



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

S/MZ 00126

Université de METZ  
UFR SciFA

UPRES Écotoxicité, Biodiversité & Santé Environnementale  
Laboratoire de Phytoécologie

# THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur de  
l'Université de Metz

*Mention* : Sciences de la Vie  
*Spécialité* : Hydroécologie

par

Laurence KREBS

**FONCTIONNEMENT HYDROCHIMIQUE ET  
BIOGÉOCHIMIQUE D'UN ÉCOSYSTÈME PRAIRIAL  
INONDABLE SOUMIS À DIFFÉRENTES  
PRATIQUES AGRICOLES**

***Exemple des prairies alluviales de la Meuse  
dans le secteur de Stenay***

**ANNEXES**

*Soutenue le 19 septembre 2000 devant le jury composé de :*

M. TRÉMOLIERE,  
P. VERVIER,  
M. BENOÎT, I.  
J.M. SÁNCHEZ,  
J. CORBONNIER,  
S. MULLER, I.

BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE DE METZ



031 409991 8

steur, Strasbourg

Toulouse III

*Rapporteur*  
*Rapporteur*  
*Examineur*  
*Examineur*

*Directeur de Thèse*  
*Directeur de Thèse*

# THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur de  
l'Université de Metz

Mention : Sciences de la Vie  
Spécialité : Hydroécologie

par

Laurence KREBS

BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE - METZ	
N° inv.	2000 0135
Cote	S/M3 00/26
Loc	Magasin

**FONCTIONNEMENT HYDROCHIMIQUE ET  
BIOGÉOCHIMIQUE D'UN ÉCOSYSTÈME PRAIRIAL  
INONDABLE SOUMIS À DIFFÉRENTES  
PRATIQUES AGRICOLES**

***Exemple des prairies alluviales de la Meuse  
dans le secteur de Stenay***

**ANNEXES**

*Soutenue le 19 septembre 2000 devant le jury composé de :*

M. TRÉMOLIÈRES, Professeur à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg  
P. VERVIER, Chargé de Recherche CNRS, Toulouse III  
M. BENOÎT, Directeur de Recherche INRA, Mirecourt  
J.M. SÁNCHEZ-PÉREZ, Chargé de Recherche CNRS, Toulouse III  
J. CORBONNOIS, Professeur à l'Université de Metz  
S. MULLER, Professeur à l'Université de Metz

*Rapporteur  
Rapporteur  
Examinateur  
Examinateur  
Directeur de Thèse  
Directeur de Thèse*

# LISTE DES ANNEXES

- Annexe I.1. Synthèse bibliographique non exhaustive de l'utilisation des zones humides dans l'amélioration de la qualité de l'eau par dénitrification (Tableau I)
- Annexe I.2. Synthèse bibliographique non exhaustive des caractéristiques des études et estimation des flux de  $N_2O$  en relation avec les activités agricoles (Tableau II)
- Annexe VI.1. Les résultats analytiques des échantillons d'eau récoltés au niveau de la Meuse et du Canal de l'Est entre octobre 1996 et décembre 1998
- Annexe VI.2. Les résultats analytiques des échantillons d'eau récoltés au niveau des 27 piézomètres en PVC à 1 m de profondeur entre octobre 1996 et décembre 1998
- Annexe VI.3. Les résultats analytiques des échantillons d'eau récoltés au niveau des 10 piézomètres en inox à 3 m de profondeur entre octobre 1996 et décembre 1998
- Annexe VIII.1. Les résultats des rendements en matière sèche de la biomasse épigée et hypogée pendant les trois saisons de végétation 1996, 1997 et 1998
- Annexe IX.1. Les résultats analytiques des échantillons d'eau récoltés au niveau des 12 tensionics entre mai 1997 et décembre 1998



## **Annexes I.1 et I.2**

Synthèse bibliographique

Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «prairie»	
					Gestion des sites	Résultats
Léonardson <i>et al.</i> (1994)	Rétention de l'azote dans des prairies inondées artificiellement. Comment cette technique peut réduire la teneur en azote des rivières et des fleuves ?	Les inondations artificielles, effectuées en 10 cycles d'irrigation, débutent au début des hautes eaux (fin sept.) et continuent jusqu'à la période des basses eaux (mai/juin), pour région de Vomb. Les cycles d'irrigation ont lieu toute l'année sauf 2 mois en hiver et 1 à 2 mois en été pendant période de fauche, pour région de Isgrannatorp. Bilans hydrique et d'azote sont effectués (mesures de N-NO <sub>3</sub> , N-NH <sub>4</sub> et N organique à l'entrée et à la sortie des sites). Dosage de l'azote dans les plantes pour déterminer l'exportation de l'azote par la végétation.	3 Sites localisés à Vomb (Suède). - Sol sableux (10 m) avec une couche organique de 0,1-0,5 m. Sous la couche sableuse il y a un horizon argileux épais de 20 m qui repose sur une roche calcaire. Végétation dominante au niveau des bancs sableux = <i>Agrostis capillaris</i> et <i>Achillea millefolium</i> , au niveau des zones basses prédominance de <i>Deschampsia cespitosa</i>  1 site situé à Isgrannatorp - Sol tourbeux marécageux avec comme végétation dominante ( <i>Deschampsia cespitosa</i> , <i>Glyceria maxima</i> , <i>Phalaris arundacea</i> ).	Année 1992	Prairies de Vomb subdivisées en 3 sites : -1 site de référence de 6 ha sans inondations artificielles - 1 site de 5 ha inondé pendant 11 jours et drainé 3 jours dans des cycles de 14 jours. - 1 site de 6 ha inondé 7 jours et drainé 7 jours dans des cycles de 14 jours. Pas d'inondation pendant les périodes de gel. Les 3 sites sont pâturés par vaches et chevaux en été. Prairies de Isgrannatorp subdivisées en 2 sites : -1 site de référence de 4 ha sans inondations artificielles et occasionnellement pâturé par des vaches - 1 site de 4 ha inondé 7 jours et drainé 7 jours. Les 2 sites sont fauchés en été.	L'inondation artificielle des prairies ne contribue pas significativement à la réduction d'N sous les régimes d'irrigation utilisés. Pour sol sableux organique la dénitr. est stimulée par l'inondation (+ 70 à 125 %) mais pour sol tourbeux l'activité est plus basse que pour témoin (baisse du niveau de la nappe entraîne une / des pertes en nitrate par lessivage suite à une / de la décomposition de la M.O. par oxygénation du sol). <u>Le drainage des sols inondés stimule la production de N<sub>2</sub>O.</u> <u>Absorption de l'N par les plantes est stimulée par les inondations</u> (50 à 70 kg/ha/an = 2x plus que témoin). Prélèvement plus important sur site tourbeux ( <i>phalaris</i> ), 80 à 140 kg/ha/an. <u>Les plantes sont en compétition avec les bactéries dénitrifiantes pendant la période de végétation et réduisent la disponibilité du NO<sub>3</sub>. Le carbone n'est pas limitant mais la fauche et le pâturage pourraient à longue échéance avoir un effet négatif sur la dénitr. par épuisement du stock en C org.</u>

Tableau I. Synthèse bibliographique non exhaustive de l'utilisation des zones humides dans l'amélioration de la qualité de l'eau par dénitrification

Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «prairie»	
					Gestion des sites	Résultats
Davidsson & Léonardson (1996)	Effet de l'apport de nitrate et de carbone organique sur la dénitrification de 2 sols inondés artificiellement	Taux de dénitrification sont déterminés par une méthode d'inhibition à l'acétylène prévue pour des sédiments (Sørensen, 1978) et modifiée pour des sols inondés. N <sub>2</sub> O analysé par chromatographie gazeuse à captures d'électrons.	Idem Léonardson <i>et al.</i> , 1994	1991 à 1993	Idem Léonardson <i>et al.</i> , 1994	<p>La concentration en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> est un facteur important qui régule la dénitr. dans les 2 types de sol. NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a une plus grande influence sur la dénitr. au printemps et début d'été ⇒ car concentrations plus faibles dans la rivière à cette période et compétition des bactéries dénitrifiantes avec les plantes pendant période de croissance. Mêmes conclusions que Smith &amp; Tiedje (1979).</p> <p><i>Carbone organique ne semble pas être limitant dans ces sols.</i></p> <p><i>Efficacité de l'exportation de l'azote est déterminé par le temps de résidence de l'eau dans la zone humide. Pour déterminer une bonne zone humide il faut considérer la concentration en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans les eaux de surface et la concentration de C org. dans les sols.</i></p>
Davidsson & Léonardson (1998)	Variations saisonnières de l'activité dénitrifiante dans 2 sols inondés artificiellement	Idem Davidsson & Léonardson, (1996)	Idem Léonardson <i>et al.</i> , 1994	1991 à 1993	Idem Léonardson <i>et al.</i> , 1994	<p>Le taux de dénitrif. est corrélé positivement à la concentration en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> des eaux d'inondation et négativement à la T°.</p> <p>La dénitr. sur sol sableux (430-460 kg N/ha/an) est entre 2 et 3X plus / que sur sol tourbeux (220 kg N/ha/an). Importants taux de dénitr. entre octobre et avril et plus faibles au printemps ⇒ plus faibles concentrations de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans rivière et compétition plantes/bactéries dénitrifiantes pour NO<sub>3</sub><sup>-</sup> au printemps et en été.</p> <p><i>La dénitr. dans ces sols est régulée par NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et non par humidité du sol comme pour Ambus &amp; Christensen, (1993).</i></p> <p><i>La majeure partie de la dénitr. a lieu dans les 5 premiers cm du sol.</i></p>

Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «prairie»	
					Gestion des sites	Résultats
Davidsson <i>et al.</i> (1998)	Détermination à l'échelle parcellaire du taux de dénitrification, des concentrations en nitrate, en carbone organique dissous et en N <sub>2</sub> O dans un sol inondé	Idem Davidsson & Léonardson, (1996) pour la mesure de la dénitrif. Pour l'estimation du pool de N <sub>2</sub> O dans les sols, les échantillons sont immédiatement congelés et sans ajout d'acétylène. La prairie est inondée par les eaux de la rivière grâce à un système de digues et de drains superficiels. Les inondations sont effectuées par cycles de 14 jours (dont 11 jours d'irrigation suivis de 3 jours de drainage).	Idem Léonardson <i>et al.</i> , 1994, mais uniquement sites situés à Vomb.	1991 à 1993	Idem Léonardson <i>et al.</i> , 1994	La dénitrification et les concentrations en nitrate sont autocorrélés, par contre, les pools de carbone org. dissous et de N <sub>2</sub> O ne sont pas autocorrélés. <u>C'est probablement la concentration en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> qui régule la dénitrification dans ces types de sol. Groffman et Tiedje (1989), ont également indiqué que NO<sub>3</sub><sup>-</sup> était le principal facteur limitant de la dénitrification en été dans beaucoup de sols.</u>
Freeman <i>et al.</i> (1997)	Dans quelles proportions les zones humides construites peuvent-elles influencer les émissions de N <sub>2</sub> O ?	Manipulation des flux d'eau à travers une zone humide expérimentale en dérivant les flux entrants pendant 20 semaines (mai à octobre), puis réintroduction des flux d'eau. Mesure par accumulation des gaz par la méthode des enceintes closes. Analyse de la composition des gaz par chromatographie gazeuse à capture d'électrons.	Site expérimental situé à Plylmon (Angleterre), formé de zones humides tourbeuses avec prédominance de joncs et de sphaignes. Sol riche en matières organiques avec pH entre 4,2 et 5,1.	1 an	Ni fauche, ni pâture	\ > à 95 % des flux de N <sub>2</sub> O quand dérivation des flux d'eau en dehors de la zone humide. Ce phénomène est réversible dès qu'on réintroduit les flux d'eau. En même temps il y a une / dramatique de l'ordre de 200 % des teneurs en nitrate des eaux drainées par le site. <u>Il existe un couplage hydrologique entre la \ de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et l' / de N<sub>2</sub>O.</u> 0,53 % de N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> exporté l'est sous forme de N-N <sub>2</sub> O. Cette faible valeur est due aux <u>fortes teneurs en C org. qui outre sa capacité à générer la dénit.</u> , \ aussi le ratio N <sub>2</sub> O sur N <sub>2</sub> . <u>Le pH acide limite également N<sub>2</sub>O.</u>

Tableau I. Synthèse bibliographique non exhaustive de l'utilisation des zones humides dans l'amélioration de la qualité de l'eau par dénitrification (suite)



Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «prairie»	
					Gestion des sites	Résultats
Ambus <i>et al.</i> (1992)	Etude des transformations de l'azote (assimilation, minéralisation, nitrification et réduction de $\text{NO}_3^-$ ) dans les sols des zones humides marécageuses.	Techniques isotopiques à l' $^{15}\text{N}$ . Echantillons de sol incubés avec différents substrats, 4 traitements (4 réplicats): ① + $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ② + $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{C}_2\text{H}_2$ ③ + $\text{K}^{15}\text{NO}_3$ ④ + $\text{K}^{15}\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$	Site situé à 50 km au Sud-Ouest de Copenhague (Danemark). Zone humide marécageuse bordant une culture, végétation dominée par de nombreuses espèces de Carex. pH du sol = 7,4 et % de carbone organique = 25,5.	Prélèvements des échantillons de sol en octobre 1989	Inondations naturelles d'octobre à mai	La minéralisation transforme 0,1 % du pool d'N org. total du sol par jour. 25 % sont oxydés par nitrification autotrophique et 53-70 % sont incorporés par les microorganismes. Minéralisation et nitrification sont fortement inhibés en dessous de 5cm. <u>Au moins 80 % de la réduction de <math>\text{NO}_3^-</math> intervient par le biais de la dénitrification. La réduction dissimilative de <math>\text{NO}_3^-</math> en <math>\text{NH}_4^+</math> n'intervient qu'en dessous de 5 cm de profondeur.</u> <u>L'oxydation de <math>\text{NH}_4^+</math> est limitée par la disponibilité en substrat et est un important régulateur de l'activité réductrice de <math>\text{NO}_3^-</math>.</u>
Maag <i>et al.</i> (1997)	Facteurs influençant l'activité de dénitrification dans des sols anaérobiques d'une prairie alluviale et d'une roselière. Evaluer les relations entre les fractions de C et le potentiel de dénit. Evaluer l'influence de la température sur le potentiel de dénit. Déterminer les paramètres cinétiques $K_m$ et $V_{max}$ .	Le potentiel de dénitrification des différents sols est déterminé à différentes profondeurs après addition de nitrate. Système d'incubation des sols avec la méthode d'inhibition par l'acétylène. Analyse de la composition des gaz par chromatographie gazeuse à captures d'électrons.	- 1 site en prairie alluviale situé à 50 km au sud de Copenhague (Danemark). Sol humide non structuré, riche en matières organiques, de type histosol. PH = 8,1 - 1 site en roselière situé en bordure du Lac Glumsø (60 km au Sud-Ouest de Copenhague). Sol humide structuré, riche en matières organiques, de type histosol. PH = 7,7	Prélèvements des échantillons de sol en mai. Durée des expériences = 8 jours	- prairie alluviale non fertilisée située à côté d'une prairie pâturée recevant approximativement 100 kg d'N/ha/an. Végétation dominante = <i>Poa pratensis</i> , <i>Alopecurus pratensis</i> , <i>festuca pratensis</i> , <i>Ranunculus repens</i> , <i>Caltha palustris</i> , <i>Cardamine pratensis</i> . Prairie fauchée chaque année en août (quantité d'N exporté : entre 74 et 105 kg/ha). Inondée pendant les années humides de mi-décembre à fin mars. - Roselière dominée par <i>Phragmites australis</i> recevant des eaux chargées en $\text{NO}_3^-$ avec respectivement 4 et 12 mg/l de N.	Les potentiels de dénitrif. sont importants pour les 2 sites (3 à 28 mg d'N/kg/h). <u>Ces potentiels décroissent exponentiellement avec la profondeur.</u> <u>Forte corrélation entre le potentiel de dénit. et carbone org. dissous.</u> La capacité à réduire les nitrates ( $V_{max}$ ) est dans l'ordre : prairie alluviale $\cong$ roselière recevant des charges élevées en nitrate > roselière recevant des charges plus faibles en nitrate. <u>A long terme, l'utilisation des zones alluviales pour réduire les fortes charges en nitrate, pourrait augmenter les concentrations en nitrate des flux d'eau quittant ces zones.</u>

Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «zone humide»	
					Gestion des sites	Résultats
Baker (1998)	Application des zones humides dans le traitement des eaux chargées en nitrate. Analyse bibliographique des nouvelles applications de cette technologie.	–	–	–	–	<p><u>Les zones humides représentent une nouvelle technologie pour traiter les eaux chargées en nitrate à condition de ne pas être limitées par le ratio C: N. Si ce ratio est &gt; à 5 :1 alors l'efficacité dans l'exportation de l'azote peut être &gt; à 90 %.</u></p> <p>Ces zones humides peuvent être utilisées pour différentes applications :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la restauration des aquifères contaminés par les nitrates (par des techniques de pompage-traitement à l'intérieur de la zone humide et percolation des eaux traitées dans l'aquifère)</li> <li>- traitement par dénitrification d'effluents nitrifiés</li> <li>- traitement des eaux de drainage issues de l'irrigation</li> <li>- traitement des eaux industrielles contaminées en nitrate</li> <li>- importance de ces zones humides dans les régions arides pour le développement des ressources en eau</li> </ul>
Pavel <i>et al.</i> (1996)	Evaluer la variabilité spatiale (horizons de surface et de subsurface prélevés à différents niveaux du lit majeur) et temporelle des sols de zones humides alluviales en terme de potentiel de dénit. Relations entre carbone organique du sol, nitrate et taux de dénitrification.	Potentiel de dénitrif. est mesuré en labo. à partir de colonnes de sol soumis à des flux d'eau saturants. L'infiltration des colonnes de sol se fait à partir d'une eau souterraine synthétique ( $44 \pm 2$ mg/l de $N-NO_3^-$ ).	Zone située dans un bassin versant à 80 km au Nord-Est de Richmond (Virginia). Sols profonds, acides, peu drainés associés à des marais d'eau douce souvent inondés. Les sols prélevés à différentes périodes de l'année ont une T° différente : 16.4°C en mai, 19.9°C en sept. et 13.5°C en nov.	Les échantillons de sol sont prélevés en mai, septembre et novembre 1993	Occupation des sols caractérisée par 43 % de surfaces agricoles, 54 % de forêts et 3 % de fermes. Sols issus d'une parcelle agricole avec cultures alternées de maïs, blé et soja.	Les taux de dénitrif. sont plus élevés en septembre (T° plus élevée pour les sols). La variabilité spatiale intervient pour moins de 10 % sur la variabilité du taux de dénitrif., alors que l'horizon du sol intervient pour 50 %. La dénitrif. est limitée par concentration en $NO_3^-$ pour les horizons de surface incubés à la plus forte T°. <u>Le potentiel de dénit. est très / pour les horizons de surface ⇒ en relation avec les taux / de carbone org. présent dans cet horizon.</u>

Tableau I. Synthèse bibliographique non exhaustive de l'utilisation des zones humides dans l'amélioration de la qualité de l'eau par dénitrification (suite)

Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «agrosystème»	
					Gestion des sites	Résultats
Kliewer & Gillian (1995)	Déterminer l'impact du niveau de la nappe sur l'évolution de $N_2O$ et le taux de dénitrification.	Des colonnes de sol sont introduites dans une parcelle agricole semée ultérieurement en blé et recevant une fertilisation azotée mixte. 3 niveaux de nappe sont appliqués au niveau de ces colonnes : 15, 30 et 45 cm par rapport à la surface du sol. 4 réplicats sont réalisés pour chaque traitement (avec ou sans acétylène) et pour chaque niveau de nappe. Méthode d'inhibition par l'acétylène pour la mesure de la dénitrification. Analyse de $N_2O$ par chromatographie gazeuse à captures d'électrons.	Soils prélevés à Plymouth (Caroline du Nord). Horizon 0-36 cm : pH = 5,1 et 38 g de C/kg. Horizon 36-56 : pH = 4,6 et 15 g de C/kg.	Colonnes de Sol prélevées en juillet 1991 puis réintroduites 2 ans avant les expérimentat°. dans une parcelle agricole. Période expérimentale de novembre 1993 à avril 1994.	Culture de blé semé en avril 1993, fertilisé avec 56 kg/ha de $NH_4-NO_3$ en mai 1993. Résidus de cultures incorporés dans le sol en août 1993. Mise en place de 3 niveaux de nappe (15, 30 et 45 cm).	La dénitrif. mesurée de novembre à avril (172 jours) s'élève à 341, 260 et 86 kg N/ha pour les niveaux de nappe de 15, 30 et 45 cm. Cette dénitrif. est plus élevée au niveau de l'horizon 36-56 cm pour les 3 traitements de nappe. Les flux de $N_2O$ s'élèvent à 9, 4 et 2 kg N/ha pour les niveaux de nappe de 15, 30 et 45 cm. L'évolution de ces flux de $N_2O$ est corrélé positivement avec la $T^\circ$ moy du sol. Les faibles concentrations en $NO_3^-$ semblent limiter la dénit. <u>Le rehaussement du niveau de la nappe / la dénitrification et \ le risque de transfert d'N vers les eaux de surface. Mais parallèlement il y a une / des flux de <math>N_2O</math>.</u>
Mejia & Madramootoo (1998)	Amélioration de la qualité de l'eau par des manipulations expérimentales du niveau de la nappe	La parcelle expérimentale est équipée d'un système de drainage en subsurface à approximativement 1 m en dessous de la surface du sol. 3 traitements sont appliqués : niveau de nappe contrôlé à 50 cm, à 75 cm et un drainage conventionnel libre. Mesure des concentrations en $NO_3^-$ des eaux de drainage.	Parcelle de 3,5 ha sur sol limoneux situé à Bainsville (Est de l'Ontario).	De mai à novembre 1995 et d'avril à novembre 1996	Parcelle plantée en 1995 pour 2/3 avec du soja et le tiers restant avec du maïs. En 1996, moitié soja et moitié maïs. Désherbage mécanique de contrôle à chaque période de végétation. Une solution d'ammonitrate et urée est appliquée uniquement au niveau du maïs à des doses de 130 kg/ha en 1995 et 140 kg/ha en 1996.	Les concentrations en nitrate des eaux de drainage ne sont pas significativement différentes entre les deux traitements de nappe à 50 et 75 cm, mais restent bien inférieures au traitement de drainage libre. Les concentrations en 1995 de $N-NO_3^-$ sont de 1.7, 2.4 et 10.5 mg/l pour les traitements 50 cm, 75 cm et drainage libre ; En 1996 ces concentrations sont de 4.5, 5.6 et 11.6 mg/l. <u>L'amélioration de la qualité de l'eau quand le niveau de nappe est contrôlé est attribué en grande partie à une / de la dénitrification.</u>

Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «agrosystème»	
					Gestion des sites	Résultats
Martin <i>et al.</i> (1997)	Effet du niveau de la nappe sur le contenu en carbone, azote et phosphore des eaux de drainage en milieu tourbeux	Des colonnes de sol d'une profondeur de 45 cm environ sont prélevées sur deux sites (site A inondé et site D drainé) et sont conservés à 23 °C pendant 3 mois avant de débuter des traitements d'inondations/drainages. 4 traitements correspondants à 4 niveaux de nappe sont réalisés avec 3 réplicats : niveau 0 (continuellement inondé, 10, 20 et 35 cm par rapport à la surface du sol. Tous les 30 jours pendant 5 mois la solution du sol est drainée et lessivée par de l'eau déminéralisée pour dosage de l'azote, phosphore et carbone.	Sols tourbeux de type histosol situés dans la zone agricole de la région des Everglades (péninsule marécageuse du Sud de la Floride)	Les manipulations du niveau de nappe débutent en décembre 1991 pour une période de 5 mois	Site A : était utilisé pour la production de canne à sucre avant d'être mis en jachère et inondé pour une durée de 10 mois. Site D : est drainé et géré en culture de maïs doux.	Le relargage du phosphore total augmente lorsque le niveau de la nappe baisse pour le site préalablement inondé, alors que pour le site préalablement drainé, le relargage du phosphore total diminue avec la profondeur de la nappe. Le relargage de carbone org. total n'est pas influencé par le niveau de la nappe. Le relargage d'azote ammoniacal et d'azote total n'est pas influencé par le niveau de la nappe, par contre le relargage d'azote nitrique augmente considérablement lorsque le niveau de la nappe baisse, et cela pour les 2 types de sol. <u>Les conditions anaérobiques mises en place lors des inondations ou des remontées de nappe favorisent la dénitrification.</u>

Tableau I. Synthèse bibliographique non exhaustive de l'utilisation des zones humides dans l'amélioration de la qualité de l'eau par dénitrification (suite et fin)



Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «prairie et/ou culture»	
					Pratiques agricoles	Résultats
Velthof & Oenema (1995a)	Analyse statistique comparative de 4 méthodes pour le calcul de la moyenne des flux de N <sub>2</sub> O. Moyennes arithmétique, géométrique, log normale et méthode de Finney	Utilisation d'enceintes d'accumulation des gaz (Mosier, 1989). Analyse de la composition des gaz par spectrométrie en infrarouge.	4 sites au Pays-Bas en milieu prairial : - sol argileux à Lelystad - sol sableux à Heino - 2 sols tourbeux à Zegveld	De mars à novembre 1992	3 traitements par site : - aucune fertilisation + fauche - fertilisation N + fauche - fertilisation N + pâture	La moyenne arithmétique semble être la meilleure méthode pour cette étude
Velthof & Oenema (1995b)	Effets du type de sol sur les flux de N <sub>2</sub> O en fonction de différentes pratiques agricoles	idem	idem	idem	idem Fertilisation azotée en 6 à 7 applications. 313-277-266-161 kg d'N/ha en total pour respectivement sable, argile, tourbe I et tourbe II	<u>Potentiel de dénitrification : sol sableux &lt; sol argileux &lt; sols tourbeux</u> (87 à 103 mg N/kg de sol sec/j). Flux de N <sub>2</sub> O de 1,5 à 6 fois > quand fertilisation azotée et de 1,5 à 2,5 fois > quand pâture plutôt que fauche.
Velthof <i>et al.</i> (1997)	Effets du type et de la quantité de fertilisant azoté sur les émissions de N <sub>2</sub> O en milieu prairial	Idem Velthof & Oenema (1995) 3 expérimentations in situ et 1 sous serre pour déterminer l'influence des fertilisants azotés les plus courants. 2 expérimentations in situ pour déterminer l'impact de la quantité apportée sur l'émission de N <sub>2</sub> O	1 site à Wageningen sur argile alluvial 3 sites à Bennekom sur sable mal drainé 1 site en serre sur sable 1 site à Lelystad sur argile calcaire	Mars 93  Mars à juillet 94 Juil-sept 94 Mars-oct 93	Différents traitements suivant les sites. Témoin non fertilisé, sulfate d'ammonium, nitrate de calcium, ammonitrate de calcium (CAN), urée : 80 kg d' N/ha. CAN à des doses variant de 50 à 880 kg d'N/ha. Apport de fumier : 15 m <sup>3</sup> /ha	<u>Augmentation des émissions de N<sub>2</sub>O et des pertes par dénitrification en conditions humides avec des fertilisants contenant N-NO<sub>3</sub> plutôt que N-NH<sub>4</sub>. Augmentation du taux de N<sub>2</sub>O avec la dose d'engrais azoté</u>

Tableau II. Synthèse bibliographique non exhaustive des caractéristiques des études et estimation des flux de N<sub>2</sub>O en relation avec les activités agricoles

Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «prairie et/ou culture»	
					Pratiques agricoles	Résultats
De Klein & Van Logtestijn (1994)	Effets du type de sol et de la quantité de fertilisant azoté sur les pertes d'azote par dénitrification dans des prairies pâturées	Système d'incubation des échantillons de sol avec la méthode d'inhibition par l'acétylène (Ryden <i>et al.</i> , 1987)	Prairies permanentes à Rey-grass pâturées de trois régions des Pays-Bas. Expérimentation sur 3 types de sol/site : sable, terreau et tourbe	Saison de végétation de 1989 et 1990	- Application de CAN à 250 et 400 kg/ha/an et fauche pour ensilage pour les doses élevées (sol sableux et terreau). - Application de CAN à 75 et 165 kg/ha/an, fauche pour ensilage en mai et juin en 1989, 110 et 220 kg/ha/an, fauche pour ensilage en mai en 1990 (sol tourbeux).	<i>L'activité dénitrifiante varie au cours de la saison et augmente avec l'humidité du sol.</i> Taux de dénitrification de : - 0 à 140 g d'N/ha/j sable - 0 à 550 g d'N/ha/j terreau - 0 à 420 g d'N/ha/j tourbe <i>Pas d'effet significatif du taux de fertilisation sur les pertes par dénitrification, sauf quand l'humidité du sol augmente.</i>
De Klein & Van Logtestijn (1996)	Effet individuel et simultané de l'irrigation, de l'apport de fertilisants azotés et de la température sur l'activité dénitrifiante sur un sol sableux in situ. Expérience en laboratoire sur la relation entre l'humidité du sol et l'activité dénitrifiante en fonction de la texture des sols prairiaux.	Idem De Klein & Van Logtestijn (1994)	- Sol sableux pour expérimentation au champ - Prélèvement de 3 types de sol (sableux, terreau et tourbeux) provenant de prairies non fertilisées pour l'expérimentation en laboratoire	Saison de végétation de 1990	- Un carré permanent de 100m <sup>2</sup> est subdivisé en 4 sous unités de 5 x 5m recevant une irrigation de 0 ou 10 mm et une fertilisation sous forme de KNO <sub>3</sub> de 40 ou 80 kg d'N/ha. - Apports de différentes quantités d'eau sur les échantillons de sol en laboratoire pour obtenir 4 taux d'humidité du sol.	- <i>L'irrigation augmente le taux de dénitrification</i> (par augmentation de l'humidité du sol) - <i>la température augmente l'activité dénitrifiante</i> - l'effet de la température sur l'activité dénitrifiante est plus forte sur les carrés non irrigués - <i>pas d'effet de la dose d'engrais azotés sur la dénitrification (N non limitant)</i>  - l'activité dénitrifiante reste faible en dessous d'une valeur seuil d'humidité du sol. Cette valeur seuil varie en fonction de la texture du sol.

Tableau II. Synthèse bibliographique non exhaustive des caractéristiques des études et estimation des flux de N<sub>2</sub>O en relation avec les activités agricoles (suite)

Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «prairie et/ou culture»	
					Pratiques agricoles	Résultats
Koops <i>et al.</i> (1997)	Détermination de la source de production de N <sub>2</sub> O (nitrification ou dénitrification). Distribution spatiale des émissions de N <sub>2</sub> O au niveau d'une flaque d'urine.	Système d'incubation des échantillons de sol avec la méthode d'inhibition par l'acétylène pour la mesure de la dénitrification totale (N <sub>2</sub> O + N <sub>2</sub> ). Pour la détermination de l'origine de N <sub>2</sub> O : utilisation d'inhibiteurs spécifiques (acétylène C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ou fluor de méthyl (CH <sub>3</sub> F).	Site expérimental situé au Centre de Recherche «Zegveld» (Pays Bas). Sol tourbeux de type Histosol, couvert prairial avec une nappe en moyenne à 40 cm de la surface du sol.	31 jours après le 13 septembre 1994	Pour qu'il n'y ait pas d'interférences avec le pâturage plus ancien : pas de fertilisation N, ni de pâturage sur le site 2 ans avant les expérimentations. 20 l d'urine artificielle sont épanchés en bandes longues de 4,5 m avec une distance d'application de 80 cm/ à la surface du sol. Teneur en N de l'urine = 9,6 g/l. Date de l'application : 13/09/1994. Prélèvement pour incubation de 4 échantillons de la périphérie vers le centre de la flaque.	Dénitrification et émissions de N <sub>2</sub> O sont très élevées le 1 <sup>er</sup> jour. N <sub>2</sub> O max = 50 mg N/m <sup>2</sup> /j Dénit. max = 70 mg N/m <sup>2</sup> /j La production de N <sub>2</sub> O est plus importante au centre de la flaque qu'en périphérie. <i>La nitrification est le principal processus de production de N<sub>2</sub>O.</i> <i>Effet de l'humidité du sol et des apports en N sur les émissions de N<sub>2</sub>O.</i> Pertes totales par nitrification et dénitrification sur 31 jours sont de 4,1 g N/flaque (= à 2,2 % de l'N de l'urine totale appliquée).
Bouwman (1996)	Analyse basée sur les résultats publiés de 44 auteurs sur des parcelles fertilisées ou non. Ces résultats ont été sélectionnés pour évaluer l'importance des facteurs qui régulent la production de N <sub>2</sub> O. Principaux facteurs = propriétés du sol, type de couvert végétal, type de fertilisant azoté, gestion des sols et des cultures.	Utilisation de la méthode d'enceintes closes d'accumulation des gaz pour la plupart des expérimentations	Sites et sols très variés. USA, Canada, UK, Danemark, Andalousie, Allemagne, Japon. Expérimentations sur sols nus, prairies et cultures variées.	Toutes les études datent des 20 dernières années et leur durée sont très variables (de quelques semaines à 1 an)	Différents types de fertilisants azotés : NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Urée, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , N organique, Urine.	Les émissions de N <sub>2</sub> O sous prairies non pâturées sont un peu plus faibles (0,3 ± 0,5 % de l'N appliqué) que sous cultures (0,4 ± 0,6 %). <i>Les émissions sur sol nu sont plus élevées que sous prairies et cultures</i> (0,9 ± 1,4 %). Cultures de légumineuses et résidus de cultures contribuent fortement aux flux de N <sub>2</sub> O. <i>Les taux sont &gt; sur sols organiques que minéraux. N<sub>2</sub>O inhibé à faible pH.</i> <i>Effet combiné de N organique + engrais synthétiques ⇒ émissions de N<sub>2</sub>O les plus importantes.</i> Taux élevé de N <sub>2</sub> O quand N appliqué par injection (NH <sub>3</sub> ).

Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «prairie et/ou culture»	
					Pratiques agricoles	Résultats
Flessa <i>et al.</i> (1998)	Quantifier les effets d'une gestion intensive, du sol et des facteurs climatiques sur la variation saisonnière et les échanges annuels de N <sub>2</sub> O et CH <sub>4</sub> entre le sol et l'atmosphère.	Utilisation de la méthode d'enceintes closes d'accumulation des gaz. Analyse de la composition des gaz par chromatographie gazeuse (Loftfield <i>et al.</i> , 1997).	4 sites expérimentaux sur sols tourbeux dans le sud de l'Allemagne (80 km au Nord de Munich). L'épaisseur de la tourbe varie entre 75 cm et 2 m suivant les sites, avec une forte dégradation des sols suite au drainage et à une gestion intensive. 2 sites en prairie (PA non fertilisée et PB fertilisée). 2 sites en culture (CA non fertilisée et CB fertilisée).	De novembre 1993 à octobre 1994	PA : 2 fauches en 93 et en 94 PB : 36 kg CAN/ha le 12 mai, 60 kg CAN/ha le 2 juillet. 3 fauches en 93 et en 94 CA : 1993 - pomme de terre, planté en seigle en novembre. 1994 - seigle, labouré en mai et remis en herbe. CB : 1993 - pomme de terre, en jachère à partir de novembre. 1994 - planté en maïs en mai, récolté en septembre. 220 kg CAN/ha le 10 mai et 55 kg CAN/ha le 20 mai les deux années.	Pertes annuelles en N <sub>2</sub> O : 4,2 kg N-N <sub>2</sub> O/ha = PB ; 15,6 kg N/ha = CB ; 19,8 kg N/ha = PA ; 56,4 kg N/ha = CA. <u>Les pertes sont plus importantes en hiver quand le niveau de nappe est ↓</u> . Sur tous les sites les émissions max sont induites par les périodes de gel. <u>Ratio N<sub>2</sub>O/N<sub>2</sub> de la dénitrif. dépend de la T°</u> (à basse T° la N <sub>2</sub> O réductase est inhibée et N <sub>2</sub> O = élément final de la dénitrif.). <u>Quand nitrification = principale source de N<sub>2</sub>O ⇒ émissions ↓ avec pH élevés. Quand dénitrif. = principale source de N<sub>2</sub>O ⇒ émissions ↓ quand pH &gt; 5-6</u> (Granli & Bockman, 1994).
Smith <i>et al.</i> (1998)	Effets quantitatifs de la variation de température, de l'humidité du sol et de l'apport de fertilisants azotés sur l'émission de N <sub>2</sub> O sur sols cultivés et prairiaux.	Utilisation de la méthode d'enceintes closes d'accumulation des gaz (Clayton <i>et al.</i> , 1994). Analyse de la composition des gaz par chromatographie gazeuse à captures d'électrons (Arah <i>et al.</i> , 1994).	6 sites en Angleterre : - prairie de fauche fertilisée sur sol à gley mal drainé - 2 prairies pâturées sur sol brun mal drainé - 1 prairie pâturée sur sol brun forestier mal drainé - culture de pomme de terre sur sol brun bien drainé - culture de blé d'hiver sur sol alluvial limoneux - culture d'orge de printemps sur sol à gley mal drainé.	- Périodes de végétation 1994 et 1995 - 1995 et 1996 -1997 - 1995, 1996, 1997 - 1994 - 1994 - 1994	- 3 x 120 kg NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> /ha (avril, juin et août 94, avril et juin 95) - 160 kg N/ha en 2 applications (1995), 208 kg N/ha (1996-97) - 290 kg N/ha - 140 kg NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> /ha au printemps 1994 - 180 kg NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> /ha au printemps 1994 - 120 kg NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> /ha au printemps 1994	Emissions de N <sub>2</sub> O : prairies pâturées (14 à 26 g N/ha/j) > prairies de fauche (2,7 à 14 g N/ha/j) > culture de p.d.t. > (6,8 g N/ha/j) > cultures de céréales (1,2 à 3,3 g N/ha/j). Fortes variations d'une année à l'autre en fonction des conditions du climat au moment de la fertilisation. Flux max à 11°C pour prairies de fauche. <u>Quand N non limitant ⇒ relation exponentielle entre flux N<sub>2</sub>O avec humidité du sol et T°</u>

Tableau II. Synthèse bibliographique non exhaustive des caractéristiques des études et estimation des flux de N<sub>2</sub>O en relation avec les activités agricoles (suite)



Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «prairie et/ou culture»	
					Pratiques agricoles	Résultats
Smith <i>et al.</i> (1997)	Comment réduire les émissions de NO et N <sub>2</sub> O en modifiant les pratiques culturales actuelles tout en tenant compte des contraintes de rendement de la production alimentaire mondiale ?	Analyse basée sur les résultats publiés des douze dernières années.	Prairies et cultures sur sols variés	—	Apports d'azote sous différentes formes : NH <sub>4</sub> -NO <sub>3</sub> , NH <sub>3</sub> , urée et azote organique.	Relation linéaire entre apport de fertilisants N et émissions de N <sub>2</sub> O quand les expérimentations sont réalisées sur périodes ≥ 1 an. <u>Eviter les associations NO<sub>3</sub>-NH<sub>4</sub> et N organique en milieu prairial car émissions ↗ de N<sub>2</sub>O.</u> Teneur en eau du sol doit être < à 60 %. Apports d'inhibiteurs de nitrification en même temps que fertilisants à base de NH <sub>4</sub> pour réduire N <sub>2</sub> O. Eviter retournement des résidus de culture.
Estavillo <i>et al.</i> (1994)	Détermination des pertes par dénitrification d'une prairie naturelle soumise à une fertilisation organique (fumier de vache) ou minérale (ammonitrate de calcium)	Système d'incubation des échantillons de sol avec la méthode d'inhibition par l'acétylène (Ryden <i>et al.</i> , 1987).	Prairie naturelle du pays Basque espagnol (Derio) Sol de type terreau argileux mal drainé.	Les années 1991 et 1992	5 traitements différents par an en 91 : témoin sans N, 145kg N/ha en 4 applications (CAN ou fumier), 290 kg N/ha en 4 applications (CAN ou fumier) en 92 : idem avec 120 et 240 kg N/ha	La première année : pertes 4 x plus élevées pour traitements minéraux /organiques (pertes = 13 à 17 % de l'N minéral apporté contre moins de 5 % pour le fumier). La deuxième année : pertes avec traitement organique augmentent (de l'ordre de 10 %). Pour fertilisants minéraux la période de risque maximum de dénitrif. se situe immédiatement après la fertilisation. Pour fumier, cette période est plus longue à cause de la minéralisation dans le temps de l'N organique apporté. <u>L'humidité du sol est le principal facteur limitant qui affecte la dénitrification</u> (dénitrif. max pour teneur en eau > à 33 %)

Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «prairie et/ou culture»	
					Pratiques agricoles	Résultats
Estavillo <i>et al.</i> (1996)	Quantifier les pertes en azote par lessivage et par dénitrification sous prairies	Idem Estavillo <i>et al.</i> (1994) pour la dénitrification et céramiques poreuses pour quantifier le lessivage.	Idem Estavillo <i>et al.</i> (1994)	Les années 1991 et 1992	Idem Estavillo <i>et al.</i> (1994)	La dénitrification est toujours plus importante que le lessivage qui n'est jamais > à 5 % de N apporté. <i>Si l'apport de N ne dépasse pas l'optimum pour la production végétale ⇒ pas de sérieux problèmes écologiques par lessivage</i>
Ambus (1998)	Comparer la production de N <sub>2</sub> O par dénitrification et nitrification dans différents milieux : forêt d'épicéa, hêtraie, prairie alluviale, prairie côtière et culture.	Système d'incubation des échantillons de sol avec la méthode d'inhibition par l'acétylène C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (pour nitrification 10 Pa de C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> et 10 kPa pour dénitrif.). Dosage du potentiel de dénitrif. par méthode de Smith & Tiedje (1979) ; potentiel de nitrification par méthode de Smidt & Belsler (1982). Les échantillons pour incubation sont prélevés à deux niveaux de la topographie (zone basse et zone haute).	5 sites dans la région de København (Danemark). - forêt d'épicéa sur limon sableux de type Podzol - hêtraie sur sol lessivé sablo-limoneux de type Luvisol - prairie alluviale sur Histosol fibrique - prairie côtière sur sol sableux à gley - culture de blé d'hiver sur sol sableux lessivé de type Luvisol (situé à côté de la prairie alluviale)	Printemps et automne 1993	La culture de blé d'hiver reçoit 170 kg NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> /ha début avril 1993. Les prélèvements sont effectués en mai et octobre 1993 sur tous les sites.	Le potentiel de dénitrif. est plus / dans zones basses et corrélé positivement avec le taux de M.O. Le potentiel de nitrification ne varie pas avec la situation topographique. Les potentiels (nit. + dénit.) les plus / sont observés au niveau de la prairie alluviale et de la culture adjacente. En général le potentiel de dénit. est 2 à 10 X plus / que potentiel de nit. Mais <i>pour prairie alluviale la nitrif. contribue à plus de 60 % de la production totale de N<sub>2</sub>O.</i> Importance de séparer les 2 processus et de préciser la situation topographique à l'échelle de la parcelle lorsqu'on veut modéliser les flux de N <sub>2</sub> O du sol.

Tableau II. Synthèse bibliographique non exhaustive des études et estimation des flux de N<sub>2</sub>O en relation avec les activités agricoles (suite)

Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «prairie»	
					Pratiques agricoles	Résultats
Augustin <i>et al.</i> (1998a)	Influence de différents facteurs (fertilisation azotée, température, niveau de nappe) sur les émissions de N <sub>2</sub> O et de CH <sub>4</sub> au niveau de prairies marécageuses minérotrophiques	Utilisation de la méthode d'enceintes closes d'accumulation des gaz. Analyse de la composition des gaz par chromatographie gazeuse (Lofftfield <i>et al.</i> , 1997).	2 sites représentatifs des zones marécageuses du Nord-Est de l'Allemagne. - Rhin-Havelluch : prairie tourbeuse superficielle drainée - Gumnitz : aulnaie marécageuse partiellement drainée	Année 1995	La prairie superficielle drainée reçoit différents niveaux de fertilisation N : 0, 60, 120 et 480 kg N/ha/an sous forme d'ammonitrate de Ca (CAN). Pas de fertilisation au niveau de l'aulnaie mais variation du niveau de la nappe.	Importance des émissions de N <sub>2</sub> O et CH <sub>4</sub> dans ces milieux /à d'autres écosystèmes terrestres (de 5,3 à 14 kg N-N <sub>2</sub> O/ha/an). <u>Augmentation du niveau de nappe engendre une ↗ des émissions de N<sub>2</sub>O et oxydation de CH<sub>4</sub>.</u> <u>La fertilisation N stimule N<sub>2</sub>O seulement pour des doses ↗ de N (480 kg N/ha/an), pour des doses modérées (60 et 120 kg/ha/an), N<sub>2</sub>O augmente faiblement malgré des teneurs ↗ de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans sols.</u>
Augustin <i>et al.</i> (1998b)	Montrer l'importance régionale des zones marécageuses comme source de N <sub>2</sub> O. Impact d'une gestion intensive (fauche, fertilisation N ou lisier de vache). Effet du drainage ou de la remise en eau de ces zones.	Utilisation de la méthode d'enceintes closes d'accumulation des gaz. Analyse de la composition des gaz par chromatographie gazeuse (Lofftfield <i>et al.</i> , 1997).	3 sites représentatifs des zones marécageuses du Nord-Est de l'Allemagne. - prairie tourbeuse (1) superficielle, drainée et fortement dégradée (gestion intensive) - aulnaie marécageuse (2) partiellement drainée et faiblement dégradée - prairie tourbeuse profonde (3) modérément dégradée (gestion extensive depuis 1990)	Les années 1996 et 1997	- Prairie (1) : fertilisation N idem Augustin <i>et al.</i> , 1998a + P 34 kg/ha et K 126 kg/ha. Effet extensification sur émissions de N <sub>2</sub> O par 3 traitements différents (friche, pâturage par application de lisier, 2 fauches/an). - Aulnaie (2) : pas de fertilisation N mais variation du niveau de la nappe (niveau moyen entre 2 et 40 cm ou drainée à 60 cm) - Prairie (3) : fertilisation N (0, 60, 120 kg CAN/ha/an), P 25 kg/ha et K 150 kg/ha. Effet restauration sur émissions N <sub>2</sub> O par 3 traitements différents (prairies drainée 60 cm, humide 10-40 cm, réinondée 0-10 cm).	- <u>Des quantités ↗ d'engrais ou de lisier augmentent fortement les émissions de N<sub>2</sub>O</u> aussi bien sur de courtes périodes que sur l'ensemble de l'année (de 7,2 à 15,7 kg N-N <sub>2</sub> O/ha/an). - <u>Une fertilisation modérée et la fauche n'augmentent que faiblement N<sub>2</sub>O</u> (de 1,2 à 5,4 kg N-N <sub>2</sub> O/ha/an). - <u>Le drainage ↗ les émissions de N<sub>2</sub>O</u> (phénomène typique de ces milieux quand les sols sont gelés). <u>La remise en eau ↘ fortement N<sub>2</sub>O</u> (0,1 à 0,8 kg N-N <sub>2</sub> O/ha/an). - N <sub>2</sub> O produit dans ces zones (qui occupent 5,4 % de la superficie agricole) correspond à 12,4 % des émissions totales issues de l'agriculture allemande.

Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «prairie et/ou culture»	
					Pratiques agricoles	Résultats
Ellis <i>et al.</i> (1998)	Effet de l'épandage de fertilisants minéraux et de fumier de vache en début de printemps sur la dénitrification et les émissions de N <sub>2</sub> O pendant cette période	Accumulation des gaz par la méthode des enceintes closes. N <sub>2</sub> O mesuré par spectrophotométrie en infrarouge selon Velthof & Oenema (1995a) et par chromatographie gazeuse. La dénitrification totale est mesurée selon une technique modifiée de la méthode de Ryden <i>et al.</i> (1987).	Sites expérimentaux situés au niveau de South Downs (UK). Le sol est limono-argileux sur terrain crayeux, relativement bien drainé.	Février-mars 1996	- 3 surfaces expérimentales de 96 m <sup>2</sup> fertilisées avec granulés de NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> le 14/02/1996 à des doses de 60, 60 et 40 kg N/ha. - 2 carrés expérimentaux de 24 et 6,5 m <sup>2</sup> (4 traitements par carré) : témoin, NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> à 60 kg/ha, fumier appliqué en surface (dose équivalente à 45 kg N/ha, fumier appliqué par injection à la même dose.	Dénitrification totale et pertes en N <sub>2</sub> O (5 jours après traitements) diminuent dans l'ordre : fumier injecté > engrais minéraux > fumier appliqué en surface > témoin. Mêmes conclusions que Estavillo <i>et al.</i> (1994) : <u>le fumier de vache stimule la production de N<sub>2</sub>O sur des périodes plus longues que les fertilisants minéraux.</u>
Watson & Mills (1998)	Effet d'un passé cultural intensif sur les transformations de l'azote dans les sols prairiaux	Techniques utilisant un marquage isotopique de l'azote ( <sup>15</sup> N) pour déterminer les taux de minéralisation, immobilisation et de nitrification (Barraclough, 1991). Les échantillons de sol sont dupliqués et incubés soit avec ammonitrate contenant <sup>15</sup> N-NH <sub>4</sub> soit avec <sup>15</sup> N-NO <sub>3</sub> . L'enrichissement en <sup>15</sup> N des différentes formes d'azote est déterminé à 0, 1, 3, 7, 14 et 21 jours. La teneur en <sup>15</sup> N et les concentrations en N <sub>2</sub> O sont calculés par une méthode décrite par Stevens <i>et al.</i> (1993).	Site établi en 1987 à l'Institut de Recherche sur l'Agriculture (Hillsborough, Irlande du Nord). Sol de type limon sablo-argileux relativement bien drainé. 5 carrés permanents de 143 x 14 m (0,2 ha) au niveau de prairies permanentes à Rey-grass.	Fertilisation des carrés a débuté en mars 1989. Incubation des sols a débuté en janvier 1996 (suivi des différents pools d'azote pendant 3 semaines).	Les 5 carrés reçoivent chacun une dose différente d'azote sous forme de CAN pendant 7 années (100, 200, 300, 400 ou 500 kg N/ha). Les fertilisants sont apportés en 6 épandages de même dose entre mars et août de chaque année. Les carrés reçoivent chacun la même dose de P et K. Ils sont pâturés par des bœufs entre avril et octobre pour maintenir une hauteur constante de végétation à 7 cm.	Les taux de minéralisation et d'immobilisation sont semblables pour tous les sols malgré leur différent passé cultural. L'enrichissement en <sup>15</sup> N du pool de NO <sub>3</sub> montre qu'il y a nitrification pendant l'incubation, <u>nitrification / quand les sols ont un passé cultural à fortes doses de N.</u> La minéralisation nette est peu importante pendant l'incubation. Les concentrations en N <sub>2</sub> O et N <sub>2</sub> sont faibles dans tous les sols (de 0,38 à 1,07 mg N-N <sub>2</sub> O/kg/j et de 4 à 17 µg N-N <sub>2</sub> /kg/j). Le N <sub>2</sub> O produit provient de la dénitrification qui augmente avec la dose d'engrais apporté. <u>Nitrification et dénitrif. sont fortement influencées par dose N</u>

Tableau II. Synthèse bibliographique non exhaustive des caractéristiques des études et estimation des flux de N<sub>2</sub>O en relation avec les activités agricoles

(suite et fin)

Références	Objectifs	Méthodes	Localisation et type de sol	Durée de l'étude	Milieu «prairie et/ou culture»	
					Pratiques agricoles	Résultats
Cellier <i>et al.</i> (1997)	Définir les mécanismes de production de protoxyde d'azote (N <sub>2</sub> O) et d'ammoniac (NH <sub>3</sub> ) et quantification des flux au niveau de sols cultivés.	Trois grandes catégories de méthodes d'estimation des flux : - estimation du flux comme terme résiduel d'un bilan d'azote effectué sur un volume de sol. - Les chambres de mesure permettant l'accumulation des gaz. - Les méthodes micrométéorologiques (bilan de masse, méthodes de gradient, méthode des corrélations).	Pour les flux de N <sub>2</sub> O l'analyse a été faite à partir de : - parcelles agricoles soumises à différents modes d'occupation : sol nu, Ray-grass, Colza (d'après Hénault <i>et al.</i> , 1996). - culture de maïs irriguée (d'après Jambert, 1995). Pour les flux de NH <sub>3</sub> l'analyse a été faite à partir des travaux de Générmont (1996).	Mars à juillet 1994  Juin-juillet 1995	Pas d'apports de fertilisants N pour sol nu et ray-grass. Colza : 2 parcelles (apport de 80 puis 100 kg N/ha et 80 + 100 + 100 kg N/ha).  Apport d'urée par injection Apport de lisier (en bandes, par enfouissement ou par injection) Apport de fumier par enfouissement.	<i>L'intensité de la dénitrif. dépend du degré d'anaérobiose (lié au régime hydrique des sols), de la disponibilité en M.O. assimilables, et de la température. L'influence des paramètres susceptibles de réguler la proportion de N<sub>2</sub>O est en revanche beaucoup moins bien définie</i>  Les pertes d'N par volatilisation de NH <sub>3</sub> sont très liées aux conditions de sol (pH, capacité d'échange, porosité), à son humidité et aux conditions climatiques.
Hénault <i>et al.</i> (1998)	Emissions de N <sub>2</sub> O sous différents types de sol et pratiques agricoles.	Utilisation de la méthode d'enceintes closes d'accumulation des gaz.	Sites localisés dans le Nord-Est de la France sur 3 types de sol : - (site de Châlons) rendzine sur sol cryoturbe - (site de Longchamp) sol brun lessivé hydromorphe - (site de Messigny) sol superficiel sur plateau calcaire	- de sept. 94 à août 95 - de février à août 95 - de février à juin 95	Chaque site présente 4 types de gestion : - sol nu (par application d'herbicide) - sol semé (Rey grass) non fertilisé - culture de colza avec fertilisation suboptimale (C1) - culture de colza surfertilisée (C2)  Azote appliquée sous forme d'un mélange NH <sub>4</sub> -NO <sub>3</sub> et urée.	Les flux varient de -1 g à 100 g N <sub>2</sub> O-N/ha /j et les flux les plus élevés sont mesurés au printemps sur sol brun lessivé hydromorphe fertilisé. <i>Très grandes différences de flux suivant le type de sol et le type de gestion.</i>  Les cultures de colza n'impliquent pas plus d'émissions de N <sub>2</sub> O que d'autres cultures si la fertilisation reste raisonnable.

