

CONVENTION DE RECHERCHES

CONSEIL REGIONAL POITOU-CHARENTES/INRA

Contrat aménagement de la zone de marais
Conséquences de l'aménagement agricole
sur les autres activités

COMPTE-RENDU FINAL DE LA RECHERCHE

Mars 1989

INRA-SAD
SAINT LAURENT DE LA PREE

C. CHEVALLIER

IFREMER
LA TREMBLADE

M. HERAL, D. RAZET

INTRODUCTION

Dans le contexte de développement agricole très actif des trente dernières années les marais atlantiques littoraux qui couvrent, pour leur partie endiguée environ 300.000 ha. ont été et continuent d'être soumis à des transformations importantes qui influent sur la circulation et la qualité des eaux de surface. Ce développement, visant à une amélioration de la productivité et à une meilleure intégration de l'activité agricole dans les grands processus économiques, s'est appuyé, là comme ailleurs, sur les intensifications fourragère et surtout céréalière. L'adaptation de ce modèle général aux caractéristiques écologiques du milieu nécessitait de limiter les effets des excès d'eau hivernaux sur la mise en culture ainsi que ceux de la sécheresse estivale sur les productions herbagères et animales. Elle s'est donc accompagnée de techniques et d'aménagements particuliers.

C'est la dynamique d'assèchement et de drainage qui a le plus marqué le milieu à partir des propositions techniques élaborées sur la station INRA de SAINT LAURENT DE LA PREE. Il en résulte d'importantes transformations dans un espace riche et fragile sur le plan écologique, et constamment soumis à des conflits d'usage vis à vis de la gestion des eaux de surface. Ce type de développement agricole soulève de la part des autres utilisateurs du marais de nombreuses questions et suscite parfois de vives polémiques. Les risques liés au rejet des eaux de drainage demeurent le sujet d'affrontement le plus fréquent. Dans le cas, en particulier, de la profession conchylicole, qui est située à proximité immédiate des zones agricoles récemment aménagées, on redoute une dégradation de la qualité des eaux littorales sous l'effet de pollutions chimiques.

De nombreuses études ont été conduites dans le but de cerner ces risques éventuels. L'une d'entre elles (C CHEVALLIER et al 1981) menée sous forme d'enquête a mis en évidence la très grande variabilité des teneurs observées selon la pratique agricole, le système d'exploitation, le système de drainage, et surtout la nature du sol.

C'est la raison pour laquelle il est apparu nécessaire d'engager une approche plus explicative à partir d'une situation expérimentale où l'ensemble de ces paramètres puisse être maîtrisé et contrôlé.

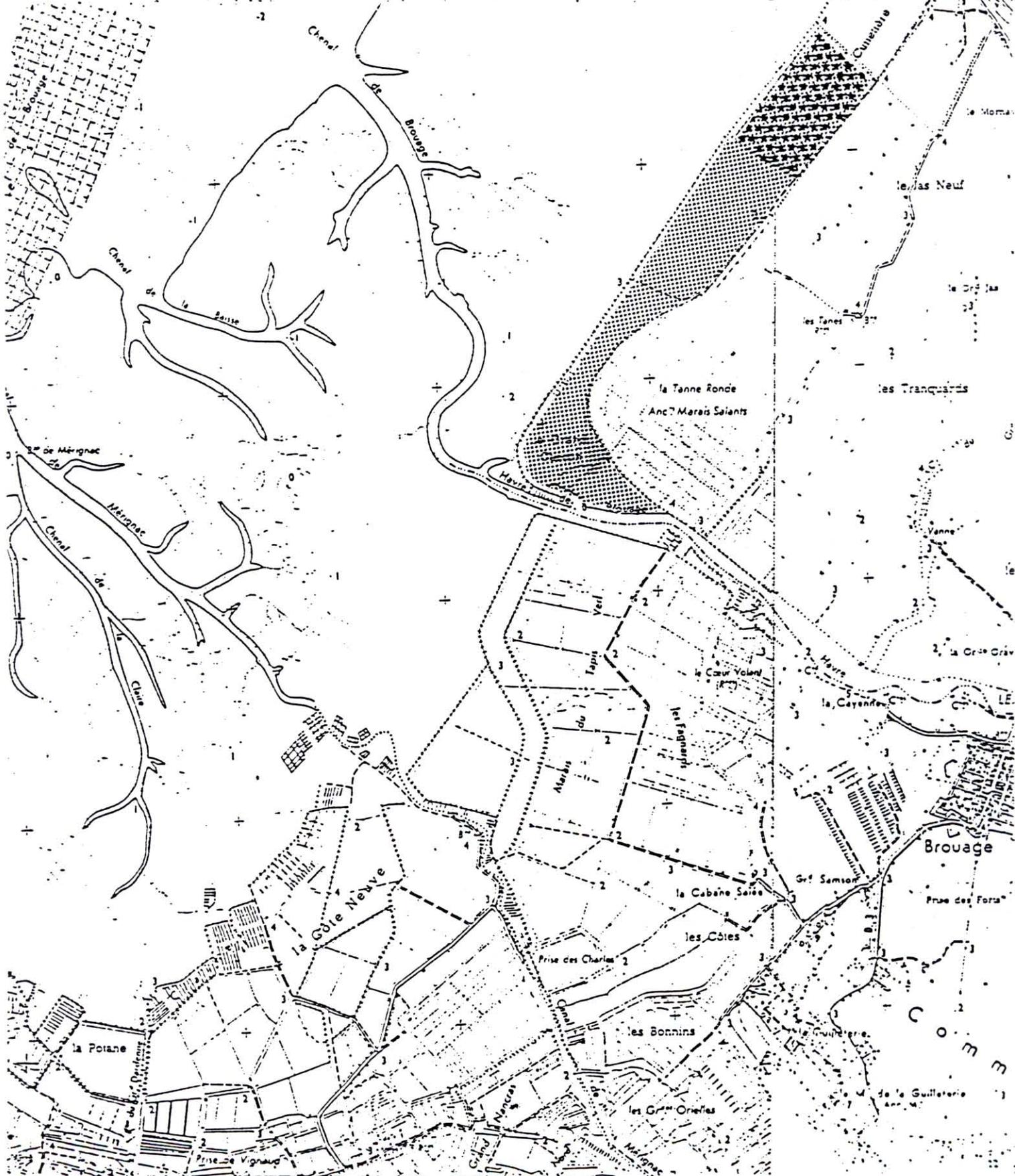
La possibilité de mettre sur pied ce projet de recherche s'est offerte en 1978 sur un polder récent, nouvellement acquis par le Conservatoire du Littoral et des Rivages Lacustres, et situé sur la commune de MOEZE dans le bassin ostréicole de MARENNES-OLERON. Sur ce périmètre, mis en réserve ornithologique, 25ha. ont été cédés en gestion à l'INRA pour y mener des recherches concertées avec l'IFREMER sur le thème de la compatibilité de l'agriculture et de la conchyliculture ; cette situation de sol neuf, sans arrière-effet, constituait une



Périmètre géré par l'I.N.R.A.



Polder acquis par le Conservatoire du Littoral



Carte n° 1 : Situation du polder
(d'après carte I.G.N. 1/25.000)

opportunité exceptionnelle pour recréer des évolutions pédologiques sous différents systèmes d'assainissement et différentes couvertures végétales.

Grâce à un financement octroyé par la Région POITOU CHARENTE en 1978 les infrastructures nécessaires ont pu être réalisées (voies d'accès, électrification, réseau de collecteurs enterrés, dispositifs de mesure sur les eaux, station de pompage).

Un contrat de recherche établi en 1984 dans le cadre de la convention INRA-Région POITOU CHARENTE pour le 9ème Plan a permis de soutenir ce projet pendant cinq ans. Le présent rapport fait le compte-rendu des travaux effectués et des résultats obtenus.

SITUATION EXPERIMENTALE ET PROTOCOLE DE RECHERCHE

A OBJECTIFS GENERAUX

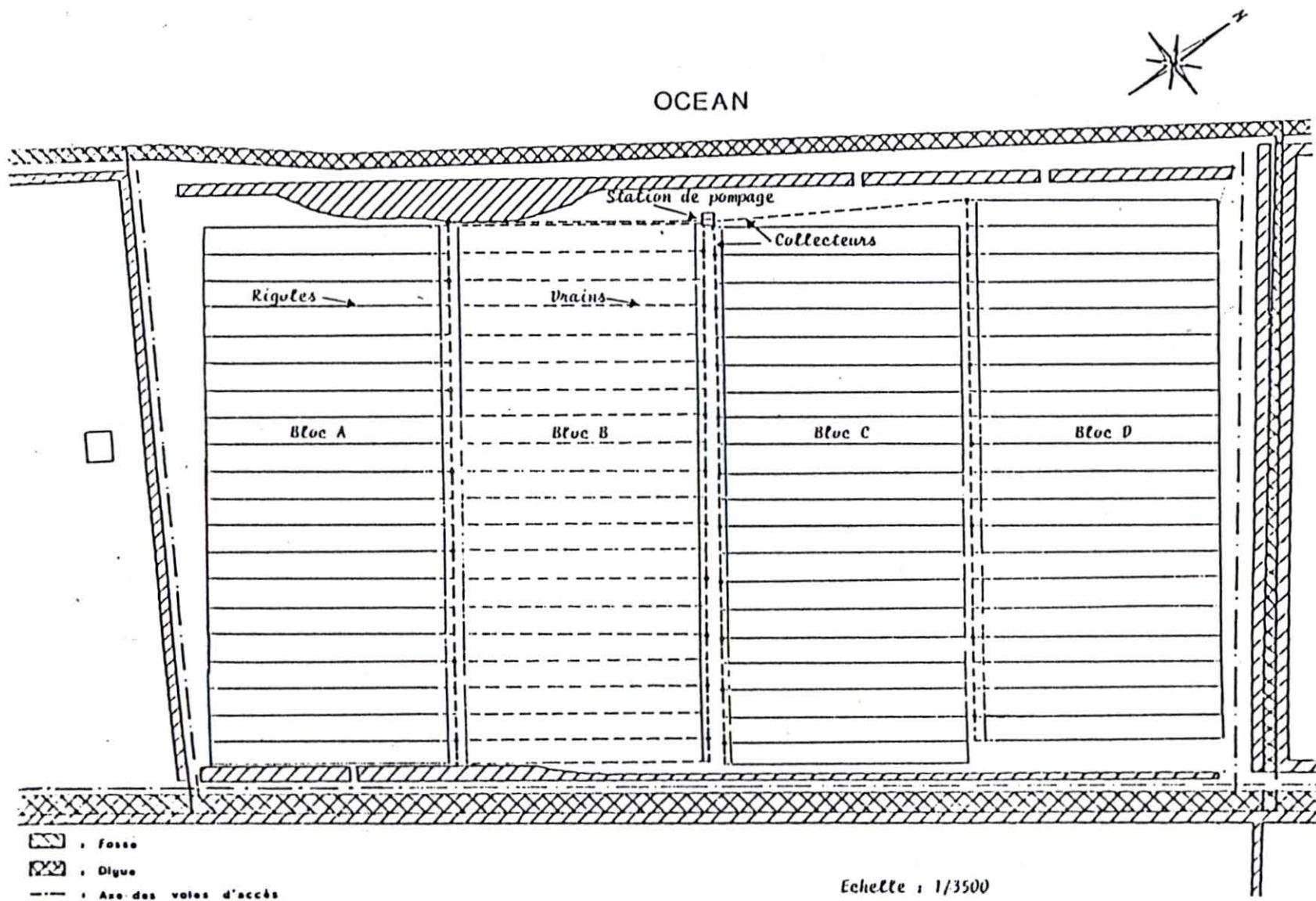
Les travaux menés à partir de la station INRA de SAINT LAURENT DE LA PREE dans un réseau expérimental extérieur ont mis en évidence l'hétérogénéité de comportement agronomique des sols de marais, malgré leur très grande homogénéité texturale (sols argileux comportant 50 à 60% de particules de taille inférieure à 2 μ). Ils ont, en particulier, montré le rôle des processus de dessalinisation-sodisation sur leur stabilité structurale et l'influence de cette évolution chimique sur l'aptitude au drainage et sur la qualité des eaux drainées. Afin d'étudier les relations entre l'état structural du sol et la composition des eaux de drainage, il importait de reconstituer différents itinéraires de dessalage à partir d'un sol sédimentaire marin récemment exondé et, ainsi, de recréer expérimentalement une gamme diversifiée de sols se rapprochant de la diversité naturelle des marais.

