$\geq$ 15 %

Ces classes sont celles considérées comme intéressantes pour les agriculteurs et retenues par la commission départementale de la C.D.T.A. (GILLERON *et al*, 1985).

Dans le cadre de la C.D.T.A., les pentes fortes, supérieures à 6 %, constituent un facteur défavorable, gênant la mécanisation, et ont été considérées comme contraintes par la commission départementale. Les terres en pentes très forte $\geq$ 15 % ne sont généralement pas cultivées.

Ce document peut être réutilisé dans le cadre des études sur l'érosion, la conservation des sols et leur vocation culturale, etc.



pentes > 15%

15% > pentes > 6%

6% > pentes > 2%

2% > pentes > 0,5%

0,5 % > pentes

Fig. 121 : Carte des pentes (extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France)

VII - PARCELLAIRE ET TRACES D'EROSION.

Ces deux thèmes ont été rassemblés sur un même document (fig. 122). Ils concernent des préoccupations voisines (dimension du parcellaire, extension de la grande culture et phénomènes d'érosion). Leur observation est simultanée à partir des mêmes séries de photographies aériennes, et leur figuration est compatible.

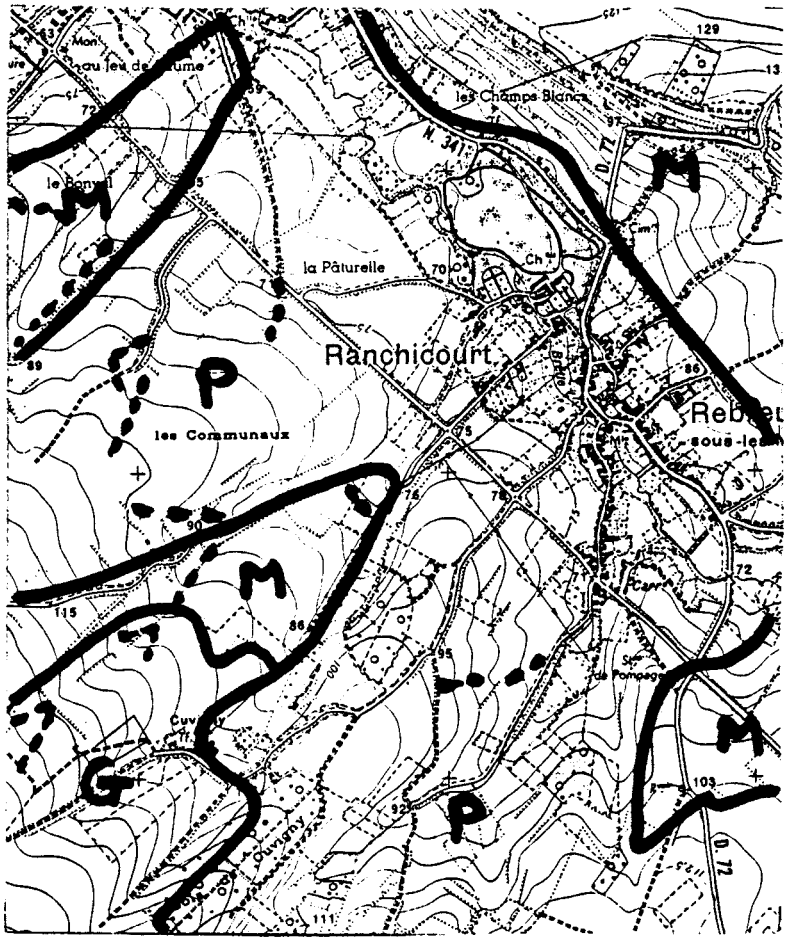
Ils constituent tous les deux des indicateurs liés à la grande culture industrielle; celle-ci demande, en raison de la mécanisation, de grandes parcelles et induit souvent une dégradation physique des sols (tassement, battance,etc.) à l'origine parfois de manifestations d'érosion (ravines, zones blanchâtres sur la convexité des reliefs, atterrissement).

En dehors de la C.D.T.A., cette carte intéresse la lutte anti-érosive, la conservation des sols et l'aménagement hydraulique des régions hautes où le réseau hydraulique a pratiquement disparu suite à l'augmentation de la taille des parcelles.

Sur ce document sont signalées (fig. 122) les ravines et les traces d'érosion apparaissant sur un secteur de l'Artois.

Sur le même document nous reportons les zones de parcellaire homogène, et par échantillonnage nous mesurons la dimension du parcellaire. On distingue ainsi trois classes de parcelles: grandes, moyennes, petites. Pour la C.D.T.A. les dimensions correspondantes ne sont pas les mêmes d'une région à une autre, le découpage parcellaire n'ayant pas toujours la même signification.

Ces observations permettent d'appréhender certaines contraintes, liées à la grande culture et au ruissellement. En même temps ce document apporte les éléments pour la lutte contre l'érosion et la connaissance par les utilisateurs des risques inhérents à ce phénomène.



Limite de zones du parcellaire regroupant des parcelles de dimensions voisines

G grandes parcelles

M moyennes parcelles

P petites parcelles

érosion (ravines - ruissellement)

Fig. 122 : Carte de la dimension du parcellaire et de l'érosion, (extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France)

VIII - LE SCHEMA HYDRAULIQUE.

Le schéma hydraulique (fig. 123) donne une vue d'ensemble des principaux émissaires nécessaires au drainage agricole. C'est un document essentiel à l'aménagement des terres de la Région du Nord, souffrant souvent d'un excès d'humidité.

Les éléments de ce schéma comprennent aussi les ouvrages à la mer, les grands émissaires, canaux et rivières, les stations de pompage, etc. Ces aménagements sont systématiquement relevés en raison de leur importance pour l'assainissement général des terres.

Il est également possible de se reporter au schéma du réseau hydraulique principal, déjà connu sous forme d'un document S.R.A.E. intitulé "Cours d'eau et canaux de la Région du Nord-Pas-de-Calais", et dont la figure 123 présente une extrait.

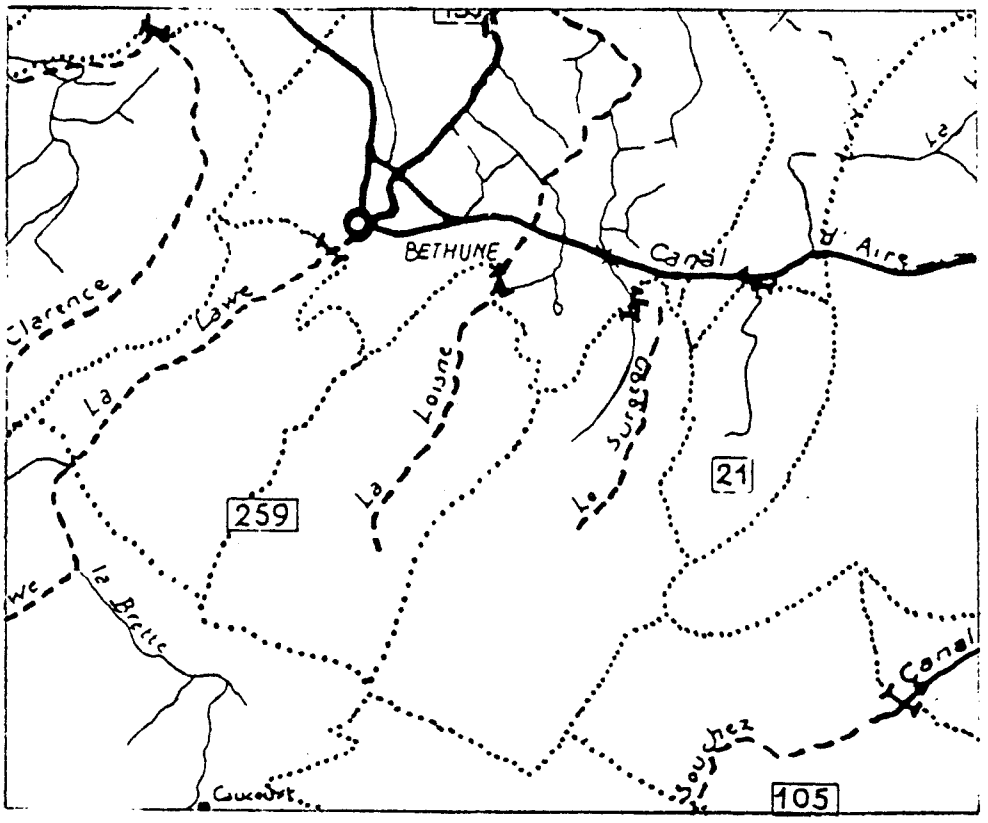
L'absence d'aménagement hydraulique de qualité diminue l'intérêt des terres agricoles, qui seraient donc plus productives dans les zones aménagées. Ainsi, la proximité ou l'éloignement des émissaires principaux est considérée comme une contrainte par les aménageurs.

IX - LA CARTE DES AGROSYSTEMES (1) (fig. 124).

Les données utilisées pour la détermination des agrosystèmes sont les documents statistiques communaux du R.G.A.

A chaque production est appliqué un coefficient propre à la région qui, multiplié par la surface affectée à cette production dans la commune (ou par le nombre de têtes de bétail), donne la marge brute standard correspondante (Cf Annexe IV). Ce coefficient permet d'intégrer la valeur

(1) Système de production agricole.



LEGENDE

limite de bassin versant

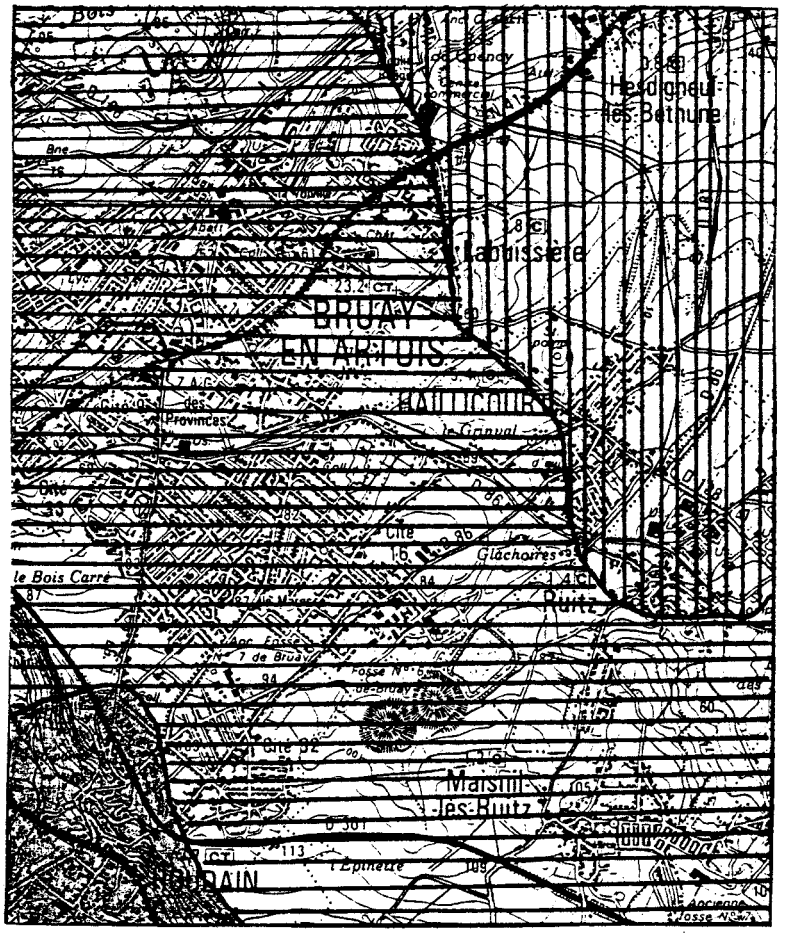
canaux et rivières canalisés

rivières

Fig. 123 : Schéma hydrographique de la carte de Béthune.

(Extrait du réseau hydrographique du Nord de la France)

Document S.R.A.E. Nord - Pas-de-Calais



1 Km

zone à dominante de culture de céréales et de plantes sarclées.

zone mixte de polyculture et d' élevage

zone où l'élevage est prépondérant

Fig. 124 : Carte des agrosystèmes

(extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France)

économique de chaque production (NU NES - VAIS *et al*, 1989).

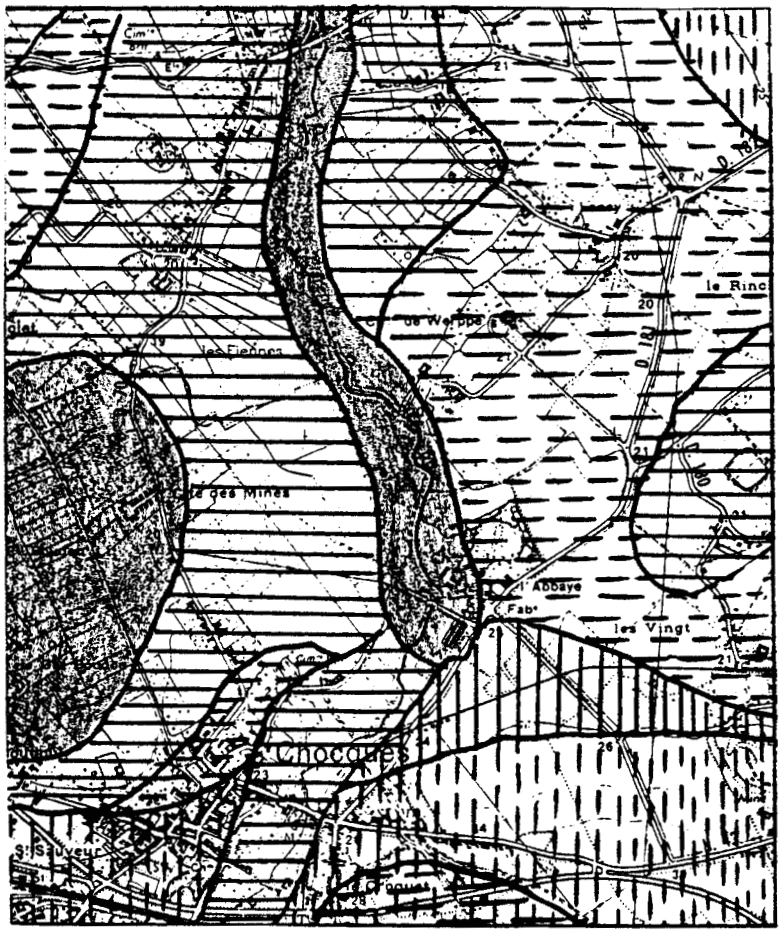
A partir des données statistiques communales du Recensement Général de l'Agriculture (R.G.A.), chaque commune est classée selon une certaine orientation technico-économique suivant la part que représente chaque type de production (cultures permanentes, horticulture, élevage etc.). On obtient ainsi un classement qui permet de regrouper les communes ayant une production de même orientation, que l'on peut mettre en relation avec les grands ensembles de sols, par exemple la relation entre les sols hydromorphes et les zones d'élevage.

Pour représenter les différents agrosystèmes de la carte, on effectue un regroupement de communes de même orientation, et un lissage des contours communaux en fonction des autres documents: carte de texture, carte du modelé, etc. Ce document est utile dans le cadre d'études agronomiques pour définir l'orientation agricole des différentes petites régions, grande culture, herbivore, horticulture, etc.

X - CARTE DES CONTRAINTES OU DE CLASSEMENT DES SOLS.

La carte des contraintes ou de classement des sols (fig. 125) constitue un premier document de synthèse qui tient compte de l'ensemble des contraintes partielles figurant dans chacun des documents précédents. Ces contraintes sont la texture, la pente, la charge en cailloux, l'hydromorphie des sols, etc.

Le classement réalisé généralement dans la Région du Nord est le suivant: l'on classe d'abord les sols en fonction de la texture et de leur épaisseur. Les sols sont ainsi classés dans un ordre de 1 à 5, suivant leurs qualités supposées par la commission départementale. L'on peut citer par exemple le classement effectué pour la coupure de Cassel (GILLERON *et al*, 1985).



Classe 1
Très bons sols

Classe 2
Bons sols

Classe 3
Sols moyens

Classe 4
Sols médiocres

Classe 5
Mauvais sols

La 6ème classe correspondant aux sols incultes n'existe pas dans cette région.

Fig. 125 : Carte des contraintes: classement des sols.

(extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France)

- Sont classés en tête, suivant leur texture moyenne, les sols profonds dépassant 0,8 m d'épaisseur, à bonne réserve en eau utile, et selon la facilité du travail du sol.

.Limon.....1

.Limon argileux.....2

.Argile limoneuse.....3

.Argile ou argile lourde (Clyte - Bief).....4

- Sont ensuite classés les sols à faible réserve en eau utile, sols sableux ou peu profonds.

.Sable 2

.Limon argileux sur craie.....3

.Limon sur craie.....3

- Enfin viennent les sols des zones basses ou alluviales, en situation plus défavorable.

.Limon de vallée (matériaux des vallées humides).....3

.Limon argileux ou argile limoneuse
(alluvions, tourbe, matériaux organiques .....4 ou 5

.Limons des vallées sèches.....2 (3 si contraintes)

A ce premier classement est appliqué un ensemble de décotes qui tient compte de la charge en cailloux, de la pente et de l'engorgement des sols. Les décotes sont les suivantes:

- pour la charge en cailloux:

1 si la charge est modérée (niveaux de cailloux épars),

2 si la charge est importante (cailloux serrés pouvant limiter le passage des outils dans le sol).

- pour les pentes, les décotes sont récapitulées sur le tableau suivant, tenant compte des décisions de la commission. Celle-ci a estimé que les pentes supérieures à 6 % gênaient la culture, et qu'au delà de 15 % les terres restaient en friche.

Pente \ Texture	Limon	Limon argileux	Argile limoneuse	Argile
> 15 %	4	3	2	1
6 à 15 %	2	2	2	1
< 6 %	0	0	0	0

- pour l'hydromorphie, la commission a estimé que seul un drainage naturel satisfaisant, jusqu'à 0,8 m de profondeur n'entraînait pas de décote; dans les autres cas, un système de décote est appliqué comme indiqué sur le tableau suivant est appliqué:

Classe de drainage + hydromorphie \ Texture	Limon	Limon argileux	Argile limoneuse	Argile
2-3 Très faible, hydromorphie entre 65 et 80 cm	1	1	0	0
3 Faible, hydromorphie entre 40 et 65 cm	2	1	1	0
4 Moyenne, hydromorphie entre 0 et 40 cm	3	2	2	1
5-6 Forte, hydromorphie généralisée (gley)	3	3	2	1

Il en résulte une carte de contraintes, préalable au classement des terres agricoles.

XI - CARTE DE CLASSEMENT DES TERRES AGRICOLES.

A la carte de classement des sols se surimpose le recensement des zones urbaines, les grands ouvrages routiers et portuaires, les industries agricoles importantes pour le développement de l'agriculture, les zones remembrées, les zones drainées, ainsi que différents facteurs économiques qui influent sur l'économie agricole et apportent une plus value possible aux terres agricoles, tels que le remembrement, la structure des exploitations, les spéculations spéciales à haute valeur ajoutée, etc. Ces éléments sont représentés au moyen de trames et de figurés. La classe n'est pas représentée.

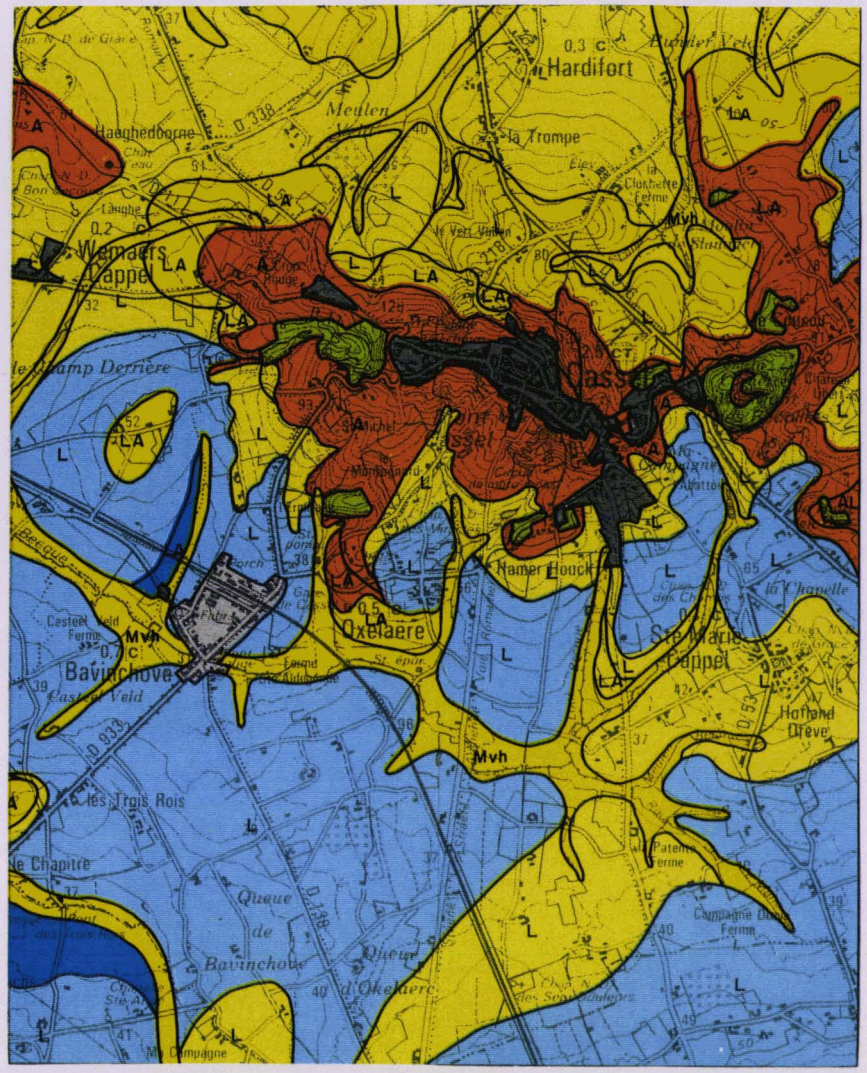
La figure 126 montre un extrait de la carte des terres agricoles de Cassel et de sa légende.

XII - CRITIQUE DE LA METHODE DE CLASSEMENT DES TERRES ET TRANSPARENCE DU DOCUMENT.

Dans sa facture habituelle, la C.D.T.A. a le défaut de mélanger différents facteurs, physiques, économiques, humains, parfois sans rapport direct entre eux, entraînant sur la carte la création d'une mosaïque hétérogène difficile à comprendre. Il ne se dégage pas toujours d'ensembles simples et cohérents guidant le lecteur.

D'autre part, l'échelle des données acquises, physiques ou économiques peut être différentes, et la carte ne fournit pas d'indication à la parcelle.

Enfin, l'on peut douter de la représentativité d'une carte qui veut indiquer pour l'ensemble de la France un classement des sols en 6 catégories. En effet, pour chaque feuille, le classement des terres découle de propositions d'un chargé d'études et d'un certain nombre de décisions prises par une commission départementale. Il est certain que les personnes



FLANDRE INTÉRIEURE	Limons profonds bien drainés. (L)	1	Très bonnes aptitudes aux grandes cultures.
	Limons profonds à drainage modéré à imparfait. (L)	2	Bonnes aptitudes aux grandes cultures mais avec quelques contraintes à réduire : assainissement.
	Limons ou limons argileux à drainage imparfait. (L ou LA)	3	Aptitudes aux grandes cultures avec des contraintes importantes liées à l'hydromorphie. Amélioration nécessaire : assainissement, drainage.
	Limons ou limons argileux à drainage faible. (L ou LA)	4	Aptitudes moyennes aux grandes cultures. Contrainte importante liée à l'hydromorphie. Amélioration nécessaire : assainissement, drainage.
	Matériaux des fonds de vallées à drainage imparfait. (Mvh ou All)	4	Aptitudes moyennes aux grandes cultures. Contraintes importantes liées à la topographie ou à l'aménagement du parcellaire et à l'hydromorphie. Aménagement nécessaire : assainissement et drainage.
	Limon à drainage imparfait en position de versant dont la pente est ~~comprise entre 6 et 15 %~~. (L)	4	Aptitudes moyennes aux grandes cultures : contraintes importantes liées à la topographie et à l'humidité des sols. Amélioration nécessaire : assainissement, drainage.
	Matériaux des fonds de vallées à drainage faible Limon argileux à argile limoneuse. (Mvh)	5	Contraintes très importantes liées à l'hydromorphie : aménagement hydraulique difficile.
	Argiles limoneuses ou argiles lourdes à drainage faible ou à charge en silex. (AL ou A ou A et x)	5	Contraintes très élevées, productivité moyenne liée à l'hydromorphie et à la charge en silex. Amélioration difficile.
	Limons ou limons argileux ou argile en position de versant avec une pente supérieure à 15 %. (L ou LA ou A)	5	Contraintes très élevées en raison de la pente Productivité faible, amélioration et mécanisation difficile.

La 6e classe correspond aux terrains incultes n'existe pas dans cette région

Fig. 126 : Carte des terres agricoles et sa légende. Extrait de la feuille de Cassel à 1/50 000. Nord de la France.

(GILLERON et al. 1985)

présentes au comité départemental n'avaient, au mieux, qu'une vue régionale des terres agricoles, et les chargés d'étude entreprenaient eux aussi cette démarche en comparant les terrains à l'intérieur d'une région ou d'un secteur. Ceci est évident dans la Région du Nord où les classements ont été effectués de façon indépendante pour chacune des petites régions naturelles rencontrées, en l'absence de critères permettant de comparer des sols, d'origines différentes, parfois sans points communs.

La démarche adoptée dans la Région du Nord a essayé d'apporter un certain nombre d'adaptations et de correctifs par rapport aux critères précédents, ceci en suivant 2 directions:
1/ la méthode d'acquisition des données a visé d'une part la C.D.T.A., mais aussi la réalisation de documents factoriels, valorisables en eux-mêmes;
2/ la forme et la présentation du document a individualisé les indications provenant des documents factoriels, telles que la texture, symbolisée par des lettres sur la carte.

La carte représente pour l'essentiel les contours des facteurs physiques, et principalement des unités de sol. Les autres facteurs, économiques ou humains, sont signalés sous forme de cartons indépendants (zones drainées par exemple) ou sous forme de trames (zones à urbaniser), de façon à ne pas mélanger des facteurs sans rapport entre eux, et pour lesquels l'échelle du document n'a pas une signification particulière. La commission peut décider également de ne pas représenter certaines informations.

Cette façon de faire a l'avantage de garder une plus grande lisibilité au document et une plus grande cohérence, les facteurs physiques les plus constants étant privilégiés.

Par ailleurs, la réalisation pour l'élaboration de la C.D.T.A., de différents documents, eux-mêmes conservés, permet d'expliciter éventuellement des éléments qui apparaissent confus au lecteur.

XIII - UTILISATION DE LA C.D.T.A.

La C.D.T.A. est assez fréquemment utilisée dans la mesure où celle-ci a été organisée sous forme d'inventaires factoriels permettant de retrouver les différentes contraintes de classement et donc les données brutes ayant conduit au classement.

Telles qu'elles sont éditées, les feuilles de Cassel, Lille, Hondschoote, Dunkerque, Steenvoorde, permettent un retour partiel aux données brutes. La texture ou la nature du dépôt sont indiqués sur la carte sous forme d'abréviation pour chacune des unités (Ex: Limon sur Argile est indiqué L/A), pour 2 couches de 0,40 m chacune. Par contre, le système des décotes selon les contraintes d'hydromorphie, de pente, de charge en cailloux, n'est pas transparent, et ne permet pas au lecteur de retrouver au travers des éléments de la carte l'origine du classement.

La solution consisterait à partir d'un code lettre-chiffre prolongeant les lettres utilisées pour l'appellation des textures des matériaux, de signaler l'origine du classement, tel que désirent le connaître de nombreux utilisateurs: conseillers agricoles, aménageurs, chargés d'étude d'impact, ce qui augmenterait l'efficience du document.

Il existe actuellement une demande d'information, auprès de la Direction Régionale de l'Agriculture et le la Forêt, Nord-Pas-de-Calais, en vue de décrypter la carte pour obtenir certains renseignements que l'on peut supposer connus, à la lecture de la carte de synthèse, mais dont on ne connait pas avec certitude la nature.

L'existence des documents thématiques permet de fournir les informations souhaitées et de les rapporter aux unités de la carte (Exemple: la présence de cailloux). Par ailleurs, ces documents thématiques ont permis de faire des sorties cartographiques pour d'autres fins que la C.D.T.A.

Citons l'exemple de la carte concernant l'assainissement autonome pour le S.D.A.U. de Dunkerque.

CONCLUSION

Les cartes départementales des terres agricoles constituent, telles qu'elles ont été réalisées dans le Nord, grâce à une approche plurithématique, un document pratique d'aide à la décision. Chaque document élémentaire permet, en effet, à lui seul de répondre à un certain nombre de préoccupations.

Plus qu'un classement synthétique permettant de hiérarchiser les situations, il a été réalisé dans l'optique de retrouver les caractères du milieu.

Par ailleurs, ce chapitre concerne plusieurs domaines d'activité économique allant de l'agriculture, jusqu'à l'aménagement peri-urbain et à l'industrie.

A l'inverse, dans le chapitre suivant, nous verrons un exemple d'inventaire sectoriel répondant au seul domaine de l'activité agricole, et qui peut être considéré comme un des éléments de l'inventaire du type précédent.

CHAPITRE II

INVENTAIRE DU MILIEU ET SCHEMA DE REPARTITION DES SOLS DE L'ARRAGEOIS ORIENTAL (Cantons de Croisille - Vitry - Marquion - Bapaume)

Dans la succession ou l'emboîtement des inventaires, ce chapitre se rapporte à un domaine économique particulier, le secteur agricole, alors que le chapitre suivant se rapportera à un domaine technique très précis, concernant l'assainissement agricole.

Le relevé des sols et des éléments du milieu physique, que nous avons effectué dans l'Artois, sur les Cantons de Croisille, Vitry, Marquion et Bapaume, constitue un exemple d'inventaire permettant d'informer les décideurs sur les caractéristiques d'un territoire relevant de plusieurs petites régions. Cet inventaire a été réalisé pour répondre à la demande des planteurs de betteraves, préoccupés par des échecs ou des écarts importants de rendement soit intercommunaux, soit interparcellaires. L'accent est donc mis ici, sur l'utilisation agricole des terres; cependant, les connaissances générales obtenues, sont organisées par thèmes ou démarches élémentaires, qui permettent de répondre aux problèmes de la culture de la betterave, mais peuvent aussi

s'appliquer à d'autres cultures (céréales, etc.) ou aménagements (lutte anti-érosive, etc.).

Ces relevés poursuivent deux buts: l'aide directe à la décision en termes de choix économique ou technique, et la fourniture de données nécessaires à la conception des itinéraires techniques pour les systèmes de culture choisis.

Le présent chapitre vise à montrer la succession des démarches pouvant être incluses dans ce type d'inventaire.

Cette démarche comprend plusieurs volets suivant la caractérisation du milieu:

- la présentation géographique et l'examen du milieu: (géographie, géologie, hydrographie, modelé, climatologie),
- la reconnaissance des sols,
- le zonage des sols engorgés: carte de l'excès d'eau,
- l'élaboration d'une carte de ruissellement, en fonction des modes d'utilisation du sol (culture, prairie, bois), et des dimensions du parcellaire,
- le recueil des analyses de sol et l'amorce d'un fichier de références analytiques pour chaque petite région,
- la place relative des différentes cultures et les grands types d'exploitation,
- le matériel, le travail du sol, les techniques culturales,
- le recensement des problèmes soulevés par les agriculteurs, en relation avec les observations physiques effectuées sur le milieu,
- les relations entre la caractérisation du milieu et les résultats des enquêtes annuelles effectuées par les planteurs sur la culture de betterave, et dont les résultats ont été regroupés par la Chambre d'Agriculture (FEVRIER, 1985): approche sommaire.

Ces travaux d'inventaire permettent de préciser l'aptitude du milieu vis à vis des cultures, en dégageant les facteurs favorables et limitants.

Nous avons ainsi les éléments d'un premier diagnostic général qui peut se poursuivre par des travaux d'analyse plus précis.

I - PRESENTATION GEOGRAPHIQUE DU PERIMETRE (Cantons de Croisilles - Vitry - Marquion - Bapaume)

1/ Situation géographique générale.

Le secteur recoupe une partie du bassin-versant de la Sensée, sur la bordure nord-est de l'Artois, s'inscrit dans le quadrilatère formé par les villes Arras, Bapaume, Cambrai, Bouchain et recoupe plusieurs petites régions naturelles:

- au Sud-Ouest, la terminaison est de la Plaine d'Arras,
- à l'Est, la partie nord du Cambrésis,
- au Nord, la partie sud des collines de l'Ostrevent.

Le réseau hydrographique, déjà étudié au Ch. II, 3ème partie (p. 279), est formé par la rivière Sensée et ses affluents qui drainent les eaux du versant de l'Artois (fig. 127).

2/ Le relief.

Le périmètre étudié se situe à la transition entre les Plateaux du Haut Pays et les plaines du Bas Pays et recouvre pour partie le bassin-versant de la Sensée.

La partie sud est incluse dans le Haut Pays, essentiellement dans le secteur est de la Plaine d'Arras qui comprend de vastes plateaux dont les altitudes varient de 160 à 100 m . La partie nord est située dans le Bas Pays (Nord du

C : Croisilles

V : Vitry

M : Marquion

B : Bapaume

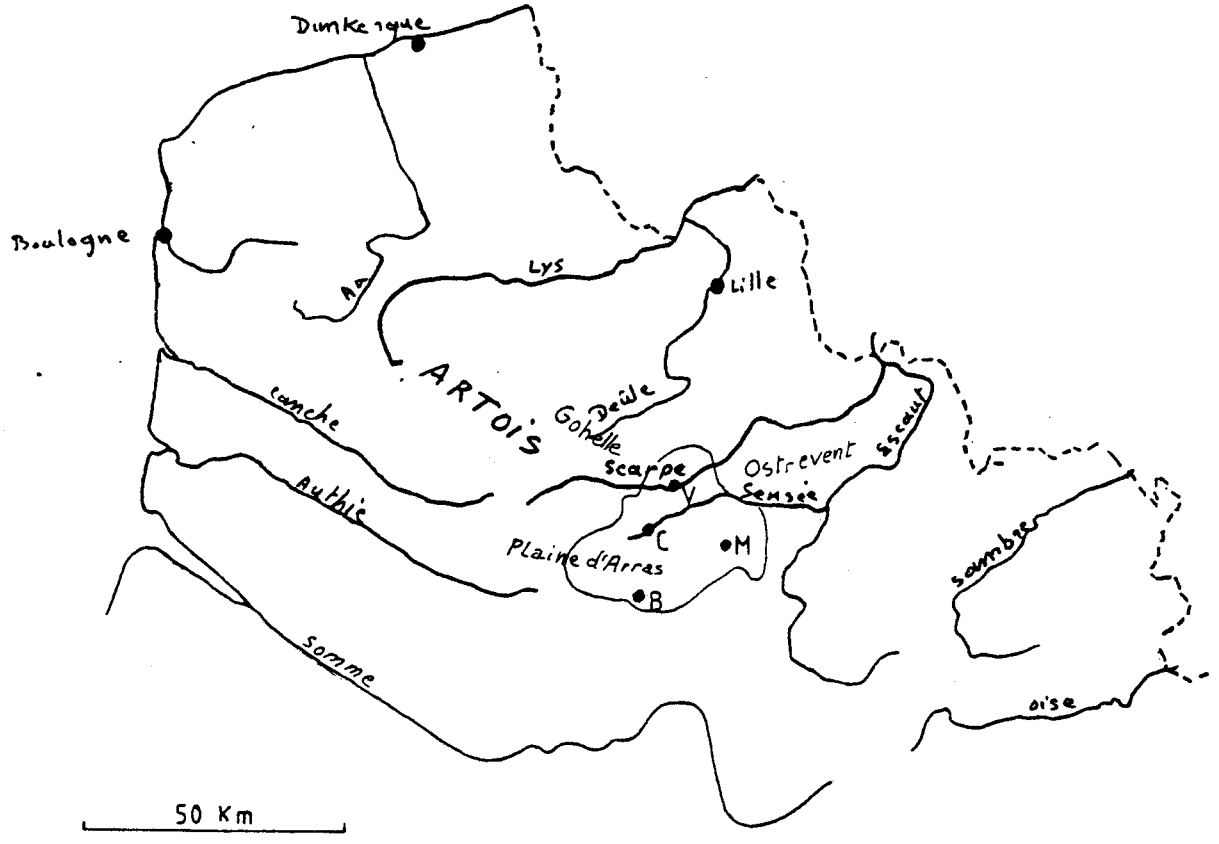


Fig. 127 : Situation du secteur des Cantons de Croisilles - Vitry - Marquion - Bapaume.
Région de l'Artois, Nord de la France

Cambrésis et Sud de l'Ostrevent). Elle débute dans le relief par une rupture de pente qui s'amorce entre les courbes de niveau 100 m et 80 m. C'est dans le Bas Pays, zone plus humide que prend naissance l'ensemble des ruisseaux qui alimentent la rivière Sensée.

Au dessous de cette rupture, le versant est recoupé par de longs vallons rectilignes dont la pente longitudinale varie de 1 à 4 %. Les altitudes dans le Bas Pays se situent entre 40 et 60 m. De part et d'autre de la Sensée, quelques petites collines introduisent un modelé plus vigoureux avec des altitudes qui peuvent atteindre 75 m et des versants aux pentes voisines de 6 %. Il s'agit des collines de l'Ostrevent, alignées d'Ouest en Est, et de buttes témoins disséminées dans la partie Nord du Cambrésis et de la Plaine d'Arras.

La carte du modelé (fig. 128) permet de visualiser ces éléments de relief.

3/ Hydrographie.

Le réseau hydrographique permanent est constitué par la Sensée qui prend sa source à la base des plateaux crayeux de l'Artois et se jette dans l'Escaut à Bouchain. Ses principaux affluents et sous-affluents proviennent de la rive droite. Il s'agit du Cojeul, du Trinquise, de l'Hirondelle et de l'Agache pour la partie amont de la Sensée et de la Naville Tortue pour la partie aval.