## **Annexe VI.1**

Les résultats analytiques des échantillons  
d'eau récoltés au niveau de la Meuse et du  
Canal de l'Est entre octobre 1996  
et décembre 1998



Date	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
	μS.cm <sup>-1</sup>	°C		μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
09/10/96	440		8,4	30	1,40	0	21,2	35,6	221	3,60	13,3	72,8	5,7
17/10/96				18	1,50	14	17,1	31,0		3,30	12,3	66,1	5,5
31/10/96	420		8,0	32	0,92	7	19,4	30,6	210	3,40	12,6	79,6	5,6
14/11/96	450		8,2	21	1,76	25	18,9	32,4	244	3,50	11,3	88,9	5,6
28/11/96	460		8,2	60	3,59	108	19,9	36,3	220	2,60	9,6	92,1	6,8
12/12/96	520		7,9	16	3,66	95	12,8	26,5	342	1,60	9,1	110,0	6,1
22/01/97	495		8,3	178	3,56	92	15,1	29,9	273	2,30	7,9	99,2	6,2
07/02/97	320	4,0	8,3	111	3,61	64	15,3	31,3	259	2,20	7,2	93,6	6,3
20/02/97	331	5,3	8,3	110	3,32	64	17,2	38,8	249	2,70			
12/03/97	495	10,8	8,3	20	2,83	18	11,3	24,5	259	1,90			
21/03/97	517	8,9		93	3,11	25	11,9	26,0	258	2,00			
04/04/97	491	11,3	8,1	98	2,76	7	13,5	30,7	232	2,10			
17/04/97	475	12,0	8,3	25	2,49	7	14,0	31,9	221	2,30			
29/04/97	498	12,4	8,3	63	2,32	0	14,7	32,4	233	2,50			
06/05/97	476	15,3	8,2	61	1,97	7	13,8	31,8	224	2,50			
13/05/97	499	14,7	8,2	43	1,73	0	15,7	45,7	217	2,60			
22/05/97	442	16,0		131	2,21	78	12,8	31,7		3,40			
29/05/97	504	18,2	8,3	12	2,02	0	13,5	33,4	245	2,60			
10/06/97	451	22,5	8,2	43	1,55	0	13,9	28,3	217	2,40			
19/06/97	367	19,5		28	0,72	23	13,6	30,4		2,40			
27/06/97			8,1	178	0,94	44	14,6	39,1	212				
01/07/97	483	16,0	8,3	28	2,50	64	13,5	36,4	267	3,10			
10/07/97	495	19,6	8,3	17	2,20	25	14,2	37,8	276	2,40			
24/07/97	437	20,7		15	1,90	9	13,9	28,6		2,30			
05/08/97	437	21,6	8,2	40	1,56	7	14,6	31,5	243	2,40			
	466	20,7	8,3	41	2,05	28	15,1	32,6	262	2,40			
13/08/97	426	24,3		100	1,42	7	14,9	31,4		2,40			
27/08/97	417	23,9	8,1	132	1,04	12	15,8	32,4	220	2,50			
	445	22,2	8,2	48	1,38	0	16,0	33,3	242	2,60			
11/09/97	438	18,2		31	1,29	14	16,4	35,8		2,80			
	456	17,5		18	1,54	9	17,2	35,1		2,90			
26/09/97	470	16,7		33	1,63	0	18,5	43,5		3,20			

Date	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
	µS.cm <sup>-1</sup>	°C		µg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
26/09/97	467	16,0		20	1,74	9	18,6	39,1		3,10			
10/10/97	462	15,6	8,3	32	1,79	23	18,7	33,4	245	3,00			
24/10/97	458	10,5	8,3	60	1,94	62	17,5	32,9	250	2,80			
	480	10,8	8,3	22	2,04	9	18,4	34,8	272	2,90			
13/11/97	506	8,0	8,3	51	2,35	32	19,8	51,2	253				
	462	8,7	8,2	86	4,39	154	16,7	45,7	212				
08/12/97	584	3,9		102	3,98	115	15,7	37,8		3,20	7,4		8,4
	630	3,8		125	4,14		17,4	37,6					
07/01/98	532	6,0		54	3,40	81	11,3	25,5		2,20	5,0		6,6
	499	6,3		37	2,98	108	10,5	23,0		2,30	4,7		6,5
14/01/98	515	5,7		96	3,14	85	11,4	25,6		2,20	4,7		6,6
	557	6,9		48	3,57	71	11,0	23,7		1,90	5,0		6,2
19/01/98	554	5,3		60	3,52	62	11,2	23,3		2,10	5,0		6,2
	513	6,1		59	3,43	81	11,1	25,7		2,20	5,0		6,8
26/01/98	427	1,8		36	2,69	90	9,8	21,0		2,10	4,7		6,1
	455	2,2		46	3,05	81	10,9	23,2		1,90	3,4		5,1
02/02/98	523	2,3		43	3,62	64	11,1	23,5		2,00	5,1		6,3
	525	2,8		52	3,66	64	11,3	23,8		2,10	5,4		6,4
09/02/98	531	4,1		41	3,74	69	11,6	25,8		2,00	5,4		6,6
	532	4,5	8,3	50	3,70	62	11,7	25,8	279	2,00	5,3		6,6
16/02/98		5,8			3,57		12,8	26,9					
	537	6,8			3,57		12,9	28,3					
23/02/98	525	7,4	8,3	98	3,10	60	12,9	31,0	277	2,20	6,3		7,0
	539	7,7	8,3	64	3,42	55	13,3	31,7	281	2,30	6,4		7,3
02/03/98	528	7,0	8,4	91	3,15	28	12,8	33,4	271	2,40	6,7		7,6
	550	7,5	8,3	35	3,19	48	13,4	39,3	364	2,50	6,9		8,2
09/03/98	563	7,3	8,4	78	3,04	23	14,0	37,4	264	2,60	7,5		8,1
	564	7,8	8,2	58	3,42	57	13,5	32,6	270	2,60	6,6		7,3
16/03/98			8,2	71	2,84	74	14,4	46,2	256	3,00	8,0		9,9
			8,2	50	3,29	81	12,1	29,5	256	2,50	6,3		7,5
30/03/98	504	10,0		29	2,59	13		31,0		2,41	6,8		7,6

Date	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
	μS.cm <sup>-1</sup>	°C		μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
30/03/98	546	11,0		31	2,89	13		31,3		2,4	6,7	7,5	
06/04/98	461	10,3	8,3	42	2,54	0	13,1	30,3	233	2,4	6,2	7,2	
	509	10,3	8,3	21	3,17	18	12,9	31,7	266	2,5	6,1	7,3	
08/04/98				118	3,33	136	10,5	31,8		3,2	5,9	8,1	
20/04/98	488	9,1	8,2	9	2,87	51	9,8	24,9	262	2,0	4,8	7,3	
	517	9,0	8,2	17	2,99	67	11,5	35,3	271	2,1	5,5	8,7	
29/04/98	477	13,7	8,3	22	2,55	30	9,8	23,7	260	2,1	5,0	7,2	
	504	12,5	8,2	37	2,94	58	10,8	24,9	276	2,1	5,5	7,4	
04/05/98	475	13,4	8,3	22	2,30	30	9,6	28,2	260	2,2	5,0	8,0	
	457	12,4	8,1	99	1,74	90	7,8	21,1	260	1,9	4,1	7,1	
11/05/98	479	18,1	8,3	13	2,30	9	9,6	25,0	264	2,0	5,4	7,3	
	496	17,0	8,3	9	2,76	32	10,5	24,5	275	2,0	5,5	7,1	
19/05/98	412	20,3	8,0	23	1,90	0	9,8	22,5	214				
	437	17,8	8,2	33	2,10	7	11,5	25,4	216				
28/05/98	433	17,4	8,1	49	1,95	7	11,0	25,5	223				
	448	13,4	8,1	81	2,22	9	11,2	26,9	238				
08/06/98	433	20,7	7,9	85	2,04	16	13,2	28,9	201				
	471	19,4	8,1	49	1,97	16	13,1	31,9	222				
16/06/98	471	17,3		52	1,81	0	14,8	39,3	222				
	502	16,4		23	2,04	0	15,2	41,2	240				
24/06/98	460	22,4	8,0	172	1,42	0	13,8	35,9	205				
	494	21,0	8,1	34	1,72	0	14,5	37,6	227				
02/07/98	473	20,3		40	1,42	0	14,6	38,0					
	483	19,5		140	1,70	0	15,2	34,0					
07/07/98	481	18,1	8,1	65	1,64	12	15,2	33,9	221				
	501	17,6	8,1	39	1,88	9	15,4	33,1	236				
15/07/98	477	17,4	8,1	53	1,77	9	15,1	31,4	220				
	504	16,9	8,2	179	1,85	0	15,1	29,9	240				
28/07/98	467	21,2		58	1,42	0	16,1	28,8					
	498	19,6		148	1,69	0	16,6	28,9					
06/08/98	496	19,7		87	1,74	0	16,6	27,9					

Date	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	μS.cm <sup>-1</sup>	°C		μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
11/08/98	469	23,8		97	1,39	0	18,0	28,2	
	475	23,4		72	1,58	0	17,3	27,8	
18/08/98	448	22,4		87	1,20	0	17,6	28,4	
	475	21,6		41	1,36	7	17,0	28,0	
25/08/98	447	19,1	8,0	26	1,04	9	17,7	27,5	205
	474	18,8	8,0	45	1,50	9	17,5	27,0	239
03/09/98			7,9	130	1,39	0	17,7	26,7	214
			8,0	34	1,63	16	17,6	26,4	231
14/09/98				21	1,45	12	17,4	27,4	
				76	1,85	37	16,6	26,4	
23/09/98				36	1,64	12	16,5	29,0	
				65	1,48	7	18,8	27,7	
05/10/98				34	1,11	7	15,3	27,9	
14/10/98	467	11,8		75	1,61	9	17,2	32,7	
				19	1,87	14	18,9	36,6	
27/10/98	467	11,0		87	1,34	12	18,8	40,0	
				564	12,0	13	2,68	39	17,1
02/11/98				68	3,15	168	8,1	19,9	
09/11/98	423	7,8		57	2,52	133	8,5	21,5	
				511	8,6	21	3,20	101	9,4
23/11/98	553	3,5		114	3,61	71	12,2	32,8	
				552	3,2	43	3,72	85	11,9
01/12/98	563	3,5		74	3,88	67	12,8	29,9	
				574	5,3	52	3,92	69	12,8
08/12/98	573	4,1		70	3,88		16,1	33,9	
				565	3,5	54	3,98		16,5
15/12/98				170	3,48		24,5	55,9	
				98	3,71		14,4	30,8	
28/12/98	543	7,3			3,70		12,5	27,4	
				545	6,4		3,60		

## **Annexe VI.2**

Les résultats analytiques des échantillons  
d'eau récoltés au niveau des 27 piézomètres  
en PVC à 1 m de profondeur entre octobre  
1996 et décembre 1998

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Niveau nappe	
09/10/96	n°	μS/cm	°C		μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	m	
PSA	1	440			102	419	7				0,4	-0,66	
	2	440			117	145	16	5,0			0,2	-0,63	
	3	625			99	290	14				0,4	-0,67	
	5	610			110	483	30				0,3	-0,67	
	6	490			126	741	0				0,3	-0,67	
	7	520			108	306	12				0,5	-0,66	
	9	580			29	945	16				0,4	-0,70	
	10	640			19	7813	14				2,0	-0,70	
	11	600			15	870	12				0,4	-0,66	
	MEG	29	480			35	0	7				0,2	-0,56
		30	450			55	274	0				0,2	-0,53
31		470			42	177	0				0,5	-0,58	
33		460			32	193	9				0,2	-0,52	
34		445			33	0	9				0,4	-0,51	
35		420			43	0	7				0,3	-0,53	
PSA	1	568	12,4		111	483	7				0,2	-0,70	
	2	513	12,3		123	322	9	5,2	18,1		0,2	-0,66	
	3	724	12,2		83	371	18				0,4	-0,73	
	5	683	12,5		97	483	18				0,3	-0,70	
	6	545	12,3		121	693	23				0,2	-0,68	
	7	574	12,3		126	402	23				0,3	-0,67	
	9	661	12,4		24	532	18				0,3	-0,71	
	10	773	12,0		10	6427	23				2,1	-0,69	
	11	671	12,1		17	129	23				0,4	-0,67	
	MEG	29	545	12,3		35	0	12				0,2	-0,58
		30	557	12,1		36	290	7				0,1	-0,57
31		565	12,4		48	0	9				0,1	-0,59	
33		529	12,4		28	97	9				0,1	-0,51	
34		515	12,0		30	0	18				0,3	-0,51	
35		510	12,3		29	0	25				0,3	-0,50	
PSA	1	638	11,8		105	161	0	5,8	19,7		0,2	-0,67	
	2	610	11,5		138	161	16	5,2	16,7		0,3	-0,63	
	3	748	11,6		74	338	21				0,3	-0,69	
	5	724	11,7		133	483	9				0,3	-0,67	
	6	648	11,5		131	0	23				0,2	-0,64	
	7	652	11,5		115	0	25					-0,64	
	9	675	11,5		29	365	16					-0,68	
	10	761	11,3		16	3995	16					-0,66	
	11	709	11,4		20	451	14					-0,64	
	MEG	29	565	11,7		26	177	7					-0,54
		30	601	11,6		44	113	9					-0,52
31		588	11,7		35	226	18					-0,55	
33		561	11,7		29	258	0					-0,59	
34		523	11,6		28	0	12					-0,48	
35		611	11,9		39	48	16					-0,46	
PSA	1	661	10,9		93	242	7				0,1	-0,38	
	2	573	10,7		113	64	9	3,6	10,7		0,5	-0,34	
	3	644	10,7		82	741	9				0,4	-0,40	
	5	702	10,7		141	13900	7				0,6	-0,38	
	6	499	10,3		284	4400	12				1,4	-0,34	
	7	535	10,3		103	161	9				1,0	-0,36	
	9	741	10,5		25	895	14				0,3	-0,40	
	10	585	9,8		15	7900	18	8,9	31,7		2,0	-0,38	
	11	759	10,4		33	1256	12				0,4	-0,36	
	MEG	29	437	11,0		16	225	7				0,1	-0,25
		30	421	10,9		21	177	18				0,1	-0,26
31		402	11,1		24	113	7				0,1	-0,29	
33		388	10,5		16	81	9				0,1	-0,20	
34		379	10,9		18	0	9				0,2	-0,19	
35		426	11,1		20	97	9				0,2	-0,19	

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Niveau nappe	
28/11/96	n°	μS/cm	°C		μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	m	
PSA	1	354	5,0		49	113	35				1,3	-0,22	
	2	306	2,2		31	161	25	7,1	20,4		1,4	-0,15	
	3	370	4,8		66	1079	30				1,4	-0,22	
	5	393	6,2		46	64	30				1,1	-0,19	
	6	353	4,1		40	0	32				1,2	-0,15	
	7	370	6,5		24	0	25				1,2	-0,19	
	9	677	8,0		14	596	23				0,8	-0,22	
	10	400	4,7		18	660	37	6,1	22,2		1,5	-0,20	
	11	459	5,7		16	435	21				0,8	-0,19	
	MEG	29	539	9,0		21	193	0				0,2	-0,08
		30	485	9,9		31	242	0				0,2	-0,07
31		611	9,0		12	226	7				0,1	-0,12	
33		556	8,6		31	145	0				0,2	-0,03	
34		461	9,9		37	129	0				0,3	0,03	
35		564	8,4		28	322	0				0,2	-0,04	
PSA	1	502	1,8		27	2100	32				1,7	-0,01	
	2	504	2,0		18	3000	28	11,6	26,0		1,5	0,02	
	3	498	1,4		21	2600	39				1,7	-0,02	
	5	505	1,8		22	700	28				1,6	0,03	
	6											0,05	
	7	538	4,4		18	1700	30				1,3	-0,02	
	9	675	6,7		13	1300	28				0,8	-0,09	
	10	506	1,4		19	1500	41	11,9	25,4		1,5	-0,06	
	11	510	1,9		11	2100	23				1,2	-0,05	
	22	526	3,3		10	3100	25	11,5	25,3		1,2	-0,15	
	26	511	1,9		14	3300	23	11,0	25,6		1,1	-0,07	
	MEG	29	538	10,0		19	230	7				0,3	0,01
30		536	10,2		21	190	0	12,3	22,6		0,3	0,02	
31		564	8,9		19	190	0				0,1	-0,02	
33		513	9,8		18	180	0				0,2	0,02	
34		523	9,9		42	190	0	13,1	23,3		0,3	0,08	
35		552	9,2		30	210	0				0,1	0,07	
PSA	1	301	2,9		188	596	23				1,9	-0,45	
	2	342	4,1		157	81	30	9,9	21,1		1,8	-0,43	
	3	245	1,9		32	709	53				1,9	-0,46	
	5	282	3,9		53	1514	32				1,9	-0,44	
	6	259	3,4		33	693	41	10,0	17,3		2,6	-0,40	
	7	353	3,2		62	113					1,0	-0,42	
	9	422	4,3		30	161	23				0,4	-0,48	
	10	287	3,4		62	2738	35	11,4	21,3		1,4	-0,47	
	11	340	3,4		25	387	21				0,8	-0,43	
	22	342	3,9		22	242		4,5	15,4		1,1	-0,52	
	26	303	2,9		16	999		10,8	23,0		1,2	-0,48	
MEG	29	336	4,9		28	145	12				0,5	-0,26	
	30	321	4,8		30	177	7	12,2	22,3		0,2	-0,26	
	31	345	4,3		34	209	14				0,2	-0,33	
	33	329	5,1		22	370	7				0,1	-0,25	
	34	317	4,9		55	258	12	12,6	22,3		0,4	-0,29	
	35	332	5,2		38	32	16				0,4	-0,27	
PSA	1	662	4,7		194	354	12				1,7	-0,30	
	2	642	3,2		131	225	25	5,3	20,3		1,5	-0,27	
	3	615	3,2		85	145	28				1,8	-0,32	
	5	634	4,0		64	435	25				1,4	-0,30	
	6	532	3,2		53	0	30	6,0	17,6		1,9	-0,26	
	7	594	3,8		48	145	21				0,8	-0,29	
	9	713	4,2		35	225	16				0,3	-0,34	
	10	613	3,5		46	9600	30	8,5	24,3		1,5	-0,34	
	11	608	3,2		25	467	21				0,6	-0,30	
	22	622	3,3		15	370	21	8,2	24,0		0,7	-0,39	
	26	566	2,8		17	419	14	6,0	21,6		0,5	-0,34	

MEG	29	312	4,5	36	322	37			0,4	-0,15
	30	255	3,0	49	1530	9	7,6	25,7	0,3	-0,15
	31	360	4,6	41	306	0			0,3	-0,21
	33	292	3,5	42	870	12			0,1	-0,10
	34	284	3,7	51	2610	9	9,7	24,1	0,3	-0,11
	35	281	1,3	82	2287	21			0,1	-0,14
20/02/97	1	inondé	-	-	-	-			-	0,06
	2	inondé	-	-	-	-			-	0,10
PSA	3	331	5,6	16	64	7			0,9	0,03
	5	320	6,2	21	32	14			0,8	0,08
	7	325	5,1	18	0	16			0,8	0,05
	9	316	6,1	18	129	12			0,6	0,01
	10	315	7,1	16	0	9	2,9	8,5	0,7	0,04
	11	315	7,0	15	129	9			0,8	0,04
	22	309	4,7	17	242	16	2,9	6,9	0,8	-0,02
	26	295	5,8	20	145	14	2,8	7,2	0,5	0,01
MEG	29	536	7,1	26	97	7			0,4	0,04
	30	539	7,2	27	113	7	11,7	22,1	0,3	0,02
	31	566	6,0	37	129	0			0,2	0,02
	33	522	6,8	41	161	0			0,3	0,00
	34	531	7,6	39	0	7	9,2	20,6	0,4	0,02
	35	553	6,3	40	81	9			0,4	0,05
12/03/97	1	566	9,3	25	274	16			1,1	-0,18
PSA	2	535	9,8	14	242	16	10,4	18,0	1,3	-0,12
	3	522	9,1	19	209	16			1,4	-0,18
	5	515	9,3	18	306	21			1,2	-0,15
	6	574	10,1	25	306	21	9,2	18,0	1,5	-0,07
	7	511	8,8	29	97	21			1,3	-0,13
	9	579	8,6	15	290	14			1,1	-0,20
	10	531	9,8	31	354	23	10,6	20,8	1,3	-0,17
	11	539	9,9	36	435	14			1,4	-0,14
	22	525	8,7	19	0	18	10,3	21,8	1,3	-0,25
	26	497	9,7	19	354	14	10,6	20,8	1,0	-0,20
MEG	29	535	8,6	19	354	9			0,5	-0,03
	30	535	8,7	22	290	7	9,2	21,3	0,4	-0,03
	31	556	8,0	31	322	0			0,3	-0,07
	33	532	8,8	29	290	0			0,4	-0,01
	34	532	8,7	49	225	0	10,4	21,6	0,5	0,01
	35	551	8,3	32	338	0			0,4	-0,02
21/03/97	1	605	8,6	120	161	14			1,1	-0,26
PSA	2	581	8,8	97	161	21	8,3	19,0	1,2	-0,23
	3	586	8,5	107	242	21			1,5	-0,27
	5	551	8,5	97	113	16			1,2	-0,25
	6	646	8,6	59	129	18	8,2	18,7	1,3	-0,21
	7	545	8,4	45	81	16			1,1	-0,24
	9	626	8,2	31	274	14			0,9	-0,22
	10	585	8,9	85	161	21	9,3	20,5	1,3	-0,27
	11	552	8,9	60	193	14			1,2	-0,24
	26	514	8,4	38	209	14	9,9	21,1	0,8	-0,29
	MEG	29	536	8,6	22	161	0			0,3
30		551	8,5	21	129	0	7,1	19,8	0,3	-0,11
31		541	8,1	29	145	0			0,2	-0,16
33		571	8,6	27	177	9			0,3	-0,07
34		542	8,6	42	129	0	10,1	20,0	0,4	-0,05
35		612	8,0	36	258	0			0,3	-0,07



Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Niveau nappe
04/04/97	n°	μS/cm	°C		μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	m
PSA	1	624	8,6		285	177	30				1,0	-0,43
	2	626	8,4		141	0	14	7,5	19,2		1,2	-0,40
	3	621	8,3		130	129	16				1,3	-0,45
	5	555	8,5		148	242	16				1,1	-0,44
	6	566	8,6		104	129	16	7,8	19,1		1,2	-0,39
	7	560	8,6		67	145	16				0,9	-0,41
	9	619	8,5		47	97	14				0,8	-0,46
	10	608	8,7		195	225	18	9,1	20,0		1,2	-0,45
	11	572	8,6		82	129	9				1,1	-0,41
	22	548	8,1		46	0	16	10,1	21,9		1,1	-0,52
	26	531	8,3		49	145	12	9,6	20,5		0,7	-0,47
	MEG	29	542	8,9		27	97	0				0,3
30		558	8,9		29	81	0	7,9	19,9		0,3	-0,29
31		549	8,8		32	97	0				0,3	-0,34
33		532	9,1		28	113	0				0,2	-0,27
34		538	8,8		53	32	0	10,1	20,5		0,4	-0,24
35		594	8,6		40	129	0				0,3	-0,28
PSA	1	624	8,9		220	81	9				1,1	-0,53
	2	639	8,6		213	81	0	7,6	19,3		1,2	-0,48
	3	616	8,4		141	258	14				1,4	-0,53
	5	543	8,7		221	209	12				1,0	-0,50
	6	550	8,6		124	306	30	8,3	20,1		1,3	-0,47
	7	525	8,5		67	129	12					-0,49
	9	610	8,5		70	81	16				0,8	-0,54
	10	569	8,7		263	129	18	9,8	20,0		1,2	-0,53
	11	533	8,6		74	145	14				1,1	-0,50
	22	543	8,2		49	48	14	10,5	22,2		1,2	-0,59
	26	529	8,4		55	258	16	9,1	20,6		0,8	-0,55
	MEG	29	532	8,9		21	113	0				0,3
30		535	9,3		26	113	7	8,8	20,7		0,3	-0,39
31		541	8,7		29	145	9				0,3	-0,43
33		531	9,1		25	48	0				0,3	-0,37
34		533	9,1		48	64	9	10,3	21,2		0,4	-0,33
35		572	8,7		37	64	7				0,3	-0,36
PSA	1	649	8,9		190	209	9				1,0	-0,58
	2	648	8,9		142	193	12	7,9	19,3		1,1	-0,52
	3	625	8,7		135	435	16				1,3	-0,57
	5	553	9,0		90	225	12				1,1	-0,54
	6	557	8,9		124	193	14	7,7	20,2		1,3	-0,50
	7	563	8,8		75	145	16				1,0	-0,52
	9	604	9,1		59	161	21				0,8	-0,57
	10	557	9,2		244	209	18	10,7	21,3		1,2	-0,55
	11	542	9,0		70	225	16				1,1	-0,53
	14	551	8,7		60	209	23	9,8	20,7		1,2	-0,55
	18	532	8,8		43	81	18	8,6	19,4		0,9	-0,58
	22	548	8,6		48	0	18				1,2	-0,63
26	532	8,9		60	64	18				0,8	-0,57	
MEG	29	539	9,2		20	177	0				0,3	-0,40
	30	536	9,2		27	145	0				0,3	-0,39
	31	552	8,9		32	177	0				0,3	-0,44
	33	532	9,3		31	145	0				0,3	-0,36
	34	530	9,2		56	81	0				0,4	-0,34
	35	562	9,1		43	161	0				0,3	-0,37
06/05/97	5	557	10,2		85	0	14				1,1	-0,45
	6	565	9,8		65	129	16			332	0,8	-0,42
	7	532	10,3		116	145	14				1,2	-0,44
	9	608	10,1		49	145	12				0,8	-0,50
	10	551	10,6		213	193	9				1,2	-0,48
	11	558	10,2		88	161	21				1,1	-0,45
	13	532	9,8		45	516	16				1,0	-0,52

PSA	14	557	9,7	63	129	28			1,2	-0,46
	15	539	10,0	32	145	14			1,0	-0,48
	17	500	10,2	25	97	12			0,6	-0,54
	18	520	10,2	49	64	16			0,9	-0,47
	19	561	9,8	114	177	23			1,0	-0,44
	21	507	10,2	73	0	14			1,0	-0,44
	22	566	9,7	55	16	18			1,1	-0,53
	23	570	9,5	54	0	14			0,8	-0,51
	25	524	10,0	64	2160	14	9,9	20,2	0,9	-0,47
	26	541	9,7	52	516	18	9,1	19,8	0,9	-0,48
27	542	9,6	105	354	21	9,4	20,6	0,7	-0,48	
13/05/97	1	635	10,2	231	209	14			1,0	-0,48
	2	640	10,4	164	225	14	7,5	19,2	1,2	-0,45
	3	643	10,1	150	242	16			1,4	-0,48
	5	588	10,2	76	209	12			1,1	-0,46
	6	582	10,3	98	274	21	7,2	18,9	1,2	-0,44
	7	585	10,2	48	129	16			0,9	-0,45
	9	614	10,4	44	242	18			0,8	-0,50
	10	594	10,5	187	338	12	10,2	21,7	1,2	-0,50
	11	575	10,2	81	338	16			1,1	-0,44
MEG	29	552	10,5	22	145	0			0,3	-0,37
	30	525	10,5	27	129	0	9,3	20,2	0,3	0,33
	31	541	10,2	27	177	0			0,3	-0,39
	33	528	11,0	23	161	7			0,2	-0,32
	34	522	10,6	43	64	0	9,3	22,6	0,4	-0,30
	35	586	12,0	40	193	0			0,3	-0,31
15/05/97	13	552	10,5	48	258	16			1,0	-0,57
	14	575	10,5	62	129	23	9,3	19,9	1,3	-0,51
	15	578	10,2	25	290	14			1,0	-0,52
	17	569	10,5	21	64	14			0,7	-0,57
	18	568	10,4	37	32	21			0,9	-0,52
PSA	19	584	10,2	71	113	16			1,0	-0,50
	21	571	10,1	73	113	21			1,0	-0,49
	22	589	10,0	51	0	18			1,1	-0,57
	23	599	10,0	29	370	14			1,0	-0,58
	25	556	10,3	43	5700	16	9,2	20,6	0,9	-0,50
	26	575	10,2	40	3400	14	8,8	20,3	1,0	-0,52
	27	570	10,2	54	3400	14	8,3	20,4	0,7	-0,52
	22/05/97	1	671	11,2	347	242	9			1,0
	2	665	11,5	257	145	21			1,2	-0,40
	3	644	11,5	189	81	23			1,4	-0,43
	5	606	11,6	97	274	18			1,2	-0,40
	6	614	11,6	157	290	18			1,2	-0,38
	7	610	11,3	73	258	18			0,9	-0,40
	9	617	11,4	57	209	16			0,7	-0,46
	10	606	12,0	236	306	14	10,3	22,6	1,2	-0,45
	11	589	11,7	96	258	18			1,1	-0,42
PSA	13	523	12,0	38	225	18			1,0	-0,50
	14	595	11,5	70	193	28			1,3	-0,43
	15	595	11,2	34	145	16			1,1	-0,46
	17	599	11,7	24	32	16			0,7	-0,51
	18	569	12,2	50	97	16			0,9	-0,46
	19	616	11,5	102	145	18			1,1	-0,44
	21	600	11,2	107	145	14			1,0	-0,44
	22	610	11,3	91	193	16			1,2	-0,52
	23	615	11,5	30	290	14			0,9	-0,51
	25	573	12,0	49	5060	16	9,2	20,5	0,9	-0,45
	26	586	11,3	37	3750	12	8,8	20,4	0,8	-0,47
27	592	11,1	89	2060	9	8,7	20,9	0,8	-0,46	

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Niveau nappe
	n°	μS/cm	°C		μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	m
22/05/97												
MEG	29	570	11,3	17	193	0					0,2	-0,29
	30	542	11,2	24	145	0					0,3	-0,27
	31	562	10,8	29	177	0					0,2	-0,33
	33	554	10,9	28	161	0					0,2	-0,25
	34	536	11,1	47	129	0					0,3	-0,22
	35	620	10,7	39	242	0					0,2	-0,26
27/05/97												
PSA	13	561	11,5	28	0	16					0,9	-0,60
	14	577	11,5	68	97	25					1,2	-0,53
	15	573	11,7	27	97	12					1,1	-0,56
	17	591	11,5	32	32	14					0,7	-0,60
	18	578	11,5	45	0	18					0,9	-0,54
	19	586	11,5	67	48	16					1,0	-0,54
	21	572	11,3	60	177	14					1,1	-0,53
	22	595	11,3	104	177	16	10,2	20,9			1,2	-0,60
	23	589	11,6	28	209	9					0,8	-0,61
	25	558	11,9	57	1550	9	9,5	20,7			1,0	-0,55
	26	565	11,5	43	1080	12		20,4			1,0	-0,54
27	570	11,5	58	1010	9	8,6	21,2			0,8	-0,54	
29/05/97												
PSA	1	661	12,0	244	113	9					1,0	-0,53
	2	643	11,6	164	145	21	7,5	19,6			1,2	-0,51
	3	641	11,4	115	113	18					1,3	-0,55
	5	574	11,6	86	193	14					1,1	-0,54
	6	602	11,6	125	242	28					1,2	-0,48
	7	573	11,7	40	145	23					0,7	-0,52
	9	610	11,9	42	209	16					0,7	-0,57
	10	594	12,4	204	242	12	10,6	22,6			1,2	-0,55
	11	566	11,7	95	193	23					1,1	-0,53
	MEG	29	542	11,2	26	81	0					0,3
30		535	11,6	27	64	12	10,1	20,7			0,3	-0,41
31		553	11,2	28	81	0					0,3	-0,46
33		534	11,5	26	97	0					0,3	-0,40
34		529	11,1	42	64	0					0,4	-0,35
35		568	11,4	38	113	9					0,3	-0,38
05/06/97												
PSA	13	527	12,4	27	145	7					1,0	-0,65
	14	570	12,4	65	161	23					1,2	-0,59
	15	553	12,2	20	48	12					1,0	-0,60
	17	558	12,0	15	64	14					0,5	-0,66
	18	557	11,9	35	0	16					0,9	-0,61
	19	557	12,4	52	0	23					1,0	-0,60
	21	562	12,5	61	48	21					1,1	-0,59
	22	578	12,2	85	97	25					1,2	-0,67
	23	567	12,2	28	16	12					0,9	-0,66
	25	538	12,7	44	16	21					1,0	-0,60
	26	561	12,3	40	161	18					0,8	-0,61
27	560	12,2	57	129	16					0,8	-0,61	
10/06/97												
PSA	1	691	13,6	157	81	7					1,3	-0,58
	2	645	12,8	201	193	16					1,2	-0,54
	3	651	12,4	139	209	12					1,4	-0,60
	5	585	13,1	80	177	12					1,0	-0,58
	6	590	13,8	102	145	14					1,1	-0,54
	7	608	12,4	71	225	16					1,0	-0,53
	9	601	13,7	45	161	9					0,7	-0,62
	10	588	14,2	178	290	12					1,2	-0,60
	11	569	13,4	91	161	12					1,0	-0,56
	MEG	29	534	13,4	12	64	0					0,3
30		534	12,8	22	64	0					0,4	-0,44
31		531	14,3	26	64	0					0,3	-0,49
33		534	12,4	20	48	0					0,3	-0,43
34		530	12,0	41	32	0					0,4	-0,40
35		553	12,3	41	81	0					0,4	-0,39

17/06/97	13	509	14,4	28	322	9			1,0	-0,25
	14	539	14,0	68	322	28			1,3	-0,19
	15	525	14,1	26	209	7			1,0	-0,20
	17	570	14,0	19	0	14			0,7	-0,25
	18	535	13,6	43	129	12			0,9	-0,19
	19	468	14,9	38	918	9			1,1	-0,19
PSA	21	582	12,8	58	161	16			1,2	-0,19
	22	579	13,7	65	1500	21			1,1	-0,27
	23	565	13,5	30	1178	7			0,8	-0,25
	25	548	14,7	39	12404	7	6,9	19,1	0,9	-0,17
	26	560	14,7	34	27909	7	5,9	19,7	0,8	-0,21
	27	573	13,6	58	3660	7	8,3	20,5	0,8	-0,21
19/06/97	1	637	13,7	170	145	12			1,1	-0,47
	2	523	13,8	143	129	21			1,0	-0,43
	3	597	13,5	106	226	21			1,2	-0,46
	5	549	13,9	63	322	21			1,0	-0,45
PSA	6	474	14,0	73	290	21			1,1	-0,43
	7	496	13,2	23	16	23			0,8	-0,44
	9	597	14,2	35	870	16			0,7	-0,49
	10	660	14,9	210	3898	9			1,4	-0,48
	11	578	14,0	58	3238	16			1,0	-0,44
	29	500	13,4	14	177	9			0,3	-0,34
	30	430	15,0	16	129	9			0,3	-0,34
MEG	31	496	13,7	27	161	9			0,3	-0,38
	33	528	13,2	19	0	23			0,2	-0,30
	34	510	13,0	34	0	9			0,4	-0,27
	35	425	14,1	22	258	12			1,0	-0,30
27/06/97	13	489	14,7	35	242	21			1,0	-0,30
	14	573	14,3	80	290	35			1,2	-0,23
	15	548	14,4	31	226	18			1,0	-0,26
	17	612	13,8	20	193	14			0,7	-0,30
	18	566	14,0	49	258	28			1,1	-0,24
	19	526	14,4	50	242	25			1,0	-0,24
PSA	21	604	13,4	72	97	18			1,1	-0,24
	22	636	13,8	50	3101	21			1,2	-0,32
	23	623	13,9	25	1949	16			0,9	-0,30
	25	610	14,2	17	16037	12			0,9	-0,25
	26	627	14,0	13	14220	12			0,9	-0,26
	27	625	13,6	35	7044	16			0,9	-0,26
01/07/97	1	698	13,7	142	64	12			1,1	-0,15
	2	480	16,0	77	81	23	5,4	6,7	2,3	-0,11
	3	640	14,0	91	193	18			1,2	-0,17
	5	611	14,0	42	145	16			1,0	-0,14
PSA	6	511	15,6	50	64	18	3,5	9,8	1,3	-0,11
	7	575	14,5	36	32	18			1,1	-0,13
	9	634	14,2	32	177	18			0,6	-0,18
	10	648	14,5	97	4696	14	6,5	18,9	1,3	-0,16
	11	652	14,6	28	3943	12			1,0	-0,12
	29	483	12,9	15	48	0			0,3	-0,03
	30	478	12,9	16	48	0			0,4	-0,03
MEG	31	485	13,5	21	97	0			0,3	-0,07
	33	482	12,8	22	64	7			0,3	0,00
	34	475	12,7	37	48	0			0,4	0,02
	35	457	16,3	6	0	7			0,5	0,01

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Niveau nappe	
08/07/97	n°	μS/cm	°C		μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	cm	
PSA	13	543	14,8		31	113	16				0,8	-0,44	
	14	559	14,2		85	209	28				1,1	-0,36	
	15	568	14,3		31	161	18				0,9	-0,38	
	17	570	14,2		19	193	12				0,5	-0,44	
	18	548	14,7		27	161	16				0,9	-0,38	
	19	533	14,5		50	129	21				0,9	-0,37	
	21	563	13,5		57	0	18				1,0	-0,36	
	22	586	13,8		40	3943	18	8,8	22,4		1,0	-0,44	
	23	581	14,1		26	1329	14				0,7	0,44	
	25	531	14,4		11	4297	12	6,3	15,9		0,7	-0,38	
	26	533	14,2		11	9392	9	6,0	17,9		0,7	-0,38	
27	585	13,8		32	6379	14	7,5	20,0		0,8	-0,39		
PSA	1	632	13,6		185	16	7				1,0	-0,40	
	2	503	14,0		135	81	35	5,5	7,9		1,9	-0,35	
	3	604	13,9		107	193	16				1,1	-0,40	
	5	549	14,0		69	274	14				0,8	-0,39	
	6	480	14,0		74	209	23				1,0	-0,37	
	7	530	14,1		51	129	16				0,9	-0,37	
	9	573	14,4		30	548	14				0,5	-0,40	
	10	580	15,0		99	1449	9				1,1	-0,42	
	11	548	14,7		24	419	14				0,8	-0,37	
	MEG	29	491	13,2		15	145	0				0,2	-0,27
		30	479	13,3		33	113	7				0,3	-0,25
31		486	13,2		22	129	0				0,2	-0,29	
33		479	14,0		9	0	0				0,3	-0,22	
34		475	12,6		41	64	0				0,3	-0,21	
35		583	13,6		30	97	7				0,2	-0,22	
PSA	13	514	16,6		35	161	9				0,8	-0,52	
	14	529	16,2		85	258	21				1,1	-0,45	
	15	556	15,9		39	129	16				0,8	-0,48	
	17	554	16,2		23	97	16				0,5	-0,54	
	18	515	16,6		59	177	23				0,8	-0,48	
	19	511	16,2		67	32	23				0,9	-0,46	
	21	562	15,1		61	0	18				0,9	-0,45	
	22	568	15,7		50	725	23				0,9	-0,53	
	23	534	16,3		49	226	18				0,6	-0,53	
	25	512	16,1		24	1644	18				0,7	-0,47	
	26	511	15,7		21	1533	18				0,7	-0,48	
27	561	15,2		36	2078	18				0,0	-0,47		
PSA	1	625	14,8		201	274	9				0,8	-0,47	
	2	486	14,9		204	290	48	7,9	7,7		2,5	-0,43	
	3	559	14,9		137	306	14				1,0	-0,50	
	5	514	15,4		87	354	12				0,7	-0,48	
	6	455	15,5		114	354	44	3,7	7,1		0,9	-0,46	
	7	428	15,4		92	129	18				1,3	-0,45	
	9	550	15,6		49	403	14				0,4	-0,51	
	10	536	16,2		107	1209	12	6,5	19,6		1,0	-0,50	
	11	535	15,7		35	226	14				0,8	-0,46	
	MEG	29	491	15,1		15	145	0				0,2	-0,34
		30	478	14,8		20	161	0	11,8	18,5		0,3	-0,35
31		458	14,7		24	258	0				0,2	-0,37	
33		483	14,3		27	113	0				0,2	-0,31	
34		476	13,7		32	129	0				0,2	-0,28	
35		544	15,0		103	290	44	19,4	2,5		6,6	-0,32	
PSA	13	524	15,8		42	209	16				0,9	-0,59	
	14	540	15,8		87	322	23				1,1	-0,53	
	15	550	16,0		38	0	21				1,0	-0,54	
	17	557	16,0		26	193	9				0,5	-0,60	
	18	503	16,3		64	81	18				0,8	-0,55	
	19	513	15,7		69	145	21				0,8	-0,54	

PSA	21	554	15,2	62	129	16			0,9	-0,53	
	22	567	15,1	50	451	16			0,9	-0,60	
	23	547	15,3	81	258	12			0,7	-0,59	
	25	503	15,8	32	1063	16	5,8	14,0	0,6	-0,54	
	26	510	15,6	22	290	12	6,6	17,9	0,6	-0,54	
	27	552	15,2	34	822	16	7,9	20,4	0,7	-0,55	
	05/08/97	1	626	16,2	202	113	7			0,8	-0,52
PSA	2	514	15,6	225	193	48	6,6	8,6	1,9	-0,49	
	3	577	15,3	147	242	12			1,0	-0,45	
	5	531	15,7	115	290	12			0,7	-0,52	
	6	483	16,4	120	306	32	3,4	8,3	0,8	-0,47	
	7	482	15,1	100	226	25			1,1	-0,51	
	9	559	15,7	47	242	21			0,4	-0,56	
	10	556	16,5	127	644	12	7,2	21,0	1,0	-0,53	
	11	539	16,1	41	258	21			0,7	-0,51	
	MEG	29	486	17,8	16	81	18			0,2	-0,40
		30	468	17,7	35	64	9	10,6	18,9	0,3	-0,39
31		473	16,8	29	97	14			0,1	-0,43	
33		476	17,9	6	145	7			0,2	-0,35	
34		474	14,9	43	145	7			0,3	-0,34	
35		404	15,7	120	0	46	7,7	1,5	3,5	-0,35	
11/08/97	13	534	16,6	47	242	16			0,9	-0,63	
PSA	14	548	16,5	110	306	23			1,1	-0,55	
	15	556	16,4	43	209	21			0,9	-0,58	
	17	561	16,5	33	209	14			0,5	-0,64	
	18	520	16,7	66	193	23			0,7	-0,57	
	19	512	16,7	58	226	23			0,7	-0,56	
	21	556	15,7	74	226	23			0,9	-0,56	
	22	566	15,7	60	193	21			1,0	-0,64	
	23	551	15,7	104	226	25			0,7	-0,64	
	25	514	16,7	38	419	21			0,7	-0,58	
	26	515	16,2	26	145	14			0,7	-0,58	
	27	551	15,7	41	81	14			0,7	-0,59	
	13/08/97	1	645	15,4	226	193	7			0,9	-0,57
	PSA	2	534	15,8	254	226	23	6,5	10,8	1,9	-0,53
		3	574	15,8	168	258	14			1,0	-0,58
5		530	16,7	130	371	9			0,8	-0,55	
6		481	16,9	142	387	32	4,1	8,8	0,9	-0,53	
7		497	15,8	95	322	25			1,1	-0,51	
9		552	16,8	45	338	14			0,4	-0,59	
10		564	17,3	148	338	7	8,0	21,9	1,0	-0,59	
11		538	16,3	60	226	18			0,8	-0,56	
MEG		29	475	16,7	23	129	7			0,2	-0,46
		30	466	16,3	38	129	0			0,3	-0,42
	31	467	17,0	35	161	0			0,1	-0,47	
	33	475	16,3	33	193	9			0,2	-0,38	
	34	469	15,6	29	226	0			0,2	-0,38	
	35	320	16,2	73	48	35	4,1	1,7	2,2	-0,40	
21/08/97	13	501	17,6	48	129	21			0,7	-0,72	
PSA	14	543	17,1	123	97	16			1,1	-0,65	
	15	537	16,7	60	81	18			0,9	-0,67	
	17	551	16,9	35	129	9			0,5	-0,72	
	18	525	16,9	81	81	18			0,7	-0,67	
	19	516	16,9	105	51	25			0,9	-0,64	
	21	549	16,5	88	129	16			1,0	-0,64	
	22	544	16,5	67	129	16			1,0	-0,73	
	23	524	16,2	84	145	12			0,7	-0,70	
	25	503	16,7	53	564	14			0,7	-0,65	
	26	513	16,3	37	81	12			0,7	-0,67	
	27	536	16,4	49	97	12			0,7	-0,68	

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Niveau nappe	
27/08/97	n°	µS/cm	°C		µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	m	
PSA	1	634	16,3		276	209	7				1,0	-0,67	
	2	572	16,3		269	48	48	7,2	15,5		1,7	-0,63	
	3	578	16,3		179	242	23				1,1	-0,66	
	5	557	16,8		134	290	7				0,9	-0,66	
	6	542	16,6		144	306	21	5,5	12,7		1,0	-0,64	
	7	555	16,0		96	290	23				1,0	-0,63	
	9	531	17,3		39	177	12				0,5	-0,68	
	10	559	17,1		110	354	7	8,8	22,6		1,1	-0,69	
	11	535	16,4		57	258	9				0,8	-0,65	
	MEG	29	481	16,6		24	129	0				0,2	-0,53
		30	481	16,9		45	113	0	10,5	19,9		0,3	-0,51
31		488	16,9		30	209	0				0,1	-0,56	
33		482	17,1		34	129	0				0,2	-0,46	
34		473	15,8		31	0	9				0,2	-0,45	
35		374	16,4		227	0	46	6,9	2,4		2,2	-0,48	
PSA	13	543	16,5		57	129	21				0,7	-0,68	
	14	555	16,8		126	226	14	7,9	17,6		1,0	-0,61	
	15	546	16,5		57	129	18				0,8	-0,64	
	17	566	16,6		37	209	16				0,5	-0,70	
	18	539	16,5		86	193	14				0,7	-0,62	
	19	531	16,5		103	209	23				0,8	-0,60	
	21	552	16,1		103	242	14				0,9	-0,60	
	22	553	16,0		77	209	14				0,9	-0,69	
	23	552	16,2		80	242	14				0,6	-0,68	
	25	519	16,4		48	242	14				0,7	-0,61	
	26	523	16,2		38	226	14	7,0	17,9		0,6	-0,64	
27	547	16,0		58	193	9				0,7	-0,64		
PSA	1	589	15,9		251	193	14				0,9	-0,65	
	2	580	15,8		312	0	55	7,0	14,2		1,5	-0,61	
	3	587	15,7		197	274	35				1,0	-0,67	
	5	564	16,1		165	290	30				0,8	-0,63	
	6	566	15,8		153	354	60				0,9	-0,59	
	7	564	15,7		120	371	28				0,9	-0,62	
	9	544	16,3		68	193	12				0,4	-0,68	
	10	568	16,3		141	322	0				1,0	-0,66	
	11	548	15,9		78	193	18				0,7	-0,64	
	MEG	29	483	16,6		31	0	0				0,2	-0,51
		30	487	16,2		59	193	0				0,4	-0,49
31		499	16,0		71	161	0				0,1	-0,54	
33		488	16,3		43	161	0				0,2	-0,47	
34		476	15,4		56	0	25				0,3	-0,44	
35		437	15,9		309	258	48	7,4	2,1		2,4	-0,46	
PSA	13	550	15,7		67	290	30				0,8	-0,73	
	14	552	15,6		134	290	14				1,0	-0,66	
	15	531	15,7		51	145	23				0,6	-0,67	
	17	560	15,5		43	145	16				0,5	-0,74	
	18	536	15,4		105	145	18				0,7	-0,67	
	19	529	15,4		106	145	23				0,8	-0,67	
	21	551	15,3		126	242	14				1,0	-0,65	
	22	548	15,4		74	145	14				1,0	-0,72	
	23	531	15,4		79	226	16				0,8	-0,74	
	25	514	15,4		57	161	14				0,8	-0,68	
	26	528	15,4		51	81	12				0,7	-0,68	
27	548	15,4		62	145	12				0,8	-0,69		
PSA	13	552	14,2		60	403	18				0,7	-0,76	
	14	548	14,4		142	306	18				1,1	-0,71	
	15	538	14,4		66	209	18				0,9	-0,73	
	17	554	14,4		43	177	16				0,6	-0,78	
	18	532	14,3		106	226	18				0,7	-0,71	
	19	527	14,2		136	177	18				0,9	-0,72	

PSA	21	547	14,5	140	274	14			0,9	-0,71	
	22	540	14,5	86	226	12			0,9	-0,79	
	23	530	14,5	74	193	12			0,7	-0,78	
	25	513	14,4	56	145	14			0,7	-0,71	
	26	528	14,5	48	258	9			0,7	-0,72	
	27	548	14,6	62	274	7			0,7	-0,72	
	10/10/97	1	625	13,8	267	387	0			0,9	-0,62
PSA	2	544	13,5	205	387	9	7,3	15,6	1,2	-0,60	
	3	561	13,4	168	322	7			0,9	-0,64	
	5	564	13,7	137	387	9			0,8	-0,62	
	6	541	13,6	139	483	9	6,3	14,2	0,8	-0,60	
	7	536	13,5	75	354	12			0,7	-0,60	
	9	544	13,9	50	209	12			0,4	-0,65	
	10	556	13,8	71	532	12	8,2	23,4	1,0	-0,64	
	11	548	13,6	59	274	16			0,7	-0,61	
	MEG	29	503	14,6	21	290	8			0,2	-0,47
30		493	14,5	44	193	7	12,7	20,3	0,3	-0,47	
31		496	14,6	58	274	7			0,1	-0,51	
33		479	14,9	39	322	7			0,2	-0,42	
34		482	14,1	42	226	0	13,5	24,4	0,2	-0,39	
35		279	15,4	70	354	25	1,0	1,9	3,3	-0,43	
15/10/97		13	550	12,9	64	129	18			0,7	-0,67
PSA	14	593	13,7	105	274	16	7,9	20,0	1,0	-0,60	
	15	544	13,1	50	0	18			0,7	-0,62	
	17	616	13,3	36	161	16			0,5	-0,68	
	18	581	13,3	27	177	12	7,1	15,5	0,7	-0,61	
	19	563	13,3	94	129	21			0,8	-0,61	
	21	561	13,5	124	0	14			0,8	-0,61	
	22	567	13,6	79	64	12			0,9	-0,68	
	23	600	13,5	50	113	12			0,7	-0,68	
	25	586	13,5	42	290	21			0,7	-0,61	
	26	555	13,6	43	64	14			0,6	-0,62	
	27	561	13,5	50	145	9			0,6	-0,62	
	24/10/97	1	643	13,0	306	242	0			0,8	-0,60
	PSA	2	591	12,6	313	161	21	7,1	13,3	1,2	-0,57
		3	599	12,5	194	226	14			0,9	-0,62
5		589	12,7	168	322	9			0,7	-0,59	
6		590	12,6	167	306	12	5,1	11,7	0,8	-0,57	
7		566	12,2	89	193	16			0,6	-0,58	
9		558	13,0	58	290	16			0,4	-0,63	
10		598	12,6	83	354	0	6,5	23,1	1,1	-0,61	
11		588	12,5	68	290	16			0,6	-0,57	
MEG		29	503	13,5	22	193	0			0,1	-0,47
		30	493	13,4	41	144	7	11,1	19,2	0,2	-0,47
		31	508	12,9	56	226	7			0,2	-0,50
	33	484	13,2	27	161	0			0,1	-0,42	
	34	478	12,7	35	0	7			0,2	-0,39	
	35	419	13,4	63	0	23	4,1	5,6	1,7	-0,43	
31/10/97	13	578	11,3	0	193	25			0,7	-0,69	
PSA	14	603	11,2	0	258	14	8,0	20,2	1,0	-0,63	
	15	533	10,2	0	129	21			0,7	-0,65	
	17	593	10,9	0	0	18			0,4	-0,70	
	18	579	10,9	0	48	18			0,6	-0,64	
	19	558	11,2	0	0	21			0,7	-0,63	
	21	565	11,7	0	113	14			0,8	-0,62	
	22	567	11,7	0	177	12	8,6	20,7	0,8	-0,71	
	23	594	11,6	0	97	14			0,6	-0,70	
	25	583	11,1	0	209	16			0,7	-0,64	
	26	553	11,2	0	81	18			0,6	-0,64	
	27	570	11,6	0	209	12			0,6	-0,64	



Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Niveau nappe	
13/11/97	n°	μS/cm	°C		μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	m	
PSA	1	643	10,4		240	709	9					-0,29	
	2	605	9,7		247	354	7	6,6	10,7			-0,25	
	3	640	10,0		145	306	9					-0,30	
	5	609	9,9		112	226	9					-0,27	
	6	526	9,2		100	258	12	3,9	10,4			-0,26	
	7	617	9,7		72	258	12					-0,26	
	9	598	10,2		49	193	16					-0,31	
	10	647	9,8		85	274	7	6,1	21,1			-0,30	
	11	638	9,6		60	242	16					-0,27	
	MEG	29	525	10,3		19	177	0					-0,14
		30	466	10,2		33	129	0	10,8	16,2			-0,15
31		456	10,0		35	226	0					-0,19	
33		466	10,5		16	193	7					-0,09	
34		466	10,4		24	0	7	11,7	19,4			-0,09	
35		248	8,6		9	0	9	2,6	4,4			-0,09	
20/11/97	18				109	209	16				0,8	-0,30	
PSA	26				61	0	18				0,7	-0,30	
08/12/97	1	675	8,3		224	387	7				0,8	-0,34	
PSA	2	644	7,6		238	258	9	5,2	8,8		1,2	-0,31	
	3	695	8,0		148	274	18				1,0	-0,36	
	5	618	7,5		99	258	12				0,7	-0,36	
	6	529	5,4		116	242	9	2,8	8,7		0,7	-0,32	
	7	677	8,3		64	338	14				0,6	-0,32	
	9	635	8,0		49	161	14				0,3	-0,38	
	10	705	8,0		100	242	9	3,8	14,6		1,1	-0,36	
	11	662	7,9		54	226	18				0,6	-0,33	
	17	687	7,6		37	0	21				0,4	-0,42	
	18	672	7,1		84	209	18				0,7	-0,37	
	19	629	7,0		86	0	23				0,7	-0,36	
	25	655	7,5		28	0	25				0,4	-0,46	
	26	630	7,8		52	0	28				0,6	-0,36	
	27	634	7,8		56	0	18				0,6	-0,47	
	MEG	29	548	9,0		16	177	9				0,1	-0,20
		30	482	8,5		28	113	0	7,5	10,6		0,2	-0,19
		31	504	8,2		30	161	7				0,1	-0,26
33		504	8,8		13	0	7				0,0	-0,15	
34		482	8,7		30	81	9				0,1	-0,14	
35		386	7,7		22	0	9	3,0	6,6		0,8	-0,19	

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Niveau nappe	
07/01/98	n°	μS/cm	°C	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	m	
PSA	9	409	7,3	12	129	14			0,8	0,06	
	10	405	6,8	11	81	12	5,6	14,7	1,0	0,09	
	11	420	6,8	11	129	9			1,0	0,11	
	13	339	6,4	59	661	28			1,8	0,03	
	15	456	6,6	19	145	9			0,8	0,08	
	17	519	6,8	20	0	14			0,3	0,02	
MEG	29	490	10,0	22	81	7			0,3	0,11	
	30	486	10,5	25	113	0	9,6	20,7	0,3	0,03	
	31	494	9,5	32	97	0			0,1	0,10	
	33	474	10,0	31	0	0			0,2	0,05	
	34	480	10,0	87	0	0			0,4	0,06	
	35	506	9,0	51	0	7	8,8	19,1	1,3	0,14	
PSA	1	486	6,6	37	0	30			1,3	-0,11	
	2	464	6,3	35	0	16	6,2	12,9	0,4	0,00	
	3	468	6,1	57	0	12			1,0	-0,12	
	5	492	6,2	20	0	14			0,9	-0,10	
	6	514	5,5	34	161	21	6,3	9,8	1,1	-0,07	
	7	479	6,1	27	81	16			1,0	-0,09	
	9	581	7,1	18	0	18			0,8	-0,14	
	10	506	6,1	16	64	16	5,7	14,5	0,9	-0,11	
	11	538	6,0	27	242	14			0,9	-0,11	
	13	459	6,5	176	677	35			1,7	-0,19	
	14	489	6,3	35	628	23	6,0	13,4	1,4	-0,12	
	15	507	6,3	19	97	16			0,8	-0,15	
	17	527	6,7	21	0	18			0,3	-0,17	
	18	500	6,5	28	81	25	6,6	15,2	0,9	-0,14	
	19	477	6,2	35	0	23			1,3	-0,13	
	21	480	6,8	41	403	28			1,1	-0,11	
	22	500	6,5	29	838	21	5,9	16,4	0,9	-0,19	
	23	503	6,8	25	0	16			0,5	-0,20	
	25	493	6,2	25	48	16			0,7	-0,13	
	26	500	6,3	21	0	21	6,1	16,5	0,6	-0,14	
	27	486	6,8	28	97	18			0,9	-0,14	
	MEG	29	487	9,2	22	0	0			0,3	0,04
		30	484	10,2	25	48	0	9,1	19,3	0,3	0,03
		31	494	8,7	34	97	0			0,2	0,00
		33	475	9,8	37	0	7			0,2	0,05
		34	477	9,7	82	0	8			0,4	0,06
		35	501	8,8	56	0	0	9,2	19,7	0,9	0,05
PSA	9			21	48	16			0,8	0,02	
	10			14	0	14	3,8	6,5	0,9	0,06	
	11			16	0	12			0,8	0,08	
MEG	29			22	0	0			0,3	0,11	
	30			19	64	0	9,3	20,2	0,3	0,03	
	31			28	48	0			0,2	0,09	
	33			28	0	0			0,2	0,07	
	34			78	0	12			0,4	0,08	
	35			49	0	12			0,8	0,15	
PSA	17			16	2340	16	6,7	16,2	0,3	0,01	
	25			22	5400	28			0,7	0,07	
	26			15	6200	37	8,9	21,3	0,8	0,06	
	27			15	5030	18			0,8	0,04	

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Niveau nappe	
02/02/98	n°	µS/cm	°C	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	m	
PSA	1	258	4,6	38	0	16			1,4	-0,25	
	2	560	4,1	35	177	21	12,0	27,3	1,7	-0,21	
	3	540	3,0	17	644	23			1,3	-0,26	
	5	554	4,6	26	177	14			1,1	-0,25	
	6	536	3,3	49	129	21	10,1	20,0	1,3	-0,17	
	7	520	4,2	24	0	16			1,2	-0,22	
	9	599	4,6	20	854	18			1,2	-0,28	
	10	579	3,3	17	1350	16	10,6	25,9	1,4	-0,27	
	11	565	3,8	30	177	18	8,8	20,0	1,0	-0,22	
	MEG	29	492	8,2	28	81	0			0,3	-0,13
		30	488	9,1	30	0	7	9,8	20,7	0,3	-0,12
31		492	7,4	34	64	7			0,1	-0,17	
33		477	8,6	33	64	0			0,2	-0,08	
34		477	8,7	88	0	7	8,9	18,5	0,4	-0,07	
35		570	6,8	48	0	9	9,2	18,6	0,7	-0,11	
PSA	13	523	3,5	28	338	23			1,5	-0,40	
	14	557	4,0	21	145	16	10,1	23,3	1,2	-0,31	
	15	561	4,2	14	145	12			0,8	-0,34	
	17	538	4,5	17	0	16			0,2	-0,41	
	18	556	4,0	17	0	16	10,2	22,6	0,9	-0,34	
	19	584	4,0	27	161	14			1,4	-0,32	
	21	548	4,4	40	322	23			1,4	-0,33	
	22	533	4,5	28	0	23	8,5	22,1	0,9	-0,42	
	23			13	97	12			0,4	-0,41	
	25	536	3,8	19	145	14			0,6	-0,34	
	26	529	3,9	17	129	12	8,6	21,8	0,6	-0,35	
27	519	4,0	19	64	14			0,7	-0,36		
PSA	1	599	5,9	141	242	0			1,3	-0,37	
	2	661	5,7	131	242	7			1,7	-0,33	
	3	550	4,9	42	0	16			1,3	-0,39	
	5	604	5,5	42	113	9			1,0	-0,37	
	6	438	5,3	84	161	12			1,3	-0,35	
	7	596	5,1	65	193	12			1,2	-0,35	
	9	627	5,4	30	193	16			0,9	-0,41	
	10	664	5,1	49	306	21	5,3	18,9	1,5	-0,39	
	11	583	4,9	35	242	16			0,9	-0,35	
	14			39	177	18			1,2		
	18			62	209	12			0,8		
MEG	29	517	6,3	22	354	0			0,2	-0,23	
	30	493	6,7	21	129	0	8,8	20,4	0,2	-0,22	
	31	510	6,0	30	161	0			0,1	-0,27	
	33	492	6,5	32	161	0			0,2	-0,18	
	34	458	6,3	18	274	0			0,1	-0,17	
	35	382	5,9	74	113	7			0,7	-0,20	
	PSA	13	597	5,6	81	354	28			1,6	-0,53
14		635	5,7	40	226	14			1,3	-0,44	
15		608	5,7	31	161	12			0,9	-0,47	
17		578	5,6	16	0	12			0,3	-0,51	
18		589	5,8	45	0	16	6,8	17,0	1,0	-0,47	
19		623	5,7	72	0	18			1,3	-0,46	
21		626	5,7	79	0	23			1,3	-0,44	
22		596	5,4	58	161	21			1,0	-0,52	
23		559	5,4	37	177	14			0,4	-0,52	
25		551	5,7	32	226	9			0,5	-0,40	
26		572	5,7	23	161	9	6,5	18,7	0,6	-0,47	
27	569	5,5	27	193	12			0,6	-0,47		
PSA	1	634	7,1	139	81	7			1,2	-0,18	
	2	630	6,9	158	64	14			1,5	-0,14	
	3	656	6,5	42	0	18			1,3	-0,21	
	5	619	6,7	34	145	7			0,9	-0,19	