B MISE EN OEUVRE EXPERIMENTALE

a) Etat initial du polder

Ce polder est situé à l'embouchure du havre de BROUAGE dans cette zone côtière du bassin de MARENNES-OLERON soumise à un phénomène d'envasement de grande ampleur comme en témoigne l'importance de la vasière au-delà des digues actuelles entre la côte et l'île d'OLERON (voir carte n°1). Sa mise hors d'eau correspond aux dernières concessions pour endiguement accordées en vue de créer des surfaces agricoles après l'abandon définitif de l'exploitation du sel aux environs de 1920. Il est constitué d'une bande de terre d'axe S.O.-N.E. comprise entre deux digues, d'une largeur moyenne de 350 m. et d'une longueur d'environ 2.500 m. La digue intérieure correspond à l'endiguement de 1930. La digue actuellement au contact de la mer a été établie vers 1950 après qu'un premier ouvrage réalisé vers 1930 ait été rapidement détruit à la hauteur du périmètre de l'INRA. C'est à ce niveau, qui est un des points d'attaque de la mer, qu'une brèche a mis fin à une tentative de mise en culture et a causé le réenvahissement du polder par la mer. La réfection de cette digue vers 1970 l'a amenée dans son état actuel, une consolidation a cependant été effectuée en 1980. Le

Figure n° 1 : Assainissement du périmètre.



polder comporte trois casiers, le casier occupant l'extrémité N.-E. a été dévolu à l'INRA.

Lors de la mise sur pied du programme de recherche INRA-IFREMER, l'état du périmètre correspondait bien à la situation de sol "neuf" recherchée.

Un état initial approfondi sur les plans morphologique, pédologique et floristique a été dressé en 1979 et a donné lieu à une publication (C.CHEVALLIER et al. 1984).

b) Systèmes d'assainissement et systèmes de production

Pour accélérer et diversifier les évolutions pédologiques, des systèmes de culture aussi différenciés que possible ont été mis en oeuvre en jouant sur les systèmes de production et les aménagements hydrauliques :

-Systèmes de production :

- * Mise en culture (céréales)
- * Prairie temporaire de longue durée (fétuque élevée)
- * Prairie naturelle

-Aménagements hydrauliques:

- * Drainage superficiel par rigoles
- * Drainage superficiel par rigoles et profilage du sol en ados
- * Drainage profond par drains enterrés

Les surfaces expérimentales, qui couvrent 16 ha. sur les 25 gérés par l'INRA, ont été réparties suivant quatre blocs (figure n°1 et tableau n°1) :

Bloc	Assainissement	Système de production	Surface (ha)
Bloc A	Rigole	Prairie naturelle	4,20
Bloc B	Drain enterré	Prairie temporaire Culture	0,42 3,36
Bloc C	Rigole et ados	Prairie temporaire Culture	0,42 3,36
Bloc D	Rigole	Prairie temporaire	4,20

Tableau n°1 : Répartition des surfaces expérimentales

Les parcelles élémentaires ont une surface de 0,42ha. Elles sont constituées de deux planches contigües de 15m.x140m., ces planches étant délimitées par les dispositifs d'assainissement

(drain ou rigole espacé de 15m.) ; le drain ou la rigole qui occupe la position centrale de chaque parcelle et qui ne reçoit donc pas d'influence extérieure est utilisé pour tous les contrôles d'eau relatifs à cette parcelle.

c) Conduite agricole

Le choix des conduites agricoles (rotations, niveau de fertilisation, apports d'amendement par gypse) a également eu pour but de diversifier les évolutions pédologiques.

-Cultures assolées (drainage enterré ou ados et rigoles) :

Dans ce cas un éventail de conduites assez large été établi, en incluant notamment des cultures de printemps ou des cultures à mauvais état végétatif (non fertilisées) réputées très défavorables pour l'état structural des sols de marais.

Type	Rotation	Fertilisation (kg/ha N)
Type n°1	1978-82 : maïs-céréales d'hiver 1982-88 : céréales d'hiver	150 150
Type n°2	1978-88 : céréales d'hiver	0
Type n°3	1978-82 : maïs-maïs gypsage 1982-88 : céréales d'hiver	150 150
Type n°4	1978-83 : céréales d'hiver gypsage 1983-88 : céréales d'hiver	150 150

Tableau n°2 : Conduite type des cultures sur drainage enterré ou sur ados et rigoles.

-Prairies temporaires :

Toutes les implantations de prairies artificielles ont été réalisées avec de la fétuque élevée, du fait de son bon comportement en milieu hydromorphe et de sa résistance à la salinité. Leur exploitation a été faite par ensilage avec deux coupes annuelles. La diversité des situations résulte, là aussi, des modes de fertilisation, des gypsages éventuels et des aménagements hydrauliques (tableau n°1). Dans certains cas, des décompactages mécaniques (paraplow) et des tranchées drainantes transversales (rigoles Bourgela) ont été réalisées afin d'améliorer la perméabilité du sol.

Type	Assainissement		Fertilisation (kg/ha N)
Type 1	Rigole		0
Type 2	Rigole		150
Type 3	Rigole	gypsage, "paraplow" et tranchées drainantes en 1983	150
Type 4	Ados	gypsage en 1979	120
Type 5	Drain	gypsage en 1979	120

Tableau n°3 : Conduite des prairies artificielles

-Prairies naturelles :

 Les conduites sur prairies naturelles sont analogues à celles pratiquées sur prairies artificielles, mises à part, bien entendu, les situations sur drains ou sur ados et rigoles (tableau n°4). Leur exploitation a été faite par fauche.

Type	Assainissement		Fertilisation (kg/ha N)
Type 1	Rigole		0
Type 2	Rigole		150
Type 3	Rigole	gypsage, "paraplow" et tranchées drainantes en 1983	150

Tableau n°4 : Conduite des prairies naturelles

d) Résultats culturaux

La conduite agricole ayant eu pour but de créer des situations très différenciées, les rendements obtenus sont très variables, et globalement médiocres en dehors des parcelles de référence où de bonnes pratiques agricoles ont été appliquées (type 4 pour les cultures, types 3, 4, 5 pour les prairies artificielles, type 3 pour les prairies naturelles).

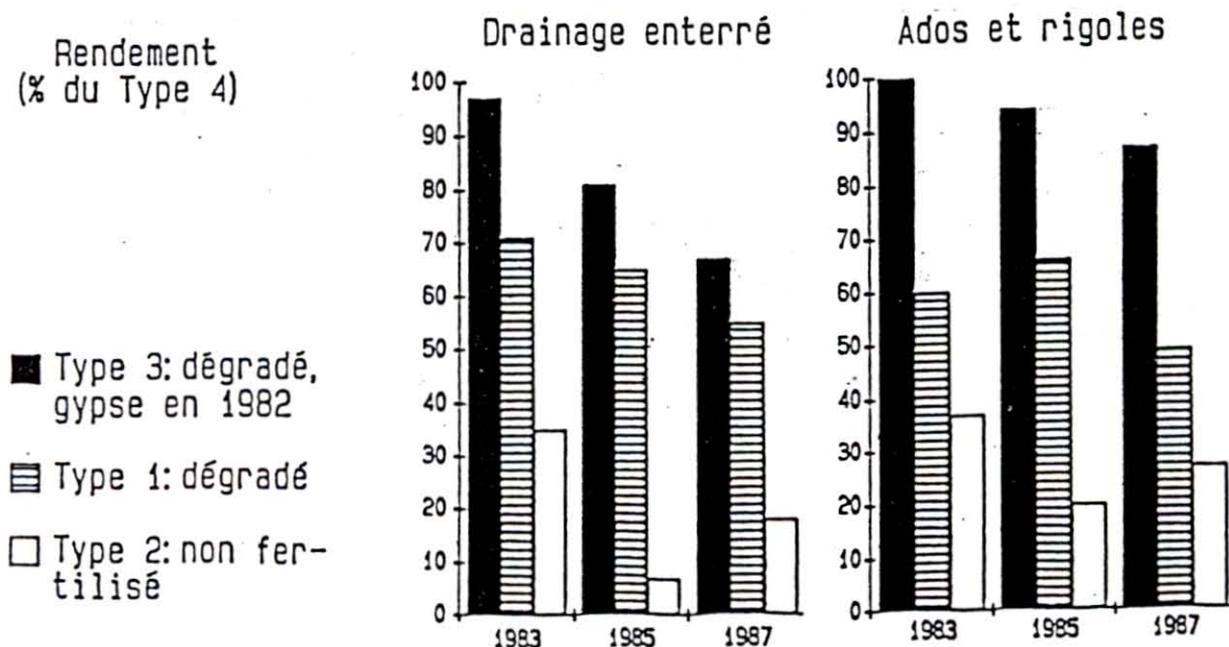
-Cultures :

 Dans tous les cas, les cultures de printemps (maïs grain) ont été des échecs, du fait de l'excès d'humidité soit au semis soit à la récolte ; ceci confirme bien l'intérêt des cultures d'hiver pour ces sols fragiles comme l'ont démontré précédemment les travaux de la Station de SAINT LAURENT DE LA PREE. Néanmoins, ces essais, tentés quatre années consécutives sur deux parcelles de 1979 à 1983, ont permis de créer des situations dégradées très utiles pour la présente étude. A titre d'exemple les résultats concernant le blé tendre d'hiver sont rassemblés dans le tableau n°5. Ces résultats montrent les meilleures performances du drainage en situation améliorée (type 4), et du système ados-rigoles en situation relativement dégradée (type 3). L'étude de l'évolution relative des rendements par rapport à la référence maximale (type 4) de 1983 à 1987 fournit des indications intéressantes sur la pérennité des améliorations par gypsage (voir figure n°2 ci dessous).