Le profil longitudinal de la Sensée et de ses affluents peut être subdivisé en deux parties :

- la partie supérieure draine les eaux de ruissellement des plateaux crayeux des hauteurs du Cambrésis et de la région de Bapaume. Il s'agit d'écoulements temporaires à l'amont des sources de la Sensée et de ses affluents situés plus bas sur le bassin-versant. Dans cette zone, le réseau hydraulique qui

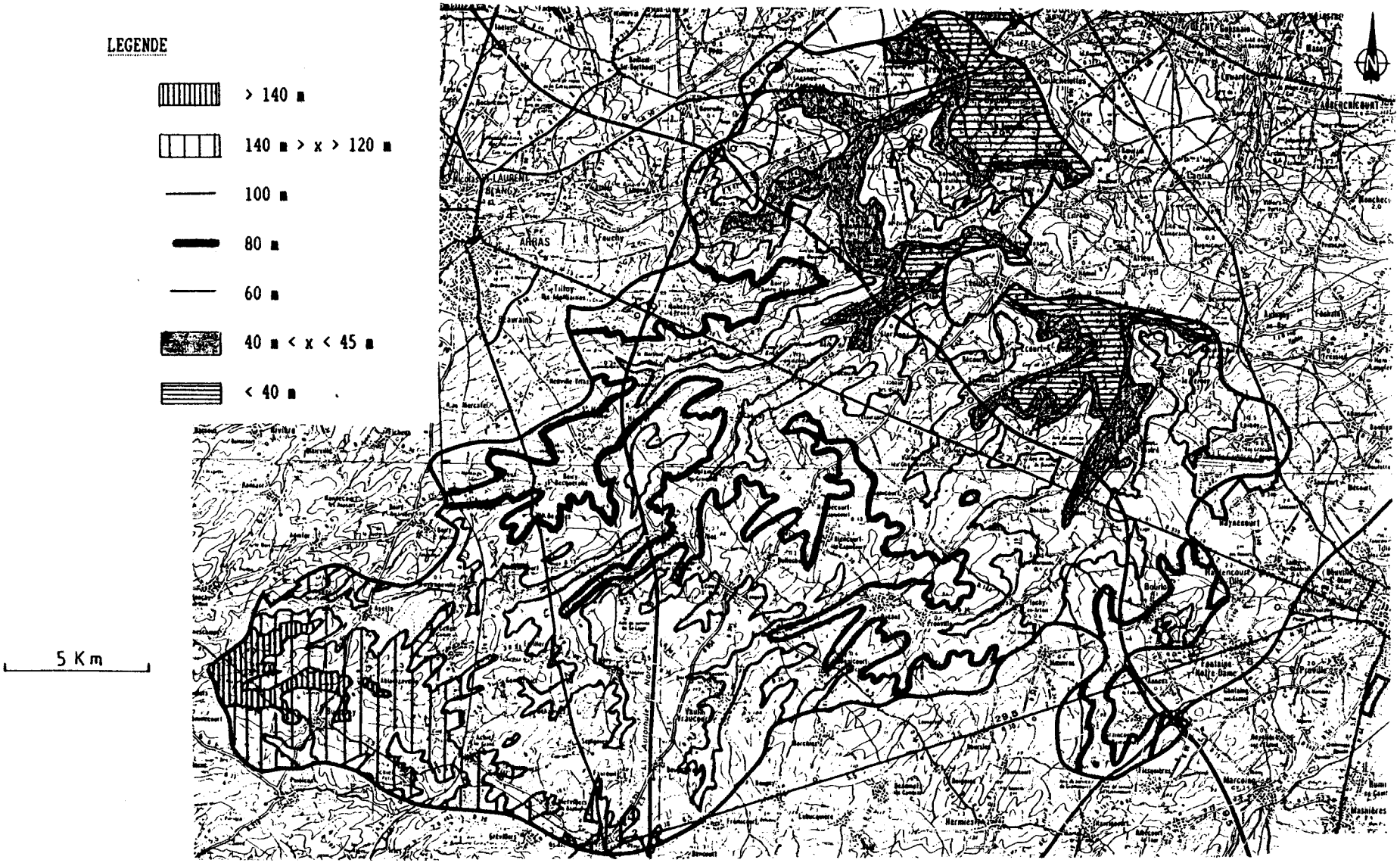


Fig. 128 : Esquisse du modelé des Cantons de Croisilles, Vitry, Marquion et Bapaume, Région de l'Artois, Nord de la France

serait nécessaire dans certains cas à l'évacuation des eaux de ruissellement a quasiment disparu. (Cf, fig. 105, ch. II, IIIème partie, p. 371)

- la partie inférieure, à écoulement permanent, débute à la hauteur des sources situées à Etaing, et rejoint l'Escaut à Bouchain. Elle correspond à un marais d'environ 5000 ha avec 700 à 800 ha d'étangs dus en grande partie au détourbage, effectués notamment aux XVIII* et XIX* siècles (FROMENT, 1947). Dans cette partie aval, le réseau hydraulique est actuellement insuffisant pour permettre l'assainissement correct de l'ensemble de la zone humide.

4/ Géologie.

Au sommet des formations de couverture quaternaires, souvent limoneuses, recouvrent des dépôts plus anciens secondaires et tertiaires venant rarement à l'affleurement. Ces formations anciennes sont souvent dénommées substrat (Cf fig. 102, ch. II, IIIè partie, p. 366).

5/ Climatologie.

Le secteur, comme le restant de la région, jouit d'un climat modéré, les pluies annuelles totalisant environ 650 mm.

Les précipitations mensuelles moyennes à la station de Cambrai sont les suivantes:

STATION DE CAMBRAI (précipitations mensuelles moyennes)

MOIS	JANV	FEVR	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	Total année
Pluie mm	47,8	47,5	66,6	39,6	56,4	57,1	62,9	56	63	45,4	72,0	30,4	645,7

De ces informations, jointes au calcul de l'E.T.P. nous avons une indication sur les possibilités de déficit hydrique durant la période de végétation

L'étude de l'occurrence des périodes sèches, permet de déterminer les périodes dans lesquelles les conditions de travail du sol, de plantation et de récolte sont favorables (fig. 129).

En ce qui concerne les températures, on remarquera dans le tableau ci-dessous que les gelées deviennent rares en avril, période qui sera donc assez favorable pour le semis et le démarrage des betteraves.

Températures et nombre de jours de gelées relevés à la station de Cambrai-Epinoy (de février à mai)

MOIS / ANNEE	FEVRIER		MARS		AVRIL		MAI	
	T°	Jours gelée	T°	Jours gelée	T°	Jours gelée	T°	Jours gelée
1979	0,7	19	5,2	9	8,1	5	11,7	3
1980	5,6	2	5,3	7	7,8	1	11,6	-
1981	2,0	20	9,1	2	9,1	2	12,6	2
1982	3,9	9	6,1	4	8,1	5	13,0	-
moyennes mensuelles (sur 4 ans)	3,05	12,5	6,4	5,5	8,3	3,25	12,23	1,25

Ces éléments généraux sont complétés par les travaux d'inventaires que nous allons présenter successivement.

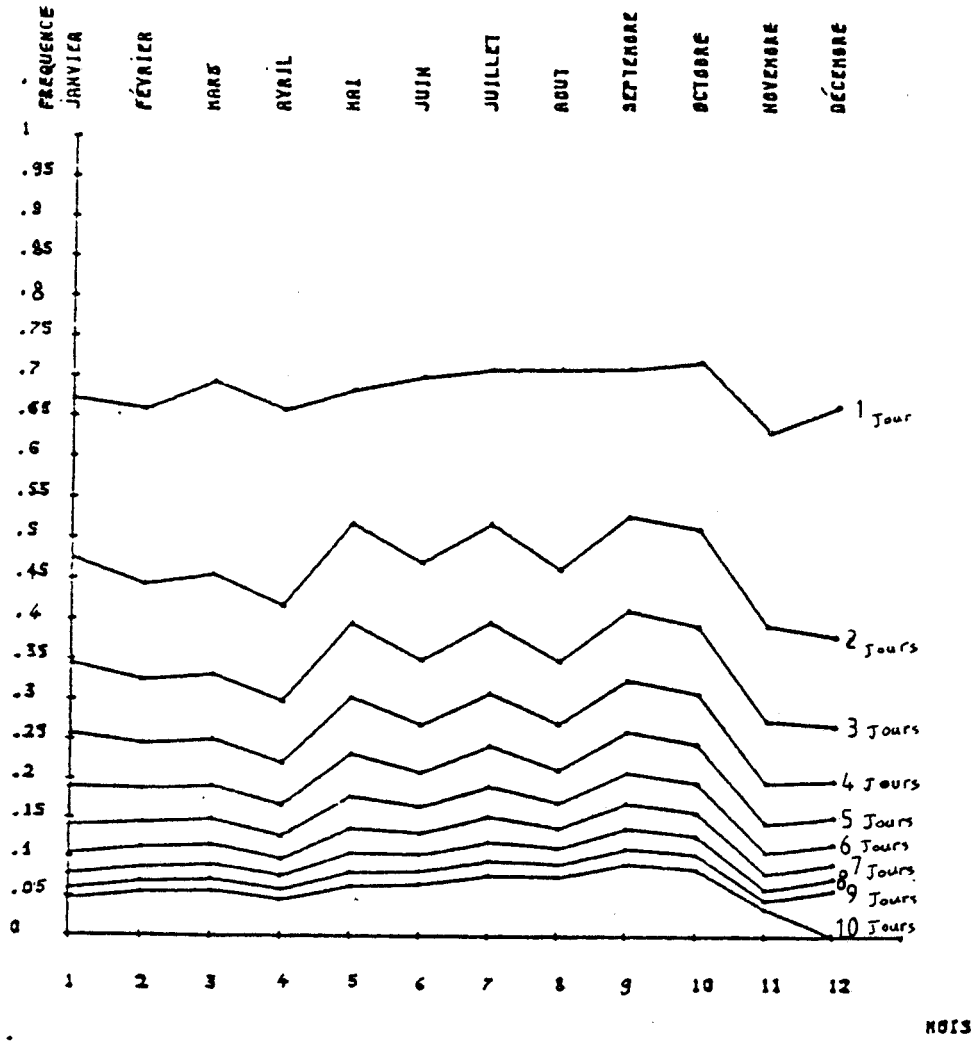


Fig. 129 : Probabilité d'occurence d'une période sèche.

Station de Cambrai, Nord de la France

(U.S.T.L. - S.R.A.E. inédit)

II - RECONNAISSANCE DES SOLS

1/ Proposition d'un schéma de répartition des sols.

La reconnaissance des sols a eu ici pour objectif de connaître leurs caractéristiques, afin d'y relever, les facteurs contraignants pour le développement de la betterave. En raison de la faiblesse des informations existantes sur le périmètre, le document envisagé n'a pas été le résultat d'une cartographie régulière, mais s'est orienté vers un schéma de répartition des sols.

Je propose le terme de "schéma de répartition des sols" dans la mesure où à la démarche cartographique, qui comporte une continuité des unités représentées et de leur contour, nos observations sont très dispersés et de densité non homogène. Elles ne permettaient pas de repérer, avec certitude, l'ensemble des unités majeures soit pédologiques, soit lithologiques,ainsi que la cohérence de leur agencement. Il n'est donc pas prudent de parler de cartographie, le terme risquant de prêter à confusion. Cette question se pose certainement, dans la région du Nord pour les documents à échelle régionale (Cf Ière partie). Il semble que seules les échelles se rapprochant du 1/50 000 fournissent une véritable approche cartographique dans la région du Nord dans la mesure où elles permettent d'identifier les différents dépôts sur lesquels se sont formés les sols, et d'expliquer leur disposition. Cette échelle a d'ailleurs été adoptée par d'autres disciplines voisines.

Par ailleurs, la notion de schéma a été reprise dans différents domaines. Citons l'exemple des schémas hydrauliques, des schémas urbains où l'expression simplifiée de la réalité suffisait à apporter les éléments nécessaires à la planification générale et à l'instruction d'études plus particulières.

2/ Justification d'un schéma de répartition des sols agricoles.

Ce schéma de répartition des sols agricoles, effectué à petite échelle (1/150 000) est utile pour différentes raisons. C'est un moyen de contrôle préalable des travaux entrepris par les différents chargés d'étude, intervenant sectoriellement dans la région. Cela permet de s'assurer que les propositions d'étude sont cohérentes avec les références déjà acquises sur le sol. Le schéma de répartition des sols permet donc dans le domaine agricole:

- de déterminer les aptitudes culturales des terres,
- d'envisager l'implantation d'essais au champ ou de sites de mesure par grandes variétés de sols,
- de vérifier la représentativité de ces essais ou de n'importe quelle référence connue dans un pays agricole, et facilite leur diffusion,
- d'interpréter les résultats d'analyse des sols, etc.

Ces utilisations prennent deux orientations différentes, dans la mesure où l'on s'adresse aux scientifiques et techniciens, ou aux praticiens agriculteurs.

En ce qui concerne les premiers, chercheurs et techniciens, l'usage d'un schéma de répartition des sols agricoles permet de localiser les différents sols, de connaître leur représentativité et d'y rattacher un certain nombre de références. En l'absence de schéma, à partir d'une longue expérience de terrain, le technicien va localiser certains types de sols, mais il n'en aura généralement qu'une connaissance partielle, les références seront parfois appliquées un peu au hasard, de ce fait les mesures, analyses, propositions et connaissances acquises seront souvent appliquées à des situations de sol étrangères à ces références.

Citons l'exemple de la Flandre intérieure où la couverture de limons loessiques quasi généralisée entraînait une sous-estimation de la présence des formations sableuses et argileuses parfois très proches de la surface. Plusieurs erreurs d'aménagement: qualification des sols en remembrement, ou préconisation en matière de drainage (écartement des drains et pose de filtre anticontaminant), ont conduit, sur les périmètres concernés, à la réalisation d'études systématiques (à 1/20 000), préalables aux aménagement à partir de 1980. Le bien fondé de cette décision a été confirmé ultérieurement par les cartes schématiques produites en vue de la réalisation des cartes des terres agricoles (1 sondage pour 32 ha) qui ont montré la variabilité importante des sols.

Sur le bassin de la Sensée, le secteur de référence drainage (BILLIONNET *et al*, 1984) n'est pas représentatif de l'ensemble des unités de sol susceptibles d'être drainées, notamment les sols de limons avec horizon d'accumulation d'argile Bt. L'actuel schéma de répartition des sols, que nous présentons ici, aurait permis d'augmenter l'efficience de cette étude.

Sur le Marquenterre, les Services de l'Agriculture ont pris l'initiative de réaliser un tel schéma préalablement à toute proposition de périmètre d'étude de secteur de référence drainage. Cette opération a permis de comprendre la structure des formations superficielles de cette plaine et d'ajuster le secteur à l'ensemble des unités qu'il était nécessaire d'étudier. Le secteur de référence a donc été divisé en 4 zones afin de couvrir l'ensemble des cas de figure (MASSON *et al*, 1987).

Le schéma de répartition des sols permet donc, dans une large mesure, de corriger ces imprécisions. Ce schéma a l'avantage de pouvoir être diffusé, complété à l'avenir et corrigé, il peut être transmis aux successeurs des techniciens avec l'ensemble des références acquises. Il permet aux

techniciens et professionnels d'avoir une vue commune du paysage et de parler le même langage.

En ce qui concerne les deuxièmes, les praticiens, leur connaissance du milieu est souvent limitée à la terre arable soit 0,30 m d'épaisseur. Beaucoup de caractères des sols ne sont connus que de façon indirecte (Exemple: la réserve en eau) et souvent de façon imprécise. il leur est parfois difficile de renseigner le technicien sur certaines caractéristiques de leur champ, le fonctionnement des sols, et d'y rattacher certaines références connues par ailleurs. L'expérience acquise se transmet mal. D'autre part, beaucoup d'agriculteurs sont conduits à changer de terroir. Il apparaît donc qu'un schéma de répartition des sols auquel peuvent se rattacher les références acquises soit utile.

Le schéma de répartition des sols pourrait donc être un instrument de diffusion et de meilleure transmission de l'information.

Une autre justification d'un schéma de répartition des sols agricoles provient de la grande complexité et de la diversité des caractères des sols régionaux, souvent sous estimées, en raison de la présence d'une couverture limoneuse généralisée.

3/ Reconnaissance des sols agricoles dans le périmètre.

Méthode.

Afin d'obtenir un schéma général de répartition des sols (fig. 130) plusieurs documents ont été consultés, tels que les cartes géologiques, les cartes thématiques partielles et localisées sur des périmètres restreints, se rapportant au drainage, au ruissellement, à l'agronomie, à l'épandage souterrain, à la pollution etc. Nous avons consulté également le fichier des sols du S.R.A.E. Nord-Pas-de-Calais et nous avons effectué plusieurs observations, environ 200 sondages

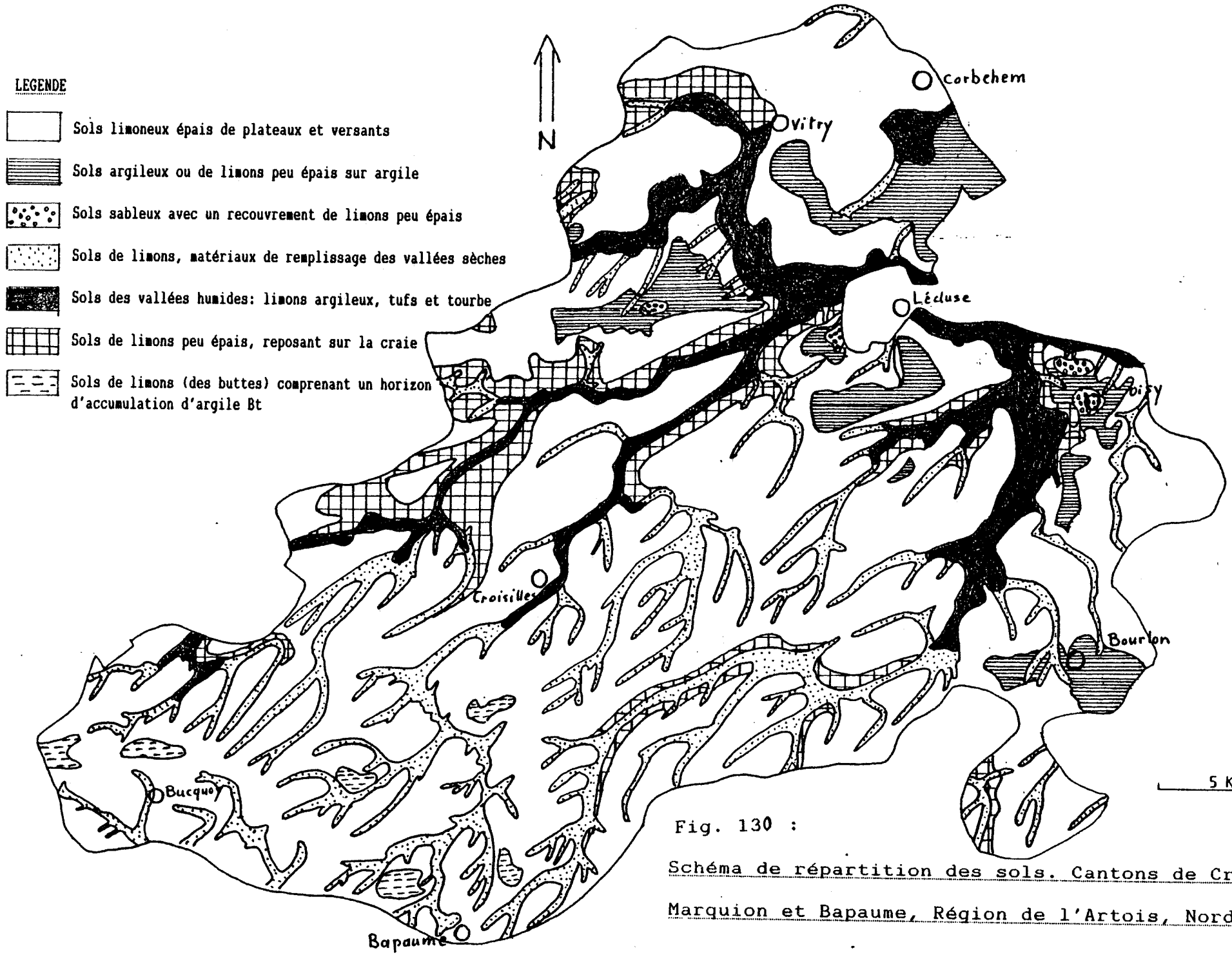


Fig. 130 :

Schéma de répartition des sols. Cantons de Croisilles, Vitry Marquion et Bapaume, Région de l'Artois, Nord de la France

sur le terrain, complétant les observations précédentes.

La reconnaissance se fait à partir d'observations du sol dont ne sont repris ici que les caractères intéressant un zonage agricole. Elles sont complémentaires aux observations effectuées pour d'autres études antérieures (sondages intercalaires figurant au fichier des sol du S.R.A.E. Nord-Pas-de-Calais).

Des sondages supplémentaires ont été réalisés donnant ainsi un document approximativement à l'échelle du 1/150 000 (1 observation par cm² de carte). Les contours ont été affinés par interprétation à partir de divers documents existants, notamment la carte du modelé.

Résultats des observations.

Le "schéma de répartition" des sols agricoles permet de vérifier la diversité du sol ainsi que leur répartition approximative (fig. 130, p. 439).

Nous avons distingué ainsi plusieurs grands types de sols:

* Sols limoneux.

Les sols limoneux couvrent les plateaux et les versants. Leur taux d'argile varie de 14 à 19 %. Ces sols, biens drainés, sont relativement homogènes, car il n'y a pas d'horizon Bt suffisamment développé pour être imperméable. Ils reposent sur la craie, parfois par l'intermédiaire d'un niveau d'argile à silex. Ces sols sont assez pauvres en matière organique, leur pH parfois voisin de 7, ils sont souvent très sensibles à la battance, au tassement, à l'effet destructurant du travail de certains outils agricoles etc. (ces sols sont parfois sujet au ruissellement).

* Sols argileux (ou clytes ou bief).

Les argiles tertiaires apparaissent parfois à

l'affleurement sur les buttes témoins, situées dans le secteur nord, à proximité de la vallée aval de la Sensée (BILLIONNET *et al*, 1984).

Elles donnent naissance à des sols d'argile lourde difficiles à travailler. Leur drainage est possible en raison de la présence d' argile gonflante, pouvant se rétracter en période estivale. La plupart de ces sols sont utilisés en prairie, quelques- uns sont cultivés.

* Sols sableux des buttes témoins tertiaires.

Il s'agit de sols des buttes humides, avec un léger recouvrement de limon. A structure fragile, ils sont battants et sujets au tassement, provoquant du ruissellement. Inclus dans les zones humides, ils sont généralement consacrés à la prairie. Les superficies qu'ils occupent sont peu importantes.

* Sols peu épais sur craie.

Ces sols occupent une importance notable sur les versants. Ils comprennent les zones d'affleurement, ou de sub-affleurement de la craie recouverte par des limons ou des formations résiduelles d'argile à silex. Ils n'ont pas été représentés le long de toutes les vallées sèches en raison de leur faible largeur.

Ces sols sont très bien structurés, peu sensibles au tassement, à la destructuration des agrégats, et donc à la fermeture superficielle et interne du sol. Leur réserve en eau est faible et les plantes peuvent éventuellement souffrir d'un déficit hydrique.

* Sols sur limons épais, avec des granules de craie, (généralement non représentés sur le schéma).

Il s'agit de sols des secteurs situés dans la partie amont des vallées sèches où se sont accumulés des dépôts de

craie et de limon mélangés.

Ces sols ont une bonne structure en raison de l'abondance de calcium, et sont à rapprocher des sols peu épais sur craie quant à la structure. Ils sont aussi très perméables et bien drainés. Leur réserve en eau est satisfaisante.

* Sols de limons des vallées sèches.

Généralement formés de limons comparables à ceux des versants, parfois légèrement plus humifères, parfois plus argileux, ces sols sont plus engorgés, en raison de la concentration des eaux dans ces vallées. Des traces d'hydromorphie (taches rouilles) signalent cette humidité temporaire.

* Sols limoneux des buttes.

On observe dans ces sols la présence d'un horizon inférieur (Bt) plus argileux, freinant la percolation des eaux. Il en résulte un engorgement important. Il n'a pas été possible de mettre en évidence la présence d'un niveau argileux imperméable, intermédiaire entre les limons et la craie. D'autre part, la base des limons est bien drainée.

Ces sols souffrent d'un excès d'eau chronique qui peut être corrigé par drainage. Ils sont généralement destinés à la culture.

* Sols des vallées humides

Ils sont constitués d'alluvions dont la description précise est donnée dans l'étude du secteur de référence drainage de la Sensée (BILLIONNET *et al*, 1984). Ces sols sont formés de dépôts complexes (limons hérités des versants, tufs calcaires, tourbes et limons argileux). Ils forment un ensemble de sols engorgés, fragiles, pour lesquels des aménagements sont nécessaires.

Dans le cadre du secteur de référence un certain nombre de dispositions sont testées en vue de préserver ces sols. Les cultures contraignantes comme la betterave ou le maïs ne devraient pas y prendre une très grande extension en raison des risques de tassement des sols et des difficultés de récolte.

Il faut envisager des spéculations peu contraignantes: assolement céréalier, prairie ou maraîchage etc.

Dans les vallées humides, une partie des surfaces est occupée par des limons argileux épais, qui assurent, après drainage, une situation favorable pour les cultures de betterave. Le sol est fertile en raison de la présence de matière organique, de calcium et d'argile favorisant une bonne structuration du sol. Dans la mesure où l'activité agricole n'est pas concurrente avec d'autres intérêts (qualité des eaux, environnement et loisir), ces sols, actuellement occupés en priorité par des prairies, peuvent être utilisés pour la betterave.

III - ANALYSES DE SOLS.

En vue d'apporter des informations d'ordre analytique sur le secteur étudié, nous avons relocalisé des résultats d'analyses, par repérage géographique à partir de coordonnées Lambert, et par rapport aux unités de sols. Ces analyses concernent - 28 exploitations de la région de Bapaume

- 17 exploitations du secteur de référence (vallée, piedmont et butte tertiaire argilo-sableuse de Oisy-le-Verger). En fonction des résultats obtenus, les textures des horizons de surface analysés forment cinq groupes distincts (fig. 131), très bien corrélés au zonage effectué sur le terrain:.

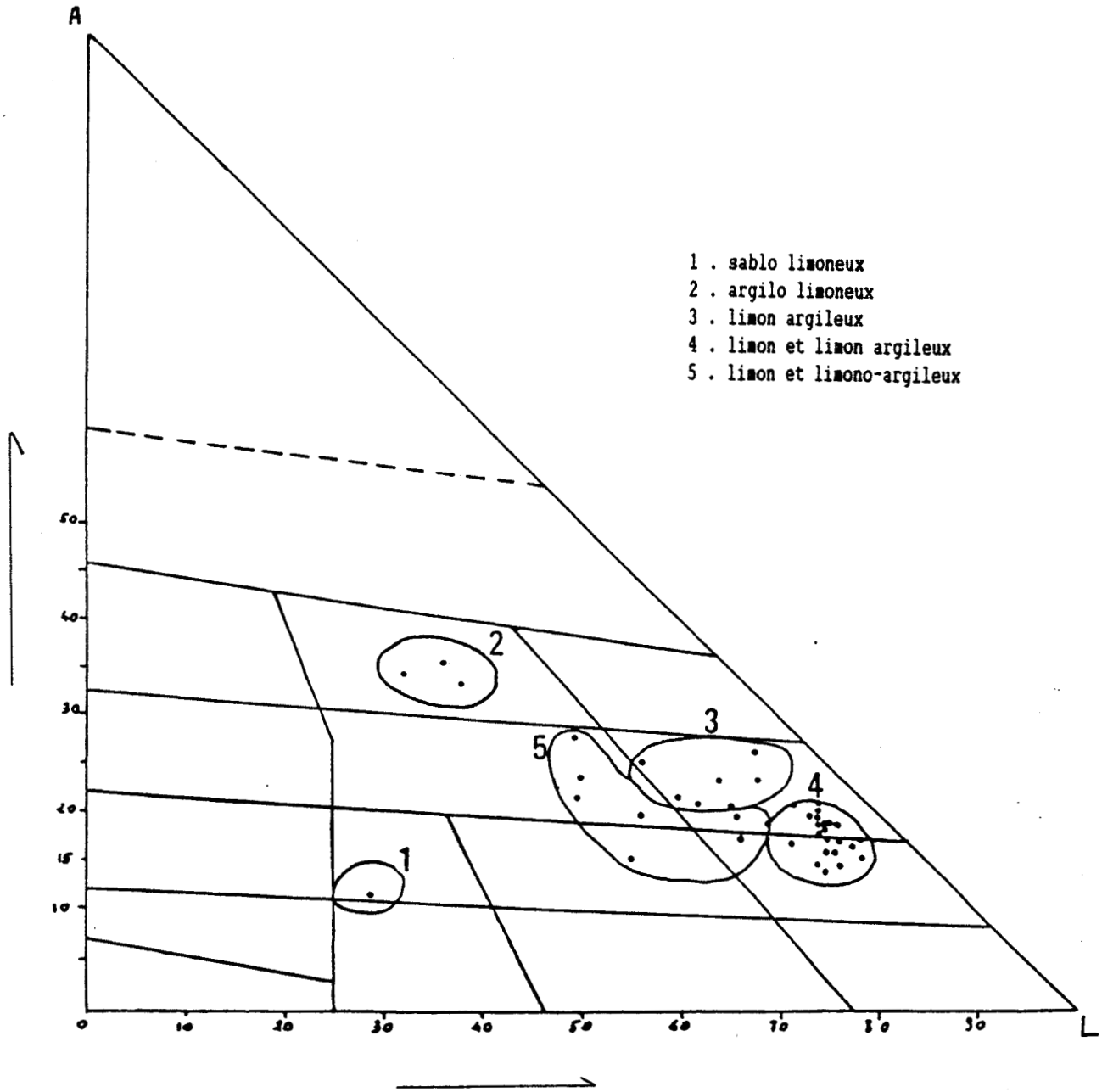


Fig. 131 : Texture des sols du périmètre des Cantons de Croisilles, Vitry, Marquion, Bapaume, Région l'Artois, Nord de la France.

1 - Les sables limoneux sont trouvés au sommet des buttes tertiaires

2 - Les argiles limono-sableuses, sont rencontrées dans deux types de sols:

- des sols développés sur des matériaux argileux, reposant sur la craie quasi affleurante des versants,

- des sols développés sur les formations tertiaires.

3 - Les limons argileux, sont trouvés dans les parties aval des vallées de la Sensée, de l'Hirondelle et du Trinquise.

4 - Les limons, sont situés sur les plateaux et les versants. Ils se regroupent de part et d'autre de la limite, conventionnelle du triangle de texture G.E.P.P.A., situé à 17,5 % d'argile, entre la classe des limons moyens et la classe des limons argileux, le pourcentage d'argile variant entre 14 et 22 %.

5 - Les limons argilo-sableux, correspondent à des sols situés en bordure de la butte tertiaire de Oisy-le-Verger. Ils traduisent une extension du groupe des limons, ceux-ci ayant été contaminés par les sables et les argiles de la butte.

IV - ZONAGE DES SOLS ENGORGES: CARTE D'HYDROMORPHIE. (fig. 132)

Les études générales effectuées sur le bassin versant de la Sensée fournissent l'essentiel des informations concernant l'engorgement des sols et des contraintes qui y sont liées. A partir d'observations complémentaires nous avons précisé certains contours du zonage. La figure 132 constitue un document simplifié sur lequel nous pouvons faire la distinction des secteurs humides nécessitant un aménagement hydraulique et des secteurs naturellement bien drainés.

Nous n'insisterons pas sur les problèmes d'assainissement des terres engorgées, traités dans les études de secteurs de référence. Signalons toutefois que ces terres

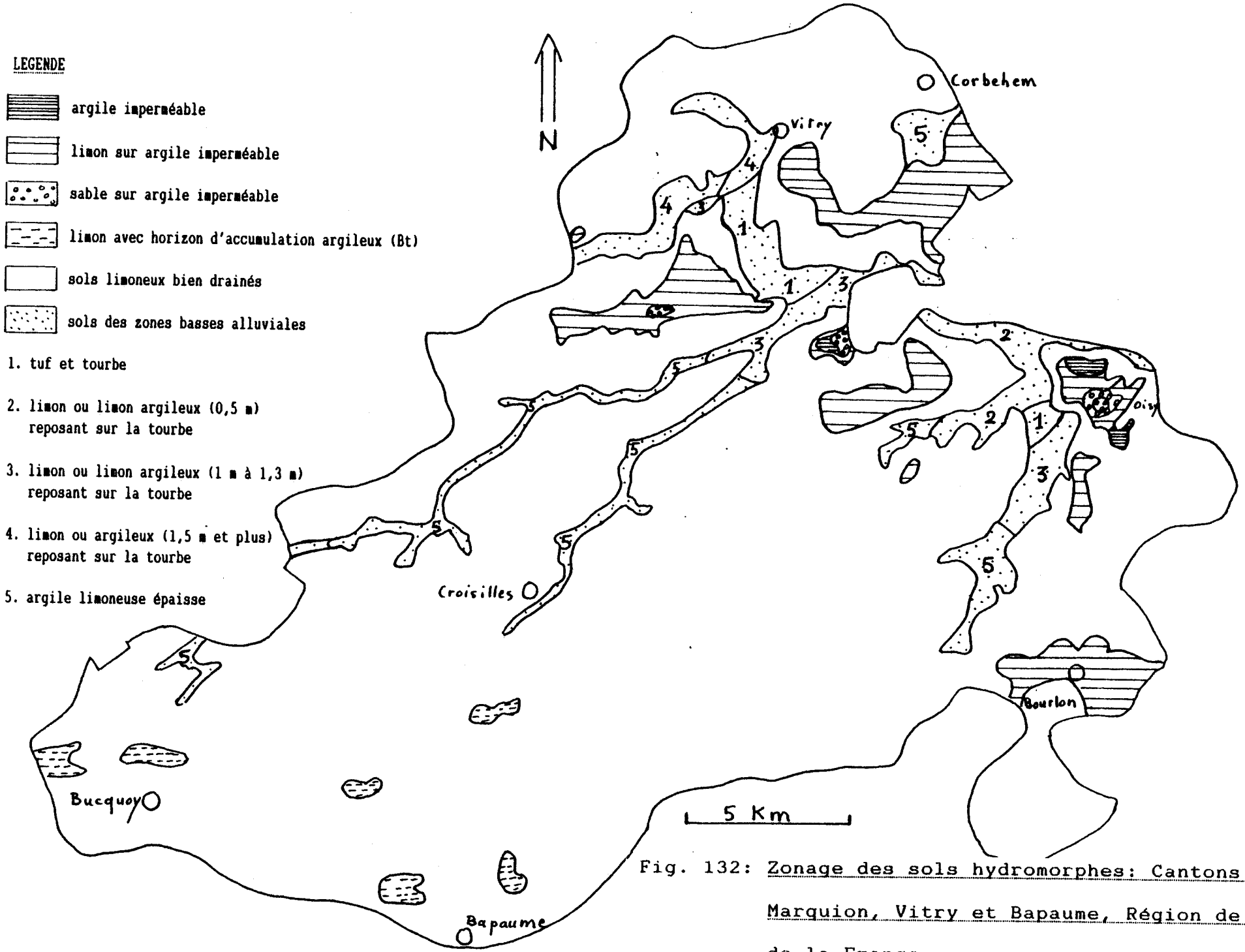


Fig. 132: Zonage des sols hydromorphes: Cantons de Croisilles, Marquion, Vitry et Bapaume, Région de l'Artois. Nord de la France.

humides, généralement de basse altitude, supportent aussi des contraintes qui proviennent du ruissellement et de l'alluvionnement des limons entraînés depuis les zones amont, et qui colmatent le réseau hydraulique aval.

La distribution des sols engorgés comprend les zones basses alluviales et les zones hautes des petites collines où des témoins tertiaires sont parfois isolés au milieu des zones à substrat crayeux bien drainées:

* Sols des zones basses alluviales:
- zone 1 : tuf calcaire, recouvert de 0,80 m environ de limon argileux ou d'argile limoneuse, reposant sur de la tourbe, vers 1,5 m
- zone 2 : limon ou limon argileux d'environ 0,50 m d'épaisseur, recouvrant de la tourbe.
- zone 3 : limon et argile limoneuse de 1,00 à 1,30 m d'épaisseur recouvrant de la tourbe.
- zone 4 : limon et argile limoneuse de plus de 1,50 m d'épaisseur recouvrant de la tourbe.
- zone 5 : argile limoneuse épaisse.

* Sols des zones hautes des buttes et témoins tertiaires. Cinq unités ont été distinguées:
- argile
- limon sur argile
- sable sur argile
- limon avec horizon d'accumulation argileux (Bt), sols moins humides que les cas précédents, mais où le drainage agricole peut s'avérer nécessaire.
- limons bien drainés.

V - CARTE DU RUISSELLEMENT ET DE L'EROSION, ET DESCRIPTION DES PAYSAGES RURAUX.

Le ruissellement érosif des terres agricoles est associé à une imperméabilisation temporaire des sols, en raison de leur battance et de leur tassement. Un bilan rapide de l'érosion sur les terres du bassin versant de la Sensée a été réalisé à partir d'observations sur photographies aériennes. La figure 133 permet de visualiser l'ensemble des ravinements ainsi observés.

Nous avons relevé des ravines. Ce ravinement est moyennement important en densité (MASSON, 1980)(1) bien que quelques secteurs soient relativement touchés, avec de nombreuses ravines isolées, et quelques unes s'organisent parfois en un véritable chevelu.

Le ravinement est surtout sensible dans la partie sud de la zone inventoriée, c'est à dire dans les secteurs de plateaux limoneux les plus vastes: périmètre d'Inchy-en-Artois, d'Hendecourt, de Boyelles, d'Ablainzevelle, de Bapaume. Il s'agit de zones de champs ouverts, avec des parcelles cultivées d'assez grande dimension (3 à 14 ha), où les prairies, les bois et les bocages ont souvent disparu, ainsi fréquemment que le réseau hydraulique.

Les études réalisées antérieurement sur le sujet montrent qu'il s'agit de secteurs limoneux comprenant souvent des sols bruns faiblement lessivés, et parfois bruns lessivés (MASSON, PELLETIER, 1979), à tendance légèrement acide, pH voisin ou inférieur à 7. Les déficits en matière organique et en carbonate de calcium sont souvent invoqués. Les méthodes de travail du sol sont aussi largement responsables de la destructuration de ces sols et de leur imperméabilisation.

(1) Définition de 4 classes: - pas de ravinement
- rares ravines isolées
- ravines isolées
- ravines organisées en chevelu.

LEGENDE

Ravine

Bois

Prairie

5 Km

Fig. 133 : Ruissellement, érosion et éléments des paysages ruraux (boisements et prairies). Cantons de Croisilles, Vitry, Marquion et Bapaume, Région de l'Artois, Nord de la France

Les défauts de structure importants interviennent comme facteurs limitants du développement des plantes cultivées et peuvent expliquer à eux seuls des écarts de rendements significatifs entre les parcelles.

Compte tenu de la réserve, modérément satisfaisante en calcium et en matière organique, on peut penser que ces défauts sont inhérents au travail excessif du sol, ce qui expliquerait l'existence de réseaux de ravines mal hiérarchisés et dépendant essentiellement de situations locales.

VI - PLACE RELATIVE DES DIFFERENTES CULTURES ET GRANDS TYPES D'EXPLOITATION.

1/ Les agrosystèmes de la région étudiée.

L'analyse des données du R.G.A. de 1979 et du R.G.A. de 1980 montre que deux grands types d'agrosystèmes coexistent (fig. 134).

* un système d'agriculture générale où l'ensemble céréales, cultures industrielles, légumes de plein champ, cultures fourragères et plantes sarclées représente plus des 2/3 des spéculations des exploitations. Ce système couvre la totalité des plateaux et versants limoneux, ainsi qu'une partie des zones basses (vallée de l'Hirondelle).