PSA	6	487	6,0	89	0	12			1,1	-0,17
	7	574	6,4	46	0	12			1,0	-0,16
	9	679	6,7	32	113	12			0,7	-0,23
	10	689	6,7	71	226	16			1,4	-0,22
	11	615	6,3	38	274	12			0,7	-0,18
	14			28	145	18			1,2	
	18			41	0	12			0,8	
MEG	29	535	7,0	20	0	0			0,3	-0,06
	30	520	7,5	19	0	0	8,7	19,5	0,2	-0,06
	31	495	6,6	25	0	0			0,1	-0,11
	33	514	7,5	24	0	0			0,2	-0,02
	34	510	7,8	67	0	0			0,3	-0,02
	35	340	4,6	16	0	0	2,2	7,3	0,3	-0,02
PSA	6			96	226	12	4,5	13,1	1,2	
	10			75	322	18	4,0	16,6	1,3	
	17			18	0	16			0,2	
	18			30	0	16	6,9	16,2	0,7	
	19			46	0	16			1,2	
	21			71	113	18			0,8	
	22			46	644	18			1,0	
	23			23	0	12			0,4	
	25			27	0	12			0,5	
	26			25	113	12	5,9	17,8	0,6	
MEG	27			29	226	14			0,6	
	30			20	97	0	8,4	18,8	0,2	
PSA	1	684	8,0	256	177				1,2	-0,47
	2	656	7,4	253	193	5,5	15,1		1,5	-0,43
	3	685	7,3	88	145				1,4	-0,49
	5	630	7,5	69	209				1,0	-0,47
	6	593	7,3	104	209	5,1	14,3		1,2	-0,44
	7	614	7,0	70	145				1,0	-0,44
	9	655	7,4	55	113				0,7	-0,50
	10	678	7,4	76	193	4,5	17,7		1,4	-0,49
	11	603	7,1	48	161				0,7	-0,45
	21	655	7,2	123	129				1,3	-0,48
	22	623	6,7	56	258				1,0	-0,55
	23	588	6,7	30	193				0,5	-0,56
	25	582	6,8	33	113				0,6	-0,49
26	585	6,6	25	0	6	17,9		0,6	-0,50	
27	576	6,7	38	483				0,6	-0,50	
MEG	29	533	8,0	19	0				0,2	-0,33
	30	519	7,9	20	0	8,6	18,8		0,2	-0,34
	31	524	7,9	23	81				0,1	-0,37
	33	513	8,0	29	97				0,2	-0,29
	34	509	8,0	57	0				0,3	-0,27
	35	404	7,6	33	0	2,7	10,8		0,4	-0,30
PSA	1	348	8,4	38	134	16	0,9	2,9	0,6	-0,08
	2	305	8,4	36	104	14	1,3	4,6	1,2	-0,05
	3	460	8,4	38	93	21	1,8	5,4	0,8	-0,15
	5	603	8,3	23		16			0,6	-0,12
	6	487	8,6	14	90	14	1,2	4,0	0,9	-0,08
	7	336	8,3	18		18			0,7	-0,09
	9	324	8,6	39		16			0,6	-0,17
	10	457	8,3	26	82	16	2,7	10,0	0,8	-0,13
MEG	11	361	8,5	24		12			0,4	-0,12
	29	527	8,3	20	0	7	8,4	18,6	0,2	0,02
	30	520	8,5	18	130	0	8,6	19,6	0,2	0,02
	31	536	8,2	32	0	0	7,6	17,7	0,1	-0,03
	33	513	8,6	30		0			0,2	0,03
	34	510	8,6	81		0			0,3	0,03
35	424	8,2	43	115	7	4,9	11,3	0,5	0,02	

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Niveau nappe
06/04/98	n°	μS/cm	°C	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	m
PSA	13			23					1,1	-0,11
	14			27					1,0	-0,03
	15			31					0,7	-0,05
	17			17	0		3,8	10,5	0,2	-0,12
	18			23	0		3,5	9,5	0,6	-0,05
	19			25	0		2,6	8,2	1,0	-0,04
	21			44					0,9	-0,04
	22			29					0,9	-0,12
	23			21					0,7	-0,12
	25			27	0		2,9	9,3	0,4	-0,04
	26			21	240		3,8	12,5	0,5	-0,08
27			23	125		3,7	11,9	0,5	-0,07	
PSA	1	494	8,5	74	290	14			0,6	-0,07
	2	491	8,3	92	226	23			1,1	-0,03
	3	574	8,4	45	209	25			0,9	-0,09
	5	621	8,1	38	145	16			0,7	-0,07
	6	431	8,3	47	161	18	1,3	2,5	0,9	-0,04
	7	497	8,3	39	209	16			0,7	-0,11
	9	652	7,9	38	193	16			0,4	-0,11
	10	554	8,0	38	242	25	2,6	8,0	0,6	-0,09
	11	551	8,0	33	242	18			0,5	-0,06
	13	536	8,0	38	177	23			1,2	-0,16
	14	596	7,9	38	145	41			1,0	-0,07
	15	556	7,9	25	209	18			0,7	-0,11
	17	566	7,7	16	161	12			0,2	-0,14
	18	565	7,8	29	193	12	4,0	10,9	0,6	-0,09
	19	574	7,9	39	0	16			1,0	-0,08
	21	602	7,6	69	145	18			0,8	-0,08
	22	598	7,7	35	81	21			0,8	-0,15
	23	579	7,6	177	564	16			0,7	-0,15
25	566	7,7	38	129	18			0,4	-0,09	
26	562	8,0	22	113	18	4,1	13,8	0,5	-0,11	
27	571	7,7	32	81	18			0,5	-0,10	
MEG	29	523	8,6	23	145	18			0,2	0,09
	30	523	8,8	17	129	7	8,7	20,6	0,3	0,03
	31	520	8,4	25	129	0			0,2	0,04
	33	512	8,9	31	145	0			0,2	0,09
	34	511	8,8	70	113	0			0,3	0,08
	35	473	8,4	43	161	0	3,5	8,9	0,5	0,09
	PSA	1	548	9,6	115	193	16			0,7
2		581	9,5	131	242	21	2,7	4,1	1,2	-0,15
3		608	9,4	51	226	28			0,9	-0,22
5		594	9,4	52	0	18			0,7	-0,20
6		476	10,3	73	97	25	1,5	2,4	0,8	-0,18
7		552	9,4	61	64	28			0,7	-0,17
9		668	9,1	54	177	28			0,4	-0,24
10		638	9,5	54	274	30	2,8	10,3	0,7	-0,23
11		579	9,4	49	226	21			0,7	-0,19
13		574	9,2	41	193	28			1,2	-0,29
14		619	9,4	41	177	35			1,0	-0,20
15		575	9,1	29	145	28			0,7	-0,24
17		561	9,2	16	177	18			0,2	-0,29
18		574	9,2	44	97	25	3,7	9,1	0,6	-0,23
19		601	9,0	60	0	30			1,0	-0,22
21		655	8,7	83	113	30			0,8	-0,22
22		610	8,8	40	97	30			0,9	-0,29
23		589	8,9	123	0	25			0,6	-0,29
25	556	9,1	36	0	28			0,5	-0,23	
26	584	8,9	28	129	25	4,2	13,9	0,6	-0,23	
27	593	8,8	30	145	23			0,6	-0,23	

04/05/98	PSA	1	616	9,8	99	838	9			0,8	-0,27		
		2	593	9,8	192	210	37	3,0	4,3	1,2	-0,22		
		3	635	9,6	64	161	28			1,0	-0,28		
		5	598	9,7	55	161	9			0,8	-0,27		
		6	482	9,8	104	145	21	1,6	2,2	0,9	-0,24		
		7	562	9,6	71	97	16			0,7	-0,24		
		9	664	9,5	48	129	14			0,5	-0,30		
		10	645	9,8	67	225	23	3,0	10,8	0,8	-0,29		
		11	579	9,8	45	193	16			0,6	-0,26		
		<hr/>											
		MEG	29	537	9,8	20	129	0			0,3	-0,13	
30	525		10,2	20	145	0	8,6	19,8	0,3	-0,12			
31	523		9,6	25	161	0			0,1	-0,17			
33	519		10,0	29	64	0			0,2	-0,08			
34	513		9,8	63	64	0	9,3	20,5	0,3	-0,06			
35	506		9,9	31	161	0	1,7	3,8	0,3	-0,11			
<hr/>													
11/05/98	PSA	1	622	10,2	152	338	12			0,9	-0,39		
		2	563	10,3	225	435	41	3,8	8,3	1,2	-0,34		
		3	643	10,2	75	290	28			1,4	-0,40		
		5	569	10,4	69	145	16			1,2	-0,38		
		6	480	10,2	147	322	51			0,9	-0,36		
		7	516	10,2	90	0	18			0,8	-0,35		
		9	641	10,4	69	161	16			0,5	-0,42		
		10	600	10,6	69	210	28			1,0	-0,41		
		11	572	10,4	70	241	25			0,9	-0,37		
		13	601	10,0	48	241	30			1,6	-0,48		
		14	622	10,2	49	241	25	5,1	14,5	1,2	-0,39		
		15	609	10,2	26	210	18			0,9	-0,42		
		17	582	10,1	19	225	14			0,4	-0,48		
		18	589	10,0	41	193	14	5,1	12,5	0,7	-0,41		
		19	593	10,2	59	193	18			1,2	-0,40		
		21	627	9,8	96	258	23			1,1	-0,40		
		22	617	9,8	43	241	18	4,6	16,7	1,0	-0,47		
		23	584	9,8	129	161	16			0,7	-0,48		
		25	556	10,6	41	789	16			0,6	-0,41		
		26	582	9,9	27	48	21	4,9	15,2	0,6	-0,42		
		27	576	9,8	33	81	18			0,7	-0,42		
		<hr/>											
		MEG	29	524	10,8	29	129	9			0,4	-0,28	
			30	519	11,1	24	177	7	5,5	13,7	0,2	-0,28	
			31	520	10,4	27	177	7			0,4	-0,31	
			33	513	10,8	34	113	7			0,3	-0,24	
			34	512	10,5	62	129	7			0,3	-0,21	
35	497		10,6	41	210	9	1,6	3,2	0,3	-0,25			

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Niveau nappe	
19/03/98	n°	μS/cm	°C	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	m	
PSA	1	643	11,8	192	0	12			-0,48	
	2	589	11,7	293	0	32			-0,44	
	3	640	11,6	91	0	21			-0,50	
	5	571	12,0	77	0	12			-0,49	
	6	486	11,8	174	0	28			-0,45	
	7	518	11,5	90	0	21			-0,46	
	9	635	12,0	53	0	14			-0,52	
	10	579	12,5	101	0	23			-0,51	
	11	562	12,1	85	110	25			-0,48	
	13	604	11,3	50	266	23			-0,58	
	14	611	11,9	52	157	23			-0,50	
	15	597	11,8	29	172	14			-0,52	
	17	583	11,5	17	187	14			-0,58	
	18	592	11,7	44	141	16			-0,50	
	19	593	11,8	58	62	25			-0,50	
	21	628	11,4	93	110	18			-0,50	
	22	616	11,3	58	157	18			-0,57	
	23	585	11,5	136	157	16			-0,58	
	25	551	12,2	38	125	18			-0,51	
	26	582	11,9	32	0	23			-0,51	
	27	570	11,6	35	62	21			-0,51	
	MEG	29	521	12,9	20	62	12			-0,38
		30	523	11,9	24	0	9			-0,37
		31	531	11,7	37	0	0			-0,41
		33	513	11,8	37	62	0			-0,34
		34	511	11,9	67	0	0			-0,30
		35	485	11,5	58	94	7			-0,34
PSA		1	658	11,8	209	0	14			-0,52
	2	621	11,8	418	64	53	4,6	9,1	-0,47	
	3	660	11,8	125	0	23			-0,53	
	5	581	12,3	87	64	12			-0,51	
	6	516	12,3	167	81	21	2,2	3,4	-0,49	
	7	572	12,0	87	0	21			-0,48	
	9	632	12,5	54	64	16			-0,55	
	10	570	12,6	114	161	18			-0,53	
	11	558	12,3	88	145	21			-0,50	
	13	599	11,6	69	193	32			-0,60	
	14	603	11,9	59	97	25	4,9	15,1	-0,51	
	15	603	11,7	34	113	18			-0,54	
	17	584	11,5	22	113	14			-0,60	
	18	591	11,5	46	97	21	4,7	11,8	-0,53	
	19	588	12,1	69	193	23			-0,52	
	21	634	11,7	100	81	21			-0,52	
	22	617	11,8	52	0	25	4,5	15,7	-0,59	
	23	598	11,7	136	0	21			-0,60	
	25	559	12,1	47	145	25			-0,53	
	26	583	12,0	34	145	16	4,4	12,8	-0,54	
	27	561	11,7	36	709	16			-0,54	
	MEG	29	528	12,1	18	97	9			-0,37
		30	523	12,5	24	81	0	7,7	18,6	-0,38
		31	536	11,9	33	177	0			-0,40
		33	516	12,2	36	0	0			-0,32
		34	513	12,4	64	48	0	8,1	20,6	-0,30
		35	503	12,9	61	0	9			-0,34
08/06/98		13	643	12,4	86	0	32			-0,64
	14	633	12,6	66	0	28			-0,55	
	15	644	12,7	73	0	21			-0,58	
	17	613	12,7	34	0	16			-0,64	
	18	625	12,4	90	0	18			-0,56	
	19	632	12,7	102	0	25			-0,56	

PSA	21	681	12,6	173	0	18			-0,56
	22	650	12,5	66	0	37			-0,63
	23	630	12,6	149	0	28			-0,63
	25	598	13,2	62	145	44			-0,57
	26	614	12,9	42	161	32			-0,57
	27	602	12,9	54	1643	18			-0,58
	16/06/98	1	696	13,2	351		12		
	2	652	13,5	124		9			-0,47
	3	680	13,2	108		7			-0,52
	5	631	13,5	99		0			-0,50
	6	581	13,4	201		23			-0,49
	7	628	13,6	106		14			-0,48
	9	674	13,4	83		7			-0,54
	10	611	13,9	170		7			-0,52
	11	598	13,5	147		7			-0,48
PSA	13	638	12,9	95		60			-0,59
	14	634	13,0	70		23			-0,51
	15	654	12,9	45		18			-0,52
	17	622	13,0	21		7			-0,59
	18	632	12,9	54		14			-0,53
	19	648	13,0	93		7			-0,51
	21	685	12,7	137		12			-0,52
	22	657	12,9	62		18			-0,58
	23	633	13,1	120		9			-0,59
	25	606	13,2	45		16			-0,52
	26	621	13,1	45		14			-0,54
	27	608	12,5	51		12			-0,54
		29	569	14,0	12		0		
MEG	30	552	13,8	24		0			-0,35
	31	572	13,4	67		0			-0,39
	33	553	13,4	16		0			-0,31
	34	550	13,0	52		0			-0,28
	35	566	13,2	66		0			-0,31
	24/06/98	1	690	14,7	1636	0	41		
	2	680	13,7	581	161	16	5,5	9,1	
	3	700	14,0	167	241	12			
	5	638	14,0	112	193	7			
	6	604	13,9	193	177	14	3,1	2,6	
	7	655	13,6	159	225	7			
	9	653	14,0	85	241	0			
	10	619	14,8	153	210	7	4,6	11,8	
	11	599	13,9	159	210	14			
PSA	13	648	13,8	99	210	12			
	14	639	13,5	77	161	12			
	15	652	13,5	42	129	7			
	17	621	13,5	28	129	9	6,2	13,1	
	18	627	13,3	63	0	14			
	19	645	13,5	86	0	9			
	21	689	13,5	143	274	7			
	22	651	13,4	60	210	7	6,1	15,9	
	23	637	13,6	137	210	0			
	25	606	13,6	63	161	9			
	26	615	13,6	50	129	9	6,0	14,8	
	27	601	13,3	46	145	7			
		29	553	14,0	14	0	0		
MEG	30	545	14,2	28	0	7			
	31	569	13,7	46	97	7			
	33	546	13,7	36	0	0			
	34	541	13,3	50	0	7			
	35	552	13,6	89	0	9			



Date	Piézomètre	Conductivité	T°	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Niveau nappe	
02/07/98	n°	μS/cm	°C	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	m	
PSA	13	637	14,3	79	387	25			-0,72	
	14	643	14,1	78	193	18			-0,62	
	15	656	13,9	42	210	21			-0,65	
	17	623	13,9	23	145	9			-0,72	
	18	623	13,9	60	64	16	6,4	13,3	-0,64	
	19	644	13,9	94	0	21			-0,63	
	21	681	13,4	125	0	16			-0,56	
	22	648	13,5	72	0	16			-0,70	
	23	639	13,5	118	0	14			-0,71	
	25	608	13,7	60	0	14			-0,65	
	26	614	13,6	49	0	12	6,3	15,2	-0,66	
27	604	13,4	47	0	12			-0,66		
07/07/98	1	715	13,8	386	290	14			-0,64	
PSA	2	695	14,1	585	64	69	6	8,5	-0,59	
	3	718	14,1	162	161	18			-0,64	
	5	640	14,4	115	145	16			-0,63	
	6	642	14,2	226	0	58	4,2	4,5	-0,61	
	7	675	13,9	145	145	21			-0,59	
	9	633	14,2	66	97	14			-0,67	
	10	617	14,5	147	97	14	4,8	12	-0,65	
	11	607	13,7	116	64	18			-0,62	
	MEG	29	550	14,2	18	81	0			-0,49
		30	548	14,3	31	97	7	9,6	19,1	-0,50
31		571	14,4	61	258	7			-0,53	
33		549	14,3	45	0	0			-0,46	
34		540	13,5	45	0	9			-0,43	
35		560	13,7	82	0	9	8,4	13,8	-0,46	
15/07/98	1	718	14,4	368	0	23			-0,62	
PSA	2	695	14,2	658	64	71			-0,57	
	3	717	14,2	172	193	16			-0,64	
	5	643	14,5	158	290	12			-0,62	
	6	648	14,2	221	64	23	3,8	3,0	-0,58	
	7	675	13,9	138	0	14			-0,59	
	9	619	14,4	62	0	18			-0,65	
	10	616	14,4	133	129	14			-0,65	
	11	608	13,9	108	258	7			-0,62	
	13	628	13,9	95	773	28			-0,71	
	14	653	14,1	77	241	21			-0,61	
	15	660	13,9	51	161	23			-0,65	
	17	628	14,1	28	129	23			-0,70	
	18	627	14,2	73	145	18	6,2	12,6	-0,64	
	19	654	13,9	130	177	23			-0,63	
	21	678	13,3	131	145	18			-0,64	
	22	648	13,4	88	113	21			-0,70	
	23	631	13,6	116	161	16			-0,71	
	25	616	13,7	64	145	23			-0,64	
	26	620	13,6	53	97	14			-0,65	
	27	605	13,3	53	129	18			-0,65	
MEG	29	570	14,3	10	129	0			-0,48	
	30	553	14,3	26	161	0	9,9	20,1	-0,49	
	31	569	14,0	45	145	0			-0,51	
	33	564	14,3	26	81	0			-0,44	
	34	566	13,7	37	97	7			-0,41	
	35	574	13,9	79	64	7			-0,45	
28/07/98	1	715	15,1	370	0	9			-0,64	
2	690	15,0	636	113	44			-0,60		
3	721	14,9	156	210	14			-0,65		
5	653	15,1	154	225	14			-0,64		
6	646	14,9	213	177	23			-0,62		
7	673	14,6	140	145	14			-0,61		

PSA	9	653	15,1	73	161	0			-0,68
	10	630	15,0	157	258	0			-0,66
	11	618	14,5	115	210	7			-0,62
	13	645	14,6	107	129	32			-0,73
	14	656	14,7	97	210	23			-0,64
	15	663	14,4	47	161	23			-0,67
	17	634	14,7	28	451	14			-0,73
	18	638	14,7	72	338	16	6,0	12,3	-0,66
	19	653	14,5	119	193	16			-0,65
	21	677	14,0	139	177	14			-0,65
	22	652	14,2	83	210	18			-0,71
	23	640	14,1	126	145	9			-0,73
	25	622	14,4	78	210	16			-0,66
	26	623	14,2	63	161	16	5,9	14,7	-0,67
27	609	14,3	49	193	18			-0,67	
MEG	29	556	15,1	14	129	0			-0,52
	30	551	15,1	27	97	0	9,1	18,4	-0,51
	31	568	15,0	42	210	0			-0,55
	33	561	15,2	32	81	0			-0,48
	34	545	14,8	42	81	0			-0,44
	35	467	14,6	45	193	14			-0,48
	05/08/98	13	649	15,0	105	274	25		
PSA	14	657	15,0	99	210	14			-0,68
	15	664	14,5	51	161	21			-0,71
	17	629	15,0	30	145	18			-0,77
	18	631	15,0	85	193	12			-0,69
	19	649	14,6	125	177	16			-0,70
	21	665	14,1	136	193	12			-0,68
	22	651	14,1	87	177	18			-0,75
	23	638	14,3	120	145	16			-0,76
	25	620	14,5	81	193	14			-0,70
	26	620	14,3	65	177	12			-0,70
27	615	14,2	63	161	14			-0,71	
11/08/98	5	666	15,8	220	177	7			-0,72
PSA	6	666	15,7	250	0	32	4,4	2,6	-0,69
	7	666	15,5	98	0	18			-0,69
	9	620	15,7	92	0	14			-0,75
	29	554	15,8	9	64	0			-0,59
MEG	30	551	15,7	26	64	0	8,4	18,3	-0,58
	31	557	15,7	35	0	0			-0,57
	33	557	16,6	41	0	0			-0,54
	34	543	15,4	31	0	0			-0,59
	35	485	15,6	23	0	12	6,8	5,1	-0,55
	18/08/98	1	704	15,8	330	97	7		
PSA	2	675	15,7	659	0	12	6,8	13,4	-0,70
	3	725	15,5	183	81	9			-0,70
	6	665	15,5	130	467	7	5,6	6,2	-0,72
	7	669	15,5	128	241	14			-0,71
	11	629	15,1	151	161	9			-0,74
	13	648	15,7	140	290	9			-0,84
	17	628	15,5	35	64	16			-0,84
	18	636	15,2	80	81	12	6,3	14,2	-0,78
	19	643	15,1	204	161	16			-0,76
	22	628	14,6	85	354	16			-0,83
	25	616	15,1	137	210	9			-0,78
	26	612	15,3	54	274	12	6,4	15,5	-0,76
	27	624	15,0	58	0	18			-0,78
	MEG	29	578	16,4	62	64	16		
30		558	16,0	74	0	9	8,4	18,2	-0,62
31		567	16,0	60	64	7			-0,65
33		559	16,6	29	0	9			-0,57
34		607	15,5	114	0	12			-0,54
35		516	15,5	125	0	25			-0,58

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Niveau nappe
25/08/98	n°	μS/cm	°C	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	m
PSA	2	679	15,2	567	97	18			-0,69
	6	680	15,1	230	0	32			-0,70
	13	658	14,9	104	274	32			-0,81
	14	663	15,0	95	210	16			-0,73
	15	662	14,8	50	145	28			-0,76
	17	627	16,0	52	161	21			-0,82
	18	636	15,1	86	129	18			-0,75
	19	644	14,8	131	97	23			-0,74
	21	650	14,5	147	210	16			-0,73
	22	643	14,6	88	193	25			-0,80
	23	643	14,8	102	241	23			-0,80
	25	581	14,8	83	177	14			-0,75
	26	625	14,6	73	145	23			-0,75
	27	624	14,8	61	129	21			-0,76
MEG	29	564	15,8	29	97	14			-0,60
	30	563	16,0	32	64	9			-0,54
	31	553	15,8	49	97	7			-0,63
	33	565	16,2	27	81	14			-0,49
	34	561	15,3	50	274	9			-0,52
	35	546	16,1	81	64	18			-0,50
PSA	1			403	81	9			-0,72
	2			640	145	35			-0,68
	3			227	177	16			-0,74
	5			207	225	18			-0,72
	6			234	81	25			-0,69
	7			144	81	28			-0,69
	9			93	225	7			-0,76
	11			129	210	9			-0,71
	13			142	161	25			-0,82
	14			104	210	18			-0,72
	15			58	145	28			-0,75
	17			41	0	18			-0,81
	18			70	161	9			-0,74
	19			104	161	16			-0,71
	21			182	193	18			-0,73
	22			107	145	14			-0,80
23			103	193	14			-0,80	
25			93	177	9			-0,74	
26			89	113	18			-0,74	
27			75	97	16			-0,75	
30			34	81	0			-0,58	
PSA	2			576	483	71	5,0	6,0	-0,56
	6			185	403	35	3,7	3,8	-0,58
	10			93	370	23			-0,63
	13			107	274	37			-0,70
	14			85	258	25			-0,61
	15			51	241	30			-0,64
	17			27	274	21			-0,70
	18			84	241	21			-0,63
	19			120	258	30			-0,62
	21			158	241	23			-0,62
	22			96	193	30			-0,69
	23			78	274	21			-0,69
	25			60	354	28	5,7	17,1	-0,63
26			67	145	32			-0,64	
27			67	177	25			-0,64	
MEG	29			14	193	9			-0,47
	30			26	210	7	9,9	18,2	-0,47
	31			28	306	12			-0,51
	33			18	225	9			-0,41

	34			38	210	9			-0,40
	35			35	370	16	4,0	12,3	-0,44
23/09/98	1			370	0	14			-0,68
	2			571	0	44	5,4	8,5	-0,63
	3			203	0	21			-0,69
	5			189	0	14			-0,67
	6			209	0	35	4,2	2,3	-0,64
	7			95	0	16			-0,65
	9			103	0	9			-0,71
	11			124	0	9			-0,66
	13			118	0	28			-0,76
	14			91	0	14			-0,67
	15			56	0	30			-0,70
PSA	17			35	0	18			-0,77
	18			95	0	21	5,8	13,2	-0,69
	19			138	0	21			-0,68
	21			168	0	21			-0,69
	22			97	0	21			-0,74
	23			84	0	21			-0,75
	25			69	0	16			-0,70
	26			77	0	18	5,9	15,1	-0,70
	27			72	0	9			-0,70
05/10/98	13			113	258	28			-0,72
	14			98	274	18			-0,63
	15			59	177	28			-0,66
	17			37	113	21			-0,72
	18			98	209	28	5,6	12,1	-0,65
	19			133	177	25			-0,64
PSA	21			166	290	16			-0,64
	22			101	274	16			-0,71
	23			92	161	14			-0,72
	25			78	193	25			-0,66
	26			80	225	21	5,9	15,3	-0,66
	27			81	193	14			-0,66
	29			349	483	7			-0,50
	30			52	129	0	8,7	16,3	-0,50
MEG	31			46	193	0			-0,52
	33			30	193	0			-0,46
	34			46	0	0			-0,43
	35			68	306	16	6,8	10,3	-0,46
12/10/98	1	620	12,8	271	81				-0,60
	2	650	12,7	531	0		5,1	7,3	-0,55
	3	660	12,9	183	0				-0,60
	5	670	12,7	163	0				-0,59
	6	605	12,8	197	0		3,7	3,3	-0,57
	7	660	12,8	134	0				-0,56
	9	765	12,7	83	0				-0,63
	10	860	12,7	560	0				-0,61
	11	755	12,7	128	0				-0,63
	13	1070	12,6	114	0				-0,69
PSA	14	700	12,6	100	0				-0,60
	15	1010	12,5	46	0				-0,62
	17	1040	12,5	30	0				-0,68
	18	635	12,5	89	0		5,6	13,4	-0,61
	19	640	12,5	112	0				-0,60
	21	650	12,5	118	0				-0,61
	22	680	12,9	95	0				-0,67
	23	690	12,9	72	0				-0,67
	25	1010	12,5	65	0				-0,61
	26	770	12,6	63	0		5,7	15,6	-0,62
	27	1015	12,7	72	0				-0,63

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Niveau nappe	
14/10/98	n°	μS/cm	°C	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	m	
MEG	29			36	0				-0,45	
	30			26	0				-0,45	
	31			41	113				-0,47	
	33			28	64	7			-0,40	
	34			39	48	7			-0,36	
	35			75	0	12			-0,41	
22/10/98	17			31	2036	18			-0,64	
	18			91	1106	18	4,8	12,4	-0,57	
	19			123	1852	32			-0,61	
	25			77	2250	28			-0,57	
	26			80	1981	25	5,2	14,3	-0,58	
	27			75	1943	25			-0,58	
27/10/98	1	252	8,6	22	0	28			-0,06	
	2	230	8,6	28	0	37	2,2	4,5	0,01	
	3	272	8,9	21	387	28			-0,11	
	5	290	8,8	18	0	14			-0,03	
	7	241	8,6	20	0	25			0,04	
	9	592	10,9	48	129	18			-0,14	
	10	251	8,8	20	0	35			-0,10	
	11	253	8,7	14	0	30			-0,08	
	13	289	9,4	32	0	30			-0,17	
	14	285	8,8	22	0	32			-0,09	
	15	450	10,0	28	64	25			-0,12	
	17	434	10,5	18	322	18			-0,19	
	18	376	9,7	30	113	18			-0,06	
	19	327	8,5	23	64	28			-0,11	
	21	280	8,9	27	0	35			-0,10	
	22	364	10,3	23	161	23			-0,18	
	23	428	10,6	30	387	18			-0,16	
	25	298	9,1	21	97	23	2,4	6,5	-0,05	
	26	369	9,1	23	129	23	2,6	6,4	-0,10	
	27	349	9,4	21	64	25	2,4	5,3	-0,10	
	MEG	29	558	12,5	20	161	12			
		30	554	12,5	29	193	12	10,3	17,5	
		31	551	11,9	43	161	14			
		33	575	12,8	30	81	9			
		34	552	12,2	68	81	9			
		35	573	12,4	72	113	12			
	02/11/98	13			58	64	23	5,1	9,7	0,10
15				34	64	16			0,17	
17				21	0	16			0,10	
25				26	0	21			0,17	
26				29	0	18	6,0	14,4	0,15	
27				26	0	18			0,14	
09/11/98	10	475	9,0	14	11099	60	9,3	24,1	0,16	
	13	494	9,5	13	5670	16	8,0	21,2	0,10	
	15	566	9,9	19	1498	14	6,2	17,9	0,16	
	17	503	9,6	11	5638	21	7,1	18,0	0,10	
	25	501	9,5	11	4124	14	7,8	19,9	0,19	
	26	516	9,5	10	7169	23	8,0	21,4	0,15	
	27	547	9,9	14	2223	16	6,0	17,1	0,15	
MEG	29	556	12,6	33	403	0	8,9	18,9		
	31	561	12,3	36	354	0				
	33	524	12,3	27	2787	0	10,9	20,0		
	34	526	11,8	127	145	0				
	35	529	11,8	68	354	0				
23/11/98	1	569	7,5	45	0	28			-0,28	
	2	511	6,4	52	81	30	9,2	16,7	-0,24	
	3	553	6,6	36	145	30			-0,29	
	5	535	7,4	21	145	14			-0,28	

PSA	6	508	7,8	41	129	25	9,3	15,2	-0,25
	7	504	5,9	41	161	23			-0,25
	9	670	7,8	33	177	14			-0,32
	10	559	6,6	98	177	30	8,1	15,9	-0,30
	11	570	5,4	31	193	44			-0,27
	13	521	6,5	17	193	18	7,9	17,6	-0,37
	14	548	6,4	18	129	23			-0,28
	15	595	6,5	28	113	18	4,8	11,7	-0,31
	17	575	7,1	18	145	18	7,1	15,0	-0,37
	18	571	6,5	18	113	14			-0,31
	19	524	6,0	23	0	25			-0,29
	21	530	7,1	47	0	32			-0,29
	22	590	7,5	23	0	28			-0,36
	23	589	7,3	23	0	23			-0,37
25	534	5,1	24	48	18			-0,31	
26	557	6,5	21	0	21	6,9	16,5	-0,31	
27	601	7,5	31	81	21			-0,31	
<hr/>									
MEG	29	555	9,6	44	145	0	9,0	19,8	
	30	540	8,8	31	113	0			
	31	556	9,6	37	145	7			
	33	523	9,6	44	81	0			
	34	524	9,3	79	113	0			
<hr/>									
PSA	2	555	5,6	81	242	21	8,2	15,4	-0,22
	6	554	6,2	49	209	16			-0,23
	9	698	6,8	47	193	18			-0,30
	10	653	6,2	69	177	41			-0,28
	11	634	5,5	40	177	35			-0,25
	13	601	5,5	21	354	18			-0,36
	14	607	5,7	25	145	25			-0,27
	15	641	5,9	19	81	21			-0,29
	17	611	6,1	18	193	23			-0,34
	18	619	5,5	24	145	18			-0,29
	19	598	6,2	27	0	21			-0,27
	21	571	6,1	57	0	30			-0,27
	22	636	6,8	24	0	25			-0,35
	23	627	6,1	23	0	23			-0,35
25	528	4,1	23	0	18			-0,29	
26	583	5,8	25	0	21	6,3	16,7	-0,29	
27	624	6,2	23	0	23			-0,30	
<hr/>									
MEG	30	526	7,0	23	129	7			
	34	541	7,2	77	113	16			
<hr/>									
PSA	13	626	5,6	26					-0,47
	14	660	5,6	51					-0,38
	15	647	5,6	23					-0,40
	17	622	5,8	20					-0,46
	18	635	5,8	29					-0,40
	19	613	5,5	41					-0,38
	21	605	6,3	82					-0,39
	22	637	6,1	37					-0,46
	23	629	5,4	38					-0,46
	25	569	4,0	27					-0,39
	26	603	5,6	32			6,3	17,2	-0,40
27	639	5,8	27					-0,40	
<hr/>									
MEG	29	544	7,0						
	30	532	7,1						
	31	563	7,5						
	33	547	7,1						
	34	535	7,1						
35	518	6,9							

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Niveau nappe	
15/12/98	n°	μS/cm	°C	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	m	
PSA	1	637	6,8	150	338				-0,27	
	2	522	6,5	200	403				-0,22	
	3	691	6,3	79	193				-0,28	
	5	667	6,5	44	226				-0,26	
	6	608	6,7	71	290				-0,23	
	7	628	6,5	106	177				-0,24	
	9	716	6,7	57	161				-0,30	
	10	765	6,4	103	193				-0,29	
	11	666	5,9	51	209				-0,26	
	13	654	6,4	25	290				-0,36	
	14	711	6,2	49	258				-0,26	
	15	664	6,1	25	161				-0,29	
	17	662	6,1	24	193				-0,35	
	18	670	6,4	31	242				-0,29	
	19	674	6,2	42	209				-0,28	
	21	680	6,6	97	290				-0,28	
	22	674	6,4	34	258				-0,34	
	23	672	6,0	26	354				-0,35	
	25	640	5,9	28	226				-0,28	
	26	640	5,9	34	64		5,9	17,1	-0,29	
	27	659	6,3	32	0				-0,29	
	MEG	29	564	7,8	31					
		30	534	7,3	24	48				
		31	461	7,1	21					
		33	538	7,9	29					
		34	540	7,7	59	64				
		35	389	6,6	20					
PSA	9	730	6,6		209				-0,18	
	10	699	6,5		209				-0,17	
	11	570	6,1		161				-0,15	
	13	683	6,4		451				-0,24	
	14	718	6,3		209				-0,15	
	15	665	6,1		145				-0,17	
	17	687	6,1		113				-0,23	
	18	665	6,2		113				-0,18	
	19	686	6,3		0				-0,16	
	21	667	6,5		0				-0,16	
	22	686	6,4		177				-0,23	
	23	676	5,9		1420		5,0	16,8	-0,24	
	25	639	5,9		532		6,2	15,6	-0,18	
	26	618	6,1		256				-0,18	
27	664	6,2		129				-0,19		

## **Annexe VI.3**

Les résultats analytiques des échantillons  
d'eau récoltés au niveau des 10 piézomètres  
en inox à 3 m de profondeur entre octobre  
1996 et décembre 1998



Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
09/10/96	n°	μS.cm <sup>-1</sup>	°C		μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
PSA	4	562	12,7	7,8	57	209	5	11,7	22,4	332	0,6	4,6	71,3	4,7
	8	538	12,6	7,9	56	0	0	13,4	22,1	325	0,7	5,1	68,2	4,6
	12	551	12,8	7,8	20	113	9	11,6	21,5	346	0,6	4,6	60,5	4,7
	16	570	12,8	7,9	37	0	16	11,1	20,9	366	0,7	4,5	62,0	4,8
	20	562	12,7	7,8	15	113	18	13,7	21,8	329	0,6	5,1	61,4	4,4
	24	590	12,7	7,8	42	258	0	8,7	18,9	382	0,7	4,1	69,1	5,1
	28	560	12,6	7,9	30	65	7	12,1	21,1	339	0,6	4,8	63,0	4,7
MEG	32	516	13,2	7,9	27	193	7	18,4	27,2	270	0,5	10,3	62,5	4,0
	36	493	12,3	8,0	77	0	0	18,4	26,3	267	0,6	10,6	64,2	4,1
	37	536	13,6	7,9	33	0	14	9,2	22,7	325	0,3	3,6	59,9	4,3
PSA	4	580	11,8	7,6	52	129	7	11,9	21,0	330	0,6	5,1	75,7	4,6
	8	544	12,1		24	193	12	15,0	22,5		0,8	5,0	67,1	4,5
	12				16	226	14	13,2	22,1		0,6	4,8	64,3	4,6
	16				31	97	21	12,3	21,0		0,7	4,7	64,8	4,6
	20				11	32	18	15,7	22,4		0,5	8,2	62,3	4,4
	24				31	193	14	10,6	19,5		0,5	4,4	45,5	4,8
	28				22	129	14	13,6	21,7		0,5	5,1	64,4	4,4
MEG	32	517	12,1		28	0	14	18,5	29,0		0,5	10,1	62,2	4,0
	36	504	12,0		67	32	14	18,8	28,6		0,6	9,7	62,2	4,1
	37	537	12,6		29	0	23	9,2	22,6		0,3	3,7	60,0	4,3
PSA	4	580	11,8	7,6	52	129	7	11,9	21,0	330	0,6	5,1	75,7	4,6
	8	567	11,7	7,6	34	209	7	14,0	20,3	342	0,8	6,6	50,9	4,6
	12	589	11,5	7,6	22	161	14	11,6	20,0	339	0,6	5,0	71,8	4,7
	16	653	11,3	7,6	34	177	18	10,8	19,2	348	0,6	4,8	71,1	4,8
	20	560	11,5	8,0	16	177	18	14,6	20,6	308	0,5	8,2	67,8	4,3
	24	610	11,5	7,7	34	226	9	10,8	18,1	354	0,5	4,9	76,6	4,8
	28	564	11,5	7,6	26	177	14	12,6	20,1	330	0,5	5,0	69,9	4,4
MEG	32	471	11,9	7,7	25	241	7	16,8	23,6	268	0,5	10,3	67,2	4,0
	36	458	11,4	7,7	79	129	7	17,1	23,6	283	0,6	9,9	66,8	4,0
	37	483	11,5	7,6	31	161	21	8,7	20,8	315	0,3	3,7	41,4	4,3
PSA	4	554	10,7	7,8	49	97	0	11,3	19,8	332	0,7	4,8	84,5	4,6
	8	569	10,7	7,7	36	274	0	12,4	19,7	315	0,7	5,1	81,1	4,7
	12	615	10,6	7,5	15	81	18	9,8	19,2	359	0,5	4,5	77,8	5,0
	16	669	10,6	7,7	25	129	25	10,5	20,6	351	0,6	4,5	81,5	4,9
	20	608	10,7	7,6	12	161	14	11,3	19,3	342	0,5	5,1	80,7	4,7
	24	663	10,8	7,7	28	145	9	7,5	17,5	388	0,5	3,9	84,0	5,2
	28	626	10,6	7,7	33	870	14	10,8	19,4	354	0,6	4,9	76,2	5,0
MEG	32	374	11,3	7,7	18	81	9	17,0	24,3	266	0,5	9,8	70,6	4,0
	36	365	10,6	7,7	44	161	9	17,2	23,7	266	0,5	9,4	69,7	4,1
	37	476	12,0	7,7	20	48	23	8,9	20,9	310	0,3	3,7	68,8	4,3
PSA	4	294	2,3	7,8	34	209	0	9,0	20,7	261	1,1	4,1	87,3	4,5
	8	352	6,6	7,6	46	65	0	10,6	21,0	295	0,8	4,6	83,5	4,6
	12	570	6,6	7,7	12	805	14	8,1	24,8	369	0,8	4,3	85,9	5,2
	16	497	5,1	7,7	18	1144	21	8,5	23,9	359	0,8	4,1	94,6	5,3
	20	555	6,7	7,8	9	773	12	7,1	20,8	392	0,6	3,8	84,4	5,7
	24	478	7,0	7,9	57	580	0	8,7	26,2	317	0,6	4,0	85,8	4,4
	28	466	6,2	7,8	30	1273	12	7,9	24,5	359	0,8	3,8	99,6	5,4
MEG	32	479	10,3	7,8	12	258	0	13,5	25,1	288	0,5	8,4	77,8	4,3
	36	456	10,4	7,9	77	209	0	17,1	22,7	267	0,6	9,1	77,5	4,1
	37	464	10,0	7,9	13	6073	16	8,4	25,5	281	0,2	3,2	86,5	3,9

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
12/12/96	n°	µS.cm <sup>-1</sup>	°C		µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
PSA	4	556	4,6	7,8	26	1600	7	10,3	22,6	327	0,9	4,5	95,2	5,2
	8	527	5,5	7,8	24	1300	7	10,3	22,2	317	0,8	4,5	85,2	5,0
	12	504	2,5	7,8	13	2800	14	11,0	24,7	276	1,0	4,6	89,4	5,2
	16	502	1,6	7,8	11	3700	12	10,3	25,3	288	0,8	4,3	93,8	5,0
	20	460	3,4	7,8	6	4000	7	9,7	25,0	299	0,6	4,2	87,2	4,9
	24	555	5,4	7,9	26	3100	9	10,2	24,7	312	0,5		86,5	4,4
	28	511	3,5	7,9	11	4200	18	11,1	26,0	266	1,0	4,6	89,6	5,0
MEG	32	538	10,5	7,9	11	210	0	12,2	22,6	298	0,4	5,0	74,1	4,5
	36	523	10,6	7,8	56	190	0	14,0	23,5	283	0,5	9,8	75,5	4,4
	37	481	6,1	7,9	14	8700	12	11,6	24,3	249	0,2	4,3	75,3	3,4
PSA	4	375	5,4	7,6	59	113	48	8,5	18,6	405	0,8	4,3	127,6	5,7
	8	325	5,4	7,6	37	32	18	10,6	21,3	337	0,7	4,6	111,3	5,1
	12	391	5,4	7,6	12	242	23	7,9	23,8	400	0,5	3,8	137,2	5,6
	16	345	4,5	7,6	27	258	23	7,8	22,2	400	0,6	3,6	130,9	5,7
	20	358	4,3	7,6	11	322	18	6,1	21,5	410	0,6	3,4	137,1	5,9
	24	374	5,3	7,7	71	419	21	7,5	25,1	379	0,6	3,6	127,2	5,4
	28	324	4,2	7,6	22	789	44	10,0	23,7	323	0,8	3,8	113,8	5,0
	MEG	32	332	5,9	7,7	17	81	14	12,1	23,5	305	0,3	6,0	104,2
36		341	6,8	7,6	95	113	12	13,0	23,1	295	0,5	6,5	100,4	4,5
37		364	7,8	7,7	21	274	25	8,1	22,7	312	0,2	3,3	111,4	4,3
PSA	4	604	5,5	7,5	74	338	9	7,9	19,1	381	0,6	4,1	123,7	5,4
	8	562	5,5	7,4	48	48	9	10,6	21,8	327	0,7	4,6	109,5	5,0
	12	625	5,1	7,7	19	209	18	7,6	22,7	398	0,5	3,9	131,2	5,7
	16	596	3,8	7,5	34	499	16	7,7	23,2	403	0,6	3,6	132,8	5,8
	20	598	3,9	7,4	15	306	18	6,0	21,4	417	0,4	3,4	130,9	5,9
	24	606	4,1	7,5	90	338	16	7,8	25,6	376	0,8	3,7	125,3	5,6
	28	595	3,8	7,5	17	338	18	8,2	24,0	359	0,7	3,7	119,6	5,5
	MEG	32	322	5,2	7,7	19	290	9	11,7	22,8	303	0,4	5,6	103,2
36		322	5,2	7,7	101	274	0	13,0	23,4	295	0,4	7,0	98,7	4,5
37		366	7,7	7,8	22	1820	16	7,9	23,4	318	0,2	3,2	107,3	4,5
PSA	4	335	5,5	7,7	43	242	0	5,6	15,3	281	0,8			
	8	327	5,2	7,5	31	113	9	7,0	17,5	309	0,8			
	12	332	4,9	7,8	14	854	14	3,3	11,2	225	0,7			
	16	306	5,9	7,7	16	290	14	3,8	14,0	238	0,6			
	20	347	5,1	7,6	13	226	12	3,5	13,1	259	0,6			
	24	350	5,1	7,6	57	354	16	6,5	19,9	305	0,8			
	28	323	4,6	7,8	15	306	14	3,2	11,5	210	0,9			
	MEG	32	538	7,8	7,7	17	129	9	11,1	21,7	308	0,4		
36		532	8,1	7,7	74	48	7	12,3	22,6	300	0,5			
37		358	7,3	7,7	20	1595	18	7,3	23,1	325	0,3			
PSA	4	572	9,5	7,6	57	322	14	8,2	20,6	339	1,2			
	8	451	8,9	7,7	26	387	14	7,6	21,0	329	1,1			
	12	529	9,4	7,7	15	660	14	8,0	20,8	334	1,0			
	16	461	9,7	7,7	19	676	16	7,3	20,3	346	1,1			
	20	464	9,2	7,7	12	1369	14	7,6	20,7	314	0,9			
	24	467	8,2	7,6	29	483	12	8,9	23,2	317	0,8			
	28	490	9,3	7,8	12	902	14	8,8	20,9	300	1,2			
	MEG	32	532	9,0	7,8	10	256	12	8,9	21,0	310	0,5		
36		532	8,9	7,9	49	256	0	10,5	21,9	303	0,5			
37		488	9,5	7,7	10	3898	14	11,1	21,1	268	0,4			

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>
21/03/97	n°	µS.cm <sup>-1</sup>	°C		µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
PSA	4	660	8,5		81	193	7	6,5	19,1	410	0,9
	8	486	8,5		33	274	9	8,4	21,7	342	0,9
	12	611	8,6		18	306	18	6,6	20,7	388	0,7
	16	512	8,5		18	290	18	7,0	20,5		0,8
	20	542	8,2		11	370	14	5,9	20,6	386	0,6
	24	524	7,8		55	258	12	7,7	24,0		0,7
	28	511	8,2		21	290	14	7,7	19,9		0,9
MEG	32	538	8,6		15	97	9	8,6	21,1	315	0,4
	36	533	8,8		52	145	9	10,1	21,3	301	0,5
	37	587	9,3		15	3399	18	11,2	21,5	268	0,3
04/04/97	4	632	8,3	7,7	77	193	7	7,4	20,8	378	0,8
PSA	8	554	8,4	7,8	32	306	14	8,5	22,1	347	0,8
	12	542	8,8	7,7	20	338	12	8,0	21,5	356	0,6
	16	584	8,4	7,9	18	161	9	7,2	20,7	369	0,7
	20	600	8,1	7,8	10	145	14	5,3	20,3	408	0,5
	24	535	8,0	7,9	85	177	16	7,2	23,9	378	0,7
	28	539	8,1	7,8	15	97	9	7,0	20,0	337	0,7
	MEG	32	534	8,9	8,0	16	64	0	8,9	21,2	303
36		532	9,0	7,9	50	97	0	10,1	21,9	305	0,5
	37	594	9,9	7,9	12	3045	12	8,9	21,6	281	0,3
17/04/97	4	604	8,4	7,5	74	177	7	7,3	21,1	367	0,9
PSA	8	564	8,6	7,5	30	225	14	8,4	22,0	351	0,8
	12	576	8,8	7,5	23	225	12	8,1	22,0	351	0,7
	16	595	8,4	7,6	23	209	16	6,8	20,6	376	0,7
	20	615	8,3	7,8	16	129	14	6,1	19,9	398	0,5
	24	564	8,2	7,8	63	161	12	6,8	22,5	368	0,6
	28	567	8,3	7,6	19	177	14	7,2	20,3	346	0,7
	MEG	32	533	9,1	7,7	12	113	9	9,7	21,6	315
36		531	9,1	7,8	51	113	7	10,6	22,1	305	0,5
	37	537	8,9	7,7	14	483	21	8,3	22,2	317	0,3
29/04/97	4	624	8,8	7,6	77	242	9	8,5	21,2	373	0,8
PSA	8	572	8,8	7,7	32	225	18	9,2	22,0	349	0,8
	12	585	8,9	7,6	18	193	14	8,7	21,8	349	0,7
MEG	32	533	9,1	7,7	19	81	9	10,9	21,7	303	0,4
	36	530	9,2	7,7	71	81	0	11,6	22,1	300	0,5
	37	542	9,1	7,8	27	274	21			317	0,3
06/05/97	8	581	9,5	7,6	37	0	12	7,5	18,8		0,9
PSA	12	585	9,7	7,6	27	113	9	8,6	21,9	345	0,7
	16	568	9,3	7,7	28	48	14	8,0	21,3	366	0,8
	20	551	9,3	7,8	15	81	14	7,7	20,1	362	0,5
	24	553	9,2	7,8	33	0	18	8,5	22,3	350	0,6
	28	543	9,1	7,8	29	32	14	7,9	19,6	329	0,6
13/05/97	4	635	9,7	7,6	87	242	9	8,0	20,2	398	0,9
PSA	8	580	9,9	7,6	28	145	9	10,2	21,9	351	0,8
	12	587	10,0	7,7	19	161	14	8,8	22,0	351	0,7
MEG	32	527	10,4	7,9	13	97	7	11,1	22,0	303	0,4
	36	523	10,4	7,8	78	97	0	12,2	22,4	298	0,5
	37	540	10,9	7,9	15	97	18	9,6	21,2	312	0,3
15/05/97	16	592	9,9	7,6	23	0	18	7,9	21,0	361	0,8
PSA	20	589	9,7	7,6	13	97	9	7,9	20,2	368	0,6
	24	571	9,7	7,6	45	0	12	8,5	22,1	351	0,6
	28	546	9,9	7,6	19	81	16	8,4	21,0	339	0,8

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>
22/05/97	n°	µS.cm <sup>-1</sup>	°C		µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
PSA	4	631	10,7		87	177	21	8,4	21,0		0,9
	8	573	10,9		37	225	16				0,9
	12	577	11,0		24	161	14	9,0	22,0		0,8
	16	588	10,4		35	129	16				0,9
	20	561	10,4		17	97	7				0,6
	24	572	10,5		65	129	9				0,7
	28	551	10,4		22	113	18				0,7
MEG	32	531	10,5		16	97	7	11,2	21,7		0,4
	36	527	10,5		81	97	7	12,4	22,5		0,5
	37	542	10,5		13	97	18	9,4	20,7		0,3
27/05/97	16	588	11,3	7,5	27	113	14	8,2	20,9	357	0,8
PSA	20	582	10,8	7,6	13	32	12	8,2	20,4	360	0,5
	24	570	11,0	7,7	51	64	7	8,4	21,6	378	0,6
	28	555	11,0	7,7	15	97	7	8,4	21,5	338	0,7
29/05/97	4	593	10,9	7,7	50	274	12	9,7	22,6	339	0,8
PSA	8	573	11,0		29	145	14	9,5	22,4		0,8
	12	579	11,1		22	129	14	9,1	21,8		0,7
MEG	32	529	11,5	7,7	14	0	14	11,5	22,0	315	0,4
	36	528	10,8	7,7	70	48	12	12,6	22,6	298	0,5
	37	543	12,6		12	64	23	9,4	20,8		0,3
05/06/97	16	584	11,5	7,8	27	97	16	8,6	20,8	361	0,8
PSA	20	570	11,2	7,7	7	0	18	9,2	21,2	342	0,5
	24	576	11,3	7,7	38	97	12	8,6	20,9	344	0,6
	28	561	11,3	7,7	11	48	12	8,2	21,5	334	0,6
10/06/97	4	576	12,0	7,7	46	419	9	10,3	24,0	329	0,9
PSA	8	564	12,0	7,7	24	354	9	9,9	23,5	337	0,8
	12	576	12,4	7,7	15	129	12	9,0	21,9	338	0,7
MEG	32	528	12,1	7,8	10	32	9	11,4	22,0	305	0,4
	36	527	11,5	7,8	63	81	0	12,7	22,8	295	0,5
	37	545	12,4	7,7	8	16	18	9,3	20,6	322	0,3
17/06/97	16	581	12,6		36	145	14				0,8
PSA	20	570	12,7	7,6	13	483	9			334	0,5
	24	571	12,6	7,7	49	161	9			339	0,6
	28	555	12,7	7,8	15	177	9			336	0,7
19/06/97	4	583	12,7	7,7	67	338	9	9,5	27,7	345	0,8
PSA	8	550	13,2	7,7	25	290	14	8,9	22,7	338	0,9
	12	576	13,2	7,8	19	177	12	9,1	22,2	336	0,7
MEG	32	483	13,0	7,9	14	113	12	11,0	21,7	305	0,4
	36	523	12,5	7,9	77	81	12	12,4	23,0	300	0,5
	37	544	12,5	7,9	11	113	23	9,4	20,4	321	0,4
27/06/97	16	596	13,1	8,0	37	177	21			366	0,8
PSA	20	575	12,7	7,7	12	161	16			356	0,6
	24	584	12,9	7,9	63	193	18				0,7
	28	564	13,1	7,8	19	822	16			344	0,8
01/07/97	4	578	13,5	7,6	48	306	7	8,3	20,9	357	0,9
PSA	8	580	13,2	7,5	25	258	12	8,2	21,3	351	0,9
	12	621	13,7	7,8	15	97	16	8,1	21,8	373	0,7
MEG	32	463	12,1	7,7	11	32	9	10,3	21,6	303	0,4
	36	470	11,9	7,6	56	81	7	12,2	22,8	296	0,6
	37	551	12,8	7,8	11	0	18	8,7	20,4	327	0,3

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub>	K <sup>+</sup>
08/07/97	n°	μS.cm <sup>-1</sup>	°C		μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
PSA	16	533	13,4	7,5	29	145	14	8,1	21,0	361	0,5
	20	538	13,2	7,5	11	145	30			393	0,4
	24	521	12,8	7,4	77	81	14			356	0,5
	28	505	13,2	7,4	11	258	16	8,0	20,8	354	0,5
10/07/97	4	523	12,8	7,7	49	338	9	8,9	22,5	355	0,6
PSA	8	511	13,5	7,8	26	177	14	8,9	22,1	351	0,6
	12	523	13,2	7,7	20	177	14	8,4	21,8	362	0,5
MEG	32	478	12,7	7,7	10	64	9	8,6	18,6	300	0,3
	36	472	12,7	7,8	61	97	0	12,0	22,9	299	0,4
	37	498	15,3	7,8	24	113	18	8,8	20,9	329	0,2
22/07/97	16	525	14,5	7,4	35	129	12	7,1	18,7	351	0,6
PSA	20	531	14,2	7,3	12	81	14	7,7	20,2	364	0,4
	24	524	14,0	7,3	69	0	14	8,1	22,0	351	0,4
	28	496	14,4	7,4	13	97	16	8,3	21,0	344	0,5
24/07/97	4	535	14,0		47	403	0	9,2	23,1		0,6
PSA	8	495	14,7		27	403	12	9,6	22,8		0,7
	12	517	15,0		17	177	12	8,9	22,3		0,5
MEG	32	476	14,3		11	161	7	11,0	22,0		0,3
	36	463	13,4		64	145	0	12,0	22,8		0,3
	37	500	16,4		11	145	18	8,6	21,0		0,2
31/07/97	16	531	14,9	7,7	36	64	12	8,5	21,9	354	0,6
PSA	20	526	14,6	7,7	19	129	9	8,0	20,7	364	0,4
	24	501	14,4	8,0	47	177	9	8,2	21,7	348	0,5
	28	508	14,8	7,9	11	177	14	8,3	21,3	343	0,5
05/08/97	4	545	14,6	8,1	39	483	9	9,9	23,6	339	0,7
PSA	8	511	15,0	7,7	22	483	18	9,3	23,0	339	0,7
	12	533	15,1	7,9	21	230	21	8,6	22,0	368	0,6
MEG	32	470	15,3	7,9	9	129	12	9,4	19,0	310	0,3
	36	461	14,0	7,8	65	145	12	11,2	21,1	300	0,4
	37	500	15,3	7,8	10	81	23	8,5	20,8	331	0,2
11/08/97	16	531	15,5	7,5	35	145	16			356	0,7
PSA	20	518	15,3	7,6	17	97	14			354	0,4
	24	517	15,0	7,6	49	193	14			344	0,4
	28	508	15,1	7,6	12	129	16			343	0,5
13/08/97	4	528	15,2		62	483	12	9,3	23,5		0,8
PSA	8	497	15,3		38	467	16	9,5	23,0		0,7
	12	522	15,3		27	145	16	8,5	21,7		0,6
MEG	32	477	15,1		13	129	7	10,7	21,8		0,3
	36	460	14,3		84	145	0	12,4	22,8		0,4
	37	502	15,6		16	129	25	8,4	20,6		0,2
21/08/97	16	516	16,0	7,5	41	32	9	8,6	21,4	340	0,6
PSA	20	509	15,8	7,4	21	0	9	8,9	20,4	338	0,4
	24	509	15,3	7,4	51	81	9	8,3	20,4	348	0,4
	28	511	15,4	7,5	15	32	14	8,8	21,3	338	0,4
27/08/97	4	526	15,5	7,4	38	338	14	9,7	24,0	333	0,8
PSA	8	496	15,5	7,4	24	516	18	9,8	23,6	325	0,7
	12	522	15,5	7,4	20	193	12	8,6	21,9	351	0,5
MEG	32	475	15,8	7,6	16	129	0	10,6	21,7	307	0,3
	36	464	14,7	7,6	94	113	9	12,7	22,8	295	0,4
	37	504	15,8	7,5	18	129	21	8,1	20,8	331	0,2