Tableau n°5 : Rendements observés sur blé d'hiver (var. TOP)

Assainissement	Rendements moyens et (maxima) (q./ha.)			
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Drains	23 (33)	7 (11)	35 (40)	44 (60)
Ados et rigoles	18 (33)	10 (11)	38 (47)	40 (50)

Figure n°2 : Evolution comparée sur cinq ans des rendements de blé d'hiver pour quatre types de conduite agricole



La figure n°2 montre que l'effet du gypse est immédiatement très sensible ; l'année suivant l'apport, les rendements sont identiques entre les parcelles de type 4 (référence maximale) et les parcelles de type 3, dégradées par les tentatives de culture de maïs, et gypsées en 1982 à raison de 20 t/ha. Cette amélioration est aussi nette sur drains que sur ados. En revanche, elle diminue rapidement au fil des ans, notamment dans le cas du drainage, puisque, cinq ans plus tard le rendement en type 3 n'est plus que de 60% de celui du type 4. Il semble donc que des pratiques défavorables pour la structure du sol entraîne des transformations irréversibles dont les effets se cumulent d'année en année. L'amélioration due au gypse n'est que momentanée. Dans le cas des parcelles dégradées sans apport de gypse (type 1) sur drainage, on constate la même évolution.

-Prairies artificielles :

L'influence des aménagements et des conduites agricoles s'est manifestée de façon moins sensible sur les surfaces en prairies artificielles (voir tableau n°6 ci après). Aucune mesure n'a été faite sur prairie naturelle.

Production 1985 (M.S. t/ha.)

Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5
3,9	5,6	5,1	6,0	5,6

Tableau n°6 Production des prairies artificielles.

C MESURES EXPERIMENTALES

a) Mesures climatologiques

Une station automatique perfectionnée a été établie en remplacement d'une première station semi-automatique installée lors de la création du périmètre ; elle permet notamment la mesure de tous les paramètres nécessaires au calcul de l'évapotranspiration. Compte tenu de sa position au coeur du marais de BROUAGE, ses données sont fréquemment utilisées pour les nombreuses autres études menées dans cette région. En comparaison avec les stations situées plus à l'intérieur des terres, elle permet également d'évaluer les effets climatiques dus à la proximité de la côte.

b) Mesures sur les plantes

En dehors de l'étude floristique initiale, les mesures ont essentiellement concerné les rendements à la parcelle. Par ailleurs des observations de profils racinaires en relation avec l'état structural du sol ont été faites sur culture et sur prairie artificielle.

c) Mesures sur le sol

L'état initial approfondi effectué en 1978 sur les plans morphologique et chimique a permis d'apprécier les premières évolutions pédogénétiques liées à l'exondation ainsi que les gradients de dessalure en fonction de l'éloignement à la mer et de la topographie. Ces mesures se fondent sur des descriptions morphologiques de profils pédologiques et sur des analyses chimiques visant surtout à caractériser la* salinité et les bases échangeables. Elles ont été reprises au cours de l'étude, notamment en 1986, dans un Diplôme d'Etude Approfondie de Science des Sols (M. AZIB 1986). Un bilan chimique global a été dressé en 1988 sur l'ensemble du périmètre.

d) Mesures sur l'eau

Les mesures sur l'eau ont été d'ordre quantitatifs (niveaux de nappe, débits) et qualitatifs (analyses chimiques, charge en particules) ; c'est sur le deuxième point qu'une collaboration a été engagée avec la station IFREMER de LA TREMBLADE qui est spécialement intéressée aux problèmes concernant la qualité des eaux de surface et qui dispose d'un laboratoire d'analyses très bien adapté.

-Mesures hydrauliques :

Pour chaque parcelle étudiée, un piézomètre permettait de suivre le niveau de la nappe d'eau dans le sol ; au point de raccordement du drain (ou de la rigole) central de la parcelle avec le collecteur, un dispositif de visite permettait d'effectuer les mesures et les prélèvements. Des appareils d'enregistrement en continu des débits ont été mis au point ; cependant, la conception générale du réseau de collecte des eaux qui s'était fondée sur les valeurs fournies par la littérature pour les débits maxima (2l/s/ha) s'est trouvée très largement sous dimensionnée ; les dispositifs de visite n'ont donc pu être maintenus hors d'eau lors de chaque pointe de débit ; de ce fait, l'ensemble de l'étude a été faite sur des relevés instantanés.

-Analyses physicochimiques

Chaque relevé comportait une mesure immédiate de conductivité et de turbidité, cette dernière mesure étant destinée à une évaluation de la charge en particules des eaux. Les analyses en laboratoire comportaient la recherche des éléments suivants :

Matières en suspension (concentrations, rapports matières organiques, tailles des particules)
pH, salinités
concentrations en anions nitrate, nitrite, silicate, sulfate, phosphate
concentrations en cations sodium, calcium, magnésium, ammonium
concentrations en urée et en acides aminés

L'ensemble de ces déterminations n'a cependant pas été systématiquement reconduit en totalité chaque année.

-Essais biologiques

Des tentatives d'acclimatation d'organismes filtreurs d'eau ont été faites dans le but de concentrer d'éventuels résidus de pesticides, des recherches en continu directement dans les eaux étant d'un coût inaccessible.

EVOLUTION PEDOLOGIQUE ET PERFORMANCES HYDRAULIQUES

A PERMEABILITE

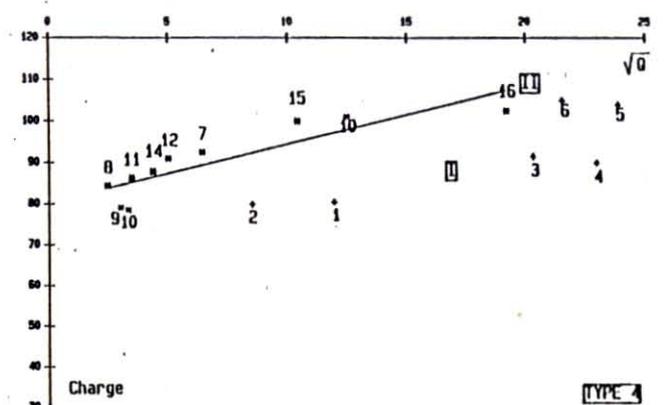
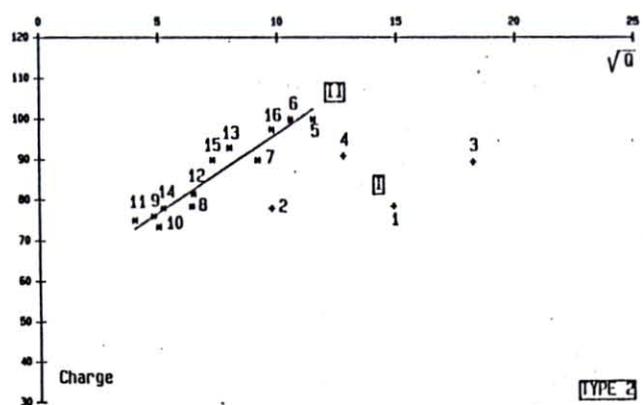
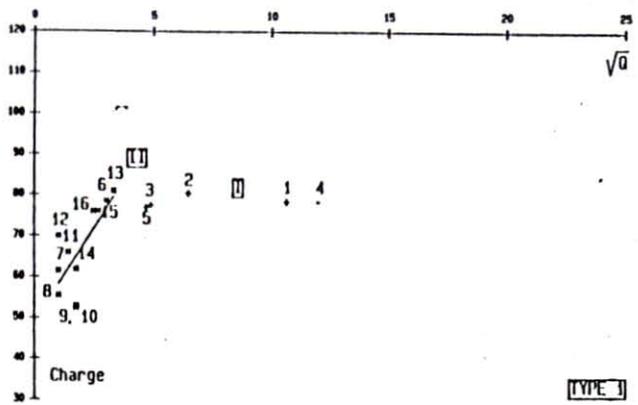
a) Données hydrauliques sur un cycle cultural (1987-1988)

La perméabilité apparente de la parcelle élémentaire peut s'apprécier par l'étude de la relation entre le débit du système de drainage (drain enterré ou rigole) et le niveau de nappe dans le sol. Le comportement hydraulique global des parcelles étudiées est présenté tout au long d'une période d'écoulement (figure n°3), à l'aide des couples de données, débit instantané-charge hydraulique (Q,H).

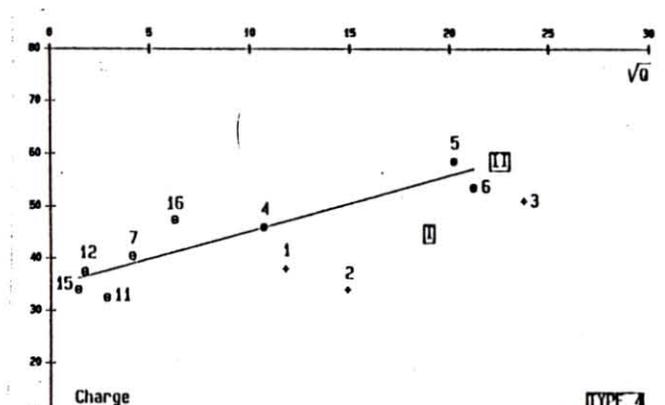
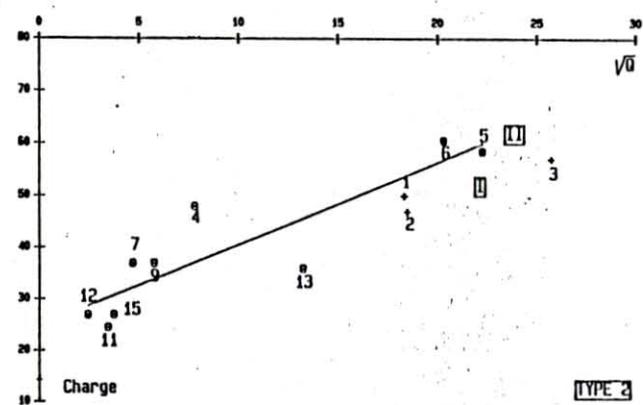
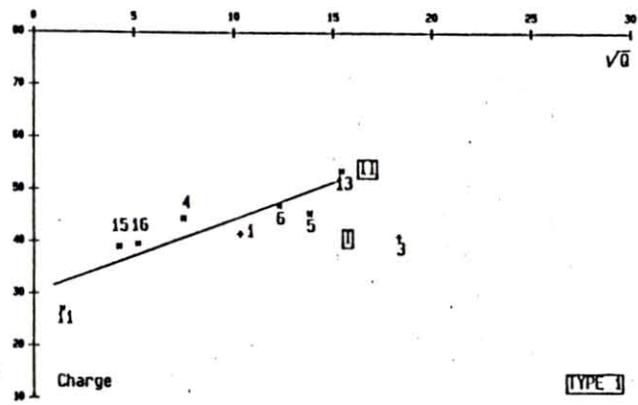
Afin de mettre en évidence la diversification pédologique obtenue en appliquant des conduites agricoles très différenciées, une année récente et suffisamment pluvieuse a été choisie pour cette présentation, à savoir, le cycle cultural 1987-1988 ; la charge hydraulique est mesurée par la différence de niveau entre la nappe en inter-drain (ou en inter-rigole) et le système d'assainissement (drain ou fond de rigole) ; la charge hydraulique est associée à la racine carrée du débit, ceci, en accord avec les formules classiques d'hydraulique appliquées au drainage mais en négligeant la transmissivité des horizons sous jacents aux drains ou aux fonds de rigoles. Cette présentation, justifiée pour les systèmes comportant des rigoles, est critiquable pour les drains enterrés, car dans ce cas la charge hydraulique devrait tenir compte du niveau d'eau au dessus des drains, dans les tranchées de drainage. Il ne s'agit donc pas d'établir des lois débit-charge mais d'illustrer, de façon homogène, la différenciation des perméabilités apparentes entre les parcelles. Les données ont été relevées une fois par semaine, les nombres notés sur les graphiques de la figure n°3 indiquent pour chaque couple ($\sqrt{Q};H$) le numéro d'ordre de la semaine depuis le début des écoulements.