* un système d'*"agriculture générale et herbivores"* est représenté dans plus d'un tiers des spéculations. Il est localisé essentiellement dans les parties basses des vallées du Cojeul, de la Sensée et de la Scarpe au Nord-Ouest du périmètre de l'étude.

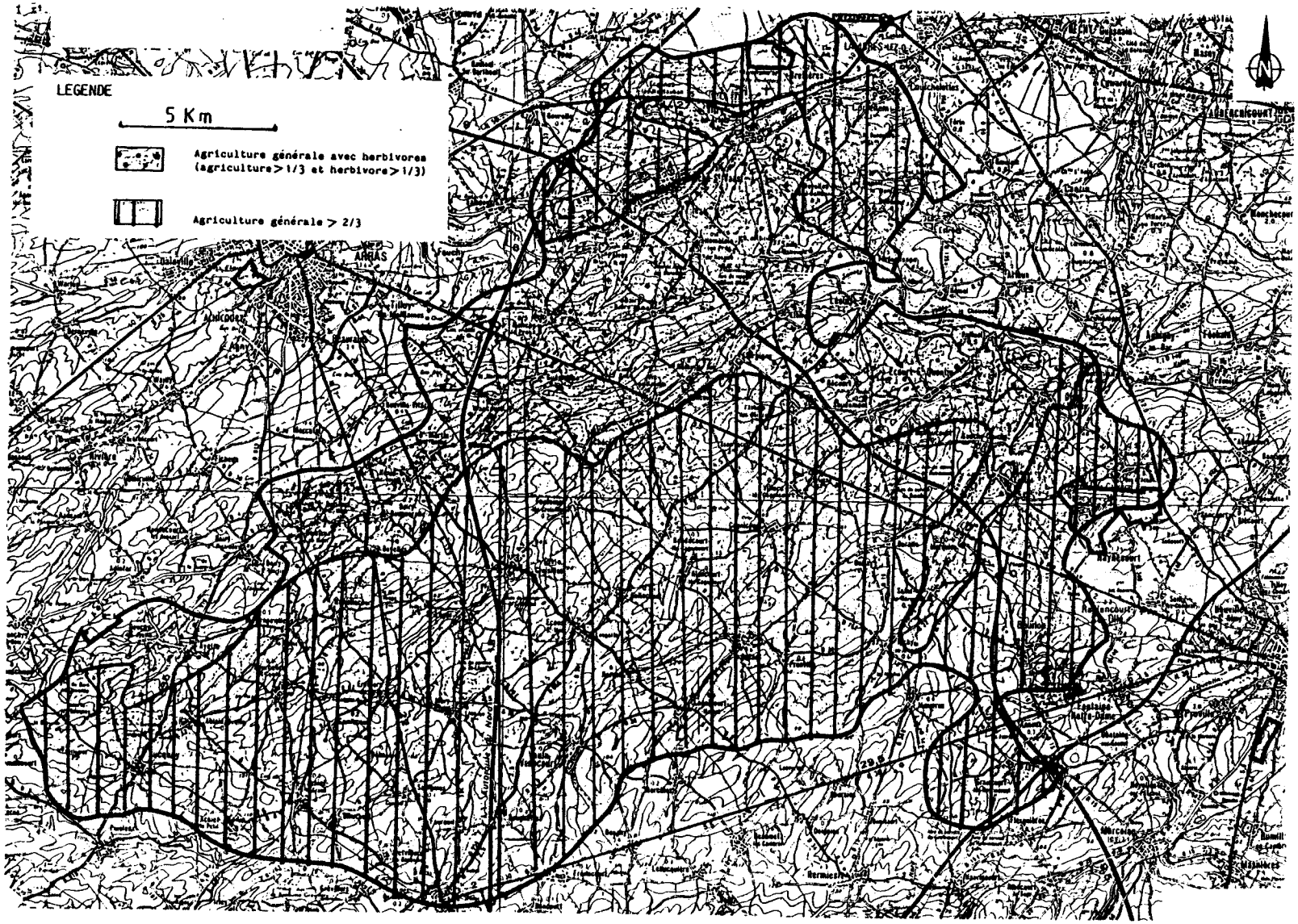


Fig. 134 : Répartition des agrosystèmes. Cantons de Croisilles, Vitry, Marquion et Bapaume, Région de l'Artois, Nord de la France

2/ Répartition des plantes sarclées (fig. 135)

Trois zones ont été distinguées selon la proportion des surfaces des plantes sarclées (R.G.A. 1970, R.G.A 1980).

* Une zone où le pourcentage des plantes sarclées est inférieur , 22 % de la S.A.U., localisée autour de la Sensée (partie aval d'Etaing et zone des étangs) et de l'ancien cours de la Scarpe; une partie de cette zone se trouve à l'extrémité sud-ouest du secteur étudié.

* Une zone où le pourcentage des plantes sarclées est supérieur, 30 % de la S.A.U. La plus grande partie de cette zone se situe au Sud-Ouest et dans une moindre mesure au centre du secteur.

* Une zone moyenne où le pourcentage est compris entre 22 et 30 % située dans la partie centrale du secteur.

La place des plantes sarclées, principalement de la betterave, est importante dans le système de culture adopté par les exploitants de cette région. L'importance de ce type de culture contraignante pourra éventuellement être mise en relation avec d'autres difficultés telles que les facteurs de ruissellement.

VII - MATERIEL, TRAVAIL DU SOL, TECHNIQUES CULTURALES

Gérer les sols, c'est s'assurer que l'utilisation garantisse le maintien d'une fertilité physique propre à conserver sa productivité dans l'avenir. Or le type de matériel, la nature du travail du sol et des techniques culturales influent souvent sur l'état structural du sol (émiettement, glaçage, tassement). De cet état structural dépend la circulation de l'air, de l'eau et des racines dans le sol, ainsi que la fertilité de ce dernier, qui détermine les rendements des cultures. Il existe donc une relation entre

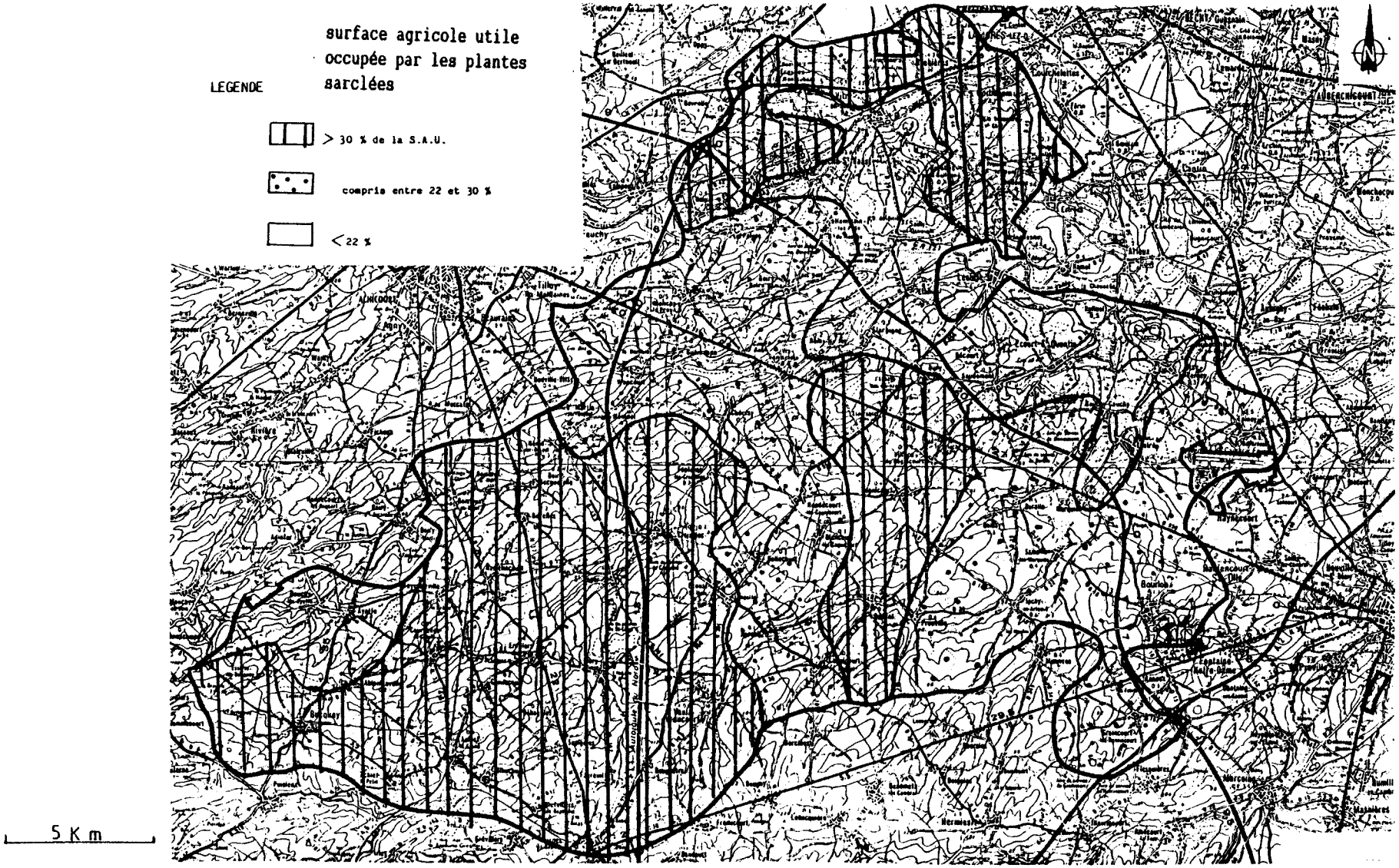


Fig. 135 : Répartition des plantes sarclées.Cantons de Croisilles, Vitry, Marquion et Bapaume, Région de l'Artois,Nord de la France

un état structural défavorable, l'excès d'humidité des sols, le ruissellement et les systèmes de culture.

Les contraintes appliquées au sol, notamment par le matériel lors de son utilisation , sont estimées à partir de d'enquêtes réalisées auprès des exploitants. Leurs résultats donnent une statistique des matériels utilisés, de leur mode d'application au travail du sol et des techniques culturales. (Ces démarches de réflexion sur les exploitations agricoles ont été développées ces dernières années en France par SEBILLOTTE, 1978, 1982).

Les successions culturales sont généralement la betterave, le blé et l'escourgeon. La pomme de terre peut se substituer à la betterave.

L'entretien en matière organique, semble un souci constant, par apport de fumier (20 à 30 t/ha/3 ans), d'écorces broyées (20 à 30 t/ha/3 ans) ou de paille enfouie.

1 - Quelle que soit la nature, limoneuse ou argileuse, des sols, les labours sont effectués de façon précoce (décembre à début février) sans tenir compte de la stabilité structurale des matériaux les plus sensibles à la battance: limon moyen et limon faiblement argileux, et parfois en fonction d'autres impératifs que ceux visant une préparation optimale du sol, tels que les impératifs du calendrier dans les exploitations qui entraînent parfois des labours en conditions trop humides.

2 - La préparation du lit de semences demande parfois l'intervention de plusieurs passages d'outils (3 à 5 passages), nombre sans rapport toujours avec la qualité structurale des sols (dimensions des mottes et solidité des agrégats). La préparation mécanisée du sol semble refléter plus le souci d'obtenir le lit de semence idéal pour la graine que l'équilibre de l'ensemble du profil cultural et son fonctionnement ultérieur (FEVRIER, 1985).

3 - La protection phytosanitaire nécessite généralement 3 à 5 passages qui entraînent un tassement supplémentaire du sol sous les roues des tracteurs et pulvérisateurs.

4 - En ce qui concerne la fertilisation et notamment la fertilisation azotée, les doses épandues correspondant aux objectifs de production des agriculteurs, ne sont pas toujours en accord avec les potentialités réelles du sol, celle-ci étant diminuées par les défauts de structure, qui ne permettent donc pas la croissance prévue des plantes cultivées. Il y a donc un manque de cohérence entre les doses épandues et les possibilités du sol, et de ce fait, les quantités d'azote sont parfois excessives avec les conséquences que cela entraîne sur la qualité des récoltes et celle de l'eau de la nappe.

5 - Quelques remarques peuvent être énoncées sur les pratiques culturales précédant la culture des plantes sarclées. Les enquêtes et observations au champ font ressortir que des préparations de sol analogues à celles réalisées pour la betterave sont appliquées sur les précédents: blé, escourgeon, ou même sur les engrais verts. Elles peuvent déterminer jusqu'à 7 passages successifs entre la récolte de la céréale et le labour précédant la betterave.

La conséquence de ces pratiques conduit nécessairement à un déséquilibre structural des sols dès qu'un certain nombre de facteurs défavorables se conjuguent (fragilité structurale du sol, interventions excessives sur les sols, excès d'humidité, etc.).

On constate donc des baisses de rendement importantes, qui apparaissent toujours accidentelles aux yeux de nombreux agriculteurs, sans que ceux-ci analysent convenablement les facteurs que nous venons de recenser.

VIII - ANALYSE DES ECARTS DE RENDEMENTS.

Ces notions peuvent apparaître encore très théoriques aux praticiens. Elles peuvent, néanmoins, servir à formuler des propositions pratiques et des conseils.

Par exemple FEVRIER (1985) détermine, sur le même terroir, les causes des écarts de rendement de la betterave. Des observations au champ établissent une relation entre les sols limoneux fragiles, l'excès de travaux du sol (MANICHON, 1982, a et b), les déficits d'entretien, et les périodes climatiques humides qui augmentent les risques de tassement et d'asphyxie du sol, empêchant la colonisation racinaire et freinant la croissance des plantes (fig. 136). Il montre qu'il est possible de raisonner le fonctionnement du sol et de rechercher la meilleure probabilité d'éviter les accidents de culture, en insistant sur les points suivants:

- choix des sols et de l'intensification du travail du sol. L'on peut considérer que certains sols seront mieux adaptés à la culture de la betterave etc.,
- vérification du degré d'humidité du sol avant son travail,
- choix des périodes probables de semis ("occurrence des périodes sèches"), qui permettent, de façon raisonnée, d'orienter le calendrier de travail de l'exploitant.

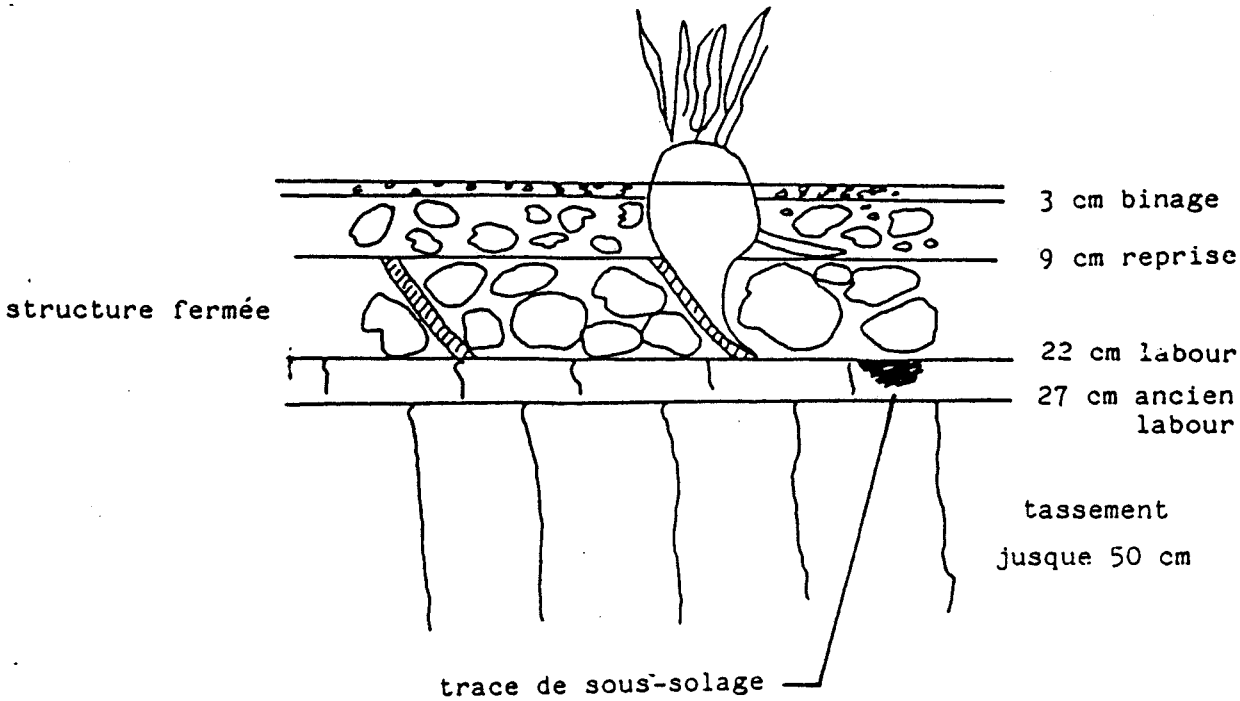


Fig. 136 : Le tassement du sol , difficultés de pénétration des racines dans le sol. Cantons de Croisilles, Vitry, Marquion, Bapaume, Région l'Artois, Nord de la France.

CONCLUSION

Le "schéma de répartition des sols" constitue une approche des sols utile pour les techniciens. Il permet d'obtenir, sous une forme relativement simple mais élaborée, un ensemble d'informations qu'on pourra introduire et utiliser dans sa propre réflexion, afin d'orienter ses propres analyses et observations, préalables aux prises de décisions.

Dans sa forme, ce document évite le leurre d'une approche qui se présenterait comme une cartographie précise, sans que l'utilisateur puisse contrôler, étant non spécialiste, le mode d'emploi, la représentativité et l'aspect épisodique des observations. Il s'agit bien d'un schéma d'orientation et non d'une carte.

Le fait que les informations restent pour l'essentiel sous forme thématique permet au décideur de vérifier l'éventail réel des informations et de choisir les éléments qui lui conviennent.

En l'absence d'une couverture cartographique généralisée à une échelle suffisante, ce type de schéma sert à transmettre aux utilisateurs les observations existantes sur les sols; ainsi que d'autres formes d'informations contenues dans les inventaires sectoriels et croisées entre elles, il permet d'aboutir rapidement à des schémas de décision ou d'orientation pour des études plus détaillées.

CHAPITRE III

INVENTAIRE DES SOLS DE LA VALLEE DE LA HAUTE LYS EN VUE DE LEUR DRAINAGE.

En matière de gestion des terres, la maîtrise des excès d'eau doit être raisonnée pour que l'objectif initial d'amélioration de la productivité des sols soit atteint, et ne se traduise pas, in fine, après aménagement, par des conséquences très défavorables en matière d'environnement (aggravation des crues, pollution, etc.). La connaissance et l'inventaire des sols contribuent à éviter cela. Dans ce chapitre III, nous présentons un type d'inventaire se rapportant à ce domaine technique particulier qu'est l'assainissement agricole.

L'inventaire des sols hydromorphes et humides de la vallée de la Haute Lys concerne un périmètre d'étude restreint et répond à une seule question concernant la régulation du régime hydrique des sols perturbé par des installations de pompage de la nappe. Il est donc de portée plus limitée que celui présenté au chapitre précédent et concernant la C.D.T.A.. Toutefois, il s'agit de mettre en forme l'information en vue de présenter des solutions ou documents simples aux décideurs, et d'organiser le recueil des observations de telle manière

qu'elles puissent être adaptées à d'autres questions complémentaires ou ultérieures.

Ces travaux ont deux objectifs:

- Délimiter les zones basses engorgées par la nappe, et dont l'économie en eau est fortement perturbée par la mise en place d'importants captages d'eau potable dont le fonctionnement est discontinu.
- Etudier les possibilités d'un aménagement du drainage agricole, conduisant à la régulation de la hauteur de la nappe et à l'amélioration des sols.

Dans le périmètre retenu, ont été étudiés les sols, et, plus précisément, la texture et l'hydromorphie. Ces observations sont complétées par des mesures hydrodynamiques permettant de dimensionner les réseaux de drainage, et d'en prévoir ensuite le coût et les contraintes.

Ces travaux s'inscrivent donc dans une démarche d'inventaire, sectoriel dans le cas présent, et qui vise à donner aux utilisateurs une vision spatiale et opérationnelle des résultats d'investigation sur ce secteur. La mémoire de cette démarche est conservée sous forme de notes et documents cartographiques généralisant les résultats et références connues, à l'ensemble de la zone, de telle façon qu'il soit ensuite possible de prendre des décisions d'aménagement (MASSON, 1982).

I - GEOGRAPHIE DU SECTEUR DE LA HAUTE LYS.

Le périmètre du secteur de la Haute Lys et de ses affluents, situé dans l'Artois, inclut les agglomérations suivantes: Lisbourg, Verchin, Coupelle-Vieille, Fruges, Herzecques, Matringhem.

Ce secteur comprend une série de vallées humides

entaillant un plateau crayeux. Le plateau est occupé principalement par les cultures. Les vallées sont utilisées en prairies en raison des fortes pentes sur les versants, et de l'humidité excessive du lit majeur. Le paysage, bocagé, comprend des prairies, des plantations d'arbres, des haies et des talus.

II - DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE.

Afin de délimiter de façon précise la zone d'étude (fig. 137), c'est à dire les terrains agricoles dont l'économie en eau risque d'être perturbée par les captages exécutés en vue de l'exploitation de la nappe pour l'alimentation en eau potable, nous avons suivi la démarche suivante: l'analyse du modelé, l'examen des cartes géologiques, l'observation in situ de l'humidité et de la végétation.

1/ Analyse du modelé.

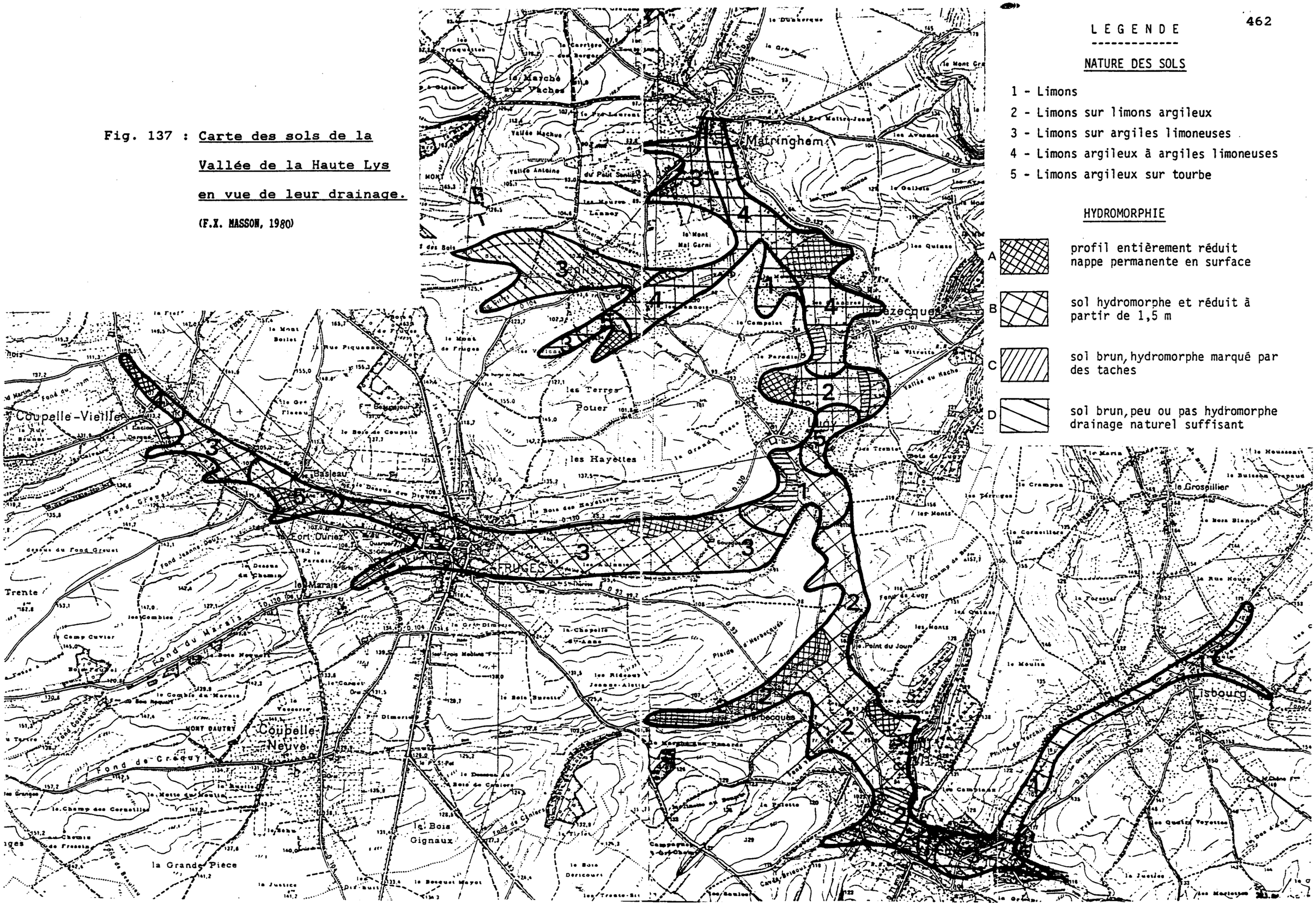
L'analyse du modelé s'est effectuée à partir de la lecture des cartes I.G.N. à 1/25 000, complétée par l'observation des photos aériennes I.G.N. (mission normale de 1978) à l'échelle de 1/30 000, et par plusieurs reconnaissances de terrain.

Cette analyse du modelé met en évidence la rupture de pente délimitant les versants du lit majeur de la Lys. Les vallées ou vallons affluents, comprenant une portion de talweg humide vers l'aval ont été également repris dans l'inventaire.

Trois sous secteurs qui forment l'ensemble des terrains concernés par l'influence des captages sont délimités:
- la vallée de la Haute Lys, de Lisbourg jusqu'à la confluence avec la Traxenne,
- la vallée de la Traxenne, limitée à l'Ouest au niveau de

Fig. 137 : Carte des sols de la Vallée de la Haute Lys en vue de leur drainage.

(F.X. MASSON, 1980)



LEGENDE

NATURE DES SOLS

1 - Limons
2 - Limons sur limons argileux
3 - Limons sur argiles limoneuses
4 - Limons argileux à argiles limoneuses
5 - Limons argileux sur tourbe

HYDROMORPHIE

A — profil entièrement réduit nappe permanente en surface

B — sol hydromorphe et réduit à partir de 1,5 m

C — sol brun, hydromorphe marqué par des taches

D — sol brun, peu ou pas hydromorphe drainage naturel suffisant

Coupelle Vieille,
- la vallée de la Lys, depuis la confluence avec la Traxenne jusqu'à Matringhem.

2/ Examen des cartes géologiques.

L'examen des cartes géologiques, feuilles de Fruges et de Lillers à 1/50 000, DELATTRE, 1967, DELATTRE *et al*, 1968) permet de préciser la limite nord de l'influence des pompages de la région de Fruges prélevant de l'eau dans la nappe de la craie, où la circulation est rapide. Cette limite peut être située vers Matringhem où affleurent des terrains primaires argileux limitant la circulation souterraine des eaux de la nappe de la craie. A partir de cette limite, l'on peut considérer que les fluctuations de la nappe de la craie n'auront plus d'influence sur l'engorgement des sols.

3/ Observation in situ de la végétation et de l'humidité superficielle.

L'observation de la végétation permet de repérer localement les zones les plus saines et les zones les plus engorgées. Nous pouvons citer, par exemple, la vallée de la Lys, de Lisbourg à la route D 93, dont le profil général en V favorise le bon drainage naturel des sols et dont la végétation de prairie semble de bonne qualité. Un deuxième exemple est le vallon de Herzecques où les joncs sont abondants dans la partie aval et accompagnent les zones de sources.

Sont également reconnues les zones d'écoulement des sources: anciennes cressonnières, anciens fossés de captages, ou mouillères bien apparentes entraînant un écoulement.

4/ Conclusion.

L'ensemble de ces observations permet de délimiter un périmètre, où l'influence des captages est importante, et où l'humidité des sols est généralement excessive. Ce périmètre a été reporté sur la carte de synthèse et a servi de contour à notre étude.

III - LE RECONNAISSANCE DES SOLS.

L'étude des sols et des formations superficielles est très importante, car elle rend compte de la nature et de la distribution des matériaux (limon, argile, tourbe), de leur degré d'hydromorphie signalant l'engorgement des sols, et permet ainsi de déterminer leur besoin en drainage.

La prospection des sols a été organisée suivant une maille régulière d'observations, avec une densité voisine de 1 sondage pour 16 ha. Ces sondages ont été creusés jusqu'à 3 m de profondeur dès lors que la nature des sols le permettait.

Dans les zones amont des vallées, les dépôts sont limoneux, bruns, peu hydromorphes, notamment dans les secteurs où les vallées ont un profil en V assurant un bon drainage. (Exemple de la vallée de la Lys de Lisbourg à Verchin).

A l'aval, les alluvions sont hydromorphes (phénomène de gleyification). Elles sont d'abord limoneuses, puis, de l'amont vers l'aval, deviennent plus argileuses s'interstratifiant parfois avec des tourbes.

Cinq classes de textures sont représentées sur la carte (fig. 137, p. 462):

- Zone 1: limons,
- Zone 2: limons reposant sur limons argileux,
- Zone 3: limons sur argiles limoneuses,
- Zone 4: limons argileux à argiles limoneuses,

- Zone 5: limon argileux sur tourbe.

En ce qui concerne l'engorgement, quatre classes d'hydromorphie sont représentées:

- Classe A: profil entièrement gleyifié, nappe permanente jusqu'en surface.
- Classe B: sol hydromorphe, et gleyifié à partir de 1,5 m.
- Classe C: sol brun hydromorphe marqué par des taches d'oxydo-réduction sur l'ensemble du profil.
- Classe D: sol brun, peu ou pas hydromorphe, à bon drainage naturel.

La première classe, avec sols saturés en permanence jusqu'à la surface, correspond généralement à des zones sourceuses où émerge la nappe de la craie. Dans ces zones, les débits d'eau à évacuer peuvent être très importants.

La figure 137 (p. 462) rend compte du classement des sols hydromorphes et des contraintes en vue de l'aménagement. Les éléments et critères de reconnaissance sont inscrits sur les fiches de sondage, et peuvent conduire à remodeler le classement si la question est modifiée, et donc à produire une autre carte.

IV - MESURE DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DES SOLS.

Des mesures de perméabilité des sols ont été effectuées sur la Haute Lys. La méthode utilisée est celle du "trou de tarière" permettant de déterminer le coefficient de conductivité hydraulique des sols. Ces mesures, au nombre de quinze ont donné les résultats suivants:

N° de la mesure	Texture des sols	Coefficient K en m/j
a	2	0,5
b	2	0,58
c	2	*
d	2	0,45
e	2	*
f	3	0,27
g	3	0,09
h	3	*
i	1	*
j	1	*
k	2	1,96
l	4	2,78
m	5	1,8
n	5	1,05
o	4	0,49

* résultats non significatifs.

Les valeurs relativement élevées de l'ensemble de ces mesures réalisées s'expliquent d'une part, par la présence de tourbes très perméables, et d'autre part, par la charge d'eau importante due à l'affleurement de la nappe de la craie.

On remarquera toutefois que dans les zones de source où les sols engorgés sont entièrement gleyifiés et donc déstructurés, les perméabilités observées sont faibles. Ainsi dans les zones correspondant aux mesures c, d et g, le drainage sera vraisemblablement voué à l'échec (suralimentation en eau et mauvaise perméabilité), si l'on n'utilise pas les techniques de tranchées drainantes avec remblais poreux.

Ces mesures, réalisées sans répétition, sont en nombre nettement insuffisant pour donner lieu à une interprétation significative, mais elles s'inscrivent dans un ensemble de mesures très nombreuses (environ 250 à 300) réalisées sur l'ensemble de la Région du Nord. Elles ont ici un double but: mesures de contrôle permettant de confirmer les

références antérieures, et début de réalisation d'un référentiel concernant la zone étudiée.

Pour calculer le dimensionnement des réseaux de drainage, les valeurs de conductivité les plus couramment admises dans la Région du Nord sont les suivantes:

Texture des sols	Coefficient K en m/j
Tourbe	10 à 20
Tourbe dégradée et tassée	2
Sable	1 à 2
Limon	0,5 à 0,7
Limon argileux	0,4
Argile limoneuse	0,4
Argile	0,1

V - CARACTERISTIQUES DES RESEAUX DE DRAINAGE.

Les caractéristiques des réseaux de drainage ont été déterminées à partir de la conductivité hydraulique des sols, des surcharges supposées d'eau provenant de la nappe de la craie et de divers aspects qualitatifs du sol tels que la gleyification du sol, l'instabilité des matériaux et le risque de colmatage ferrique.

Le calcul d'écartement des drains se fait en régime permanent, compte tenu de la régularité des pluies et de leur faible intensité horaire et journalière. La pluie prise en compte est la pluie biennale de 3 jours.

La combinaison des classes de texture et des classes d'hydromorphie que nous avons énumérées ci-dessus donne cinq cas de figure en terme de propositions d'aménagement drainage.

	Sol et hydromorphie	Ecartement pour 1 m de profondeur	Collecteur	Création de fossé pour captage des sources et nettoyage des colmatages ferriques	Nécessité de drainer
Secteur I	1 D	15 m	oui	non	+
SecteurII	1B,1C,2B,2C,3B,3C	13 m	oui	non	+
	en cas de mouillères et sources	13 m	non	oui	+
Secteur III	4B et C	10 m	oui	non	+
	en cas de mouillères et sources	10 m	non	oui	+
SecteurIV	5B	15 m	non	oui	+
Secteur V	2A, 3A, 4A	10 m avec tranchée drainante gravillonnée		oui	+ coût élevé

En raison des risques de colmatage ferrique, la grande majorité des drainages seront posés avec sortie directe sur fossé et drains de 60 mm de diamètre, afin de faciliter le nettoyage.

VI - COUT DES RESEAUX DE DRAINAGE.

Le coût des réseaux de drainage a été calculé par analogie avec ceux d'autres associations de drainage et compte-tenu des caractéristiques propres à la région de Fruges :

- parcelles de 2 ha en moyenne,
- création de fossés dont la longueur varie de 50 m à l'ha, pour les drainages avec collecteurs, à 100 m dans les autres cas (de captage à ciel ouvert).

Le résultat du calcul est présenté dans le tableau suivant, pour l'année 1992:

COUT DES RESEAUX DE DRAINAGE (prix 1992)				
	Surface	% de la surface	Coût à l'ha *	Total des investissements
Secteur I	50 ha	7,2	7 000 fr/ha	350 000 fr
Secteur II	407 ha	59,2	9 500 fr/ha	3 900 000 fr
Secteur III	122 ha	17,7	11 000 fr/ha	1 300 000 fr
Secteur IV	39 ha	5,7	9 000 fr/ha	350 000 fr
Secteur V	70 ha	10,2	30 000 fr/ha	2 100 000 fr
Total	688 ha	100		8 000 000 fr

* Le coût à l'hectare comprend la fourniture et la pose des drains et des collecteurs, ainsi que la création des fossés.

VII - PROPOSITION TECHNIQUE : AIDE A LA DECISION.

Le drainage de la vallée de la Haute Lys semble possible pour l'ensemble de ce territoire. Nous émettons toutefois des réserves au sujet des zones les plus engorgées et les plus sourceuses (secteur V) en raison du coût 30 000 F/ha et des risques de mauvais fonctionnement des réseaux, constatés dans la région sur de nombreuses zones de sources (colmatage ferrique et insuffisance de drainage).

Dans les autres secteurs, certaines sources non reconnues au préalable ne seront captées que progressivement et nécessiteront éventuellement des travaux complémentaires de captages ponctuels.

Enfin, il existe un autre problème général se rapportant à l'aspect bocager et à la protection de ces sols parfois fragiles (limons) en cas d'inondations. Le drainage

généralisé de la vallée risque d'avoir pour conséquence une réduction trop importante des surfaces de prairie et des obstacles divers tels que les arbres, les haies et les anciens fossés. Ce manque de protection peut être préjudiciable à la conservation des sols en période de débordement de la rivière. De même, l'aménagement risque de modifier l'écosystème de cette vallée qui est appréciée comme lieu de détente. Cette fonction est sans doute une composante non négligeable des potentialités économiques de ce secteur.

Un changement, même limité, de l'utilisation des sols de la vallée peut avoir des conséquences qu'il convient de mesurer avant de se lancer dans la réalisation du drainage.

CONCLUSION

L'inventaire des sols hydromorphes de la vallée de la Haute Lys en vue de leur drainage, illustre le cas d'une étude sectorielle. Ne sont repris ici que les caractéristiques des sols et du milieu, permettant d'aider à la décision sur l'opportunité du drainage des terrains. Chacune des étapes de la présentation est thématique de façon que le décideur puisse se faire lui-même sa propre opinion et effectuer ensuite un véritable choix parmi les propositions qui lui sont soumises.

L'organisation adoptée, avec la conservation des données brutes permet une nouvelle analyse, originale, si la découverte d'éléments nouveaux venait modifier les données du problème.

Nous avons donc présenté ainsi, un type d'inventaire très sectoriel, s'inscrivant dans une stratégie plus générale d'inventaire, visant différents niveaux de décision:

- arbitrage entre différentes activités économiques (Ch. I),
- choix de politiques pour chaque secteur d'activité (Ch. II),

- choix financier et technique pour chaque type d'investissement ou décision à l'intérieur des différents secteurs d'activité économique (Ch. III).

Ces trois niveaux d'inventaires peuvent être élaborés de façon coordonnée, ou indépendamment, suivant les demandes des utilisateurs (décideurs, maîtres d'ouvrage,etc.) et les concours financiers qu'ils proposent pour leur étude. La réalisation des travaux sous forme d'étude ou de documents mono factoriels permet ensuite de les combiner suivant les différentes formules demandées par l'utilisateur.

L'intérêt des démarches de connaissance des sols et du milieu n'est pas toujours compris par les utilisateurs. Dans le chapitre IV, nous verrons, à partir de l'expérience de la Région Nord, les difficultés de transmission de ces connaissances, au travers d'une discussion sur l'intérêt des cartes de sol pour l'agriculture.

CHAPITRE IV

L'INTERET DE LA CARTOGRAPHIE DES SOLS POUR L'AGRICULTURE.

L'objectif de la cartographie des sols peut se définir comme le rassemblement sur un même document des renseignements existants sur la nature et la distribution des sols d'un territoire donné.

La démarche cartographique peut suivre différentes orientations en fonction des questions, posées par les utilisateurs, qui peuvent être d'ordre géotechnique, hydraulique, mécanique, agronomique etc. Dans la Région du Nord, les cartes réalisées sont le plus souvent sectorielles, c'est à dire répondant uniquement aux préoccupations d'un utilisateur ou d'un groupe d'utilisateurs. Ceci explique la grande variété des documents où sont reportés les caractéristiques des sols: carte d'humidité des sols, carte de réserve en eau, carte de la sensibilité des sols à l'érosion, carte de classement des terres agricoles, carte des secteurs de référence drainage, etc. Ces travaux cartographiques présentent un intérêt d'autant plus grand qu'ils sont utilisés et amortis par un groupe plus important d'utilisateurs. Il est donc nécessaire, avant d'entreprendre une telle démarche, de

définir clairement l'intérêt économique d'une telle opération, et qu'une série d'arguments le mette en évidence, à moins qu'il n'apparaisse d'emblée.Dans le domaine de l'agriculture, les discussions sur l'intérêt des cartes de sols sont fréquentes, à la mesure des nombreuses difficultés et des contradictions du monde agricole. C'est pourquoi il est intéressant de présenter d'abord les arguments en faveur de l'utilisation de tels documents par le monde rural (ARROUAYS, 1989, a et b).