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>
04/09/97	n°	µS.cm <sup>-1</sup>	°C		µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
PSA	16	516	16,0	7,6	39	161	12	8,9	21,5	342	0,6
	20	511	15,8	7,6	17	129	12	9,1	21,7	339	0,4
	24	512	15,5	7,6	46	129	14	8,2	20,6	348	0,4
	28	507	15,5	7,6	14	113	12	9,0	21,7	337	0,4
11/09/97	4	535	15,4		77	161	18	9,7	23,9		0,8
PSA	8	504	15,5		37	419	12	10,0	23,9		0,8
MEG	32	475	15,8		34	81	9	11,0	22,0		0,3
	36	468	14,9		135	97	7	13,0	23,0		0,5
	37	504	15,5		34	0	21	8,0	20,8		0,3
16/09/97	16	515	15,3	7,5	44	145	16	9,1	21,7	339	0,6
PSA	20	490	15,3	7,4	17	97	14	9,2	21,9	329	0,4
	24	489	15,2	7,5	47	113	9	8,3	20,6	349	0,4
	28	496	15,3	7,4	13	81	14	9,3	21,8	333	0,4
26/09/97	16	505	14,7		52	177	14	9,3	21,7		0,6
PSA	20	504	14,3		21	129	14	9,4	21,8		0,4
	24	503	14,2		50	161	9	8,6	20,9		0,5
	28	507	14,2		16	161	12	9,6	22,0		0,5
10/10/97	4	545	13,5	7,5	82	322	23	9,4	23,4	344	0,7
PSA	8	502	13,6	7,6	21	274	14	10,2	24,3	312	0,7
	12	533	13,7	7,5	19	193	14	9,2	21,7	343	0,6
MEG	32	488	14,4	7,6	25	226	9	12,8	22,2	299	0,3
	36	468	13,7	7,6	133	161	0	14,1	23,3	283	0,5
	37	504	15,3	7,6	23	145	23	7,6	19,7	334	0,2
15/10/97	16	518	13,5	7,6	47	0	14	9,3	22,0	330	0,6
PSA	20	508	13,3	7,7	16	64	16	9,4	21,7	330	0,4
	24	515	13,5	7,5	47	64	9	9,0	21,0	339	0,4
	28	512	13,5		24	97	12		22,1		0,5
24/10/97	4	540	12,8	7,6	73	193	0	9,8	23,4	339	0,6
PSA	8	475	12,5	7,6	30	209	16	10,7	24,2	311	0,7
MEG	32	485	13,5	7,6	25	129	9	13,2	22,4	300	0,3
	36	463	12,9	7,6	159	0	7	14,4	23,2	275	0,5
	37	503	14,1	7,6	28	161	21	8,1	20,6	331	0,2
31/10/97	16	512	11,9		0	32	16	9,5	22,1		0,6
PSA	20	507	11,7		0	81	14	10,3	22,4		0,4
	24	511	12,0		0	81	12	9,4	21,3		0,4
	28	502	12,2		0	97	14	10,1	22,1		0,4
13/11/97	4	539	10,7	7,5	76	209	9	11,9	23,2	364	
PSA	8	510	10,4	7,6	27	97	18	9,9	23,1	332	
MEG	32	468	11,2	7,7	18	97	9	13,0	22,0	298	
	36	466	10,6	7,7	168	97	0	14,3	22,7	277	
	37	533	10,9	7,9	31	129	21	7,8	20,8	331	

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
08/12/97	n°	μS.cm <sup>-1</sup>	°C		μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
PSA	4	541	8,9		55	145	12	9,8	22,5		0,8	4,1	5,4
	8	560	8,7		33	161	14	8,6	21,6		0,7	4,1	5,3
	20	544	8,7		27	0	25	8,0	20,3		0,4	3,7	5,2
	28	548	8,4		27	0	18	7,9	20,2		0,6	3,7	5,3
MEG	32	494	9,8		18	64	9	9,0	18,1		0,3	5,0	4,8
	36	467	9,5		165	0	7	13,3	21,6		0,5	6,2	4,6
	37	594	10,0		32	0	23	6,9	18,8		0,2	3,4	4,6
07/01/98													
PSA	4	527	8,8		33	209	7	7,9	22,7		0,8	4,1	5,4
	8	459	7,7		29	193	9	8,2	21,7		0,8	4,2	5,2
	16	523	6,9		31	177	14	7,2	19,3		0,7	3,5	5,8
	20	458	7,2		17	48	18	7,2	19,2		0,6	3,5	5,5
	24	439	6,8		36	354	12	7,2	19,6		0,6	3,6	4,8
	28	429	6,9		26	113	14	7,0	15,8		0,8	3,5	4,5
MEG	32	485	10,6		14	48	12	10,6	21,4		0,3	4,3	4,8
	36	475	10,4		73	113	0	11,6	22,0		0,4	5,2	4,6
	37	746	7,3		16	4400	16	7,0	20,1		0,1	3,5	4,3
14/01/98													
PSA	4	484	7,2		33	48	9	7,7	17,2		1,0	3,7	5,3
	8	468	6,7		27	64	16	7,1	18,8		1,0	3,7	5,4
	16	566	7,6		31	113	16	7,0	19,1		0,8	3,5	6,0
	20	540	7,1		18	129	16	6,3	18,1		0,6	3,3	5,8
	24	521	7,1		45	0	18	6,1	18,3		0,6	3,2	5,5
	28	528	7,0		22	81	18	5,7	18,7		0,6	3,1	5,7
MEG	32	485	10,2		15	64	12	9,3	20,4		0,3	4,2	4,8
	36	475	10,2		79	0	9	10,8	21,4		0,4	4,9	4,7
	37	545	7,4		16	2900	21	6,8	20,7		0,1	3,3	4,3
19/01/98													
PSA	4				49	97	0	7,5	21,0		0,8	3,8	5,7
	8				38	177	7	7,7	20,6		0,8	3,9	5,4
	16				23	97	0	6,8	19,6		0,6	3,4	6,0
	20				12	97	0	6,5	19,9		0,5	3,3	5,9
	24				58	113	7	6,4	18,2		0,5	3,2	5,6
	28				26	97	0	6,4	18,3		0,5	3,3	5,7
MEG	32				11	48	0	9,9	21,4		0,3	4,1	4,9
	36				72	0	9	10,8	22,2		0,4	4,8	4,7
	37				10	3600	18	7,1	21,4		0,1	3,4	4,5
26/01/98													
PSA	16	446	3,9		33	1920	35	7,3	19,1		0,8	3,3	5,7
	20	438	5,2		17	628	9	6,3	17,9		0,6	3,2	5,3
	24	456	3,8		63	1450	25	6,0	17,9		0,6	3,1	5,3
	28	438	3,8		20	1630	16	6,4	17,2		0,6	3,1	5,0
	37	446	5,7		10	2400	21	6,2	20,7		0,2	3,4	4,3
02/02/98													
PSA	4	551	5,3		48	0	7	6,7	19,5		0,9	3,9	6,0
	8	476	4,1		38	226	12	8,3	22,2		0,8	4,2	5,7
	16	505	4,6		30	532	18	6,6	18,5		0,7	3,4	6,0
	20	555	6,8		15	113	14	6,9	19,9		0,5	3,6	5,7
	24	482	3,6		34	1140	12	8,1	21,3		0,8	4,2	5,6
	28	459	3,6		18	1210	16	6,8	17,7		0,6	3,3	5,3
MEG	32	490	9,3		14	0	14	9,7	21,0		0,3	4,4	5,0
	36	478	9,6		59	0	9	10,5	21,8		0,4	4,9	4,7
	37	483	5,9		22	3060	25	6,3	19,1		0,1	3,4	4,1
09/02/98													
PSA	4	543	4,9	7,6	44	242	35	7,0	20,4	389	0,8	3,8	6,0
	8	540	5,6	7,5	38	161	9	8,1	21,6	358	0,8	4,3	5,8
	16	561	5,6	7,6	35	0	18	6,8	18,7	415	0,6	3,4	6,0
	20	533	5,7	7,6	17	161	16	6,7	19,2	400	0,6	3,5	6,0
	24	574	5,9	7,5	61	338	9	6,4	19,1	403	0,6	3,2	6,0
	28	522	5,2	7,8	22	338	16	7,4	18,5	349	0,5	3,4	5,4
MEG	32	521	9,1	7,7	13	0	12	9,6	20,6	317	0,3	4,4	5,0
	36	510	9,1	7,7	60	0	7	10,6	21,9	305	0,4	4,7	4,9
	37	487	5,7	7,8	14	2336	21	5,9	19,7	310	0,1	3,3	4,6



Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
16/02/98	n°	μS.cm <sup>-1</sup>	°C		μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
PSA	4	560	6,0					5,9	17,7				
	8	540	5,4					7,4	20,3				
	16	533	4,3			160		5,8	17,6				
	20	523	4,0					5,3	17,7				
	24	521	4,4					5,6	17,7				
	28							6,3	17,0				
MEG	32	435	7,6			82		8,6	19,5				
	36	482	7,6			78		9,5	20,5				
	37	508	5,8			2029	*	5,3	20,0				
23/02/98	4	628	6,8	7,5	55	0	7	5,8	18,7	400	0,7	3,8	6,3
PSA	8	539	6,2	7,7	39	113	7	7,4	20,6	349	0,7	4,3	5,5
	16	552	5,4	7,6	29	145	16	5,7	17,9	415	0,6	3,3	6,2
	20	593	5,5	7,7	22	161	14	5,2	17,9	426	0,5	3,3	6,1
	24	527	5,1	7,7	96	290	7	5,4	17,0	403	0,5	3,2	6,1
	28	522	4,9	7,7	25	274	12	6,3	17,3	371	0,5	3,4	5,6
	MEG	32	496	8,1	7,7	26	129	7	8,6	19,9	322	0,3	4,3
36		480	8,1	7,7	56	145	0	9,3	20,6	303	0,4	4,7	4,9
37		510	5,6	7,7	26	1321	16	5,7	21,1	342	0,2	3,2	4,9
02/03/98	4	579	7,3	7,6	40	193	7	6,5	19,5	386	0,7	3,9	6,0
PSA	8	559	6,6	7,6	31	113	12	6,8	20,1	361	0,7	4,1	5,8
	16	602	6,1	7,5	26	113	16	5,6	18,0	402	0,6	3,5	6,1
	20	593	5,9	7,5	15	0	16	5,2	17,8	410	0,5	3,3	6,3
	24	540	5,5	7,5	57	97	0	5,6	18,0	403	0,5	3,3	6,0
	28	561	5,6	7,6	11	97	12	6,0	17,3	376	0,5	3,5	5,8
	MEG	32	488	8,3	7,8	10	64	9	8,6	19,6	317	0,3	4,4
36		478	8,2	7,8	54	97	0	9,3	20,4	300	0,4	4,7	4,9
37		521	6,0	7,7	9	725	21	5,5	21,7	391	0,1	3,1	5,0
09/03/98	4	609	7,4	7,4	39	193	0	6,4	20,7	366	0,7	4,0	6,0
PSA	8	571	7,1	7,4	37	145	9	7,1	20,7	344	0,7	4,4	5,7
	16	615	6,4	7,5	27	161	14	5,8	17,9	410	0,6	3,5	6,3
	20	625	6,2	7,5	16	161	12	5,3	18,1	420	0,5	3,4	6,4
	24	588	6,1	7,4	88	145	0	5,8	18,1	404	0,6	3,3	6,2
	28	554	6,1	7,5	15	145	12	6,0	17,4	383	0,5	3,5	5,9
	MEG	32	522	8,3	7,7	11	64	9	8,6	20,2	320	0,3	4,4
36		513	8,5	7,7	56	48	0	9,5	20,9	304	0,4	4,9	5,0
37		565	6,0	7,6	11	1063	21	5,7	22,5	348	0,1	3,1	5,0
16/03/98	4			7,6	30	209	0	7,1	20,7	370	0,8	4,2	5,9
PSA	8			7,5	43	226	7	7,5	21,3	344	0,7	4,5	5,7
	16			7,5	32	161	14	5,8	17,6	409	0,6	3,4	6,2
	20			7,5	18	64	18	5,2	17,9	427	0,4	3,3	6,3
	24			7,5	97	290	9	5,5	17,3	414	0,6	3,2	6,4
	28			7,6	18	161	14	5,7	17,0	397	0,5	3,5	6,0
	MEG	32			7,6	14	113	12	8,8	20,4	323	0,3	4,4
36				7,6	46	113	7	9,2	20,3	306	0,4	5,0	5,1
37				7,6	13	1321	21	5,5	22,2	351	0,2	3,2	5,1
30/03/98	4	579	7,9		35	81		6,5	20,4		0,8	4,1	5,9
PSA	8	570	7,6		32	81		6,9	20,2		0,7	4,2	6,0
	16	612	7,2		32	81		5,7	17,8		0,6	3,5	6,3
	20	616	7,3		17	129		5,4	17,9		0,4	3,4	6,2
	24	620	7,2		89	81		5,4	17,2		0,5	3,3	6,2
	28	601	6,9		17	81		5,7	17,5		0,4	3,5	6,0
	MEG	32	523	8,4		15	97		8,5	19,7		0,3	4,5
36		509	8,9		40	97		9,6	20,5		0,4	4,9	5,2
37		698	7,2		11	322		5,7	21,9		0,2	3,1	5,2



Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
06/04/98	n°	µS.cm <sup>-1</sup>	°C		µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
PSA	4	322	8,7	7,6	35	203	9	5,9	18,5	367	0,7	3,7	5,9
	8	463	8,3	7,5	32	125	9	6,3	19,3	372	0,7	3,9	6,2
	16	547	8,3	7,5	32	115	18	5,8	17,5	417	0,9	3,4	6,5
	20	466	8,2	7,6	17	0	21	5,5	17,9	408	0,4	3,3	6,3
	24	508	8,0	7,5	89	0	14	5,5	17,4	420	0,6	3,1	6,2
	28	457	8,1	7,6	17	90	21	5,7	16,9	383	0,5	3,4	5,9
MEG	32	516	8,8	7,7	15	80	9	8,5	19,8	319	0,3	4,2	5,3
	36	507	8,9	7,7	40	80	0	9,4	20,7	303	0,4	4,6	5,2
	37	591	7,3	7,6	11	888	21	5,6	21,7	353	0,2	3,1	5,3
20/04/98	4	578	8,4	7,6	41	161	7	6,1	20,0	389	0,7	3,8	6,1
PSA	8	437	8,2	7,7	33	177	9	6,7	20,7	339	0,7	4,0	5,8
	16	580	8,2	7,5	30	161	16	5,6	17,7	416	0,6	3,2	6,4
	20	612	7,9	7,7	20	113	16	5,2	18,1	426	0,4	3,1	6,5
	24	598	7,8	7,7	134	113	9	5,3	17,0	488	0,6	3,1	6,4
	28	548	7,7	7,7	17	97	14	5,7	17,4	391	0,5	3,3	6,3
	MEG	32	510	9,0	7,7	9	113	14	8,7	21,0	266	0,3	4,3
36		510	9,2	7,7	45	129	0	9,5	21,8	309	0,3	4,6	5,1
37		556	8,3	7,7	16	789	41	5,6	24,5	359	0,2	2,9	5,3
29/04/98	4	570	9,1	7,4	35	129	9	6,2	21,5	383	0,7	3,8	6,0
PSA	8	532	9,1	7,5	34	145	14	6,7	21,0	347	0,7	4,1	5,8
	16	585	8,8	7,5	29	113	23	5,7	18,2	404	0,6	3,4	6,2
	20	540	8,8	7,5	34	0	25	5,1	17,6	415	0,4	3,1	6,3
	24	606	8,5	7,5	134	0	21	5,3	17,1	402	0,6	3,1	6,2
	28	582	8,5	7,5	21	81	23	5,5	17,2	393	0,5	3,4	6,3
	MEG	32	521	9,8	7,5	9	0	21	8,7	20,7	303	0,3	4,4
36		508	9,8	7,5	42	0	18	9,6	21,6	303	0,4	4,8	5,2
37		551	8,8	7,5	17	532	30	5,6	24,1	355	0,3	3,1	5,4
04/05/98	4	593	9,3	7,5	53	97	0	6,1	20,5	386	0,8	3,8	6,2
PSA	8	551	9,3	7,5	40	161	9	6,9	21,8	351	0,7	4,2	5,5
	16	613	9,1	7,5	30	97	14	6,0	19,2	403	0,6	3,4	6,0
	20	636	9,0	7,5	18	145	7	5,3	18,7	421	0,5	3,3	6,2
	24	608	8,9	7,5	118	177	0	5,3	17,4	415	0,6	3,2	6,2
	28	585	8,9	7,5	19	145	0	5,4	17,6	410	0,5	3,4	6,3
	MEG	32	527	9,7	7,5	14	48	0	8,8	21,1	322	0,3	4,3
36		511	9,8	7,5	50	48	0	9,8	22,0	316	0,4	4,7	5,1
37		563	8,9	7,5	11	290	18	5,6	24,3	364	0,2	2,9	5,2
11/05/98	4	573	9,9	7,2	60	225	7	6,9	21,7	354	0,8	4,6	5,9
PSA	8	551	10,1	7,5	37	177	14	6,8	22,1	355	0,8	4,5	5,9
	16	599	9,9	7,4	28	161	18	5,6	18,6	398	0,4	3,6	6,0
	20	604	9,7	7,5	17	64	28	5,7	19,1	406	0,4	3,5	6,1
	24	624	9,4	7,5	112	161	12	5,3	16,4	410	0,6	3,8	6,2
	28	601	10,5	7,5	20	97	21	5,9	18,3	409	0,5	3,7	6,1
	MEG	32	522	11,0	7,5	14	113	14	9,2	20,8	325	0,3	5,0
36		510	10,2	7,5	62	113	12	9,6	21,6	308	0,6	5,6	5,0
37		565	10,3	7,5	19	177	23	5,8	23,8	333	0,3	3,3	5,1
19/05/98	4	593	11,2	7,5	37	0	9	6,5	21,5	348			
PSA	8	564	11,1	7,4	37	0	14	6,9	21,9	327			
	16	593	10,8	7,4	33	78	14	5,8	19,0	394			
	20	590	10,7	7,4	21	0	14	6,0	19,4	391			
	24	618	10,7	7,4	89	94	12	5,5	18,2	414			
	28	609	10,4	7,4	17	0	18			402			
	MEG	32	522	11,5	7,4	35	125	12			326		
36		510	11,0	7,4	67	0	0			316			
37		563	10,8	7,4	28	62	23	6,1	23,3	327			

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	pH	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H-CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
28/05/98	n°	µS.cm <sup>-1</sup>	°C		µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
PSA	4	620	11,4	7,5	50	0	12	4,7	16,6	376
	8	580	11,5	7,5	41	0	18	5,1	17,3	351
	16	595	11,4	7,5	36	81	21	5,4	17,9	387
	20	575	11,0	7,5	17	64	16	5,7	18,6	370
	24	601	11,3	7,5	74	0	16	5,4	17,4	387
	28	596	11,0	7,5	18	64	16	5,5	17,1	391
MEG	32	523	11,9	7,5	17	64	12	7,9	19,3	328
	36	510	11,2	7,5	73	0	9	8,8	20,2	303
	37	558	11,6	7,5	29	113	23	5,1	21,7	353
08/06/98	4	623	12,3	7,4	46	0	9	6,1	20,0	354
PSA	8	601	12,5	7,4	46	0	12	6,7	20,9	364
	16	617	12,1	7,5	34	0	14	5,8	19,1	380
	20	600	11,8	7,5	102	0	14	6,9	19,9	371
	24	614	12,0	7,5	64	0	14	6,4	18,8	375
	28	613	11,8	7,5	16	0	14	6,2	18,5	377
	MEG	32	542	13,2	7,5	16	0	12	9,0	20,4
36		530	12,4	7,5	77	0	7	10,4	21,6	303
	37	532	16,6	7,5	13	97	25	5,9	22,5	344
16/06/98	4	638	12,7		49		0	8,0	21,8	381
PSA	8	628	12,9		46		12	8,1	21,5	358
	16	627	12,5		45		18	7,5	20,2	378
	20	613	12,1		25		18	7,7	19,9	358
	24	619	12,5		60		9	7,3	18,9	370
	28	608	12,2		17		18	7,2	18,7	366
	MEG	32	542	13,0		21		0	9,8	21,0
36		532	13,6		91		0	10,6	22,1	301
	37	572	12,7		25		16	6,9	22,1	342
24/06/98	4	618	13,0	7,3	67	193	7	7,6	21,8	369
PSA	8	609	13,2	7,4	44	258	7	7,5	21,2	358
	16	605	12,9	7,4	28	113	7	7,4	19,9	358
	20	591	12,6	7,4	33	0	9	7,8	20,5	355
	24	610	12,8	7,4	63	145	7	6,9	18,3	365
	28	603	12,3	7,4	17	64	0	7,3	18,8	362
	MEG	32	530	13,9	7,4	21	64	0		
36		546	14,0	7,5	96	64	14	10,3	21,2	301
	37	580	12,4	7,4	14	129	0	6,6	21,1	343
02/07/98	16	592	13,1		28	81	16	7,6	20,6	
PSA	20	583	12,9		23	0	12	7,7	20,4	
	24	603	12,9		56	0	7	7,1	18,9	
	28	589	12,5		20	0	9	8,4	19,9	
	37	581	13,2		16	0	21	6,6	20,8	
07/07/98	4	644	13,2	7,4	54	64	12	7,6	22,3	366
PSA	8	579	13,4	7,3	53	64	23	8,0	22,1	342
MEG	32	548	13,7	7,3	26	113	9	9,7	24,1	316
	36	537	12,8	7,4	89	0	9	9,9	21,7	303
15/07/98	4	642	13,4	7,4	68	145	12	7,4	21,4	361
PSA	8	612	13,5	7,3	54	0	21	7,9	21,9	358
	16	600	13,3	7,4	37	145	16	7,6	20,5	346
	20	576	13,7	7,3	24	97	16	7,7	20,0	354
	24	609	12,9	7,4	48	113	14	7,1	18,4	364
	28	589	12,7	7,5	17	0	21	7,8	20,0	354
	MEG	32	560	13,5	7,5	22	97	7	8,1	19,9
36		540	13,9	7,4	111	64	0	9,4	21,0	327
	37	581	12,8	7,5	18	0	25	6,6	21,0	344

Date	Piezomètre	Conductivité	T°	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
28/07/98	n°	μS.cm <sup>-1</sup>	°C	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
PSA	4	625	13,9	51	129	12	7,7	21,9
	8	601	13,9	46	161	14	7,5	21,8
	16	594	13,7	35	64	14	7,4	20,2
	20	585	13,5	19	97	12	7,7	20,1
	24	613	13,5	48	97	14	6,7	17,8
	28	588	13,2	19	113	12	7,7	20,1
MEG	32	567	14,0	26	129	0	7,5	19,0
	36	548	13,4	106	0	0	9,2	20,6
	37	582	13,3	27	225	23	6,7	21,0
06/08/98	16	593	14,5	34	129	16	7,4	20,1
PSA	20	586	13,8	24	81	14	7,9	20,5
	24	608	13,6	46	97	14	6,1	18,3
	28	585	13,4	19	113	12	7,6	20,3
	11/08/98	4	579	14,5	22	97	0	8,1
PSA	8	575	14,4	141	725	16	9,7	22,2
MEG	32	570	15,2	18	64	7	8,1	18,8
	36	534	16,1	108	0	0	10,0	20,3
	37	578	15,2	23	113	18	6,4	21,2
18/08/98	4	601	14,7	37	161	0	8,2	22,8
PSA	8	568	15,9	38	113	9	8,6	22,3
	16	598	15,0	39	81	18	7,9	20,6
	20	576	14,6	39	0	18	8,3	21,4
	24	599	14,3	43	129	14	7,7	19,1
	28	590	14,1	19	0	16	7,8	20,8
	MEG	32	573	15,3	36	0	14	8,9
36	551	14,7	136	0	7	10,4	20,6	
37	588	13,2	38	290	23	6,1	20,9	
25/08/98	4	605	15,0	94	64	14	8,0	22,3
PSA	8	586	14,5	55	113	25	8,5	22,6
	16	602	14,6	39	64	21	7,9	20,6
	20	573	14,3	30	0	23	8,1	21,1
	24	587	14,2	43	129	18	8,3	19,7
	28	585	14,1	20	81	21	7,8	20,7
	MEG	32	568	15,0	29	113	12	9,8
36	552	14,5	145	81	12	10,9	20,7	
37	581	14,7	25	0	30	6,3	20,9	
03/09/98	4			71	129	14	8,0	22,4
PSA	8			64	129	28	8,5	22,3
	16			42	64	21	8,0	20,1
	20			29	0	21	8,1	20,7
	24			47	0	12	8,5	19,6
	28			27	0	18	8,2	20,3
	MEG	32			27	0	9	10,2
37				20	0	25	5,9	20,4
14/09/98	4			75	225	18	7,9	21,3
PSA	8			61	145	23	8,4	21,7
	16			48	145	23	7,6	19,3
	20			35	97	23	7,6	19,7
	24			48	161	18	7,6	17,9
	28			22	81	25	8,1	19,6
	MEG	32			36	113	14	10,8
36				148	129	9	11,4	20,7
37				30	97	28	6,0	20,7

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
23/09/98	n°	μS.cm <sup>-1</sup>	°C	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
PSA	4			62	0	14	8,2	22,0
	8			45	0	21	8,6	21,8
	16			43	0	21	8,5	20,1
	20			48	0	16	8,6	19,0
	24			28	0	16	8,2	19,9
	28			26	0	18	9,0	19,4
	37			24	0	28	5,9	20,5
05/10/98	16			46	81	21	8,9	19,5
PSA	20			22	64	18	8,8	19,5
	24			40	81	16	9,0	18,9
	28			27	64	21	9,7	18,9
MEG	32			35	113	9	11,5	18,2
	36			175	81	7	11,5	19,9
	37			31	0	23	5,9	20,5
12/10/98	4		13,1	83	0		8,1	21,0
PSA	8		12,9	60	0		9,0	21,4
	16		12,7	44	0		8,6	18,4
	20		12,7	29	0		8,5	19,2
	24		12,9	48	0		8,4	18,4
	28		12,8	28	0		9,4	18,6
	37							
14/10/98	32			30	0		11,7	18,1
MEG	36			175	0	9	12,0	19,8
	37	582	14,2	31	64	25	6,0	20,3
27/10/98	4	410	11,1	57	193	9	7,8	20,8
PSA	8	429	11,0	46	161	16	7,4	18,9
	16	474	10,0	44	81	23	6,2	15,5
	20	430	9,8	22	177	18	6,2	15,0
	24	423	10,3	59	145	18	4,5	12,7
	28	419	9,8	23	64	23	5,3	13,2
	37							
MEG	32	541	12,4	23	113	16	10,9	18,2
	36	514	12,4	201	177	12	12,2	19,5
	37			32	1595	28	5,9	20,9
PSA	20			16	0	16	7,7	17,8
	28			26	0	18	8,2	16,6
09/11/98	4	532	11,5	41	161	0		
PSA	8	535	10,7	44	161	9	7,6	20,7
	16	586	10,2	40	403	16	7,3	19,5
	20	605	10,3	14	226	16	7,0	18,8
	24	543	10,0	36	1450	7	6,2	16,1
	28	557	10,0	18	773	12	6,8	18,4
	37							
MEG	32	552	12,1	15	129	0	8,7	19,6
	36	534	12,1	145	81	0	10,8	18,9
	37	486	9,2	14	13242	44	9,1	24,1
23/11/98	4	604	8,2	45	113	0	7,5	21,3
PSA	8	596	8,2	43	113	9	7,4	20,7
	16	616	8,1	40	129	18	7,2	19,5
	20	624	7,8	21	0	21	6,8	18,9
	24	623	8,3	60	0	14	6,3	17,1
	28	573	7,7	24	145	16	6,6	18,0
	37							
MEG	32	563	9,2	16	97	14	9,2	20,7
	36	535	9,7	113	97	7	10,1	20,7
	37	504	7,3	11	6186	23	8,1	22,7

Date	Piézomètre	Conductivité	T°	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
01/12/98	n°	μS.cm <sup>-1</sup>	°C	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	μg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
PSA	4	637	6,5	50	129	0	6,9	20,2
	8	606	7,2	67	129	9	7,6	20,9
	16	635	7,1	43	129	18	7,1	19,1
	20	642	7,2	19	0	16	6,7	18,8
	24	628	7,4	79	0	16	6,3	16,7
	28	586	6,9	25	0	21	6,4	17,6
MEG	32	554	8,1	13	81	18	9,1	20,7
	36	540	8,3	114	48	12		
	37	571	6,8	19	2658	23	6,4	21,6
08/12/98	4	625	6,3				10,8	20,7
PSA	8	619	7,1				8,7	21,2
	16	640	7,1	47			7,8	19,8
	20	643	7,0	23			7,1	19,3
	24	629	7,1	88			6,5	17,1
	28	589	7,0	26			6,7	17,7
	MEG	32	557	7,6				9,1
36		545	7,9				9,7	20,6
37		562	6,7	11	1640		6,5	22,1
15/12/98	4	609	7,3	51	81		6,8	19,6
PSA	8	612	7,5	58	129		7,7	20,9
	16	657	7,1	46	64		6,9	19,2
	20	650	7,3	22	161		6,7	19,3
	24	647	7,2	118	145		6,2	16,5
	28	604	6,8	30	0		6,6	17,5
	MEG	32	559	8,5	14			8,9
36		540	8,5	120			10,0	20,6
37		569	7,6	20	3238		6,1	22,2
28/12/98	4	588	7,5		193			
PSA	8	609	7,3		97			
	16	650	7,1		97			
	20	627	6,8		0		6,1	18,7
	24	641	7,1		0			
	28	603	6,7		0		6,5	17,7
	37	558	7,5		3528		5,7	21,1

## **Annexe VIII.1**

Les résultats des rendements en matière sèche de la biomasse épigée et hypogée pendant les trois saisons de végétation 1996, 1997 et 1998

Secteur	Date de prélèvement	Type d'échantillon	Poids de la M.S (g)				Biomasse (t de M.S. /ha)				
			Ech.1	Ech.2	Ech.3	Ech.4	Ech.1	Ech.2	Ech.3	Ech.4	Moyenne
MEG	15/07/96	Aérien	96,89	107,92	92,15	111,96	3,9	4,3	3,7	4,5	4,1
	22/07/96	Souterrain	67,48	83,26	73,69	86,93	10,8	13,3	11,8	13,9	12,5
PSA	15/06/96	Aérien	82,05	95,15	102,50	87,49	3,3	3,8	4,1	3,5	3,7
	23/06/96	Souterrain	48,87	43,98	45,03	47,21	7,8	7,0	7,2	7,6	7,4
MEG	08/07/97	Aérien	107,96	105,94	136,97	103,64	4,3	4,2	5,5	4,2	4,6
	01/10/97	Souterrain	89,47	84,98	75,55	83,81	14,3	13,6	12,1	13,4	13,4
PSA	05/06/97	Aérien	110,71	96,77	112,39	94,45	4,4	3,9	4,5	3,8	4,2
	01/10/97	Souterrain	77,62	54,89	69,42	63,05	12,4	8,8	11,1	10,1	10,6
PSA F 60kg d'N/ha	05/06/97	Aérien	110,58	101,54	91,54	143,32	4,4	4,1	3,7	5,7	4,5
	01/10/97	Souterrain	66,25	58,69	69,38	61,24	10,6	9,4	11,1	9,8	10,2
MEG	07/07/98	Aérien	75,12	144,36	95,49	76,05	3,0	5,8	3,9	3,0	3,9
	02/10/98	Souterrain	83,06	74,42	76,63	80,51	13,3	11,9	12,3	12,9	12,6
PSA	08/06/98	Aérien	74,28	59,40	67,83	56,94	3,0	2,4	2,7	2,3	2,6
	02/10/98	Souterrain	68,59	53,42	59,31	62,63	11,0	8,6	9,5	10,0	9,8
PSA F 120 kg d'N/ha	08/06/98	Aérien	63,59	102,13	106,23	103,04	2,5	4,1	4,2	4,1	3,7
	02/10/98	Souterrain	104,32	106,89	109,96	106,18	16,7	17,1	17,6	17,0	17,1

**Annexe VIII.1.** Biomasses en t de matière sèche/ha en fonction du type de végétation et des pratiques agricoles.

(MEG = Mégaphorbiaie à Reine des prés, PSA = Prairie à Séneçon aquatique et PSA F = Prairie à Séneçon aquatique fertilisée : 60 kg d'N/ha le 28/04/97 et 120 kg d'N/ha le 07/05/98). Les parties aériennes sont prélevées au moment de la floraison et les racines sont prélevées après la période de végétation (sauf en 1996 où le prélèvement a eu lieu une semaine après la fauche)

## **Annexe IX.1**

Les résultats analytiques des échantillons  
d'eau récoltés au niveau des 12 tensionics  
entre mai 1997 et décembre 1998



Date	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
	20 cm Herbe			40 cm Herbe			20 cm Labour			40 cm Labour		
Potentiel (mbar)												
06/05/97	-37	-17	-17	-47	-73	-68	-42	-24	-25	-30	-32	-32
15/05/97	-34	-35	-60	-43	-34	-49	-55	-69	-56	-40	-34	-48
27/05/97	-49	-57	-75	-52	-32	-57	-66	-75	-61	-53	-44	-61
05/06/97	-42	-42	-45	-25	-5	-21	-30	-39	-36	-22	-19	-27
17/06/97	-9	-10	-21	-22	-14	-14	-14	-14	-15	-14	-15	-15
27/06/97	-12	-15	-24	-23	-31	-31	-27	-38	-31	-30	-25	-30
08/07/97	-31	-35	-60	-54	5	-40	-52	-67	-63	-32	-20	-49
22/07/97	-32	-39	-64	-63	-2	-33	-64	-66	-76	-33	-20	-58
31/07/97	-36	-45	-67	-67	4	-18	-69	-52	-72	-33	-6	-36
11/08/97	-58	-65	-83	-77	-8	-21	-80	-51	-70	-33	-10	-29
22/08/97	-102	-55	-77	-68	-8	-12	-89	-90	-96	-35	3	-24
04/09/97	-82	-22	-62	-72	-7	-8	-58	-48	-49	-35	2	4
15/09/97	-68	-33	-97	-72	-21	-21	-55	-52	-60	-39	-18	-24
25/09/97	-102	-97	-127	-71	-21	-25	-65	-78	-84	-35	-19	-23
15/10/97	-61	-84	-71	-70	-18	-30	-53	-53	-54	-34	-26	-30
31/10/97	-43	-85	-64	-63	-21	-30	-44	-48	-46	-15	-26	-29

Date	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
	20 cm Herbe			40 cm Herbe			20 cm Labour			40 cm Labour		
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>												
06/05/97	0,103	0,071	0,055	0,041	0,084	0,078	0,058	0,127	0,047	0,044	0,038	0,039
15/05/97	0,148	0,075	0,063	0,053	0,057	0,063	0,057	0,165	0,063	0,058	0,086	0,055
27/05/97	0,146	0,128	0,132	0,086	0,116	0,120	0,147	0,272	0,159	0,108	0,122	0,122
05/06/97	0,065	0,062	0,077	0,060	0,082	0,097	0,150	0,253	0,170	0,094	0,099	0,127
17/06/97	0,141	0,113	0,088	0,082	0,127	0,121	0,232	0,223	0,249	0,170	0,165	0,175
27/06/97	0,064	0,057	0,067	0,060	0,088	0,088	0,134	0,115	0,161	0,094	0,094	0,095
08/07/97	0,095	0,075	0,092	0,075	0,104	0,122	0,180	0,115	0,159	0,132	0,114	0,113
22/07/97	0,230	0,219	0,215	0,169	0,244	0,266	0,352	0,209	0,287	0,298	0,282	0,197
31/07/97	0,163	0,140	0,159	0,134	0,185	0,193	0,207	0,186	0,185	0,217	0,196	0,158
11/08/97	0,145	0,153	0,171	0,140	0,211	0,254	0,190	0,195	0,195	0,207	0,201	0,192
22/08/97	0,162	décroché	0,153	0,155	0,193	0,224	0,147	0,208	0,223	0,233	0,183	0,174
04/09/97	0,233	"	0,166	0,130	0,195	0,244	0,125	0,247	0,284	0,161	0,158	0,166
15/09/97	0,126	"	0,120	0,115	0,151	0,121	0,085	0,121	0,190	0,103	0,121	0,185
25/09/97	0,115	"	0,120	0,093	0,108	0,126	0,101	0,117	0,158	0,102	0,177	0,101
15/10/97	0,156	"	0,190	0,106	0,250	0,169	0,170	0,256	0,325	0,206	0,215	0,299
31/10/97	0,113	0,095	0,134	0,189	0,159	0,171	décroché	0,144	0,198	0,196	0,191	0,241

Date	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
	20 cm Herbe			40 cm Herbe			20 cm Labour			40 cm Labour		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>												
06/05/97	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	6,30	0,08	0,01	0,01	0,01
15/05/97	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	34,30	92,80	12,00	0,10	0,03	0,03
27/05/97	0,10	0,06	0,05	0,03	0,05	0,04	54,80	123,00	23,20	0,21	0,08	0,04
05/06/97	0,08	0,07	0,06	0,03	0,06	0,04	47,10	103,00	28,50	0,06	0,04	0,06
17/06/97	0,13	0,11	0,09	0,06	0,08	0,06	54,00	140,50	32,50	0,10	0,07	0,06
27/06/97	0,12	0,07	0,07	0,09	0,06	0,06	88,90	62,90	14,10	0,39	5,23	0,07
08/07/97	0,10	0,13	0,12	0,08	0,08	0,08	51,60	22,30	0,26	17,50	31,30	0,15
22/07/97	0,16	0,18	0,12	0,08	0,12	0,09	1,92	2,06	0,24	27,43	37,51	0,27
31/07/97	0,25	0,10	0,09	0,05	0,09	0,08	0,18	0,44	0,14	24,55	29,20	0,07
11/08/97	0,10	0,13	0,13	0,10	0,11	0,11	0,16	0,34	0,13	18,80	16,60	0,14
22/08/97	0,10	décroché	0,15	0,09	0,11	0,11	0,12	0,25	0,10	5,77	0,24	0,14
04/09/97	0,13	"	0,16	0,12	0,11	0,13	0,12	0,24	0,13	0,17	0,14	0,08
15/09/97	0,24	"	0,11	0,10	0,07	0,07	0,36	0,39	0,24	0,11	0,13	0,07
25/09/97	0,07	"	0,09	0,05	0,06	0,05	0,09	0,14	0,07	0,14	0,07	0,11
15/10/97	0,07	"	0,10	0,08	0,10	0,09	0,13	4,08	0,33	0,12	0,12	0,10
31/10/97	0,16	0,10	0,08	0,06	0,08	0,06	décroché	1,46	0,57	0,12	0,46	0,13

Date	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
	20 cm Herbe			40 cm Herbe			20 cm Labour			40 cm Labour		
Potentiel (mbar)												
09/03/98	-22	-10	-52	-35	-30	-33	-30	-40	-39	-37	-40	-37
30/03/98	-67	-73	-56	-55	-49	-51	-52	-50	-67	-38	-54	-64
08/04/98	-26	-31	-22	-23	-23	-21	-16	-20	-23	-19	-19	-21
20/04/98	-17	-30	-18	-17	-29	-25	-27	-24	-28	-30	-29	-28
29/04/98	-42	-48	-31	-39	-20	-27	-32	-35	-36	-16	-26	-34
04/05/98	-46	-39	-39	-45	-34	-34	-38	-39	-16	-29	-36	-44
07/05/98	-44	-42	-55	-54	-57	-56	-57	-52	-30	-56	-57	-60
11/05/98	-66	-57	-56	-55	-44	-46	-48	-54	-15	-29	-47	-52
19/05/98	-113	-80	-73	-68	-66	-66	-68	-70	-38	-48	-67	-73
08/06/98	-75	-66	-60	-49	-50	-59	-57	-67	-36	-60	-73	-68
16/06/98	-56	-51	-56	-68	-29	-32	-31	-31	-33	-33	-34	-34
24/06/98	-124	-99	-84	-63	-69	-69	-79	-82	-47	-57	-71	-80
02/07/98	-146	-158	-105	-89	-91	-87	-81	-82	-86	-78	-85	-91
07/07/98	-73	-75	-66	-75	-84	-80	-64	-83	-75	-78	-86	-90
15/07/98	-82	-84	-78	-77	-79	-78	-80	-72	-83	-67	-64	-68
28/07/98	-131	-126	-105	-71	-58	-70	-75	-79	-85	-66	-73	-73
06/08/98	-126	-138	-112	-73	-52	-51	-81	-81	-72	-67	-79	-69
11/08/98	-159	-164	-165	-32	-31	-30	-79	-83	-76	-58	-66	-48
16/08/98	-237	-225	-382	-80	-53	-69	-100	-102	-95	-81	-95	-73
25/08/98	-106	-104	-107	-74	-41	-43	-70	-74	-66	-76	-88	-65
03/09/98	-65	-62	-66	-77	-32	-44	-29	-38	-27	-83	-77	-58
14/09/98	-76	-73	-71	-64	-30	-36	-47	-57	-51	-78	-71	-51
23/09/98	-105	-92	-113	-56	-28	-27	-50	-62	-62	-69	-63	-45
02/10/98	-77	-62	-82	-77	-39	-38	-52	-53	-64	-73	-63	-45
05/10/98	-61	-50	-82	-69	-13	-14	-45	-50	-28	-59	-58	-39
14/10/98	-48	-45	-63	-69	-24	-22	-29	-37	-26	-59	-50	-31
22/10/98	-48	-57	-63	-67	-30	-29	-27	-40	-23	-57	-47	-35
27/10/98	-9	-3	-20	-20	14	16	6	2	6	-11	-3	8
02/11/98	-3	-10	-10	-4	27	28	14	9	15	8	8	19
09/11/98	-6	-9	15	-3	21	23	10	8	13	6	5	15
01/12/98	-36	-45	-46	-47	-29	-27	-45	-38	-26	-40	-34	-21
15/12/98	-11	-39	-33	-58	-23	-18	-46	-28	-29	-31	-32	-22
28/12/98	-37	-34	-30	-29	-10	-17	-21	-31	-35	-18	-29	-37

Date	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
	20 cm Herbe			40 cm Herbe			20 cm Labour			40 cm Labour		
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>												
09/03/98	0,462	0,356	0,162	0,151	0,202	0,510	0,154	0,183	0,330	0,138	0,156	0,196
30/03/98	0,329	0,262	0,128	0,130	0,410	0,532	0,245	0,263	0,311	0,272	0,281	0,349
08/04/98	0,250	0,158	0,123	0,090	0,172	0,155	0,104	0,136	0,148	0,117	0,132	0,161
20/04/98	0,231	0,138	0,127	0,102	0,153	0,141	0,112	0,135	0,150	0,124	0,135	0,151
29/04/98	0,225	0,132	0,121	0,108	0,157	0,128	0,102	0,128	0,180	0,122	0,157	0,175
11/05/98	0,352	0,340	0,280	0,196	0,455	0,309	0,499	0,507	0,325	0,220	0,347	0,321
19/05/98	0,740	0,773	0,981	0,415	0,961	0,935	0,914	0,875	0,840	0,268	0,490	1,043
28/05/98	0,775	1,016	1,529	0,449	1,015	0,906	0,650	0,919	0,655	0,226	0,581	0,931
08/06/98	1,285	2,719	2,108	0,806	1,553	1,285	1,323	1,969	2,050	0,375	1,670	1,858
16/06/98	0,526	0,723	0,731	0,314	0,598	0,555	0,638	1,362	1,175	0,186	0,882	0,957
24/06/98	0,319	0,435	0,430	0,199	0,520	0,375	0,556	1,051	1,188	0,157	0,830	0,908
02/07/98	0,212	0,246	0,229	0,146	0,681	0,232	0,373	0,586	0,646	0,157	0,454	0,493
15/07/98	0,276	0,240	0,237	0,153	0,997	0,223	0,356	0,480	0,645	0,182	0,322	0,401
28/07/98	0,228	0,249	0,244	0,143	0,785	0,182	0,365	0,452	0,733	0,227	0,377	0,428
06/08/98	0,216	0,206	0,149	0,109	0,673	0,172	0,244	0,250	0,402	0,193	0,206	0,302
16/08/98	0,338	0,285	0,250	0,140	0,789	0,165	0,332	0,336	0,552	0,273	0,250	0,391
25/08/98	0,141	0,161	0,125	0,117	0,611	0,150	0,174	0,156	0,250	0,165	0,152	0,235
03/09/98	0,145	0,138	0,147	0,096	0,403	0,118	0,124	0,141	0,220	0,129	0,151	0,198
14/09/98	0,172	0,175	0,175	0,143	0,308	0,196	0,115	0,138	0,187	0,136	0,176	0,187
23/09/98	0,145	0,121	0,115	0,147	0,223	0,198	0,136	0,238	0,218	0,153	0,242	0,349
05/10/98	0,139	0,123	0,136	0,153	0,318	0,157	0,159	0,152	0,182	0,138	0,201	0,251
14/10/98	0,080	0,075	0,098	0,101	0,158	0,122	0,095	0,088	0,090	0,083	0,137	0,131
22/10/98	0,065	0,074	0,083	0,115	0,198	0,131	0,091	0,080	0,100	0,094	0,134	0,133
02/11/98	0,074	0,069	0,095	0,145	0,148	0,124	0,100	0,089	0,105	0,081	0,106	0,136
09/11/98	0,059	0,045	0,052	0,108	0,086	0,072	0,057	0,050	0,054	0,047	0,063	0,086
01/12/98	0,198	0,119	0,090	0,189	0,221	0,191	0,112	0,072	0,079	0,095	0,121	0,139
15/12/98	0,221	0,129	0,139	0,142	0,099	0,444	0,071	0,065	0,070	0,329	0,052	0,082
28/12/98	0,100	0,086	0,084	0,186	0,084	0,180	0,318	0,128	0,214	0,068	0,094	0,098

Date	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
	20 cm Herbe			40 cm Herbe			20 cm Labour			40 cm Labour		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>												
09/03/98	0,37	0,29	0,20	0,54	0,08	0,37	0,29	0,82	0,51	0,19	0,17	0,17
30/03/98	0,27	0,21	0,13	0,19	0,15	0,22	0,17	0,70	0,47	0,22	0,19	0,27
08/04/98	0,23	0,14	0,15	0,13	0,14	0,15	0,13	0,18	0,14	0,13	0,18	0,17
20/04/98	0,40	0,23	0,20	0,18	0,18	0,18	0,18	0,20	0,20	0,18	0,18	0,19
29/04/98	0,73	0,26	0,20	0,16	0,18	0,19	0,16	0,26	0,18	0,17	0,20	0,20
11/05/98	0,46	0,80	0,56	0,31	0,87	0,37	1,07	1,44	0,34	0,39	0,84	0,41
19/05/98	0,58	0,62	1,45	0,46	0,56	0,68	0,70	1,01	0,42	0,24	0,36	1,13
28/05/98	1,02	1,26	3,20	1,62	0,94	1,76	0,69	3,44	3,82	0,32	0,60	1,68
08/06/98	1,81	4,47	5,74	1,50	1,80	2,66	3,96	24,40	22,67	0,78	2,76	3,37
16/06/98	0,83	1,19	1,68	0,63	0,74	1,24	38,00	73,00	72,00	1,79	2,03	2,10
24/06/98	0,41	0,66	1,09	0,47	0,78	0,82	75,69	95,01	93,08	0,95	2,14	1,95
02/07/98	0,26	0,35	0,56	0,30	1,12	0,38	86,00	130,00	149,50	3,47	1,50	1,46
15/07/98	0,35	0,40	0,62	0,45	2,12	0,50	149,00	187,00	206,00	7,62	5,22	2,61
28/07/98	0,19	0,20	0,63	0,40	1,38	0,51	375,60	419,60	438,40	6,75	34,40	7,64
06/08/98	0,65	0,40	0,54	0,27	1,25	0,30	347,00	401,00	416,00	10,29	41,80	12,03
16/08/98	0,71	0,48	0,69	0,36	1,48	0,35	337,30	409,70	418,20	12,89	47,55	13,07
25/08/98	0,12	0,21	0,37	0,38	1,49	0,33	306,00	416,80	416,20	14,76	55,20	17,31
03/09/98	0,20	0,34	0,42	0,25	0,92	0,31	318,60	446,40	431,60	22,47	67,57	24,22
14/09/98	0,11	0,22	0,38	0,23	0,66	0,29	454,60	619,00	567,40	35,05	123,90	36,11
23/09/98	0,08	0,26	0,20	0,11	0,40	0,14	491,40	652,00	575,20	54,20	147,10	53,80
05/10/98	0,08	0,23	0,26	0,12	0,57	0,17	479,00	693,00	571,00	66,00	173,20	69,50
14/10/98	0,10	0,27	0,20	0,09	0,39	0,12	431,80	659,20	538,60	73,40	206,70	81,00
22/10/98	0,11	0,29	0,18	0,08	0,30	0,10	398,60	615,50	488,50	92,30	234,00	104,80
02/11/98	0,07	0,09	0,11	0,07	0,31	0,08	259,00	296,00	275,00	143,40	299,00	154,40
09/11/98	0,05	0,08	0,11	0,09	0,22	0,09	193,20	203,10	193,50	142,20	262,20	166,80
01/12/98	19,70	3,39	0,42	0,15	1,02	0,39	107,70	65,30	74,50	123,40	150,30	223,00
15/12/98	17,30	2,04	0,61	0,09	0,68	0,68	78,40	63,10	68,40	125,20	116,00	224,00
28/12/98	12,06	0,93	0,15	0,11	0,33	0,18	53,60	60,20	65,20	111,50	79,20	168,50

# PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

- ①- Krebs L., Corbonnois J. & Muller S. (1999)  
The impact of hydrological fluctuations on shallow groundwater hydrochemistry under two alluvial meadows.  
*Hydrobiologia*, **410**, 195-206.
- ②- Grévilliot F, Krebs L. & Muller S. (1998)  
Comparative importance and interference of hydrological conditions and soil nutrient gradients in floristic biodiversity in flood meadows.  
*Biodiversity and Conservation*, **7**, 1495-1520.
- ③- Corbonnois J. & Krebs L. (2000)  
Fonctionnement hydrodynamique des fonds alluviaux. Exemple de la Meuse dans le secteur de Stenay.  
*Revue Géographique de l'Est*, (sous presse).
- ④- Grévilliot F., Krebs L., Corbonnois J. & Muller S. (2000)  
Relative impact of flood regimes and groundwater table fluctuations on species composition of plant communities in flood plain meadows.  
Soumise à *Journal of Vegetation Sciences*
- ⑤- Grévilliot F., Krebs L. & Muller S. (1996)  
Relations entre la biodiversité floristique et le fonctionnement hydrologique des écosystèmes prairiaux inondables de la plaine alluviale de la Meuse.  
Symposium "*Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes*"  
Juin 12-14, Paris, France.
- ⑥- Krebs L., Corbonnois J. & Muller S. (1997)  
Alluvial meadows and groundwater quality in the upper course of the Meuse.  
WLO-25 Congress "*Landscape Ecology : things to do*"  
The Meuse, Artery of Nature, Maastricht, 7-9 October.
- ⑦- Krebs L., Corbonnois J. & Muller S. (1998)  
Impact of hydrological fluctuations on the nutrient epuration capacity of a flood meadow ecosystem.  
Conférence internationale "*Les systèmes fluviaux anthropisés*"  
Mars 25-27, Paris, France.



## The impact of hydrological fluctuations on shallow groundwater hydrochemistry under two alluvial meadows

L. Krebs<sup>1</sup>, J. Corbonnois<sup>2</sup> & S. Muller<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Metz, UPRES 'Ecotoxicité, Biodiversité et Santé Environnementale', Laboratoire de Phytoécologie, Ile du Saulcy, 57045 Metz Cedex 01, France

<sup>2</sup>Université de Metz, Laboratoire de Géographie physique, CEGUM, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Ile du Saulcy, 57045 Metz Cedex, France

**Key words:** alluvial grassland, tall forbs formation, groundwater hydrochemistry, nutrient availability, water-table level

### Abstract

Groundwater ionic profiles, with particular regard to bioavailable nutrient (N, P, and K) levels, were studied in a flooding alluvial grassland of the river Meuse. The observed variations were related to different groundwater levels and hydrological events (rises in groundwater), the vegetation types and the human practices (cutting, ploughing). A network of 20 piezometers was installed with regard to the vegetation type, the groundwater table level and agricultural practices and was located in the fairly wet meadows. Comparison of water ionic levels between Meuse surface water and groundwater table shows the efficiency of nutrient retention of the different compartments of the plant–soil ecosystem. Grassland ecosystem, by its absorption and transfer functions, modifies the chemical characteristics of shallow groundwater. A comparative study was carried out during the growing season on groundwater hydrochemistry in two meadow ecosystems (a tall forbs formation with *Filipendula ulmaria* and its homologous grassland type, the *Senecioni-Oenanthetum mediae*) and a ploughed soil. At the same time sampling and nutrient content analyses of above and underground biomass were carried out in the two meadows which differ not only by their floristic composition but also by their groundwater table level. The lowest groundwater N, P and K levels were found under the wettest meadow with the tall forbs formation, but total nutrient amounts in vegetation (above- and below-ground biomass) did not differ consistently between the two meadows. Plant pools of N, P and K were mainly located in below-ground organs in both meadows and the annual outputs through hay removal were quantitatively the most important in the *Senecioni-Oenanthetum mediae* association (the driest meadow). It appeared from these results that groundwater N, P and K availability was lower in the wettest meadow. The lower N, P and K concentrations in the shallow groundwater under the tall forbs formation can not be closely related to the vegetation but rather to a higher water table level.

### Introduction

Flood plains are terrestrial–aquatic interface zones and are closely dependent on hydrogeomorphological conditions which are generated by the river. These riverine wetlands intervene decisively in water-flow regulation and the regular supply of sediments and nutrients by floods. Wetlands carry out hydrological functions such as groundwater recharge and they can also amplify the effects of any potential pollution. Flood plain hydrology is poorly understood at present but is widely recognised as a primary driving force

influencing wetland ecology (Carter, 1986; Hunt et al., 1996).

In the last ten years several studies have examined the hydrochemical functioning of alluvial forest (Carbiener & Trémolières, 1990; Pinay, 1986; Sanchez Perez, 1992; Trémolières et al., 1991). The relationship between grassland vegetation and water level fluctuations has been studied in many French alluvial plains (Carbiener, 1969; Magnanon, 1991; Pautou, 1975) and in other countries, such as England (Denny, 1993) and The Netherlands (Barendregt et al., 1986), but the impact of hydrological fluctuations on the



purification of water nutrient content of a flooded meadow ecosystem has not been studied in detail. But studies have indicated that water-table control was a promising tool for managing soil water to reduce agrochemical loads in surface and ground waters on high-water-table soils (Thomas et al., 1992; Willis et al., 1997). Investigations of nitrogen retention in artificially flooded meadows were performed in southern Sweden and showed that denitrification and plant uptake of nitrogen were stimulated by the artificial flooding (Leonardson et al., 1994).

Some more targeted studies have examined the influence of agricultural practices on groundwater N and P levels in non-alluvial meadows (Dorioz & Ferhi, 1994; Gaury, 1992) or the effect of grassland management and changes in groundwater level on the yield (Oomes, 1991; Oomes & Van der Werf, 1997; Oomes et al., 1996), but only rarely groundwater hydrochemistry in alluvial flooded meadows (Ackerer et al., 1990; Kugler, 1988). On the other hand, several papers have documented the location and transfer of nitrogen and phosphorus in soil/plant compartments of flooding grassland (Chaneton et al., 1996; Lavado et al., 1993; Rubio et al., 1995) and nitrogen and phosphorus tissue concentrations in wetland plants (McJanet et al., 1995).