b) Interprétation

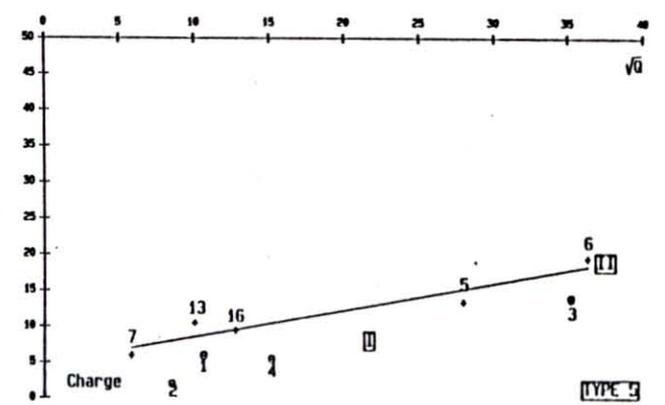
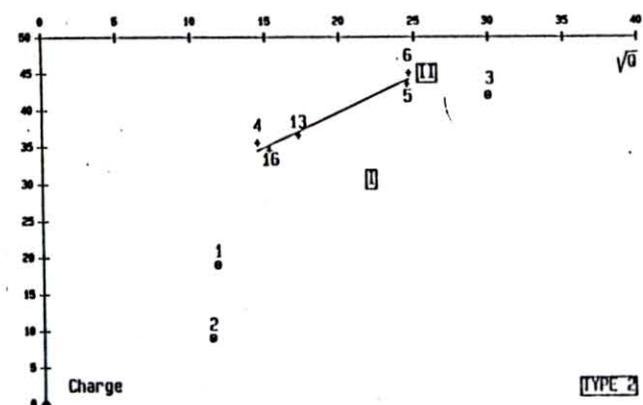
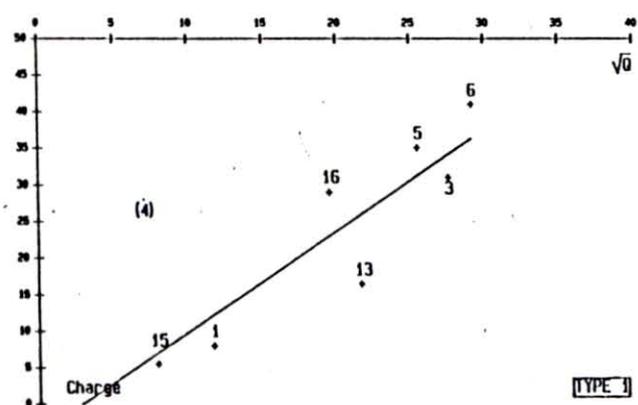
L'observation des pentes H/\sqrt{Q} sur les graphiques de la figure n°3 donne une indication sur la perméabilité apparente des parcelles ; des droites ont été tracées empiriquement en écartant les points hors alignement ; cette construction fait apparaître très clairement et dans toutes les situations, une perméabilité relativement constante à partir de la semaine n°4 ou n°5. Les points hors alignement (n°1,2,3,4, et parfois 5)



CULTURE SUR DRAINS



CULTURE SUR ADOS ET RIGOLES



PRAIRIE TEMPORAIRE

Figure n° 3 : Caractéristiques hydrauliques des différents systèmes d'assainissement.

sont situés sous la droite ; ils correspondent à une charge inférieure pour un débit donné, donc à une perméabilité plus forte.

Ces résultats mettent en évidence une réduction progressive de la perméabilité en début de cycle sur une période longue de plus d'un mois (4 à 5 semaines en 1988). Ils sont à rapprocher des propriétés physiques de ces types de sol dont la structuration prismatique ,avec fentes de retrait très marquées en phase sèche, se "ferme" par gonflement des argiles lors des premières pluies. Le total des précipitations nécessaire à la disparition de la macroporosité sur l'ensemble du profil s'élève à environ 200 mm, au delà on pourrait considérer le sol totalement saturé sur l'ensemble de son profil.

c) Comparaison des situations

Compte tenu des interprétations précédentes, les pentes des droites d'équation $\sqrt{Q} = k(H - p)$ (1) construites avec les points correspondant à la phase de saturation (Zone II sur les graphiques de la figure n°3) permettent un classement des perméabilités selon les types de parcelles étudiées :

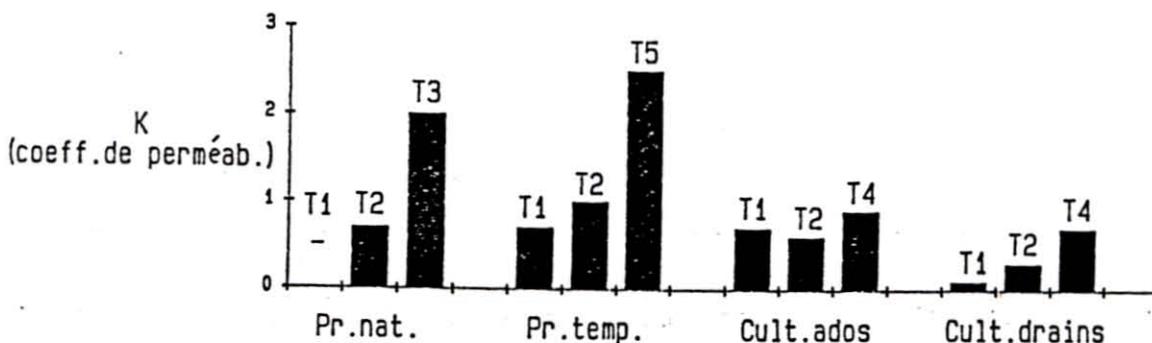


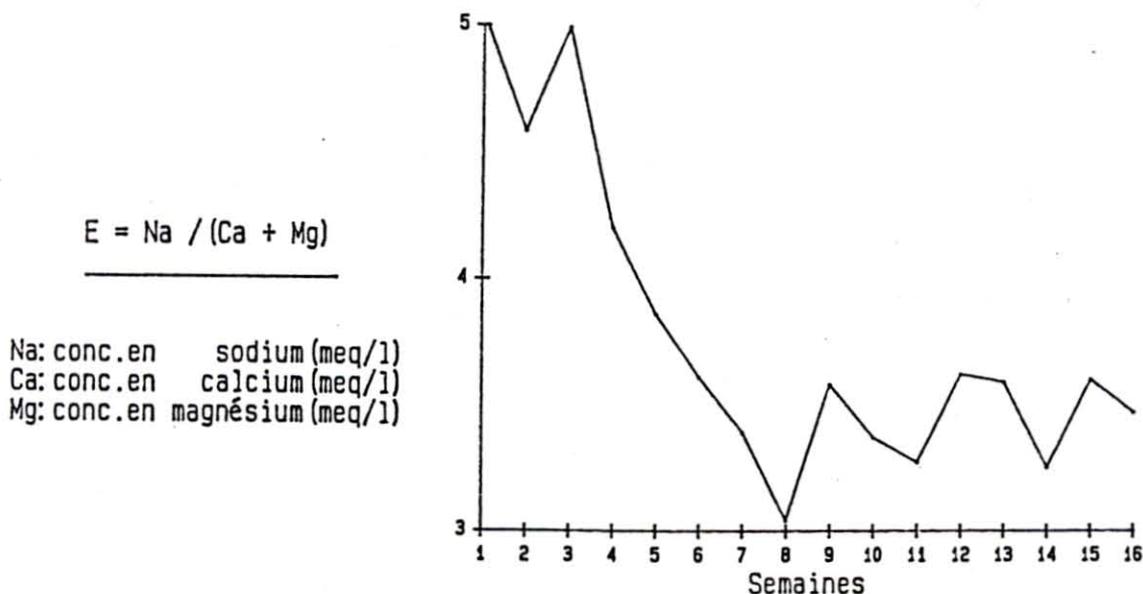
Tableau n° 7 / Perméabilité apparente (coeff. K) des différents types de parcelles à l'état de saturation
($Q = 1.10^{-3}$ /s/ha ; H : cm)

Ces valeurs montrent l'excellente perméabilité des parcelles sous prairies lorsqu'elles sont gypsées (Type 3 en prairie naturelle, Type 5 en fétuque élevée), mais une tendance à la dégradation dans les autres situations (Types 1 et 2). Dans le cas des sols en culture, les perméabilités sont beaucoup plus faibles, les parcelles sur ados conservent cependant une perméabilité très supérieure à celle des parcelles drainées, lorsque les conditions de culture ont été très dégradantes (Types 1 et 2).

B EQUILIBRE CATIONIQUE

L'appréciation de la perméabilité apparente, présentée ci-dessus n'a pu se faire qu'en écartant empiriquement les valeurs correspondant aux premières semaines d'écoulement. Or, les analyses effectuées sur les eaux de drainage montrent, pour ces périodes, des équilibres (sodium / calcium + magnésium) caractéristiques ; dans le cas, par exemple, d'une parcelle drainée (Type 2), on observe des valeurs élevées de cet équilibre cationique (E) pendant la phase de saturation (cinq premières semaines) puis une stabilisation à des valeurs plus faibles les semaines suivantes pendant la phase saturée (voir figure n°5 ci-après)

Figure n°4: Evolution de l'équilibre cationique au cours de la période d'écoulement (parcelle drainée de type 2)



Cette constatation se vérifie dans toutes les situations ; l'équilibre cationique E apparaît donc comme un indicateur de l'état d'"ouverture" du sol. En effet, en admettant que les premiers écoulements transitent préférentiellement par une macroporosité encore présente, leur composition chimique est plus influencée par la base du profil surmontant la nappe que par sa surface. Or on sait d'après les études initiales sur le périmètre qu'il existe, pour les sels solubles du sol, un très fort gradient du rapport $Na / (Ca + Mg)$ vers la profondeur en raison des phénomènes de dessalage ; ceci expliquerait l'enrichissement relatif en sodium des premiers écoulements.