I - CONNAISSANCE DES SOLS A PARTIR DE L'EXPERIENCE DES PRATICIENS.

Les praticiens, et principalement les agriculteurs, ont une connaissance empirique du sol, provenant des expériences acquises dans la pratique des cultures. Les différences de sols observées déterminent des variations dans les méthodes et les systèmes de culture. L'expérience des praticiens sous-tend les problèmes d'adaptation des cultures aux sols, ainsi que les plus ou moins grandes potentialités des sols en termes de fertilité. On peut ainsi comparer la Plaine maritime des Wateringues et la Flandre intérieure où les contraintes climatiques (le vent), chimiques (la salinité), hydrauliques (la pente) sont différentes.

La connaissance du milieu et des sols est déjà partiellement acquise, de manière empirique au travers de l'expérience des exploitants et des divers techniciens agricoles. Néanmoins, ce savoir est souvent limité à un certain nombre de fenêtres ou parcelles où ont été observés des phénomènes liés aux sols, sans qu'il y ait une continuité dans ces acquis, ni parfois de cohérence, et sans qu'on sache bien définir les zones d'extension possible. Les études cartographiques ont donc l'avantage d'apporter à la connaissance des sols l'organisation et la représentativité

spatiale d'observations systématiques, face à celles de l'agriculteur et du technicien. Elles autorisent donc des raisonnements se rapportant à un espace et à une culture ou à un ensemble de cultures. Elles permettent donc d'organiser les spéculations agricoles, en prenant en compte les contraintes liées au couple sol-plante. On peut concevoir que, sur un terroir donné, agriculteurs et techniciens connaissent le comportement des sols, et disposent d'expériences agronomiques suffisantes pour discerner les cultures les mieux adaptées et mettre en oeuvre les itinéraires techniques adéquats. Cette éventualité, même dans les cas qui semblent les plus favorables, n'est pas toujours vérifiée, d'autant que leurs observations portent, le plus souvent, sur la couche arable, que nombre de constituants profonds du sol ne sont pas analysés, et ne sont, au mieux, connus qu'implicitement, ou même ignorés. Exemples: la relation existant entre le substrat argileux de la Flandre intérieure ou de la Plaine de la Lys, et la réserve satisfaisante en eau de leurs sols; ou encore, les limons peu épais (0,5 m) sur tourbe dans le Marais de Saint-Omer ou les sables de Rosendaël, dans la Plaine maritime, déterminant dans les deux cas une faible réserve en eau, et exigeant une irrigation pour porter des cultures. Rappelons également que l'imprécision des données fournies par les agriculteurs est confirmée, dans la Région du Nord, par leurs demandes de vérifications (contestation de la carte) sur les études de sol préalables aux aménagements (échelle 1/20 000, 1 observation pour 4 ha). Il apparait qu'en ce qui concerne les horizons inférieurs au labour, par exemple pour la présence de sable dans le premier mètre, l'agriculteur fait erreur dans une proportion de 80 à 90 % des cas.

II - CRITIQUE DE CES METHODES.

Dans ce système, la connaissance du milieu est discontinue, et détenue par des personnes qui peuvent difficilement proposer de nouvelles solutions, sauf avec un investissement individuel trop lourd pour chacune des unités de production agricole, alors qu'une démarche collective serait moins couteuse et plus performante. Les choix des orientations économiques conditionnant la production ne sont parfois plus réalisés sur les sites de production agricole que sont les exploitations, mais, dans certains cas, dans les coopératives et les industries agro-alimentaires. Disparait ainsi la notion de rotation dans la succession des cultures (SEBILLOTTE, 1982). On tient compte du précédent cultural dont on pallie les effets négatifs sur les sols, au moyen des techniques dont dispose l'agriculteur. Tout ceci augmente la distance entre la terre et le décideur, et rend plus ardue la tâche de l'agriculteur. Par ailleurs, le nombre d'intervenants diminue sur les exploitations. La perception du comportement du sol s'avère moins directe et moins fréquente au fur et à mesure que le machinisme agricole se développe. Les tracteurs modernes, avec cabine, plus puissants, ne permettent plus comme autrefois à l'époque du cheval d'être au contact du sol et d'en distinguer immédiatement les réactions. Les parcelles les plus grandes intègrent plusieurs types de sol et sont moins homogènes. Elles sont travaillées plus rapidement et sont moins connues que dans les périodes précédentes.

Par conséquent l'expérience et la connaissance de l'environnement se réduisent. Il en résulte une perte de connaissance progressive du milieu.

III - PROPOSITION DE CARTOGRAPHIE DES SOLS.

Il importe de consigner aujourd'hui l'expérience commune et de la restituer de façon organisée à l'ensemble de la communauté des agriculteurs exploitants, de telle manière que tous les intervenants concernés puissent disposer des éléments connus pour effectuer les choix qui leur incombent:

- planification des productions en relation avec le milieu naturel .
- proposition de décisions techniques. Les études et la cartographie des sols sont souvent critiquées par le monde rural. Les utilisateurs potentiels déclarent parfois, a priori, qu'elles sont inutiles, puisque de toute évidence, ils ne les utiliseront pas, se suffisant de leur expérience personnelle. Ils indiquent encore qu'elles sont superflues, que d'autres techniques ou expériences peuvent les remplacer avantageusement. Il s'agit alors d'observations plus ou moins précises du milieu, mais dont la représentativité géographique n'est pas ou mal assurée, ce qui est le rôle même de la cartographie des sols. L'on ne met pas en doute, aujourd'hui, l'utilité et la nécessité des cartes routières, dont tous les éléments sont pourtant connus de façon pratique, mais partielle, par des millions d'observateurs. En effet, il n'est pas possible de contacter toutes ces personnes pour déterminer un itinéraire, et la mémoire de l'ensemble des détenteurs de l'information n'est souvent ni fiable ni homogène.Il en est de même en agriculture, où la détermination d'un itinéraire technique, ainsi que toute autre décision, nécessitent un savoir, dont la connaissance des sols, synthétisée sur des cartes, est un élément essentiel. Ainsi, pour le classement des terrains, MARIN-LAFLECHE *et al* (1982) combinent les références provenant des agriculteurs et les cartes des sols.

IV - LES RAISONS PRATIQUES DE L'INTERET D'UNE CARTOGRAPHIE DES SOLS.

Nous pouvons dresser une liste des raisons objectives de l'intérêt des études de sols dans le raisonnement agronomique. Il s'agit de la connaissance des caractères du sol important pour la physiologie de la plante, ainsi que pour les travaux et les aménagements:

- texture du sol,
- agencement structural des agrégats du sol, permettant le passage des éléments vivants et des fluides,
- teneur en bases permettant la floculation ou la dispersion des éléments du sol,
- réserve en eau, humidité, excès ou déficit,
- perméabilité, excès ou déficit.

L'existence ou non de ces caractères sur une certaine étendue de sol permet de déterminer sa plus ou moins grande adaptation aux cultures réalisées ou envisagées. Il est ainsi possible de corriger les caractéristiques des sols qui interviennent comme facteur limitant de la valorisation du potentiel génétique des plantes.

D'autres raisons peuvent être évoquées, telle que la sauvegarde des meilleures terres agricoles. La C.D.T.A. est une tentative de classement des terres en vue de préserver les meilleures pour l'agriculture. La C.D.T.A., dans la Région du Nord, repose pour une large part sur un levé indiquant les caractères physiques du sol qui se rapportent à la fertilité, aux facilités de travail du sol et de drainage.

La fertilisation nécessite pour son raisonnement, une connaissance minimale des sols permettant la recherche de critères de fertilité. Citons l'exemple de la texture qui induit pour partie la stabilité structurale et l'aptitude à la fissuration (BOIFFIN *et al*, 1982). Cette structuration du sol

favorise le développement racinaire et l'alimentation minérale des plantes (BLANCHET *et al*, 1982). Ajoutons que les références ou essais de fertilisation peuvent être généralisés dans la mesure où l'on connait la répartition des unités de sols ou des familles de sols correspondantes (PEDRO, 1982).

Les aménagements hydrauliques nécessitent une connaissance approfondie des sols: secteurs ou études de référence (FAVROT *et al* 1981), ou études préalables au drainage (WOLSACK, 1982). Dans la Région du Nord (Cf chapitre III de la IIIème partie, p. 301), la majorité des secteurs drainés fait l'objet d'études préalables des sols, portant en moyenne sur 2 000 à 3 000 ha par an.

Le remembrement fait l'objet d'un classement des terres réalisés par la commission communale. Celui-ci peut être amélioré à partir des études de sols, dans la mesure où cette commission dispose d'une carte sur la quelle elle peut appuyer ses travaux (MARIN-LAFLECHE *et al*, 1982). Dans la Région du Nord, le pédologue est plutôt intervenu ponctuellement pour proposer des solutions et des arguments en cas de difficultés sur le classement. Le remembrement effectué pour la rocade littorale a ainsi donné lieu à environ 40 interventions pour une surface de 4 000 ha.

L'aptitude des sols aux cultures se rapporte à la notion de fertilité ou d'aptitude physique, ou de valeur agronomique des terres (BEGON *et al*, 1982). La cartographie des sols constitue un moyen d'analyse et de mémorisation des références (JAMAGNE *et al*, 1967). Aux unités de sol peuvent se rattacher des gammes "*de cultures possibles, et un degré de productivité générale en fonction [...] de contraintes culturales*" (BEGON *et al*, 1982).

La valeur des terres dans la transaction est imputable aux soins que lui donne l'exploitant ainsi qu'à sa situation dans le système d'exploitation. C'est ainsi que les agriculteurs investiront en matière de drainage sur les

parcelles proches de l'exploitation, même si leur valeur intrinsèque est médiocre. Cependant, la valeur des terres dépendra, le plus souvent, de leur fertilité naturelle. Les études et cartes de sol pourront faire apparaître les potentiels et les contrastes, et donner ainsi un préclassement des sols réduisant notablement les incertitudes lors des transactions (HEBERT, 1982)

CONCLUSION.

Il est donc souhaitable d'envisager une cartographie des sols pour l'agriculture; cette démarche a l'avantage de permettre l'organisation de la connaissance des sols, qui ne peut être le fait de l'expérience des seuls exploitants. Les levés cartographiqués permettent le recollement de l'expérience collective, et surtout, d'assurer une aide à la décision dans les choix et les pratiques des exploitants.

La démarche de cartographie procède en premier lieu de travaux de levés de terrains faits par le pédologue et de synthèse qui ne peuvent être entrepris par les seuls utilisateurs. A l'inverse, l'utilisation des documents est collective dans la mesure où elle concerne un grand groupe d'utilisateurs et un ensemble de connaissances sectorielles et éparses qui ne pourrait être connu de tous autrement. L'amortissement de la dépense réalisée est plus facile que dans le cas d'une recherche d'information individuelle de chaque exploitant. Elle ouvre la voie à une véritable gestion des sols; elle améliore notamment les choix faits par les utilisateurs en ce qui concerne les types de spéculation, les améliorations des sols, les transactions, les aménagements et les itinéraires techniques spécifiques à chacune des successions culturales.

Le chapitre IV a montré la difficulté de transmission des informations, mais aussi l'intérêt des travaux de cartographie et d'inventaire, organisés par des équipes spécialisées assurant les investigations et la synthèse des connaissances. Cette organisation débouche sur une discussion sur la gestion économique de la cartographie des sols dans la Région du Nord, et qui fera l'objet du chapitre V.

CHAPITRE V

REFLEXION SUR LA GESTION ECONOMIQUE DE LA CARTOGRAPHIE DES SOLS.

INTRODUCTION

Dans la Région Nord, les objectifs et le mode de conduite des études de sols sont fortement orientées par la demande des utilisateurs. Cette demande dépend de l'intérêt qu'ils portent à la connaissance des sols, connaissance qui n'apparaît pas toujours comme importante, mais seulement nécessaire, si les contraintes du milieu leur semblent trop fortes pour la réalisation des projets techniques ou économiques.

Il semble donc opportun de présenter un certain nombre de réflexions sur l'économie de la connaissance des sols.

Cette réflexion ne peut être que partielle, les données chiffrées dont nous disposons étant très fragmentaires. Elles concernent la mesure des gains obtenus grâce aux études, les démarches de gestion et de planification qui peuvent être introduites par la connaissance des sols, ainsi que les contraintes de la transmission de cette information entre les

utilisateurs et les chargés d'étude. Nous constaterons que les préoccupations sont analogues à celles entourant les projets industriels; les mêmes méthodes pourraient y être appliquées, pour assurer la gestion des études et des aménagements. (FRAIX, 1988, VERNIMMEN, 1976, MARGERIN *et al*, 1979, VALAIRE, 1986).

I - MESURE PARTIELLE DES GAINS OBTENUS GRACE AUX ETUDES DE SOLS PREALABLES A PLUSIEURS TYPES D'AMENAGEMENTS FONCIERS

Des gains ont été mesurés, partiellement, dans le cas d'aménagements tels que le drainage, la lutte anti-érosive, et l'épandage souterrain. Les chiffres utilisables étant très fragmentaires, nous ne pourront toutefois pas calculer précisément le gain réel obtenu à partir d'éléments de la connaissance des sols. Ils révèlent néanmoins les rapports pouvant exister entre la dépense d'étude et les gains attendus, c'est à dire les possibilités de rentabilité (FRAIX, 1988).

1/ Cas du drainage agricole.

Le drainage, comme nous l'avons vu précédemment, est une technique d'aménagement largement répandue dans la Région du Nord. Si de nombreuses études ont porté sur l'intérêt du drainage (CROS, 1972 a et b, GUYON, 1972 a et b, CAILLERET *et al*, 1981, HERVE, 1982, 1986, FERRARI, 1986 a et b), peu de recherches cependant chiffrent l'intérêt des études de sols, si ce n'est au niveau de la qualité des travaux. On constate par ailleurs toute une série de choix irrationnels. Ainsi, des maîtres d'ouvrage demandent fréquemment un drainage de qualité, mais désirent aussi faire l'économie de l'étude des sols dont ils ne voient pas toujours l'intérêt. De même, FRAIX (1988) signale pour l'évaluation des projets industriels, parmi les défauts les plus fréquents, l'insuffisance des analyses et des

études préalables.

Pour illustrer le cas du drainage nous avons pris l'exemple d'un casier de drainage situé dans les Wateringues du Pas-de-Calais, dans le périmètre de l'Association Syndicale Autorisée de Drainage (A.S.A.D.) de Sainte Marie Kerque, casier n° 57. Nous avons refait des estimations chiffrées, exprimées en francs en 1992, en reprenant les bordereaux de prix originels.

Parmi les conclusions des études de sols se rapportant au drainage, nous avons retenu deux postes qui peuvent être chiffrés facilement.

- Il s'agit de l'écartement des files de drains enterrés: l'écartement dépend en grande partie des caractéristiques des sols relevées lors de la cartographie. Il influe sur le linéaire des drains et donc sur le coût de l'investissement.
- Il est possible d'estimer également les surfaces qui sont déclarées comme non drainables et où l'investissement serait perdu.

Les autres postes de décision entraînent des gains qui paraissent plus qualitatifs et moins quantifiables, dans la mesure où les précautions recommandées excluent les disfonctionnements qui seuls auraient permis de mesurer le gain réalisé à partir de l'étude des sols.

Les écartements de drains sur le périmètre choisi.

Les études de sol en matière de drainage ont pour but, entre autres, de fournir des éléments permettant au concepteur de dimensionner les réseaux. Elles permettent également de signaler un certain nombre de risques à partir de l'observation des profils: Il s'agit de l'instabilité des matériaux, des risques de colmatage, de déformation du sol.

Elles permettent donc d'ajuster le dimensionnement

des réseaux en évitant les surcoûts dus à la pose d'un linéaire trop important. Elles permettent de prendre les précautions nécessaires pour diminuer l'incidence des risques signalés plus haut. Dans certains cas elles donnent au concepteur et au Maître d'ouvrage le conseil de ne pas réaliser l'ouvrage.

Exemple: pour le projet 57 de l'A.S.A.D. de Sainte Marie Kerque, l'écartement moyen adopté après étude est de 16 m. En l'absence d'étude de sol l'écartement aurait été plus faible dans cette zone: la valeur qui permet généralement de pallier, dans ce secteur les cas plus contraignants est de 12 m. (Cet écartement laisse toutefois subsister le risque d'être trop important dans certains cas). L'étude entraîne donc un gain minimal de 4 m d'écartement, soit un linéaire de 201 m de drains. Il s'agit de drains avec filtre, estimés à 6 par mètre linéaire. Sur ce poste, le gain possible à l'hectare est de 1206 F.

Cet exemple n'a pas été choisi pour son caractère exceptionnel, mais il est classique et intervient dans une proportion estimée à 9 cas sur 10. D'autre part, l'absence d'étude entraîne d'autres effets négatifs, tel qu'un mauvais ajustement de l'aménagement et du sol (exemple des drains sans filtre posés en zone sableuse). Dans ce cas le drainage pourra être moins efficace et entraîner des "pertes d'exploitation".(1)

Autre élément quantifiable.

Sur environ 10 000 ha assainis par drainage sur le territoire de l'A.S.A.D. de Sainte Marie Kerque, 300 ha ont été étudiés avec pour conclusion du rapport d'étude l'indication qu'il convenait de ne pas drainer. Si l'on considère un coût moyen de 10 000 F/ha, l'économie est de 3 000 000 F. Celle-ci peut être rapportée à la surface de 10 000 hectares drainés efficacement, soit une économie à l'hectare de

(1) Pertes d'exploitation: diminution du résultat net de l'entreprise.

300 F 00, qui ne seront pas payés par l'A.S.A.D., et à laquelle on peut ajouter l'économie des résultats d'exploitation négatifs non estimés ici.

Bilan.

Comparé aux gains , le coût des études de sols préalables à la conception des réseaux de drainage , s'élève à 250 à 300 F/ha soit une économie globale de l'ordre de 1200 F/ ha, sans compter les éléments non chiffrables.

A ceci il faudrait ajouter les indications et les conseils dont l'efficacité n'est pas quantifiable, mais qui conduisent à augmenter la longévité des réseaux, ou évitent par la suite des réparations importantes. Il s'agit de l'indication de colmatage sableux ou ferrique, des risques de tassement des sols entraînant la déformation des drains, etc.

2/ Etude des sols en vue d'organiser la lutte anti-érosive.

La lutte anti-érosive dans la Région Nord a nécessité des études de sols; celles-ci se sont localisées initialement dans le Pays de Montreuil, sur les plateaux de l'Artois. Ces études avaient pour but immédiat de comprendre d'une part, quel était le mécanisme déclenchant le ruissellement dans cette petite région agricole, et d'autre part, de modifier le comportement des acteurs dans ce paysage, afin d'enrayer l'érosion (Cf chapitre I, IIIème partie, p. 255). Elles ont notamment comporté des simulations de pluie sur couverture végétale, montrant l'incidence de celles-ci sur les débits de ruissellement (MASSON et PELLETIER, 1979, 1984, MASSON, 1987, DERANCOURT, 1987, 1989). L'une des propositions est l'implantation d'engrais vert, notamment de seigle en automne; d'autres concernent de nouvelles méthodes de travail du sol. Ces propositions ont induit des réductions de coût au niveau des cultures.

Les estimations faites par la Chambre d'Agriculture montrent que les nouvelles techniques de travaux du sol peuvent dégager une marge supplémentaire moyenne de l'ordre de 1500 F/ha sur céréales (DERANCOURT, 1990, inédit). Si l'on envisage une amélioration sur 1000 ha seulement, le gain serait de 1 500 000 F/an. Le coût des études (50 à 150 F/ha) est donc faible par rapport à ces possibilités de gains.

L'implantation d'une couverture végétale est plus onéreuse: le coût de la semence et du semis est estimé en moyenne à 300 F/ha, mais il entraîne des gains venant compenser partiellement les dépenses: économie d'engrais azotés: 40 à 100 unités selon les années, soit 140 à 350 F. D'autres effets secondaires comme la diminution du lessivage des engrais vers la nappe de la craie, la protection du sol contre l'érosion et la diminution des travaux d'entretien et de réhabilitation des voiries, des fossés et voies navigables (curages), et d'habitat (suite aux inondations), constituent des améliorations importantes qui, bien que difficilement chiffrables, sont à porter à l'actif de ces actions (MASSON et PELLETIER, 1979).

Il faudrait intégrer d'autres paramètres comme la diminution de fabrication des engrais et des transports ainsi que les nuisances dues aux pollutions industrielles induites par ces dernières activités. Les sommes dégagées ainsi sur l'investissement prévu, pour les unités de production d'engrais et pour le matériel de transport, pourraient être orientées vers des activités plus rentables. Nous pouvons considérer que le coût des études est faible (50 à 150 F/ha) par rapport aux gains permis sur la culture des surfaces agricoles estimées aujourd'hui à plusieurs dizaines de milliers d'hectares.

3/ Etude des sols préalable à l'épandage souterrain.

L'étude des sols préalable à la technique d'épandage souterrain vise à la fois la faisabilité et le dimensionnement des installations. Elle permet, dans le cadre des études des schémas d'assainissement de communes, la recherche de la solution financière optimale comprise entre le système de réseau collectif classique avec station d'épuration, et le système autonome d'épandage souterrain.

Elle induit dans un certain nombre de cas des réductions de coût importantes. Le coût des études de sol dans le cadre du syndicat de communes de Brimeux (7 communes du Pays de Montreuil dans le Pas-de-Calais) est estimé à environ 90 000 F, chiffre négligeable, par rapport à celui d'une tranche de travaux d'assainissement (Un million de francs). A côté des travaux d'assainissement, il convient d'inclure d'autres avantages comme la qualité de l'assainissement, parfois supérieure dans le cas d'épandage en sol naturel. Dans certains cas, l'isolement des zones à assainir est tel que seule l'étude préalable à l'épandage souterrain permettra d'apporter une solution d'assainissement.

4/ Discussion.

Ces trois exemples mettent en évidence des gains réalisés grâce aux études de sols. Malheureusement, l'argumentation de cette rentabilité évidente a été souvent le seul élément en faveur d'études préalables des sols. Il n'y a pas assez de recherche d'optimisation entre le coût de l'étude et la réalisation des travaux ou la recommandation, dans la mesure où l'évidence d'un gain plaide largement en faveur de l'étude de sols, et constitue souvent le seul élément d'analyse économique connu du décideur.

Il apparaît également que des marges financières

importantes peuvent être dégagées à partir d'investissements modestes. D'autre part, pour la dépense concernant l'étude, le temps de retour de l'argent est quasiment immédiat, il est amélioré pour l'investissement concernant la tranche de travaux, le taux de rentabilité interne l'est également. On peut considérer que l'intérêt financier de ces opérations d'étude est donc largement sous-estimé.

Cette sous-estimation est provoquée chez le décideur par une approche trop sommaire des projets où, a priori, les études de sols sont considérées comme un coût supplémentaire. Souvent l'utilisateur ne comprend malheureusement pas les conclusions de telles études, notamment en raison du langage utilisé Les gains et améliorations ne peuvent être perçus que par comparaison, seule une amélioration par rapport aux aménagements réalisés sans étude permet d'en vérifier l'intérêt. En conséquence, la motivation du décideur en faveur des études pédologiques préalables provient souvent de l'échec d'un aménagement.

II - LES DEMARCHES DE GESTION ET DE PLANIFICATION.

1/ Gestion et planification des investissements industriels. Gains induits par la connaissance préalable des sols.

En vue d'une décision d'investissements industriels liés à l'introduction de nouvelles cultures, la connaissance préalable des sols apporte aussi une aide utile pour le choix des sites industriels ou de cultures.

Dans le cas d'une conserverie, par exemple, le choix judicieux des zones de cultures et de l'implantation de l'usine va conditionner les trajets de transport (FRAIX, 1988). Si l'on admet que pour une culture légumière, le transport soit diminué de 20 km pour 50 ha de légumes: ceci peut entraîner une

diminution estimée à 100 000 F/ an des frais de transport. Ce gain doit être intégré dans les prévisions des coûts intervenant dans les projets de l'investisseur.

A côté de cet exemple facilement chiffrable, la même opération entraînera toute une série d'autres avantages se traduisant en gain financier. Il s'agit,

- du gain de qualité du produit qui se situe sur un sol adapté,
- du gain de qualité dû à la diminution du temps de transport, et à la facilité du contrôle de la qualité des champs plus proches par les services techniques; l'amélioration de la qualité entraîne des possibilités de label.
- du gain de temps, en raison de la proximité, pour la rapidité des décisions dans les périodes sensibles de culture et de récolte.
- d'une diminution de l'investissement en moyen de transport.

D'autres exemples pourraient être développés, montrant l'intérêt d'une connaissance des sols pour orienter des choix et des décisions. Ainsi on cherchera des terrains adaptés aux cultures, dès lors qu'il existe un marché intéressant pour l'une ou l'autre des cultures envisagées.

Ces démarches tendent à diminuer le coût de l'investissement et augmenter le taux de rentabilité interne ou la valeur de l'investissement (VALAIRE, 1986).

2/ Gains induits par l'organisation et la gestion des études de sol.

Les délais inhérents à la réalisation des levés de sol, et à la réalisation des cartes doivent être adaptés pour fournir dans des délais raisonnables les éléments nécessaires aux dossiers de pré-étude et d'étude dans lesquels on retrouvera les différentes orientations techniques et économiques.

Il n'existe pas de cartographie systématique et

régulière dans la Région du Nord. Il s'est donc substitué à la cartographie un récolement des levés des études réalisées localement sous forme de banque de données. Ces données participent aux inventaires décrits dans le chapitre précédent.

Ces inventaires comprennent l'analyse des facteurs régionaux liés au sol. Il s'agit pour l'essentiel de la liste suivante (liste non limitative):

- texture des sols
- modelé
- pente
- hydromorphie
- utilisation des sols

La combinaison de ces différentes informations permet de reconstruire rapidement une étude et de répondre, dans un délai très court, aux besoins des rédacteurs de projets ou d'avant- projets. Les dossiers seront prêts plus rapidement et entraîneront un gain au niveau des décisions.

Le fait que l'étude du sol, provenant des inventaires, échappe aux délais de réalisation des levés de terrain, permet de l'intégrer plus facilement dans les décisions qui doivent être rapides. La gestion en sera donc améliorée. Dans un contexte où les décisions sont prises plus souvent sur dossier, où les dossiers doivent être parfois défendus dans le cadre de la C.E.E., un argumentaire complet intégrant le milieu physique permettra d'être plus compétitif face à la concurrence interrégionale ou internationale.

L'organisation de la démarche d'inventaires correctement structurés constitue également une économie pour les études détaillées de projets à venir :

- données existantes dont la conservation peut être assurée,
- orientations déjà amorcées pour les autres études futures, l'inventaire pouvant partiellement servir de référentiel.

Les temps et les coûts d'études de projet seront

diminués. La possibilité de recherche de solutions variantes sera améliorée. (FRAIX, 1988, VERNIMMEN, 1976).

3/ Discussion.

On constate donc que les gains financiers obtenus à partir des études peuvent être très importants. Cependant, l'impact de l'information pédologique n'est pas toujours évident pour l'utilisateur et peut passer inaperçu.

Dans la Région du Nord, les réflexions menées avec les maîtres d'ouvrage et maîtres d'oeuvre, sur l'opportunité des études à réaliser ont montré deux types d'attitude négatives, pouvant représenter 25 à 30 % des cas:

Premier cas: dans la mesure où il n'y a pas d'étude, et sauf cas fortuit, il ne sera pas possible de vérifier l'écart par rapport à la solution optimale. La solution quelle qu'elle soit, si elle est bénéficiaire, parait correctement fondée.

Deuxième cas: On réalise une étude de sol , mais l'intuition ou les connaissances des décideurs auraient abouti aux mêmes conclusions et l'étude paraît inutile. Dans de nombreux cas, l'étude ne parait donc pas indispensable et il sera nécessaire de faire au préalable le bilan de son impact pour en démontrer la nécessité.

L'impact des études de sol devrait donc passer par l'utilisation des outils de l'analyse des projets d'investissement qui s'intègrent aux différents raisonnement que nous avons présentés dans ce chapitre.

Ajoutons qu'à terme, aux inventaires et aux schémas de répartition des sols aujourd'hui réalisés, pourra se substituer avantageusement des cartes régulières dès que la densité des observations intégrées dans les banques de données (fichier S.R.A.E.-D.R.A.F.) seront suffisantes, ou que sera prise la décision d'un levé généralisé des sols.

III - CHOIX EN MATIERE D'ORGANISATION DES RECONNAISSANCES DE SOLS.

L'organisation des études pédologiques doit être adaptée aux besoins des utilisateurs. Ceux-ci ont des préoccupations générales de planification et également des besoins d'informations plus précises pour la réalisation de projets.

1/ Planification des reconnaissances de sols.

Les stades successifs de la planification et de la réalisation de projets nécessitent de passer du cas général aux cas particuliers. Le passage de cartes pédologiques, à petite échelle, à des cartes adaptées à des projets d'aménagement semble bien affirmée aujourd'hui en France, avec le développement des cartes à 1/100 000 et 1/250 000 de l'I.N.R.A. (HERVE, 1989, JAMAGNE *et al*, 1989, BORNAND *et al*, 1989)(1). A ces documents sont associés des études à grande échelle. Exemple des "secteurs de référence" dans le cas du drainage agricole (FAVROT *et al*,1981, LAGACHERIE *et al*, 1989), de l'irrigation et des études de projets divers.

La programmation et la réalisation des documents à petite échelle semblent malheureusement et plus raisonnées en fonction des crédits financiers budgétisés qu'en fonction d'une optimisation des choix publics dans le cadre d'une politique générale de gestion des investissements (MARGERIN *et al*, 1979).

Dans la Région du Nord, les services du Ministère de l'Agriculture ont organisé, pour assurer la gestion des sols, un dispositif d'inventaires, regroupant les documents à petite échelle, dans lesquels s'inscrivent ensuite les études de projets.

Certaines opérations, telles que l'aménagement hydraulique de la Plaine de la Scarpe, ont vu la réalisation de

(1) Il en est de même de la démarche d'"inventaire, gestion et conservation des sols" (I.G.C.S.), proposée par BICHAT et al (1992).

cartes à moyenne échelle (1/50 000), suivie des études de projets à 1/20 000. Ces opérations ont fait l'objet de réflexions sur le coût financier des études, dont nous allons débattre dans le paragraphe suivant, à partir d'un exemple théorique comparable.

2/ Rapports entre les coûts financiers et les échelles (reconnaissances à grande et petite échelle)

La question du coût et des échelles peut être examinée à partir de l'exemple simplifié suivant. L'on considère un territoire de 10 000 ha dont l'aménagement se réalisera en 10 ans. Cet aménagement suppose au départ une reconnaissance générale à 1/50 000 permettant la planification et l'aménagement hydraulique général, et ensuite 10 tranches d'étude de 1000 ha à 1/15 000, sur lesquelles seront réalisés progressivement et sur 10 ans, les projets de drainage.

Le coût des études est proportionnel au nombre d'observations, celles-ci seront réalisées à raison d'un point d'observation par cm^2 de la carte, soit 1 observation pour 25 ha pour la reconnaissance à 1/50 000 , et 1 observation pour 2 ha pour la reconnaissance à 1/15 000.

Ceci étant présenté l'on peut envisager de cartographier (à 1/15 000) en une seule fois le territoire (solution I). La réalisation coûte 5 000 Unités auxquelles on ajoutera pendant 10 ans l'intérêt de l'argent(1): soit à 10 %, (taux actuariel brut), un coût total de 12 969 Unités.

Si l'on échelonne les travaux de reconnaissance (solution II) le coût s'élèvera à 9102 Unités, soit une économie de 3867 Unités.

A ceci, il convient d'ajouter au profit de la solution II le maintien d'une équipe assurant la conservation et la mémoire du système de reconnaissance des sols ainsi que

(1) $Cn = (1 + i)^n Co$, où n est la durée et i le taux d'intérêt.

la transmission des connaissances.

Dans le cas de la solution I, il aurait fallu conserver une équipe qui peut être équivalente à celle de la solution II, soit un coût supplémentaire de 6871 Unités. La solution II serait donc dans cette hypothèse plus de 2 fois moins onéreuse que la solution I.

Enfin le coût social est moins important dans la mesure où les personnels sont moins soumis aux fluctuations du volume de travail et de l'emploi. D'autre part le personnel sera moins nombreux. Il est donc possible d'envisager un personnel plus qualifié et mieux payé, plus stable, assurant réellement la transmission continue et régulière des connaissances vers les utilisateurs, sans perte d'expérience à chaque départ.

L'exemple pratique de la Plaine de la Scarpe (1981), sur 8000 ha aurait encore accentué l'écart entre les deux solutions, dans la mesure où le périmètre planifié, dans la période initiale, n'a pas été aménagé ensuite dans sa totalité, et n'a donc pas nécessité une étude détaillée du sol sur l'ensemble du périmètre.

Le système de complémentarité entre la reconnaissance à petite échelle, en vue de la planification, et la reconnaissance à grande échelle en vue de projets devrait permettre de rendre le service le moins cher en termes de coût financier et social. Le calcul des coûts actualisés de l'investissement devrait donc être la règle comme dans toute dépense d'investissement industriel (VERNIMMEN, 1976, MARGERIN *et al*, 1979, FRAIX, 1988).

Un méthode tient compte également du coût financier, c'est celle des "secteurs de référence" qui permet de caractériser la majeure partie des unités de sols d'une petite région et d'effectuer ensuite les études à la parcelle seulement en fonction des besoins effectifs (FAVROT *et al*, 1981).

IV - LA RELATION AVEC L'UTILISATEUR, LA TRANSMISSION DES DONNEES DES ETUDES DE SOLS A L'UTILISATEUR.

L'utilisateur des données de sols est généralement celui qui décide de la nécessité d'étudier les sols. La relation entre chargé d'études et utilisateur, la décision de réaliser les études et la transmission des connaissances se fait au travers de plusieurs démarches et outils:

- le langage utilisé dans les dossiers et les réunions;
- l'ajustement des levés au besoin de l'utilisateur;
- le calcul des gains attendus des études.

1/ Le langage.

Pour se faire comprendre, et sans forcément parler le même langage, utiliser un langage proche de celui de l'utilisateur de telle manière qu'il puisse le réintroduire dans son raisonnement et faire ainsi sa propre synthèse.

L'attitude du chargé d'études doit être une attitude d'accompagnement face à la démarche des utilisateurs, en reformulant éventuellement les bases de leur savoir et en complétant progressivement les lacunes.

Le langage doit rester simple dans la mesure où l'utilisateur technicien ou gestionnaire est déjà préoccupé par ses propres problèmes. Une formulation trop proche de la discipline pédologique ne sera pas comprise. A trop montrer les sols dans un esprit scientifique, l'on crée des blocages successifs qui entraînent immanquablement des réactions de rejet.

Le nombre de termes ne doit pas être trop grand, de façon à faciliter la tâche du lecteur, et parfois expliqués de façon à faciliter la lecture. Il en est de même au niveau des alphabets, le nombre de signes est inférieur dans les systèmes de langage les plus évolués. Enfin il faudra tenir compte de la

variation de sens des termes les plus élémentaires, les chercheurs eux-mêmes n'échappant pas à ce problème (KOSUTH, 1985, 1989).

Prenons le terme de faciès : en langage commun, celui-ci se rapporte à la face , au visage. Pour le géologue ou le géomorphologue, il se rapporte à la nature du dépôt. Exemple: faciès sableux des dépôts de l'Assise de Calais. Pour le pédologue, le terme faciès sera appliqué aux caractères d'un horizon (AUBERT *et al*, 1989)

Le terme "substrat" aura deux acceptions suivant que l'on s'adresse au pédologue ou au géomorphologue. Pour le premier, il s'agit d'un matériau sous-jacent aux matériaux dans lesquels se forment les sols. On parlera par exemple de substrat imperméable pour une couche peu perméable empêchant la circulation de l'eau vers un niveau inférieur. Pour le second, il s'agit d'une formation plus ancienne sur laquelle reposent d'autres formations plus récentes. Citons l'exemple du substrat antéquaternaire.

Les termes argiles et limons sont l'objet de confusions fréquentes. Les limons modérément argileux, (moins de 20 % d'argile) sont souvent appelés argile par les agriculteurs ou les constructeurs de maisons. A l'inverse les argiles limoneuses des pédologues sont considérées comme des matériaux limoneux par les géomorphologues. Pour éviter toute confusion, il convient de définir les termes par référence à un diagramme de texture.

2/ La stratégie de la décision.

Au delà du langage qui sert à transmettre le message, l'étude des sols permet d'obtenir un gain, dans la mesure où l'utilisation des connaissances optimise la conception des aménagements et garantit leur pérennité.

Il doit y avoir conjonction entre les résultats de

l'étude et la décision d'aménagement. La décision, qui se révèle positive, entraîne d'une part un gain pour l'utilisateur, et fournit également la principale démonstration de l'utilité de la démarche d'étude.

A l'inverse, l'expérience particulière menée dans la Région du Nord en matière d'étude de sol préalable à l'aménagement (drainage, remembrement), nous a conduits à faire deux constatations:

- L'inadéquation dans l'approche de la reconnaissance des sols vis à vis d'une question posée (par exemple, un nombre de sondages trop élevé), conduit à déterminer des coûts d'étude qui ne sont pas en rapport avec l'objectif immédiat à atteindre. La démarche de connaissance des sols n'est donc plus vue par l'utilisateur comme un moyen d'abaisser les coûts de l'aménagement, mais comme une dépense supplémentaire.

- L'effet d'une étude présentée en termes trop scientifiques se traduit pour l'utilisateur par un langage hermétique, ne correspondant pas à la formulation attendue et paraissant donc imprécis.

Il faut parler en termes compris par l'utilisateur; l'orientation de l'étude ou de la recherche doit répondre à sa question, mais sans toutefois négliger une vision prospective de l'usage de l'étude.

3/ Les attitudes face à la décision.

L'utilisateur, qui doit prendre une décision, suivant sa formation et sa propre culture, pourra avoir face au chargé d'étude plusieurs attitudes différentes. Ces attitudes ont été observées dans le cadre des actions menées par les services du Ministère de l'Agriculture de la Région du Nord. Plusieurs types de comportement sont ainsi décrits. Ces descriptions mettent en présence deux types d'acteurs, d'une part les

"utilisateurs" qui regroupent: financiers, maîtres d'ouvrage, maîtres d'oeuvre, directeurs de services administratifs, et d'autre part le "chargé d'étude".

L'utilisateur ne comprend pas les résultats d'étude.

Face à un message qu'il ne peut comprendre l'utilisateur prendra une attitude de confiance ou de méfiance.