In the flooding alluvial grassland of the river Meuse, two plant communities which derive from each other through changes in cutting date were the subject of different studies to assess their capacity to purify shallow groundwater. The content of macronutrients (N, P, K) is studied in plants, roots, soils and groundwater table according to the vegetation type (tall forbs formation and its homologous grassland type) and the water table level. This tall forbs formation is a very impoverished plant community where the vegetation dynamic favours the development of one species (*Filipendula ulmaria*<sup>1</sup>) to the detriment of others. The vegetation in this tall forbs formation is higher and the root system is more developed.

This paper reports on the interactive effects of water table level and botanical composition on nutrient availability in shallow groundwater.

### Description of the study area

The river Meuse rises in the Plateau de Langres and flows into the North Sea 900 km downstream. This

basin, like the whole of the Lorraine, is subject to an oceanic climate with a continental influence (Harmand, 1992). Precipitation is abundant and regular throughout the year with a mean annual rainfall value of 904 mm (in the 1969/1990 period). The mean annual air temperature is 9.1°C and the temperature range between the coldest and the warmest month is 16.3°C (Faber, 1994). However, these rainfall and temperature means conceal striking interannual and seasonal differences. The quantity of precipitated water can exceed 1000 mm in wet years (1981, 1983, 1995), and can be less than 600 mm during dry years (1971, 1976).

The discharge of the Meuse at the Stenay station is 46.5 m<sup>3</sup>/s (watershed area, 3904 km<sup>2</sup>) and varies greatly according to the season. We can distinguish two main hydrological periods: a low-water period during the summer months when the discharge is barely supported by the hydrogeological contribution of the substratum, and a high-water period from December to March. During this high-water period an average of 63 days of significant flooding (discharge exceeding 100 m<sup>3</sup>/s) has been calculated.

The study was conducted in the Mouzay flood plain, located 40 km downstream of the town of Verdun just beyond the Ardennes (Figure 1a). In this area the river Meuse follows a meandering course with many abandoned meanders. The valley floor, which is 3 km wide and flat, consists of 18-m thick quaternary calcareous gravel alluvium covered by about 60 cm of silt. It contains a circulating water table contained by impervious Callovien clays (Figure 1b). This area is frequently flooded in winter and spring.

A phytosociological study (Grévilleot, 1996) allowed us to distinguish three successive associations along the hydric gradient. The experiment was carried out in parcels which are situated at the intermediate topographical level. At this level we could distinguish the *Senecioni-Oenanthetum-mediae*, or SOM, association. It is a meadow community dominated by grasses, but mesohydrophilic and mesophilic species particularly characterise this intermediate grassland type. Three sub-units have been distinguished, *Colchicetosum pratensis*, or SOM1, in the upper level and *typicum*, or SOM2, in the medium level and *Myosotetosum palustris*, or SOM3, in the lower level. More extensive management practices (reduction of the regulation by cutting) leads this association to evolve into a tall forbs formation dominated by *Filipendula ulmaria* (Grévilleot, 1996).

<sup>1</sup> The nomenclature follows Lambinon et al. (1992).

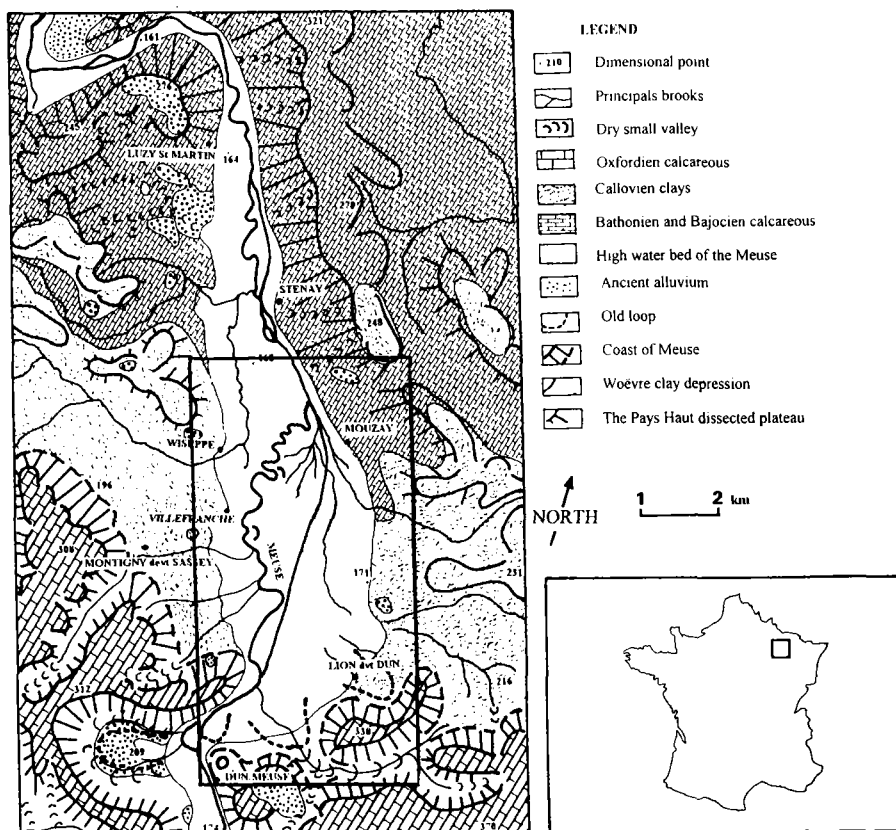


Figure 1a. (a) The Meuse valley in Mouzay area; geomorphologic sketch. (b) Transverse section of the Meuse flood plain.

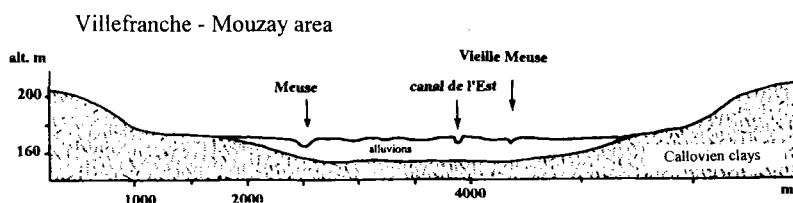


Figure 1b. (b) Transverse section of the Meuse flood plain.

## Materials and methods

### *Sampling and analysis of shallow groundwater*

A network of 20 piezometers (Figure 2) was set up in the Mouzay flood plain a site enclosed between the Meuse and the northern branch of the East Canal. The piezometers, 1 and 3 m deep, were installed in the gravel at the input and output of 100-m<sup>2</sup> permanent plots in order to study the groundwater table level changes during the seasonal cycle and to sample groundwater. The three permanent plots are situated in non-fertilised sites, the cutting dates were variable

and the groundwater level in the tall forbs formation is 15–20 cm higher than in the grassland type.

The piezometers were closed to their extremities and perforated either at the last metre (for the 3-m deep piezometer) or at the last 80 cm (for the 1-m deep piezometer). Sixteen piezometers were installed with regard to the vegetation type (eight in the wet sub-unit of the *Senecioni-Oenanthetum mediae* SOM3 and eight in the tall forbs formation with *Filipendula ulmaria*). These two sites were compared with a ploughed soil without vegetation (four piezometers).

Sampling was performed after pumping at the level of the groundwater table saturating the subsoils. The

chemical composition of these samples can only be representative of the aquifer after several renewals of the piezometer volume.

Groundwater samples were taken every 15 days (occasionally weekly) during the growing period and the Meuse and canal water samples were taken at the same time. The variables which were analysed were the following:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , pH, temperature and conductivity. The variables were measured according to methods detailed in AFNOR (1986).  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Cl}^-$  concentrations were analyzed by ion chromatography using a Dionex 4500i system using an AS4A anion column. Ammonium concentrations have been determined by the colorimetric method using indophenol blue (AFNOR T90-015).  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{Ca}^{2+}$  contents were determined by atomic absorption (AFNOR T90-005),  $\text{K}^+$  and  $\text{Na}^+$  contents by flame emission (AFNOR T90-019), and P content colorimetrically (AFNOR T90-023).

#### *Sampling and analysis of above and below-ground phytomass*

The aerial productivity was calculated in 1997 by sampling of plant biomass. The sampling for the two types of vegetation occurred at the flowering peak (06/06/97 for the SOM3 association and 08/07/97 for the tall forbs formation), because the maximum of nutrients in the plant is reached at this stage of development. The sampling area for above-ground phytomass (all aerial parts) recommended in numerous studies (Dutoit & Alard, 1995; Magnanon, 1991; Vertes, 1993) was about  $1 \text{ m}^2$ . This area was subdivided into four elementary units of  $0.25 \text{ m}^2$ . The vegetation was cut in June and July, according to the plant communities, to a stubble height of 4 cm.

Root productivity was also measured by sampling of underground biomass. This sampling was carried out after the growing season (01/10/97), with the same treatments and analysis as for the aerial biomass. The sampling area for underground biomass was limited to about  $0.25 \text{ m}^2$  (four elementary units of  $6.25 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ ), because the method is very destructive. The roots samples were taken off with the top soil (0–20 cm layer) and were separated from the soil by washing using water spray jets. The root compartment encompassed all below-ground organs, including rhizomes and bulbs of various species.

Roots and above-ground biomass were dried and ground. K, Mg, Ca, Na and P were quantified by be-

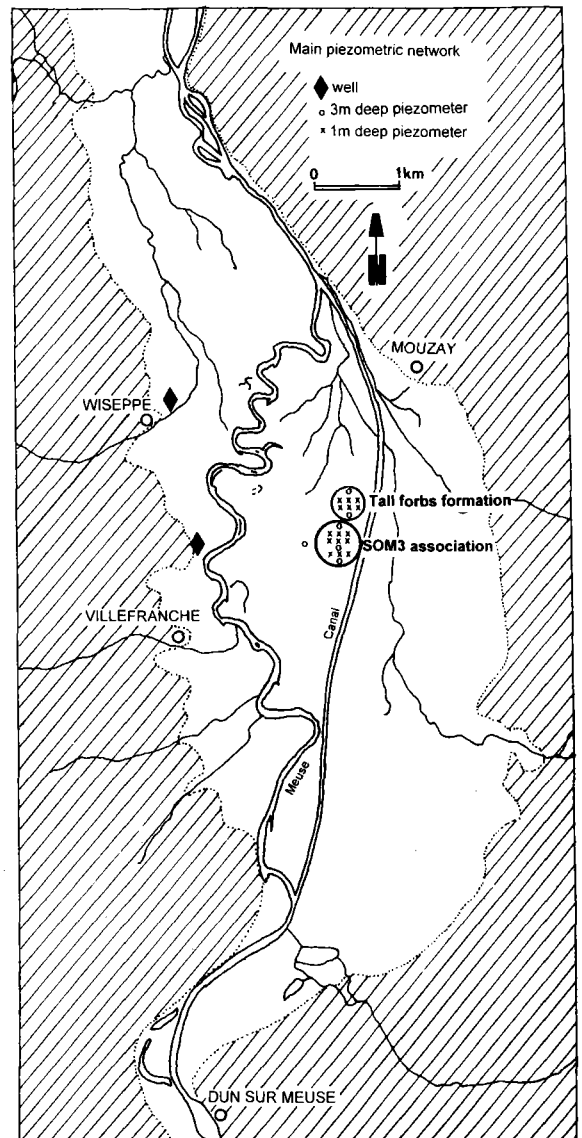


Figure 2. Localization of the piezometric network in the Mouzay area.

ing ashed at  $450^\circ\text{C}$ , dissolved in nitric acid and the mineral content was determined by atomic absorption for the cations and by colorimetric method for P. To determine total N, a subsample of the dried and ground sample was digested with sulfuric and phosphoric acids ( $95\% \text{H}_2\text{SO}_4 - 5\% \text{H}_3\text{PO}_4$ ) in a  $420^\circ\text{C}$  block digester (TECATOR 1015 model) according to the Kjeldahl method. All these elements were measured according to methods (Lambert, 1994) usually employed at the Laboratoire d'Ecologie des Prairies of Michamps (Belgium).

**Table 1.** Mean concentrations and extreme values of bioavailable nutrients and physical variables in surface water and groundwater (3 m deep) of the study area during the 1997 period. The averages were calculated from 240 groundwater samples and 32 surface water samples

	Surface water	Groundwater table	Difference (%)
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	2.600 (1.360 – 3.700)	0.032 (0 – 0.433)	-99%
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μg l <sup>-1</sup> )	58.0 (9.3 – 179.0)	38.9 (9.0 – 134.0)	-33%
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μg l <sup>-1</sup> )	42.5 (0 – 135.7)	16.0 (0 – 35.0)	-62%
K <sup>+</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	2.28 (1.86 – 3.15)	0.57 (0.26 – 1.04)	-75%
Mg <sup>2+</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	7.12 (6.13 – 8.65)	5.69 (4.48 – 6.52)	-20%
pH	8.18 (7.96 – 8.33)	7.50 (7.36 – 7.83)	-
Conductivity (μS/cm)	502 (437 – 564)	556 (435 – 644)	-

#### Sampling and analysis of soil

Soil samples of the top soil (0–20 cm layer) were taken in the two meadows before (2/05/1997) and after (1/10/1997) the growing season. At each grassland plot, six soils cores of 8-cm diameter were extracted with a stainless steel corer. Nutrient determinations were based on a composite sample of each plot obtained from the six soils cores.

Soil texture was determined for each meadow. Organic carbon and organic nitrogen were measured according to the Anne method (oxidation by sulfochromic acid at 135°C) and the Kjeldahl method (after digestion by sulphuric acid at 350°C). Exchangeable cations (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup>) concentrations in the soil were determined by flame emission after extraction with 1 N ammonium acetate. Exchange capacity was determined by extraction with 1 N ammonium acetate according to the Metson method. Available phosphorus was determined by extraction with 0.1 N ammonium oxalate according to the Joret-Hebert method.

**Table 2.** Comparison of water table level (mean and extreme values for year 1997), soil texture and mean nutrient concentrations in soils (0–20 cm depth) between the two meadows. The averages (a) of soil nutrient concentrations were calculated from spring (b) and autumn (c) values

		SOM3 association (-64; +7)	Tall forbs formation (-50; +5)
Water table level (cm)		-41	-28
Clay content (%) (0–20 cm depth)		64	71
pH (H <sub>2</sub> O)	(a)	7.3	7.2
	(b)	7.7	7.7
	(c)	6.8	6.6
Organic matter (%)	(a)	16	21
	(b)	15	22
	(c)	17	20
C org. (g kg <sup>-1</sup> )	(a)	98.0	117.3
	(b)	92.5	122.6
	(c)	103.5	111.9
N org. (g kg <sup>-1</sup> )	(a)	10.8	12.6
	(b)	10.4	12.8
	(c)	11.1	12.3
CEC (meq 100 g <sup>-1</sup> dry soil)	(a)	43.6	50.4
	(b)	40.5	51.5
	(c)	46.6	49.3
Ca <sup>2+</sup> (meq 100 g <sup>-1</sup> dry soil)	(a)	78.5	85.9
	(b)	76.3	82.7
	(c)	80.6	89.0
Na <sup>+</sup> (meq 100 g <sup>-1</sup> dry soil)	(a)	0.19	0.23
	(b)	0.15	0.19
	(c)	0.22	0.27
Mg <sup>2+</sup> (meq 100 g <sup>-1</sup> dry soil)	(a)	2.33	2.32
	(b)	2.41	2.29
	(c)	2.25	2.34
K <sup>+</sup> (meq 100 g <sup>-1</sup> dry soil)	(a)	0.51	0.43
	(b)	0.51	0.45
	(c)	0.50	0.41
available P (mg kg <sup>-1</sup> )	(a)	170	191
	(b)	114	133
	(c)	225	248

## Results

#### Comparison of nutrient concentrations between surface water and groundwater table

When hydrological stability prevails, the concentrations of nutrients in groundwater are much lower than those found in surface water (Table 1). More particularly for nitrate-N, ammonia-N, orthophosphate and potassium which show a decrease respectively of 99, 33, 62 and 75% in comparison with surface water.

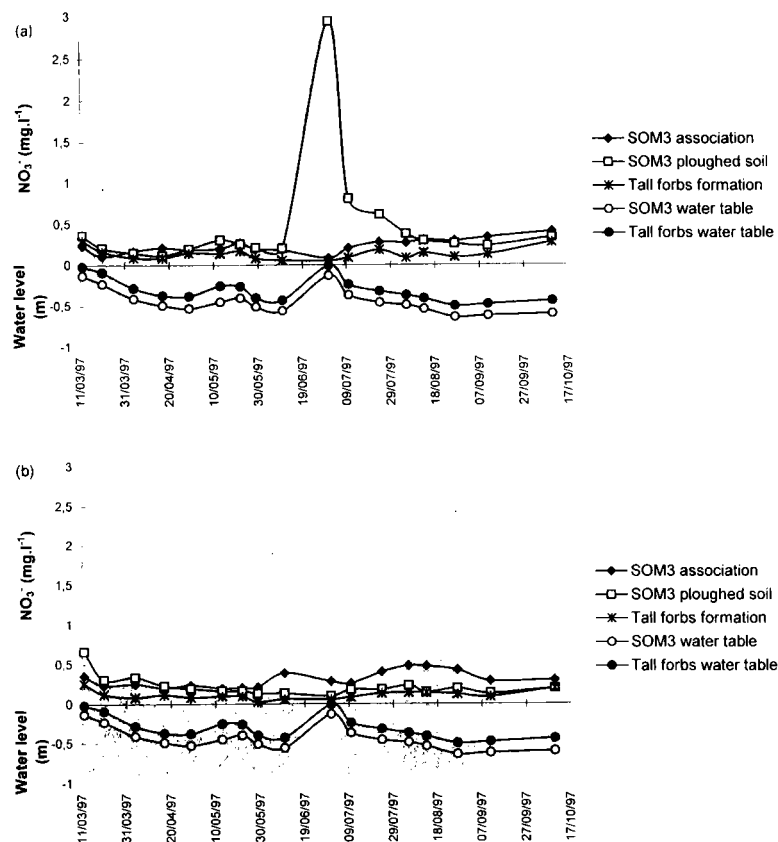


Figure 3. Mean (a) 1 m and (b) 3 m deep groundwater content of nitrate according to vegetation type, ploughing and water table level.

#### Soil nutrient content

The soils of the two grassland plots have a very fine texture with a high clay content (Table 2). At the 0–20 cm depth, the soils showed different clay content with a mean of 71% under the tall forbs formation and 64% for the SOM3 grassland type. The rate of organic matter was also higher in the wettest meadow than in the SOM3 meadow (21% and 16%, respectively). In the wettest site, the organic matter decomposition rate would be restricted due to more anaerobic conditions in the topsoil. The cation exchange capacity seemed to be lower in the SOM3 grassland and concentrations in nutrients were higher in the tall forbs wettest meadow except for potassium and magnesium.

#### Changes in groundwater nutrient content

Comparison of groundwater hydrochemistry between the SOM3 association, the tall forbs formation and a ploughed soil showed differences in groundwater nitrate, N-ammonia, K and P levels. But during the

growing season, differences were really found only for  $\text{N-NH}_4^+$  and  $\text{K}^+$ .  $\text{N-NO}_3^-$  and  $\text{P-PO}_4^{3-}$  showed values which were at the limit of the detection point (between 0 and  $15 \mu\text{g l}^{-1}$  for ortho-phosphates and between 0 and  $150 \mu\text{g l}^{-1}$  for N-nitrate).

However, the lowest mean groundwater nitrate level (at 1 and 3 m deep) was found under the tall forbs formation (Figure 3). The rate of nitrogen mineralization seemed to be reduced in this formation because the proportion of soil organic matter is higher (21% as against 16% in the grassland type).

The 1 m deep nitrate content at the output of the ploughed plot showed negligibly higher concentrations in comparison with the SOM3 grassland plot, but these concentrations were strongly affected by hydrological events such as an important rainfall and a rise in groundwater table (there was no flood in 1997). A peak in nitrate of about 3 mg/l occurred after important precipitation in the second fortnight of June (mean rainfall value of 112 mm during this period and a maximum water table level in the order of  $-13.5$  cm).

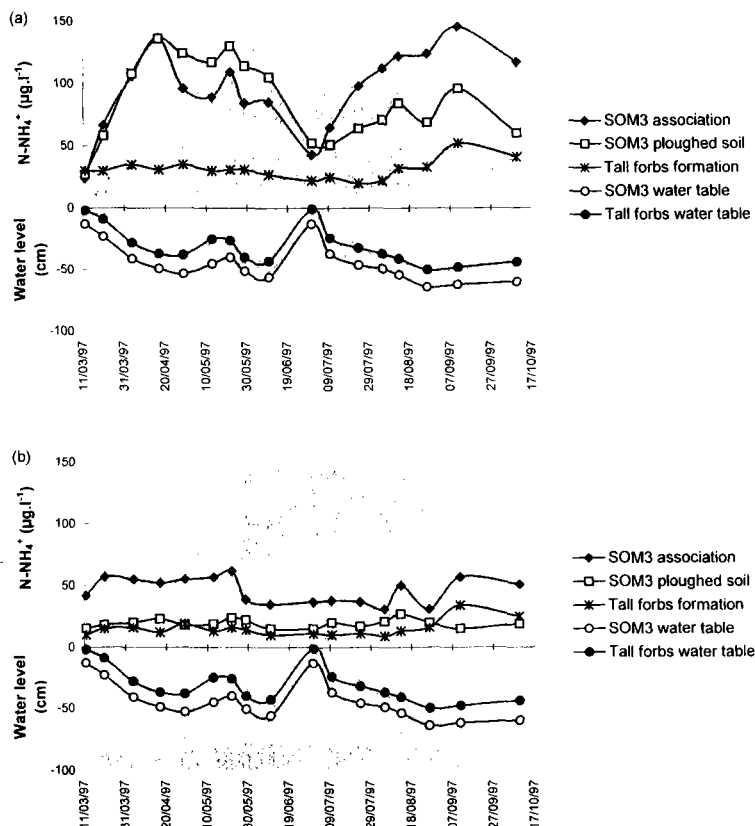


Figure 4. Mean (a) 1 m and (b) 3 m deep groundwater content of N-ammonia according to vegetation type, ploughing and water table level.

The highest 3 m deep nitrate content was found under SOM3 but the peak of nitrate found at 1 m in the ploughed plot did not appear. A great deal of organic matter disappeared under ploughed soils by nitrate leaching but an increase in nitrate concentrations could only be detected in groundwater in the vegetation root zone. This phenomenon resulted certainly from a higher dilution effect in the gravel level. From these results it could be seen that there was a stratification of groundwater nutrient content under SOM3 plots (ploughed or not) which was not found under the tall forbs meadow.

The 1 m deep groundwater mean N-ammonia level (Figure 4) under the three plots showed the lowest concentrations under the tall forbs meadow in comparison with the SOM3 and the ploughed plots. This difference of concentrations diminished in the 3-m deep groundwater with a high decrease of N-ammonia content under the SOM3 and the ploughed plots. The groundwater N-ammonia content in the root zone of the two meadows seemed to be affected by the level of N-mineralisation in the soil.

Comparison of the K content (Figure 5) of the 1- and 3-m deep groundwater between the three plots showed clear differences. The lowest concentrations emerged under the tall forbs formation and the highest under the SOM3 association.

The change of groundwater K levels under each plot during the growing season was almost similar, particularly at 3 m deep. The concentrations under the tall forbs meadow were relatively identical at 1 and 3 m deep. The stratification of groundwater nutrient content was also confirmed for K under the SOM3 plots, with the highest concentrations in the shallow groundwater (the same phenomenon was observed for groundwater N-ammonia concentrations).

No P was detected in groundwater during the growing season under the tall forbs meadow and the concentrations were very low under the SOM3 and the ploughed plots (about 15 µg/l).

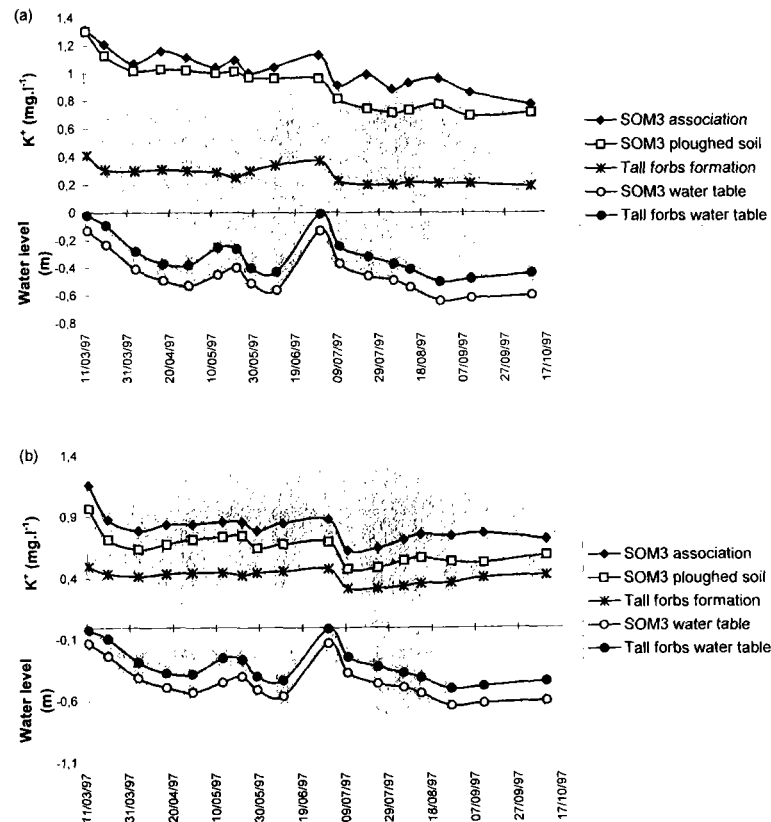


Figure 5. Mean (a) 1 m and (b) 3 m deep groundwater content of potassium according to vegetation type, ploughing and water table level.

Table 3. Mean ( $n=4$ ,  $\pm$ SE) grassland above and below-ground yields according to vegetation type. Sampling occurred at the flowering peak (06/06/97 for the SOM3 and 08/07/97 for the tall forbs formation)

	SOM3 association (t ha <sup>-1</sup> )	Tall forbs formation (t ha <sup>-1</sup> )	Difference (t ha <sup>-1</sup> )
Above-ground biomass	4.2 $\pm$ 0.3	4.6 $\pm$ 0.5	0.4
Root biomass	10.6 $\pm$ 0.8	13.4 $\pm$ 0.3	2.8

#### Changes in dry matter yields and tissue nutrient content

The dry matter yield of above ground biomass was not strongly affected by management (late cutting). The difference in dry matter yield during the 1997 growing season (Table 3) was not very high between the two meadows (+ 0.4 ton/ha for the tall forbs formation).

However, the underground dry matter yield was higher in the tall forbs formation in comparison with the homologous grassland type (+ 2.8 ton/ha). Root tissue nutrient content, particularly N, P and K, was affected by the meadow type (Table 4). Higher amounts of these nutrients were found in the roots of the tall forbs formation.

On the other hand, the highest amounts of N, P and K in the above ground biomass were found in the SOM3 association. The tissue Mg and Ca contents were always higher in the tall forbs formation (both for plants and roots).

These latter results were at variance with the findings concerning hydrochemistry for the two meadows, especially for nitrogen and potassium.

#### Discussion

These initial results demonstrated the efficiency of alluvial meadows ecosystems in purifying shallow groundwater nutrients. In comparison with the Meuse

surface water, the concentrations of N-nitrate, N-ammonia, ortho-phosphate and potassium in the groundwater table were lower.

The groundwater chemistry, with regard to the two factors nitrate and orthophosphate during the growing season, does not distinguish the different meadows very well because the concentrations were very low everywhere. It is the immediate absorption by vegetation and soil micro-organisms which is responsible for these low groundwater nutrient concentrations (Buttler, 1992).

On the other hand, nitrate leaching under ploughed soil was rapidly observed in shallow groundwater after important precipitation because nitrate is a very water-soluble ion. The high concentrations in shallow groundwater were submitted to a dilution effect in the deeper layer.

The groundwater hydrochemistry of both meadows seemed to show a different nutrient uptake (particularly N-ammonia and K) by vegetation according to the stage of development. The groundwater nutrient content was always higher in the SOM3 meadow in comparison with the tall forbs meadow. But these results did not coincide with the tissue nutrient content in above ground and underground biomass.

Root nutrient content analysis showed a higher storage capacity for the tall forbs species, but this increase resulted only from a higher yield of underground biomass. Only tissue concentrations of Mg were affected by the species itself and not by the vegetation biomass. This last observation could also be related to an increase in the activity of bivalent cations during the summer period (Duchaufour, 1997) which favours higher concentrations in the soil solution. On the contrary, the monovalent cations (K and  $\text{NH}_4$ ) increase in the soil solution during the wet periods and nutrient leaching occurs more intensively because it coincides with the drainage period. Potassium is mostly present in easy decomposable organic matter and is known as a mobile ion which can easily be leached. Moreover, the rise in groundwater which occurred early July affected the groundwater K level in each plot.

The comparison of the nutrient amounts in above ground vegetation between the two meadows revealed a higher K and N exportation in the SOM3. Potassium intervenes in many physiological functions and represents, with nitrogen, the nutrient most exported by cutting and removing the dry matter. But potassium concentrations also vary strongly with the species type, Readman (1993) showed that *Symphytum offi-*

*cinale*, which characterizes the SOM3 grassland type, is an excellent potassium source thanks to its tap root which comes down to the saturated soil zone. This observation can be closely related with the findings of Gerloff (1966) who proved that some species well provided for K extraction could enrich the whole plant community.

The tissue Mg content in above ground and underground biomass was higher in the tall forbs formation with *Filipendula ulmaria*. This species can accumulate magnesium thanks to its root system which is better at exploring the soil (Denudt, 1975).

At this stage of the study we can affirm that the nutrient uptake in the tall forbs meadow is not higher than in the SOM3 association, in spite of a higher underground biomass. On the other hand, the uptake of Mg is higher for the tall forbs species such as *Filipendula ulmaria*.

So, the lower nutrient concentrations in the shallow groundwater under the tall forbs formation can not be closely related to the vegetation, but a water table which is higher by about 15–20 cm in this meadow could explain these differences. In fact nitrogen mineralization rates can be expected to be strongly affected by different groundwater levels (Oomes, 1991). Under wet and anaerobic conditions in the topsoil, the decomposition and mineralization rate of the organic matter is reduced (Grootjans et al., 1985) and a greater part of the inorganic nitrogen is lost by denitrification (Berendse et al., 1994). The decrease in N availability in the tall forbs formation is indicated by the decrease in N concentrations in shallow groundwater and by the decrease of the aerial biomass–underground biomass ratio. Van Duren et al. (1997), in a comparative study between undrained and drained *Calthion* meadows (characterized by *Caltha palustris* and *Filipendula ulmaria*) supported the hypothesis that under undrained conditions N-availability to the vegetation is relatively low. This is thought to be caused by a reduced mineralization and increased denitrification.

Koerselman et al. (1993) concluded that nutrient ratios were suitable parameters to diagnose nutrient deficiencies of soils. According to Koerselman & Verhoeven (1995), an N:P ratio of less than 14 is supposed to indicate nitrogen deficiency while a ratio of more than 16 should point to phosphorus deficiency. The N:P ratios found in the two experimental sites (10 for SOM3 and 10.4 for tall forbs) clearly point to nitrogen rather than to P deficiency. On the other hand, Pegtel et al. (1996) calculated mean N:K ratios of 1.2 and K:P ratios of 8.6 as being threshold values. The



Table 4. Comparison of nutrient amounts (Kg ha<sup>-1</sup> (%)) in roots and above-ground vegetation between the two types of meadow. Sampling of the underground biomass occurred after the growing season (01/10/97)

		Total N	K	P	Na	Mg	Ca
SOM3 association	Above-ground vegetation	67.2 (1.6)	75.0 (1.79)	6.7 (0.16)	4.3 (0.10)	8.8 (0.21)	29.9 (0.72)
	Roots	96.7 (0.9)	51.0 (0.48)	14.2 (0.13)	35.5 (0.36)	25.7 (0.24)	182.2 (1.72)
	Total	163.9 (2.5)	126.0 (2.27)	20.9 (0.29)	39.8 (0.46)	34.5 (0.45)	212.1 (2.44)
Tall forbs formation	Above-ground vegetation	49.1 (1.1)	51.2 (1.12)	4.7 (0.10)	1.2 (0.03)	15.5 (0.34)	37.2 (0.82)
	Roots	97.3 (0.7)	70.2 (0.52)	15.2 (0.11)	21.2 (0.16)	48.8 (0.36)	224.2 (1.67)
	Total	146.4 (1.8)	121.4 (1.64)	19.9 (0.21)	22.4 (0.19)	64.3 (0.70)	261.4 (2.49)
Difference	Above-ground vegetation	-18.1 (-0.5)	-23.8 (-0.67)	-2.0 (-0.06)	-3.1 (-0.07)	+6.7 (+0.13)	+7.3 (+0.10)
	Roots	+0.6 (-0.2)	+19.2 (+0.04)	+1.0 (-0.02)	-14.3 (-0.20)	+23.1 (+0.12)	+42.0 (-0.05)
	Total	-17.5 (-0.7)	-4.6 (-0.63)	-1.0 (-0.08)	-17.4 (-0.27)	+29.8 (+0.25)	+49.3 (+0.05)

The sign - indicates gain for SOM3; the sign + indicates gain for tall forbs and nutrients values expressed in% are between brackets.

N:K and K:P ratios found in our study (0.89 – 11.1 for SOM3 and 0.95 – 10.9 for tall forbs, respectively) indicated that K not appeared to be a limiting factor for the above-ground phytomass.

Available P contents in soils were relatively high in the two sites. These results can be attributed to clay minerals which have the greatest capacity to physically and chemically bind organic P in soils (Tiessen et al., 1983). The relatively sharp decline in nutrient content in these wet fields might be due to P being fixed in the soil by the Ca-rich groundwater (Koerselman et al., 1993). The highest soil contents in organic carbon and available P were found in the wettest meadow (117.3 and 191 mg kg<sup>-1</sup>, respectively). These results can be attributed to a main factor: in the lower site, the organic matter decomposition rate would be more restricted due to waterlogging, favoring organic C and P accumulations (Rubio et al., 1995).

A high groundwater table also resulted in less K being available (Oomes et al., 1996) and the decrease in K availability is indicated by the decrease in the nutrient and dry matter yields (Oomes & Altena, 1994). These observations were confirmed by the low groundwater K concentrations and the decrease of K yield (-23.8 kg ha<sup>-1</sup>) in the tall forbs meadow.

## Conclusion

At the start of this research we expected to find that tall species were more adapted to nutrient uptake in shallow groundwater. But the first results showed us that

lower nutrient content in groundwater resulted from higher water table levels and not from vegetation.

It appears that the groundwater table level determines the vegetation composition but also the availability of nutrients. Humid conditions, which result from a high water table, and late cutting influence the vegetation by stimulating tall-species growth.

The process of shallow groundwater impoverishment causes a decline in nutrient yield. A high groundwater level caused the yield of N and K to fall markedly in above ground biomass and the yield of P to fall slightly. The decrease in nutrient content in the tall species is caused by a decrease in N mineralization, a stronger P fixation on soil colloids and a leaching of K in wet conditions.

However, data on nutrient content of the different species present in both meadows are necessary to ascertain the causes of this decline of shallow groundwater N, P and K concentrations. So, it would be interesting to compare the nutrient content in roots and plants of *Filipendula ulmaria* with samples taken in each meadow.

## Acknowledgements

This investigation was financially supported by the Agence de l'Eau Rhin Meuse. The authors would like to thank the Laboratoire d'Ecologie des Prairies of Michamps for the vegetation analysis, Roger Poinssaint for his technical assistance and Craig Powel for correcting the English.

## References

- Ackerer, P., R. Carbiener, D. Laigle, P. Muntzer, C. Schenck, M. Trémolières & L. Zilliox, 1990. Contamination des eaux souterraines par les nitrates dans la plaine d'Alsace. Incidences de l'agriculture. In R. Calvet (ed.), Nitrates-Agriculture-Eau. INRA, Paris-Grignon: 245-249.
- Afnor, 1986. Eaux, méthodes d'essai. Afnor ed., Paris.
- Barendregt, A., J.T. De Smidt & M.J. Wassen, 1986. The impact of groundwater flow on wetland communities. In Colloque Phytosociologique, XIII. Végétation et Géomorphologie. Baillet: 603-612.
- Berendse, F., M.J.M. Oomes, H.J. Altena & W. De Visser, 1994. A comparative study of nitrogen flows in two similar meadows affected by different groundwater levels. *J. appl. Ecol.* 31: 40-48.
- Buttler, A., 1992. Hydrochimie des nappes des prairies humides de la rive Sud du lac de Neuchâtel. *Bull. Ecol.* 23: 35-47.
- Carbiener, R., 1969. Le grand Ried d'Alsace, Ecologie d'un paysage. *Bull. Soc. Ind. de Mulhouse* 734: 15-44.
- Carbiener, R. & M. Trémolières, 1990. The Rhine rift valley groundwater-river interactions: evolution of their susceptibility to pollution. *Regul. Rivers Res. Mgmt* 5: 375-389.
- Carter, V., 1986. An Overview of the hydrologic concerns related to wetlands in the United States. *Can. J. Bot.* 64: 364-374.
- Chaneton, E.J., J.H. Lemcoff & R.S. Lavado, 1996. Nitrogen and phosphorus cycling in grazed and ungrazed plots in a temperate subhumid grassland in Argentina. *J. appl. Ecol.* 33: 291-302.
- Denny, P., 1993. Water Management Strategies for the Conservation of Wetlands. *J. IWEM* 7: 387-394.
- Denuit, G., 1975. Essai de caractérisation de la flore et de la végétation prairiale à l'aide des teneurs minérales. Thesis, Univ. Cat. de Louvain: 118 pp.
- Dorioz, J.M. & A. Fehri, 1994. Pollution diffuse et gestion du milieu agricole: transferts comparés de phosphore et d'azote dans un petit bassin versant agricole. *Wat. Res.* 28: 395-410.
- Duchauffour, P., 1997. Abrégé de pédologie, 5. Masson, Paris: 291 pp.
- Dutoit, T. & D. Allard, 1995. Mineral contents and plant diversity in chalk grassland under different management. A case study in Normandy, France. Vth International Rangeland Congress, Salt Lake City.
- Faber, M., 1994. Contribution à l'étude hydroclimatique de la Meuse de sa source à la station de Stenay. Mémoire de maîtrise, Nancy: 76 pp.
- Gaury, F., 1992. Systèmes de culture et teneurs en nitrates des eaux souterraines. Thesis, INRA, Département SAD, Mirecourt: 229 pp.
- Gerloff, G.C., D.G. Moore & J.L. Curtis, 1996. Selective absorption of mineral elements by native plants of Wisconsin. *Plant Soil* XXV: 393-405.
- Grévillet, F., 1996. Les écosystèmes prairiaux de la plaine alluviale de la Meuse lorraine: phytosociologie, dynamique et fonctionnement, en relation avec les gradients hydriques et les modifications des pratiques agricoles. Thesis, Univ. Metz: 217 pp.
- Grootjans, A.P., P.C. Schipper & H.J. Van der Windt, 1985. Influence of drainage on N-mineralization and vegetation response in wet meadows. In *Calthion Palustris* stands, *Acta oecol., oecol. Plant.* 6: 403-417.
- Harmand, D., 1992. Histoire de la vallée de la Meuse Lorraine. Presse universitaire de Nancy: 146 pp.
- Hunt, R.J., D.P. Krabbenhoft & M.P. Anderson, 1996. Groundwater inflow in wetlands systems. *Wat. Res.* 32: 495-507.
- Koerselman, W. & J.T.A. Verhoeven, 1995. Eutrophication of fen ecosystems; external and internal nutrient sources and restoration strategies. In Wheeler, B.D., S. Shaw, W. Fojt & R.A. Robertson (eds), Restoration of temperate wetlands. Wiley, Chichester: 91-112.
- Koerselman, W., M.B. Van Kerkhoven & J.T.A. Verhoeven, 1993. Release of inorganic N, P and K in peat soils: effect of temperature, water chemistry and water level. *Biogeochemistry* 20: 63-81.
- Kugler, J., 1988. Approche méthodologique pour la modélisation du transfert des nitrates vers la nappe phréatique d'Alsace: cas de la zone inondable du Ried central de l'III. Thesis, Strasbourg: 186 pp.
- Lambert, J., 1994. Modes opératoires, analyses des végétaux. Fac. des Sc. Agro. de Louvain, UCL: 49 pp.
- Lambinon, J., J.E. De Langhe, L. Delvosalle & J. Duvigneaud, 1992. Nouvelle flore de Belgique, du G.D. du Luxembourg, du Nord de la France et des régions voisines, 4. Patrimoine du Jardin Botanique Naturel de Belgique (ed): 1092 pp.
- Lavado, R.S., G. Rubio, G. Casasola & C.R. Alvarez, 1993. Effect of waterlogging and application of nitrogen and phosphorus fertilizer on the production of two species of an Argentine natural grassland. In N.J. Barrow (ed.), Plant Nutrition from Genetic Engineering to Field Practice. Kluwer, Dordrecht: 341-344.
- Leonardson, L., L. Bengtsson, T. Davidsson, T. Persson & U. Emanuelsson, 1994. Nitrogen retention in artificially flooded meadows. *Ambio* 23: 332-341.
- Magnanon, S., 1991. Contribution à l'étude des prairies naturelles inondables des marais de Donges et de l'estuaire de la Loire. Phyto-écologie, Phytosociologie, valeur agronomique. Thesis, Univ. de Nantes: 269 pp.
- McJanet, C.L., P.A. Keddy & F.R. Pick, 1995. Nitrogen and phosphorus tissue concentrations in 41 wetland plants: a comparison across habitats and functional groups. *Funct. Ecol.* 9: 231-238.
- Oomes, M.J.M., 1991. Effects of groundwater level and the removal of nutrients on the yield of non fertilized grassland. *Acta oecol.* 12: 461-469.
- Oomes, M.J.M. & H.J. Altena, 1994. Decrease in grassland production by management of vegetation and groundwater. In Manette, Lt and J. Frame (eds), Grassland and Society. Proceedings of the 15th General Meetings of the European Grassland Federation: 328-331.
- Oomes, M.J.M. & A. Van Der Werf, 1997. Restoration of species diversity in grasslands: the effect of grassland management and changes in ground water level. *Acta bot. Gal.* 143: 451-461.
- Pautou, G., 1975. Contribution à l'étude écologique de la plaine alluviale du Rhône entre Seyssel et Lyon. Thesis, Univ. de Médecine, Grenoble: 375 pp.
- Pegtel, D.M., J.P. Bakker, G.L. Verweij & L.F.M. Fresco, 1996. N, K and P deficiency in chronosequential cut summer-dry grasslands on gley podzol after cessation of fertilizer application. *Plant Soil* 178: 121-131.
- Pinay, G., 1986. Relation sol-nappe dans les bois riverains de la Garonne. Etude de la dénitrification. Thesis, Univ. Lyon I: 200 pp.
- Readman, J., 1993. Ces herbes qu'on dit mauvaises. Terre vivante (ed), Paris: 64 pp.
- Rubio, G., R.S. Lavado, A. Rendina, M. Bargiela, C. Porcelli & A.F. de Lorio, 1995. Wetlands 15: 386-391.
- Sánchez Pérez, J.M., 1992. Fonctionnement hydrochimique d'un écosystème forestier inondable de la plaine du Rhin. Thesis, CEREG, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg: 176 pp.
- Sánchez Pérez, J.M., M. Trémolières, A. Schnitzler & R. Carbiener, 1991. Evolution de la qualité physico-chimique des eaux

- de la frange superficielle de la nappe phréatique en fonction du cycle saisonnier et des stades de succession des forêts alluviales rhénanes (*Quercus-Ulmetum minoris*). Acta oecol. 12: 581-601.
- Thomas, D.L., C.F. Douglas, M.C. Smith, M.B. Parker & M.G. Stephenson, 1992. Controlled-drainage and nitrogen rate effects on nitrate-nitrogen losses. ASAE Paper No 92-2646. Am. Soc. Agric. Eng. St. Joseph, MI.
- Tiessen, H., J.W.B. Stewart & J.O. Moir, 1983. Changes in organic and inorganic phosphorus composition of two grassland soils and their particle size fractions during 60-90 years of cultivation. J. Soil Sci. 34: 815-823.
- Trémolières, M., D. Carbiener, R. Carbiener, I. Eglin, F. Robach, J.M. Sanchez Perez, A. Schnitzler & D. Weiss, 1991. Zones inondables, végétation et qualité de l'eau en milieu alluvial rhéan: l'île de Rhinau, un site de recherches intégrées. Bull. Ecol. 22: 317-336.
- Van Duren, I.C., D.M. Pegtel, B.A. Aerts & J.A. Inberg, 1997. Nutrient supply in undrained and drained *Calthion* meadows. J. Veg. Sci. 8: 829-838.
- Vertes, F., 1983. Contribution à l'étude phytosociologique et écologique des prairies et alpages de moyenne Tarentaise. Application à l'évaluation des potentialités fourragères de la vallée de Peusey-Nancroix. Thesis, INAPG: 163 pp.
- Willis, G.H., L.M. Southwick, J.L. Fouss, C.E. Carter & J.S. Rogers, 1997. Nitrate losses in runoff and subsurface drain effluent from controlled-water table plots. Bull. Envir. Contam. Toxicol. 58: 566-573.

# Comparative importance and interference of hydrological conditions and soil nutrient gradients in floristic biodiversity in flood meadows

F. GREVILLIOT, L. KREBS and S. MULLER

*Laboratoire de phytoécologie, Creum, Faculté des Sciences Ile du Saulcy, F-57045 Metz, France*

Received 8 December 1997; revised and accepted 13 March 1998

The floristic biodiversity in alluvial meadows is determined by hydrous fluctuations and agricultural practices. The hydrous variations influence the floristic composition through: the duration of floodings in the non-growing period which acts principally on vegetative multiplication of a few species; and the summer level of the groundwater table which influences the soil humidity conditions (saturation or drought) and selects species adapted to anaerobic or hydrous stress conditions. Fertilizer applications favour the growth of competitive species to the detriment of low or slow-growing species and lead to a loss of species richness. Meadows which are either fertilized or where the soil is usually waterlogged can be characterized by a high aerial biomass and a reduction of the biodiversity after the development of one of a few dominant species. This evolution has partly the same origin: the higher trophic or moisture level which promotes the same C-strategy species types. In order to protect or restore the extensive flood meadow biodiversity it appears absolutely essential to preserve their hydrological and soil nutrient balances.

*Keywords:* alluvial meadow; floristic biodiversity; fertilization; moisture; convergence; protection.

## Introduction

In flood plains the floristic composition of grassland communities is principally influenced by two factors: hydrous fluctuations and agricultural practices. The relationship between vegetation and water level fluctuations has been studied in many alluvial plains of France (Carbiener, 1969; Pautou, 1975; Magnanon, 1991) and other countries, such as Germany (Dierssen, 1989), the United States (Kovalchik and Chitwood., 1990; Tiner, 1993), UK (Denny, 1993), and The Netherlands (Barendregt *et al.*, 1986). Flood-plain vegetation is structured according to the hydric gradient which is essentially determined by the topographic fluctuations of the high water bed (Duvigneaud, 1986; Frileux *et al.*, 1989). The hydrous variations are the result of two factors (Carbiener, 1969; Pautou, 1975; Everts *et al.*, 1989): the duration of winter floodings due to a flood or a rise in groundwater; and the level of the groundwater table in the vegetative period.

Agricultural practices have long influenced the vegetation dynamic but have only been studied during the second half of the 20th century when agriculture became more intensive. These meadows, which are flooded for long periods and are consequently very difficult to manage, have recently been subjected to intensive practices. This intensification may be seen in: the more frequent use of fertilizers; earlier and more frequent cutting

dates; drainage; growing of crops in dry areas; and the development of intensive pastures. Birds (*Crex crex* and *Numenius arquata*) and floral richness (*Gratiola officinalis*, *Inula britannica*, *Fritillaria meleagris*, *Teucrium scordium*) are now endangered. This is why many French and European flood plains are now under environment protection regimes.

Numerous studies (Elberse *et al.*, 1983; Delpech, 1989; Gibson *et al.*, 1993; Berendse *et al.*, 1994; Bullock *et al.*, 1995) conducted on different grassland ecosystems show the impact of eutrophication on vegetation. Fertilization leads to a loss of species richness through the development of eutrophic, competitive, fast-growing species (Toussaint and Lambert, 1992; Mountford *et al.*, 1996) at the expense of meso-oligotrophic, low, slow-growing species (Olf, 1992; Willems *et al.*, 1993). However, these studies were conducted in very intensely managed meadows (up to 400 kgN per ha per year in the Netherlands), with few undertaken in wetlands (Broyer and Prudhomme, 1995; McJannet *et al.*, 1995).

The respective importance of the hydric and trophic factors and their inter-relations with the floristic composition were only seldom studied. In fact, the studies conducted mainly concern the biomass produced at various trophic or moisture levels (Neill, 1993; Berendse *et al.*, 1994; Oomes and Kemmers, 1994; Piper, 1994; Von Oorshot, 1996) and extensively deal with the biodiversity. The work done in the flooded meadows of the Meuse states more precisely the respective roles of the hydric level and fertilization on botanical composition in the aim to study the comparative importance and interference between the frequently flooded and the fertilized meadows. These appear clearly through their specific richness and some species strategy types.

## Presentation of the study area

### *Geographic context*

The river Meuse rises in the Plateau de Langres and flows into the North Sea 900 km downstream. This basin, like the whole of the Lorraine, is subject to an oceanic climate with a continental influence (Harmand, 1992). Precipitation is abundant and regular throughout the year with a mean annual rainfall value of 904 mm (in the 1969/1990 period). The mean annual air temperature is 9.1°C and the temperature range between the coldest and the warmest month is 16.3°C (Faber, 1994). But these means of rainfall and temperature conceal striking interannual and seasonal differences. The quantity of precipitated water can exceed 1000 mm in wet years (1981, 1983, 1995), and can be less than 600 mm during dry years (1971, 1976).

The flow-rate of the Meuse at the Stenay station is  $46.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (watershed area: 3904 km<sup>2</sup>) and varies greatly according to the season. We can distinguish two main hydrological periods: a low-water period during the summer months when the flow-rate is barely supported by the hydrogeological contribution of the substratum, and a high-water period from December to March. During this high-water period an average of 63 days of significant flooding (flow-rate exceeding  $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) has been calculated.

### *Mouzay flood plain*

The study was conducted on the Mouzay flood plain located 40 km downstream of the town of Verdun just beyond the Ardennes (Fig. 1a).

In this sector the river Meuse follows a meandering course with many abandoned meanders. The valley floor, 3 km wide and flat, consists of 18 m thick quaternary

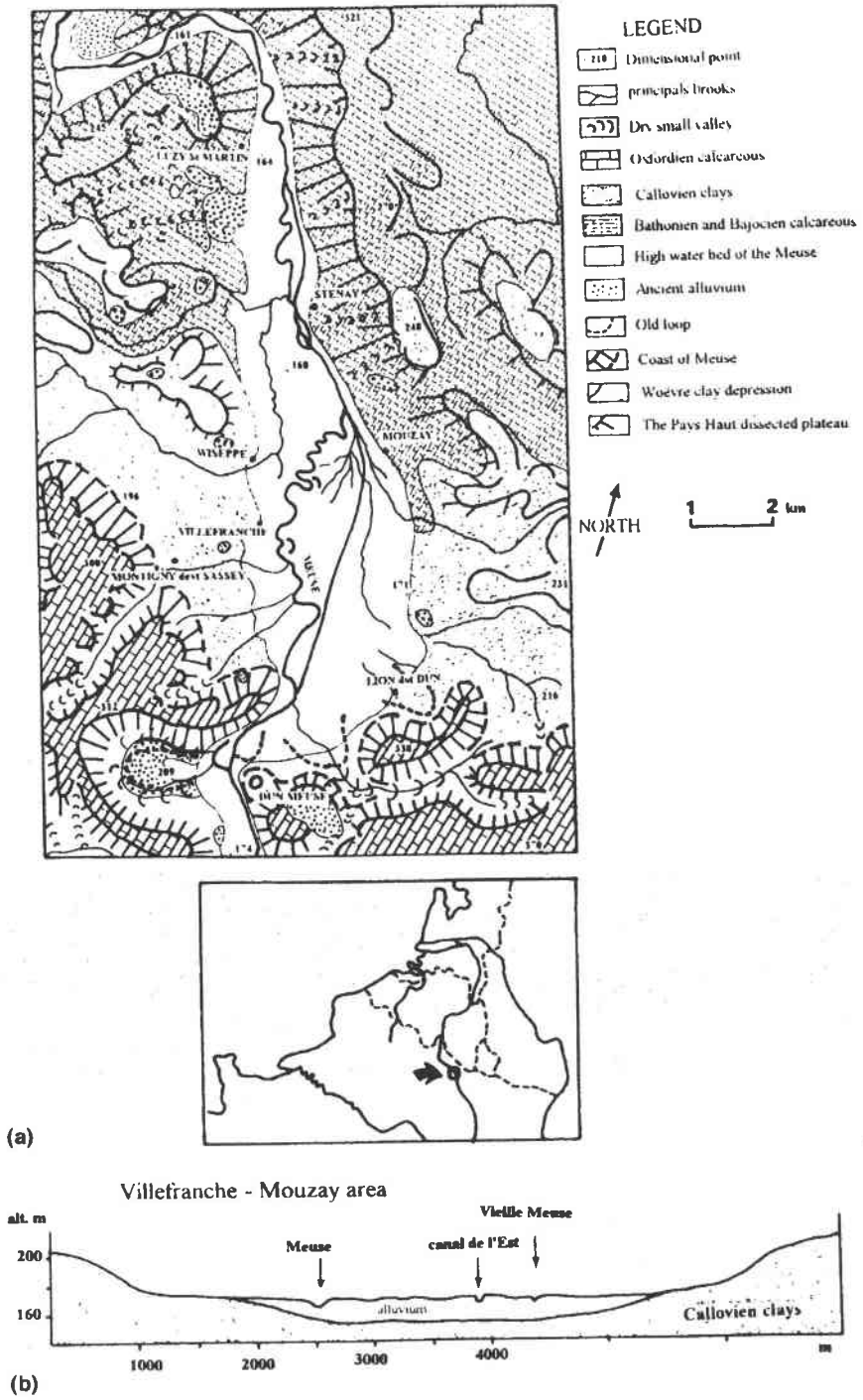


Figure 1. (a) The Meuse valley in the stenay area: geomorphologic sketch. (b) Transverse section of the Meuse flood plain.

calcareous gravel alluvium covered by about 60 cm of silt. It contains a circulating water table contained by impervious Calloviens clays (Fig. 1b). This sector is frequently flooded in winter and spring.

The traditional management of grasslands is either to be cut twice for hay or to be cut and grazed in aftermath. The cutting dates usually occurred late in mid, end June or July. Nowadays the more frequent use of fertilizers allows to cut the meadows three or four times and to begin the hay earlier in May. The continued grazing constitutes a recent phenomenon localized close to the villages.

#### *The plant communities*

A phytosociological study (Gréville, 1996) allowed us to distinguish three successive associations along the hydric gradient (Table 1).

*Colchico-Festucetum pratensis* (CFP) is situated in the higher areas of the valley. It is a grassland community which has been described in many alluvial plains of north-eastern France (Gréville and Muller, 1995b). It harbours mesoxerophilic (*Sanguisorba minor*, *Bromus erectus*, *Salvia pratensis*, *Primula veris*, *Veronica teucrium*, *Ranunculus bulbosus*) and more mesophilic or mesohygrophilic (*Ranunculus repens*, *Elymus repens*, *Senecio aquaticus*, *Filipendula ulmaria*) species. Three sub-associations have been distinguished, mesoxerophilic (CFP1), mesophilic (CFP2), and mesohygrophilic (CFP3), the latter in topographical contact with the next community.

*Senecioni-Oenanthetum mediae* (SOM) develops over large areas at an intermediate topographical level (Bournérias *et al.*, 1978; Gréville *et al.*, 1998). Like the previous grassland type, it is a meadow community dominated by grasses, but it is the mesohygrophilic and mesophilic species (*Centaurea jacea*, *Holcus lanatus*, *Senecio aquaticus*, *Galium verum*, *Arrhenatherum elatius*, *Galium palustre*, *Achillea ptarmica*) which particularly characterize this intermediate grassland type. Three sub-units have been distinguished, SOM1 (in contact with CFP), SOM2 and SOM3 in the lower areas.

*Gratiolo-Oenanthetum fistulosae* (GOF) is a grassland type found in the lower areas of the valley. Three sub-units have been distinguished, but only one is a true meadow grassland type, GOF1, described by other authors in the flood-plains of the Loire (De Foucault, 1984) and of the Saône (Trivaudey, 1995). This sub-association is characterized by the continued presence of some mesophilic and mesohygrophilic meadow species (the same as the SOM community), mixed with many helophytic ones (*Glyceria maxima*, *Equisetum fluviatile*, *Iris pseudacorus*, *Rumex hydrolapathum*). The two other sub-units, GOF2 and GOF3, are transitions with sedge-dominated and sub-aquatic communities, respectively (the number of meadow species is decreasing and helophytes are becoming dominant).