Le rapport E peut être utilisé comme terme correctif de la charge dans la relation $\sqrt{Q} = k(H - p)$, afin d'y intégrer les points correspondant à la phase non saturée. En effet, lorsque le sol est encore fissuré, E a une valeur plus élevée mais, la charge, pour un débit donné, est plus faible. En utilisant le terme E^2 , pour renforcer l'effet de réajustement, on peut écrire :

$$\sqrt{Q} = k'(H.E^2 - p') \quad (2)$$

Cette relation testée dans l'ensemble des situations étudiées est satisfaisante pour la totalité de la période d'écoulement comme le montrent les calculs de régression linéaire entre \sqrt{Q} et $H.E^2$:

Parcelles	Nbr.couples (\sqrt{Q} ; $H.E^2$)	Coeff. de corrélacion	k'	
Prair.nat.	T1	9	0,94	0,027
	T2	8	0,97	0,019
	T3	8	0,99	0,070
Prair.temp.	T1	8	0,89	0,030
	T2	8	0,95	0,018
	T3	5	0,95	0,104
	T5	9	0,96	0,067
Cult.ados	T1	11	0,92	0,009
	T2	12	0,96	0,011
	T4	10	0,95	0,023
Cult.drain.	T1	14	0,93	0,004
	T2	16	0,94	0,008
	T4	16	0,76	0,010

Tableau n°7 : Coefficient k' et corrélation entre \sqrt{Q} et $E^2.H$

A l'état saturé, domaine d'application de la relation (1), l'équilibre cationique E prend une valeur minimale E_m . On a alors simultanément :

$$\sqrt{Q} = k(H - p) \quad (1)$$

$$\sqrt{Q} = k'(H.E_m^2 - p') \quad (2)$$

On en déduit que : $k' = k/E_m^2$

D'autre part à l'état saturé, lorsque le débit est nul, on a dans la relation (2) $p' = H.E_m^2$, alors que la charge prend une valeur H_M caractéristique de cet état. La constante p' devient :

$$p' = H_M.E_m^2$$

La relation générale (2) peut donc s'écrire sous la forme :

$$\sqrt{Q} = k/E_m^2 (H.E^2 - H_M.E_m^2)$$

$$\text{ou : } \sqrt{Q} = k(H.E^2/E_m^2 - H_M) \quad (3)$$

Cette relation permet à partir de deux échantillons d'eau en connaissant Q, H et E, et quel que soit l'état de saturation du sol, d'évaluer le coefficient k et donc la perméabilité de la parcelle. Son application suppose également que soit connue la valeur de E_m , si on n'est pas en phase de saturation. Sur les parcelles étudiées, des valeurs relativement constantes ont été notées selon les types d'assainissement :

Prair. nat.	Prair. temp.	Cult.ados	Cult.drains
4,0	4,3	2,7	3,3

Tableau n°8: Valeurs moyennes de l'équilibre cationique des eaux drainées en phase saturée (E_m).

La relation (3) indique, par ailleurs, le niveau H_m au dessous duquel la nappe ne descendra pas pendant la phase saturée.

La mesure de l'équilibre cationique associé à celle du débit et du niveau de nappe permet donc d'évaluer les "performances" hydrauliques d'une parcelle assainie auxquelles les risques en matière de pollution sont étroitement liés.

C SALINITE ET SODICITE

La diversification du comportement hydraulique des parcelles étudiées traduit les modifications structurales du sol, en relation avec son évolution chimique ; celle-ci résulte des modes de dessalinisation selon les systèmes agricoles appliqués.

La figure n°6 illustre l'importance des différenciations chimiques grâce aux résultats d'une campagne d'analyses de sol effectuée en 1988 dans les différentes situations, et sur deux horizons (0-20 cm. et 20-40 cm). Les données présentées concernent la salinité et la sodicité (rapport du sodium échangeable à la capacité d'échange cationique du complexe, Na_e/T , exprimé en %). Cette dernière mesure permet d'apprécier la quantité de sodium restant fixée sur le complexe argilo-humique, malgré son dessalage ; ce critère est essentiel pour juger de la qualité de ces types de sols, car la présence de sodium joue un rôle primordial sur la stabilité structurale des argiles.

La comparaison des figures n°4 et 6 montre le lien étroit existant entre la sodicité de surface et la perméabilité des parcelles.

Il est particulièrement important de noter l'effet des pratiques culturales dégradantes sur la sodisation de surface, puisque les types 1 en culture sur ados ou sur drains présentent des sodicités d'environ 20%, alors qu'en situation améliorée (type 4), elles sont de 11% sur drains et de 4% sur ados. Il faut également souligner une salinité et une sodicité plus faible des parcelles en ados par rapport aux parcelles sur drains, notamment dans l'horizon 20-40 cm., ceci suggère une circulation des eaux plus active dans le profil de sol 0-40 cm. Enfin, sodicité et salinité sont globalement faibles pour les parcelles sous prairies, mais avec des variations importantes, les situations les plus défavorables étant voisines des parcelles en labour, les situations les meilleures (prairie temporaire de type 3 ou 5) étant très peu sodées et très dessalées.

En conclusion de l'étude pédologique sur ce périmètre, l'ensemble des résultats présentés met en évidence :

-une différenciation rapide et prononcée entre les parcelles, qui se manifeste de manière très cohérente sur leur perméabilité et sur leur état chimique

-une forte dynamique saisonnière des perméabilités bien corrélées avec l'équilibre cationique de l'eau

La gamme de situations ainsi créée a permis d'aborder la question de la qualité des eaux de drainage en sols de marais.

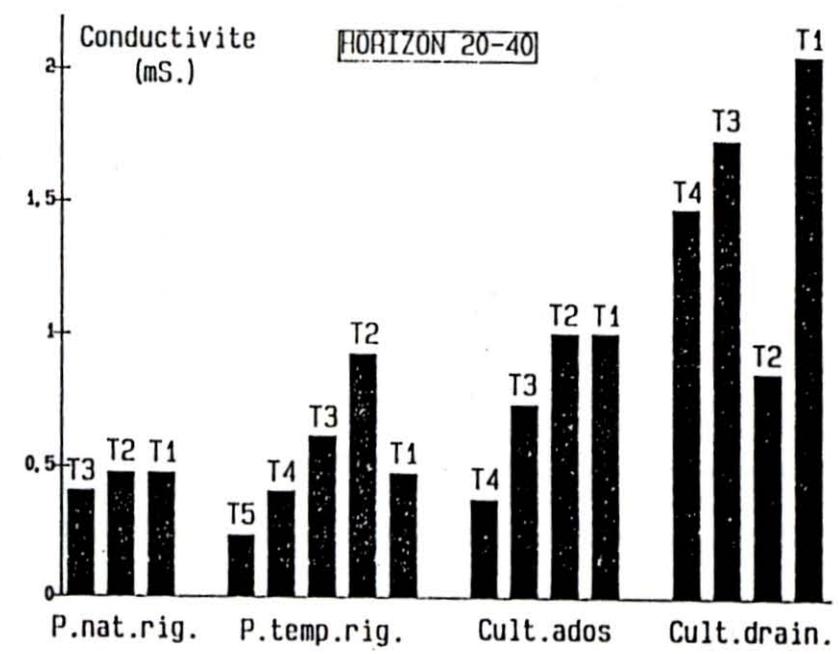
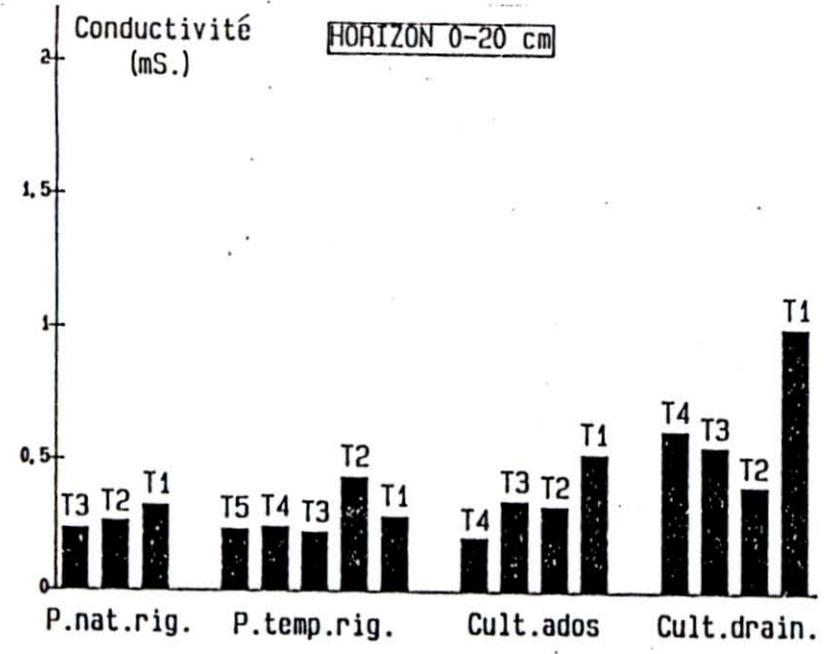
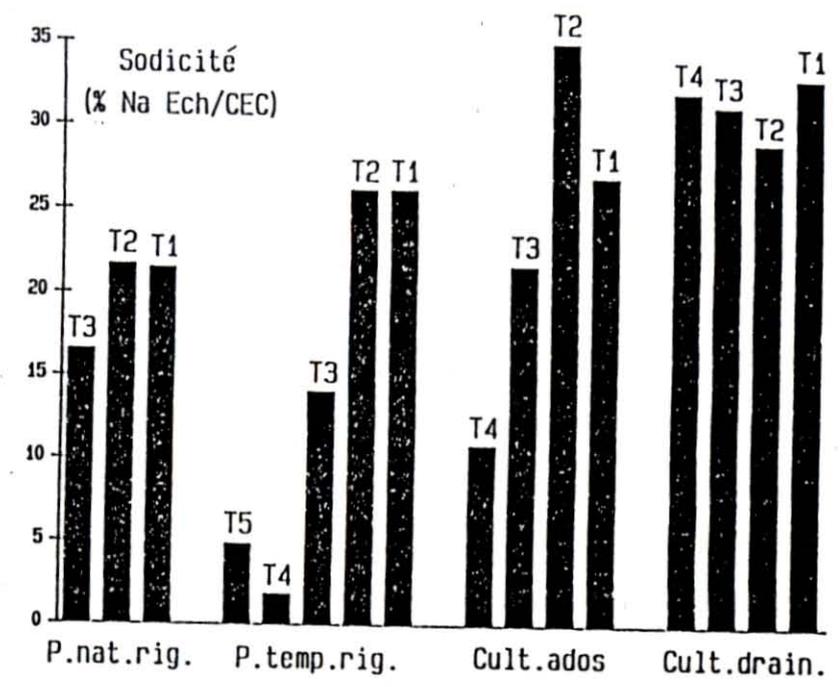
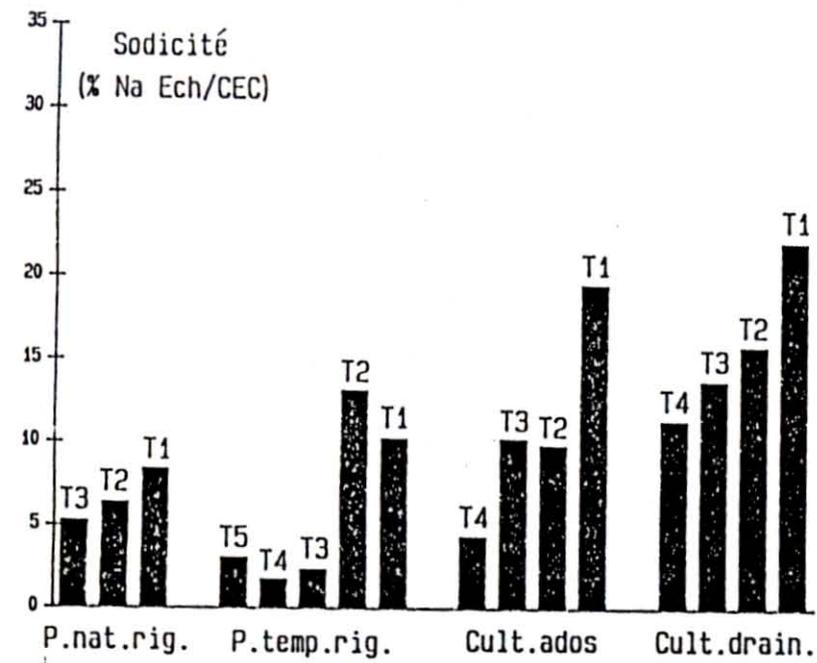


Figure n° 6 : Evolution de la salinité et de la sodicité entre les différentes situations.