* L'attitude de confiance face au chargé d'étude qui décide quasiment en lieu et place des utilisateurs, au lieu de faire une simple proposition, fait généralement apparaître cette solution de décision comme positive dans la mesure où l'opération est réussie. Cependant la solution optimale n'est pas toujours atteinte, car la notion d'un risque acceptable et l'ensemble des conditions économiques auxquelles les utilisateurs sont normalement soumis, ne sont pas forcément pris en compte par le chargé d'étude.

En cas d'échec, par réaction l'utilisateur aura une attitude systématique de défiance.

- Cette défiance pourra être passive: il n'apparait plus opportun de faire réaliser des études dont il n'a pas compris ni le langage, ni même l'intérêt au niveau économique.
- Cette défiance pourra être active: l'utilisateur se révolte contre une formule clé en mains inadaptée, avec la tentation de procéder contre des personnes en qui il croyait devoir mettre sa confiance.

* L'attitude de méfiance provient souvent de la confusion au niveau de l'utilisateur entre l'étude et la décision. Il a le sentiment que le chargé d'étude se substitue indûment à lui. En réaction, il peut avoir l'idée inverse qu'une bonne décision bien choisie peut se substituer à une étude qui ne représente à ses yeux qu'un supplément de coût. Cette idée est renforcée par le fait que le chargé d'étude ne supporte pas le poids économique de la décision. Dans cette attitude on observe

BU LILLE

l'absence d'idée de recherche de l'optimum économique. L'attitude de méfiance provient aussi de l'idée que l'étude de sol doit résoudre tous les problèmes, alors qu'elle ne constitue qu'un élément parmi d'autres pour rechercher une solution optimale.

L'utilisateur est capable de comprendre les résultats de l'étude. Ceci provient du niveau culturel de l'utilisateur et aussi du savoir faire du chargé d'étude qui a su adapter son langage. Il est possible dans ce cas d'envisager l'adaptation des études et de la recherche de solutions économiques intéressantes, chaque intervenant restant à sa place. Apparaissent de façon claire l'analyse des différents caractères ou option dont l'utilisateur a besoin pour affiner son projet technique ou sa gestion économique.

De ces différents cas, il ressort qu'un dialogue doit exister entre le chargé d'étude et l'utilisateur de telle manière que ce dernier comprenne les éléments du message proposé, et puisse décider lui-même des solutions à adopter.

V - APPORT DE L'EXPERIENCE DE LA REGION DU NORD SUR LA CONNAISSANCE DES SOLS.

Les travaux d'inventaire et d'étude menés par les services du Ministère de l'Agriculture (S.R.A.E.-D.R.A.F.) dans la Région du Nord sur la connaissance de sol s'est orientée suivant plusieurs directions. Il s'agit d'apports à l'amélioration des connaissances sur les sols, également du développement de démarches d'analyse et d'aide à la décision économique.

1/ Apport à l'amélioration des connaissances.

Les démarches proposées dans la Région du Nord concourent aux acquis de la recherche en Sciences du Sol. Comme nous l'avons montré dans la 1ère partie, elles proposent une voie de connaissance des sols, grâce à une organisation générale des sondages répartis suivant un maillage régulier, et la possibilité de densifier progressivement les observations. Les méthodes de l'analyse progressive permettent une évolution des représentations des formations superficielles et des sols, en fonction de l'ensemble des caractères observés et de chaque observation complémentaire adjointe. Ces méthodes ouvrent la voie à l'analyse statistique du sol, et à l'utilisation de l'outil informatique.

2/ Apport à la pédologie appliquée.

Au niveau des études appliquées, les méthodes utilisées en Région Nord fournissent un cadre permettant l'organisation des études et leur rationalisation.

En effet elles leur permettent d'être adaptées rapidement et facilement à la demande des utilisateurs en terme de précision de l'information et du type de caractères demandés. Elles permettent d'intégrer les reconnaissances générales en vue de la planification et les reconnaissances à grande échelle en vue de la réalisation de projets.

Ces méthodes ont encore l'avantage, par la décomposition de chacune des étapes de la synthèse, de permettre l'évaluation rapide de la qualité des travaux et donc de les contrôler. Il est ainsi possible d'évaluer l'adaptation des études aux questions posées par les utilisateurs, de comprendre le contenu et les marges d'imprécision de la démarche réalisée.

Inversement, il est certain, et ceci est parfois retenu comme une critique, que toute étude de sol réalisée suivant ces méthodes demande une démarche de chercheur. Les solutions et modes d'expression ne sont pas arrêtés par avance, et le chargé d'étude doit constamment choisir entre des cheminements de pensée différents. Le personnel utilisé doit donc être particulièrement qualifié, tant au niveau des levés que de la synthèse.

3/ Apport à l'analyse économique et à l'aide à la décision.

L'organisation rationnelle des prospections, sous forme de réseaux d'observations suivant une même logique, permet d'intégrer les reconnaissances de sols et les travaux dans les investissements soumis à l'analyse économique. Il est ainsi possible de rechercher les gains offerts par l'étude de sol et au delà l'optimum technique et économique.

Chaque échelle de carte ou d'étude peut être chiffrée et raisonnée (incertitude liée principalement à la distance entre les observations, nombre prévu d'observations, Cf chapitre III 1ère partie). Il est ainsi dans les méthodes d'"analyse des projets"(1) (BRIDIER *et al*, 1984).

Le défaut d'analyse technique et économique, par l'utilisateur et le décideur, a souvent conduit à considérer que la reconnaissance des sols est une dépense accessoire venant alourdir le budget, alors qu'il s'agit d'une dépense d'investissement dont la rentabilité doit être évaluée.

L'évaluation.

Dans le cadre d'une gestion des sols, le choix de réaliser des études de sols, dépend du bilan coûts et avantage d'une telle opération. Ce bilan peut être réalisé suivant la

(1) Méthode d'analyse qui apprécie un projet en fonction de ses coûts et de ses avantages.

démarche de l'"évaluation". Celle-ci a été développée et formalisée par les économistes. Elle peut se définir comme *"l'estimation des résultats attendus et des risques à encourir"* (BRIDIER *et al*, 1984). Elle est effectuée soit "ex ante", c'est à dire qu'elle est prévisionnelle, soit "ex post", et dans ce cas, elle porte sur la mesure des écarts entre les prévisions et la réalisation.

La notion d'évaluation relevait initialement de la gestion de la firme, et de la logique de l'investisseur privé. Celui-ci selon les théories classiques a pour unique critère la maximisation de son profit.

Evolution de la notion d'évaluation.

Dans la théorie micro-économique, les divers éléments qui fondent la rationalité d'une décision sont réunis sous la notion d'utilité, et conduisent à se poser la question: à utilité égale, quelle est la solution qui minimise les coûts engagés?

Cette problématique s'est étendue progressivement aux choix publics et collectifs, sous le nom global de "calcul économique". Dans ces domaines l'analyse de la décision d'investir fait entrer en ligne de compte d'autres critères d'ordre moral, social, l'intérêt des usagers, etc. Ce mode de raisonnement s'est généralisé et s'est accompagné d'un recours systématique aux techniques d'aide à la décision (recherche opérationnelle, analyse de la valeur, analyse coûts-bénéfices, etc.). Il est lié à l'histoire de la planification et à l'émergence de la comptabilité nationale.

Intérêt présent de l'évaluation.

Les contraintes de disponibilité du capital (volume, taux d'intérêt) donnent aux décisions d'investissement une acuité plus ou moins grande selon les périodes. L'on pourrait supposer que l'investissement public se déconnecte de la

logique décisionnelle qui préside dans les projets privés en raison notamment de durées d'amortissement plus longues et parce que les financements reposent en partie sur l'impôt. On constate cependant que l'investissement public ne peut échapper à la nécessité de se référer aux marchés monétaires et financiers. Citons les exemples des grands emprunts "énergétiques" de l'E.D.F., le financement de la dette publique française dans les années 80, ou actuellement celle de certains pays du Tiers Monde, etc.

Par rapport à la période des "30 glorieuses" (FOURASTIE, 1979), caractérisée par une croissance économique forte et régulière, nous sommes entrés dans une phase d'environnement économique instable et incertain: fluctuation des taux d'intérêts, taux d'intérêts réels désormais positifs, accélération de l'innovation technologique, ouverture internationale des marchés, etc.

Avec la reprise de la croissance dans les années 80, les besoins en capitaux redeviennent importants, le différentiel entre le taux d'intérêt nominal et la hausse des prix s'inverse durablement au profit du bailleur de fond (BOISSONNAT, 1990), les autorités de tutelle sont désormais plus attentives et plus parcimonieuses dans les politiques de bonification d'intérêt au de subvention. Il est peu vraisemblable que la situation s'inverse à nouveau dans les toutes prochaines années, en raison notamment de demandes potentielles importantes de capitaux, déterminées par exemple, par la modernisation des pays de l'Est de l'Europe et la reconstruction des pays du Golfe. La nécessité de l'évaluation n'en a actuellement que plus d'acuité.

Les perspectives.

Dans le contexte , présenté précédemment, la démarche des décideurs publics s'est d'abord appelée rationalisation des choix budgétaires (R.C.B.), dans les années 70 et au début des

années 80. Cette démarche s'est appliquée alors aux principaux équipements, aux transports, etc., à partir du milieu des années 80, on a parlé de recherches de stratégies optimales et de mesures d'efficacité. Celles-ci s'appliquent d'abord aux questions sociales en raison de la crise de l'emploi et de la remise en cause des systèmes de protection : budget global de l'hôpital, R.M.I., etc.

Depuis, on assiste à une application de modèles de plus en plus complexes, et à une extension à la plupart des secteurs de l'activité économique de ces démarches. Elles pourraient être étendues, comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents à la gestion de la reconnaissance des sols. Il s'agirait notamment de la démarche suivante:

- ciblage de la question posée par l'utilisateur,
- recherche et calcul des gains rendus possibles par l'utilisation de l'étude,
- recherche d'optimisation de l'étude déterminée à partir du rapport du montant de l'investissement choisi pour l'étude et du gain produit par son utilisation,
- recherche prospective pour d'autres projets alternatifs que la question posée, et dont les réponses ne sont pas immédiatement utiles, mais constituent un gain pour la collectivité,
- calcul financier sur l'échelonnement de l'investissement,
- estimation de l'incertitude et du risque (attitude du demandeur),
- choix du décideur.

La norme ou le critère de choix le plus important est le temps de retour de l'argent qui doit être inférieur à la durée d'amortissement. La norme peut être un temps de retour de l'argent d'une ou plusieurs années. En termes financiers le temps de retour le plus court sera toujours privilégié. Pour l'industrie agro-alimentaire, le temps de retour des

investissements privilégié est de 1 an et ne devra pas excéder 10 ans pour les autres. dans le cas du drainage, le temps de retour de l'investissement pour les études préalables correspond au délai dans lequel sont réalisés les travaux. ce délai est généralement inférieur à 3 mois, parfois à une semaine. Il y a donc lieu d'établir une hiérarchie entre les différents investissements, aux temps de retour les plus courts correspondant souvent les investissements les plus rentables.

Cette démarche pourrait être réalisée à tous les niveaux de l'approche cartographique: documents à petite échelle pour la planification, documents à grande échelle en vue de projets locaux, documents thématiques, inventaires, besoin de recherches diversifiées.

En conclusion, même si la nécessité de l'"évaluation" est accrue dans la période prochaine, elle reste nécessaire en toute période pour montrer l'intérêt et la priorité de ce type d'investissement.

CONCLUSION

Les réflexions sur la gestion économique de la cartographie des sols nous ouvrent des perspectives. A côté de l'étude scientifique des sols, doivent être pris en compte les facteurs humains et les relations avec les utilisateurs et les décideurs pour qui sont réalisées les études.

Ces différents facteurs humains et techniques conditionnent le développement de la connaissance des sols. Il apparait également que les éléments de connaissance des sols qui constituent le support physique et matériel d'un grand nombre d'activités économiques, doit être pris en compte dans un sens d'organisation générale de ces activités, comme un

niveau de contrainte qu'il faut estimer, gérer et intégrer dans le raisonnement économique, dont l'absence entraîne une pénalisation souvent importante des projets.

CONCLUSION GENERALE

La Région du Nord de la France présente une diversité géologique, géomorphologique et pédologique, s'exprimant par une grande variété de paysages. Ceux-ci se traduisent sous forme de régions naturelles contrastées, dont l'origine tient souvent à une tectonique de blocs.

Les sols sont généralement formés sur des formations superficielles quaternaires, souvent limoneuses, d'origine éolienne, recouvrant un substrat affleurant très rarement. Ce dernier joue, cependant, un rôle important, en raison notamment de son influence sur le drainage des sols, et sur les conditions du maintien des héritages pédologiques lors du transfert de matériaux sur les versants ou dans les vallées.

La couverture limoneuse comprend, en outre, plusieurs phases de dépôt ou de transport, marquées par des paléosols, ajoutant à la complexité du milieu.

Dans la Région du Nord, densément peuplée et fertile, l'aménagement de l'espace rural, naturel ou urbain, résulte surtout de l'action volontariste de l'homme. Pour être raisonné, il nécessite des connaissances minimales sur les sols. Celles-ci ont été acquises progressivement, mais les informations correspondantes sur ces derniers sont à la fois nombreuses, dispersées sur le territoire, discontinues dans le temps, car souvent issues d'équipes différentes, et destinées à des utilisateurs multiples.

Compte tenu de cette diversité, et en l'absence d'une politique de reconnaissance systématique des sols, il a fallu adapter des méthodes d'études permettant de conserver et valoriser les données acquises successivement: organisation de l'observation des sols, études de références, inventaires, étude de l'intérêt économique.

*

* *

Dans le présent mémoire, est donc proposée une démarche originale allant dans ce sens.Tout en présentant ses spécificités, elle ne s'écarte toutefois pas des méthodes de la pédologie. Elle se caractérise d'abord par un système de gestion emboîté et organisé des observations pédologiques.

Cette méthode comprend, en effet:

- Une répartition régulière des points d'observation, suivant un plan général de prospection, qui permet d'adapter une équidistance large entre deux sondages pour la reconnaissance à petite échelle, et d'intercaler ensuite d'autre points pour la reconnaissance à grande échelle. Il s'agit donc d'une méthode où peuvent s'intégrer harmonieusement des reconnaissances faites à des échelles différentes, à des époques et par des équipes distinctes.

- Une notation de type analytique, comprenant un nombre restreint de symboles élémentaires, dont la combinaison permet de représenter les caractères des sols. L'ensemble forme un dessin facilement lu par les chargés d'études ou par les utilisateurs.

- Des outils servant à l'interprétation des données, sous forme de coupes régulières, assimilables à des sections de bloc diagrammes, permettent de mettre en évidence l'organisation dans l'espace des formations superficielles et des horizons des sols. Ces outils débouchent sur des représentations cartographiques qui peuvent être sectorielles ou synthétiques. Il est ainsi possible de représenter les formations superficielles ou les sols.

*

* *

L'application de cette méthode, s'est matérialisée sous forme d'informations nouvelles concernant la nature et la distribution spatiale des formations superficielles et de la couverture pédologique dans divers paysages du Nord de la France.

Dans la Plaine maritime des Wateringues, couverte par les dépôts marins holocènes, j'ai mis en évidence que la répartition des sols dépendait de formations originales comme les chenaux sableux, ou encore des héritages de versants: loess de couverture ou substrat de craie ou d'argile, déterminant des textures différentes, la présence de tufs calcaires ou des variations de la minéralogie des argiles.

En bordure de la Plaine de la Lys, j'ai montré l'existence d'héritages des formations argileuses ou sableuses formant le substrat des versants, ainsi que des loess superficiels. Ces héritages sont également déterminants pour la formation des sols de la Plaine de la Slack.

Dans la Flandre intérieure, la répartition des sols est déterminée par le recouvrement plus ou moins épais de la couverture de loess, déterminant soit l'affleurement de formations argileuses ou sableuses, soit des épaisseurs plus ou moins importantes de loess sur un substrat imperméable.

Dans cette région, ainsi que sur la bordure des plaines basses, j'ai observé de nombreux paléosols recouverts soit par les dépôts successifs de loess, soit par les formations héritées des versants. Il s'agit de sols holocènes anciens, ou encore de sols datant de périodes quaternaires plus anciennes. Ces paléosols sont fréquents dans le Haut Pays, recouverts de dépôts loessiques plus récents et déterminant parfois, au même titre que les substrats antéquaternaires argileux imperméables, des zones où le drainage des sols est ralenti; les sols y sont hydromorphes. Ces paléosols sont souvent modifiés par la pédogenèse actuelle.

*

* *

Grâce à cette méthode, j'ai pu apporter, en outre, des informations sur la distribution et le comportement des sols, dans diverses autres régions et orienter ainsi une gestion raisonnée de l'espace.

A partir d'études de cas concrets, j'ai pu montrer ensuite l'apport de la connaissance des sols sur la conception des aménagements, tels que:

- l'épandage des eaux usées, dans le cadre des schémas d'assainissement communaux, et qui nécessite une estimation des possibilités d'infiltration;
- la lutte anti-érosive conditionnée par la perméabilité superficielle des sols, elle-même fonction de la battance (particulièrement élevée sur les formations loessiques), et par leur utilisation agricole.
- le drainage souterrain, dont l'efficacité dépend de la maîtrise des plans d'eau et de la bonne adaptation de leur dimensionnement aux caractéristiques des sols: texture, structure, perméabilité, stabilité;
- la lixiviation des engrais dans les sols, qui est fonction des possibilités de stockage ou d'entraînement des éléments fertilisants, avec une pollution plus ou moins rapide de la nappe et des eaux de surface;
- la lutte contre la salinité et la sodicité des sols, qui entraîne l'effondrement de leur structure, et provoque la pollution des eaux de surface.

*

* *

A partir d'autres exemples, j'ai montré, enfin, l'intérêt économique des études de sol, notamment celles traduites par divers inventaires pédologiques.

Ces derniers se rapportent, soit à des problèmes économiques liés à la gestion des sols, comme dans le cas de la

Carte Départementale des Terres Agricoles, soit à un secteur d'activité, tel que l'activité agricole (exemple de l'Arrageois oriental), soit à une technique particulière, telle que le drainage dans la région de Fruges.

Ces différents types d'inventaires, construits suivant des couches d'informations successives, permettent de gérer les connaissances acquises sur les sols et de les présenter sous une forme éventuellement simplifiée, dans deux buts:

- servir de référence ou de cadre pour instruire des études futures,
- permettre le contrôle, par l'utilisateur, des études réalisées: vérification de la prise en compte des références connues par le chargé d'étude, mise en évidence des apports nouveaux, mise à disposition des données générales sur une petite région, permettant ainsi les orientations et instructions de dossiers financiers, ou éventuellement la rédaction de cahiers des charges.

A la suite de ces inventaires, j'ai également montré que la restitution des informations doit passer par des formes de langage compatibles avec celui des utilisateurs, et que la démonstration de l'intérêt économique implique la mesure des gains obtenus à partir des études. Ces gains peuvent être importants. Il apparaît donc indispensable de faire l'"évaluation" des études de sol et d'en dégager ainsi la valeur économique.

*

* *

Cette méthode peut encore être améliorée à partir d'un certain nombre de compléments et de prolongements que nous avons signalés dans ce mémoire. Les observations peuvent être complétées par une succession de descriptions de profils sur

fosse et des analyses qui caractérisent plus précisément les sols, permettant ainsi de généraliser les références acquises, tant au plan de la reconnaissance des sols, que des applications.

L'utilisation de l'outil informatique facilitera la généralisation de la méthode emboîtée proposée, avec l'usage de coupes et de diagrammes. L'informatique permettra, en outre, l'élaboration systématique des études sectorielles thématiques entrant dans les études appliquées ou les inventaires. Pourront être ainsi croisées rapidement les données disposées en plusieurs couches.

La méthode présentée, en décomposant les études en fractions élémentaires doit faciliter la mesure de la "valeur" des études préalables, notamment dans le domaine de l'application, de telle manière qu'elles soient intégrées dans le raisonnement économique. La généralisation de cette évaluation conduirait à une amélioration de la gestion des projets d'étude et d'aménagement.

BIBLIOGRAPHIE

A.C.C.T. (1978) - Normalisation et échange de données pédologiques par ordinateur. Agence de Coopération Culturelle et Technique, 192 p.

ALVARES CORREA H. (1982) - Questions à Jacques Breton à propos de la Commission Nationale d'informations géographiques (la C.N.I.G.). Géomètres 125° année n° 10, Octobre 1982 p. 16 - 18

ARROUAYS D. (1989) - L'agriculteur et le pédologue cartographe. Deux modes d'appréhension du milieu. Une interface nécessaire. Doc. Ass. Fr. Et. des Sols, vol 27, n° 1, p. 101-104.

ARROUAYS D. (1989) - Commentaires méthodologiques sur l'élaboration de cartes de paysages pédologiques à 1/250 000. Exemple du Loiret. Doc. Ass. Fr. Et. Des Sols., vol 27 n° 1 p.13-16

ASSELINE J., VALENTIN C. (1977) - Contribution et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Off. Rech. Scient. Techn. Outre Mer Centre Adiopoumé (Côte d'Ivoire)

AUBERT G., BOULAINE J.(1989) - Contribution de certains pédologues Français à l'évolution des concepts pédologiques utilisés en cartographie. Science du sol,Doc. Ass. Fr. Et. des Sols. Vol 27 , n° 4, p. 395 - 411.

AYERS R.S., WESTCOT D.W. (1988) - La qualité en agriculture, Bulletin F.A.O. d'irrigation et de drainage, 29 Rev. 1 ,180 p. , 2 AN . 45 Tab., 25 fig.

BACROT S., BOULET V., MERCIER E., TROUVILLIEZ J. (1985) - Aménagement hydro-agricole du "Triangle de Bourbourg". Etude d'impact. Rapport inédit, Cabinet Bacrot, Méricourt-sur-Somme, 250 p. + annexes.

BACROT S., BACROT M.P., BOULET V., MERCIER E., SUEUR F. (1986) - Remembrement de Quend. Etude d'impact. Analyse d'état initial. Rapport inédit, Cabinet Bacrot, Méricourt-sur-Somme, 126 p. + annexes.

BACROT S., MERCIER E., BOUQUILLON A. (1988) - Réhabilitation des étangs de Hamel, lecluse, Tortequenne. Bureau d'études d'Impact Environnement Aménagement. Syndicat Intercommunal de la Région d'Arleux, Syndicat Mixte de la Vallée de la Sensée. 79 p., 6 an.

BAETEMAN C. (1981) - An alternative classification and profile type map applied to the holocene deposits of the belgian coastal plain. Bull. soc. belge de Géologie, T. 90, fasc. 4, p. 257-280.

BAETEMAN C. (1985) - Development and evolution of sedimentary environnements during the Holocene in the Western coastal plain of Belgium. Eiszeitalter U. Gegenwart, 35, 23-32.

BALLAY D. (1981) - Cartographie de l'aptitude des sols à l'assainissement individuel. Génie Rural.

BARTHELEMY D. (1985) - Valeur agronomique et économique. L'élaboration de la carte des terres agricoles. Géomètres Juillet 1985 p. 40 - 60

BECKELYNCK J. , KLESZCZ J.P. - (sous la direction de CAULIER P., TALBOT A. 1980), Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution. Région Nord-Pas-de-Calais. Echelle 1/250 000.

BEGON M., MORI A. (1982) - La fertilité vue par le pédologue, les classements d'aptitudes. Bull. Techn. Inform., n° 370-372, p. 539-545.

BERTRAND R., FALIPOU P., LEGROS J.P. (1979) - Notice pour l'entrée des descriptions et analyses de sols en banques de données. S.T.I.P.A., Inst. Nat. Rech. Agro., Inst. Rech. Agro. Trop., 119 p. Montpellier.

BERTRAND R., FALIPOU P., LEGROS J.P. (1984) - Réseau international de traitement des données du sol, S.T.I.P.A. Notice pour l'entrée des descriptions et analyses de sols en banques de données. Agence de coopération culturelle et technique. 136 p., 12 an.

BEUN N. (1973) - Contribution à l'étude hydrogéologique des Bas-Champs de Cayeux (Somme). Thèse 3ème cycle Lille, 151 p. + annexes.

BIAYS P. (1968) - Esquisse climatologique du Nord de la France. Faculté des Lettres et Sciences Humaines. Association de documentation et d'études régionales. Lille 1968. 201p. dont XXVII tab. 28 an.

BICHAT H., GRAMMONT A. (1992) - Inventaire, Gestion et Conservation des sols. Inst. Nat. Rech. Agro., Minist. Agr., 14 p.

BILLIONNET J.M., MASSON F.X., DOUAY F., FOURRIER H. (1984) - Etudes préliminaires en vue du drainage des terres agricoles du Pas-de-Calais. Secteur de référence de la Sensée. Serv. Rég. Am. Eaux. Nord-Pas-de-Calais - Inst. Sup. Agri. de Lille. Opération drainage O.N.I.C. - Ministère de l'Agriculture, 203 p. 1 carte.

BILLIONNET J.M., MASSON F.X., FOURRIER H. (1986) - Etude préliminaire en vue du drainage des terres agricoles du Nord. Secteur de référence de la Scarpe. Communes de Bousigines - Brillon - Erre - Marchiennes - Rosult - Tilloy-les-marchiennes - Wandignies Hamage - Warlaing. S.R.A.E Nord-Pas-de-Calais - Inst. Sup. Agri. de Lille. Opération drainage O.N.I.C. Ministère de l'Agriculture, 201 p., 14 tab. 21 fig.

BINI C. (1989) - Aptitude des sols aux différentes utilisations agricoles. Les sols de la colline Toscane (Italie). Doc. Ass. Fr. Et. des Sols, Vol 27 n° 1, p. 9-12

BIZE J., GUERIN B. (1979) - Cartographie de l'aptitude des sols de la Haute Garonne à l'assainissement individuel. Etude méthodologique du secteur de Villemur-sur-Tarn. Technique et Sciences Municipales, l'eau 74 ème année N° 6, Juin 1979, p. 339 - 354.

BLANCHARD R. (1906) - La Flandre, étude géographique de la Plaine Flamande, en France, en Belgique et Hollande, Lille, 530 p., 76 fig., 2 pl. h.t., rééd. 1970, Handnamë

BLANCHET R., BOSC M., MAERTENS C. (1982) - Les états physico-chimiques du milieu et la nutrition minérale des plantes. Bull. Techn. Inform., n° 370-372, p. 547-553.

BOIFFIN J., MONNIER G. (1982) - Etats, propriétés et comportement des sols: recherche et utilisation des critères de fertilité physique. Bull. Techn.. Inform., n° 370-372, p. 401-407.

BOISSONNAT J. (1990) - Le Boom et la révolution. Si la crise économique ne survient pas... La Croix, l'Evénement Mardi 12 juin 1990 p. 11.

BOLLINNE A. (1982) - Etude et prévision de l'érosion des sols limoneux cultivés en Moyenne Belgique. Thèse présentée pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences Géographiques. Université de Liège 356 p., 3 ann.

BONNARD L.F. (1989) - Les cartes des sols en Suisse . Doc. Ass. Fr. Et. des Sols, vol 27, n° 1 p. 1-4

BONNERIC P., NAVARRO R., FALIPOU P. (1985) - Réseau international des données de sols. S.T.I.P.A. Notice pour la gestion informatique de la banque de données. Inst. Nat. Rech. Agro., Inst. Rech. Agro. Trop., Ag. Coop. Cult. Techn., Paris, 83 p. 15 an.

BONTE A. (1955 a) - Les formations superficielles à silex du Nord de la France, C.R. Acad. Sc., 241, p. 1211-1213.

BONTE A.(1955 b) - Age et origine des formations superficielles à silex, C.R. Acad. Sc., 241, p. 1318-1320.

BONTE A. (1965a) - Le Wealdien du Boulonnais, in Colloque sur le Crétace inférieur (Lyon, sept. 1963), Mem. Bur. Rég. Géol. Min., 34, p. 327-331.

BONTE A (1965b) - Bauxites et argiles à silex, deux formations colluviales, 90è Cong. Nat. Soc. Savantes,, Nice, tII, p. 9-23, 1 fig;, 2 pl.

BONTE A. (1967) - L'"argile à silex" du Nord de la France, Mem. Soc. Géol. France ,n° 4 p 7 - 8.

BONTE A. (1971) - Poches de dissolution et argile résiduelle, Ann. Soc. Géol. Nord, XCI, p. 39-46, 2 pl.

BONTE A, BROQUET P., DESTOMBES J.P., GOUILLIART M., HATRIVAL J.N., HOYEZ B., LEROUX B. RESENDE S., SAVARY M., SOMME J., THIBAUT P.M. (1971) - Carte géologique 1/50 000, Marquise, XXI-3, "Boulonnais-Nord".

BONTE A, DESTOMBES J.P., HATRIVAL J.N., HOYEZ B., SOMME J., THIBAUT P.M. (1971) - Carte géologique 1/50 000, Guines, XXII-3

BONTE A., LEPLAT J., SOMME J., (1982) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Desvres (11), B.R.G.M.

BORNAND M., ARROUAYS D., BAIZE D., JAMAGNE M. (1989) - Cadre méthodologique d'une cartographie régionale des sols à l'échelle du 1/250 000. Doc. Ass. Fr. Et. des Sols, vol 27 n° 1, p. 21-24

BORNAND M., JAMAGNE M. (1989) - Cartographie des sols de France. Bilan - Evolution et perspectives. Exposé Conférence C.E.E., Seville 1989.

BORTOLOTTI S. - (1981) Aménagement hydro agricole de la vallée de la Scarpe. Programme d'intervention hydraulique. Document Dir. Dép. Agri. du Nord.

BOULET R., CHAUVEL A., HUMBEL F.X., LUCAS Y. (1982 a) - Analyse structurale et cartographie en pédologie. I - Prise en compte de l'organisation tridimensionnelle de la couverture pédologique : les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. Cahiers Off. Rech. Scient. Techn. Outre. Mer, Pédologie, Vol. XIX, n° 4, p. 309 - 321.

BOULET R., HUMBEL F.X., LUCAS Y. (1982 b) - Analyse structurale et cartographie en pédologie. II - Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couverture pédologiques. Cahiers Off. Rech. Scient. Techn. Outre. Mer, Pédologie, Volume XIX , n° 4 , p. 323 - 329.

BOULET R., HUMBEL F.X., LUCAS Y. (1982 c) - Analyse structurale et cartographie en pédologie. III - Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. Cahiers Off. Rech. Scient. Techn. Outre Mer, Pédologie, Vol. XIX, N° 4 , p. 341 - 351.

BOULET R., GODON Ph., LUCAS, Y., WOROU S. (1984 - 1985) - Analyse structurale de la couverture pédologique et expérimentation en Guyane Française. Cahiers Off. Rech. Scient. Techn. Outre Mer, Pédologie, Vol XXI, n° 1 , P; 21 - 31.

BOULET R., CURMI P., PELLEGRIN J., QUIEROZ-NETO J.P. (1989) - Distribution spatiale des horizons dans un versant de l'analyse de leurs relations géométriques. Doc. Ass. Fr. Et. des Sols., vol 27, n°1 p. 53-56.

BRABANT P. (1989) - La cartographie des sols dans les régions tropicales: une procédure à 5 niveaux coordonnées.Doc. Ass. Fr. Et. des Sols., vol. 27, 4, p. 369 - 395.

BREMOND R., PERRODON C. (1979) - Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie. Imprimerie Chastrusse et Cie. Brive. 259 p.

BRIAULT B. (1982) - Les Bas Champs de Cayeux et le Marquenterre. Propositions pour la reconquête de la qualité des eaux. S.R.A.E. Picardie. 48 p., 11 ann.

BRIDIER M. , MICHAILOF S. , (1984) - Guide pratique d'analyse des projets . Edition Economica, 294 p.

BRIQUET A. (1906 a) - Observations sur la composition des terrains éocènes inférieurs du Nord de la France, Ann. Soc. Géol. Nord., XXXV, p. 132-177, 3 fig., 1 tab.

BRIQUET A. (1906 b) - Sur l'origine des collines de Flandre: quelques considérations de tectonique et d'hydrographie, Ann. Soc. Géol. Nord , XXXV, p. 273-288.

BRIQUET A. (1908) - La pénéplaine du Nord de la France. Ann. Géog., XVII, p. 205-223

BRIQUET A. (1930) - Le littoral du Nord de la France et son évolution morphologique , Orléans, 439 p. , 151 fig. 1 pl.

BRIQUET A. (1940-45) - Basses terrasses et plaines maritimes littorales, Ann. Soc .Géol .Nord., LXV, p. 89-96.

BROQUET P., BEUN N.(1980) - La sédimentation holocène dans les Bas-Champs de Cayeux (Somme). Evolution des lignes de rivage et du réseau hydrographique. Ann. Soc. Géol. Nord., T C , 1er , p. 31-42.

CAILLERET G., OGER O., DUSAUTOIS R. (1981) - Etude a posteriori des avantages apportés par la réalisation des équipements sur les périmètres de drainage. Wateringues et Plaine de la Lys. Cent. Rech. Econ. Agr. - Serv. Reg. Am. Eaux Nord-Pas-de-Calais, 70 pages. Malgré son intérêt, contient toutefois quelques erreurs mineures dont nous avons tenu compte.

CAVELIER Cl. (1967) - Carte géol. (1/50 000), feuille de Creil. Bur. Rech. Géol. Min.

CELET P., BERNARD D., FIEVET J., MAILLOT H. (1989) - Vulnérabilité de la nappe de la craie dans le Nord de la France. Ann. Soc. Géol. Nord, T. CIX, 2ème trim., p. 93-100.

CHAMLEY H., BAUDIN F., FOURCADE E., GALBRUN B. (1992) - Stratigraphie minéralogique des argiles du Toarcien d'Ibérie méridionale et occidentale. Soc. Géol. Nord, p. 109-117.

CHEVAL A. (1984) - L'assainissement autonome. Etude technique de synthèse. Ag. Fr. Econ. Energ., 161 p.

COLBEAUX J.P., BEUGNIES A., DUPUIS CH., ROBASZYNSKI F., SOMME J. (1977) - Tectonique des blocs dans le Sud de la Belgique et le Nord de la France. Ann. Soc. Géol. Nord t. XCVII, 3ème Tr. p. 191-222.

COLBEAUX J.P., LEPLAT J., PAEPE R., SOMME J. (1978) - Tectonique récente dans le Nord de la France et le Sud de la Belgique: Exemple de la Plaine de la Lys (Feuille d'Hazebrouck au 1/50 000). Ann. Soc. Géol. Nord , t XCVIII, 3ème tr. p. 179-188.

COLBEAUX J.P. (1984) - L'évolution structurale du Sud de la Belgique et du Nord de la France: sa relation avec la dérive des continents; quelques hypothèses. Bull. Soc. Belge Géol. , T. XCIII, fasc. 1/2, p.71-78.

CONCARET J. (1980) - Drainage agricole, Théorie et pratique. Ouvrage Chambre Rég. Agri. Bourgogne, 509 p.

COQUE-DELHUILLE B. (1972) - Recherches sur les formations quaternaires et le modelé de la Flandre Maritime Dunkerquoise. Cahiers de géographie physique n°1. Institut de géographie, Un. Sc. Techn. Lille p. 45-63., 6 fig.

C.P.C.S., (1967) - Classification des sols. Doc. Multig., Grignon, Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols, 96 p.

CROS Ph. (1972 a) - Formule du drainage des sols lourds. Bull. Techn. Inf, Ministère agriculture, n° 271-272, p. 866-868.

CROS Ph. (1972 b) - Drainage et rendement des cultures. Quelques aspects des études hongroises Bull. Techn. Inf Ministère de l'Agriculture, n° 273 - 274.

DACHARRY M., PETIT-RENAUD G. (1982) - Courbes Isohyètes. Courbes interannuelles calculées de 1967 à 1979. Courbes annuelles de 1966 à 1980. Document Ministère de l'Environnement. Direction régionale de la Navigation du Nord-Pas-de-Calais. Serv. Hydr. Centralisateur Artois - Picardie. 6 p. 17 cartes

DALLEINE E. (1978) - Les façons en travail du sol. Tome III. Etudes du Cent. Nat. Et. Es. Mach. Agr., n° 445.

DALLEINE E. (1979) - Sous-solage et ameublissement des sols au dessus des labours d'après les profils obtenus. Etudes du Cent. Nat. Et. Es. Mach. Agr. n° 445, p. 53-63.

DALLEINE E. (1982) - Travail du sol et érosion pluviale en Pays de Caux maritime. Bull.d'information du Cent. Et. Mach. Agr. Gen. Rur. des Eaux et Forêts, n° 292, p. 25-33.

DALLEINE E. (1984) - Les griffages associés aux labours peuvent-ils remplacer les sous-solages légers ? Bull. d'information du Cent. Et. Mach. Agr. Gen. Rur. des Eaux et Forêts, n° 316, p.19-21

DARVES-BORNOZ R., USSELMANN P., KHOBZIJ (1966) - Etude fréquentielle des besoins en eau d'irrigation en France Métropolitaine. Fascicule III. Besoins par cycle végétatifs. Ministère de l'Agriculture. Service de l'Hydraulique. 319 p.

DEBRABANT P., CHAMLEY H., LEPLAT, NEUSY D. (1992) - Propriétés géotechniques et minéralogiques de l'Yprésien de Tourcoing. Soc. Géol. Nord, p. 119-128.

DEGAND D. (1984) - Aptitude des sols de Flandre intérieure à l'épandage souterrain. D.E.A. de géologie dynamique et pratique. Un. Sc. Techn. Lille , 48 p., 15 fig., 8 tab. 5 pl. 5 An.

DELAINE G. (1969) - Les Wateringues du Nord de la France, 329 p., Ed. Landais, Dunkerque, 329 p..

DE LAMMERVILLE J.M. (1969) - Contribution à l'étude hydrogéologique de la Plaine du Marquenterre. Thèse 3eme cycle, Paris, 84 p.

DELATTRE C., SCRIBAN R. (1960) - Carte géol. France (1/50 000). Feuille Béthune (18). Bur. Rech. Géol. Min.

DELATTRE Ch. (1967) - Carte géologique 1/50 000, XXIII-5, Lillers.

DELATTRE CH. DESTOMBES J.P. (1968) - Carte géologique 1/50 000, XXII-5, Fruges.

DELATTRE Ch., WATERLOT G., BEUGNIES A., BONTE A., HATRIVAL J.N. (1969) - Carte géologique 1/50 000, XXVIII-8, Hirson.

DELATTRE Ch., WATERLOT G., HATRIVAL J.N. (1970) - Carte géologique 1/50 000, XXVIII-7 Trélon.

DELATTRE Ch., MERIAUX E., WATERLOT M., MARLIERE R. (1973) - Région du Nord : Flandres, Artois, Boulonnais, Picardie, Bassin de Mons, Guides géologiques Régionaux, Paris, 176 p., 107 fig., 9 pl.

DEMOLON (1960) - Dynamique du sol. Cinquième éd., Dunod, Paris.

DEPARDIEU J., TONNERRE D. (1970) - Description et fonctionnement des Wateringues Françaises. Doc. S.H.C. Lille.