#### **Methodology**

##### *Study of the relations between vegetation and hydric functioning*

Hydric functioning was measured, at least every 15 days, in two ways: the level and duration of floods were monitored during the 1992/93, 1993/94 and 1994/95 winters at 18 test stations, with different plant communities (CFP, SOM and GOF); and a network of 25 piezometers was set up in the study area in April 1994. The piezometers were installed with regard to the vegetation types and a groundwater table depth not exceeding 80 cm during spring (April

Table 1. Typological synthesis of the Meuse flood meadows

Communities	CFP			SOM			GOF		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Number of relevés	14	26	12	17	10	20	25	19	12
Mean number of species/relevé	33	28	33	33	30	32	25	16	18
Ecological group (1) mesoxerophilic species of the CFP									
<i>Anthriscus sylvestris</i>	III								
<i>Salvia pratensis</i>	III								
<i>Veronica teucrium</i>	II								
<i>Vicia sativa</i>	II								
<i>Campanula rotundifolia</i>	II								
<i>Onobrychis viciifolia</i>	II								
<i>Koeleria pyramidata</i>	II	I							
<i>Galium mollugo</i>	II	I							
<i>Medicago lupulina</i>	II	I							
<i>Trisetum flavescens</i>	III	II							
<i>Achillea millefolium</i>	II	I							
<i>Knautia arvensis</i>	V	I							
<i>Bromus erectus</i>	V	III	I						
<i>Ranunculus bulbosus</i>	IV	II	I						
<i>Sanguisorba minor</i>	V	IV	II						
<i>Pimpinella saxifraga</i>	IV	III	I						
<i>Senecio jacobaea</i>	IV	II	II						
<i>Heracleum sphondylium</i>	IV	II	I						
<i>Primula veris</i>	III	III	II						
<i>Tragopogon pratensis</i>	II	I	III						
Ecological group (2) mesophilic species from SOM and CFP									
<i>Avenula pubescens</i>	V	IV	II	I					
<i>Dactylis glomerata</i>	V	V	IV	III					
<i>Leucanthemum vulgare</i>	III	III	IV	IV					
<i>Colchicum autumnale</i>	IV	IV	V	IV					
<i>Peucedanum carvifolia</i>	V	V	IV	III	I				
<i>Arrhenatherum elatius</i>	V	IV	V	V	II	I			
<i>Cerastium fontanum</i>	V	IV	IV	III	III	II			
<i>Crepis biennis</i>	II	V	V	V	III	III			
<i>Leontodon hispidus</i>	III	II	IV	II	I	I			
<i>Phleum pratense</i>	II	III	IV	V	V	III			
<i>Holcus lanatus</i>	II	II	III	II	III	IV			
<i>Festuca rubra</i>	IV	IV	V	IV	II	II			
<i>Ranunculus acris</i>	IV	IV	V	V	III	III			
<i>Galium verum</i>	IV	IV	V	V	IV	I			
<i>Rumex acetosa</i>	III	IV	V	V	IV	III			
Ecological group (5) mixed species from CFP, SOM, GOF with large repartition									
<i>Alopecurus pratensis</i>	II	III	IV	V	V	IV	III		
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	III	III	II	I	II	III	I		
<i>Lolium perenne</i>	III	III	III	III	III	I	I		
<i>Lathyrus pratensis</i>	III	III	IV	V	V	V	III		
<i>Lotus corniculatus</i>	V	V	IV	V	IV	III	II		
<i>Festuca pratensis</i>	III	III	IV	IV	III	IV	II		



Table 1. (Continued)

Communities	CFP			SOM			GOF		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>Centaurea jacea</i>	V	IV	V	V	V	IV	IV	I	
<i>Poa pratensis</i>	V	IV	IV	V	III	III	I	I	
<i>Leontodon autumnalis</i>	I	I	I	II	III	II	II	I	
<i>Rumex crispus</i>	I	I	III	IV	V	IV	V	IV	
<i>Plantago lanceolata</i>	IV	V	V	V	IV	IV	III		I
<i>Senecio aquaticus</i>		I	II	II	I	IV	IV	II	I
<i>Potentilla reptans</i>	II	II	III	III	III	II	III	I	I
<i>Trifolium pratense</i>	IV	V	V	V	IV	IV	II		I
<i>Elymus repens</i>		I	III	IV	IV	IV	IV	I	
<i>Trifolium repens</i>	III	II	I	III	IV	V	IV	II	II
<i>Taraxacum officinale</i>	IV	V	IV	V	V	V	V	II	I
<i>Vicia cracca</i>	I	II	III	V	IV	IV	IV	I	I
<i>Filipendula ulmaria</i>	I	II	V	V	V	V	IV	II	II
<i>Ranunculus repens</i>	III	II	I	V	V	V	V	V	IV
<i>Agrostis stolonifera</i>		I	III	IV	IV	IV	III	II	I
<i>Poa trivialis</i>		I	IV	V	V	V	V	III	I
<i>Lychnis flos-cuculi</i>		I	III	III	IV	V	IV	I	I
<i>Symphytum officinale</i>			IV	IV	IV	IV	II	I	I
<i>Cardamine pratensis</i>			I	II	III	III	III	II	I
Ecological group (3) hygrophilic species from SOM and GOF									
<i>Thalictrum flavum</i>				I	II	II	II	I	I
<i>Phalaris arundinacea</i>				I	II	III	IV	V	IV
<i>Achillea ptarmica</i>				II	III	IV	III	I	
<i>Galium palustre</i>				I	III	IV	IV	IV	III
<i>Caltha palustris</i>					I	II	II	II	I
<i>Eleocharis palustris</i>					I	I	III	II	II
<i>Stellaria palustris</i>					I	II	I	I	I
<i>Carex disticha</i>					I	II	IV	III	III
<i>Oenanthe fistulosa</i>						I	V	IV	V
<i>Mentha aquatica</i>						I	III	IV	III
<i>Myosotis scorpioides</i>						IV	III	IV	IV
<i>Iris pseudacorus</i>						II	II	III	III
<i>Carex vulpina s.l.</i>						I	II	II	II
<i>Carex acuta</i>						I	I	II	IV
Ecological group (4) helophytes of the GOF									
<i>Glyceria maxima</i>							I	IV	V
<i>Equisetum fluviatile</i>							I	II	V
<i>Glyceria fluitans</i>							I	I	II
<i>Rumex hydrolapathum</i>							I	I	III
<i>Alisma plantago aquatica</i>								II	II
<i>Rorippa amphibia</i>								III	IV
<i>Stachys palustris</i>								I	III
<i>Oenanthe aquatica</i>									III
<i>Sium latifolium</i>									I

Plants are presented in frequency classes with: I, 0–20%; II, 20–40%; III, 40–60%; IV, 60–80%; V, 80–100%.

1994). Since the water-table level is lower than 80 cm from spring the *CFP* stations were avoided. As the *GOF3* is a scarce community, its monitoring was also omitted. So, in this study, only the *SOM1*, *SOM2*, *SOM3*, *GOF1* and *GOF2* communities were monitored.

#### *Synchronic study of fertilization impact on the composition of grassland communities*

Thirty-eight phytosociological relevés were taken in fertilized *CFP3*, *SOM* and *GOF1* communities, on patches where fertilization levels were known (from 30 to 160 kg of nitrogen per ha per year). These meadows are subject to three or four mowings (from May to September) whereas the extensive ones have only one or two cuts. One cut can be suppressed and replaced by supplementary grazing in September–October.

The relevés realized in fertilized meadows were added to 120 non-fertilized relevés set up in the same communities and submitted to a joint Factorial Correspondence Analysis (FCA), which allowed the production of comparative phytosociological tables. Nomenclature is following Lambinon *et al.* (1992).

## Results

### *Hierarchization of the factors influencing the floristic composition of the mown meadows*

The FCA (Fig. 2) shows the preponderant distribution of the phytosociological relevés along axis 1 which expresses the hydric gradient (Gréville and Muller, 1997). The distribution of the relevés is determined by the floristic composition. The *CFP* relevés are characterized by some meso-xerophilic species (*Briza media*, *Primula veris*) on the right of the first axis whereas hygrophilic and helophytic species (*Caltha palustris*, *Equisetum fluviatile*) determined the position of the *GOF* relevés on the left. The relevés are also distributed along axis 2 which separates fertilized and non-fertilized relevés in each community. The floristic background is thus principally influenced by the hydric fluctuations, the trophic level intervenes only secondarily to modify it. Clément and Maltby (1997) insist on the preponderant impact of the hydromorphic constraints (water-table and floodings) on flood meadow floristic composition.

### *Relationship between duration of flooding and plant communities*

The plant communities follow each other along a gradient which is determined by different durations of flooding (Fig. 3a). The *CFP* is seldom flooded and only for short periods. Even during the exceptional floods of January and February 1995 its drier sub-association (*CFP1*) was flooded for only 15 days, with a maximum height of 10 cm of water. The *GOF* is regularly submerged for more than 4 months in the year and its *GOF3* sub-association is frequently flooded in summer, after a heavy rain storm, by a rise in the groundwater.

### *Relationship between alluvial water table and vegetation*

The plant communities follow one another along a gradient that corresponds to the depth of the alluvial groundwater table (Fig. 3b). In summer 1994 the groundwater table under *CFP* was always located at least under 1 m from the soil surface. The higher groundwater table depth shows best the difference between the *SOM* and the *GOF* communities. For example, during the study the groundwater table rose to only a few centimetres under the soil surface for *GOF* compared with 20 cm for *SOM*. The sub-associations differ according

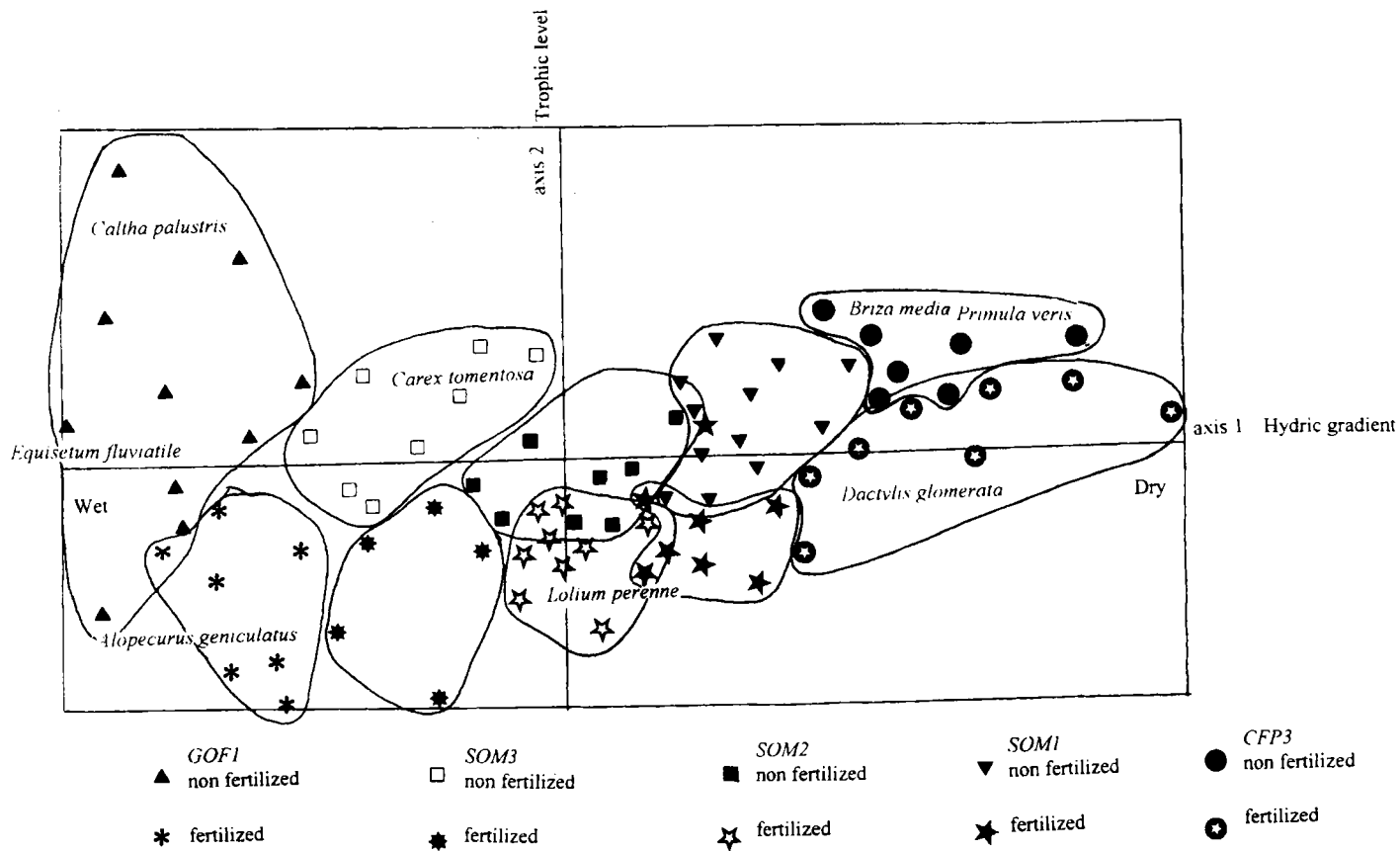


Figure 2. FCA of the fertilized and non-fertilized meadows of the Meuse flood plain.

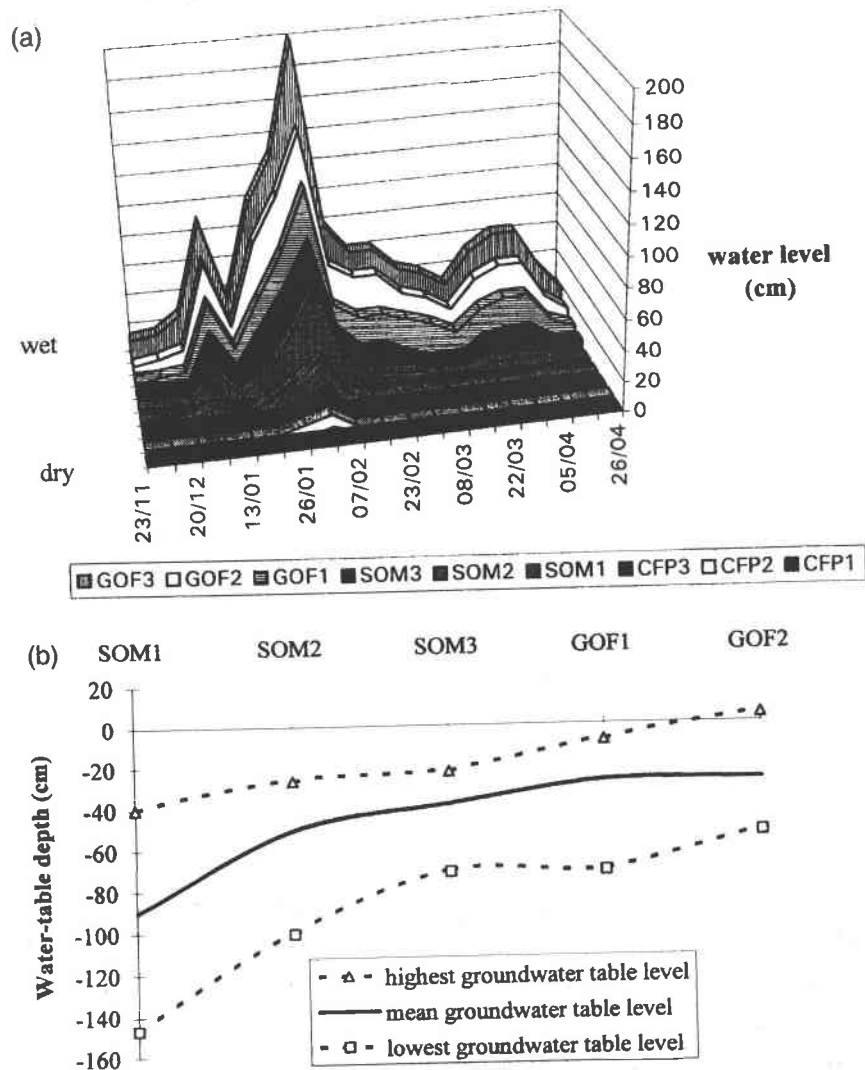


Figure 3. Succession of the vegetation communities (a) along the mean duration and level during the 1994/95 winter and (b) along the mean groundwater table levels (from 4 May 1994 to 22 December 1994).

to the maximum respective depth of the water table (more than 1 m for *SOM2* compared with about 70 cm for *SOM3*).

*Interaction between the two hydrological factors (flooding and alluvial water table) and the floristic composition of communities*

Table 1 shows different defined species groups (1, 2, 3, 4 and 5) corresponding to plant functional types (Kelly, 1996; Shao *et al.*, 1996) in relation to the hydrological conditions (water-table depth and flooding) which influence soil moisture. Some of the species are

more or less tolerant of floods, others to soil water saturation. Their responses depend on the physiological characteristics of the plant (Tiner, 1993).

The floods represent a first very selective factor towards vegetation which is adapted to more or less lengthy submersion periods (Tiner, 1991). This factor occurs usually only in winter during the vegetation rest period, so it mainly influences the floristic composition of flooded associations compared to non-flooded ones. It is the extreme community (*GOF*) which is certainly the most influenced by floods, but the impact of flooding on flora is not easily distinguishable from that of the groundwater table. Thus, the *CFP* is very seldom flooded and the *GOF* frequently and long. It is certainly the near-absence of groundwater table rather than the scarcity of floods which favours the development of numerous meso-xerophilic or xerophilic species (*Salvia pratensis*, *Veronica teucrium*, *Bromus erectus*, *Sanguisorba minor*) on *CFP* (Table 1). In fact, these species are usually found in ecosystems which are neither influenced by the water table nor flooded, such as calcareous grasslands.

The fluctuations of the water table level have a more subtle impact on flora. This factor singles out species over all the vegetative period (from spring to autumn) according to their adaptation to hydric or anoxic stresses. In fact, the varying tolerance of vegetation to asphyxia, of greater or lesser duration, of its root system has a very restrictive effect on vegetation (Pautou, 1975; Armstrong, 1979). Thus, some of the characteristic helophytic *GOF* species which are absent from *SOM*, such as *Glyceria maxima* and *G. fluitans*, *Equisetum fluviatile*, *Rumex hydrolapathum* (ecological group 4) are adapted to varying anaerobic periods. On the other hand, *Crepis biennis*, *Galium verum*, *Festuca rubra* and *Ranunculus acris* (group 3) are missing from the floristic *GOF* cortège because of over-long soil saturation in water. In the often flooded areas (*GOF*2/3) where the soil is waterlogged during spring and part of summer, because of very strict conditions, the average number of species drops from 30 (mean value for the *CFP*, *SOM* and *GOF*1) to 17 (for *GOF*2/3).

The lower water table level can also influence the presence or absence of species which are tolerant of varying periods of drought. Denny (1993) pointed out that a few days stress can lead to the disappearances of some species. For example, the characteristic species from *SOM* and *GOF* (*Galium palustre*, *Phalaris arundinacea*, *Achillea ptarmica*) cannot survive when the groundwater table is too deep (water table below 1 m in early spring) to meet their needs.

#### *Impact of fertilization on meadow floristic composition*

The FCA (Fig. 2) conducted on fertilized and non-fertilized samples made it possible to differentiate by the floristic feature the meadows receiving fertilizer along axis 2.

Fertilization influenced the plant species in four ways: appearance; disappearance; variation of the frequency of appearance in the total number of relevés (within classes, I to V); and variation in cover (on the abundance scale from + to 5).

First, the impact of fertilizer applications on vegetation is given in detail, as an example, only for one vegetation type (*SOM*2). This community is present on large areas at a mean level of the flood plain, its floristic cortège is thus influenced by mean hydrological conditions. This comparison allows us to show the modification of some species abundance following fertilizer applications. Second, the results are presented in a table showing all the plant communities. The species are recorded with a coefficient reflecting their appearance frequencies in all the plant samples, thus their abundances in the canopy are disregarded.

*Impact of fertilizations on the floristic SOM2 cortège.* The phytosociological samples of the fertilized SOM2 meadows were compared with one part (chosen at random) of the extensive SOM2 meadows. Table 2 shows the floristic differences between fertilized SOM2 and its non-fertilized counterpart. No new species appears in the fertilized SOM2 compared to the non-fertilized one, but some of them show: an increase in frequency, e.g. *Lolium perenne*, *Festuca pratensis*, *Cirsium arvense*; an increase in cover, e.g. *Alopecurus pratensis*, *Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Festuca pratensis*.

The mean number of species falls from 31 to 19 in fertilized meadows compared with non-fertilized ones. Two fertilization levels could be distinguished according to the reduced number of species: level (A) where only a few species had disappeared (*Bromus racemosus*, *Phalaris arundinacea*, *Achillea ptarmica*, *Galium verum*) compared with the slowly decreasing ones such as *Vicia cracca*, *Symphytum officinalis*, *Galium verum*. These patches were treated with quite different fertilization levels (from 30 to 100 kg nitrogen per ha per year) whose identical impact on the floristic cortège may be due to (1) the irregularity of fertilization (1 year from time to time), (2) its recent application (rel. 13 and 14), or (3) the possible underestimation of the amounts of fertilizer used by the farmer (rel. 10); an intensively managed level (B) where many mesotrophic species have disappeared, such as *Trifolium pratense*, *Lychnis flos-cuculi*, *Lathyrus pratensis*, *Phleum pratense*, *Crepis biennis*. On these patches, nitrogen applications are at least 120 kg ha<sup>-1</sup> and cutting occurs three or four times. This fertilization level has a very strong impact on the vegetation indeed; 12 species are missing in these grasslands.

*Impact of fertilization on individual species.* In order to distinguish interferences between the hydric and fertilization factors on the vegetation composition, the fertilized meadow samples are compared with their non-fertilized counterparts (Table 3). Only four species (*Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Festuca pratensis*, *Rumex crispus*) are more frequent in the fertilized meadows. These are eutrophic species which capture nutrients efficiently. The mean number of species per relevé falls in all the studied fertilized communities (Fig. 4). This decrease indicates a strong loss of specific richness which is shown in all the communities through the disappearance or regression of numerous species such as: some low and/or meso-oligotrophic species like *Galium verum*, *Achillea ptarmica*, *Myosotis scorpioides*, *Crepis biennis*, *Galium palustre*, *Lychnis flos-cuculi*, *Potentilla reptans*; legumes (*Lotus corniculatus*, *Trifolium pratense*, *Vicia cracca*, *Lathyrus pratensis*); remnants of tall forbs formations or social species (*Filipendula ulmaria*, *Symphytum officinale*, *Thalictrum flavum*, *Arrhenatherum elatius*) disadvantaged by the higher cut frequencies which accompany the fertilizer applications. Numerous species (*Anthoxanthum odoratum*, *Trifolium repens*, *Taraxacum officinale*, *Holcus lanatus*, *Silaum silaus*) show different behaviour from one fertilized community to another.

## Discussion

### *Role of the hydric factor in the floral composition*

Alluvial plain species are subjected to the influence of both floods and the water-table level (Van Diggelen *et al.*, 1991; Prach, 1992; Auble *et al.*, 1994). These two hydric factors strongly influence the floristic richness and diversity of these flood plains (Van der Valk and Davis, 1981; Boutin and Keddy, 1993). It is the tolerance or the sensitivity of one or more species towards these two factors which determines the floristic composition of the

**Table 2.** Comparison of the floristic cortège of the fertilized and non-fertilized SOM2

	Non-fertilized SOM2									Fertilized SOM2									
										A			B						
Nitrogen levels (kg per ha per year)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	60	75	100	100	120	120	120		
										1	1	1	1	1	1	1	1		
Number of relevés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7		
Number of species	29	26	30	40	24	26	37	28	28	31	17	19	22	25	24	18	18	14	19
Favoured species by fertilizations																			
<i>Lolium perenne</i>		2		+	1		2	+		III	1	1		1	1	3		2	IV
<i>Festuca pratensis</i>	1		+	1	3		1			III	+	2	3	3	2		2		IV
<i>Cirsium arvense</i>	+	+								II	1				1	+	+		III
Decreasing or disappearing species with fertilizations																			
<i>Bromus racemosus</i>		1		1	+	+	+	+		IV									
<i>Achillea ptarmica</i>				2	1	+	+	+	+	IV									
<i>Galium palustre</i>			2	+			+	+	+	III									
<i>Phalaris arundinacea</i>	+			+		+			2	III									
<i>Senecio aquatica</i>				+			+	+		II									
<i>Anthoxanthum odoratum</i>					2		2			II									
<i>Carex hirta</i>		+	+	+						II									
<i>Lathyrus pratensis</i>	+	+	2	2	+	2	+	3	1	V			1			+			II
<i>Filipendula ulmaria</i>	3	2	2	3	1	2	+	+	2	V	1		3	1	+				III
<i>Phleum pratense</i>	1	+	1	2	1	+	1	1	+	V		+	1	1	1				III
<i>Plantago lanceolata</i>	2	2		1	1		2	2		IV		+	+						II
<i>Trifolium pratense</i>	+			2	2	+	3	1		IV			1	+					II
<i>Lychnis flos-cuculi</i>	+			1	1	+	1	+	1	IV	+	+		+	+				III
<i>Crepis biennis</i>		+	2	+		+	+	+	+	IV	+	1	+			+			III
<i>Leontodon autumnalis</i>				+	1		+			III		1							I
<i>Arrhenatherum elatius</i>		+	2	+		+				III				2					I
<i>Holcus lanatus</i>			3		2	2	+		1	III			4	+					II
<i>Thalictrum flavum</i>		+		+		+		2	+	III	+			+					II
<i>Oenanthe silaifolia</i>		+			+		1			II		+							I
<i>Poa trivialis</i>	1	2	1	1	1		1	2	1	V	3		+	3	2		2		IV

<i>Symphytum officinale</i>	+	+	+	1	1	1		+	2	V	2				1		1	+	III
<i>Agrostis stolonifera</i>	+	+	1	3	2	2	2	1	2	V			4	2			2		II
<i>Centaurea jacea</i>	+	1		1	1	+	1	2	+	V		+		1	1	1	+	IV	
<i>Galium verum</i>	1	+	1	+	+		+	1		IV				+	+		2	III	
<i>Festuca arundinacea</i>			1	1	1	1			1	IV	1					1		II	
<i>Lotus corniculatus</i>	2		+	2	2	+	1	2		IV							1	I	
<i>Glechoma hederaceum</i>	2	+	2					+		III		+	1			+		II	
<i>Rumex acetosa</i>			+	+	1	+	+			III		1	1				+	II	
Increased abundance with fertilizations																			
<i>Alopecurus pratensis</i>	1	2	1	1	1	1	1	2	2	V	1	1	3	3	3	2	4	2	V
<i>Poa pratensis</i>	2		1			1	1	1	+	IV		+			2	2	2	2	IV
Decreased abundance with fertilizations																			
<i>Elymus repens</i>	2	2	1	1	1	2	+		3	V	+		1	1	2	2	1	1	V
<i>Vicia cracca</i>	+	+	2	1	+	2			2	IV			+	+	+	+	+		IV
<i>Silaum silaus</i>			+	1	1		2	1		III		+		+	+	+	+		III
<i>Cerastium fontanum</i>			+	1	1		1		+	III	+			+	+			+	III
Indifferent species																			
<i>Festuca rubra</i>	1		+							II			1	1		1		+	III
<i>Cardamine pratensis</i>				+			+	1		II								+	I
<i>Ranunculus acris</i>	+	1	+		+		+			III			3	+	+				III
<i>Ranunculus repens</i>	1	3	2	2	2	2	2	2	3	V	3		1	1	1	3		+	IV
<i>Rumex crispus</i>	+	2	1	+	1	1	2	1	1	V	2	1	+	+	+	1	+	+	V
<i>Taraxacum officinale</i>	+	+	+	+	+		1	1		IV		1		+	1	2	1	2	IV
<i>Trifolium repens</i>	1			2	+	+	+	+		III		2				2		+	III
<i>Hordeum secalinum</i>	+			+	+	+	+	+		IV			2	3			1		III
<i>Potentilla reptans</i>	1		+				+	2		III		+		+	1	+			III
<i>Potentilla anserina</i>									+	I									
<i>Colchicum autumnale</i>			+							I									
<i>Convolvulus arvensis</i>											2				2				II
<i>Galium aparine</i>			+						+	II									
<i>Lysimachia nummularia</i>													+	+					II
<i>Polygonum amphibium</i>		2	+	+						II						+	+		II
Other species	1	1	0	2	1	0	1	1	2		2	0	1	0	1	2	0	0	



**Table 3.** Comparison of the floristic composition for the fertilized and unfertilized meadows

	<i>CFP3</i>	<i>CF3</i>	<i>SMO1</i>	<i>SOM1</i>	<i>SOM2</i>	<i>SOM2</i>	<i>SOM3</i>	<i>SOM3</i>	<i>GOF1</i>	<i>GOF1</i>
	unfertilized	fertilized	unfertilized	fertilized	unfertilized	fertilized	unfertilized	fertilized	unfertilized	fertilized
Number of relevés	12	9	17	10	10	8	20	4	25	7
Mean number of species/relevé	33	23	33	25	30	19	32	21	25	23
More frequent species in the fertilized meadows										
<i>Lolium perenne</i>	III	IV	III	V	III	IV	I	III	I	II
<i>Poa pratensis</i>	IV	V	V	V	III	IV	III	III	I	I
<i>Festuca pratensis</i>	V	IV	IV	IV	III	IV	IV	IV	II	III
<i>Rumex crispus</i>	III	IV	IV	V	V	V	IV	V	V	V
Decreasing species with fertilizations										
Meso-oligotrophic or little species										
<i>Senecio jacobaea</i>	II									
<i>Primula veris</i>	II									
<i>Sanguisorba minor</i>	II	I								
<i>Avenula pubescens</i>	II		I							
<i>Leucanthemum vulgare</i>	IV	III	IV	II						
<i>Crepis biennis</i>	V	IV	V	II	III	III	III			
<i>Galium verum</i>	V	V	V	IV	IV	III	I	I		
<i>Rumex acetosa</i>	V	V	V	IV	IV	II	III	I		
<i>Lychnis flos culculi</i>	III	II	III	II	IV	III	V	III	IV	III
<i>Polygonum amphibium</i>			III		II	II	IV		III	II
<i>Achillea ptarmica</i>			II		III		IV	I	III	III
<i>Galium palustre</i>			I		III		IV		IV	III
<i>Caltha palustris</i>			I		I		II		II	I
<i>Carex disticha</i>					I		II	I	IV	
<i>Eleocharis palustris</i>					I		I		III	I
<i>Stellaria palustris</i>					I		II	II	I	I
<i>Myosotis scorpioides</i>							IV		III	II
<i>Mentha aquatica</i>							I		III	II

## Sedges or tall forbs species

<i>Symphytum officinale</i>	IV	II	IV	II	IV	III	IV	I	II	II
<i>Thalictrum flavum</i>			I		II	II	II		II	I
<i>Filipendula ulmaria</i>			V	III	V	III	V	IV	IV	V
<i>Phalaris arundinacea</i>			I		II		III	I	IV	III
<i>Arrhenatherum elatius</i>	V	V	V	II	II	I	I			
<i>Iris pseudacorus</i>							II		II	I
<i>Carex gracilis</i>							I		I	I
<i>Carex vulpina</i>							I		II	

## Legumes

<i>Lotus corniculatus</i>	IV	V	V	IV	IV	I	III	IV	II	II
<i>Trifolium pratense</i>	V	V	V	IV	IV	II	IV	III	II	II
<i>Lathyrus pratensis</i>	IV	III	V	III	V	II	V	IV	III	IV
<i>Vicia cracca</i>	III	II	V	III	IV	III	IV	I	IV	IV

## Species possessing different behaviours according to the community

<i>Dactylis glomerata</i>	IV	IV	III	III						
<i>Colchicum autumnale</i>	V	V	IV	II	I					
<i>Peucedanum carvifolia</i>	IV	III	III	III	I					
<i>Cerastium fontanum</i>	IV	V	III	III	III	III	II	I		
<i>Ranunculus acris</i>	V	V	V	IV	III	III	III	III		
<i>Festuca rubra</i>	V	V	IV	IV	II	III	II	II		
<i>Holcus lanatus</i>	III	II	II	III	III	II	IV			
<i>Centaurea jacea</i>	V	III	V	V	V	IV	IV	IV	IV	V
<i>Alopecurus pratensis</i>	V	V	V	V	V	V	IV	V	III	V
<i>Phleum pratense</i>	IV	III	V	IV	V	III	III		I	I
<i>Potentilla reptans</i>	III	II	III	II	III	III	II		III	II

Table 3. (Continued)

	CFP3 unfertilized	CF3 fertilized	SMO1 unfertilized	SOM1 fertilized	SOM2 unfertilized	SOM2 fertilized	SOM3 unfertilized	SOM3 fertilized	GOF1 unfertilized	GOF1 fertilized
Number of relevés	12	9	17	10	10	8	20	4	25	7
Mean number of species/relevé	33	23	33	25	30	19	32	21	25	23
<i>Poa trivialis</i>	IV	IV	V	V	V	IV	V	IV	V	IV
<i>Trifolium repens</i>	I	II	III	IV	IV	III	V	III	IV	V
<i>Taraxacum officinale</i>	IV	V	V	V	V	IV	V	IV	V	IV
<i>Ranunculus repens</i>	V	IV	V	V	V	IV	V	V	V	V
<i>Senecio aquaticus</i>	II		II	+	I		IV	IV	IV	V
<i>Hordeum secalinum</i>	II	III	IV	II	IV	III	II		+	+
<i>Silaum silaus</i>	V	III	IV	IV	III	III	III	IV	II	III
<i>Elymus repens</i>	III	II	IV	III	IV	V	IV	IV	IV	V
<i>Agrostis stolonifera</i>	III	II	IV	IV	IV	II	IV	III	III	IV
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	II	II	I	II	II		III	+	I	+
<i>Leontodon autumnalis</i>	I		II	II	III	I	II		II	II
<i>Plantago lanceolata</i>	V	V	V	V	IV	II	IV	II	III	III
<i>Oenanthe fistulosa</i>							I	II	V	V

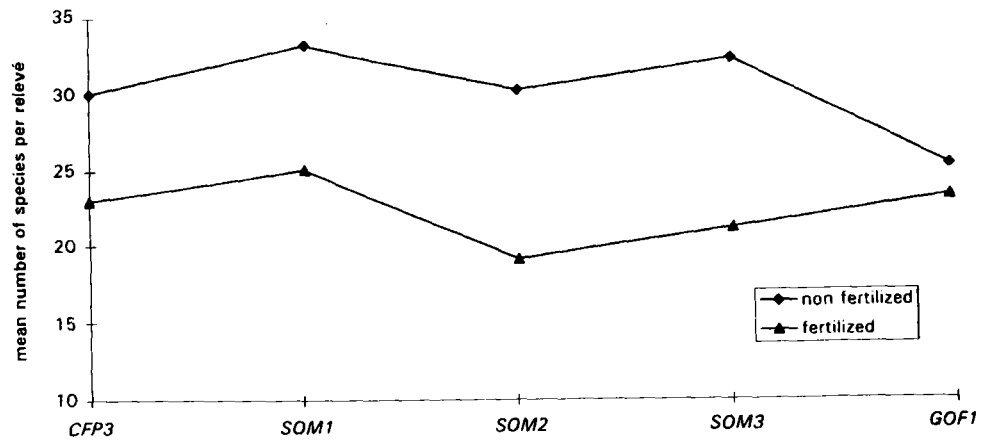


Figure 4. Comparison of the floristic richness between the fertilized and non-fertilized communities.

meadows. This concept of great sensitivity of species according to water management is developed by Henry *et al.* (1994) who have shown how annual fluctuations of hydrological conditions can lead to changes in the specific composition of the vegetation. In fact, depending on the life strategies of the flood plain plants, many different morphological or physiological adaptation mechanisms may be used to survive oxygen deprivation or desiccation injury (Tiner, 1993; Blom *et al.*, 1994; Brändle *et al.*, 1996; Crawford, 1996). Thus, flood tolerant species (e.g. *Rumex crispus*, *Inula britannica*) can develop numerous aerenchymatous shallow lateral roots to help to avoid anaerobic stress, whereas in higher sites (CFP), a deep tap-root might be formed (Tiner, 1993; Blom *et al.*, 1994). For Blom *et al.* (1994) the mesophilic species which occur on the 'higher elevated, seldom flooded zones' such as *Arrhenatherum elatius*, *Daucus carota*, *Plantago media* or *Rumex acetosa* have difficulty surviving the prolonged submergence of their roots. Using the example of *Dactylis glomerata*, Rogers and Davies (1973) explain the disappearance of mesophilic or meso-xerophilic species in the wet sites by an uncontrolled uptake of calcium which leads to the breakdown of the membranes in root cells.

However, fluctuating water-table levels and flood durations influence the floristic composition of plant communities in many ways: (i) determining the phases of anaerobiosis, which encourage species adapted to transient anoxic conditions (Tiner, 1993) and/or to the re-exposition to normal concentrations of oxygen after floodings (Crawford, 1996). The presence of aerenchyma in the adventitious roots of numerous wetland species (Justin and Armstrong, 1987; Brändle *et al.*, 1996) favours the conservation of an oxygen pool in the rhizosphere which allows nitrification (Laan *et al.*, 1989a, b; Both *et al.*, 1992). For Engelaar *et al.* (1995), *Glyceria maxima* and *Rumex crispus* seem to be particularly well adapted to waterlogged soils because of the presence of an important population of nitrifying bacteria in the rhizosphere. Some other species, which could be abundant in the GOF community, e.g. *Myosotis scorpioides*, *Senecio aquaticus* and *Phragmites australis* accumulate sugars at low oxygen concentrations. The water soluble carbohydrates (fructans) are stored in their roots and shoots and constitute available energy to maintain the plant metabolism (Cizkova *et al.*, 1996; Schütler *et al.*, 1996). Others (*Alisma plantago-aquatica*, *Glyceria fluitans*, *Iris pseudacorus*) possess over-wintering regenerative organs

like rhizomes or tubers, which are able to regenerate new roots once the flooding stress has passed even when they lose roots or leaves during flooding (Crawford, 1996); (ii) encouraging the development of a thick layer of litter in areas (*GOF*) too wet to allow, in the Meuse valley, more than one cut per annum. This litter increases the nutrient level (Buttler, 1992) promoting the species with important leaf areas (like *Filipendula ulmaria*, *Rumex hydrolapathum*, *Carex* sp., *Glyceria* sp.) which grow quickly and capture the soil nutrients more efficiently (Olf, 1992); (iii) stimulating or inhibiting the germination of the seeds of species which are influenced by soil hydromorphic conditions (Britton and Brock, 1994; Crawford, 1996) or by litter (Weiher *et al.*, 1996). Thus, the high soil-water levels favour the seedlings of some grassland species (Roberts, 1981; Piper, 1994) but inhibit others (Neill, 1993).

#### *Role of the fertilization factor in the floral composition*

Numerous authors (Delpech, 1975; Elberse *et al.*, 1983; Bobe, 1987; Berendse *et al.*, 1992; Oomes, 1992; Thomet and Koch, 1993; McJannet *et al.*, 1995; Mountford *et al.*, 1996) point out the steep decrease in species diversity at high production levels, but many of the studies took place in very intensive grasslands (nitrogen applications from 100 to 400 kg per ha per year). Prach (1993), in Czechoslovakia, shows that, after fertilizer was applied between 1959 and 1984, high diversity *Molinion* humid meadows were replaced by grasslands dominated by *Alopecurus pratensis* (*Agropyro-Rumicion* community).

In the Saône valley (Broyer and Prudhomme, 1995) fertilizer applications of 50 kg per ha per year are already leading to a severe loss of diversity as the sward becomes dominated by productive grasses. In the Meuse it has been demonstrated that 30 kg nitrogen per ha per year applications (every 2 years or every year) produce a less dramatic result. Thus, experiments on vegetation productivity conducted in the Meuse flood plain have shown that nitrogen is one (with phosphorus) of the limiting factors of dry matter production (Grevilliot, 1996).

The disappearance or regression of species following fertilization is the result of two linked phenomena: (i) the increase in soil fertility which encourages competitive species with high growth rates and which are able to respond quickly to an increase in nutrient supplies (Grime and Hunt, 1975; Grime, 1979) like *Alopecurus pratensis*, *Poa pratensis*, *Lolium perenne* or *Rumex crispus*. Rosette or low species like *Potentilla reptans*, *Glechoma hederacea*, *Galium palustre*, *Myosotis scorpioides* (which are slow and shadow-growing species) (Grime and Jeffrey, 1965; Loach, 1970), and those which do not respond to the increase in nutrient levels by faster growth, like *Peucedanum carvifolia*, *Silaum silaus*, *Galium verum*, *Achillea ptarmica*, *Anthoxanthum odoratum* (Mahmoud, 1973; Mahmoud and Grime, 1976) are shaded out. Legumes (*Lotus corniculatus*, *Trifolium pratense*, *Vicia cracca*, *Lathyrus pratensis*) are favoured in the non-fertilized patches due to their symbiotic mechanisms of nitrogen fixation but quickly decrease with fertilizer applications (Scarbrick and Ivins, 1970; Laissus and Marty, 1973; Bond, 1976). Some authors (Tilman and Wedin 1991a, b) note that the disappearance of oligotrophic and meso-oligotrophic species in fertilized patches is related to the competition for light, whereas in non-fertilized soil there is competition for nutrients; (ii) the earlier cutting dates, enabled by nitrogen applications, make two or more cuts possible. They disfavour tall forbs and sedge species like *Filipendula ulmaria*, *Phalaris arundinacea*, *Lythrum salicaria*, *Thalictrum flavum*, *Carex acuta* which cannot survive in heavily-cut meadows (Smith and Jones, 1991).

In the Meuse valley, *Festuca rubra* remains in the canopy even when the patch is fertilized. Though this species is known to indicate low trophic level, some authors point out its fluctuating behaviour at different fertilization levels (Elberse *et al.*, 1983; Hegg *et al.*, 1992). Thus, in The Netherlands, Willems and Van Nieuwstadt (1996) noticed its increase in the canopy of a calcareous grassland where high amount of fertilizers were applied (110N, 350P, 110K kg per ha per year). This species certainly possesses different ecotypes which are more or less sensitive to soil enrichment.

In the same way, *Holcus lanatus* shows different behaviour after fertilization according to the different sites studied. Thus, this species decreases in the experiment of Elberse *et al.* (1983) whereas it becomes dominant in those of Mountford *et al.* (1993). In the flood plain of the Meuse it responds differently to the fertilizers according to the plant communities. In fact it increases in the *SOM1* and decreases in the others. For Mountford *et al.* (1996), this partly expresses variations in the species habitat from one site to another.

*Comparative impacts and interferences between hydric and nutrient levels on the floristic composition*

Rewetting experiments (by raising the groundwater table) were conducted in The Netherlands meadows (Oomes, 1992; Oomes and Kemmers, 1994; Oomes and Van der Werf, 1997) in order to decrease dry matter production by reducing nitrogen mineralization (Delaune *et al.*, 1981; Myers *et al.*, 1982). The expected outcome was an increase of the grassland specific richness. However on the experimental patches, they only observed a negligible reduction in annual dry matter production and only a few wet species were established. The current explanation to the poor development of new species is the lack of available seed sources (soil, rain, flood) in the patches which were fertilized for a long time (Bakker *et al.*, 1995; Poschod *et al.*, 1996; Bekker *et al.*, 1997).

The studies conducted in the Meuse show these results in a different light. In fact, the meadows which are either fertilized or flooded for a long time and where the water table often reaches the root area can be characterized by a high aerial biomass and a reduction of the biodiversity (Neill, 1993; Piper, 1994). This evolution has partly the same origin: higher soil nutrient or moisture levels favour the fast growing competitive species at the expense of the low and slow growing ones (Oomes, 1992). Thus, in the mesophilic sites, fertilization favours the productive grasses like *Alopecurus pratensis*, *Poa pratensis*, *Festuca pratensis* and *Lolium perenne* whereas the soil moisture of the low areas (*GOF2/3*) encourages the tall hygrophilic species like *Rumex hydrolapathum*, *Carex acuta*, *Glyceria maxima* or *Phalaris arundinacea*. The density and height of the canopy is responsible for two phenomena: the disappearance of the regeneration niches which usually allow the maintenance of species richness (Grubb, 1977); and the increase of dry matter productivity. Moreover, the fertilizer applications, like the soil moisture, could act on the seed germinations, selecting the species most adapted to each environment type (McDonald, 1993; Battaglia *et al.*, 1995).

These two, humidity and fertility, gradients do not intervene in the same way on the vegetation. In fact, fertilizers act directly on the vegetation dynamic favouring the strict competitors which are able to maximize the capture of resources (Grime, 1979). Soil moisture, like fertilizers, promotes the same species type, possessing the same competitive attributes (Grime, 1979). In fact, the species of frequently flooded areas show some distinct characteristics of a competitive strategy, this means erect and tall stature, large leaf areas and often high growth rate; these species are called stress-tolerant competitors by Grime

(1979). Yet, the high water level influences the botanical composition in different ways. Thus, the competitive species of the low areas are selected according to: their adaptation to the particular life conditions of the often flooded and waterlogged areas; the accumulation of carbohydrates which can be used for growth in the next growing season before the development of the other species (Oomes and Mooi, 1981; Berendse *et al.*, 1994); and their adaptation to a weaker cutting pressure as for *Phalaris arundinacea* or *Carex acuta* which are competitive species favoured by later cutting dates (Grime, 1979; Wolf, 1979).

Moreover flooding can also increase the soil nutrient level, through direct nutrient inputs (Grévilliot and Muller, 1995a) or indirectly by litter accumulation due to late or early floods (Buttler, 1992). Phosphorus is thus improving. In fact, the flood water could carry up to  $160 \mu\text{g l}^{-1}$  P-PO<sub>4</sub> which is completely absorbed by the ground compounds (Krebs, 1995). The circulating water table and its fluctuations, allowing wet-dry cycles, can give a new flux of oxygen and stimulate decomposition and mineralization (Bakker, 1993; Haukos and Smith, 1996). Thus, after the fall of the water table due to the emptying of the Canal in September 1994 its filling up contributed to the increase of the mobilization of nitrates in relation with higher nitrification processes (Krebs, 1995). In the Meuse, the enrichment of the low areas is shown in the low difference between the mean number of species in the fertilized meadows compared with non-fertilized ones (Fig. 4).

Thus, for the hygrophilic communities, the three phenomena of high moisture level, trophic enhancement and later cutting dates combine to increase the plant production by selecting high growth rate species (Belsky, 1992), very well adapted to these specific habitats like *Glyceria maxima*, *Phalaris arundinacea*, *Rumex hydrolapathum* or *Carex acuta*.

Fertilization and high soil moisture do not yet occur in the same communities. The fertilizers are more frequently used on the 'mesophilic' communities (SOM1/2/3 and CFP) where they encourage productive grasses like *Alopecurus pratensis*, *Festuca pratensis*, *Lolium perenne*, and the high humidity level in the soil occurs in the wetter meadows (GOF) where the tall hygrophilous species (*Carex acuta*, *Glyceria maxima*, *Filipendula ulmaria*) are favoured. In fact, the competitive species are specific to each ecosystem type. Thus, the mesophilic grasses are well adapted to fertilized grasslands where the high cut frequencies disfavoured the tall forbs and sedges species whereas the hygrophilic tall species are well adapted to moist conditions which are, in their turn, hostile to the mesophilic plants.

### Conclusions

At the end of this study it clearly appears that in such flood plain meadow type either the high hydric level or the trophic enrichment conditions favoured C-strategist species to the detriment of low and slow growing species. These two phenomena lead to a biodiversity loss. Thus, as Conell (1978) and Grime (1979) demonstrate, the maximum of specific richness is observed for 'intermediate' disturbances, that means for the extensively managed meadows and meadows which are regularly flooded but where water does not stand for a long time.

So, small fluctuations in hydrological and trophic conditions determine quite considerable changes in the flora. A former study, comparing the floristic diversity of the Meuse meadows between 1958 and 1993, has shown the disappearance or decrease of many oligotrophic species (*Linum catharticum*, *Succisa pratensis*, *Briza media*, *Carex flacca*) after the increasing of nitrogen inputs by means of atmosphere, floods and fertilizations

(Gréville and Muller, 1995a). The impoverishment and the changes in the floristic composition of humid meadows, following draining, have been addressed in many works (Dierssen, 1989; Berendse *et al.*, 1992; Oomes, 1992; Auble *et al.*, 1994; Oomes and Van der Werf, 1997). On the other hand, other publications point out that rewetting is not always useful to restore meadow diversity (Oomes *et al.*, 1996). The use of fertilizers leads to the same loss of diversity. In fact, the dominance of only one or a few competitive species leads irretrievably to a loss of specific richness (Weiher *et al.*, 1996), so the maximum biodiversity is usually obtained with the minimum productivity (Moore and Knowles, 1989). To maintain flood meadow biodiversity it is absolutely essential to preserve their hydrological (Van Diggelen *et al.*, 1994, 1995) and trophic balances, which determine the originality of each flood plain. Moreover, experiments carried out in many flood or wet meadows (Bakker, 1993; Bakker *et al.*, 1995; Gréville, 1996) have shown that species replacement after cessation of fertilizer applications is a very slow process and pointed out the difficulty to restore diversity. Thus, our results show again that extensively managed flood plain meadows have to be protected because their restoration is especially hard since it depends on the presence of available seeds (McDonald *et al.*, 1996).

## References

- Armstrong, W. (1979) Aeration in higher plants. *Adv. Botan. Res.* **7**, 225–32.
- Auble, G.T., Friedman, J.M. and Scott, M.L. (1994) Relating riparian vegetation to present and future streamflows. *Ecol. Applicat.* **4**(3), 544–54.
- Bakker, J.P. (1993) Nature management in Dutch grasslands. In *Grassland Management and Nature Conservation, Occasional Symposium 28*, pp. 115–124. British Grassland Society, Leeds University.
- Bakker, J.P., Bekker R.M., Oiff, H. and Strykstra R.J. (1995) On the role of nutrients, seed bank and seed dispersal in restoration management of fen meadows. *Norddeutsche Naturschutz Akad. Ber.* **8**, 42–8.
- Barendregt, A., De Smidt, J.T. and Wassen, M.J. (1986) The impact of groundwater flow on wetland communities. In *Colloque Phytosociologique XIII, Végétation et Géomorphologie*, J. Cramer, Berlin-Stuttgart. pp. 603–12.
- Battaglia, L.L., Keough, J.R. and Pritchett, D.W. (1995). Early secondary succession in a south-eastern U.S. alluvial floodplain. *J. Veget. Sci.* **6**, 769–76.
- Bekker, R.M., Bakker, J.P. and Thompson K. (1997) Dispersal of plant species in time and space: can nature development rely on soil seed banks and dispersal? *Species Dispersal Land Use Proc.* A. Cooper and J. Power, UKIALE. 247–55.
- Belsky, A.J. (1992) Effect of grazing competition, disturbance and fire on species competition and diversity in grassland communities. *J. Veget. Sci.* **3**, 187–200.
- Berendse, F., Oomes, M.J.M., Altena, H.J. and Elberse, W.T.H. (1992) Experiments of restoration of species-rich meadows in the Netherlands. *Biol. Conserv.* **62**, 59–65.
- Berendse, F., Oomes, M.J.M., Altena, H.J. and De Visser, W. (1994) A comparative study of nitrogen flows in two similar meadows affected by different groundwater levels. *J. Appl. Ecol.* **31**, 40–8.
- Blom, C.W.P.M., Voesenek, L.A.C.J., Banga, M., Engelaar, M.H.G., Rijnders, H.G.M., Van De Steeg, H.M. and Visser E.J.W. (1994) Physiological ecology of riverside species: adaptive responses of plants to submergence. *Ann. Botany* **74**, 253–63.



- Bobe, V. (1987) Etude phyto-écologique, agronomique et dynamique des prairies et des friches herbacées des vallées du Parc Naturel Régional de la Haute Vallée de Chevreuse. Paris Grignon: DAA, INA.
- Bond, G. (1976) The result of the IBP survey of root-nodule formation in non leguminous angiosperm. In *Symbiotic Nitrogen Fixation in Plants* (P.S. Nutman, ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Both, G.J., Gerard, S. and Laanbroeck, H.J. (1992) The occurrence of chemolitho-autotrophic nitrifiers in water-saturated grassland soil. *Microbiol Ecol.* **23**, 15–26.
- Bournérias, M., Delpech, R., Dorigny, A., Géhu, J.M., Lecoite, A., Maucorps, J., Provost, M., Solau, J.L., Tombal, P. and Wattez, J.R. (1978) Les groupements de prairies et leurs satellites dans la vallée inondable de l'Oise. In *Colloque Phytosociologique, V, Les prairies humides*, J. Cramer, Vaduz. pp. 90–139.
- Boutin, C. and Keddy, P.A. (1993) A functional classification of wetland plants. *J. Veget. Sci.* **4**, 591–600.
- Brändle, R., Pokorny, J., Kvet J. and Cizkova, H. (1996) Wetland plants as a subject of interdisciplinary research *Folia Geobot. Phytotax.* **31**, 1–16.
- Britton, D.L. and Brock, M.A. (1994) Seasonal germination from Wetland Seed Banks. *Austr. J. Marine Freshwater Res.* **45**, 1445–57.
- Broyer, J. and Prudhomme, J. (1995) Incidence de la fertilisation sur la diversité floristique des prairies de fauche inondables dans le val de Saône. *Ecologie* **26** (1), 45–58.
- Bullock, J.M., Clear Hill, B., Silvertown, J. and Sutton, M. (1995) Gap colonization as a source of grassland community change: effects of gap size and grazing on the rate and mode of colonization by different species, *Oikos* **72**, 273–82.
- Buttler, A. (1992) Hydrochimie des nappes des prairies humides de la rive Sud du lac de Neuchâtel. *Bull. Ecol.* **23** (1–2), 35–47.
- Carbiener, R. (1969) Le grand Ried d'Alsace, Ecologie d'un paysage. *Bull. Soc. Industr. Mulhouse* **734**, 15–44.
- Clément, B. and Maltby, E. (1997) Quelques facteurs de la biodiversité végétale dans les prairies humides des corridors fluviaux. *Acta Botanica Gallica* **143** (4/5), 309–16.
- Connell, J.H. (1978) Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* **199**, 1302–10.
- Crawford, R.M.M. (1996) Whole plant adaptations to fluctuating water tables. *Folia Geobot. Phytotaxonom.* **31**, 7–24.
- Cizkova, H., Lukávska, J., Priban, K., Kopecky, J. and Brabkova, A. (1996) Carbohydrates levels in rhizomes of *Phragmites australis* at an oligotrophic and eutrophic site: a preliminary study. *Folia Geobot. Phytotaxonom.* **31**, 111–18.
- De Foucault, B. (1984) Systémique, structuralisme et synsystématique des prairies hygrophiles des plaines atlantiques françaises. Thesis, Rouen.
- Delaune, R.D., Reddy, C.N. and Patrick W.H.J. (1981) Organic matter decomposition in soil as influenced by pH and redox conditions, *Soil Biol. Biochem.* **13**, 533–4.
- Delpech, R. (1975) Contribution à l'étude expérimentale de la dynamique de végétation prairiale. Thesis, University of Paris Sud.
- Delpech, R. (1989) Effets d'une eutrophisation du sol sur la dynamique de populations végétales et la diversité spécifique de communautés herbacées. Résultats expérimentaux. In *L'écologie en France. Des recherches aux applications: vers de nouvelles perspectives*, Association Française des Ingénieurs Ecologues, Paris. pp. 151–70.
- Denny, P. (1993) Water management strategies for the conservation of wetlands. *J. IWEM* **7**, 387–94.
- Dierssen, K. (1989) Evolution des groupements influencés par la nappe phréatique de la plaine du N-W de l'Allemagne. Conséquences pour les mesures d'exploitation extensives et de déprise agricole. In *Colloque Phytosociologique, XVI, Phytosociologie et Pastoralisme*, J. Cramer, Berlin-Stuttgart. pp. 484–96.

- Duvigneaud, J. (1986) La végétation prairiale de la plaine alluviale de l'Aisne aux environs de Vouziers (Dép. des Ardennes France) influence de la microtopographie sur la durée des inondations et la composition du tapis herbacé. In *Colloque Phytosociologique, XIII, Végétation et géomorphologie*, J. Cramer, Berlin-Stuttgart. pp. 634–54.
- Elberse, W.T.H., Van Den Bergh, J.P. and Dirven, J.G.P. (1983) Effects of use and mineral supply on the botanical composition and yield of old grassland on heavy-clay soil. *Netherlands J. Agric. Sci.* **31**, 63–88.
- Engelaar, W.M.H.G., Symens, J.C., Laanbroeck, H.J. and Blom, C.W.P.M. (1995) Preservation of nitrifying capacity and nitrate availability in waterlogged soils by radial oxygen loss from roots of wetland plants. *Biol. Fertil. Soils* **20**, 243–8.
- Everts, H. Grootjans, A.P. and De Vries, P.J. (1989) Distribution of marshplants as guidelines for hydrological research. In *Colloque Phytosociologique, XVI, Phytosociologie et Pastoralisme*, J. Cramer, Berlin-Stuttgart. pp. 272–91.
- Faber, M. (1994) Contribution à l'étude hydroclimatique de la Meuse de sa source à la station de Stenay. Mémoire de Maîtrise, Nancy.
- Frileux, P.N., De Foucault, B. and Roy, J. (1989) Etude de la végétation prairiale de la basse vallée de la Seine entre Rouen et l'Estuaire. In *Colloque Phytosociologique, Phytosociologie et Pastoralisme, XVI*, J. Cramer, Berlin-Stuttgart. pp. 234–9.
- Gibson, D.J., Seastedt, T.R. and Briggs, J.M. (1993) Management practices in tallgrass prairie: large- and small-scale experimental effects on species composition. *J. Appl. Ecol.* **30**, 247–55.
- Grévilliot, F. (1996) Les écosystèmes prairiaux de la plaine alluviale de la Meuse lorraine: Phytosociologie, dynamique et fonctionnement, en relation avec les gradients hydriques et les modifications des pratiques agricoles. Thesis, University of Metz.
- Grévilliot, F. and Muller, S. (1995a) Application de l'analyse diachronique globale à l'étude de l'évolution d'une végétation prairiale. *Comptes Rend. Acad. Sci. Paris* **318**, 491–7.
- Grévilliot, F. and Muller, S. (1995b) Les groupements végétaux prairiaux de la plaine alluviale de la Meuse (Lorraine, France). Position syntaxonomique et biogéographique dans le cadre ouest-européen. *37<sup>th</sup> IAVS Symposium, Large Area Vegetation Surveys*, J. Cramer, Berlin-Stuttgart. pp. 115–44.
- Grévilliot, F. and Muller, S. (1997) Etude de l'impact des changements des pratiques agricoles sur la biodiversité végétale dans les prairies inondables du Val de Meuse: présentation méthodologique et premiers résultats. *Acta botan. Gallica* **143**, (4/5), 317–38.
- Grévilliot, F., Broyer, J. and Muller, S. (1998) Photogeographical and phenological comparison of the Meuse and the Saône valley meadows (France). *J. Biogeogr.* **25**, 339–60.
- Grime, J.P. (1979) *Plant Strategies and Vegetation Processes*. Chichester: John Wiley and Sons.
- Grime, J.P. and Jeffrey, D.W. (1965) Seedling establishment in vertical gradients of sunlight. *J. Ecol.* **53**, 621–42.
- Grime, J.P. and Hunt, R. (1975) Relative growth rate: its range and adaptive significance in a local flora. *J. Ecol.* **63**, 393–422.
- Grubb, P.J. (1977) The maintenance of species richness in plant-communities: the importance of the regeneration niche. *Biol. Rev.* **52**, 107–45.
- Harmand, D. (1992) *Histoire de la vallée de la Meuse Lorraine*. Nancy: Presse universitaire de Nancy
- Haukos, D.A. and Smith, L.M. (1996) Effects of moist-soil management of playa wetland soils. *Wetlands* **16**, 143–9.
- Hegg, O., Feller U., Dälher, W. and Scherrer, C. (1992) Longterm influence of fertilization in a Nardetum: phytosociologie of the pasture and nutrient contents in leaves. *Vegetatio* **103**, 151–8.
- Henry, C.P., Bornette, G. and Amoros, C. (1994) Differential effects of floods on the aquatic vegetation of braided channels of the Rhône River. *J. North Am. Benthol. Soc.* **13** (4), 439–67.