QUALITE DES EAUX ET SYSTEMES DE CULTURE

Les suivis de qualité d'eau ont concerné deux grands axes de recherche, d'une part les entraînements de solutés, et d'autre part les entraînements de particules en suspension qui peuvent être, en les adsorbant, des vecteurs importants d'éventuels polluants d'origine agricole.

A ENTRAINEMENTS DE PARTICULES

a) Caractérisation des particules

Sur la première campagne de prélèvements (1985) des déterminations de taille des particules ont été effectuées par le laboratoire IFREMER de LA TREMBLADE sur Coulter Counter. Les spectres de répartition montrent qu'en général 80% des particules entraînées sont d'une taille inférieure à 2μ ; cependant dans le cas des parcelles cultivées et dégradées la taille moyenne est supérieure, 80% des particules étant alors inférieures à 5μ .

b) Relation débit-charge en particules

Compte tenu du très grand nombre de suivis effectués, une méthode rapide pour apprécier la charge en particules a été recherchée ; l'évaluation de la turbidité, consistant à mesurer une quantité de lumière réfléchie par les particules dans des conditions standart, a donné satisfaction .Du fait du spectre assez étroit de la taille des particules, la corrélation entre turbidité et matières en suspension est bonne. Cependant, afin de vérifier la validité de la méthode, des mesures directes sur les matières en suspension ont été effectuées par l'IFREMER pendant toute une campagne culturale. La comparaison des deux méthodes permet d'établir la relation suivante :

$$T = 0,64 (M.E.S.)^{1,06} \quad n = 111 \quad r = 0,95$$

(T exprimé en unités N.T.U. et les M.E.S. en mg/l)

La mesure de turbidité reste cependant imprécise, notamment pour les fortes valeurs, mais elle permet un classement rapide et aisé des charges en particules.

A l'aide de ces méthodes, les relations entre la charge en particules et les divers paramètres hydrauliques et culturaux ont été étudiés.

Une corrélation forte apparait entre débit et charge en particules sous la forme suivante :

$$T = (aQ + b)^2$$

T : Turbidité (N.T.U.)
Q : Débit (l/s/ha)

La turbidité de l'eau, directement corrélée aux matières en suspension, permet d'apprécier l'érosivité du sol. Le coefficient " a " peut être considéré comme un coefficient d'érosivité ; il permet de classer les situations selon les risques qu'elles présentent vis-à-vis des particules en suspension ;

Dans chaque cas des corrélations hautement significatives ont été mises en évidence, chaque situation étant caractérisée par un couple de coefficients " a " et " b " qui résulte du type d'occupation du sol et de sa structuration. Ce dernier point est particulièrement important car il fait de la concentration en matières en suspension un critère de qualité d'eau en relation avec les caractéristiques agronomiques du sol. On peut notamment effectuer le classement suivant en fonction de " a " :

Prairies temporaires sur drains :	a < 2
Prairies temporaires avec rigoles :	3 < a < 5
Prairies naturelles avec rigoles :	5 < a < 10
Labours sur drains :	50 < a < 100
Labours sur ados :	80 < a < 100

A l'intérieur de chacune de ces classes les parcelles les plus dégradées présentent les coefficients " a " les plus élevés ; l'érosivité comme la perméabilité est directement liée à l'état structural du sol.

c) Rapport organique / minéral

Les analyses effectuées durant tout le cycle cultural 1987 par l'IFREMER ont permis de démontrer une relation étroite entre la concentration en M.E.S. et la charge minérale (seston minéral) :

Prair.tempor.drain	S.miné.= 0,81 MES - 2,73	r = 0,99	n = 9
Prair.tempor.rig.	S.miné.= 0,90 MES - 2,73	r = 0,99	n = 10
Prair.nat.rig.	S.miné.= 0,91 MES - 4,48	r = 0,99	n = 20
Cult.drain	S.miné.= 0,92 MES - 10,43	r = 0,99	n = 40
Cult. ados	S.miné.= 0,96 MES - 28,28	r = 0,99	n = 31

(Seston minéral et MES en g/l)

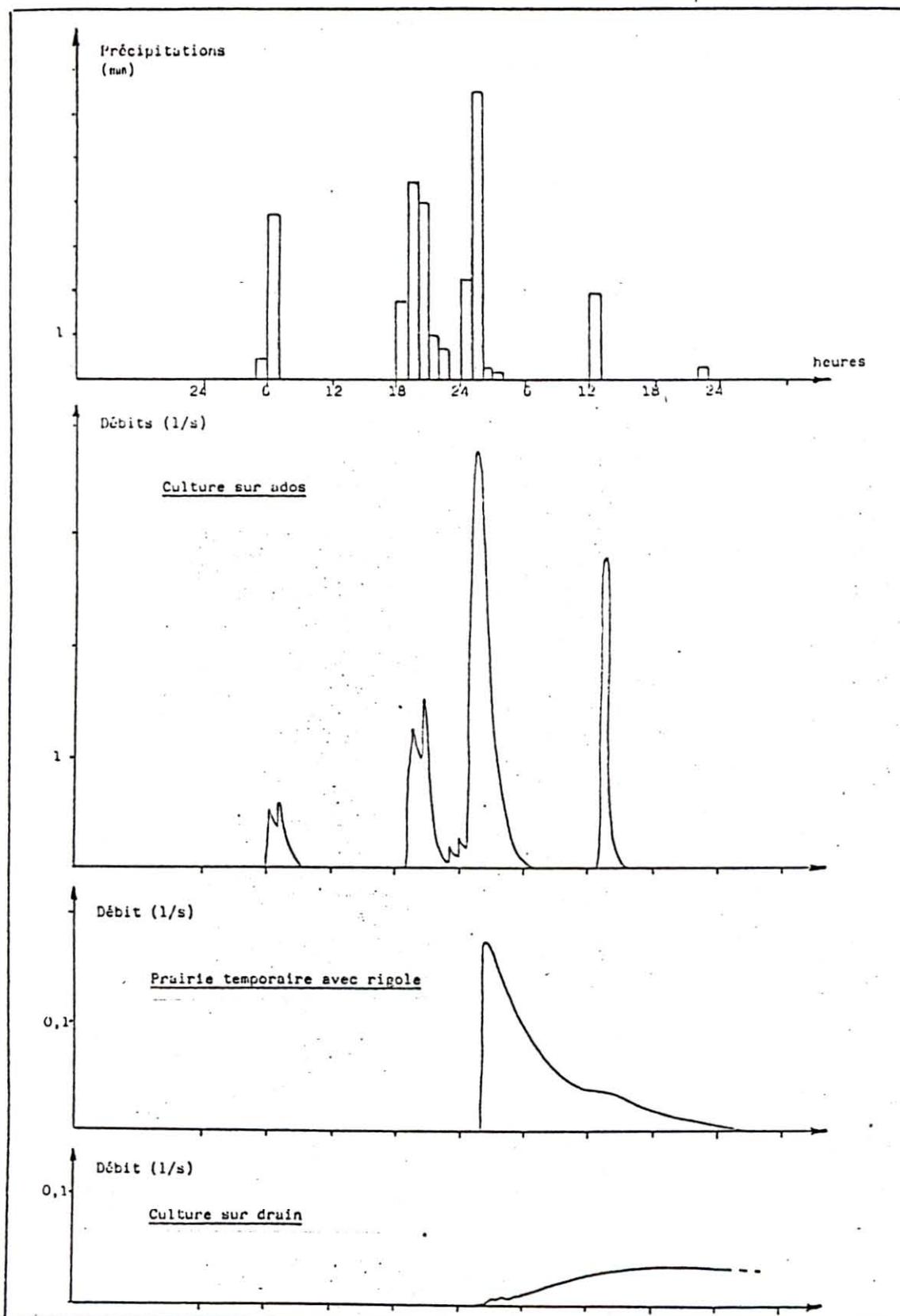


Figure n° 7 : Comportement hydraulique des différents systèmes comparés lors d'un épisode pluvieux, les 08 et 09/02/1985.

Le seston minéral étant corrélé, avec les MES, est corrélé avec le débit ; plus le débit est fort, plus le pourcentage de matières minérales s'élève ; pour les faibles débits, les sestons organiques et minéraux sont du même ordre, pour les très forts débits la part organique peut s'abaisser jusqu'à 5%

d) Evaluation des risques

Compte tenu de relations précédentes, il apparaît que, dans les situations les plus défavorables (" a " = 80 débit très élevé, pouvant aller jusqu'à 4 l/s/ha), on peut atteindre des turbidités de 100.000 NTU c'est à dire des concentrations très importantes de l'ordre de 80.000 mg/l soit 80 g/l ; Elles sont liées à l'état du sol et au débit. La figure n°7 illustre les réactions des divers systèmes d'assainissement à un épisode pluvieux. Elle montre très clairement que les systèmes avec rigoles, notamment les ados cultivés, réagissent avec des accoups de débit très violents ; dans ce cas, les entraînements sont très élevés, surtout si la parcelle est déstructurée. La présence d'une couverture prairiale amortit les pointes de débit et limite l'érosion(" a " faible), elles présentent peu de risques. Dans le cas du drainage enterré, le système est très amorti sur le plan hydraulique, les risques résulteront essentiellement de l'état de structure du sol.

B ENTRAINEMENTS DE SOLUTES

Les suivis d'entraînements de solutés sont présentés dans ce compte rendu sous forme de relevés hebdomadaires ; ils concernent les nitrates et les phosphates solubles analysés pendant la campagne 1986 à titre d'exemple.

a) Nitrates

Les évolutions de concentration nitrique sont rassemblés sur la figure n°8. De façon générale, elles se présentent comme des courbes d'épuisement du fort stock issu de la nitrification été-automne 1985. Les écoulements concernés se placernt pour l'essentiel avant la première fertilisation 1986 (80 unités d'ammonitrate le 12.03.87) et ne sont donc pas influencés par cette dernière, excepté pour le dernier relevé.

Dans le cas du drainage, les décroissances observées semblent peu influencées par le débit ni par la hauteur piezométrique lorsque la conductivité hydraulique de la parcelle est bonne (type 4 sur drains et type 5 sur prairie temporaire). En revanche, dans le cas des parcelles dégradées (type 2 et 3 sur drains), le relèvement de la nappe semble entraîner des élévations de concentration

Les concentrations observées varient de 60 à 15 mg/l pour les cultures sur drainage, de 30 à 0 pour les cultures sur ados et les prairies naturelles ; elles restent inférieures à 5mmg/l dans le cas des prairies temporaires sur drains.