DEPRIESTER O. (1984) - Erosion des sols dans le Bassin Versant de l'Aa. Evaluation quantitative du phénomène et première détermination des causes. Mémoire de maitrise Un. Sc. Techn. Lille. M.S.T. Envar. 10 an. 40p.

DERANCOURT F. (1987) - Essais mis en place dans le cadre desprogrammes de lutte contre l'érosion des sols agricoles dans le Pas-de-Calais. Chambre d'Agriculture, Service Machinisme Agronomie, Programme Hydrosol, 40 essais, (1981-1986) 60 p.

DERANCOURT F. (1989) - Résultats des essais engrais verts 1989. Chambre d'Agriculture du Pas-de-Calais. Service Machinisme Agricole.26 p.

DERANCOURT F. (1990) - Communication personnelle sur les abaissements des charges à partir des nouvelles techniques de travaux des sols (inédit).

DESOIGNIES J. (1966) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Douai (XXV-6). Bur. Rech. Géol. Min.

DESOIGNIES J., MORTELMANS M., LEGRAND R. DELMER A. (1973) - Carte géologique France 1/50 000, feuille XXVI, St Amand-Crespin-Mons. Bur. Rech. Géol. Min.

DESOIGNIES J., THIBAUT P.M. (1968) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Saint-Omer (XXIII-4), Bur. Rech. Géol. Min.

DESTOMBES J.P., SOMME J (1974) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Montreuil. Bur. Rech. Géol. Min.

DEVILLERS J.L., FAVROT J.C., POUBELLE W. (1977 a) - Les études préalables au drainage. Un exemple: l'assainissement du Sud-Ouest du département de l'Eure. Bull. Techn. Inf, n°323, p. 521-535.

DEVILLERS J.L., FAVROT J.C., POUBELLE W. (1977 b) - Approche originale d'une opération d'assainissement-drainage à l'échelle d'une petite région naturelle. Communication pour Xème Congrès des Irrigat. et du Drainage. CIID, Athènes, 1978.

DEVILLERS J.L., GUYON G. (1979) - Les études préalables au drainage. La conception moderne des projets de drainage. C.R. Ac. Agric. p. 815-820.

DEWOLF Y. (1970) - Les argiles à silex: paléosols ou pédolithes, Bull. Ass. Fr. Et. Quat., p. 117-119.

DEWOLF Y. (1973) - A propos des argiles à silex. Essai de typologie, Travaux du Laboratoire de Géographie physique, n° 1, Paris, Université Paris VII, p. 1-44.

DON TRAN, MERVEILLE J.L. (1986) - Problème de pénétration des eaux saumâtres dans les voies d'eau intérieures. La zone des wateringues française. (Projet d'article pour la revue de l'Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation, 21 p.

DONVILLE B. (1979) - Essai de carte d'aptitude des sols à l'assainissement individuel. Tech. Scien. Municip. L'eau, 74 ème année, n° 5 p. 279-290.

DOUAY F. , MASSON F.X. (1980) - Erosion des terres agricoles du Nord-Pas-de-Calais, Un. Scien. Techn. Lille Laboratoire de Géologie dynamique et Serv. Reg. Am. Eaux Nord-Pas-de-Calais. Document Serv. Reg. Am. Eaux Nord-Pas-de-Calais. 43p. 2 Fig. 8 ann.

DUBOIS G. (1924) - Recherches sur les terrains quaternaires du Nord de la France, Thèse Sc Lille, 355 p., 41 fig., 6 pl. h.t.

DUBOIS G. et DUPARQUE A. (1922) - Les tufs calcaires de la plaine maritime entre Calais et Guines, Ann. Soc. Géol. Nord, XLVII, p. 117-132.

DUCHAUFOUR Ph. (1968) - L'évolution des sols. Essai sur la dynamique des profils. Ed. Masson, 91 p.

DUCHAUFOUR Ph. (1970) - Précis de pédologie. Ed. Masson. 481 p.

DUCHAUFOUR Ph. (1983) sous la direction de DUCHAUFOUR Ph. et SOUCHIER B. - Pédologie, t1, Pédogénèse et classification. Ed. Masson, 491 p.

DUCLOS G. (1985) - Les cartes départementales des terres agricoles, proposition d'une méthode pour la région provençales. Doc. Ass. Fr. Et. des Sols. 1985, n°3 p. 139-150.

DUCLOS G. (1989) - En Provence, trente ans de cartographie des sols et du milieu naturel. Ass. Fr. Et. des Sols. . , vol 27, n° 1 p. 29-32.

DUPUIS J. (1967) - Notice explicative de la carte pédologique de la France au millionnième. Inst. Nat. Rech. Agro.-Serv. Et. Sol. Carte Pedol. Bulletin n° 1, 1967 , 56 p.

DUROUSSEAU, MARISSAL (1969) - Etude statistique des intensités d'averses à Lille-Lesquin. Agence de Bassin Artois-Picardie. 4 p. 3 ann.

F.A.O. (1974) - Carte mondiale des sols, 1/5 000 000. Vol I: Légende F.A.O. - U.N.E.S.C.O., 62 p. Paris.

FAVROT J.C. (1979) - Conception, conduite et présentation des études pédologiques préalables au drainage; la notion de secteur de référence. Document Gr. Et. Probl. Pedol. Appl. et groupe Drainage. SES n°493, 12 p.

FAVROT J.C. (1980) - Méthode des secteurs de référence. Etude pédologique préalable au drainage. Choix et caractérisation des secteurs de référence. Géomètre, n°4, p. 56-58.

FAVROT J.C. (1981) - Pour une approche raisonnée du drainage agricole en France. La méthode des secteurs de référence. C.R. Acad. Agri. Fr., séance du 6 mai 1981, p. 716 à 723.

FAVROT J.C. (1984) - Pédologie et drainage agricole. Genèse, comportement, cartographie des sols engorgés. Interprétation en termes de drainage. Inst. Nat. Rech. Agro. Montpellier, Serv. Et. Sol, n° 573, 322 p.

FAVROT J.C. (1987) - Etudes et recommandations préalables au drainage: la méthode des secteurs de référence. Enseignements et prolongements de l'opération drainage, O.N.I.C - Ministère de l'Agriculture (1980-1985). C.R. Acad. Agric. Fr., 1987, 73, n° 4 P.23-32, Séance du 29 avril 1987.

FAVROT J.C. (1989) - Une stratégie d'inventaire cartographique à grande échelle, la méthode des secteurs de référence. Science du Sol. Doc. Ass. Fr. Et. des Sols, Vol 27 n°4, P. 351 - 368.

FAVROT J.C., BOUZIGUES R., CESTRE T., HERVE J.J., (1981) - Recommandations pour la réalisation des études de sols préalables au drainage dans le cadre des "secteurs de référence" et des projets à la parcelle. Bull.Inf. du Cent. Et. Mach. Agr. Gen. Rur. des Eaux et Forêts, n° 283-284 , Août 1981.

FAVROT J.C., LESAFFRE B. (1984) - Science du sol et drainage agricole. Ass. Fr. Et. des Sols, livre jubilaire du cinquantenaire, p. 309 à 320.

FAVROT J. C., LESAFFRE B. (1987) - Défauts de fonctionnement et réhabilitation de réseaux de drainage souterrain. Commission internationale des irrigations et du drainage, 13e congrés, Rabat, p. 993 à 1010.

FEDOROFF N. (1965) - Sur les paléosols quaternaires des climats tempérés, Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn., VII, p. 79-88.

FEDOROFF N. (1969) - Les pédogénèses quaternaires en France, Ecole Nat. Sup. Agr., Grignon, 20 p. dactyl.

FERRARI F. (1986 a) - Approche de la rentabilité du drainage des terres agricoles. Géomètres 129° année n°3 Mars 1986 p. 53-56.

FERRARI F. (1986 b) - Economie du drainage des terre agricoles Géomètres 129° année n° 3 Mars 1986 p. 57-61

FEVRIER D. (1985) - Etude de la variabilité des rendements en betteraves sucrières dans le Sud de l'Artois. Document Chambre d'Agriculture du Pas-de-Calais. 99 p. , 63 fig.

FOURASTIE J. (1979) - Les Trentes Glorieuses ou la révolution invisible, de 1946 à 1975. Ed. Fayard, Paris, 299 p., ill. graph.

FOURNIER B. (1989) - Une méthode cartographique adaptée à une certaine problématique d'aménagement, la cartographie emboitée. Doc. Ass. Fr. Et. des Sols., vol 27, n° 1 p. 105-108.

FOURRIER H. (1979) - Etude de la salinité des eaux de drainage dans les Wateringues du Nord et du Pas-de-Calais. D.E.A., Un. Sc. Techn. Lille, 44 p.

FOURRIER H. (1985) - Reconnaissance des dépôts tertiaires et quaternaires des buttes de Oisy-le-Verger et du Bois du Quesnoy. Ann. Soc. Géol. Nord , t.CV, 1er tr. p. 27-36

FOURRIER H. (1989) - La Plaine de la Scarpe et ses bordures (Nord de la France). Analyse séquentielles des formations superficielles. Aspects sur les sols. Thèse Un. Sc. Techn. Lille, 304 p., 95 fig, 5 tab, 3 annexes.

FOURRIER H., MASSON F.-X., MISTIAEN B. (1981) - Etude pédologique , Plaine de la Scarpe, Région de Marchiennes, Serv. Reg. Am. Eaux, Inst. Sup. Agri., 16 p., 6 ann.

FOURRIER H., MASSON F.X. (1982) - Reconnaissance des dépôts sédimentaires, matériaux originels des sols de la région de Marchiennes (Plaine de la Scarpe), Ann. Soc. Géol. Nord.- TC II p. 41 - 47.

FOURRIER H., MASSON F.X. (1984) - Etude de l'influence du drainage sur les remontées d'eau salée dans la Wateringue de la Moëre française. Doc. Serv. Reg. Am. Eaux Nord-Pas-de-Calais, Inst. Sup. Agri. de Lille.

FOURRIER H., GREZSIEK D., MASSON F.X. (1984) - Etude pédologique dans le périmètre de la Wateringue de la Moëre française. Doc. Dir. Dép. Agric. du Nord, Serv. Reg. Am. Eaux Nord-Pas-de-Calais, Inst. Sup. Agri. de Lille, 8 p., 4 an., 2 cartes.

FRAIX J. (1988) - Manuel d'évaluation des projets industriels De Boeck University, Bruxelles, 648 p.

FRITSCH E., BOCQUIER G., BOULET R., DOSSO M., HUMBEL F.X. (1986) - Les systèmes transformants d'une couverture ferralitique de Guyane française. Analyse structurale d'une formation supergène et mode de représentation, Cahiers Off. Rech. Scient. Techn. Outre Mer, Pédologie, Vol XXI, n° 4 , p. 361 - 395.

FROMENT P. (1947) - Les marais tourbeux de la Vallée de la Sensée, le gisement du grand marais à tourbe d'Arleux (Nord). An. Soc. Géol. Nord, LXVII, p. 33-42.

GAMBLIN A. (1959) - Le contact Cambrésis - Thiérache , Revue du Nord, tome XLI, P. 33 - 48

GAUCHER G. (1968) - Traité de pédologie agricole. Le sol et ses caractéristiques agronomiques. Ed. Dunod, Paris. Collection agronomie moderne, 578 p.

GILLERON D., BLEARD G., MASSON F.X., BILLIONNET J.M., DOUAY f., SOMME j. FOURRIER H., KOZSAREK E., GREZIEK D.,DAGAND D., VERRIEZ J.J. (1985) - Carte Départementale des Terres Agricoles, Cassel. Comp. Fr. Et.Topogr. - Serv. Rég. Am. Eaux - Inst. Sup. Agri. - Un. Sc. Techn. Lille, 1 carte, 1 notice

GIRARD M.C. (1977) - L'horizon mis à l'épreuve statistique. Doc. Ass. Fr. Et. des Sols. Science du sol n° 4, P 2119-230.

GIRARD M.C. (1982) - Qu'est-ce que les pédologues demandent au traitement informatique de données. I.N.A.P.G., département des sols, Revue SOLS n° 12.

GODEFROY P., LEPLAT J. (1989) - Evaluation de l'aléa sismique dans le cadre d'études des dangers d'installations industrielles à haut risque de la Région Nord-Pas-de-Calais, Ass. Soc. Géol. Nord., t CIX, 1er Tr. p. 25-32.

GOSSELET J. (1873) - Considérations historiques relatives aux tourbières des environs de Calais, Ann. Soc. Géol. Nord., I, p. 21.

GOSSELET J. (1874 a) - L'étage éocène inférieur dans le Nord de la France et en Belgique, Bull. Soc .Géol. de France., II, 3è S., p. 598-617.

GOSSELET J. (1874 b) - Terrains tertiaires inférieurs dans le bassin des Flandres, Ann. Soc. Géol. Nord., I, p. 64-66.

GOSSELET J., RIGAUX H. (1878) - Mouvements du sol de la Flandre depuis les temps géologiques, Ann. Soc. Géol. Nord., V, p. 218-226.

GOSSELET J. (1878) - Mouvements du sol de la Flandre depuis les temps géologiques, Ann. Soc. Géol. Nord., V, p. 68-72.

GOSSELET J. (1882) - Sur l'état de la question du Diestien dans les collines de Bailleul, Ann. Soc. Géol. Nord., p. 190 et 210.

GOSSELET J. (1883 a) - Esquisse géologique du Nord de la France et des contrées voisines, 3è fasc. : terrains tertiaires, Lille, 63 p.

GOSSELET J. (1883 b) - Sur les collines de Cassel, Ann. Soc. Géol. Nord., X, p. 207-213.

GOSSELET J. (1892) - Les collines de l'Artois, Compte rendu du 13 ème Congrès National des Sociétés de Géographie, 1-7 avril 1892, p. 100 - 107.

GOSSELET J. (1893 a) - Géographie physique du Nord de la France: Plaine Maritime, Ann. Soc. Géol. Nord, t. XXI, P. 119 - 137

GOSSELET J. (1893 b) - Géographie physique du Nord de la France: La Flandre, Ann. Soc. Géol. Nord,t.XXI p. 176-197.

GOSSELET J. (1894 a) - Géographie physique du Nord de la France : La Plaine de la Lys, Weppes, Ferrain, Ann. Soc. Géol. Nord, t. XXII, p. 38 - 53

GOSSELET J. (1894 b) - Tranchée du canal de la Bourre près de Merville, Ann. Soc. Géol. Nord., XXII, p. 163-164.

GOSSELET J. (1895) - Géographie physique du Nord de la France : Mélantois, Pévèle, Tournaisis, Ann. Soc. Géol. Nord, t. XXIII p. 88 - 103

GOSSELET J. (1897) - Géographie physique du Nord de la France : Ostrevent , Ann. Soc. Géol. Nord, t. XXVI p. 243 - 262.

GOSSELET J. (1898) - Géographie physique du Nord de la France : Cambrésis, Vermandois, Ann. Soc. Géol. Nord, t. XXVII p. 197 - 212

GOSSELET J. (1900) - Géographie physique du Nord de la France : Plaine d'Arras, Gohelle , Ann. Soc. Géol. Nord, t. XXIX p. 200 - 213.

GOSSELET J. (1903) - Esquisse géologique du Nord de la France et des contrées voisines, 4è fsc.: terrains quaternaires, Lille, 78 p.

GOSSELET J. (1906) - Observations sur les creuses de l'Artois et de la Picardie et réflexions sur l'importance de la dissolution souterraine de la craie, Ann. Soc. Géol. Nord., XXXV, p. 237-243.

GOSSELET J., DOLLE, PRUVOST P. (1910) - Le Diestien dans le pays de Licques, Ann. Soc. Géol. Nord XXXIX, p. 166-171.

GOSSELET J. (1920 a) - Le diluvium des hauteurs dans la Flandre et sur les parties voisines de l'Artois (mém. posthume), Ann. Soc. Géol. Nord., XLV, p. 35-54.

GOSSELET J. (1920 b) - La Plaine de la Lys (mém. posthume), Ann. Soc. Géol. Nord., XLV, p. 146-166.

GRIL J.J., LAVABRE J. (1987) - Maitrise du ruissellement et de l'érosion aux U.S.A. Rapport de mission 13 - 25 sept. 1987. Doc. Cent. Et. Mach. Agr. Gen. Rur. des Eaux et Forêts, 2 p. dont 1 An.

GUYON G. (1972 a) - Recherche de l'écartement optimal des drains et importance relative des facteurs en jeu Bull. Techn. Inf 273-274, Ministère de l'Agriculture.

GUYON G. (1972 b) - Drainage et rentabilité - Bull. Techn. Inf 273-274 Ministère de l'Agriculture.

GUYON G. (1972 c) - Les formules de l'Hydraulique des nappes rabattues par tranchées drainantes. Bull. Techn. Inf n° 271-272, p. 859-865.

GUYON G. (1975) - Le drainage agricole. Essai de synthèse en 1974. Bull. Techn. Gén. Rur., n° 117, 71 p.

GUYON G. (1980) - Le drainage agricole. Essai de synthèse en 1980. Bull. Techn. Gén. Rur. n° 126 , 114 p.

GUYON G. DUNGLAS L. (1972) - Le drainage par canalisations enterrées. Bull. Techn. Inf, n° 271-272, p. 839-858.

GUYON G., WOLSACK J. (1981) - Détermination de paramètres hydrodynamiques sur le terrain. Bull. Techn. Gén. Rur. n° 126.

GUYOT Ph., BORNAND M. (1987) - Cartes départementales des terres agricoles. Intégration des données sols et des données économiques. Ass. Fr. Et. des Sols., vol. 25, n° 1, p. 1-16.

HEBERT J. (1982) - Estimation de la valeur d'un fonds au moment de la fixation du bail. Bull. Techn. Inform., n° 370-372, p. 489-492.

HENIN S. (1950 a) - L'érosion et son importance. Bull. Techn. Inf, 50-1950, p. 429-430.

HENIN S. (1950 b) - Le mécanisme de l'érosion par l'eau . Bull. Techn. Inf, 50-1950, p. 435-459.

HENIN S. (1981) - Le cycle de l'azote, les problèmes de fertilisation et de pollution. Académie d'Agriculture de France , Tome 67 n° 10. Séance du 20 mai 1981, p. 840 - 858.

HENIN S., GOBILLOT Th.(1950) - L'érosion en France,Bull. Techn. Inf, 50-1950, p. 431-434.

HENIN S., GRAS R., MONNIER G. (1969) - Le profil cultural, l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Ed. Masson, 333 p.

HERVE J.J. (1982) - Les principales conclusions du groupe de travail drainage du Ministère de l'Agriculture. Géomètres 125° année n° 10 Octobre 1982 p. 31 - 45

HERVE J.J. (1986) - Perpectives économiques de la maîtrise de l'eau. Géomètres 129° année n°3 Mars 1986 p. 62-64

HERVE J.J. (1989) - Inventaire des sols. Première étape pour leur gestion et leur conservation. Science du Sol -Doc. Ass. Fr. Et. des Sols., vol 27 n° 4 p. 273-286.

JAMAGNE M. (1969) - Données sur l'évolution pédogénétiique des formations limoneuses en Europe occidentale, Mém. h. sér. Soc. géol. France., 5, p. 37-52, 2 fig.

JAMAGNE M. (1971) - Sols et paléosols sur loess dans le Nord de la France, in Etudes sur le Quaternaire dans le Monde, VIIIè Congrès INQUA, vol. 1, p. 359-372, 7 fig.

JAMAGNE M. (1972) - Quelques caractéristiques fondamentanles des paléosols sur loess du Nord de la France, Pédologie, Gand, XXII, p. 198-221, 1 fig., 3 tabl., 4 ph.

JAMAGNE M., MAUCORPS J., HEBERT J., BLIET L., BOUTTEMY R., RIVIERE J.M., MATHIEU C. (1967) - Bases et techniques d'une cartographie des sols . Ann. Agron. PARIS, 18, n° h.s.: 1-142, 31 fig., 8 tabl.

JAMAGNE M., MATHIEU C. (1971) - Contribution à l'étude de la stratigraphie des loess dans le N.E. du Bassin de Paris, Bull .Ass. Fr. Et. du Quaternaire, 29, p. 209-233, 7 fig., 2 tabl., 2 ph.

JAMAGNE M., LAUTRIDOU J.P., SOMME J. (1981) - Préliminaires à une synthèse sur les variations sédimentologiques des loess de la France du Nord-Ouest dans leur cadre stratigraphique et paléogéographique, Bull. Soc. Géol. Fr. (7), 23, 2, p. 143 - 147.

JAMAGNE M., BORNAND M., HARDY R. (1989) - La cartographie des sols en France à moyenne échelle. Programmes en cours et évolution des démarches. Science du Sol. Doc. Ass. Fr. Et. des Sols., vol 27 n°4 p. 301-318.

JOURNAUX A., COUTARD J.-P., HELLUIN M., PELLERIN J. (1971) - Carte des formations superficielles, 1/50 000. XVI-12. Caen.

KETELS D. (1984) - Etude des sols argileux de Blaringhem, Meteren et Hinges. D.E.A. de géologie dynamique et pratique. Un. Sc. Techn. Lille, 52 p., 28 fig, 7 tab, 6 ann.

KOSZAREK E. (1981) - Pédologie et humidité des sols. Plaine de la Scarpe. D.E.A. Un. Sc. Techn. Lille, Laboratoire de géologie dynamique, 25 p., 8 ann.

KOSZAREK E., DOUAY F., MASSON F.X. (1985) - Etude pédologique, projet n°121 de Nortkerque et Zutkerque. Doc. A.S.A.D. de Ste Marie-Kerque, Serv. Reg. Am. Eaux Nord-Pas-de-Calais, Ihst. Sup. Agri. de Lille, 10 p., 2 cartes, 1 coupe.

KOSUTH P. (1985) - Vocabulaire de l'hydraulique du drainage agricole . Cent. Et. Mach. Agr. Gen. Rur. des Eaux et Forêts, Etude n° 524, 39 p.

LADRIERE J. (1888) - L'ancien lit de la Scarpe, Ann. Soc. Géol. Nord, XV, p. 217-238.

LADRIERE J. (1890) - Etude stratigraphique du terrain quaternaire du Nord de la France. Ann. Soc. Géol. Nord, XVIII, p. 93 - 149 , 205 - 276.

LAGACHERIE Ph., FAVROT J.C. (1989) - La Valorisation de l'information pédologique: l'exemple des secteurs de réfrence drainage.Doc. Ass. Fr. Et. des Sols., vol 27, n° 1, p. 109-112.

LAMOUROUX M., BELLER G., HUMBEL F.X., RAJOT J.L. (1989) - De l'analyse à la cartographie des structures pédologiques: une première étape en forêt d'Hermenonville. Doc. Ass. Fr. Et. des Sols., vol. 27, n° 1, p. 49-52.

LAPORTE G., MASSON F.X. (1974) - Méthodologie de la prospection pédologique des terrains quaternaires. Document Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais. 55 p.

LAPORTE G. (1975) - Notes du cours de pédologie, Un. Sc. Techn. Lille (inédit).

LAUTRIDOU J.P. (1985) - Le cycle périglaciaire pléistocène en Europe du Nord-Ouest et plus particulièrement en Normandie. Thèse Centre de Géomorphologie. Edit. Caen, 909 p.

LAUTRIDOU J.P. , SOMME J., HEIM J. MAUCORPS J. PUISSEGUR J.J., ROUSSEAU D.D., THEVENIN A., VAN VLIET-LANOE B. (1986) - Corrélation entre sédiments quaternaires continentaux (littoraux et profonds) dans la domaine France septentrionale - Manche. Revue de Géol. Dyn. et de géog. phys., vol. 27, fasc. 2, p. 105-112, Paris.

LEBBE L.C. (1983) - Mathematical model of the evolution of the fresh water lens under the dunes and beach with semi-diurnal tides. Estratto da geologica applicata e idrogeologia, Bari, 1983, Vol. XVIII, Parte II.

LEBBE L., WALRAEVENS K.,VAN BURM P.,DE BREUCK W., (1989) - Hydrogéologie de la nappe phréatique de la plaine maritime aux environs de la frontière belgo-française. Colloque Géologie et Aménagement régional, Lille, Résumés P. 63.

LEFEVRE P. (1958) - Quelques phénomènes d'érosion en Picardie. Annales Agronomiques, I, 1958, p. 91-129.

LEFEVRE P. (1980) - Restauration rapide par le gypse des sols agricoles poldériens, inondés par la mer. C.R. Acad. Agr., p. 733-745

LEGROS J.P. (1978) - Recherche et contrôle numérique de la précision en cartographie pédologique. Ann. Agro. 29 (5), p. 499-519.

LEMOINE - HONORE A. (1983) - Erosion des terres agricoles du Haut Versant de la Sensée. D.E.A. de géologie dynamique. Un. Sc. Techn. Lille, 42 p. 14 fig. 6 tab.. 7 photo, 3 ann., 2 diag.

LEPLAT J., SOMME J., COLBEAUX J.P., PAEPE R. (1984) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Hazebrouck (13) Bur. Rech. Géol. Min.

LEPLAT J., SOMME J. (1989 a) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Calais (2). Orléans. Bur. Rech. Géol. Min.

LEPLAT J., SOMME J., BAETEMAN C. PAEPE R. (1989 b) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Dunkerque - Hondschoote (3). Orléans Bur. Rech. Géol. Min.

LESAFFRE B. (1981) - Les études pédologiques préalables au drainage agricole. Bull. Inf. Cent. Et. Mach. Agr. Gen. Rur. des Eaux et Forêts, n° 283-284, p.39-56.

LESAFFRE B., HERVE J.J.(1982) - Le drainage agricole: principes de fonctionnement, Bull. Inf. du Cent. Et. Mach. Agr. Gen. Rur. des Eaux et Forêts, n° 293 Juin 1982.

LOZET J., MATHIEU C. (1986) - Dictionnaire de Science du Sol. Technique et Documentation Lavoisier. 247 p.

MANIA J., MEENS V. (1980) - Etude de l'interface eau douce/eau salée dans la plaine côtière des Wateringues du Nord et du Pas-de-Calais (Flandre Maritime). Incidence du drainage. Rapport inédit Lille, 64 p.

MANIA J., MEENS V. (1984) - L'interface eau douce/eau salée en Flandres françaises. Bull. Soc. Géol. de France (7), XXVI, p.1281-1291.

MANICHON H. (1982 a) - Influence des systèmes de culture sur le profil cultural: élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique. Thèse de Docteur-Ingénieur, Inst. Nat. Agro. Paris-Grigon, 210 p.

MANICHON H. (1982 b) - L'action des outils sur le sol : appréciation de leurs effets par la méthode du profil cultural. Bulletin Ass. Fr. Et. des Sols., Science du Sol, n°3, p. 203-220

MARGERIN J., AUSSET G. (1979) - Choix des investissements. Présélection - choix - contrôle. Edition SE DI FOR 171 p.

MARIN - LA FLECHE A., SOLAU J.L. (1982) - Analyse critique des méthodes d'évaluation et de classement des terrains: point de vue de l'agronome au travers d'un inventaire des sols à grande échelle. Bull. Techn. Inform., n° 370-372, p. 527-537.

MASSON F.-X. (1975) - Etude pédologique du périmètre de Meteren, Doc. Serv. Rég. Amen. Eaux, Nord-Pas-de-Calais, Un. Syn. Assain. Nord, 5 p., 1 carte, 2 an.

MASSON F.X. (1976) - Cartographie des sols des 4 èmes et 5 èmes sections des Wateringues du Pas-de-Calais. D.E.A. Un. Sc. Techn. Lille , 101 p., 11 fig., 33 an.

MASSON F.-X. (1978) - Salinité des eaux de drainage. Résultats de la campagne d'analyses de juillet 1977 à juin 1978. Doc. Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais, 5 p., 4 an.

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 3ème cycle, Un. Sc. Techn. Lille, 124 p., 19 fig., 42 an.

MASSON F.X. (1980 a) - Repérage de zones atteintes par l'érosion à l'aide de photographies aériennes. Document Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais, 2 p. 3 cartes.

MASSON F.X. (1980 b) - Etude des sols de la vallée de la Haute Lys en vue de leur drainage. Doc. Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais.

MASSON F.X. (1981 a) - Etude pédologique des terres agricoles de la Z.E.P. de Locquignol - Hachette. Document Serv. Reg. Am. Eaux, 3 p. 1 carte.

MASSON F.-X. (1981 b) - Etude pédologique de le Plaine de la Slack. Document Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais, 5 p. 3 cartes.

MASSON F.X. (1984) - Organisation concrète d'une lutte anti-érosion Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais, 55 ème S.I.M.A. (Club des techniciens) 5 p.

MASSON F.X. (1987) - L'érosion des terres agricoles de la Région Nord-Pas-de-Calais. Hommes et Terres du Nord, 1987 - 3 p. 139-145

MASSON F.X. , PELLETIER J.L. (1979) - Etude de l'érosion des terres agricoles dans le Val de Canche. Mesures qualitatives et quantitatives permettant d'apprécier les causes et les conséquences du ruissellement. Serv. Reg. Am. Eaux Nord-Pas-de-Calais, Document Com. Aménag. Rur. Canche-Authie, 35 p. 10 an.

MASSON F.X., TURCK D. (1981) - Etude pédologique. Epandage souterrain dans le Département du Nord. Serv. Rég. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais. Un. Sc. Techn. Lille Laboratoire de Géologie Dynamique, 13 p., 5 an., 2 cartes.

MASSON F.X., PELLETIER J.L., VERDEVOYE P. (1982) - Etude qualitative des eaux de la Sensée. Serv. Reg. Am. Eaux Nord-Pas-de-Calais. Syndicat intercommunal de la région d'Arleux. 103 p. 16 an.

MASSON F.X., PELLETIER J.L. (1984) - L'érosion des terres agricoles dans le Nord-Pas-de-Calais (France). Exemple du Val de Canche , janvier 1984, Document Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais, 18 p.

MASSON F.X., DOUAY F., (1984) - Commune de Ledringhem. Carte communale d'aptitude à l'épandage souterrain en vue de l'assainissement collectif ou individuel. Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais, Inst. Sup. Agri. de Lille, 8 p., 1 carte.

MASSON F.X, FOURRIER H., BILLIONNET J.M. (1987) - Etudes préliminaires en vue du drainage des terres agricoles de la Somme. Secteur de référence du Marquenterre. Serv. Reg. Am. Eaux Nord-Pas-de-Calais. - Inst. Sup. Agri. de Lille. l'Agriculture, 173 p. 21 fig., 15 tabl., 2 an., 1 carte.

MASSON F.X., PARENT P. (1988) - Schéma hydraulique minimal du Bassin de la Sensée. Document réalisé par le Service Régional de l'Aménagement des Eaux , Région Nord-Pas-de-Calais. 1 carte 1/100 000. Notice. Opération Hydro-sol, 2 p., 1 carte.

MASSON F.X., DOUAY F. (1989) - Inventaire préliminaire des drainages défectueux réalisés avec une technologie ancienne dans les Wateringues du Nord. Doc. Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais, Inst. Sup. Agri. de Lille, 42 p., 2 an., 3 cartes.

MASSON F.X., KOSZAREK E., FOURRIER H., PETIT J.T. (1990) - Reconnaissance des sols en vue de l'établissement d'une carte d'aptitude à l'épandage souterrain. Commune de Taisnières-sur-Hon. Doc. Cent. Et. Techn. Equip., Laboratoire rég. de Saint Quentin, Serv. Reg. Am. Eaux Nord-Pas-de-Calais, Inst. Sup. Agri. de Lille.

MATHIEU C. (1971) - Contribution à l'étude des formations argileuses à silex de Thiérache (France), Pédologie, XXI, p. 5-94, 11 fig., 14 ph., 7 tabl.

MATHIEU C. et DE CONINCK F. (1972) - Caractérisations physico-chimiques et sédimentologiques des craies turoniennes et coniaciennes de Thiérache et du marlois (Nord-Est du bassin de Paris Bull. Inf. Ass. Géol. Bass. Paris, 34, p. 3-14, 6 fig., 6 tab..

MAUCORPS J. JAMAGNE M., BOUTTEMY R., MATHIEU C. (1967) - Observations sur les formations à silex dans le département de l'Aisne, Mém. h. sér. Soc. Géol. Fr., n° 4, p. 51-59, 4 fig., 1 pl.

MAUCORPS J., SARRAZIN, LELAY, RENAUX, GAILLARD, LINDOR, (1991) - Evaluation de la sensibilté à l'érosion hydrique des terres agricoles de la Région Nord-Pas-de-Calais. Annexe: Profils pédologiques. Inst. Nat. Rech. Agro. - Serv. Et. Sols Cart. Pédol. Fr., Antenne de Laon.

MEENS V. (1980) - Etude de l'influence du drainage sur la stabilité d'un interface eau douce/eau salée à l'aide d'un modèle mathématique (application à la Flandre) D.E.A. Un. Sc. Tech. Lille, 54 p.

MERCIER E., BACROT S. (1988) - Note préliminaire sur les anomalies de l'interface eau douce / eau salée dans les plaines maritimes flamande et picarde. Ann. Soc. Géol. Nord., t. CVIII, 4ème tr., p. 205-210.

MERCIER E., BOUQUILLON A., BACROT S. (1989) - La sédimentation dans deux étangs de la Vallée de la Sensée. Ann. Soc. Géol. Nord., t.CIX, 1er tr. , p. 25-31

MICHEL C. avec la collaboration de GRIL J.J., CANLER J.P., MASSON F.X., THOMAS A., BRAVARD J.P. (1983) - Côtière des Dombes. Hydrologie, hydraulique et aspects économiques. Travaux à entreprendre. Cent. Et. Mach. Agr. Gen. Rur. des Eaux et Forêts, Dép. Ress. en Eau. 196 p., 12 an.

MONTAIGNE M. (1972) - La Plaine Maritime Picarde et sa bordure dans le région de la Canche. Cahiers de géographie physique n° 1. Institut de Géographie, Un. Scien. Techn. Lille p. 65-74.

MOSIO V. (1990) - Etude préliminaire à l'assainissement de l'agglomération de Marquise-Rinxent. Agence de l'eau Nord - Picardie. 57 p

NUNES-VAIS P., LEGRIS B., REY J. (1989) - Classification révisée des exploitations agricoles (OTEX-CDEX "82") Collection de Statistiques agricoles, n° 282, Ministère de l'Agriculture.

ODIN G.S., Blondeau A., DAMOTTE R. DURAND S., LE CALVEZ Y., LEZAUD L. OLLIVIER-PIERRE M.F., PERREAU M et POMEROL Ch. (1972) - Etude géologique du sondage de Cassel (Nord), Bull. Inf. Ass. Géol. Bass. Paris, 32, p. 21-52, 3 fig., 7 tabl., 5 pl.

O.T.A.M. (1972) - Les Wateringues du Nord et du Pas-de-Calais. Incidences de l'assainissement sur les exploitations de la région. Omnium Tech. Aménag., Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais, 67 p. 2 an..

O.T.A.M. (1973) - Les Wateringues du Nord et du Pas-de-Calais. Données sur le drainage. Omnium Tech. Aménag., Doc. Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais.

PAEPE R. (1960) - La Plaine Maritime entre Dunkerque et la Frontière belge, Bull. Soc. Belge de géogr., Bruxelles, XXIX , p. 47 - 66.

PAEPE R. (1964) - Les dépôts quaternaires de la Plaine de la Lys, Bull. Soc. Bel. Géol., LXXIII, P. 327-365, 14 fig., 4 tab.

PAEPE R. (1968 a) - Les sols fossiles pléistocènes de la Belgique, Pédologie, Gand, XVIII, p. 176-188, 1 tabl.

PAEPE R. (1968 b) - Quaternary paleosols of the Lys valley (northern France), in Loess and related eolian deposits of the world, vol. XII, Proceedings VII Th Congress INQUA, Nebraska, p. 247-259.

PAEPE R. (1969) - Les unités litho-stratigraphiques du Pléistocène supérieur de la Belgique, in La stratigraphie des loess d'Europe, suppl. bull. Ass. Fr. Et. Quat., Paris, p. 45-51, 6 fig.

PAEPE R., SOMME J. (1970) - Les loess et la stratigraphie du Pléistocène récent dans le Nord de la France et en Belgique, Ann. Soc. Géol. Nord., Rapport Trav. Centenaire, XC, p. 191-201, 3 fig.

PEDRO G. (1982) - Pédologie et richesse chimique du milieu. Bull. Techn. Inform., n° 370-372, p. 547-553.

PEDRO G. (1989) - L'approche spatiale en pédologie. Fondement de la connaissance des sols dans le milieu naturel. Réflexions liminaires. Science du sol, Doc. Ass. Fr. Et. des Sols., Vol 27, n° 4 p. 319 - 334.

PELLETIER J.L. (1981) - Les inondations de la Basse Plaine de la Slack (6 ème section des Wateringues du Pas-de-Calais). Document Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais. 10 p. 9 graph.

PINCHEMEL Ph. (1953) - Introduction morphologique à la géographie de Boulonnais et du Weald. Revue du Nord, Lille, XXXV, p. 29 - 45.

PINCHEMEL Ph. (1954) - Les plaines de craie du Nord-Ouest du Bassin Parisien et du Sud Est du Bassin de Londres et leurs bordures, Paris, 502 p., 49 fig., 22 pl.

PINCHEMEL Ph. (1956) - Observations sur l'Argile à silex et le Diluvium de l'Artois. A propos de la communication de A. Bonte. Ann. Soc. Géol. Nord., LXXVI, p. 9-13.

PLATEAU J. (1985) - Historique des Wateringues. Direction Régionale de la Navigation.

POIREE et OLLIER, (1965) - Assainissement agricole. Eyrolles, Paris.

POMEROL Ch. (1965) - Réflexions sur l'argile à silex du bassin de Paris, C.R.Som. Soc. Géol. Fr., 4, p. 148-149.

POTIER A. (1879a) - Lettre à M. Gosselet au sujet de l'argile à silex, Ann. Soc. Géol. Nord., VII, p. 53-67.

PREAUX C., CAULIER P., DOUAY F., BILLIONNET J.M., MASSON F.X., PELLETIER J.L., SOIGNET G., (1985) - Champ captant d'Airon-Saint-Vaast. Etude des moyens destinés à réduire la teneur en nitrate des eaux souterraines prélevées. Bur. Rech. Géol. Min., Serv. Reg. Am. Eaux, - Inst. Sup. Agri. - Inst. Nat. Rech. Agro.: Trois rapports: I, 61 p., 12 an., 1 carte, II, 71 p., 1 an, 9 fig., III, 7 p.; et un rapport de synthèse, 9 p.

PREVITALI F., RASIO R. (1989) - La cartographie et les études des sols en Lombardie (Italie du Nord). Ass. Fr. Et. des Sols., vol 27 n° 1 p. 5-8

RAFIRINGA A. (1983) - Recherche des causes des différences d'écoulement entre deux bassins versants contigus et semblables (Bassin de Puiseaux à Saint Hilaire et de Vernisson à Nogent , 45) : Aspects hydrogéologiques et agro-pédologiques. Thèse de 3 ème cycle, géologie appliquée (hydrogéologie). Université d'Orléans, 177 p. 56 fig., XXI tab., 4 cartes h.t.).