- Justin, S.H.F.W. and Armstrong, W. (1987) The anatomical characteristics of roots and plant response to soil flooding *New Phytologist* **106**, 465–95.
- Kelly, C.K. (1996) Identifying plant functional types using floristic data bases: Ecological correlates of plant range size. *J. Vegetat. Sci.* **7** (3), 417–24.
- Kovalchik, B.L. and Chitwood, L.A. (1990) Use of geomorphology in the classification of riparian plant associations in mountainous landscapes of central Oregon, U.S.A. *Forest Ecol. Manage.* **33/34**, 405–18.
- Krebs, L. (1995) Prairies alluviales de Lorraine et qualité des eaux souterraines. Mémoire DESE, University of Arlon.
- Lann, P., Berrevoets, M.J., Lythe, S., Armstrong, W. and Blom, C.W.P.M. (1989a) Root morphology and aerenchyma formation as indicators of the flood tolerance of *Rumex* species. *J. Ecol.* **77**, 693–703.
- Lann, P., Smolders, A., Blom, C.W.P.M. and Armstrong, W. (1989b) The relative roles of internal aeration, radial oxygen losses, iron exclusion and nutrient balances in flood tolerance of *Rumex* species. *Acta Botan. Neerland.* **38**, 131–45.
- Laissus, R. and Marty, J. (1973) Evolution de la flore et du rendement d'une prairie permanente durant quinze années d'exploitation. *Fourrages* **53**, 47–66.
- Lambinon, J., De Langhe, J.E., Delvosalle, L. and Duvigneaud, J. (1992) *Nouvelle flore de la Belgique, du GD du Luxembourg, du Nord de la France et des régions voisines*, 4th edn. du patrimoine du Jardin botanique national de Belgique.
- Loach, K. (1970) Shade tolerance in tress seedlings: II. Growth analysis of plant raised under artificial shade. *New Phytol.* **69**, 273–86.
- Magnanon, S. (1991) Contribution à l'étude des prairies naturelles inondables des marais de Donges et de l'estuaire de la Loire. Phyto-écologie, Phytosociologie, valeur agronomique. Thesis, University of Nantes.
- McDonald, A.W. (1993) The role of seedbank and sown seeds in the restoration of an English flood-meadow. *J. Veget. Sci.* **4**, 395–400.
- McDonald A.W., Bakker, J.P. and Vegelin, K. (1996) Seed bank classification and its importance for restoration of species-rich flood meadows. *J. Vegetat. Sci.* **7**, 157–64.
- McJanet, C.L., Keddy, P.A. and Pick, F.R. (1995) Nitrogen and phosphorous tissue concentrations in 41 wetland plants: a comparison across habitats and functional groups. *Functional Ecol.* **9**, 231–8.
- Mahmoud, A. (1973) A laboratory approach to ecological studies of the grasses *Arrhenatherum elatius* (L.) Beauv. ex J. and C. Presl, *Agrostis tenuis* Sibth. and *Festuca ovina* L. PhD thesis, University of Sheffield.
- Mahmoud, A. and Grime, J.P. (1976) An analysis of competitive ability in three perennial grasses. *New Phytol.* **77**, 431–5.
- Moore, T.R. and Knowles, R. (1989) The influence of water table levels on methane and carbone dioxide emissions from peatland soils. *Can. J. Soil Sci.* **69**, 33–8.
- Mountford, J.O., Lakhani, K.H. and Kirkham, F.W. (1993) Experimental assessment of the effects of nitrogen addition under hay-cutting and aftermath grazing on the vegetation of meadows on a Somerset peat moor. *J. Appl. Ecol.* **30**, 321–32.
- Mountford, J.O., Lakhani, K.H. and Holland, R.J. (1996) Reversion of grassland vegetation following the cessation of fertilizer application. *J. Vegetat. Sci.* **7**, 219–28.
- Myers, R.J.K., Campbell, C.A. and Weier, K.L. (1982) Quantitative relationship between net nitrogen mineralization and moisture content of soils. *Can. J. Soil Sci.* **62**, 111–24.
- Neill, C. (1993) Seasonal flooding, soil salinity and primary production in northern prairie marshes. *Oecologia* **95**, 499–505.
- Oiff, H. (1992) Effects of light and nutrient availability on dry matter and N allocation in six successional grassland species. *Oecologia* **89**, 412–21.

- Oomes, M.J.M. (1992) Yield and species density of grasslands during restoration management. *J. Vegetat. Sci.* **3**, 271–4.
- Oomes, M.J.M. and Mooi, H. (1981) The effect of cutting and fertilizing on the floristic composition and production of an *Arrhenatherion elatioris* grassland. *Vegetatio* **47**, 233–9.
- Oomes, M.J.M. and Kemmers, R.H. (1994) Effects of raising the groundwater level on availability and uptake of nutrients by grassland. *Norddeutsche Naturschutz Akad. Ber.* **8**, 13–6.
- Oomes, M.J.M., Olff, H. and Altena, H. (1996) Effects of vegetation management and raising the water table on nutrient dynamics and vegetation change in a wet grassland. *J. Appl. Ecol.* **33**, 576–88.
- Oomes, M.J.M. and Van Der Werf, A. (1997) Restoration of species diversity in grasslands: The effect of grassland management and changes in ground water level. *Acta Botan. Gallica* **143** (4/5), 451–61.
- Pautou, G. (1975) Contribution à l'étude écologique de la plaine alluviale du Rhône entre Seyssel et Lyon. Thesis, University of Médecine, Grenoble.
- Piper, J.K. (1994) Composition of prairie plant communities on productive versus unproductive sites in wet and dry years. *Can. J. Bot.* **73**, 1635–44.
- Poschlod, P., Bakker, J., Bonn, S. and Fischer, S. (1996) Dispersal of plants in fragmented landscapes. Changes of dispersal processes in the actual and historical man-made landscape. *Species Surv. Fragmented Landscapes* **35**, 123–27.
- Prach, K. (1992) Vegetation, microtopography and water table in the Luznice flood plain, South Bohemia, Czechoslovakia. *Preslia, Praha* **64**, 357–67.
- Prach, K. (1993) Vegetation changes in a wet meadow complex, South Bohemia, Czech Republic. *Folia Geobot. Phytotax.* **28**, 1–13.
- Roberts, H.A. (1981) Seed banks in soils. *Adv. Appl. Biol.* **6**, 1–56.
- Rogers, J.A. and Davies, G.E. (1973) The growth and chemical composition of four grass species in relation to soil moisture and aeration factors. *J. Ecol.* **61**, 455–72.
- Scarisbrick, D.H. and Ivins, J.D. (1970) Some aspects of competition between species pasture: the effect of environment and defoliation. *J. Appl. Ecol.* **7**, 417–28.
- Shao, G., Shugart, H.H., Sala, O.E. and Lauenroth, W.K. (1996) Functional classifications of coastal barrier island vegetation. *J. Vegetat. Sci.* **7** (3), 391–6.
- Schütler, U., Albrecht, G. and Wiedenroth E.M. (1996) Content of water soluble carbohydrates under oxygen deprivation in plants with different flooding tolerance. *Folia Geobot. Phytotaxon.* **31**, 57–64.
- Smith, R.S. and Jones, L. (1991) The phenology of mesotrophic grassland in the Pennine Dales, Northern England: Historic hay cutting dates, vegetation variation and plant species phenologies. *J. Appl. Ecol.* **28**, 42–59.
- Thomet, P. and Koch, B. (1993) Langerfristige Auswirkungen von Düngung und Schnittregime auf eine Heumatte. *Landwirtschaft Schweiz* **6** (2), 107–14.
- Tilman, D. and Wedin, D. (1991a) Plant traits and resource reduction for five grasses growing on a nitrogen gradient. *Ecology* **72** (2), 685–700.
- Tilman, D. and Wedin, D. (1991b) Dynamics of nitrogen competition between successional grasses. *Ecology* **72** (3), 1038–49.
- Tiner, R.W. (1991) The concept of hydrophyte for wetland identification. *Bioscience* **41** (4), 236–47.
- Tiner, R.W. (1993) Using plants as indicator of wetland. *Proc. Acad. Nat. Sci. Philadelphia* **144**, 240–253.
- Toussaint, B. and Lambert, J. (1992) Fertilisation azotée, nutrition azotée de la prairie de fauche. *Rev. agric.* **45** (2), 318–30.
- Trivaudey, M.J. (1995) Contribution à l'étude phytosociologique des prairies alluviales de l'Est de la France (Vallées de la Saône, de la Seille, de l'Ognon, de la Lanterne et du Breuchin). Approche systémique. Thesis, University of Besançon.
- Van Der Valk, A.G. and Davis, C.B. (1981) Succession in wetlands: a gleasonian approach. *Ecology* **62**, 688–96.

- Van Diggelen, R., Grootjans, A.P., Wierda, A., Burkunk, R. and Hoogendoorn, J. (1991). Prediction of vegetation changes under different hydrological scenarios. Proc. Vienna Symposium, August 1991. *IAHS* **202**, 71–9.
- Van Diggelen, R., Grootjans, A.P. and Burkunk, R. (1994) Assessing restoration perspectives of disturbed Brook Valleys: the Gorecht area, The Netherlands. *Restorat. Ecol.* **2** (2), 87–96.
- Van Diggelen, R., Grootjans, A.P. and Wierda, A. (1995) Hydro-ecological landscape analysis: a tool for wetland restoration. *Zeitschr. Kulturtechnik Landentwicklung* **36**, 125–31.
- Von Oorshot, M. (1996) Effects of vegetation on carbon, nitrogen and phosphorus dynamic in english and french riverine grasslands. Dissertation, University of Utrecht.
- Weiber, E., Wisheu I.C., Keddy P.A. and Moore D.R.J. (1996) Establishment, persistence and management implications of experimental wetland communities. *Wetlands* **16** (2), 208–18.
- Willems, J.H., Peet, R.K. and Bik, L. (1993) Changes in chalk grassland structure and species richness resulting from selective nutrient additions. *J. Vegetat. Sci.* **4**, 203–12.
- Willems, J.H. and Van Nieuwstadt, M.G.L. (1996) Long-term after effects of fertilization on above-ground phytomass and species diversity in calcareous grassland *J. Vegetat. Sci.* **7**, 177–84.
- Wilson, S.D. and Tilman, D. (1991) Components of plant competition along an experimental gradient of nitrogen availability. *Ecology* **72** (3), 1050–65.
- Wolf, G. (1979) Veränderung der Vegetation und Abbau der organischen Substanz in aufgegebenen Wiesen des Wester-Waldes. *Schriftenreihe für Vegetationskunde* **13**, Bonn-Bad Godessberg.

# **Fonctionnement hydrodynamique des fonds alluviaux. Exemple de la Meuse dans le secteur de Stenay**

Jeannine CORBONNOIS (Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Metz)  
Laurence KREBS (Laboratoire de phytoécologie, EBSE, Université de Metz)

## **Résumé :**

Des mesures réalisées pendant deux ans (piézométrie, limnimétrie, physico-chimie de l'eau de surface et de l'eau souterraine) permettent de définir les modalités du fonctionnement hydrodynamique d'un secteur de fond alluvial de la Meuse. Ce fonctionnement intègre les effets de la variation du niveau de la Meuse et des précipitations, ainsi que l'impact du passage dans le fond alluvial du canal de l'Est. Les résultats obtenus permettent de définir un fonctionnement à différentes échelles de temps : pluriannuelle, saisonnière, événementielle. Les conditions de leur transposition à d'autres secteurs de la vallée de la Meuse sont discutées.

Les fonds alluviaux sont des lieux privilégiés de circulation et d'échange d'eau. Leur fonctionnement hydrodynamique est déterminé par la variation du débit des cours d'eau qui les drainent et celle du niveau des nappes alluviales qui leur sont associées, ainsi que par les modifications de milieu naturel du fait des influences anthropiques. Mais la plupart des études qui s'y rapportent, concentrent leur analyse sur l'une ou l'autre des composantes de ce système (Piery, 1988, Pupier, 1994, Bayley 1991). Ainsi les modalités d'échanges entre cours d'eau et nappe sont peu étudiées (Amoros & Petts, 1993). C'est ce thème qui est abordé ici, à travers l'étude d'un secteur du fond alluvial de la Meuse, situé dans le tiers aval du bassin français, entre Dun-sur-Meuse et Stenay. Deux années de mesures permettent de définir les facteurs qui agissent sur le fonctionnement de ce fond alluvial.

Ces travaux s'intègrent, dans le cadre du Programme National de Recherche sur les Zones Humides (PNRZH), à ceux engagés depuis 1996 sur l'étude de la Biodiversité des prairies alluviales dans le Nord-Est de la France (Muller, 1996).

## **1. Situation du secteur de Stenay**

Il correspond à un tronçon du fond alluvial de la Meuse, là où le fleuve quitte les plateaux calcaires et s'engage sur une longueur de 15 km, à travers la dépression subséquente calloviennne de la cuesta de l'Oxfordien. Au débouché de la partie encaissée de la vallée (à Dun-sur-Meuse, fig. 1), la Meuse a construit, en s'étalant avec ses sédiments, un cône alluvial large de 3 km, sur lequel elle a longtemps divagué. Cet étalement est perceptible, tant dans l'allure actuelle du dispositif hydro-géomorphologique, que dans son allure antérieure puisque des basses terrasses d'époque wurmienne dominant de quelques mètres ce fond alluvial (Harmand, 1992).

Par ce tronçon transitent les eaux collectées dans un étroit bassin versant d'un peu moins de 4000 km<sup>2</sup> de superficie (fig. 1). A la station hydrométrique de Stenay, le module de la Meuse est de 50,6 m<sup>3</sup>/s pour des précipitations moyennes annuelles de 950 mm et une évapotranspiration de 550 à 600 mm.

Fig 1 : Caractéristiques du secteur de Stenay :

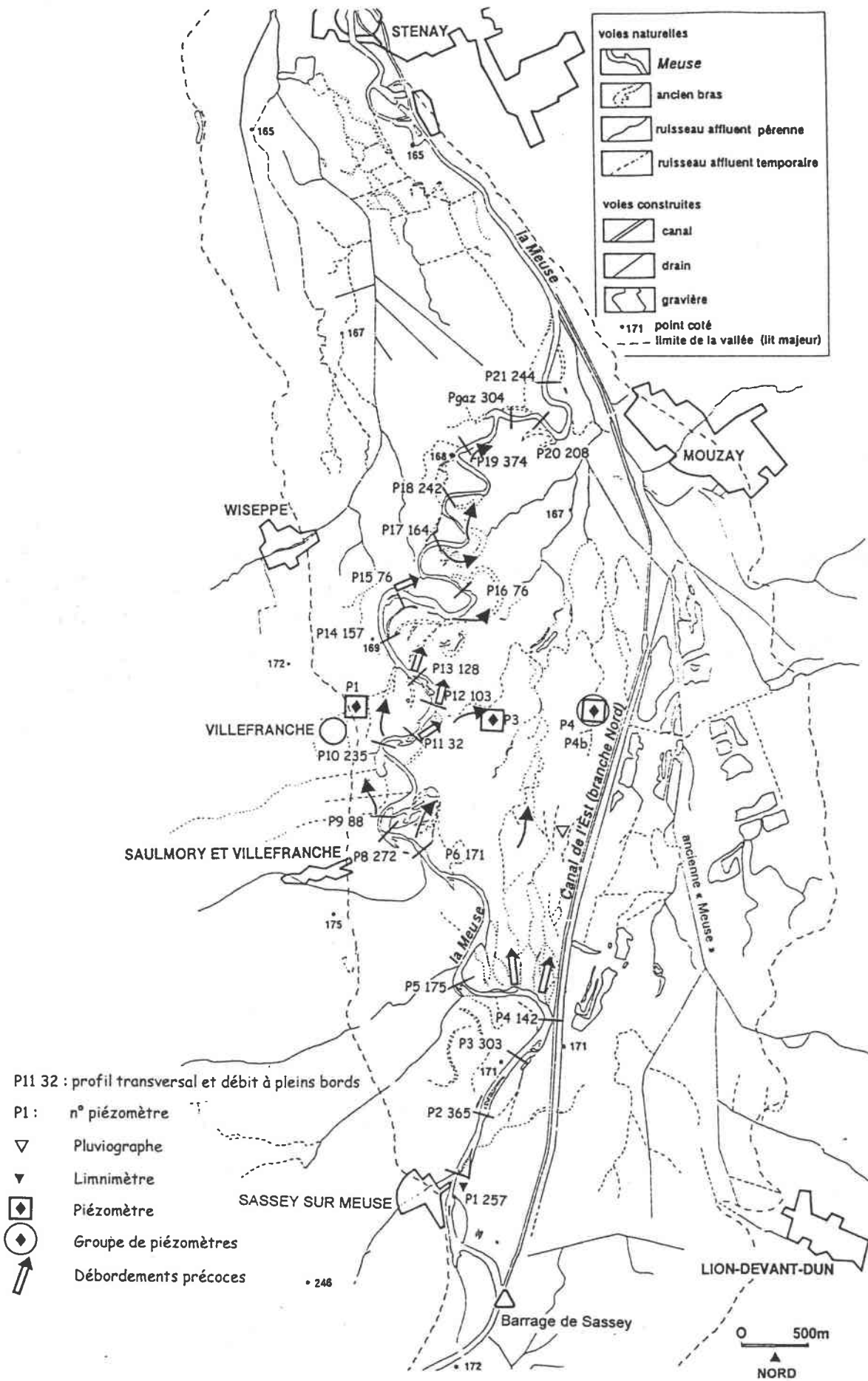


LEGENDE

- Point coté
- Ru. principaux
- Vallon sec
- Calcaire Oxfordien
- Argiles du Callovien
- Calcaires du Bathonien et du Bajocien
- Fond alluvial de la Meuse
- Alluvions anciennes
- Ancien méandre
- Cuesta de Meuse
- Dépression argileuse de la Woëvre
- Plateau disséqué du Pays Haut



Fig 2 : Le fond alluvial de la Meuse





Conformément au contexte régional, le régime de la Meuse est pluvial océanique (Mentre-Hildenbrandt, 1986) et c'est en hiver que l'apport météorique suffisamment abondant, alimente le fleuve ainsi que la nappe alluviale. Les précipitations estivales sont inefficaces à l'exception des périodes anormalement arrosées.

## 2. Les composantes et le comportement général du fond alluvial

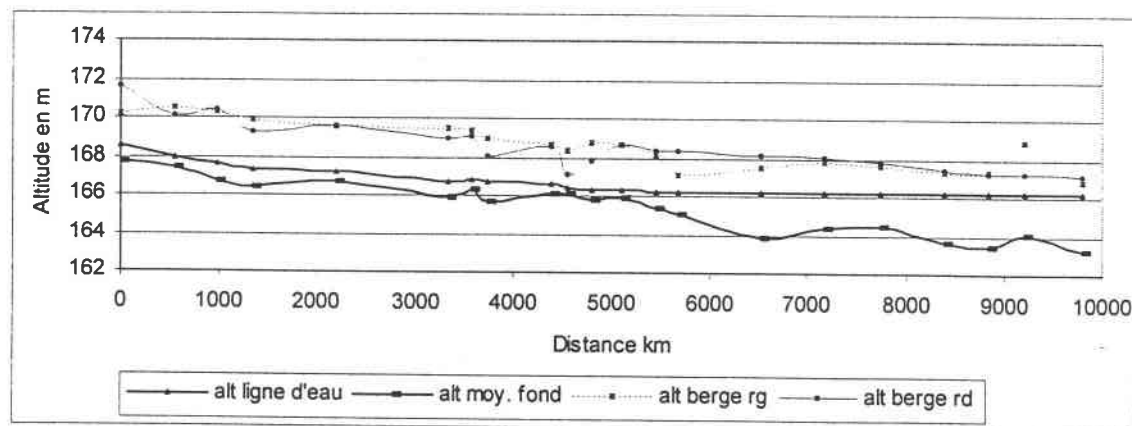
Entre Sassey sur Meuse (un peu en aval de Dun-sur-Meuse) et Stenay le fond alluvial est épais de 5 à 8m. Il est composé de graviers calcaires, surmontés en surface par 50 à 60 cm d'argiles limoneuses souvent hydromorphes. Dans le détail, les sédiments présentent une stratification complexe (variations verticales et latérales de faciès) caractéristique de l'édification des fonds alluviaux à la fin du Quaternaire : lits irréguliers de sables et de graviers entrecoupés par des niveaux tourbeux (Lefebvre *et al.*, 1993). Ces caractéristiques sédimentaires déterminent un aquifère d'une grande hétérogénéité dans lequel, selon la granulométrie des matériaux, l'eau circule à des vitesses très variables.

En surface (fig 2), le fond alluvial comprend de nombreuses micro-formes héritées, inscrites en creux, anciens chenaux partiellement comblés, méandres recoupés, ou en relief, anciennes barres de méandres. S'y ajoutent des unités construites, gravières, drains, routes, canal de l'Est branche Nord qui double la Meuse entre Sassey et Stenay et domine le fond alluvial de 2m au maximum.

La Meuse présente actuellement un tracé sinueux. La hauteur de ses berges varie (entre 40 cm et 2,50 m en été) selon la morphologie des micro-formes que le fleuve recoupe. Il en résulte une capacité du chenal à pleins bords, très variable (documents communiqués par la DDE Meuse), contenant moins de 200 m<sup>3</sup>/s dans la partie médiane du secteur. A l'amont et à l'aval, les aménagements ont contribué à agrandir les sections mouillées : vestiges d'un ancien chenal de navigation à l'amont, curage à l'aval atténuant l'effet du barrage de Stenay.

En phase de crue, le débordement précoce concerne les sections les plus petites, ainsi que celles dont les berges sont basses (fig 2 et 3). L'eau remplit les méandres abandonnés, proches du lit actuel, et se répand dans le fond alluvial en empruntant les anciens chenaux. Seules les crues les plus fortes déterminent une submersion généralisée. A la décrue, l'eau reste piégée dans les creux topographiques ; elle s'y infiltre ou s'en évapore.

Fig 3 : Profils en long de la Meuse du barrage de Sassey à celui de Stenay (données DDE)



### 3. Mesure des flux hydriques

La période d'observation, qui va de septembre 1996 à janvier 1999, comprend deux saisons de hautes eaux et deux saisons de basses eaux pendant lesquelles les débits moyens mensuels mesurés à la station de Stenay, située à l'extrémité aval du secteur d'étude, ne présentent pas d'excès particulier (fig 5). Les plus élevés n'ont dépassé  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  qu'en janvier 1998 ( $126 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et en novembre 1998 ( $122 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ; les plus faibles, inférieurs à  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  ont atteint les minima de  $7,26 \text{ m}^3/\text{s}$  en octobre 1996 et  $7,36 \text{ m}^3/\text{s}$  en août 1998.

Mais à l'échelle journalière (fig 6), cette période d'observation comprend quelques crues assez fortes pour que la Meuse déborde. La submersion du fond alluvial a été complète en mars 1997 ( $339 \text{ m}^3/\text{s}$  le 2 mars) et en novembre 1998 ( $287 \text{ m}^3/\text{s}$  le 7 novembre). Mais les submersions partielles, avec mise en eau des creux de la topographie ont été plus fréquentes puisqu'elles peuvent apparaître dès que le débit dépasse  $140 \text{ m}^3/\text{s}$  (fig 2 et 6).

Au cours de cette période, le niveau de la Meuse été suivi à l'échelle limnimétrique de Sassey, de manière à contrôler le flux d'eau entrant dans le système. Ces mesures tiennent compte de l'eau déviée par le canal rejoignant la Meuse à Stenay. Les flux transversaux ont été mesurés, en moyenne deux fois par mois, par un réseau de piézomètres implantés en travers de la vallée à la hauteur de Villefranche (fig 2). Dans le détail, ce réseau comprend un ancien puits en rive gauche de la Meuse (piézomètre 1), deux piézomètres à 3m de profondeur (piézomètre 3 et 4) en rive droite, ainsi qu'un piézomètre supplémentaire, implanté à 1 m de profondeur (piézomètre 4b) à coté du piézomètre 4. Ces mesures sont complétées par l'enregistrement des hauteurs d'eau précipitées (pluviographe installé sur le site). Enfin, la composition chimique de l'eau a été déterminée sur les échantillons prélevés dans la nappe et la Meuse au moment des mesures piézométriques. Parmi les éléments dosés, l'ion  $\text{Cl}^-$ , abondant dans l'eau du fleuve et absent dans celle des précipitations, a été retenu pour identifier les échanges entre la Meuse et la nappe, et déterminer ainsi le fonctionnement hydrodynamique du fond alluvial, en privilégiant l'étude de la partie comprise entre la Meuse et le canal.

### 4. Détermination du fonctionnement hydrodynamique du fond alluvial.

Les données collectées sur le terrain, cotes d'altitude absolue ou relative et teneur de l'eau en  $\text{mg/l Cl}^-$ , permettent de retrouver, mais également de nuancer, le schéma habituel des échanges entre cours d'eau et nappe alluviale : drainage estival et alimentation hivernale de la nappe par le cours d'eau (Castany, 1982).

Le rythme de ces échanges (Heiler et al. 1995) est déterminé par deux éléments. La Meuse d'une part, dont le niveau varie en quelques jours, voire en quelques heures, compte tenu de la vitesse d'écoulement de l'eau libre (de l'ordre de  $25$  à  $30 \text{ cm/s}$  dans ce secteur). Les caractéristiques de l'aquifère alluvial d'autre part, où l'écoulement lent de l'eau souterraine (de l'ordre de  $1000 \text{ m/an}$ ) modifie le niveau piézométrique à l'échelle de la saison ou de l'année.

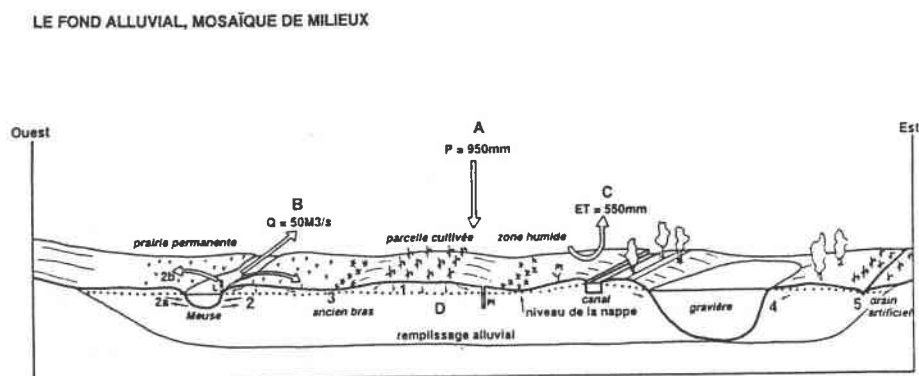
Dans le secteur d'étude, ce niveau piézométrique enregistre également les effets d'influences externes ; celle des apports de la nappe de versant en rive gauche, où le raccord des colluvions aux alluvions détermine un niveau d'eau souterraine « sur-gonflé » en période hivernale (piézomètre 1), celle du canal de l'Est, en rive droite de la Meuse, qui entraîne une surélévation de la nappe alluviale en toutes saisons, mesurée aux piézomètres 4 et 4b. Par rapport à ce dispositif transversal, le niveau de la Meuse apparaît le plus souvent déprimé.

Ce fond alluvial est coupé en deux par la route et le canal qui bloquent l'étalement des eaux de débordement de la Meuse vers l'Est. Ainsi, la partie orientale n'est submergée par l'eau de la nappe que lorsqu'elle affleure, par les apports des affluents, ou par la stagnation de l'eau des précipitations. Son évacuation y est facilitée par de nombreux drains artificiels.

Ce tronçon du fond alluvial de la Meuse comprend un couvert végétal composé pour un tiers par des cultures sur labours occupant les secteurs hauts de la topographie, situées dans la partie amont, un peu plus pentue, du fond alluvial (fig 2), en position d'interfluve entre la Meuse actuelle et « l'ancienne Meuse » ou sur les levées alluviales à l'arrière des berges. Tout le reste est occupé par des prairies de fauche ou pâturées. Les creux les plus humides comprennent des prairies dont les cortèges floristiques font l'objet d'un suivi détaillé dans le cadre de ce programme.

Ainsi, le fond alluvial présente une mosaïque d'unités (fig 4a) réparties dans l'espace selon la fréquence des submersions. Leur fonctionnement est rythmé par les entrées et sorties d'eau dans ce système, organisées selon des flux longitudinaux et transversaux (fig 4b).

Fig 4 : Composantes du fond alluvial



FLUX D'EAU DANS LE LIT MAJEUR

**ENTREES**

- 1 infiltration d'eau des précipitations
- 2 échanges d'eau entre la Meuse et la nappe phréatique
- 2a sous la surface
- 2b en surface, lors du débordement de la Meuse

**SORTIES**

- 3 zone humide au niveau des anciens bras
- 4 surface en eau des gravières
- 5 drainage artificiel des zones basses

appareils de mesure :

- PI : piézomètre
- PL : pluviographe
- L : limnigraphe

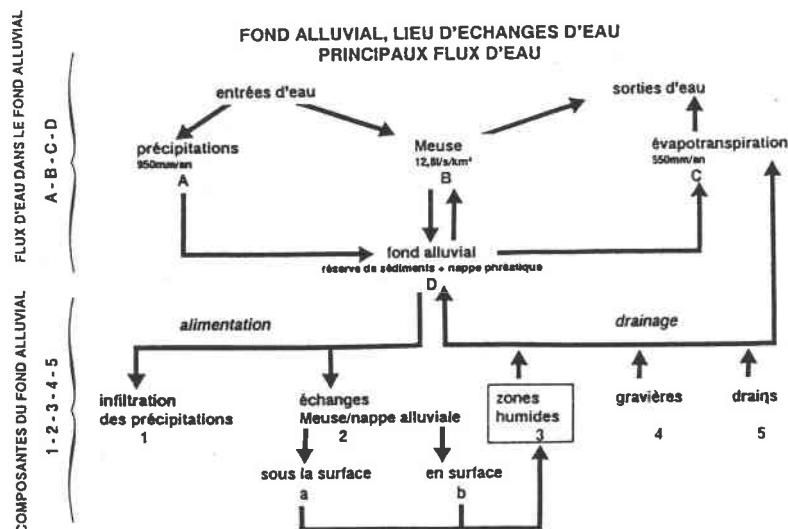


Fig 5 : Débit moyen mensuel à la station de Stenay en m<sup>3</sup>/s

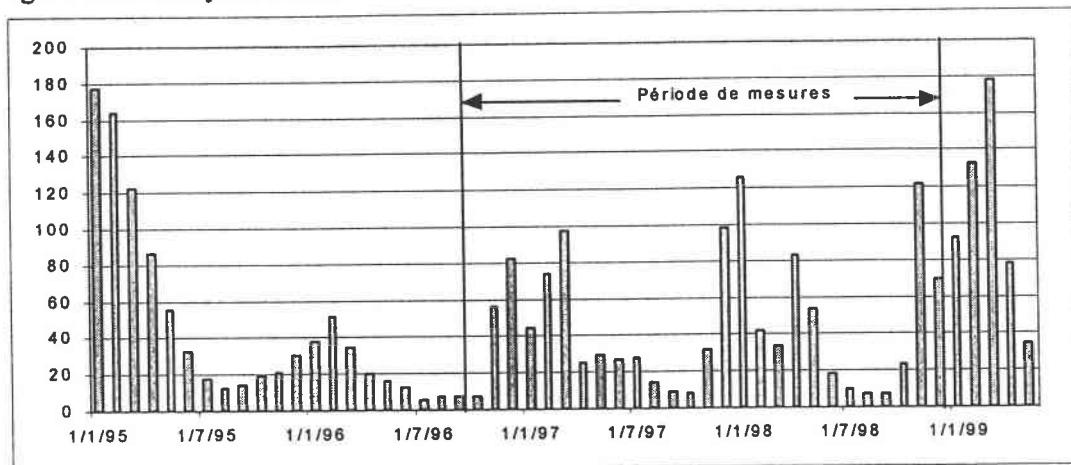


Fig 6 : Débits moyens journaliers de la Meuse au 1/8/1996 au 31/1/1999 (en m<sup>3</sup>/s)

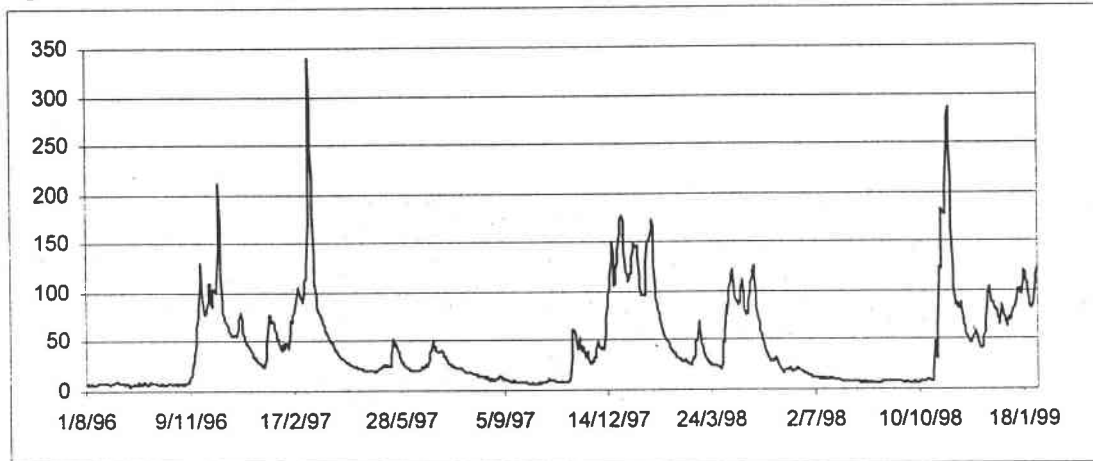
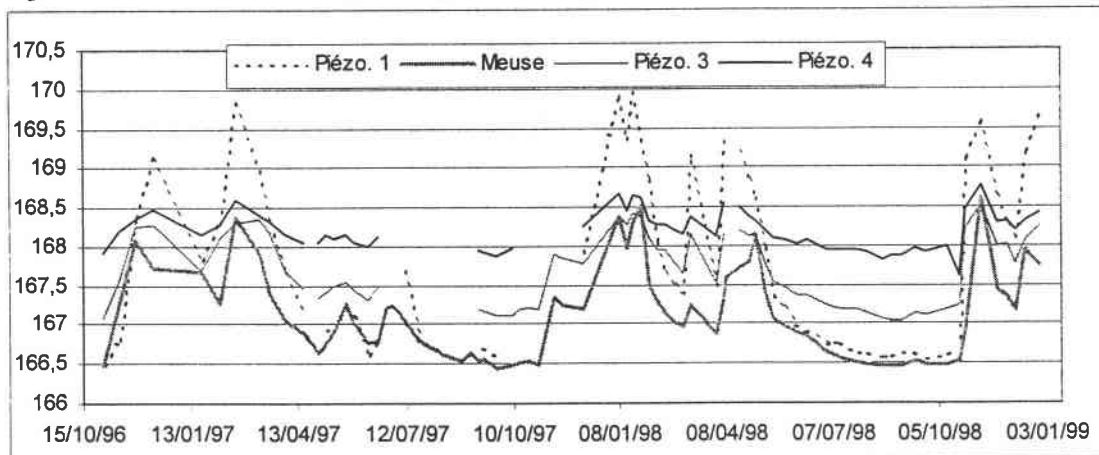


Fig 7 : Niveaux limnimétriques et piézométriques du 31/10/1996 au 28/12/1998 (cotes NGF)



#### a) Niveaux limnimétriques et piézométriques :

On identifie bien sur la figure 7, qui représente la chronique des données mesurées sur le terrain, la succession des saisons de hautes et des basses eaux. Le niveau de la Meuse, qui varie entre 166,5 et 168,6 m, dépassant la cote de débordement (de l'ordre de 168 m) à plusieurs reprises, est grossièrement suivi par la nappe. Mais la variation du niveau de la nappe (identique à 3m et à 1 m de profondeur) est d'amplitude inégale selon :

- l'emplacement des piézomètres (plus ou moins éloignés de la Meuse) et les influences externes qu'ils mesurent ; en rive gauche, amplitude exagérée au piézomètre 1, en rive droite, amplitude amortie au piézomètre 4,
- les saisons ; au piézomètre 3, le niveau proche de celui de la Meuse en hiver, reste suspendu de près de 50 cm au dessus du fleuve en été.
- les situations hydrologiques.

A titre d'exemple, les différents états mesurés apparaissent sur la figure 8, pour la période allant d'octobre 1996 à février 1997. Sur l'hydrogramme de la Meuse à la station de Stenay (fig 8a), sont pointées les dates des mesures piézométriques. La figure 8b représente pour ces dates, l'altitude des niveaux d'eau sur des profils transversaux, reliant les niveaux de la Meuse à ceux des piézomètres situés de part et d'autre. On constate ainsi qu'à la fin de l'étiage (situation au 31/10/96), la nappe au piézomètre 1 est au même niveau que la Meuse à 166,5 m (apports de versant à sec), dans les piézomètres 3 et 4, le niveau se relève en s'éloignant de la Meuse vers le canal (167 et 167,8 m environ). Ces écarts se réduisent en crue lorsque la Meuse est haute et la nappe relevée. Cet état se réalise sur un temps assez court puisque tous les niveaux se situent entre 168,1 et 168,3 m le 28/11/96. Entre ces deux extrêmes, les états intermédiaires sont déterminés moins par la nappe alluviale (son niveau se maintient entre 168 et 168,5m pendant toute la période), que par le fleuve, dont la cote se modifie plus rapidement. Le 20/2/97, tous les réservoirs sont saturés, et la nappe de versant remplie (niveau au piézomètre 1 anormalement élevé).

Ainsi, le niveau de la nappe semble fonctionner en harmonie avec celui de la Meuse. Le fleuve draine la nappe en étiage et l'alimente en hiver. Mais si ce schéma, très grossier, est en conformité avec la nature de l'aquifère (texture assez grossière des sédiments qui remplissent le fond alluvial), il est en contradiction avec ses autres caractéristiques : volume et vitesse d'écoulement. L'utilisation d'un traceur physico-chimique de l'eau permet de montrer, comme cela a été fait pour d'autres fonds alluviaux (Triska et al. 1993a et b, Vervier et Naiman 1992, Vervier et al. 1993 ; Dahm et al. 1998), que les échanges entre la Meuse et la nappe sont plus complexes.

#### b) Echanges d'eau entre Meuse et nappe :

Les critères utilisés pour suivre ces échanges sont :

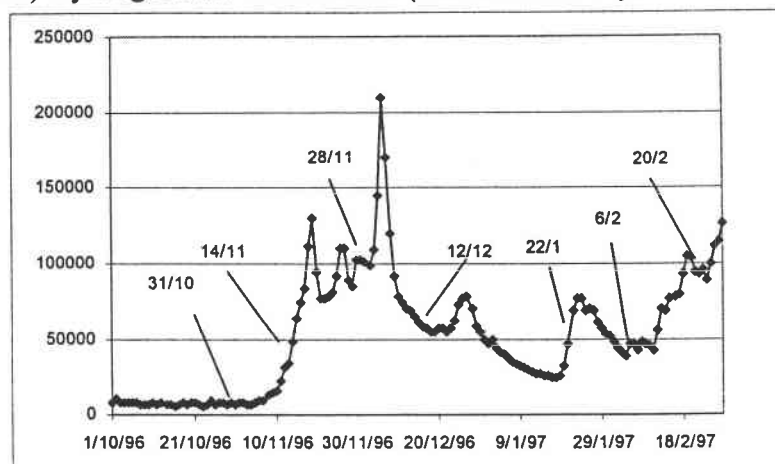
- la profondeur des niveaux d'eau qui permet d'identifier le moment des débordements de la Meuse et de tenir compte en outre du site des piézomètres, de l'épaisseur des matériaux qui surmontent la nappe selon la micro-topographie du fond alluvial.
- la teneur de l'eau en mg/l de chlorure, mesurée aux piézomètres 3, 4 et 4b.
- les hauteurs de précipitations mesurées entre deux relevés de terrain, qui seront utilisées au niveau le plus détaillé.

L'analyse des teneurs en chlorure et celle conjointe des niveaux d'eau montrent que les échanges entre la Meuse et la nappe, s'effectuent selon différents modes, déjà présentés précédemment (fig 4) et sur des pas de temps de durée variable : plusieurs années, plusieurs mois (saison), ou plusieurs semaines (événement hydro-climatologique) (Decamps 1993, Brunet et Astin 1998).

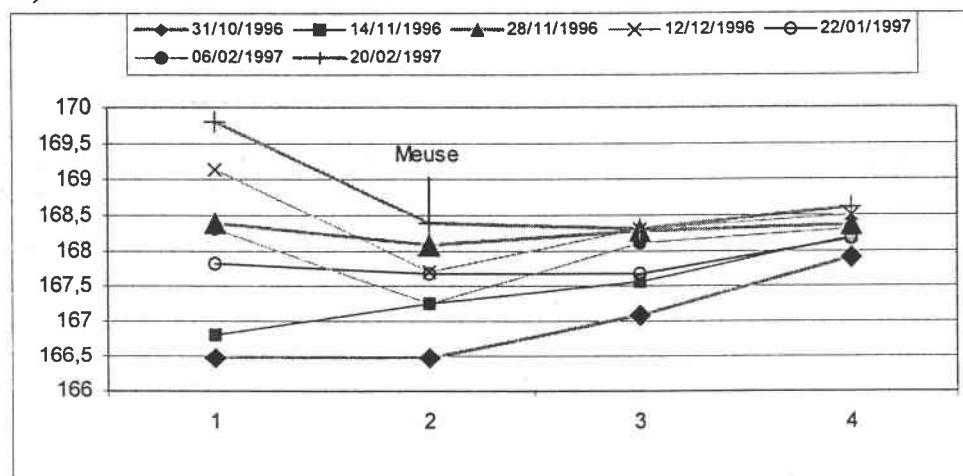


Fig 8 : Exemple de variation des niveaux d'eau sur la période octobre 1996 - février 1997

8a) Hydrogramme de la Meuse (station de Stenay, en l/s) et dates des mesures de terrain



9b) Niveaux d'eau dans le fond alluvial de la Meuse



- Les échanges pluri-annuels :

Sur la période d'étude (qui comprend une soixantaine de mesures), il existe une différence notable entre la teneur moyenne en chlorure de l'eau de la Meuse (14,4 mg/l) et celle de la nappe alluviale (inférieure à 10 mg/l, 7,4 mg/l au piézomètre 3, 8,5 mg/l au piézomètre 4 et 6,2 mg/l au piézomètre 4b à 1m de profondeur).

La différence des volumes d'eau contenus dans la Meuse et dans la nappe et des vitesses de circulation, (très rapide dans la Meuse et comparativement très lente dans la nappe), l'impact des précipitations agissant sur le volume d'eau écoulé par la Meuse et sur l'alimentation directe de la nappe, le rôle de l'évapotranspiration, contribuent à étaler la durée nécessaire aux échanges d'eau sous la surface et à faire de la nappe un stock d'eau à renouvellement lent. Ainsi constate-t-on que les teneurs en chlorures mesurées dans la nappe à la fin de l'étiage (tableau ci-dessous), ont peu de rapport avec celles de la Meuse et avec les niveaux d'eau : les valeurs élevées mesurées le 31/10/1996 sont influencées par l'étiage bien creusée de l'été précédent, et probablement aussi par l'hiver 1995/96 relativement sec (fig 5).

On en déduit un fonctionnement des échanges nappe-cours d'eau à l'échelle de plusieurs années qui intègre cependant des variations saisonnières tributaires des conditions hydro-climatologiques.

Teneurs en chlorure et niveaux d'eau à la fin de l'étiage :

	31/10/96	23/10/97	23/9/98
Meuse :mg/l Cl	19,4	17,5	18,8
Prof. niveau d'eau m	-1,53	-1,46	-1,53
Piézo 3 : mg/l Cl	8,7	8,1	5,9
Prof. niveau d'eau m	-1,45	-1,33	-1,42
Piézo. 4 : mg/l Cl	14	10,7	8,6
Prof. niveau d'eau m	-0,65	-0,57	-0,65
Piézo 4b : mg/l Cl	5,5	6,2	5,3
Prof. niveau d'eau m	-0,635	-0,57	-0,64

- Les échanges saisonniers :

La comparaison de la variation du niveau d'eau avec celle des teneurs en Cl<sup>-</sup> se rapporte à la Meuse et à la nappe dont les caractéristiques sont mesurées aux piézomètres 3 et 4 implantés à 3m de profondeur (fig 9).

- La Meuse :

En s'abaissant (jusqu'à -1,50m), son niveau entraîne une concentration des chlorures et en se relevant (jusqu'à +0,50m) leur dilution. Ce rythme saisonnier « classique » (Sanchez-Perez 1992) montre cependant des variantes. A la fin de la saison de basses eaux lorsque le niveau de la Meuse remonte, les teneurs en Cl<sup>-</sup> ne diminuent qu'après l'évacuation de l'eau estivale, stockée, non pas dans la nappe (dont la teneur est plus faible), mais dans le chenal. A l'automne 1996, elles restent proche de 20 mg/l pendant tout le mois de novembre.

- Piézomètre 3 :

Les teneurs en Cl<sup>-</sup>, aux fluctuations très amorties, indiquent qu'il n'existe pas d'échanges directs avec la Meuse, malgré les variations similaires du niveau d'eau. Celles-ci sont influencées par les conditions hydrauliques :

- en hautes eaux (hiver 1997/98), effet de barrage hydraulique du fleuve, à l'arrière duquel le niveau de la nappe, soutenu par l'infiltration des précipitations (on note une légère dilution des teneurs), se relève ;
- en basses eaux, relâchement de l'effet de barrage, arrêt des apports climatiques et prélèvements évapo-transpiratoires.

Mais des variations plus rapides des teneurs en chlorures sont mesurées en fin de saison estivale, après les premiers relèvements de niveaux. Elles peuvent être attribuées, comme en novembre 1998, à l'infiltration depuis la surface, de l'eau de débordement de la Meuse qui enrichit en chlorure l'eau de nappe et entraîne une remontée des teneurs.

- Piézomètre 4 :

Plus éloigné de la Meuse, sa situation dans un léger creux topographique, associée à la proximité du canal, explique la moindre profondeur du niveau de l'eau et l'amplitude réduite du battement piézométrique. On y discerne en hiver, l'effet de l'infiltration de l'eau des précipitations, et en été celui des prélèvements évapo-transpiratoires. Les variations inversées qui caractérisent les teneurs en chlorures, traduisent un phénomène de dilution/concentration responsable de fluctuations saisonnières plus appuyées qu'au piézomètre 3, où le niveau de l'eau est plus profond.

Finalement, ces fluctuations saisonnières démontrent que la nappe alluviale n'est qu'indirectement tributaire du fleuve. Son fonctionnement est d'abord soumis aux facteurs du climat qui conditionnent en même temps le comportement de la Meuse. Les saisons s'avèrent trop courtes pour que de véritables échanges d'eau puissent être perçus à cette échelle de temps.

Fig 9 : Echanges saisonniers d'eau :

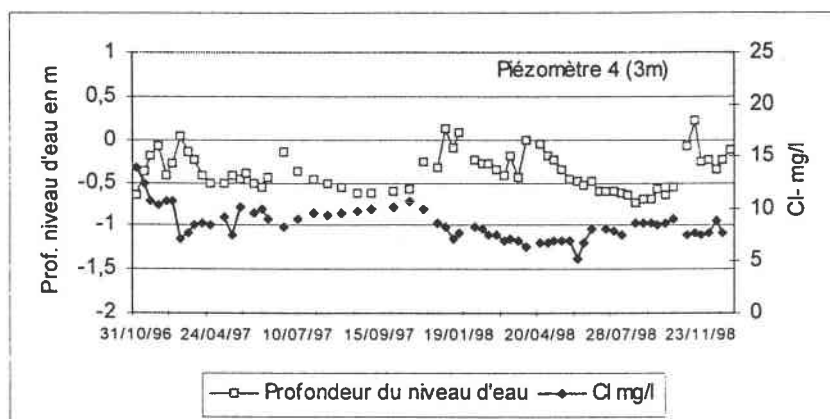
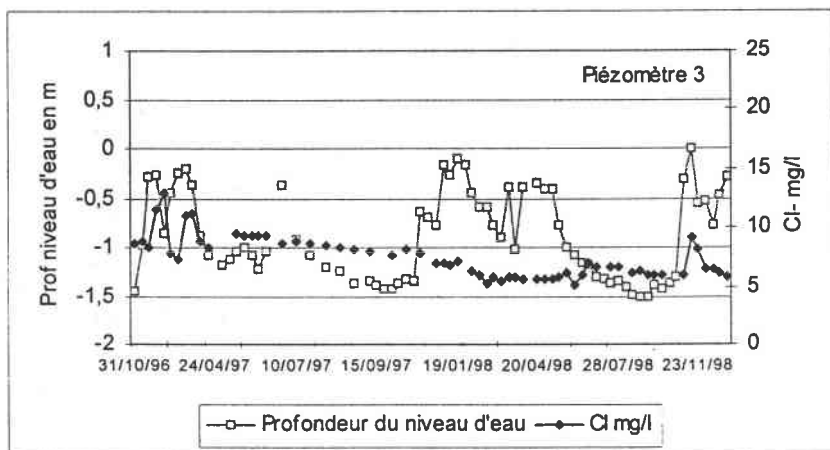
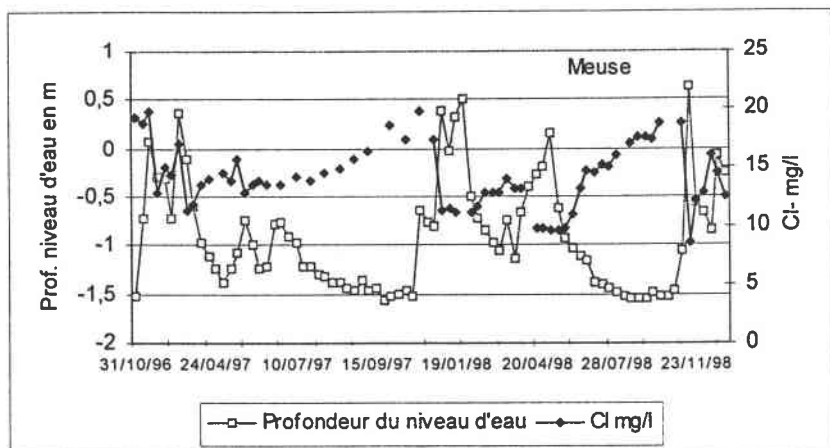
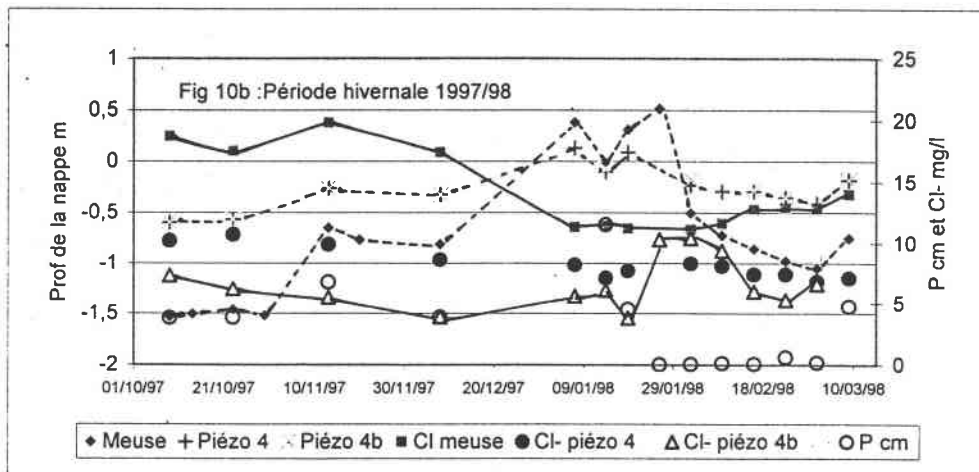
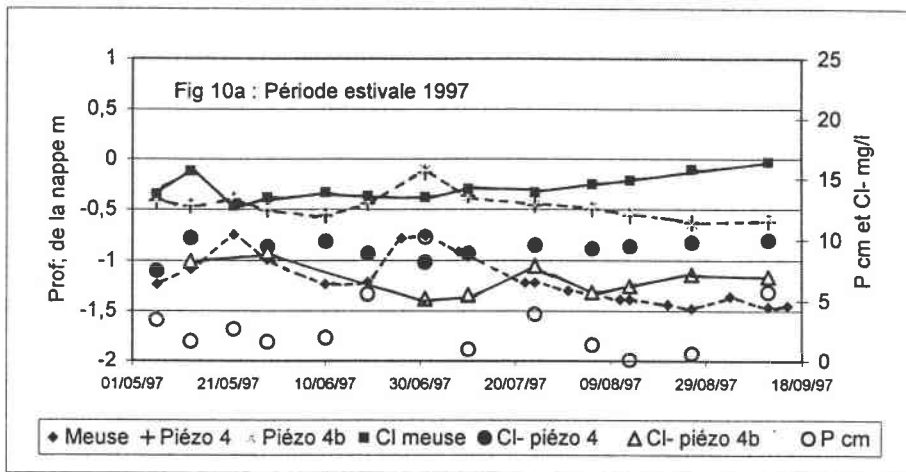




Fig 10 : Influence des précipitations et de l'eau de débordement de la Meuse sur la teneur en chlorures de la nappe à 1m (piézomètre 4b) et à 3m (piézomètre 4) de profondeur.



La Meuse est cependant à l'origine de la présence des chlorures qui ne parviennent dans la nappe qu'au bout d'un temps plus long, pluri-annuel.

Mais d'autres échanges existent, en particulier entre les tranches d'eau moins profondes (à 1m) et plus profondes (à 3m). Ils sont identifiables sur un pas de temps encore plus court.

- Les échanges d'eau à l'échelle de l'événement hydro-climatologique.

A cette échelle et à 1m de profondeur (piézomètre 4b), on saisit plus clairement l'influence des flux d'eau verticaux sur l'alimentation de la nappe.

L'eau provient de la part infiltrée des précipitations qui explique les teneurs en chlorures globalement plus faibles dans la nappe à 1m de profondeur. La dilution est enregistrée au moment de périodes pluvieuses comme celle de juin-juillet 1997 (fig 10a).

Mais une partie des apports de surface provient également de la Meuse, en période de débordement. Il en résulte alors une montée des teneurs en chlorures dans la nappe après un court temps d'infiltration (comme en janvier 1998, fig 10b).

A 3m de profondeur, ces variations qui sont amorties, indiquent que sur la même durée, l'eau souterraine d'abord stratifiée, ne se mélange qu'après un temps plus long.

Finalement, les échanges d'eau dans le fond alluvial s'effectuent :

- entre la Meuse et la nappe ; par voie souterraine, ces échanges sont lents mais continus, par voie de surface, ils sont plus rapides, mais intermittents, au moment de la submersion du fond alluvial.
- Entre les précipitations et la nappe ; ils sont rythmés par les apports saisonniers lorsque le bilan hydrique est positif (surtout en hiver) et à un pas de temps plus court, par les apports aléatoires lorsque les précipitations sont particulièrement abondantes
- A l'intérieur même de la nappe entre les lames proches et plus éloignées de la surface.

L'analyse des échanges d'eau révèle un fonctionnement plus complexe que celui des niveaux limnimétriques et piézométrique. Les flux longitudinaux (ou horizontaux) et verticaux qui y participent sont commandés par les conditions hydrologiques et climatiques sur des temps longs ou plus courts.