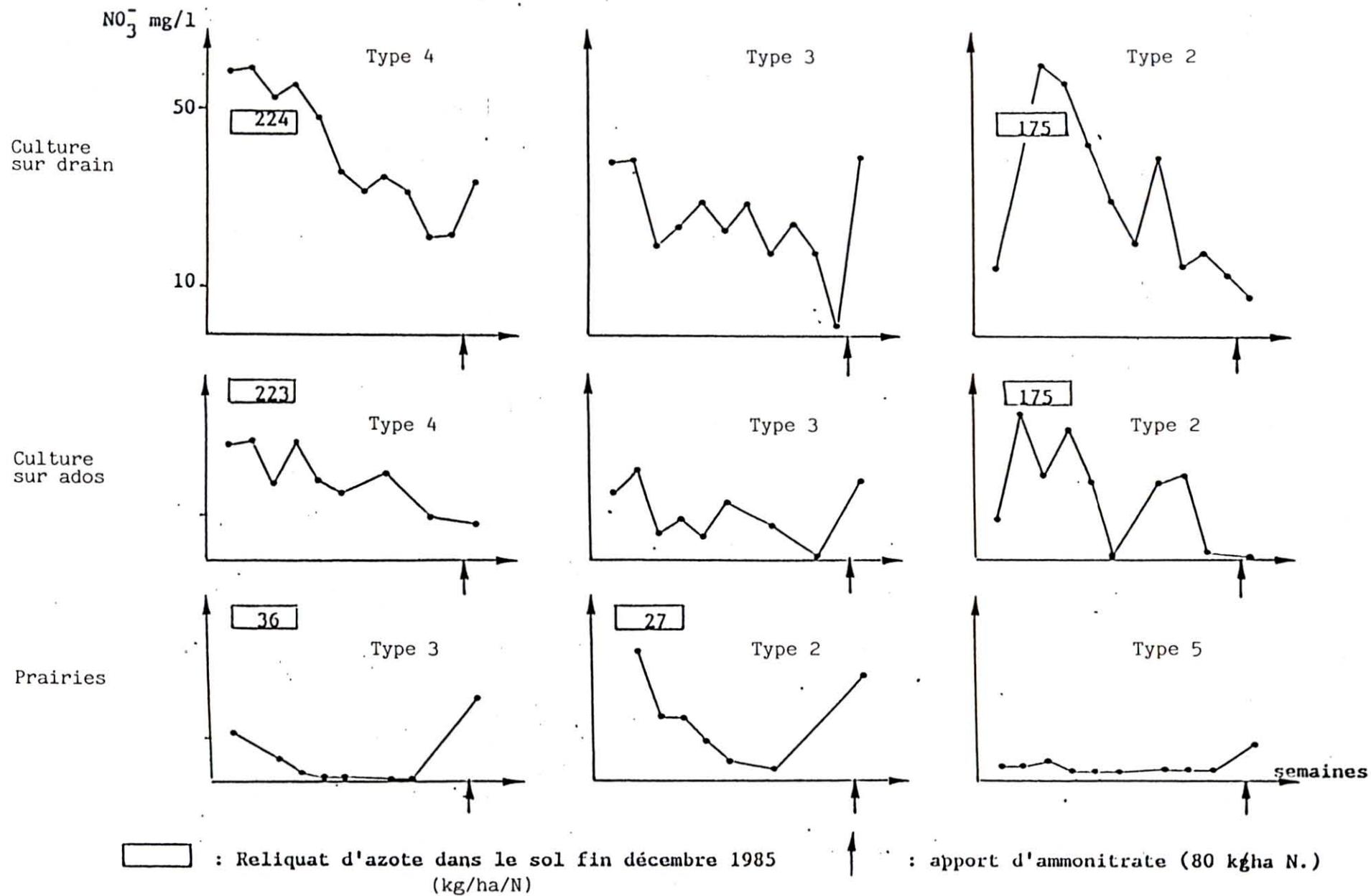


Figure n° 8 : Evolution des concentrations nitriques dans les eaux de drainage.

Il est important de noter que les témoins sans azote depuis 7 ans (type 2 sur ados et drains, type 2 sur prairie naturelle) fournissent des concentrations sensiblement voisines de celles des parcelles fertilisées.

De façon générale, le drainage enterré et le labour favorisent les entraînements de nitrates. Dans le cas d'une végétation perenne à fort enracinement (fétuque élevée), les taux observés sur drainage sont par contre remarquablement faibles

La couverture prairiale perenne limite beaucoup la pollution nitrique.

b) Phosphates

Les taux de phosphate constatés sur des relevés hebdomadaires sont rassemblés sur la figure n°9 ; ils s'échelonnent entre 2,5 et 7 mg/l sur culture drainée, entre 1 et 5 mg/l sur culture en ados et entre 1 et 3 sur prairie. Aucun engrais phosphaté n'a été apporté sur le périmètre depuis sa création.

Il semble que l'évolution des concentrations phosphoriques suivent une courbe d'épuisement dans le cas des cultures en ados et dans celui de la prairie. En revanche, ce n'est pas le cas du drainage où, seul le relèvement de la nappe semble augmenter la concentration des eaux en phosphates.

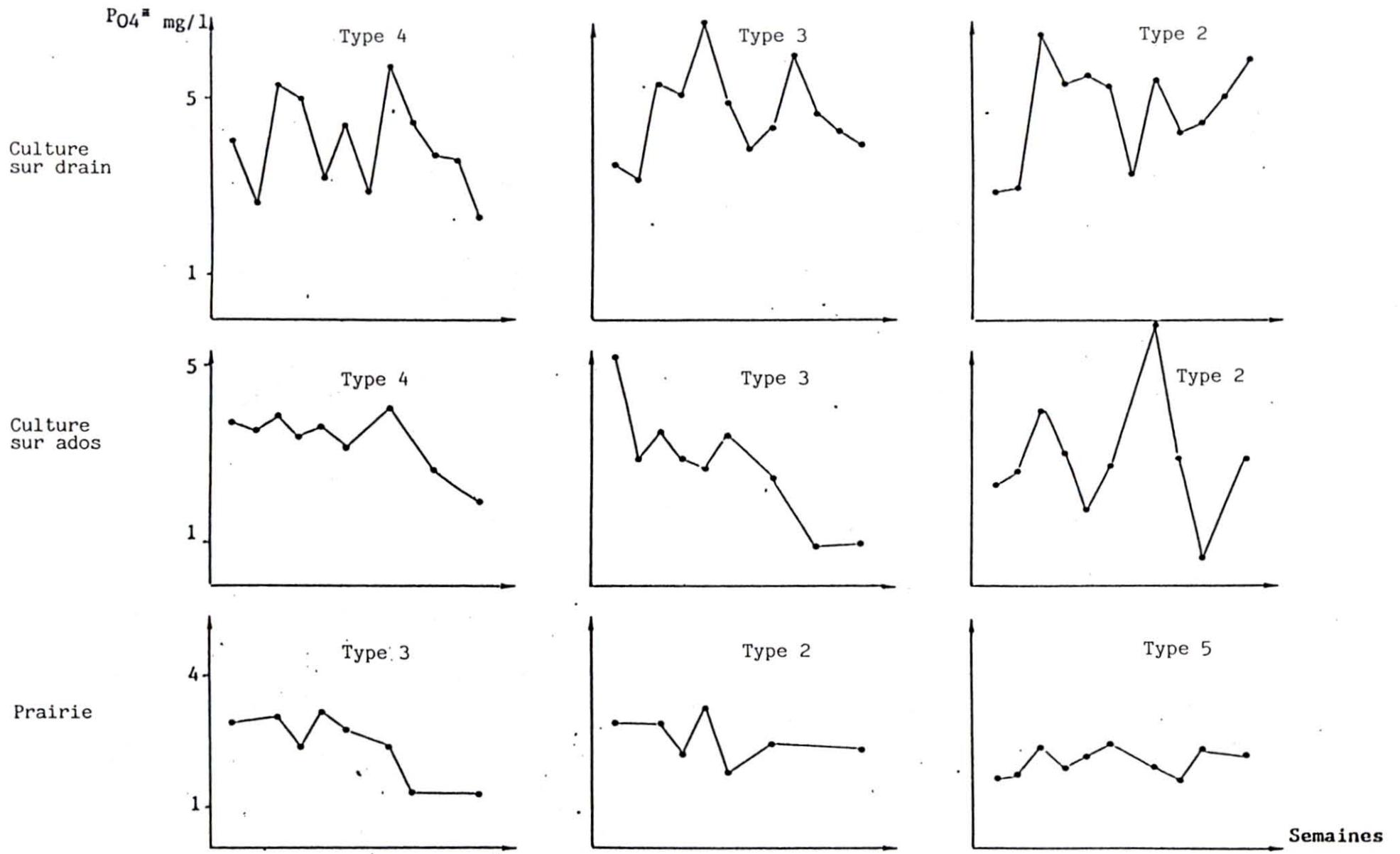


Figure n° 9 : Des concentrations phosphoriques dans les eaux de drainage.

C *ETABLISSEMENT D'UN DIAGNOSTIC SUR LES EAUX*

Les résultats précédents montrent qu'à chaque situation agropédologique correspond un type de risque pour les eaux drainées ; l'évaluation de ce risque implique la connaissance de l'utilisation de la parcelle (prairie, labour) ainsi que de sa perméabilité. Des mesures physiques (piézométrie, débit) sont donc nécessaires. Lorsque des recherches sont entreprises à une échelle supérieure à celle de la parcelle (réseau hydraulique général), ces déterminations élémentaires ne sont plus possibles et la provenance de l'eau reste inconnue ; un indicateur d'origine serait alors éminemment utile afin d'éviter un ensemble d'analyses lourd, coûteux, et souvent mal interprétable.

A l'issue de cette étude, une méthode simple de diagnostic est proposée pour caractériser l'origine de l'eau drainée ; cette méthode fait appel à la détermination de trois critères simples de l'eau, sa turbidité, sa conductivité électrique, et son équilibre cationique. Un test de cette méthode à des échelles plus larges devra ultérieurement en confirmer l'intérêt. Son principe consiste à comparer graphiquement deux paramètres de l'eau corrélés au débit, la racine carrée de la turbidité et l'inverse de la conductivité électrique corrigée par l'équilibre cationique. En effet, le rapport E^2/CE apparaît dans tous cas bien corrélé avec le débit ; lorsque son accroissement se traduit par une faible augmentation de turbidité, l'état structural du sol drainé est satisfaisant, ou couvert d'une végétation prairiale. Dans ce cas la pente α de la droite $\sqrt{T} = \alpha \cdot E^2/CE + \beta$ est faible ; au contraire si le sol est destructuré, la pente est très forte. La figure n°10 illustre bien ces relations, notamment dans les situations drainées par drains enterrés.

Cette méthode en cours de mise au point permettrait de lier qualité de l'eau et état structural du sol par des tests chimiques simples et sans recourir à des mesures hydrauliques difficiles à mettre en oeuvre.