ROOSE E., ASSELINE J. (1978) - Mesure des phénomènes d'érosion sous pluies simulées aux cases d'érosion d'Apiodoumé. Cahiers Off. Rech. Scient. Techn. Outre Mer, série pédologique, vol. XVI, n°1, 1978.

ROOSE E. (1980) - Dynamique actuelle des sols ferralitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des tranferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétation naturelle ou cultivée. Thèse d'Etat. Université d'Orléans, U.E.R. des Sciences fondamentales et appliquées, 587 p.

ROOSE E.J., MASSON F.X. (1983) - Consequences of heavy mechanization and new rotation on runoff and on loessial soil degradation in northen France. Proceeding of the ISCO 3 HONOLULU Hawaï. January 16 - 22 , 1983 , p. 24 - 33.

R.P. (1990) - Présentation du référentiel Pédologique. Congrès international de Science du Sol. Kyoto, Août 1990. Inst. Nat. Rech. Agro., Doc. Ass. Fr. Et. Sols.

R.P.F. 1987 - Référentiel pédologique Français, 1ère proposition. Doc. Ass. Fr. Et. Sols, 130 p.

R.P.F. 1988 - Référentiel pédologique Français, 2ème proposition. Doc. Ass. Fr. Et. Sols, 251 p.

R.P.F. 1990 - Référentiel pédologique Français, 3ème proposition. Doc. Ass. Fr. Et. Sols, 279 p.

RUELLAN A. (1983) - Morphologie et fonctionnement des sols: Quelques réflexions pour l'avenir de la pédologie. Cahiers Off. Rech. Scient. Techn. Outre Mer, Pédologie, Vol XX, n° 4 , p. 265 - 270.

RUELLAN A., QUIEROZ NETTO J.P., PELLERIN J. (1985) - Analyse structurale de la couverture pédologique : une expérience d'enseignement et de recherche au Brésil. Cahiers Off. Rech. Scient. Techn. Outre Merpédologie, Vol XXI , n° 4 , p. 253 - 256.

RUELLAN A., DOSSO M., FRITSCH (1989) - L'analyse structurale de la couverture pédologique, Science du sol, Ass. Fr. Et. des Sols., Vol 27, n° 4 , p. 319 - 334.

SCHVARTZ C. (1983) - Expérimentation Fertilisation choux-fleurs Doc. Inst. Sup. Agri. de Lille-Cent. Et. Dép. Rech. expérim.-Espace Nat. Rég. (inédit), 3 p. 2 an..

SEBILLOTTE M. (1978) - Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique. Acad. Agri. Fr., Séance du 14 juin 1978, p. 906-914.

SERVANT J.(1971) - Etude pédologique dans la 7 ème section des Wateringues du Pas-de-Calais. Secteur de Clairmarais - Schoubrouck. Inst. Nat. Rech. Agro. Montpellier, Serv. Et. Sols n° 147, 14 p., 1 carte h.t.

SERVANT J. (1973) - Les sols des wateringues du Nord-Pas-de-Calais. Inst. Nat. Rech. Agro. Montpellier, Serv. Et. Sols 93 p. 1 carte 1/80 000, 95 p., 6 fig., 15 ph., 1 carte h.t.

SERVANT J., DUPUIS M. (1971) - Etude pédologique de la 1 ère section des Wateringues du Pas-de-Calais - Ste-Marie-Kerque - Ruminghem. Inst. Nat. Rech. Agro. Montpellier, n° 144, 47 p., 41 tabl., 2 cartes h.t..

SERVANT J. avec la collaboration de B. NAERT (1972 a) - Etude pédologique dans la 4 ème section du Nord et le Moëres. Secteur de Dunkerque - Bergues - Hondschoote - Ghyvelde. Inst. Nat. Rech. Agro. Montpellier, Serv. Et. Sols n° 166, 2 vol. 86 et 110 p., 2 cartes h.t.

SERVANT J., BARTHES J.P. (1972 b) - Etudes pédologique dans les Wateringues. 1ère, 2ème et 5ème Sections du Pas-de-Calais, 1ère et 2ème Sections du Nord. Secteur Guines - Ardres-Audruicq - Bourbourg. Inst. Nat. Rech. Agro. Montpellier, Serv. Et. Sols n° 165, 2 vol., 96 et 108 p., 2 cartes h.t..

SERVANT J. , BARTHES J.P. (1973 a) - Etudes pédologique dans les Wateringues. 2ème et 3ème sections du Nord. Secteurs de Watten - Bourbourg - Bergues. Inst. Nat. Rech. Agro. Montpellier, Serv. Et. Sols, n° 194, 2 vol., 71 et 135 p., 2 cartes h.t.

SERVANT J. , BARTHES J.P. (1973 b) - Etudes pédologique dans les Wateringues. 7ème Section du Pas-de-Calais. Secteur de Watten - Saint-Omer. Inst. Nat. Rech. Agro., Montpellier, Serv. Et. Sols n° 195.

S.H.C. (1969) - Etude par prospection électrique. Zone du canal littoral et des Wateringues entre Calais et Gravelines, Doc. Serv. Hydr. Centralisateur 29 p., 2 pl., 6 fig.

SO.GRE.A.H. (1970) - Etude des ressources en eau des Wateringues. SOc. GREnobloise Aménag. Hydr., R. 10 400, Grenoble. 41 p., 5 pl.

SOMME J. (1965 a) - Les altitudes des Monts de Flandres, Hommes et Terres du Nord. 1, p. 78-80, 2 fig.

SOMME J. (1965 b) - Irrégularités de profil des talwegs en FLandre, Comm. Orale Congrès Ass. Frse Av Sciences, Lille. (inédit)

SOMME J. (1966) - Les pentes dans diverses régions du Nord, Hommes et Terres du Nord. 1, p. 100-109, 7 fig.

SOMME J. (1967 a) - Tectonique récente dans la région de Lille: Pays de Weppes et Mélantois Occidental. Revue Géomorph. Dyn. ,p. 55 - 65.

SOMME J. (1967 b) - Observations sur les sables et galets diestiens du Mont des Cats , Ann. Soc. Géol. Nord, LXXXVII, p. 77-85

SOMME J. (1969 a) - Stratigraphie des limons de la région du Nord de la France (Flandre-Artois), in La stratigraphie des loess d'Europe, suppl. Bull. Assoc. Fr. Et. Quatern., VII ème Congrès INQUA, Paris, p. 71 - 78.

SOMME J. (1969 b) - La Plaine maritime . Septentrion, Revue archéologique, Tome 1 p.53 - 56.

SOMME J. (1969 c) - La Plaine maritime Ann. Soc. Géol. Nord, LXXXIX, 1, p 117-126.

SOMME J. (1971) - Stratigraphie des limons weichséliens dans la région du Nord de la France, in Etudes sur le Quaternaire dans le Monde, VIIIè Congrès INQUA, Paris, 1969, vol. I, p. 549-556, 3 fig.

SOMME J. (1972) - Les formations continentales pléistocènes du Nord de la France, in Aspects régionaux du Périglaciaire français, Recherches géographiques en France, Congrès Intern. Géogr. Montréal, p. 80-82, 2 fig.

SOMME J. (1973) - Les formations quaternaires de la Région du Nord. Annales Scientifiques de l'Université de Besançon. Géologie 3ème série, fsc. 21, p. 93 - 98.

SOMME J. (1977) - Les plaines du Nord de la France et leur bordure. Etude géomorphologique. Thèse d'Etat, Univ. Paris I, 1975, Paris, Champion edit., 2 vol. 1- 810, 185 fig.

SOMME J. (1978) - Formations superficielles Quaternaires et géomorphologie. Les données de la Région du Nord de la France. Hommes et Terres du Nord, 1978, 2, p. 5 à 18.

SOMME J., PAEPE R., BAETEMAN C., BEEYENS L., CUNAT N., GEERAERTS R., HARDY A.F., HUS J., JUVIGNE E., MATHIEU L., THOREZ J., VANHOORNE R. (1978) - La formation d'Herzeele: un nouveau stratotype du Pleistocène moyen marin de la mer du Nord. Bull. Ass. Fr .Et .Quat. , 15 ème année n° 54-55-56, p. 81 - 149

SOMME J. (1980) - Nord de la France. Géomorphologie. Formations superficielles quaternaires. C.N.R.S., Paris 2 cartes 1/200 000.

SOMME J. (1988) - La plaine maritime française de la mer du Nord: évolution holocène et héritage pléistocène, in Campagnes et littoraux d'Europe. Mélanges P Flatres. Hommes et terres du Nord, n° 5, Lille, p. 273-281.

S.R.A.E. (1972) - Les Wateringues du Nord et du Pas-de-Calais: programme d'aménagement hydro-agricole. Document Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais.

S.R.A.E. (1981 a) - Note sur la remontée de l'eau dans la basse plaine de la Slack. Document Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais, 6 p.

S.R.A.E. (1981 b) - Gestion des stations hydrométriques de Rinxent sur la Slack, Marquise sur le Crembleux, Bazinghen (Rouge Berne) sur le ruisseau de Bazinghen, pendant l'année 1980. Document Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais, 3 p. 6 an.

S.R.A.E. (1985) - Note sur l'impact du rejet de la station de pompage de Holque. Doc. Serv. Rég. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais, 4 p. + annexes.

S.R.A.E. (1988) - Schéma d'aménagement des eaux des Wateringues. Doc. Serv. Reg. Am. Eaux, Nord-Pas-de-Calais, Délégation de Bassin Artois-Picardie.

STEVENS Ch (1938) - Quelques déformations holocènes et modernes du sol belge, Bull. Soc. Roy. belge de géogr., LXII, p. 291-302.

TAVERNIER R. (1954) - Le Néogène, in Prodrome d'une description géologique de la Belgique, Liège, p 533-554, 2 tab.

TAVERNIER R., MARECHAL R. (1958) - Carte des associations de sol de la Belgique, Pédologie, VIII, p. 134-182, 1 fig., 1 pl.

TSHIBANGU M. (1988) - Erosion des sols par ruissellement dans le Bassin Versant de la Sensée à l'amont de Douchy-les-Ayettes et de Saint Léger. Maîtrise de géographie physique. U.F.R. de géographie et d'aménagement, Un. Sc. Techn. Lille 62 p., 9 an.

VALAIRE V. (1986) - L'analyse de la valeur. Méthode d'innovation. Collection gestion de l'innovation. Ag. Nat. VAlor. Rech., 101 p.

VALENTIN C. (1985) - Organisation pelliculaire superficielle de quelques sols de régions subdésertiques (Agadez - République du Niger). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau. Ed. Off. Rech. Scient. Techn. Outre Mer Thèse 3ème cycle . Université Paris VII, 1981, 231 p., 43 fig.,22 tab., 2 ann., 11 pl. photog.

VAN DER WOUDE J.D., ROELEVELD W. (1985) - Paleological evolution of an interior coastal zone: the case of the Northern France coastal plain. Bull. Ass. Fr. étud. quatern. 1981-1, n° 21, p. 31 - 39.

VERDEVOYE P., PELLETIER J.L. (1979) - Etude de la qualité des eaux de l'Aa. Doc. Serv. Reg. Am. Eaux Nord-Pas-de-Calais, 32 p., 9 an., 1 carte.

VERDEVOYE P. (1983) - Etude de la qualité des eaux de la Lys, Doc. Serv. Reg. Am. Eaux Nord-Pas-de-Calais, 32 p. 9 an. 1 carte.

VERNIMMEN P. (1976) - Finance d'entreprise logique et politique. Dalloz, gestion financière. 402 p.

VILAIN, MOUREL, HEKIERE G. (1980) - Etude des besoins en eau dans les Wateringues. Document Serv. Reg. Am. Eaux, Lycée agricole d'Arras. 119 p., 10 fig., 4 ann., 21 tab.

VINCENT P.L., CAVELIER Cl. (1968) - Carte géol. des formations superficielles (1/50 000), feuille de Creil. Bur. Rech. Géol. Min.

WATERLOT G. (1968) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Cassel (7). Bur. Rech. Géol. Min.

WATERLOT G. (1969) - Aperçu géologique de la région de Lille. Ass. Soc. Géol. Nord., T. LXXXIX, 1er tr., p. 67-77.

WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. (1960) - An universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. In Proc. of the VIIth Intern. Cong. Soil Sci. Madison, 1, 418-425.

WISCHMEIER W.H. (1976) - Use and misuse of the universal soil loss equation. J. of soil and Water Cons., 31 (1), 5-9.

WOLSACK J. (1982) - La situation actuelle en France en matière de drainage. Bull. Techn. Inform. n° 370-372, p. 573-576.

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Pages

Fig. 1: Esquisse du modelé de la Région du Nord de la France. (d'après SOMME, 1977, complément MASSON, 1992)..... 6

Fig. 2: Esquisse géologique du Nord de la France..... 7

Fig. 3: Les régions du Nord de la France d'après GOSSELET. (SOMME, 1977)..... 8

Fig. 4: Découpages successifs à différentes échelles de la carte à 1/50 000 26

Fig. 5: Assemblage et numérotation des feuilles à 1/50 000 Région des Wateringues, Nord de la France..... 29

Fig. 6: Feuille à 1/50 000 . Carroyage kilométrique. Coupure de Cassel, Nord de la France..... 30

Fig. 7: Nomenclature des 1/16 èmes. Carroyage kilométrique et hectométrique. Coupure de Cassel Nord de la France..... 31

Fig. 8: Plan d'assemblage des 1/16 èmes. (échelle 1/10 000 découpant les feuilles à 1/50 000). Région des Wateringues, Nord de la France..... 34

Fig. 9: Cartographie sédimentologique par photo-interprétation. Région des Wateringues, Nord de la France..... 38

Fig. 10: Plan de prospection régional Plaine de la Scarpe, Nord de la France..... 40

Fig. 11: Plan de prospection local. Plaine de la Scarpe, Nord de la France..... 41

Fig. 12: Intercalation progressive des sondages en réseaux successifs..... 43

Fig. 13: Notation des relevés à l'aide d'abréviations sur photographie aérienne. Plaine maritime des Wateringues, Nord de la France (d'après SERVANT, 1973)..... 48

Fig. 14: Exemple de fiche S.T.I.P.A., Marquenterre, Nord de la France..... 50

Fig. 15: Triangle de texture G.E.P.P.A (1963)..... 51

Fig. 16: Exemple de légende simplifiée de profil et adaptée au contexte du secteur de référence drainage de la Scarpe, Nord de la France (d'après BILLIONNET *et al*, 1986)..... 56

Fig. 17: Exemple de profil d'une coupe de sol. Secteur de référence drainage de la Scarpe, Nord de la France (d'après BILLIONNET *et al*, 1986)..... 57

Fig. 18: Diagramme de texture selon JAMAGNE *et al* (1967) et United States Department of Agriculture (U.S.D.A).. 69

Fig. 19: Exemple de cartes de secteur de référence. Extrait de la carte de Oisy-le-Verger. Secteur de référence drainage de la Sensée, Nord de la France (d'après BILLIONNET *et al*, 1984)..... 79

Fig. 20: Extrait de la légende. Carte du secteur de référence drainage de la Sensée, Nord de la France (d'après BILLIONNET *et al*, 1984)..... 80

Fig. 21: Coupes verticales et parallèles. Sols de versant. Secteur de Oisy-le-Verger. Nord de la France (d'après BILLIONNET *et al*, 1984)..... 84

Fig. 22: Coupes verticales et parallèles. Sols de vallée. Secteur de Sauchy-Cauchy. Nord de la France (d'après BILLIONNET *et al*, 1984)..... 85

Fig. 23: Schéma de principe montrant la correspondance entre la représentation par coupes (verticales et parallèles) ou par bloc-diagramme..... 87

Fig. 24: Schéma de principe montrant la correspondance entre bloc-diagramme, diagramme-plan et coupes en plan 89

Fig. 25: Coupe en plan, projet 47 de l'A.S.A.D. de Sainte-Marie-Kerque, Commune des Attaques, Plaine maritime des Wateringues, Nord de la France. Profondeur 1 m (MASSON, 1976)..... 90

Fig. 26: Coupe en plan, projet 47 de l'A.S.A.D. de Sainte-Marie-Kerque, Commune des Attaques, Plaine maritime des Wateringues, Nord de la France. Profondeur 1,5 m (MASSON, 1976)..... 91

Fig. 27: Diagramme plan (sédiments sableux) projet 47 de l'A.S.A.D. de Sainte-Marie-Kerque, Commune des Attaques, Plaine maritime des Wateringues, Nord de la France (MASSON, 1976)..... 93

Fig 28: Diagramme plan (sédiments argileux) projet 47 de l'A.S.A.D. de Sainte-Marie-Kerque, Commune des Attaques, Plaine maritime des Wateringues, Nord de la France (MASSON, 1976)..... 94

Fig. 29: Triangle de texture adapté à la Plaine maritime des Wateringues. Nord de la France (d'après SERVANT *et al*, 1972)..... 99

Fig. 30: Diagramme des textures dans la région de Montreuil-sur-mer. Nord de la France (d'après SERVANT *et al*. 1972)..... 99

Fig. 31: Les régions du Nord de la France (d'après GOSSELET, SOMME, 1977 et complément MASSON).....110

Fig. 32: Carte oro-hydrographique du Nord de la France (d'après SOMME, 1977, complément MASSON).....111

Fig. 33: Géologie de la Région du Nord de la France.....115

Fig. 34: Principales failles affectant de la Région du Nord de la France, (d'après DELATTRE *et al*, 1973 COLBEAUX *et al*, 1977, SOMME, 1980).....118

Fig. 35: Le réseau hydrographique du Nord de la France (d'après Document S.R.A.E. Nord-Pas-de-Calais).....120

Fig. 36: Courbes isohyètes annuelles de 1967 à 1979 par DACHARRY et G. PETIT-RENAUD (1982).....121

Fig. 37: Répartition en zone limoneuse des sols bruns faiblement lessivés et bruns lessivés en fonction de leur indice d'entrainement. Nord de la France.....133

Fig. 38: Les formations superficielles et les sols du Nord de la France.....134

Fig. 39: Disposition des cordons sableux et des niveaux de tourbe dans la Plaine maritime des Wateringues, Nord de la France.....139

Fig. 40: Principaux axes des barrières littorales anciennes de la Plaine maritime des Wateringues, Nord de la France.....140

Fig. 41: Modelé de la zone des Moëres et du Hameau des Neiges, Plaine maritime des Wateringues, Nord de la France.....144

Fig. 42: Repérage des dépôts sableux du chenal du Hameau des Neiges et de ses principales digitations. Plaine maritime des Wateringues, Nord de la France 147

Fig. 43: Coupe du chenal du Hameau des Neiges, Plaine maritime des Wateringues, Nord de la France 148

Fig. 44: Diagramme de texture des dépôts superficiels de la Plaine maritime des Wateringues Nord de la France.....150

Fig. 45: Situation des sites de prélèvement en vue de la réalisation d'analyses minéralogiques des argiles Bordure intérieure de la Plaine maritime des Wateringues. Nord de la France.....156

Fig. 46: Résultat des analyses minéralogiques. Bordure intérieure des Wateringues. Nord de la France.....158

Fig. 47: Diagramme de texture: faciès argileux dans la Plaine maritime des Wateringues. Nord de la France.....163

Fig. 48: Les formations de tuf calcaire dans le Calaisis. Plaine maritime des Wateringues, Nord de la France.....167

Fig. 49: Séquence des formations et des sols de Nortkerque. Bordure de la Plaine maritime des Wateringues, Nord de la France.....169

Fig. 50: Les formations superficielles du périmètre de Méteren, Nord de la France.....178

Fig. 51: Disposition du substrat argileux et de la couverture de loess pléistocène sur la convexité de la butte Méteren.Nord de la France....181

Fig. 52: Superposition de niveaux sableux et limoneux dans la Flandre intérieure. Nord de la France.....189

Fig. 53: Situations des secteurs d'Aire-sur-la-Lys - Blaringhem, de Méteren et d'Hinges. Plaine de la Lys. Nord de la France.....192

Fig. 54: Modelé du secteur de Blaringhem - Aire-sur-la-Lys. Bordure de la Plaine de la Lys, Nord de la France.....197

Fig. 55: Séquence des dépôts et des sols dans le secteur d'Aire-sur-la-Lys - Blaringhem, bordure de la Plaine de la Lys. Nord de la France.....199

Fig. 56: Situation des prélèvements (granulométrie et minéralogie), secteur de Blaringhem - Aire-sur-la-Lys. Bordure de la Plaine de la Lys. Nord de la France.....204

Fig. 57: Diagramme de texture , variation de la texture sur les vallons de la Longue Becque, et du Becquerel. Secteur de Blaringhem, Bordure de la Plaine de la Lys, Nord de la France.....205

Fig. 58: Niveaux de prélèvement des échantillons dans les sondages du secteur de Blaringhem - Aire-sur-la Lys. Bordure de la Plaine de la Lys. Nord de la France.....206

Fig. 59: Composition minéralogique de la fraction argileuse des échantillons prélevés dans les vallons de la Longue Becque et du Becquerel. Secteur de Blaringhem-Aire-sur-la-Lys. Bordure de la Plaine de la Lys. Nord de la France (d'après KETELS, 1984).....208

Fig. 60: Modelé du secteur de Méteren, bordure de la Plaine de la Lys, Nord de la France.....210

Fig. 61: Situation des prélèvements (granulométrie et minéralogie), secteur de Méteren. Bordure de la Plaine de la Lys. Nord de la France.....212

Fig. 62: Diagramme de texture, prélèvements réalisés sur les vallons du Dail et de la becque de Flêtre à Méteren. Bordure de la Plaine de la Lys, Nord de la France.....213

Fig. 63: Niveaux de prélèvement des échantillons dans les sondages du secteur de Méteren. Bordure de la Plaine de la Lys. Nord de la France.....214

Fig. 64: Composition minéralogique de la fraction argileuse des échantillons prélevés sur le vallon de la becque de Méteren. Bordure de la Plaine de la Lys, Nord de la France (d'après KETELS 1984).....216

Fig. 65: Modelé du secteur d'Hinges. Bordure de la Plaine de la Lys, Nord de la France.....217

Fig. 66: Coupe du secteur de Hinges. Bordure de la Plaine de la Lys. Nord de la France (d'après KETELS, 1984).....219

Fig. 67: Situation du bassin-versant de la Slack, région du Boulonnais, Nord de la France.....222

Fig. 68: Schéma de l'estuaire actuel de la Slack, région du Boulonnais, Nord de la France. (MASSON, 1980)...224

Fig. 69: Modelé de la Plaine de la Slack. Région du Boulonnais, Nord de la France.....225

Fig. 70: Carte orohydrographique du bassin-versant de la Slack. Région du Boulonnais, Nord de la France.....227

Fig. 71: Carte des matériaux de la Plaine de la Slack Région du Boulonnais, Nord de la France.....229

Fig. 72: Coupes des terrains de la Plaine de la Slack. Région du Boulonnais, Nord de la France.....230

Fig. 73: Schéma hydrologique du bassin-versant de la Slack. Région du Boulonnais, Nord de la France.....233

Fig. 74: Crue du 17 au 19 décembre 1980, sur le bassin-versant de la Slack. Région du Boulonnais, Nord de la France (d'après Pelletier, 1981).....234

Fig. 75: Profil de sol, secteur du Mont Cornet à proximité de la Commune de Réty. Région du Boulonnais, Nord de la France.....240

Fig. 76: Sols rouges du secteur de Nabringhen - Henneveux. Région du Boulonnais, Nord de la France.....243

Fig. 77: Localisation des sols rouges dans la région du Boulonnais. Nord de la France.....245

Fig. 78: Les sols de Mouriez (Lambus au bois, commune de Mouriez). Région d'Hesdin, Nord de la France.....248

Fig. 79: Battance et tassement du sol
A: Effet de la pluie et des façons culturales
B: Effet de tassement dû au passage des engins agricoles.....258

Fig. 80: Schéma du ruissellement.....259

Fig. 81: Localisation des zones affectées par le ruissellement, et visibles sur photographies aériennes.....264

Fig. 82: Report sur fond I.G.N. des traces d'érosion repérées sur photographies aériennes.....265

Fig. 83: Carte des matériaux et risques de ruissellement Pays de Montreuil, Nord de la France.....267

Fig. 84: Simulateur de pluie.....269

Fig. 85: Résultats de simulation de pluie.....270

Fig. 86: Carte schématique de la sensibilité à l'érosion des sols du Nord-Pas-de-Calais. Nord de la France.....273

Fig. 87: Schéma théorique d'aménagement du site d'Ecuires. Pays de Montreuil, Nord de la France.....276

Fig. 88: Situation du bassin-versant de la Sensée. Nord de la France.....281

Fig. 89: Topographie du bassin-versant de la Sensée Nord de la France.....282

Fig. 90: Coupe topographique et géologique sur le bassin-versant de la Sensée. Nord de la France.....284

Fig. 91: Eléments de la géologie du bassin-versant de la Sensée. Nord de la France.....285

Fig. 92: Eléments sur les sols du bassin-versant de la Sensée. Nord de la France.....286

Fig. 93: Sols hydromorphes du bassin-versant de la Sensée. Nord de la France.....288

Fig. 94: Schéma hydraulique du bassin-versant de la de la Sensée (MASSON et PARENT, 1983).....293

Fig. 95: Schéma hydraulique des Wateringues. Nord de la France (S.R.A.E., 1987).....305

Fig. 96: Classement des besoins en drainage par petites régions agricoles. Nord de la France. (MASSON, 1983, Document S.R.A.E.).....307

Fig. 97: Diminution du nombre de fossés entre 1963 et 1980. Lieu dit de Fort Bâtard, région d'Audruicq. Plaine maritime des Wateringues. Nord de le France.....319

Fig. 98: Estimation des zones drainées à partir des techniques modernes. par petites régions agricoles Nord de la France.....322

Fig. 99: Entrée de l'eau salée dans le Marquenterre à partir de la Porte à la Mer située au Nord. Conductivité des eaux de surface. (Mesures des 5 et 23 juin 1986 réalisées par VERDEVOYE, S.R.A.E. Nord-Pas-de-Calais (MASSON *et al*, 1987).....350

Fig. 100:Utilisation du sol dans le Marais de Saint Omer (Nord de la France). Les espaces maraîchers (VAUDOIS et DESCAMPS, 1975).....362

Fig. 101:Situation géographique de la parcelle expérimentale. Marais de Saint-Omer. Nord de la France.....364

Fig. 102:Profil du sol de la parcelle.expérimentale. Marais de Saint-Omer. Nord de la France.....366

Fig. 103:Dispositif expérimental sur la parcelle expérimentale. Marais de Saint-Omer. Nord de la France.....367

Fig. 104:Schéma du dispositif en "flûte de pan" Marais de Saint-Omer. Nord de la France.....370

Fig. 105:Schéma d'un carré de prélèvement des échantillons de sol en vue de la réalisation des analyses.Marais de Saint-Omer. Nord de la France.....371

Fig. 106:Pluviométrie et irrigation par aspersion sur la parcelle expérimentale. Marais de Saint-Omer. Nord de la France.....373

Fig. 107:Hauteur de la nappe dans le sol, et dans le watergand (par rapport à la surface du sol). Marais de Saint-Omer. Nord de la France.....374

Fig. 108:Température moyenne décadaire à la station de Watten. Nord de la France.....375

Fig. 109:Evolution de la teneur en azote nitrique dans le sol (Horizon de surface, 0 à 20 cm).....377

Fig. 110:Evolution de la teneur en azote nitrique dans la nappe.(piézomètres, 2,20 m).....377

Fig. 111:Evolution de la teneur en azote ammoniacal dans le sol (horizon de surface, 0 à 20 cm).....379

Fig. 112:Evolution de la teneur en phosphates dans le sol (horizon de surface: 0 et 20 cm).....381

Fig. 113:Evolution de la teneur en phosphates dans la nappe (piézomètre, 2,20 m).....381

Fig. 114:Evolution de la teneur en potasse dans le sol (profondeur 0-20 cm).....383

Fig. 115:Evolution de la teneur en potassium dans la nappe, (piézomètres: 1,40 m et 2, 20 m).....383

Fig. 116:Carte schématique des terrains en vue de l'épandage souterrain dans le département du Nord (d'après MASSON et TURCK, 1981).....389

Fig. 117:Carte du modelé, (extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France).....404

Fig. 118:Plan de prospection, (extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France).....406

Fig. 119:Carte des textures de sol, sur 0,80 m d'épaisseur, (extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France).....408

Fig. 120:Carte d'hydromorphie des sols, en vue du drainage (extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France).....409

Fig. 121:Carte des pentes, (extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France).....411

Fig. 122:Carte de la dimension relative du parcellaire et de l'érosion, (extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France).....413

Fig. 123:Schéma hydrographique de la carte de Béthune, (extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France).Document S.R.A.E. Nord-Pas-de-Calais....415

Fig. 124:Carte des agrosystèmes, (extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France).....416

Fig. 125:Carte des contraintes, ou des classes de terres (extrait de la coupure de Béthune, Nord de la France).....418

Fig. 126:Carte des terres agricoles et sa légende, (extrait de la feuille de Cassel, Nord de la France). 1/50 000 (GILLERON *et al.* 1985).....422

Fig. 127:Situation du secteur des cantons de Croisilles - Vitry - Marquion - Bapaume. Région de l'Artois, Nord de la France.....429

Fig. 128:Esquisse du modelé des cantons de Croisilles - Vitry - Marquion - Bapaume. Région de l'Artois, Nord de la France.....431

Fig. 129:Probabilité d'occurrence d'une période sèche. Station de Cambrai, Nord de la France.....434

Fig. 130:Schéma de répartition des sols. Cantons de Croisilles - Vitry - Marquion - Bapaume. Région de l'Artois, Nord de la France.....439

Fig. 131:Texture des sols du périmètre des cantons de Croisilles - Vitry - Marquion - Bapaume. Région de l'Artois, Nord de la France.....444

Fig. 132:Zonage des sols hydromorphes. Cantons de Croisilles - Vitry - Marquion - Bapaume. Région de l'Artois, Nord de la France.....446

Fig. 133:Ruissellement, érosion et éléments des paysages ruraux (boisements et prairies). Cantons de Croisilles - Vitry - Marquion - Bapaume. Région de l'Artois, Nord de la France.....449

Fig. 134:Répartition des agrosystèmes. Cantons de Croisilles - Vitry - Marquion - Bapaume. Région de l'Artois, Nord de la France.....451

Fig. 135:Répartition des plantes sarclées. Cantons de Croisilles - Vitry - Marquion - Bapaume. Région de l'Artois, Nord de la France.....453

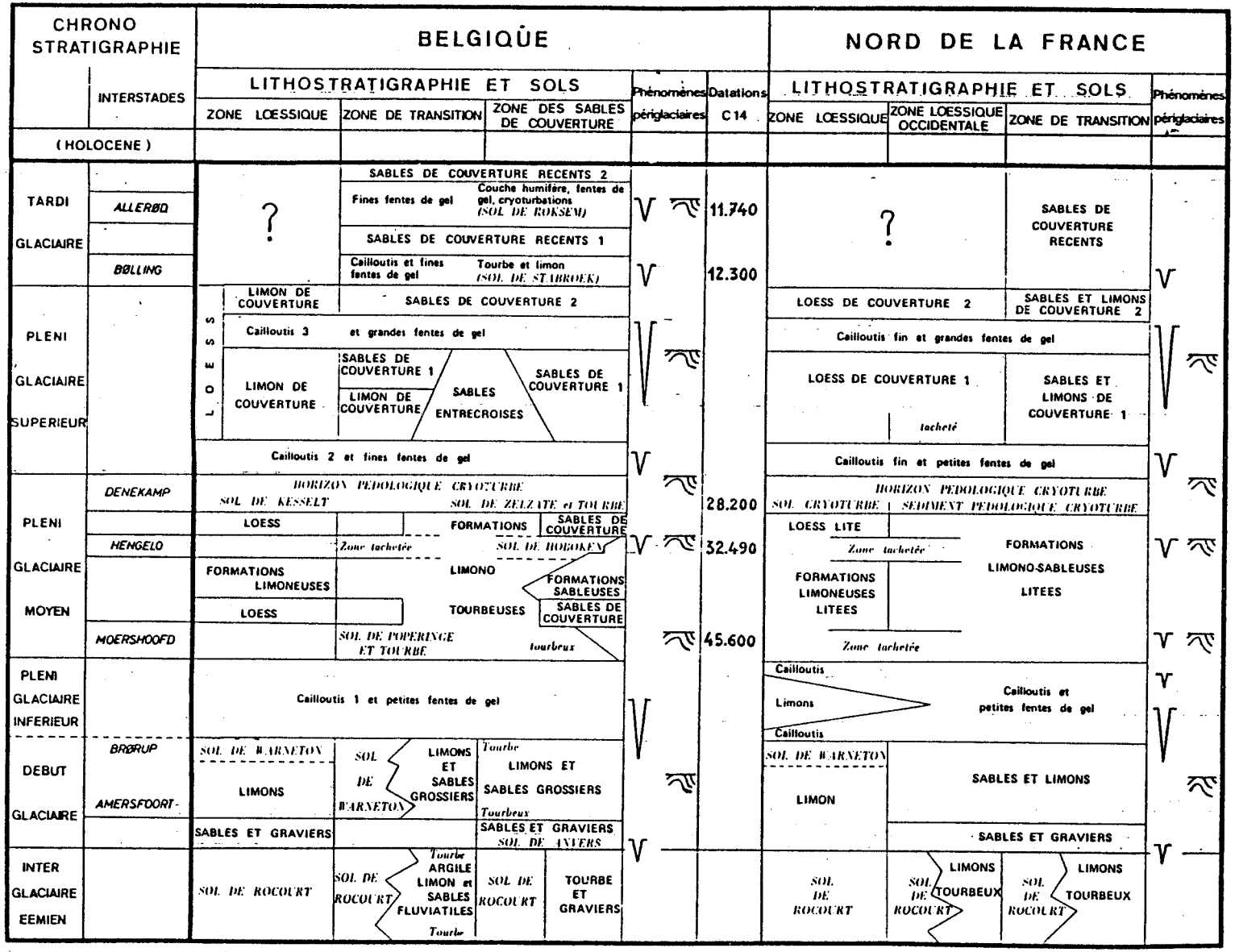
Fig. 136:Le tassement du sol, difficultés de pénétration des racines dans le sol. Cantons de Croisilles - Vitry - Marquion - Bapaume. Région de l'Artois, Nord de la France.....457

Fig. 137:Carte des sols de la Vallée de la Haute Lys en vue de leur drainage. Nord de la France.....462

ANNEXES

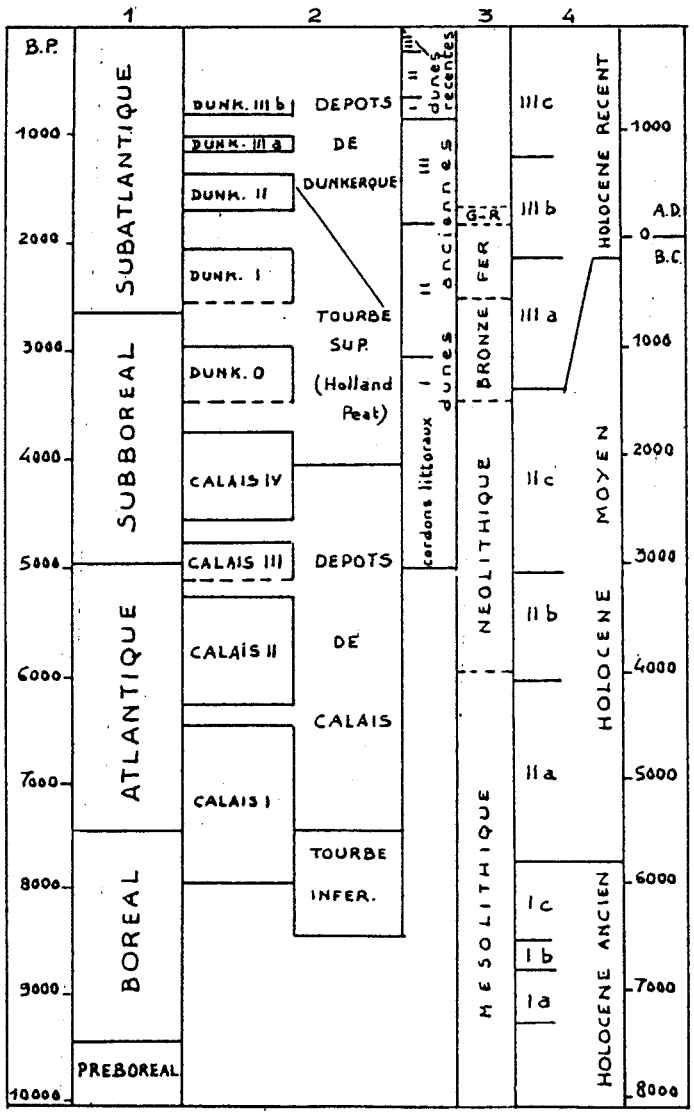
ANNEXE I

CHRONOLOGIE DES DEPOTS QUATERNAIRES



R. PAEPE et J. SOMMÉ 1970

— *Tableau des unités litho-stratigraphiques du Pléistocène récent en Belgique et dans le Nord de la France.*

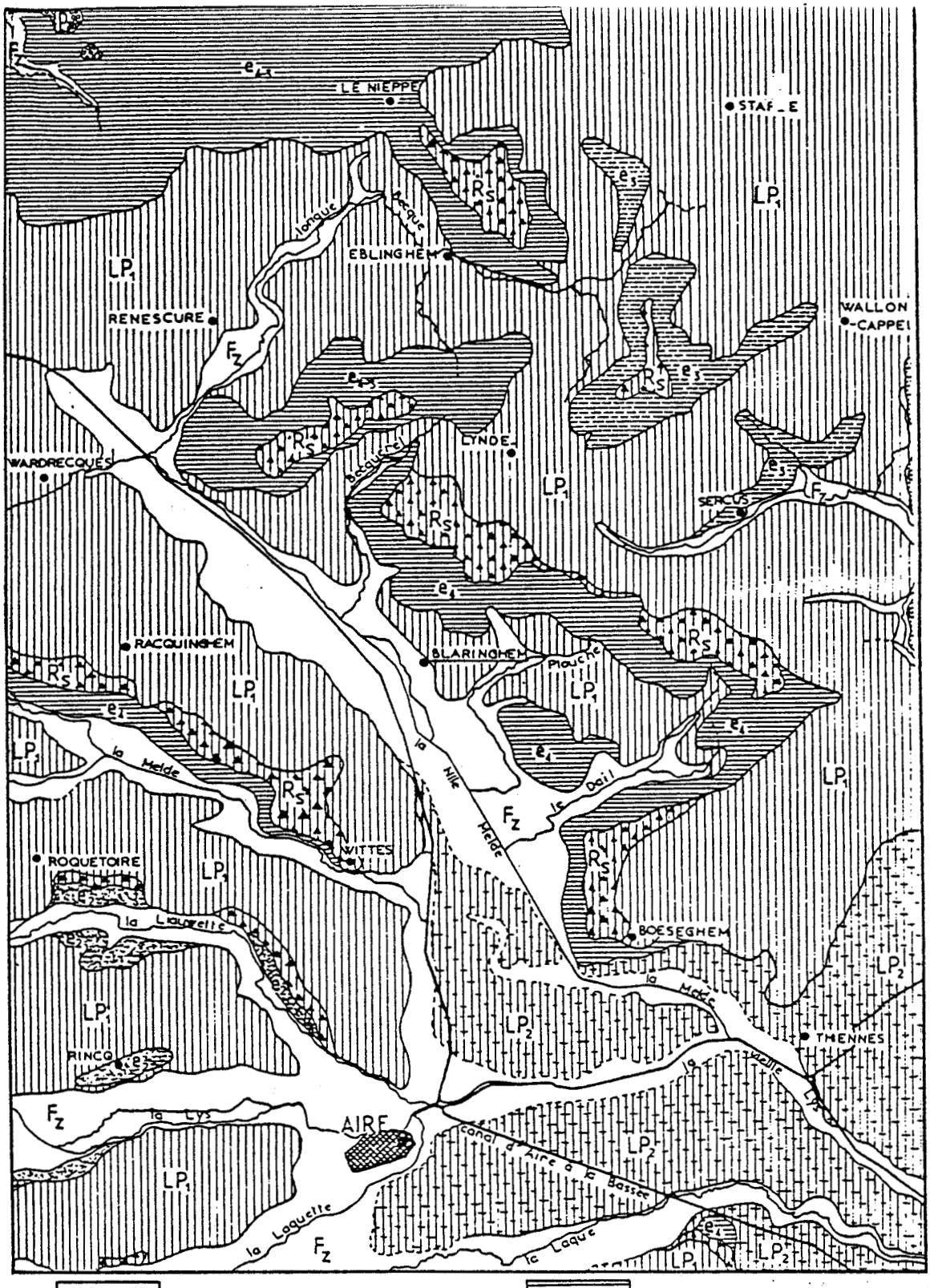


1. Divisions chrono-botaniques de BLYTT-SERNANDER
2. Séquence de l'Holocène des Pays-Bas d'après B.P. HAGEMAN S. JELGERSMA, J. DE JONG, W.H. ZAGWIJN, J.F. VAN REGTEREN ALTENA
3. Archéologie.
4. Divisions climato-eustatiques de N.A. MÖRNER

- Subdivisions de l'Holocène et séquence du Flandrien des Pays-Bas. (J. Somme 1977)

ANNEXE II

ELEMENTS DE GEOLOGIE DES SECTEURS DE BLARINGHEM, METEREN ET HINGES. BORDURE DE LA PLAINE DE LA LYS.