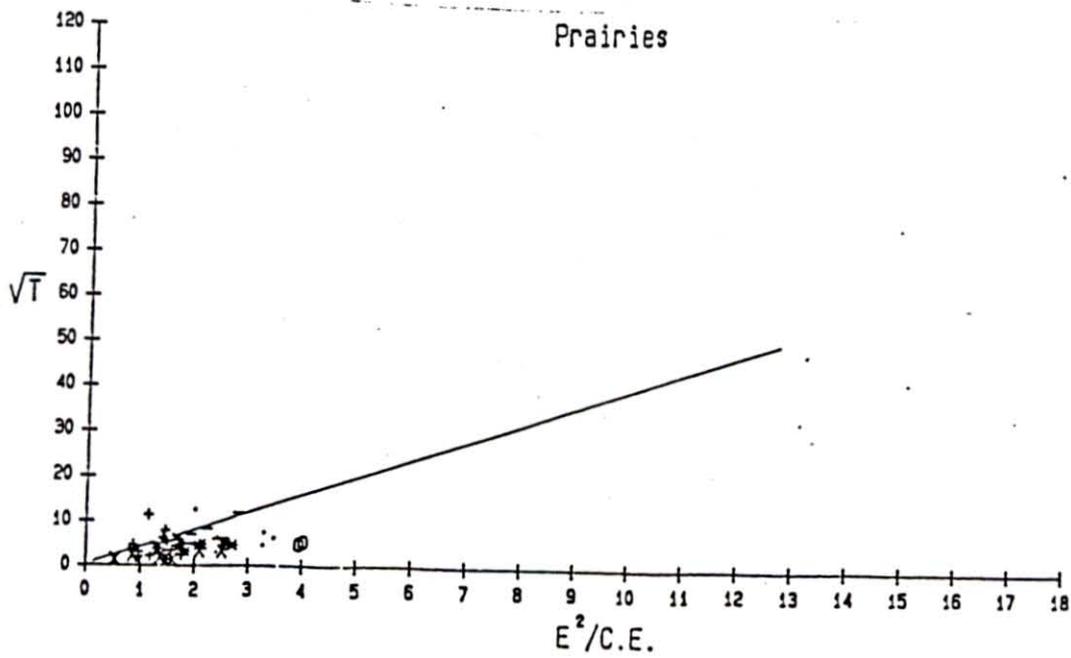
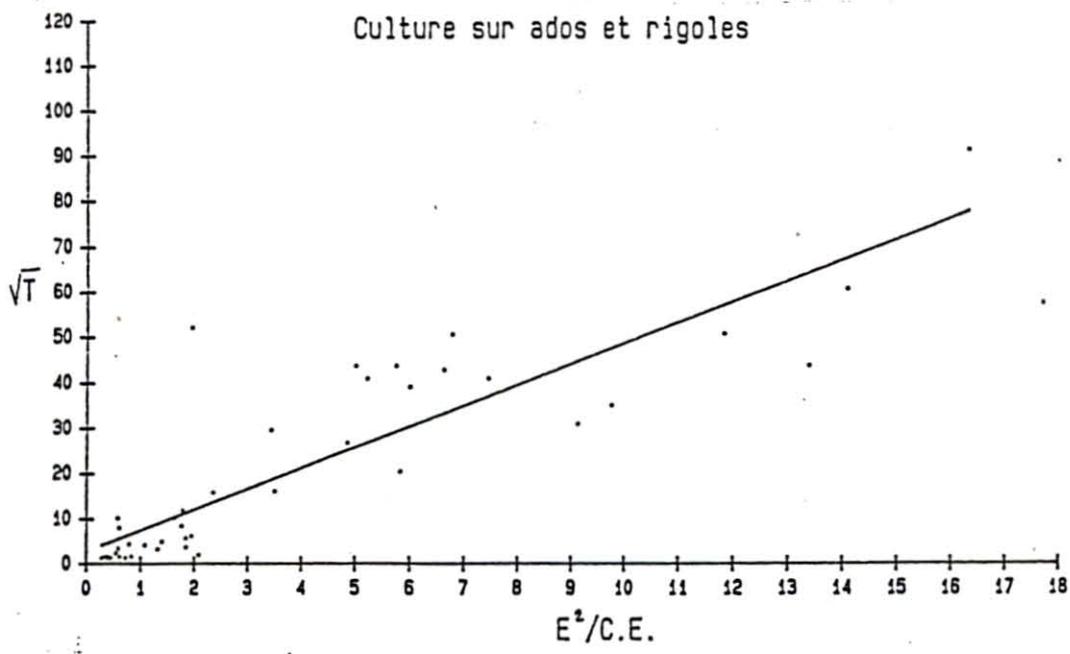
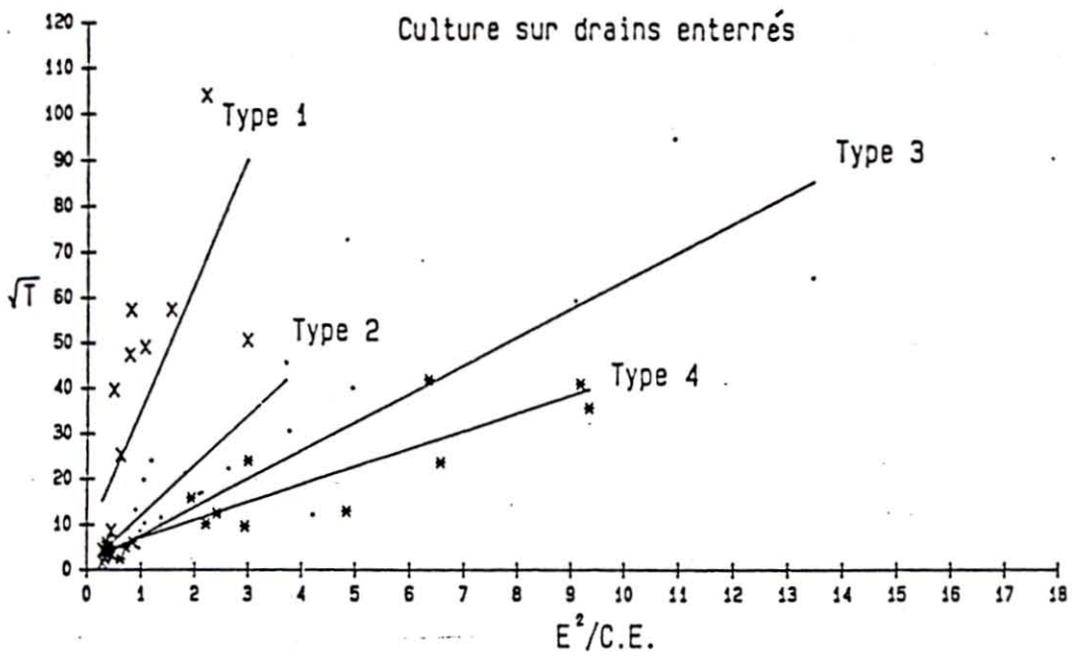


Figure n° 10 : Méthode de diagnostic de l'origine des eaux de drainage.

CONCLUSION

A l'issue de cinq années d'expérimentation sur le périmètre de MOEZE, des situations agropédologiques très contrastées, se rapprochant de la diversité des marais, ont été recrées ; à partir de celles-ci les qualités d'eau de drainage ont pu être suivies.

La variabilité des résultats obtenus traduit la diversité des conduites agricoles et des performances hydrauliques des sols. On peut les résumer ainsi :

	Couverture végétale pérenne (prairie)				Sol nu en hiver (culture)			
	Rigoles		Rig.+ Ados		Rig.+ ados		Drains	
	B.st.	M.st.	B.st.	M.st.	B.st.	M.st.	B.st.	M.st.
Eléments solubles	0	+	0	+	++	+	+++	++
Particules	0	+	0	+	++	+++	+	++

B.st.: Bonne structuration du sol

M.st.: Mauvaise structuration du sol

Entraînements nuls: 0, faibles: +, moyens: ++, forts: +++

L'ensemble de ces résultats met en évidence l'importance de la liaison pédologie- hydrologie, les sols de marais, chargés en sels, étant des systèmes très évolutifs sous l'action du drainage ; la stabilité structurale du sol qui influe directement sur sa perméabilité apparaît comme le critère de base pour suivre cette évolution et pour apprécier les risques sur la qualité des eaux

Quelles que soient les situations, la période de début d'écoulement (décembre, janvier), avant la saturation des sols, présente le maximum de risques en ce qui concerne les éléments solubles. Tout apport chimique en marais doit donc être raisonné en fonction de cette donnée. Les situations favorables au drainage semblent accroître ces risques, notamment pour les nitrates.

L'érosion des sols, autre risque majeur pour la qualité de l'eau, est sous la dépendance de leur stabilité structurale, comme d'ailleurs leur aptitude au drainage ; ceci apporte un argument supplémentaire pour limiter les aménagements par drainage aux seuls sols favorables à la mise en oeuvre de cette technique.

Les connaissances issues de cette étude ont fourni une base de discussion et d'argumentation lors des nombreux affrontements qui ont eu lieu récemment entre conchyliculteurs et agriculteurs a propos de la qualité des eaux d'origine agricole. Par ailleurs, la démarche commune de recherche entre l'INRA et l'IFREMER a permis de resserrer les liens entre ces deux Instituts autour d'un thème qui leur est commun.

S O M M A I R E
=====

INTRODUCTION	1
SITUATION EXPERIMENTALE ET PROTOCOLE DE RECHERCHE	5
A OBJECTIFS GENERAUX	5
B MISE EN OEUVRE EXPERIMENTALE	5
a) Etat initial du polder	5
b) Systèmes d'assainissement et systèmes de production	7
c) Conduite agricole	8
d) Résultats culturaux	9
C MESURES EXPERIMENTALES	11
a) Mesures climatologiques	11
b) Mesures sur les plantes	12
c) Mesures sur le sol	12
d) Mesures sur l'eau	12
EVOLUTION PEDOLOGIQUE ET PERFORMANCES HYDRAULIQUES	14
A PERMEABILITE	14
a) Données hydrauliques sur un cycle cultural (1987-1988)	14
b) Interprétation	14
c) Comparaison des situations	16
B EQUILIBRE CATIONIQUE	17
C SALINITE ET SODICITE	20
QUALITE DES EAUX ET SYSTEMES DE CULTURE	22
A ENTRAINEMENTS DE PARTICULES	22
a) Caractérisation des particules	22
b) Relation débit-charge en particules	22
c) Rapport organique / minéral	23
d) Evaluation des risques	25
B ENTRAINEMENTS DE SOLUTES	25
a) Nitrates	25
b) Phosphates	27

C ETABLISSEMENT D'UN DIAGNOSTIC SUR LES EAUX 29

CONCLUSION 30

BIBLIOGRAPHIE

1980 Collectif, Les Marais de l'Ouest . Etude des conditions et des conséquences de l'adoption des techniques d'assainissement agricole dans un réseau d'exploitation de référence. DGRST ; INRA SAD 219 p.

1984 C. CHEVALLIER, C. CHEVERRY, Y. PONS . Etude pédologique du polder de MOEZE-BROUAGE. INRA SAD 110 p.

1986 M. AZIB . Contribution à l'étude des conséquences de la dynamique des cations libres et échangeables sur la structure des sols argileux salés du polder de MOEZE-BROUAGE. D.E.A. de Pédologie-Sciences du sol INRA Science du sol