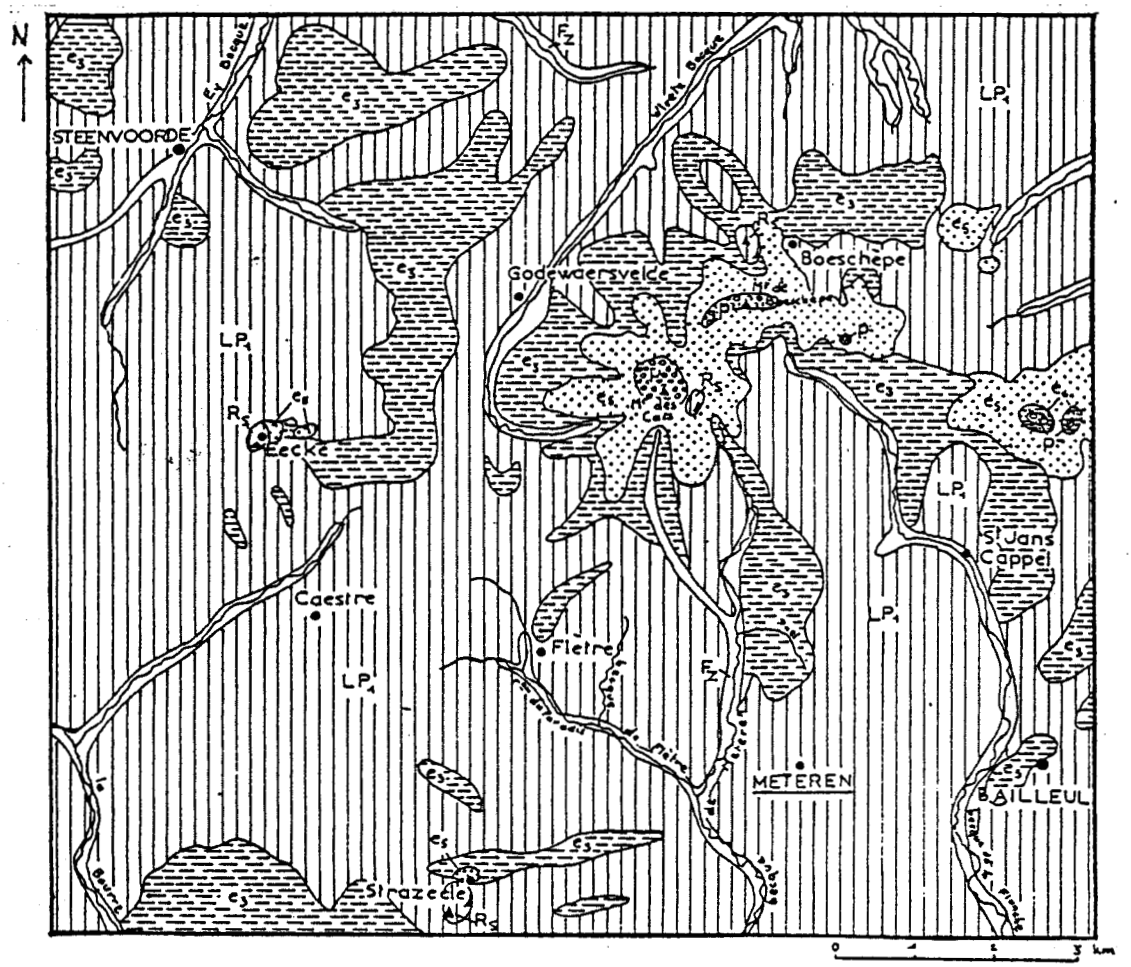
Fz	Alluvions modernes	e_4	Yprésien inférieur: argile d'Orchies
LP_1	Limon pléistocène	e_3	Yprésien supérieur: argile de Roubaix
LP_2	Limon de la plaine de la Lys	e_2	Landénien: sables d'Ostricourt
Rs	Formation résiduelle à silex	p	Pliocène

Eléments de géologie du Secteur de Blaringhem

d'après la carte géologique de Saint Omer à 1/50 000

3 km

DESOIGNIES et THIBAUT 1984



Fz — Alluvions modernes

LP1 — Limon pléistocène

Rs — Formation résiduelle à silex

e6 — Ludien: argile de Cassel

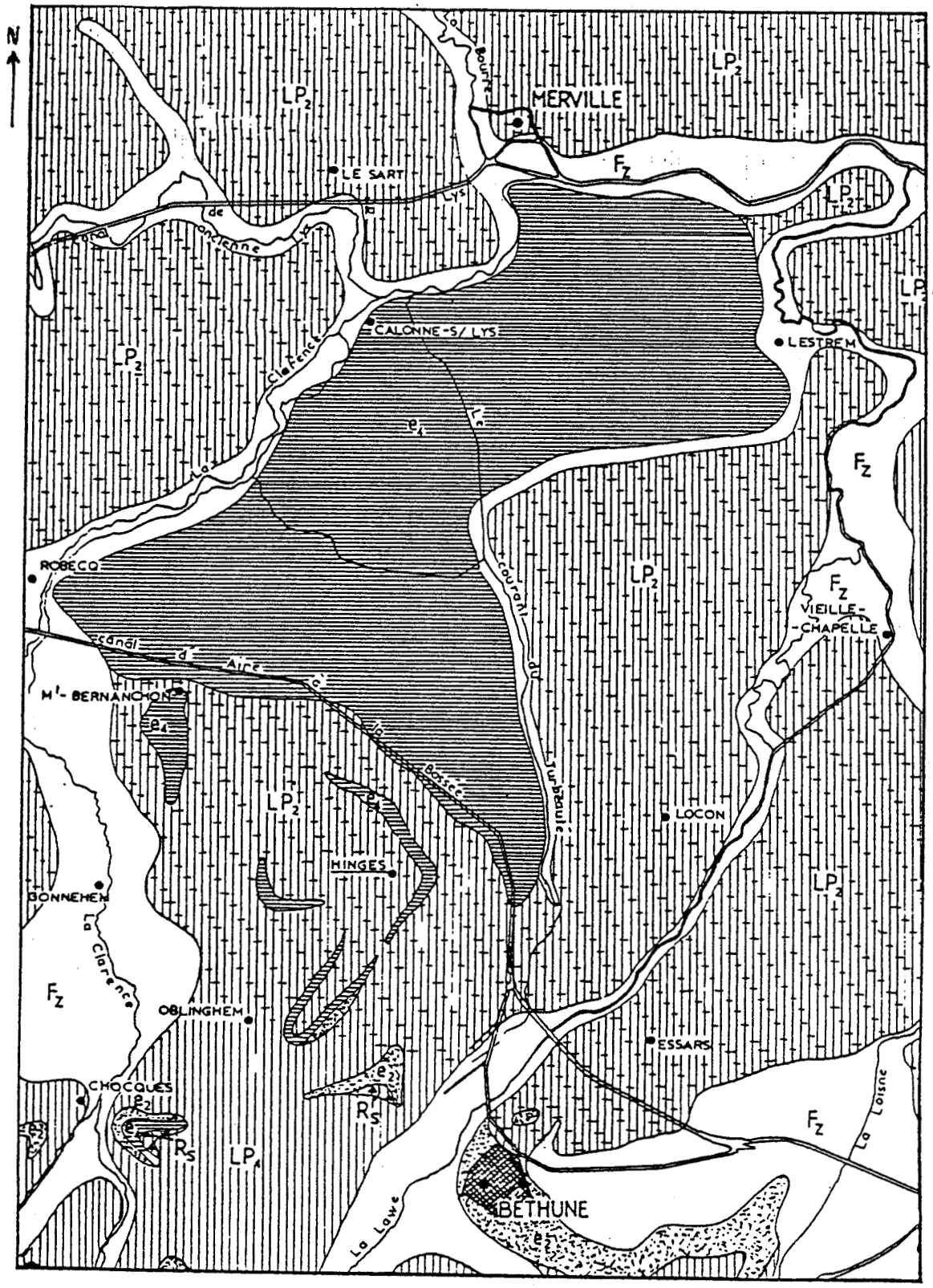
e5 — Lutécien inférieur

e3 — Yprésien supérieur: argile de Roubaix

P — Pliocène

Eléments de géologie du Secteur de Méteren

(d'après la carte géologique de Saint Omer à 1/ 80 000, WATERLOT 1957)



Fz	Alluvions modernes	Rs	Formation résiduelle à silex
LP1	Limon pléistocène	e1	Yprésien inférieur: argile d'Orchies
LP2	Limon de la plaine de la Lys	e2	Landénien: sables d'Ostricourt

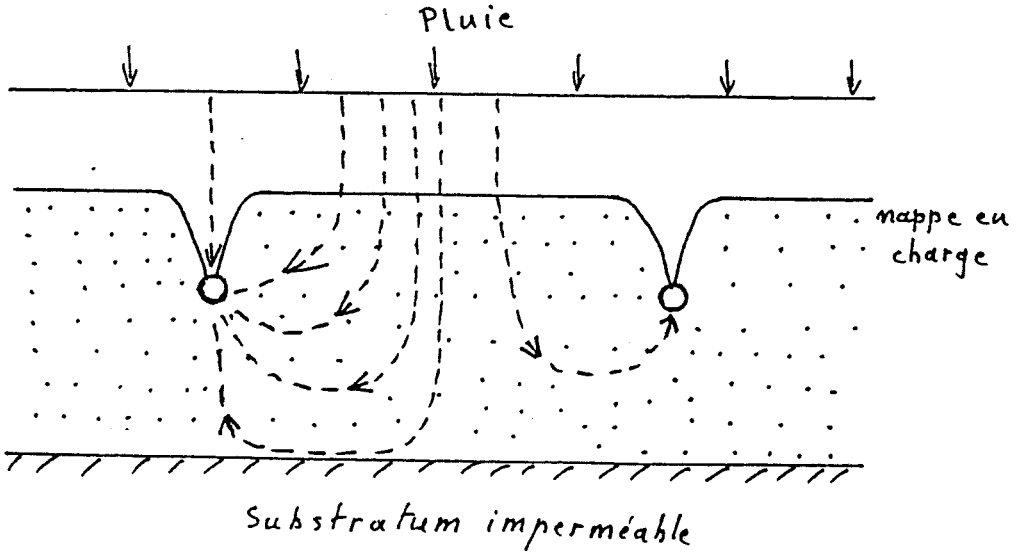
Eléments de géologie du Secteur de Hinges.

d'après la carte géologique de Béthune à 1/50 000, DELATTRE 1960, et de Saint Omer à 1/80 000, WATERLOT 1957.

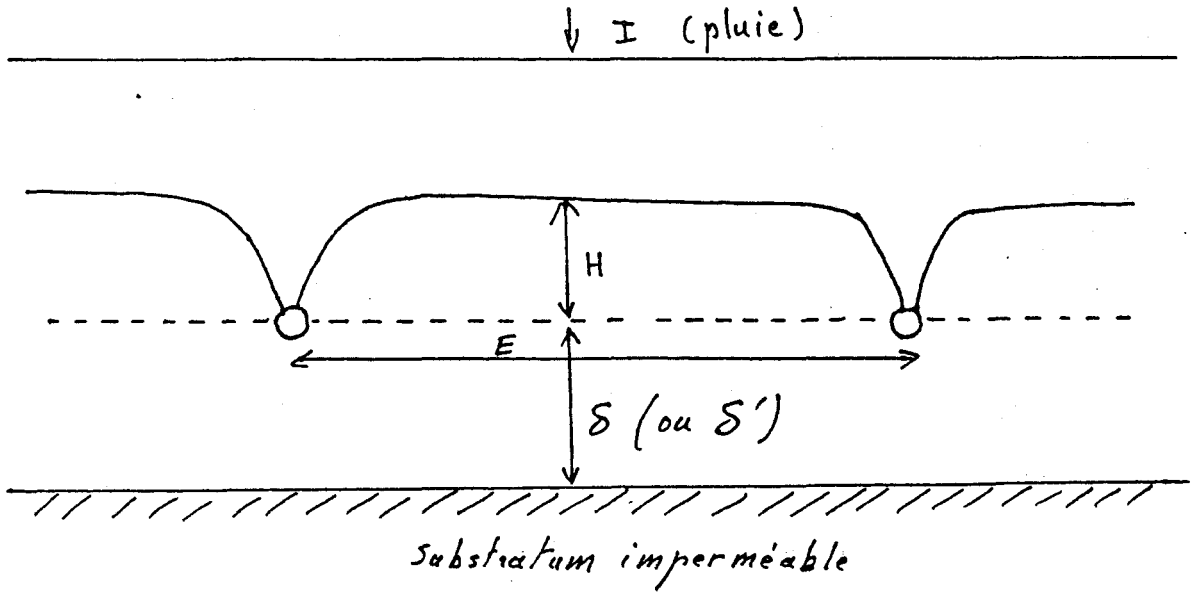
3 km

ANNEXE III

FONCTIONNEMENT DU DRAINAGE PAR DRAINS ENTERRES.



Annexe III (1):Circulation des filets d'eau dans le sol pendant la mise en charge du drainage (d'après POIREE et OLLIER 1963)



$$E2 = \frac{4KH(H + 2\delta')}{I}$$: Formule du calcul de l'écartement des drains enterrés évacuant une pluie en régime permanent.

I = intensité de la pluie infiltrée (en m/j)

K = coefficient de conductivité hydrodynamique du sol indiquant sa perméabilité (en m/j)

H = charge d'eau au dessus du drain (en m)

δ = profondeur du substratum imperméable sous les drains (ou s': profondeur profondeur équivalente de HOOghoudt dans l'hypothèse d'un substrat profond. Dans ce cas il existe une perte de charge limitant la circulation au delà d'une certaine profondeur δ' (en m)

E = écartement des drains recherché pour évacuer la pluie I en 24 h (en m)

Annexe III (2): Fonctionnement du drainage: calcul d'écartement des drains d'après la formule du régime permanent. (d'après GUYON 1975)

ANNEXE IV

CLASSIFICATION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES. CALCUL DE LA MARGE BRUTE STANDARD (M.B.S.)

Annexe IV: Classification des exploitations agricoles Calcul de la Marge - Brute - Standard (M.B.S.)

A partir des statistiques agricoles du Recensement Général de l'Agriculture (R.G.A.), différents systèmes ont permis de classer les exploitations en fonction des surfaces et du cheptel qui leur sont associés.

Il s'agite des surfaces agricoles utiles au recensement de 1955, puis des surfaces agricoles utilisées en 1963.

Dans les années 60 est introduites la notion e "Mode d'Utilisation du Sol" (M.U.S.), pour séparer les cultures de vente et les surfaces fourragères.

En 1965, furent créés les orientations technico-économiques (O.T.E.) pour tenir compte de l'intensification de productions animales et notamment de l'élevage (hors-sol).

Les O.T.E. sont fondées sur la pondération des surfaces cultivées et du cheptel, à l'aide de coefficient indicateur d'une "Production Brute Potentielle Standard" (P.B.P.S.), l'unité étant la production brute potentielle standard de l'ha de blé.

En 1978, un autre système d'orientation O.T.E.X. est déterminé à partir de la Marge Brute Standard (M.B.S.) qui constitue un indicateur de valeur ajoutée de chaque production. Cet indicateur calculé par l'I.N.S.E.E. est multiplié par le nombre d'unités de production (unités de surface, ou têtes de bétail) et donne ainsi la M.B.S. de chaque spéculation.

Ces O.T.E.X. permettent de classer les exploitations ou les communes par orientation et dominance des différentes productions.

L'une des classifications actuelles la plus utilisée reprend 8 pôles de regroupement des spéculations.

- grande culture,
- horticulture,
- cultures permanentes,
- herbivores,
- granivores,
- polyculture,
- polyélevage,
- cultures/élevages.

Elle repose sur le principe d'un seuil des 2/3 en deça duquel une exploitation n'est pas considérée comme spécialisée. Elle définit des "pôles" mixtes: association de productions végétales, association de productions animales, association de productions animales et végétales. Elle permet de dénommer les systèmes de culture ou agrosystèmes à partir de leur dominante et d'obtenir ainsi les grandes orientations. Celles-ci peuvent être ensuite représentées sur un fond qui permet de localiser ces grandes orientations.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

pages

INTRODUCTION GENERALE..... 2
1 - Présentation.de la Région du Nord..... 4
2 - Les objectifs d'aménagement et la connaissance scientifique du sol..... 9
3 - La connaissance des sols, les besoins de l'aménagement. 9
4 - Deux approches pour la gestion du sol ?..... 10
5 - Ouverture vers une recherche appliquée..... 11
6 - Présentation du mémoire..... 11
7 - Démarche générale utilisée..... 14

I• partie

UNE DEMARCHE CARTOGRAPHIQUE ADAPTEE AUX SOLS ET AUX OBJECTIFS APPLIQUES DANS LE REGION DU NORD..... 16

INTRODUCTION, Le concept du sol..... 17

CH. I - L'ORGANISATION DU LEVE DANS LA REGION DU NORD: LE REPERAGE DES DONNEES..... 23

Introduction..... 23
I - Méthode de repérage des données..... 24
II - La couverture générale de la France et son découpage..... 25
1 - Le carroyage des cartes..... 27
2 - Le carroyage kilométrique (feuilles à 1/ 50 000)..... 27
3 - Le carroyage hectométrique (feuilles à 1/10 000) 28
4 - Le carroyage des cartes et plans à d'autres échelles (1/5000, 1/2000, 1/25 000) et les changements d'échelles 32
5 - Plan d'assemblage..... 33
Conclusion..... 35

CH II - LA PROSPECTION CARTOGRAPHIQUE. ORGANISATION DU LEVE DES SOLS ET DES FORMATIONS SUPERFICIELLES DANS LA REGION DU NORD:..... 36

Introduction..... 36
I - Organisation de la distribution des points d'observation.. 37
II - Méthode de répartition régulière en réseaux de points de sondage..... 39
III- Plans de sondage..... 39
IV - Echelle des cartes de sols..... 44
V - Mode de description des sols..... 46
VI - Méthode de description du sol dans la Région du Nord..... 49
1 - Les variables pédologiques..... 53
2 - La notation des caractères..... 55
3 - L'appréciation des caractères et leur représentation... 59
. La matière organique..... 59
. La structure..... 60

. La texture..... 60
. La couleur..... 61
. Les traits pédologiques individualisés..... 62
. Les caractères induits..... 62
. Les caractères non répertoriés..... 62
. Les caractères accidentels..... 63
. La profondeur des observations et le substrat..... 63
. Les analyses et le contrôle des estimations..... 64
. Les corrections..... 66
. Les problèmes de limites d'horizons ou de niveaux sédimentaires..... 66
Discussion et conclusion..... 67

CH III- LES DIFFERENTES FORMES D'EXPRESSION ET DE RESTITUTION DES DONNEES PEDO-GEOLOGIQUES: CARTES ET FICHIERS..... 70

I - Les différentes synthèses cartographiques..... 71
II - Les travaux cartographiques réalisés dans le Nord de la France et les régions ou pays voisins..... 72
- La carte des sols de l'Aisne..... 72
- La carte des sols de Belgique..... 73
- La carte des sols des Wateringues..... 74
- La carte des formations superficielles de la région de Caen, réalisée par l'Université de Caen et le C.N.R.S.... 74
- La carte géomorphologique des formations superficielles du Nord de la France..... 74
- La carte géologique des formations superficielles du B.R.G.M..... 76
III- La réalisation des cartes pédologiques en France..... 76
IV - Le référentiel pédologique Français..... 79
V - L'approche cartographique des sols dans la Région du Nord de la France..... 81
1 - Présentation technique..... 81
2 - Les coupes en plans successifs ou écorchés..... 86
3 - Les diagrammes plans..... 88
4 - Les cartes d'interprétation (cartes de synthèse et cartes thématiques)..... 92
VI - Les risques d'erreur de la cartographie..... 95
1 - Les limites..... 95
2 - Les impuretés cartographiques..... 96
3 - La précision et l'organisation de la démarche cartographique..... 96
VII- Discussion..... 98
1 - Au niveau de la gestion et de la conception des études..... 100
2 - L'analyse structurale..... 100
VIII- Les fichiers de sols et banques de données.des sols..... 102
1 - Les fichiers existant dans la région..... 102
2 - Le fichier S.T.I.P.A. et le C.N.I.G..... 103
Conclusion..... 105

CONCLUSION DE LA I^{ERE} PARTIE..... 105

II• partie

RELATIONS ENTRE SOLS ET FORMATIONS SUPERFICIELLES DANS LA REGION DU NORD DE LA FRANCE APPROCHE MICRO REGIONALE A L'ECHELLE DE PLUSIEURS PETITES REGIONS NATURELLES..... 106

INTRODUCTION..... 107

CH I - TRAITS PEDOLOGIQUES PRINCIPAUX DE LA REGION DU NORD DE LA FRANCE..... 108

I - Le relief..... 109
1 - Le Haut Pays..... 109
2 - Le Bas Pays..... 112
3 - Le Bas Pays côtier de la façade littorale ouest..... 113
II - Géologie régionale..... 114
1 - Les dépôts holocènes ou flandriens..... 114
2 - Les formations continentales pléistocènes et holocènes.. 114
3 - Les formations antéquaternaires..... 116
4 - La tectonique..... 117
III- Hydrographie..... 119
IV - Le climat..... 119
V - La mosaïque des sols..... 123
1 - Les plaines basses des Flandres et de la façade littorale ouest..... 123
. La Plaine maritime des Wateringues..... 123
. Les plaines maritimes de la Région picarde..... 124
. La Plaine de la Lys..... 125
. La Plaine de la Scarpe..... 126
. La Vallée de la Sambre..... 127
2 - Les zones hautes à substrat argileux du Bas Pays..... 127
. La Flandre Intérieure..... 127
. Le Ferrain, le Pays de Weppe, le Pévèle..... 127
3 - Les zones à substrat crayeux du Bas Pays..... 127
. Le Mélantois..... 128
. La Gohelle..... 128
4 - Le Haut Pays crayeux de l'Artois et du Plateau picard... 129
5 - Les zones hautes à substrat argileux du Haut Pays..... 129
. Le Hainaut..... 129
. Le Boulonnais et la Thiérache..... 130
VI - La carte des sols de la Région du Nord..... 131
Conclusion..... 135

CH II - LES CHENAUX SABLEUX DE LA PLAINE MARITIME DES WATERINGUES A L'EST DE BERGUES..... 136

I - Rappel sur la Plaine maritime des Wateringues et sur la zone située à l'Est de Bergues..... 137
- Description de la zone incluant les Moëres..... 142
II - Etude du modelé: aperçu géographique, définition des chenaux..... 143
III- La nature des matériaux en place, résultats des prospections..... 146

IV - Les résultats d'analyses..... 149
V - Originalité de la région orientale des Wateringues. Conséquences sur les sols..... 151
Conclusion..... 153

CH III- LES CARACTERES DES SOLS DE LA BORDURE INTERIEURE DE LA PLAINE MARITIME DES WATERINGUES..... 154

I - Rappel sur la Plaine maritime et ses versants: approche sédimentologique..... 155
II - Les sites d'observation et de mesures..... 157
1 - Le site du Calaisis au niveau de la rivière St Tricat... 157
2 - Les sites de la zone des anciens estuaires..... 157
3 - Les sites de la zone des Moëres à l'Est de Bergues..... 159
III- Résultats des analyses minéralogiques..... 160
IV - Influence des versants, approche granulométrique..... 161
V - Influence du versant: apport de carbonate de calcium..... 162
1 - Les apports de calcaire dans les sols..... 164
2 - La variation du taux de calcaire dans les sols..... 165
3 - Distribution et age des formations de tufs calcaires.... 166
VI - Variation spatiale des caractères des sols..... 168
Conclusion..... 171

CH IV - LES SOLS DE LA FLANDRE INTERIEURE (EXEMPLE DU PERIMETRE DE METEREN)..... 172

Introduction..... 172
I - Le modelé et les paysages de la Flandre intérieure..... 173
II - Géologie..... 174
1 - Les formations tertiaires..... 174
2 - Le Quaternaire..... 174
III- Les collines de Méteren..... 175
1 - La situation géographique..... 176
2 - Rappel de la géologie..... 176
3 - Les résultats de la prospection..... 176
4 - Commentaire de la carte..... 177
IV- Discussion sur les particularités des formations de couverture de la Flandre intérieure..... 179
1 - Epaisseur des limons..... 179
2 - Affleurement des matériaux argileux..... 179
3 - Les variabilité spatiale de la texture des limons..... 180
4 - Les formations de remplissage des vallons et talwegs.... 182
V - La pédogénèse..... 185
- Les sols argileux des collines..... 186
- Les sols limoneux..... 186
- Les sols anciens..... 187
- La disposition des limons et des sables dans les sols..... 187
Conclusion..... 190

CH V - LES SOLS DE LA PLAINE DE LA LYS ET DE SES BORDURES (Etude de quelques sites)..... 191

I - Présentation de la Plaine de la Lys..... 193

II - Les sols du secteur d'Aire-sur-la-Lys - Blarighem
au débouché de la Melde..... 196
1 - Les dépôts..... 198
2 - Les sols..... 200
3 - La chronologie des dépôts et des sols..... 201
4 - Influence des formations de versant sur les variations
de la texture dans l'axe des vallons..... 203
5 - Minéralogie des sols..... 207
III- Secteur de Méteren au débouché de la Becque Méteren..... 209
1 - Les dépôts..... 209
2 - Les sols..... 211
3 - Les variations de texture dans l'axe des vallons..... 211
4 - Minéralogie des argiles..... 215
IV - Le secteur de Hinges au débouché de la Lawe..... 215
1 - Les dépôts..... 218
2 - Les sols..... 218
Conclusion..... 218

CH VI - LES SOLS DE LA PLAINE DE LA SLACK..... 220

Introduction..... 220
I - Description générale de la plaine..... 221
II - La géologie..... 223
III- Le modelé de la plaine et du bassin-versant..... 223
IV - Les sols du bassin-versant..... 226
V - Les dépôts et les sols de la Plaine de la Slack..... 228
VI - Les débits des rivières sur le bassin-versant de la
Slack..... 232
Conclusion..... 235

CH VII- LES SOLS ANCIENS DU HAUT PAYS..... 236

I - L'organisation du relief..... 236
II - Les paléosols des régions hautes..... 237
III- La complexité de l'organisation et de la distribution
des sols anciens..... 238
IV - Exemples de paléosols..... 239
1 - Les sols rouges fersialitiques du Mont Cornet..... 239
2 - Les sols rouges de Nabringhen..... 242
3 - Les argiles à silex..... 246
4 - Les limons et les limons sableux avec silex..... 246
5 - Les sols de Mouriez dans le pays de Montreuil..... 247
6 - Les sols anciens des sommets des Monts de Flandre..... 249
7 - Les sols de la Thiérache développés sur des altérites
schisteuses..... 249
Conclusion..... 251

CONCLUSION..... 252

III• partie

LA CONNAISSANCE DES SOLS ET LES AMENAGEMENTS..... 253

INTRODUCTION..... 254

CH I - L'EROSION DES TERRES AGRICOLES DE LA REGION DU NORD.... 255

Introduction..... 255
I - L'apparition du ruissellement et de l'érosion..... 257
II- Causes de l'érosion..... 260
1 - La nature des sols..... 260
2 - Les successions culturales..... 260
3 - La mécanisation..... 261
4 - Les effets du climat..... 262
III - Les méthodes de mesure..... 263
1 - Inventaire des traces d'érosion..... 263
2 - La cartographie des sols..... 266
3 - Analyse de sols..... 266
4 - Pénétrométrie..... 268
5 - Mesures d'infiltration sous simulateur de pluie..... 268
6 - Autres mesures..... 272
IV - Extension des zones sensibles à l'érosion..... 272
V - Les propositions de lutte anti-érosion.....275
Conclusion..... 277

CH II - LE BASSIN-VERSANT DE LA SENSEE. SON SCHEMA HYDRAULIQUE. 279

Introduction..... 279
I - Description du bassin-versant..... 280
II - Géologie et sols du bassin de la Sensée..... 283
III- Relation entre les sols et l'eau..... 287
IV - Le schéma hydraulique de la Sensée..... 291
1 - Eléments du schéma hydraulique..... 292
2 - Méthode d'élaboration du schéma..... 294
3 - Précision du document..... 294
4 - Intérêt du schéma hydraulique..... 295
V - Discussion sur l'opportunité du schéma hydraulique..... 296
Conclusion..... 300

CH III- LES CONSEQUENCES DU DRAINAGE DES TERRES AGRICOLES, SUR LES SOLS ET LES PAYSAGES DE LA REGION DU NORD DE LA FRANCE..... 301

Introduction..... 301
I - Description générale de la Région du Nord..... 302
II - Climatologie et origine de l'humidité..... 303
III- Particularités hydrauliques de la Région Nord..... 304
IV - Les besoins en drainage..... 304
V - La volonté d'utiliser les sols pour l'usage agricole..... 306
VI - Les techniques du drainage..... 309
VII- Influence du drainage sur les sols..... 312
VIII-Influence sur les paysages..... 314
IX - Les contraintes de l'aménagement hydraulique général..... 320

X - Le drainage dans les différentes petites régions..... 323
1 - Les plaines basses..... 323
2 - Les zones argileuses hautes..... 326
Conclusion..... 330

CH IV - LA SALINITE DES SOLS DE LA NAPPE DE LA PLAINE MARITIME DES WATERINGUES..... 331

I - Rappel sur l'organisation des principales plaines littorales du Nord de la France..... 332
II - La présence du sel..... 333
1 - La présence du sodium dans les sols..... 334
2 - La salinité de la nappe..... 338
3 - Effets de la salinité sur le drainage..... 338
4 - La salinité des rivières et des émissaires de drainage. 338
5 - La notion d'interface..... 339
III- Le fonctionnement du réseau hydraulique des Wateringues en relation avec le sol..... 340
IV - La maîtrise de la salinité..... 342
1 - Le fonctionnement du drainage..... 342
2 - Le lessivage du sol..... 343
3 - Les inondations à l'eau de mer..... 345
4 - Les portes à la mer..... 349
5 - La spécialisation des exutoires..... 349
6 - Les brulins..... 351
V - Bilan du sel..... 352
Conclusion..... 358

CH V - LIXIVIATION DES ENGRAIS EN TERRE MARAICHERE DANS LE MARAIS DE SAINT-OMER..... 359

I - Présentation du marais..... 360
II - Hydrologie..... 363
III- Description de la parcelle d'essai..... 363
1 - Situation de la parcelle..... 363
2 - Description du sol..... 365
V - Dispositif expérimental..... 365
1 - Essai de fertilisation..... 365
2 - Les dispositifs de mesure..... 368
3 - Résultat de mesures..... 372
. Evolution des teneurs en nitrates dans le sol..... 376
. Evolution des teneurs en nitrates dans la nappe..... 376
. Bilan de l'azote..... 378
. Evolution des teneurs en phosphates..... 380
. Evolution des teneurs en potasse..... 382
. Bilan de la potasse..... 382
. Possibilité de stockage des éléments fertilisants P et K dans la tourbe..... 382
. Les propositions..... 384
Conclusion..... 385

CH VI - APTITUDE DES SOLS A L'EPURATION PAR EPANDAGE SOUTERRAIN DANS LE DEPARTEMENT DU NORD DE LA FRANCE..... 386

I - Le département du Nord, aptitude des sols à l'épandage souterrain..... 387
II - Légende du schéma des terrains..... 388
III- Caractérisation hydrodynamique des sols..... 390
Conclusion..... 393

CONCLUSION 395

IV• partie

LES INVENTAIRES CARTOGRAPHIQUES: DES OUTILS D'AIDE A LA DECISION POUR LA GESTION DES TERRES, EXEMPLE DANS LA REGION NORD..... 396

INTRODUCTION..... 3973

CH I - LA REALISATION DE LA CARTE DEPARTEMENTALE DES TERRES AGRICOLES DANS LA REGION DU NORD..... 400

I - L'examen des cartes géologiques..... 403
II - L'étude du modelé et des formes de relief..... 403
III- Prospection des sols..... 405
IV - La carte de texture..... 407
V - La cartographie de l'hydromorphie des sols..... 407
VI - La carte des pentes..... 410
VII- Parcellaire et traces d'érosion..... 412
VIII-Le schéma hydraulique..... 414
IX - La carte des agrosystèmes..... 414
X - Carte des contraintes ou de classement des sols..... 417
XI - Carte de classement des terres agricoles..... 421
XII- Critique de la méthode de classement des terres et transparence du document..... 421
XIII- Utilisation de la C.D.T.A..... 424
Conclusion..... 425

CH II- INVENTAIRE DU MILIEU ET SCHEMA DE REPARTITION DES SOLS DE L'ARRAGEOIS ORIENTAL (CANTONS DE CROISILLE - VITRY - MARQUION - BAPAUME)..... 426

I - Présentation géographique du périmètre..... 428
1 - Situation géographique générale..... 428
2 - Le relief..... 428
3 - Hydrographie..... 430
4 - Géologie..... 432
5 - Climatologie..... 432
II - Reconnaissance des sols..... 435
1 - Proposition d'un schéma de répartition des sols..... 435
2 - Justification d'un schéma de répartition des sols agricoles..... 436
3 - Reconnaissance des sols agricoles dans le périmètre.... 438

III- Analyse des sols..... 443
IV - Zonage des sols engorgés: carte d'hydromorphie..... 445
V - Carte du ruissellement et de l'érosion, et description des paysages ruraux..... 448
VI - Place relative des différentes cultures et grands types d'exploitation..... 450
1 - Les agrosystèmes de la région étudiée..... 450
2 - Répartition des plantes sarclées..... 452
VII- Matériel, travail du sol, techniques culturales..... 452
VIII-Analyse des écarts de rendement..... 456
Conclusion..... 458

CH III - INVENTAIRE DES SOLS DE LA VALLEE DE LA HAUTE LYS EN VUE DE LEUR DRAINAGE..... 459

I - Géographie du secteur de la Haute Lys..... 460
II - Délimitation de la zone d'étude..... 461
1 - Analyse du modelé..... 461
2 - Examen des cartes géologiques..... 462
3 - Observation in situ de la végétation et de l'humidité superficielle..... 463
4 - Conclusion..... 464
III- La reconnaissance des sols..... 464
IV - Mesure des caractéristiques hydrodynamiques des sols..... 465
V - Caractéristiques des réseaux de drainage..... 467
VI - Coût des réseaux de drainage..... 468
VII- Proposition technique: aide à la décision..... 469
Conclusion..... 470

CH IV - L'INTERET DE LA CARTOGRAPHIE DES SOLS POUR L'AGRICULTURE..... 472

I - Connaissance des sols à partir de l'expérience des praticiens..... 473
II - Critique de ces méthodes..... 475
III- Proposition de cartographie des sols..... 476
IV - Les raisons pratiques de l'intérêt d'une cartographie des sols..... 477
Conclusion..... 479

CH V - REFLEXION SUR LA GESTION ECONOMIQUE DE LA CARTOGRAPHIE DES SOLS..... 481

Introduction..... 481
I - Mesure partielle des gains obtenus grâce aux études des sols préalables à plusieurs types d'aménagement foncier..... 482
1 - La technique de drainage..... 482
2 - Etude des sols en vue d'organiser la lutte anti-érosive 485
3 - Etude de sol préalable à l'épandage souterrain..... 487
4 - Discussion..... 487
II - Les démarches de gestion et planification..... 488
1 - Gestion et planification des investissements industriels. Gains induits par la connaissance des sols 488

2 - Gains induits par l'organisation et la gestion des études de sols..... 489
3 - Discussion..... 491

III- Choix en matière d'organisation des reconnaissances de sols..... 492
1 - Planification des reconnaissances de sol..... 492
2 - Rapports entre les coûts financiers et les échelles.... 493
IV - La relation avec l'utilisateur, la transmission des données des études de sols à l'utilisateur..... 495.
1 - Le langage..... 495
2 - La stratégie de la décision..... 496
3 - Les attitudes face à la décision..... 497
V - Apport de l'expérience de la Région du Nord sur la connaissance des sols..... 499
1 - Apport à l'amélioration des connaissances..... 499
2 - Apport à la pédologie appliquée..... 500
3 - Apport à l'analyse économique et à l'aide à la décision.501

CONCLUSION..... 505

CONCLUSION GENERALE..... 507

BIBLIOGRAPHIE..... 514

LISTE DES FIGURES..... 544

ANNEXES..... 554
- Annexe I - Chronologie des dépôts quaternaires..... 555
- Annexe II - Eléments de géologie des secteurs de Blaringhem Méteren, Hinges. Bordure de la Plaine de la Lys.. 558
- Annexe III- Fonctionnement du drainage par drains enterrés... 562
- Annexe IV - Classification des exploitations agricoles. Calcul de la Marge - Brute - Standard (M.B.S.)... 565

TABLE DES MATIERES..... 568

BIBLIOTHEQUE INTERUNIVERSITAIRE
SECTION DE SCIENCES
LILLE