Conclusion :

Nos résultats démontrent le caractère hétérogène de la nappe lié d'abord à la nature même de l'aquifère. Dans le temps et dans l'espace, les modalités de son fonctionnement hydrodynamique ont été schématisées à partir des données collectées sur le terrain. Elles dépendent donc des choix effectués, quant à la localisation des piézomètres et la fréquence des mesures. Cependant, la connaissance, par ailleurs, des caractéristiques hydrogéomorphologiques de ce fond alluvial et des conditions hydroclimatologiques, autorise des tentatives de transposition des schémas obtenus à d'autres de ses secteurs et à d'autres périodes. Ainsi, sera-t-il possible de dresser de proche en proche un bilan plus général du fonctionnement du fond alluvial de la Meuse.

Remerciements :

Nous remercions A. Giansante (Professeur invité, Université de Sao Paolo) pour la définition des débits à pleins bords de la Meuse, C. Palz (étudiante en maîtrise) pour avoir rassemblé la plupart des données hydroclimatologiques se rapportant à la Meuse et D. Meddahi (Ingénieur d'études au CEGUM) pour la réalisation des croquis.

## Références :

- AMOROS G. & PETTS G.E.** 1993. Hydrosystèmes fluviaux. Coll Ecologie, Masson, Paris. 300pp.
- BAYLEY P.P.B.** 1991. The flood-pulse advantage and the restoration of river-floodplain systems. *Regulated Rivers*, **6**, 9 75-86.
- BRUNET R.C. & ASTIN K.B.** 1998. Variation in phosphorus flux during a hydrological season : the river Adour. *Water Research*, **32**(3), 547-558.
- CASTANY G.** 1982. Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod, Paris, 236pp.
- DAHM C.N., GRIMM N.B., MARMONIER P., VALETT H.M. & VERVIER P.** 1998. Nutrient dynamics at the interface between surface waters and groundwaters. *Freshwater Biology*, **40**, 427-451.
- DECAMPS H.** 1993. River margins and environmental change. *Ecological Applications*, **3**(3), 441-445.
- HARMAND D.** 1992. Histoire de la vallée de la Meuse lorraine. Presse universitaire de Nancy, 146pp.
- HEILER G., HEIL T., SCHIEMER F. & BORNETTE G.** 1995. Hydrological connectivity and flood pulses as the central aspects for the integrity of a river-floodplain system. Rulated rivers, *Research and Management*, **11**, 351-361.
- KREBS L., CORBONNOIS J. & MULLER S.** (sous presse). Impact of hydrological fluctuations on shallow groundwater hydrochemistry under two alluvial meadows. Colloque « Les systèmes fluviaux anthropisés ». Paris, Mars 1998. Accepté pour publication dans *Hydrobiologia*.
- LEFEBVRE D., HEIM J., GILOT E. & MOUTHON J.** 1993. Evolution des environnements sédimentaires et biologiques à l'Holocène dans la plaine alluviale de la Meuse (Ardennes, France). *Quaternaire*, **4**(1), 17-30.
- MENTRE-HILDEBRANDT A.** 1986. Contribution à l'étude des phénomènes hydro-climatiques, le cas du bassin lorrain de la Meuse. *Thèse de doctorat*, Univ. Nancy, 379pp.
- MULLER S.**, 1996 . Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes prairiaux inondables des vallées alluviales dans le Nord-Est de la France. Application à leur gestion conservatoire et restauration. Programme National de Recherche sur les zones humides.
- PIERY J.L.** 1988. Dynamique fluviale historique de l'Arve dans le bassin de Cluses (Haute Savoie). 112<sup>e</sup> Congrès Soc. Sav., Lyon. Comité des travaux hist. et Scient., 95-108.
- PUPIER N.** 1994. Etude des impacts de deux types d'actions anthropiques sur la nappe alluviale de l'Isère en amont de Grenoble. *Revue de Géographie alpine* (2).
- SÁNCHEZ-PÉREZ J.M.** 1992. Fonctionnement hydrochimique d'un écosystème forestier inondable de la plaine du Rhin. La forêt alluviale du secteur de l'île de Rhinau en Alsace (France). *Thèse de Doctorat*, Univ. Strasbourg I, 176 pp.
- TRISKA F.J., DUFF J.H. & AVANZINO R.J.** 1993a. The role of water exchange between a stream channel and its hyporheic zone in nitrogen cycling at the terrestrial-aquatic interface. *Hydrobiologia*, **251**, 167-184.
- TRISKA F.J., DUFF J.H. & AVANZINO R.J.** 1993b. Patterns of hydrological exchange and nutrient transformation in the hyporheic zone of a gravel-bottom stream: examining terrestrial - aquatic linkages. *Freshwater Biology*, **29**, 259-274.
- VERVIER P. & NAIMAN R.J.** 1992. Spatial and temporal fluctuations of dissolved organic carbon in subsurface flow of the Stillaguamish River (Washington, USA). *Archiv für Hydrobiologie*, **123**, 401-412.
- VERVIER P, DOBSON M. & PINAY G.** 1993. Role of interaction zones between surface and ground waters in DOC transport and processing : considerations for river restoration. *Freshwater Biology*, **29**, 275-284.

**Relative impact of flood regimes and groundwater table fluctuations on species composition of plant communities in flood plain meadows.**

**Grévillicot, Frédérique<sup>1</sup>, Krebs, Laurence<sup>1</sup>, Corbonnois, Jeanine<sup>2</sup> & Muller, Serge<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Laboratoire de phytoécologie, Centre de Recherches Ecologiques  
Université de Metz, Campus de Bridoux, rue du Général Delestraint, 57070 Metz, France;

<sup>2</sup> Laboratoire de géographie physique, Centre d'Etudes Géographiques  
Université de Metz, Ile du Saulcy, F-57045 Metz cedex 01, France;  
Fax: +3 - 87 - 31 - 53 - 33 E-mail: phyto@hermes.univ-metz.fr

**Abstract.** The meadow vegetation of flood plains is structured along a hydrological gradient determined by flood plain microtopography. This relationship involves two elements, the duration of floods and the variable depths of the groundwater table. In winter, the floods select water-flow adapted species during their rest period whereas water table level influences species throughout the vegetation period with regard to their tolerance towards anoxia or water stress. We demonstrated the great sensitivity and indicative value of some plant species in regard to water management by following the different water fluctuations (flood duration and water table depth) in 4 plant communities and in two different hydrological sectors of the Meuse. Thus, a variation in groundwater level fluctuation or flood duration determine the same precise floristic changes within the different flood plain communities.

**Key words:** Meuse valley; France; Water regime ; Species adaptation.

**Nomenclature:** Lambinon et al. (1992).

## **Introduction**

The relationships between vegetation composition and water fluctuations are poorly understood in river wetlands due to the operation of many ecologically relevant factors including geomorphology, hydrology, chemistry and microclimate (Denny, 1993). Soil moisture level depends on many factors such as; (1) the alluvium type and physical texture of soil (Amoros et al. 1988), (2) variations in groundwater table (Amoros et al. 1988; Brinson 1993; Henry & Amoros 1995a), (3) the frequency, duration, and height of floods (Bournérias et al. 1978; Admiraal et al. 1993; Auble et al. 1994), (4) the microtopographical soil patterns (Henry et al. 1994; Gréville & Muller 1995a), and (5) the river water level and its dynamic (Henry & Amoros 1995b).

The relationship between vegetation and water level fluctuations has been studied in many alluvial plains of France (Carbiener 1969; Pautou 1975; Magnanon 1991) and other countries, such as Germany (Dierssen 1989), the United States (Bernard et al. 1990; Tiner 1993), England (Denny 1993), and the Netherlands (Grootjans & ten Klooster 1980; Barendregt et al. 1986). In the Netherlands many authors (Smeets et al 1980; Grootjans 1985; van Diggelen et al. 1994; van Diggelen et al 1995; Grootjans et al. 1996a) had to explain why, in wetlands, drastic changes in species composition occurred after only minor changes in local hydrology. They pointed out the great need for baseline data in little disturbed semi-natural ecosystems.

Flood plain vegetation is structured according to a hydrological gradient which is essentially determined by different relative heights above the mean river level (Duvigneaud 1986; Frileux et al. 1989). However this relationship involves two elements (Carbiener 1969; Pautou 1975; Everts et al. 1989): (1) the duration of floods as a result of a flood or a rise in groundwater and (2) the variation of the depth of groundwater table during the vegetation period.

The aim of this study is to investigate the level of correlations between the water regime ( respective influence of flood duration and water table fluctuations) and the plant composition of semi-natural flood meadows. We aimed to point out the sensitivity of some plant species to the modification of one of the hydrological parameters and to assess their indicator value.

To study the close relationship between species repartition along the topographical gradient and water management fluctuations, we have selected two alluvial segments possessing different hydrodynamic functioning (called "sectors" according to the definition of Amoros & Petts 1993) in the Meuse valley.

In one of the sectors, the river course runs on Callovian clays. The impermeable substratum confines the groundwater table within recent alluvium and its fluctuations are weak. In the second sector, the course of the Meuse runs on an upper Bathonian calcareous bed. The permeable and karstic nature of the substratum allows the groundwater table to vary and its fluctuations are strong.

## **Material and methods**

### *Study areas*

The Meuse rises in the Plateau de Langres and flows into the North Sea 900 km downstream. In its

Lorraine section, it drains a long and narrow basin in a SSE/NNW direction. This basin, like the whole of Lorraine, is subject to an oceanic climate with a continental influence (Harmand 1992). The mean flow-rate of the Meuse at the Stenay site is  $46.5 \text{ m}^3/\text{s}$  (watershed area:  $3904 \text{ km}^2$ ) and varies greatly according to the season. Two main hydrological periods can be distinguished: a low-water period during the summer months when the flow-rate is barely supported by the hydrogeological contribution of the substratum, and a high-water period from December to March with a mean daily flow-rate which exceeds  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ . During this high-water period an average of 63 days of significant flooding has been calculated.

The study was conducted in two alluvial meadows, 10 kms apart, located downstream of the town of Verdun just beyond the Ardennes (Fig. 1).

#### The Mouzay area on Woëvre clay

In this sector the Meuse follows a meandering course with many abandoned loops. The valley is followed by the "Meuse to Rhine" Canal which greatly regulates the water fluctuations in the floodplain. The high water bed, which is 3 km wide and flat, consists of 18 m thick quaternary alluvium consisting of calcareous gravel, itself covered by about sixty centimetres of silt. It contains a water table which is separated from deeper layers (aquifers) by the Callovian clays (Fig. 1). This sector is frequently flooded in winter and spring. Floodwaters from the driest areas can subside quickly through the former channels and artificial drains which are connected during the floods (Montagne 1995). In the wettest area the water can stagnate longer as the net of channels can be disconnected from the river course. The strong hydromorphy of the sediments indicates that the groundwater table is often near the soil surface. It is maintained very close to the soil surface by the callovian clays.

#### The Luzy Saint Martin area on upper Bathonian chalk

The Meuse course runs on upper Bathonian chalk and is lined with alluvium from 5 to 6 metres thick (Fig. 1). It has, in this area, a more rectilinear layout and drains a narrower valley (from 500 to 800 m) than in the Mouzay area. The permeable and sometimes karstic nature of the substratum (Mentre-Hildebrand 1986) permits direct contact of the groundwater table with the calcareous water of the aquifers. The groundwater table fluctuations are larger and the surface silt hydromorphy is less pronounced. However, during floods of the Meuse, submersion of the wettest communities (*GOF* see next part) is prolonged because there are almost no drainage channels and the alluvial terraces which raise the banks of the Meuse delay the draining of floodwater. But, the chalky substrate allows a rapid drop of the ground water when the Meuse is below the flood plain level.

#### *Plant communities*

The Meuse flood plain holds a sequence of plant communities along a topographical gradient that reflects the duration of floods and the groundwater levels (Gréville & Muller 1995a; Gréville 1996). There is a zonation of three main wet grassland communities along the topographical gradient from wettest to the driest community. In this work the water regime will only be described for two of them (Table 1):

The *Gratiolo-Oenanthetum fistulosae* (*GOF*), the most frequently and longest flooded community, colonizes the lower areas of the plain (small ditches and marshy meadows). It is regularly submerged for more

than 4-5 months and its sub-association *eleocharetosum palustris* (*GOF3*) is affected by frequent groundwater rises in summer after strong rain storms. Three sub-associations have been distinguished, but only one is a true meadow grassland type: *GOF1* (*oenanthesum mediae*), described by other authors in the flood plains of the Loire (de Foucault 1984) and the Saône (Trivaudéy 1989 and 1995). This sub-association is characterized by the maintenance of some mesophilic and mesohydrophilic meadow species mixed with many helophytes. The two other sub-associations, *GOF2* (*typicum*) and *GOF3*, are transitional with sedge and sub-aquatic communities. The number of meadow species decreases and helophytes become dominant.

The *Senecioni-Oenanthesum mediae* (*SOM*), which is less frequently flooded and for shorter periods than *GOF*, covers large areas at an intermediate topographical level (Bournérias et al. 1978). Like the previous grassland type, it is a meadow community dominated by grasses, but it is the mesohydrophilic and mesophilic species which particularly characterize this intermediate grassland type. Three sub-associations have been distinguished, *SOM3* (*myosotetosum*, in contact with *GOF*), *SOM2* (*typicum*) and *SOM1* (*colchicetosum*), at a higher level.

The driest community *Colchico-Festucetum pratensis* (*CFP*), which is almost never flooded and then only for short periods and whose water table is frequently below 1 m, is omitted from this study.

#### *Monitoring of floods and groundwater table level*

Twenty five "flood and water table level" test stations located in different plant communities were monitored during winter 1994/95 in the Luzy and Mouzay areas.

A network of 25 piezometers was set up in the meadows in 1994. The piezometers were installed with regard to the vegetation types and a groundwater table depth not exceeding 80 cm during spring (April 1994). Since the water table level is lower than 80 cm from spring, the *CFP* and *SOM1* stations were avoided. The community *GOF3* was omitted from our study due to its rarity. So, in this study, only the *SOM2*, *SOM3*, *GOF1* and *GOF2* communities were monitored. Observations of the water level were made every fifteen days, for one year from May 1994. Three measurements are missing, end-July and August when the water table was too low in the *SOM2* to be evaluated (below 120cm).

Only the water fluctuation data collected in the Mouzay area (17) have been transformed into cumulative frequency diagrams ("duration lines", Grootjans & ten Klooster 1980). Thus, 3 piezometers were installed in the *GOF2*, 4 in the *GOF1*, 6 in the *SOM3* and 4 in the *SOM2*. A duration line represents an approximation of the period that a certain groundwater level is exceeded (Grootjans 1985). It does not take into account the real succession of water fluctuations over time but the global water regime during the year. The standard error was calculated for each measurement. To test whether or not the duration lines are different a Kruskal-Wallis test was used.

#### *Floristic comparison the plant communities in the Luzy and Mouzay areas*

47 phytosociological "relevés" of the two areas were compared in order to analyse the different impacts of the hydrology on the floristic composition of homologous communities. These were carried out on areas of approximately 30 m<sup>2</sup>, taking care to show all the variations of humidity level using the transects method. The

species were given an estimated abundance-dominance value (from + to 5 following the Braun-Blanquet scale described in Guinochet 1973). A Factorial Correspondence Analysis (F.C.A.), using the XLSTAT 4.0 programme (Copyright Dr T. Fahmy 1995/99), was carried out on the relevés to establish a classification of the relevés of vegetation with regards to their plant compositions (Guinochet 1973).

## Results

### *Characterisation of the water regimes for the 4 studied communities*

The Kruskal-Wallis test carried out on the basis of the mean water measurements for each sub-association shows the existence of significant differences between the 4 water regimes.

The duration lines of the 4 studied sub-associations are presented on Fig. 2 and will be compared two by two (following the moisture level):

#### *GOF2 and GOF1:*

The two sub-associations belong to the same association (*GOF*); they differ mainly in the level and duration of floods. These last 5 months on average for *GOF1* and between 6 and 8 months for *GOF2*. There appears to be no significant difference in the lowest groundwater levels (see error bars).

#### *GOF1 and SOM3:*

The two sub-associations belong to two different plant associations (*SOM* and *GOF*); they differ principally in the duration of floods, which last 3-4 months on average for *SOM3* and 5 months for *GOF1*. For the *GOF1* community, the water level is closer to the surface for longer periods in spring, early summer and autumn. There are no significant differences for the lowest and highest levels of water.

#### *SOM3 and SOM2:*

The two sub-associations belong to the same association (*SOM*). The two types differ mainly in the lowest groundwater level which is about -100 cm for *SOM2* and -70 cm for *SOM1*.

### *Hydrologic regime of the two river sectors*

#### Floods

In spite of the same zonation in the communities along the flooding gradient Fig. 3 shows the different hydrologic regimes (duration and height of the floods) of the two sectors. Thus for each community the flood level on April 5, 1995 was higher in the Luzy meadows than in those of Mouzay. In contrast, the floodwater receded completely at Luzy on April 26 whereas the water level increased slightly at Mouzay because of abundant rainfalls occurring in the meantime. Below a given water level of the Meuse, the calcareous system groundwater table / subterranean water table of the Luzy alluvial meadow allows a rapid absorption of floodwater. This is drained by the Meuse whose level fluctuates with the precipitation level. On the contrary in the Mouzay area, the alluvial clay substratum and the constant level of the canal cause the stagnation of water for longer periods. This phenomenon is also favoured by the stagnation of water in the floodwater channels, which are disconnected when the amount of water in the alluvial plain is reduced.



## Water table

In the Woëvre clay (Mouzay sector), for the *SOM3* and *GOF* sites, the water table was less than 1 m from the soil surface almost throughout the summer of 1994 (see Fig. 2 duration lines). On the upper Bathonian chalk (Luzy sector) the water table level was lower for the same communities. It fluctuated very quickly and dropped below 1 m faster than at Mouzay.

Fig. 4 depicts the different hydrological regimes of the two sectors. From 26 October to 8 December 1994, the water table level is deeper at Luzy than at Mouzay. It was only from 22 December, when the groundwater system was refilled, that the water level rose higher at Luzy (vegetation of *GOF1* in Mouzay is almost not flooded).

Fig. 5 shows better the boundaries between rainfall and water table levels at both the Luzy and Mouzay sites for *GOF1*. From 26 May to 14 June 1994 when the rainfall was high enough (43 mm), the level of the groundwater table under the Luzy *GOF1* is exactly/almost? the same as at Mouzay. After 15 days without rainfall, the level of the Luzy water table went down suddenly, whilst the drop was small at Mouzay.

In conclusion flood events began faster at Luzy and lasted longer at Mouzay. Flood height is higher in the Luzy area, whereas the ground water table is deeper.

## *Influence of hydrology on floristic composition of plant communities*

The different hydrological regimes act on the modification of the species composition from the *SOM2* to the *GOF2* communities (Table 1). Poor floristic difference is found between the *SOM2* and *SOM3* sub-associations. Only some hygrophilic species (e.g. *Myosotis scorpioides*, *Iris pseudacorus*, *Mentha aquatica*) grow in *SOM3* benefiting from the longer presence of the water table in the rhizosphere. Compared to *SOM3*, *GOF1* is characterised by the presence of less mesophilic species (*Arrhenatherum elatius*, *Crepis biennis*, *Phleum pratense*, *Ranunculus acris*) and the development of helophytes (*Glyceria fluitans*, *Equisetum fluviatile*, *Rumex hydrolapathum*). These floristic differences mainly express the longer duration of floods and the location of water closer to the soil surface in case of *GOF1*. *GOF2* and *GOF1* differ principally by the disappearance of some mesophilic species (*Festuca pratensis*, *Lotus corniculatus*, *Lathyrus pratensis*, *Alopecurus pratensis*) and the development of a wide number of helophytes (*Alisma plantago-aquatica*, *Rorippa amphibia*, *Stachys palustris*) in *GOF2*. These differences are mainly due to the longer stagnation of water in the *GOF2* sub-association.

The comparison of the two sectors allowed us to show the great sensitivity of some plant species to the water regime. Despite the fact that the plant communities studied in the two sectors belong to the same phytosociological units, a Factorial Correspondence Analysis (Fig. 6) of the Luzy communities is not exactly the same as that of Mouzay. The relevés taken in the Mouzay and Luzy areas follow each other along the axis 1 which expresses the moisture gradient but are separated in two clusters along axis 2. Thus the Mouzay relevés are clearly distinguished from those of Luzy by some species such as *Iris pseudacorus*, *Carex panicea*, *Carex vulpina*, *Equisetum fluviatile* and *Phragmites australis*. Other species determine the location of the Luzy relevés e.g. *Gratiola officinalis*, *Alopecurus geniculatus*, *Leontodon autumnalis*, *Silaum silaus*. The floristic differences between the two alluvial sectors are determined by the action of the floods and the fluctuations of the water table

level on some specific species. The specific floristic compositions of *GOF1*, *SOM3* and *SOM2* and *SOM1* clearly show differences between the two studied areas, even if these are less marked for *SOM2*.

## Discussion

The water regime of a flood plain appears to have a strong effect on the plant communities. It acts directly or indirectly on plant composition through two parameters: the moisture level of soil and its trophic status (Grévilliot et al., 1998). Moisture gradient is correlated with other environmental factors such as (1) frequency and duration of floods, (2) availability of water during summer, (3) soil aeration, (4) availability of nutrients.

In the Meuse valley, the impact of water regime on wetland vegetation is expressed in two ways, (1) the general flood and drought events (respectively in winter and summer) acting on the whole flood plain, (2) more local behaviour of the water level fluctuations due to geological and hydrological differences between two alluvial sectors. General flood and drought events act on the structure of plant communities and plant species along the topographical gradient whereas the smaller water fluctuations observed between the two alluvial segments influence more subtle plant changes.

It has long been recognised (Duvigneaud 1958; Géhu 1961; Lericq 1965) that the vegetation of alluvial meadows is structured according to a gradient of flood duration. In so much as alluvial meadow species are adapted to regular disturbances like floods (Tiner 1991; Henry et al. 1994), this factor influences the variation of the "global" floristic composition (compared to non-flooded meadows). Floods can play an important part in determining plant distribution. In the Morava flood plain, as in the Meuse, it has been shown (Banasova et al. 1994; Grévilliot 1996) that some species do not tolerate high and long-term flooding (e.g. *Lathyrus pratensis*, *Carex hirta*), others (e.g. *Gratiola officinalis*, *Inula britannica* and *Potentilla reptans*) survive long-term flooding and an unstable water regime. It is clear now that alluvial plain species are also subject to the influence of water table level (van Diggelen et al. 1991; Auble et al. 1994). It is the tolerance or the sensitivity of one or more species towards these two factors which could partly determine the floristic composition of these meadows. Thus, some species are more tolerant to floods and others to soil saturation in water. The floods represent an initial selective factor for plant species differing in their tolerance of prolonged flooding. This factor intervenes usually only in winter during the dormant period of the vegetation. The fluctuations of the water table level have a more subtle impact on vegetation composition. Denny (1993) indicates that small fluctuations of the water table level (2 cm) can induce a modification of the flora. In this study, it has been demonstrated that in the Meuse flood plain a difference of 10 or 20 cm in the water table depth can strongly influence the modification of the floristic composition (see floristic differences between plant communities). This factor selects plant species throughout the vegetative period (from spring to autumn) for tolerance towards water and anoxic stress. This is why the fluctuations of the water table level tend rather to influence the floristic composition of:

(1) the raised zones (*SOM1* and *CFP*) where the level of the water table falls below 1 m in summertime. This determines the expression of a mesoxerophilic flora (*Bromus erectus*, *Ranunculus bulbosus*, *Salvia pratensis*, *Sanguisorba minor*, *Leucanthemum vulgare*, *Primula veris*) well adapted to water stress. Thus a low level influences the presence or absence of species more or less tolerant towards a prolonged drought. Denny (1993)

points out that a stress lasting a few days can determine the absence of some species, such as for example *Eleocharis palustris*, *Caltha palustris* and *Carex disticha* which are missing from the *SOM1* in comparison to the *SOM2* and 3.

(2) the lower zones (*GOF1* and *SOM3*) where the level of the water table can stay near the ground surface for a long period of the year and influence the expansion of helophytes and hygrophilic species like *Glyceria maxima*, *Carex acuta*, *Oenanthe fistulosa*, *Mentha aquatica* which are well adapted to anoxic conditions. The high level of water table selects species through their degree of tolerance to the duration of asphyxia of their root systems (Pautou 1975; Armstrong 1979). The prolonged anaerobic conditions have a restrictive effect on vegetation (Tiner 1993; Engelaar et al. 1995). Some flood plain species are better adapted than others to waterlogged soils. For example the presence of aerenchyma in the adventitious roots of numerous wetland plants (Justin & Armstrong 1987; Laan et al. 1989a) favours the conservation of an oxygen pool in the rhizosphere which allows nitrification (Laan et al. 1989b; Both et al. 1992). Thus, *Glyceria maxima* seems to be particularly well adapted to waterlogged soils (Engelaar et al. 1995) thanks to the presence of a significant population of nitrifying bacteria in the rhizosphere. Therefore, the large helophytes are more competitive and have an advantage in the very wet areas (*GOF2* and *GOF3*).

In the intermediate zones (*SOM2*) the water table fluctuates at a mean level (-50cm); it does not stay either too near the soil surface or too far from it (below 1m) for a very long time. This explains why the *SOM2* differs mainly from *SOM3* by the absence of hygrophilic species (*Myosotis scorpioides*, *Iris pseudacorus*, *Carex sp.*) and from *SOM1* by the absence of mesophilic species (*Colchicum autumnale*, *Leucanthemum vulgare*, *Dactylis glomerata*...).

Moreover, by comparing the water level fluctuations within the different plant communities and in-between the two floodplain sectors of the Meuse, the groundwater table appears to determine more precisely the presence or the absence of some species. In the two alluvial sectors, it appears that for the plant communities some species show clearly different behaviours. Table 2 drawn up from phytosociological tables (Gréville 1996) shows the different plant composition of the *GOF1* communities of Luzy and Mouzay. Species with different distributions express, by their presence, their absence or decrease in abundance, their probable sensitivity to one or both of these factors: water table level in summer and flood height in winter. In fact, *Caltha palustris*, *Iris pseudacorus*, *Carex vulpina*, *Thalictrum flavum* which are present at Mouzay and absent or less abundant at Luzy seem to be sensitive to the summer water table level, which must stay in the root area as long as possible and not drop below 100 cm. At Luzy the level of the water table falls below 100 cm in summer even under *GOF*. For the other species whose respective distributions at Luzy and Mouzay are different, we can determine the factor that may cause presence or absence. For example, *Gratiola officinalis* seems to withstand a considerable height of water during the winter floods (up to 1 m) and a rapid fall of the water table at the end of spring and *Alopecurus geniculatus* prefers compacted soils which can be dried in summer (deep fissures could be observed in Luzy area soil during summer). In general, in comparison with the Mouzay community, the *GOF1* community situated in Luzy is impoverished in truly hygrophilic species, which need the persistence of water in the root area (*Equisetum fluviatile*, *Carex vulpina*, *Thalictrum flavum*, *Caltha palustris*, *Carex acuta*, *Iris pseudacorus*), and richer in more mesophilic species, which are at the same time tolerant of long flood durations (*Leontodon autumnalis*, *Hordeum secalinum*, *Agrostis stolonifera*, *Silaum silaus*, *Alopecurus pratensis*, *Poa trivialis*).

Water regime also acts on the trophic status of the soil and so on the expression of a more or less eutrophic flora. Floods have an important impact on floral composition by direct inputs of nitrogen and phosphorous. It is the periodical supply of nutrients from floodwaters (in addition to anthropogenic and rainfall supplies) which is known to partly influence the trophic level of the soil (Duvigneaud 1958; Buttler 1992; Gréville & Muller 1995a). Recent studies have shown the disappearance of many oligotrophic species (e.g. *Succisa pratensis*, *Dactylorhiza fistulosa*, *Linum catharticum*...) in the Meuse valley between 1958 and 1995 (Gréville 1996). It appears that the groundwater, as it is generally not very nutrient rich (Buttler 1992; Krebs 1995), does not contribute directly to the soil enrichment. But the fluctuations of water table could influence the changed pattern of nutrient release from the soil/water system. This affects the availability of nutrients even when the changes in water fluctuation are very small (Grootjans et al. 1988). The floristic impoverishment and the change in floristic composition of humid meadows, following draining, have been addressed in many works (Dierssen 1989; Berendse et al. 1992; Auble et al. 1994; Oomes & van der Werf 1996). Thus, in Dutch meadows it has been reported (van Diggelen et al. 1991; Oomes 1992; Grootjans et al. 1996b) that the lowering of the water table leads to a global eutrophication of vegetation. Drought in a poorly fertilized meadows is known to stimulate N-mineralization (Krebs et al. *in press*). Thus, in the Netherlands it has been observed that a drop of 60 cm in a *Calthion palustris* meadow on a eutrophic fen peat may increase the annual net N-mineralization from 50kg/ha/yr to 450 kg (Grootjans et al. 1985). This marked and rapid lowering lead to the rapid expansion of nitrophilous grasses (within 2 years). A less drastic modification of the water table level (lowering of 10 cm) lead to obvious changes in the species composition only after 10-15 years (Grootjans et al. 1996a). This could explain part of the differences observed in the plant composition of the wet communities (*GOF*) of the 2 sectors of the Meuse. Thus, in the Luzy area, where the water table is deeper, some more eutrophic grasses are growing (e.g. *Alopecurus pratensis*, *Poa trivialis* or *Hordeum secalinum*). In Czechoslovakia and Slovakia (Prach 1993; Banasova et al. 1994) where the soils dry up in summer *Alopecurus pratensis*, is becoming dominant in meadows. But, as this species (like the 2 others) prefers either dryer zones or rich soils nothing can be concluded concerning the first factor intervening in its development in the *GOF* of Luzy.

The water regime in wet areas appears to be correlated with the rate of important ecological processes such as aeration, mineralization of organic substances and supply of phosphorous to plant roots (Grootjans et al. 1996b). The species behaviour within a plant community can be assessed accurately on a local or regional scale (Everts et al. 1989) but is usually only applicable with narrow environmental ranges. Thus, when species are growing in a specific environment, they integrate many factors such as soil type, local climate, agricultural management... Moreover, species population types could escape extinction by forming new generations which are more adapted to the changing habitat (ecotypes, Gréville et al. 1998a).

## Conclusion

In the Meuse flood plain it has been demonstrated that fluctuations of the water table level and in flood duration determine quite considerable changes in the plant composition of the meadow plant communities. Besides its direct influence, water regime could act directly on species occurrence through some others factors such as nutrient availability, soil moisture... Most of the floristic differences observed between the two sectors have been related to the geological substrate of each area and particularly to the amount of clay particles in the

soil. Some wetland species appear to be very sensitive to changes in hydrological conditions. A groundwater rise, different flood duration and height or a groundwater fall can determine the position of a particular species within the plant community. All the results obtained in the french upper Meuse could be used as a pattern for understanding the relation between species and hydrological functioning in floodplains. Thus the varying responses of some species to floods or soil saturation in water which were demonstrated in the Meuse floodplain can probably explain (1) part of the species differences (repartition over the hydrous gradient) observed between similar plant communities over alluvial valleys in France or in Europe and (2) the distance observed between target plant community composition and the present composition in the frame of the restoration of degraded ecosystems where the hydrological functioning has been disturbed.

## References

- Admiraal, W., van der Velde, G., Smit, H. & Cazemier, W.G. 1993. The rivers Rhine and Meuse in the Netherlands: present state and signs of ecological recovery. *Hydrobiologia* 265: 97-128.
- Amoros, C., Bravard, J.P., Reygrobellet, J.L., Pautou, G. & Roux, A.L. 1988. Les concepts d'hydrosystèmes et de secteur fonctionnel dans l'analyse des systèmes fluviaux à l'échelle des écosystèmes. *Bull. Ecol.* 19: 531-546.
- Amoros, C. & Petts, G.E. 1993. *Hydrosystèmes fluviaux*. Masson, Paris.
- Armstrong, W. 1979. Aeration in higher plants. *Adv. Bot. Res.* 7: 225-232.
- Auble, G.T., Friedman, J.M. & Scott, M.L. 1994. Relating riparian vegetation to present and future streamflows. *Ecol. Appl.* 4: 544-554.
- Banasova, V., Otahelova, H., Jarolimek, I., Zaliberova, M. & Husak, S. 1994. Morava river floodplain vegetation in relation to limiting ecological factors. *Ekologia (Bratislava)* 13/3 :247-262.
- Barendregt, A., de Smidt, J.T. & Wassen, M.J. 1986. The impact of groundwater flow on wetland communities. *Coll. Phytosociol.* 13: 603-612.
- Berendse, F., Oomes, M.J.M., Altena, H.J. & Elberse, W.T.H. 1992. Experiments of restoration of species-rich meadows in the Netherlands. *Biol. Conserv.* 62: 59-65.
- Bernard, L., Kovalchik & Chitwood, L. 1990. Use of geomorphology in the classification of riparian plant associations in mountainous landscapes of central Oregon, U.S.A. *For. Ecol. Manage.* 33/34: 405-418.
- Both, G.J., Gerard, S. & Laanbroeck, H.J. 1992. The occurrence of chemolitho-autotrophic nitrifiers in water-saturated grassland soil. *Microbiol. Ecol.* 23: 15-26.
- Bournérias, M., Delpech, R., Dorigny, A., Géhu, J.-M., Lecointe, A., Maucorps, J., Provost, M., Solau, J.L., Tombal, P. & Watez, J.R. 1978. Les groupements de prairies et leurs satellites dans la vallée inondable de l'Oise. *Coll. Phytosociol.* 5: 90-139.
- Brinson, M. 1993. Changes in the functioning of wetlands along environmental gradients. *Wetlands* 13: 65-74.
- Buttler, A. 1992. Hydrochimie des nappes des prairies humides de la rive Sud du lac de Neuchâtel. *Bull. Ecol.* 23: 35-47.
- Carbiener, R. 1969. Le grand Ried d'Alsace. Ecologie d'un paysage. *Bull. Soc. Ind. Mulhouse* 734: 15-44.
- de Foucault, B. 1984. *Systémique, structuralisme et synsystématique des prairies hygrophiles des plaines atlantiques françaises*. PhD thesis, Univ. Rouen.
- Denny, P. 1993. Water management strategies for the conservation of wetlands. *J. IWEM* 7: 387-394.
- Dierssen, K. 1989. Evolution des groupements influencés par la nappe phréatique de la plaine du N-W de l'Allemagne. Conséquences pour les mesures d'exploitation extensives et de déprise agricole. *Coll. Phytosociol.* 16: 484-496.
- Duvigneaud, J. 1958. Contribution à l'étude des groupements prairiaux de la plaine alluviale de la Meuse lorraine. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* 91: 7-77.
- Duvigneaud, J. 1986. La végétation prairiale de la plaine alluviale de l'Aisne aux environs de Vouziers (Dép. des Ardennes, France), influence de la microtopographie sur la durée des inondations et la composition du tapis herbacé. *Coll. Phytosociol.* 13: 634-654.

- Engelaar, W.M.H.G., Symens, J.C., Laanbroeck, H.J. & Blom, C.W.P.M. 1995. Preservation of nitrifying capacity and nitrate availability in waterlogged soils by radial oxygen loss from roots of wetland plants. *Biol. Fertil. Soils* 20: 243-248.
- Everts, H., Grootjans, A.P. & de Vries, P.J. 1989. Distribution of marshplants as guidelines for hydrological research. *Coll. Phytosociol.* 16: 272-291.
- Frileux, P.N., De Foucault, B. & Roy, J. 1989. Etude de la végétation prairiale de la basse vallée de la Seine entre Rouen et l'Estuaire. *Coll. Phytosociol.* 16: 234-239.
- Géhu, J.-M. 1961. Les groupements végétaux du Bassin de la Sambre française. *Veg. Acta Geobot.* X (2/6): 69-372.
- Gréviollet, F. & Muller, S. 1995a. Application de l'analyse diachronique globale à l'étude de l'évolution d'une végétation prairiale. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 318: 491-497.
- Gréviollet, F. & Muller, S. 1995b. Les groupements végétaux prairiaux de la plaine alluviale de la Meuse (Lorraine, France). Position syntaxonomique et biogéographique dans le cadre ouest-européen. *Coll. Phytosociol.* 23: 115-144.
- Gréviollet, F. 1996. *Les écosystèmes prairiaux de la plaine alluviale de la Meuse Lorraine: Phytosociologie, Dynamique et fonctionnement, en relation avec les gradients hydriques et les modifications des pratiques agricoles.* PhD thesis, Univ. Metz.
- Gréviollet, F., Broyer, J. & Muller, S. 1998a. Phytogeographical and phenological comparison of the Meuse and the Saône valley meadows (France). *J. of Biogeography* 25: 339-360.
- Gréviollet, F., Krebs, L. & Muller, S. 1998b. Comparative importance and interference of hydrological conditions and soil nutrient gradients in floristic biodiversity in flood meadows. *Biodiversity and Conservation* 7: 1495-1520.
- Grootjans, A.P. & ten Klooster, W.P.H., 1980. Changes of groundwater regime in wet meadows. *Acta Bot. Neerl.* 5/6: 546-554.
- Grootjans, A.P. 1985. *Changes of groundwater regime in wet meadows.* PhD thesis, Univ. Groningen.
- Grootjans, A.P., Schipper, P.C. & van der Windt, H.J. 1985. Influence of drainage on N-mineralization and vegetation response in wet meadows. I : *Calthion palustris* stands. *Oecol. Plant.* 7 :3-14.
- Grootjans, A.P., van Diggelen, R., Wassen, M.J. & Wiersinga, W.A. 1988. The effect of drainage on groundwater quality and plant species distribution in stream valley meadows. *Vegetat.* 75 : 37-48.
- Grootjans, A.P., Fresco, L.F.M., de Leeuw, C. & Schipper, P.C. 1996a. Degeneration of species rich *Calthion palustris* hay meadows ; some considerations on the community concept. *J. Veg. Sci.* 7 : 185-194.
- Grootjans, A.P., van Wirdum, G, Kemmers, R. and van Diggelen R. 1996b. Ecohydrology in the Netherlands: principles of an application-driven interdisciplinary. *Acta Bot. Neerl.* 45: 491-516.
- Guinochet, M. 1973. *Phytosociologie.* Masson et Cie, Paris.
- Harmand, D. 1992. *Histoire de la vallée de la Meuse Lorraine.* Presse universitaire de Nancy, Nancy.
- Henry, C.P., Bornette, G. & Amoros, C. 1994. Differential effects of floods on the aquatic vegetation of braided channels of the Rhône River. *J. North Amer. Benthol. Soc.* 13: 439-467.
- Henry, C.P. & Amoros, C. 1995a. Restoration ecology of riverine wetlands: I. A scientific base. *Environ. Manage.* 19: 891-902.
- Henry, C.P. & Amoros, C. 1995b. Restoration ecology of riverine wetlands: II. An example in a former channel of the Rhône river. *Environ. Manage.* 19: 903-913.

- Justin, S.H.F.W. & Armstrong, W. 1987. The anatomical characteristics of roots and plant response to soil flooding. *New Phytol.* 106: 465-495.
- Krebs, L. 1995. *Prairies alluviales de Lorraine et qualité des eaux souterraines*. DESE, Arlon.
- Krebs, L. Corbonnois, J. & Muller S. *in press*. The impact of hydrological fluctuations on shallow groundwater hydrochemistry under two alluvial meadows. *Hydrologia*.
- Laan, P., Berrevoets, M.J., Lythe, S., Armstrong, W. & Blom, C.W.P.M. 1989a. Root morphology and aerenchyma formation as indicators of the flood tolerance of *Rumex* species. *J. Ecol.* 77: 693-703.
- Laan, P., Smolders, A., Blom, C.W.P.M. & Armstrong, W. 1989b. The relative roles of internal aeration, radial oxygen losses, iron exclusion and nutrient balances in flood tolerance of *Rumex* species. *Acta Bot. Neerl.* 38: 131-145.
- Lambinon, J., De Langhe, J.E., Delvosalle, L. & Duvigneaud, J. 1992. *Nouvelle flore de la Belgique, du G-D du Luxembourg, du Nord de la France et des régions voisines*. 4<sup>ème</sup> édition, Jardin botanique National de Belgique, Meise.
- Lericq, R. 1965. *Contribution à l'étude de groupements végétaux du Bassin français de l'Escaut*. PhD Thesis, Univ. Lille.
- Magnanon, S. 1991. *Contribution à l'étude des prairies naturelles inondables des marais de Donges et de l'estuaire de la Loire*. *Phyto-écologie, Phytosociologie, valeur agronomique*. Ph-D. Thesis, Univ. Nantes.
- Mentre-Hildebrand, A. 1986. *Contribution à l'étude des phénomènes hydro-climatiques, le cas du bassin lorrain de la Meuse*. Ph-D; Thesis, Univ. Nancy, Nancy.
- Montagne, S. 1995. *Les écoulements souterrains de la poche alluviale de Stenay*. Mémoire de maîtrise, Univ. Metz.
- Oomes, M.J.M. 1992. Yield and species density of grasslands during restoration management. *J. Veg. Sci.* 3: 271-274.
- Oomes, M.J.M. & van der Werf, A. 1996. Restoration of species diversity in grasslands: the effect of grassland management and changes in groundwater level. *Act. Bot. Gal.* 143 : 451-462.
- Pautou, G. 1975. *Contribution à l'étude écologique de la plaine alluviale du Rhône entre Seyssel et Lyon*. Thesis, Univ. Grenoble.
- Prach, K. 1993. Vegetational changes in a wet meadow complex, South Bohemia, Czech Republic. *Folia Geobot. Phytotax.*, Praha 28 :1-13.
- Smeets, A.J.A.M., Werger, M.J.A. & Tevonderen, M.A.J. 1980. Vegetation changes in a moist grassland under altered conditions. *Biol. Conserv.* 18 : 123-142.
- Tiner, R.W. 1991. The concept of hydrophyte for wetland identification. *BioScience* 41: 236-247.
- Tiner, R.W. 1993. Using plants as indicator of wetland. *Proc. Acad. Nat. Sci. Philadelphia* 144: 240-253.
- Trivaudey, M.J. 1989. Les prairies longuement inondables de la Saône. *Coll. Phytosociol.* 16: 818-823.
- Trivaudey, M.J. 1995. *Contribution à l'étude phytosociologique des prairies alluviales de l'Est de la France (Vallées de la Saône, de la Seille, de l'Ognon, de la Lanterne et du Breuchin)*. *Approche systémique*. PhD thesis, Univ. Besançon.
- van Diggelen, R., Grootjans, A.P., Wierda, A., Burkunk, R. & Hoogendoorn, J. 1991. Prediction of vegetation changes under different hydrological scenarios. Proc. of the Vienna symposium August 1991, *IAHS publ.* 202: 71-79.
- van Diggelen, R., Grootjans, A.P. & Burkunk, R. 1994. Assessing restoration perspectives of disturbed brook valleys: The Gorecht Area, The Netherlands. *Restoration. Ecology* 2: 87-96.



van Diggelen, R., Grootjans, A.P. & Wierda, A. 1995. Hydro-ecological landscape analysis: a tool for wetland restoration. *Z. Kulturtechn. Landesentwickl.* 36: 125-131.

**Table 1: Plant communities of the Meuse floodplain**

(the more frequent plants are presented in frequency classes with: I: 0-20%, II: 20-40%, III: 40-60%, IV: 60-80%, V: 80-100%; species missing are accidental or ponctual)

<i>Plant communities</i>	<i>SOM</i>			<i>GOF</i>		
	I	2	3	1	2	3
<i>Sub-units</i>						
<i>Number of relevés</i>	17	10	20	25	19	12
<i>Avenula pubescens</i>	I					
<i>Dactylis glomerata</i>	III					
<i>Leucanthemum vulgare</i>	IV					
<i>Colchicum autumnale</i>	IV					
<i>Peucedanum carvifolia</i>	III	I				
<i>Arrhenatherum elatius</i>	V	II	I			
<i>Crepis biennis</i>	V	III	III			
<i>Leontodon hispidus</i>	II	I	I			
<i>Phleum pratense</i>	V	V	III			
<i>Holcus lanatus</i>	II	III	IV			
<i>Festuca rubra</i>	IV	II	II			
<i>Ranunculus acris</i>	V	III	III			
<i>Galium verum</i>	V	IV	I			
<i>Rumex acetosa</i>	V	IV	III			
<i>Alopecurus pratensis</i>	V	V	IV	III		
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	I	II	III	I		
<i>Lolium perenne</i>	III	III	I	I		
<i>Lathyrus pratensis</i>	V	V	V	III		
<i>Lotus corniculatus</i>	V	IV	III	II		
<i>Festuca pratensis</i>	IV	III	IV	II		
<i>Hordeum secalinum</i>	III	III	II	II		
<i>Silaum silaus</i>	IV	III	III	II		
<i>Achillea ptarmica</i>	II	III	IV	III	I	
<i>Oenanthe silaifolia</i>	I	II	I	II	I	
<i>Elymus repens</i>	IV	IV	IV	IV	I	
<i>Centaurea jacea</i>	V	V	IV	IV	I	
<i>Poa pratensis</i>	V	III	III	I	I	
<i>Leontodon autumnalis</i>	II	III	II	II	I	
<i>Rumex crispus</i>	IV	V	IV	V	IV	
<i>Trifolium pratense</i>	V	IV	IV	II		I
<i>Trifolium repens</i>	III	IV	V	IV	II	II
<i>Potentilla reptans</i>	III	III	II	III	I	I
<i>Vicia cracca</i>	V	IV	IV	IV	I	I
<i>Filipendula ulmaria</i>	V	V	V	IV	II	II
<i>Ranunculus repens</i>	V	V	V	V	V	IV
<i>Senecio aquaticus</i>	II	I	IV	IV	II	I
<i>Agrostis stolonifera</i>	IV	IV	IV	III	II	I
<i>Poa trivialis</i>	V	V	V	V	III	I
<i>Lychnis flos-cuculi</i>	III	IV	V	IV	I	I
<i>Symphytum officinale</i>	IV	IV	IV	II	I	I
<i>Cardamine pratensis</i>	II	III	III	III	II	I
<i>Thalictrum flavum</i>	I	II	II	II	I	I
<i>Phalaris arundinacea</i>	I	II	III	IV	V	IV
<i>Galium palustre</i>	I	III	IV	IV	IV	III
<i>Polygonum amphibium</i>	III	II	IV	III	IV	III
<i>Caltha palustris</i>		I	II	II	II	I
<i>Eleocharis palustris</i>		I	I	III	II	II
<i>Carex disticha</i>		I	II	IV	III	III
<i>Oenanthe fistulosa</i>			I	V	IV	V
<i>Mentha aquatica</i>			I	III	IV	III
<i>Myosotis scorpioides</i>			IV	III	IV	IV
<i>Iris pseudacorus</i>			II	II	III	III
<i>Carex vulpina</i>			I	II	II	II
<i>Carex acuta</i>			I	I	II	IV
<i>Glyceria maxima</i>				I	IV	V
<i>Equisetum fluviatile</i>				I	II	V
<i>Glyceria fluitans</i>				I	I	II
<i>Rumex hydrolapathum</i>				I	I	III
<i>Alisma plantago-aquatica</i>					II	II
<i>Rorippa amphibia</i>					III	IV
<i>Stachys palustris</i>					I	III
<i>Oenanthe aquatica</i>						III

Table 2: Relation between water regime and floristic composition of *GOFI* communities in both sectors of the Meuse valley.

Study area	Water regime	Species which possess a specific behaviour in each sector	Hydrological behaviour
MOUZAY	(1) the level of the groundwater table is located between -30 and -70 cm in summertime (2) slow fluctuations of water level	<i>Equisetum fluviatile</i> <i>Thalictrum flavum</i> <i>Iris pseudacorus</i> <i>Caltha palustris</i> <i>Carex acuta</i> <i>Carex vulpina</i> <i>Lythrum salicaria</i> <i>Phragmites australis</i>	species for which the level of the groundwater table must stay in the rhizosphere and which does not support too much soil dessication
LUZY	(1) the level of the groundwater table falls under -100 cm in summertime (2) rapid fluctuations of water level (3) the water level is higher during floods	<i>Leontodon autumnalis</i> <i>Silaum silaus</i> <i>Poa trivialis</i> <i>Alopecurus pratensis</i> <i>Agrostis stolonifera</i> <i>Hordeum secalinum</i> <i>Alopecurus geniculatus</i> <i>Gratiola officinalis</i>	species which avoid soils which are waterlogged for too long and which support summer soil dessication

## Captions

Fig. 1: The Meuse valley in the Stenay area - geomorphologic sketch.

Fig. 2: Comparison of the mean duration lines for four units of the Meuse flood plain communities in Mouzay area (1994/95).

Fig. 3: Comparison of water level and duration of floods in Luzy and Mouzay.

Fig. 4: Comparative functioning of the groundwater table under *GOF1* in Mouzay and Luzy meadows.

Fig. 5: Influence of rainfalls in the functioning of the water table in Luzy and Mouzay for the same community (*GOF1*).

Fig. 6: Comparative Factorial Correspondences Analysis from Luzy and Mouzay plant communities.

For the species :

Phau: *Phragmites australis*, Lysa: *Lythrum salicaria*, Capa: *Carex panicea*, Calpa : *Caltha palustris*, Thfl : *Thalictrum flavum*, Alpr : *Alopecurus pratensis*, Sisi : *Silaum silaus*, Irps: *Iris pseudacorus*, Cavu: *Carex vulpina*, Eqli: *Equisetum fluviatile*, Alge: *Alopecurus geniculatus*, Stpa: *Stellaria palustris*, Grof: *Gratiola officinalis*, Caac : *Carex acuta*, Coau : *Colchicum autumnale*, Peca : *Peucedanum carvifolia*, Leau : *Leontodon autumnalis*.

For the relevés :

S1, S2, S3 for *SOM1*, *SOM2*, *SOM3*. G for *GOF1*. M for Mouzay. L for Luzy.






Relevés from Mouzay are underlined.



Relevés from Luzy are framed.

- corresponds to species location.

x corresponds to the relevé location.



-  Oxfordien limestone
-  Callovien clays
-  Bathonien and Bajocien limestone
-  Flood plain of the Meuse
-  Ancient alluvium

-  The Mouzay area
-  The Luzy area

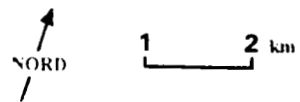
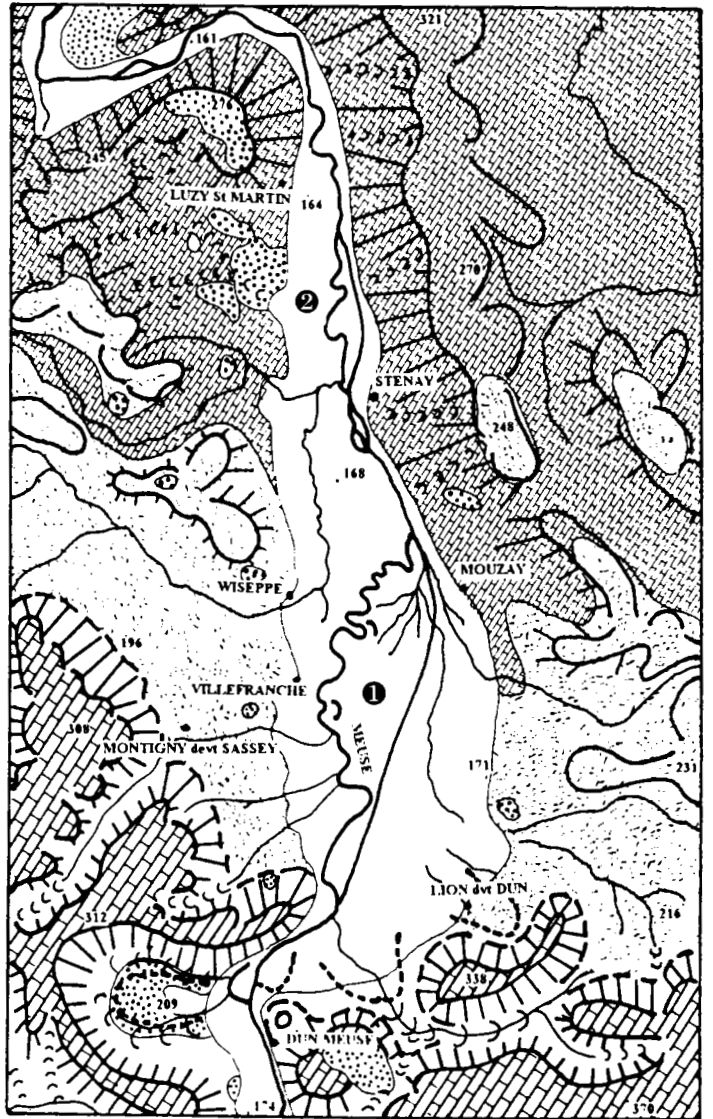


Figure 2: Water level regime during one year (Mouzay area from May 1994 to May 1995)

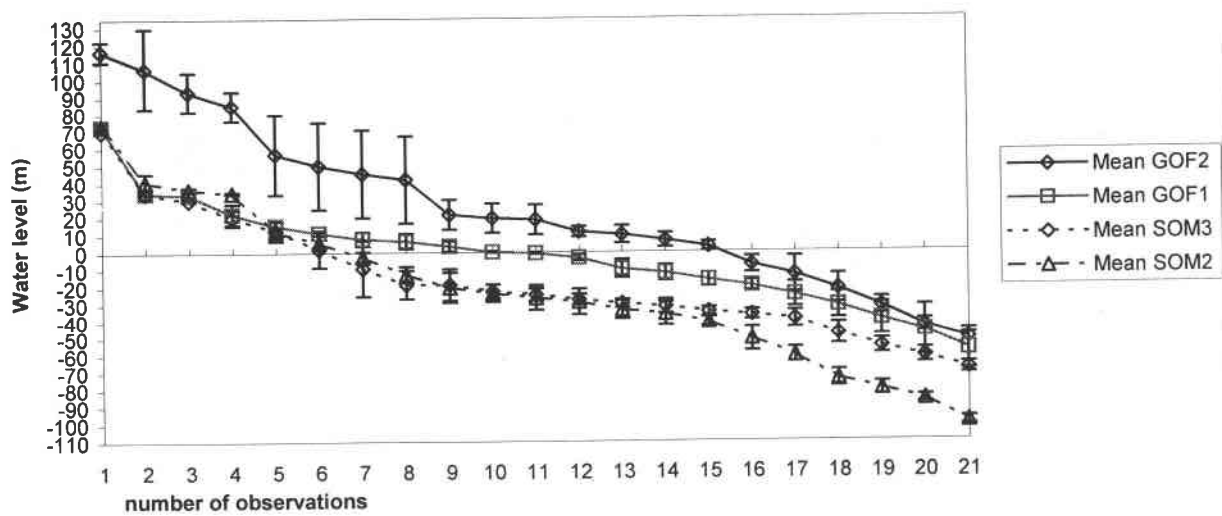


Fig. 3: Comparison of the water level and duration of floods in Luzy and Mouzay

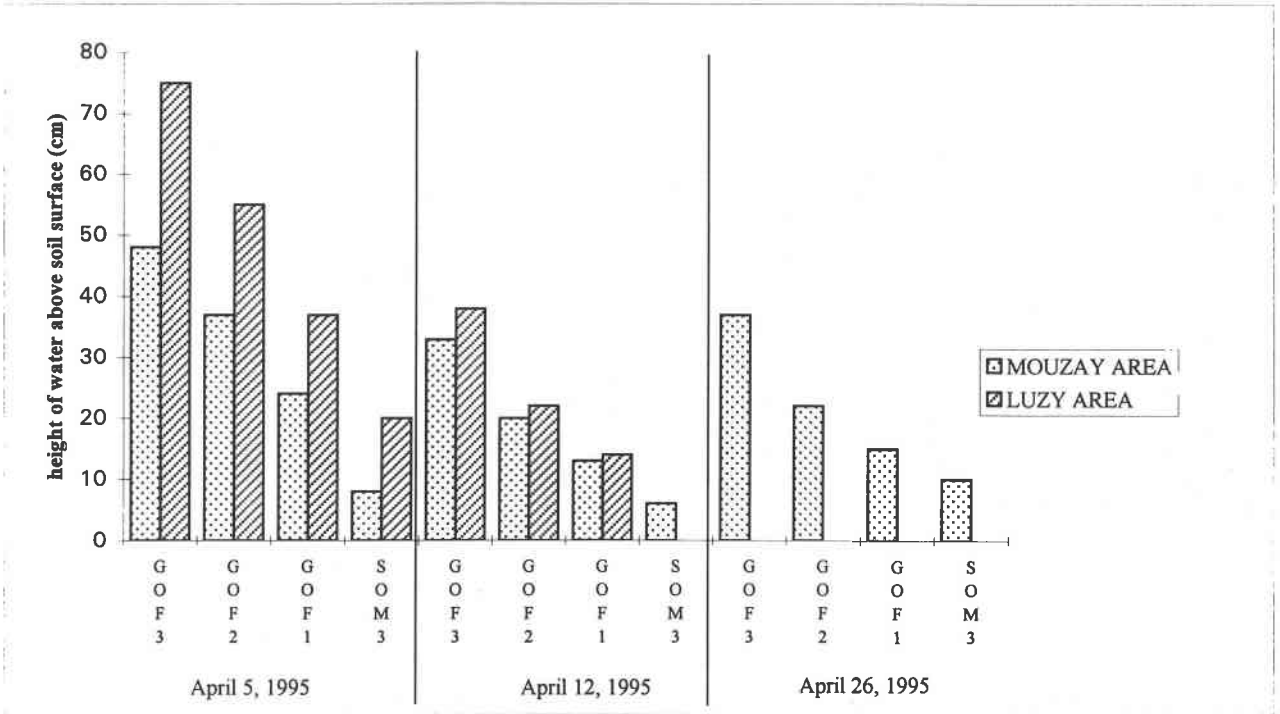


Figure 4: Comparative functioning of the groundwater table under GOF1 in Mouzay and Luzy meadows.

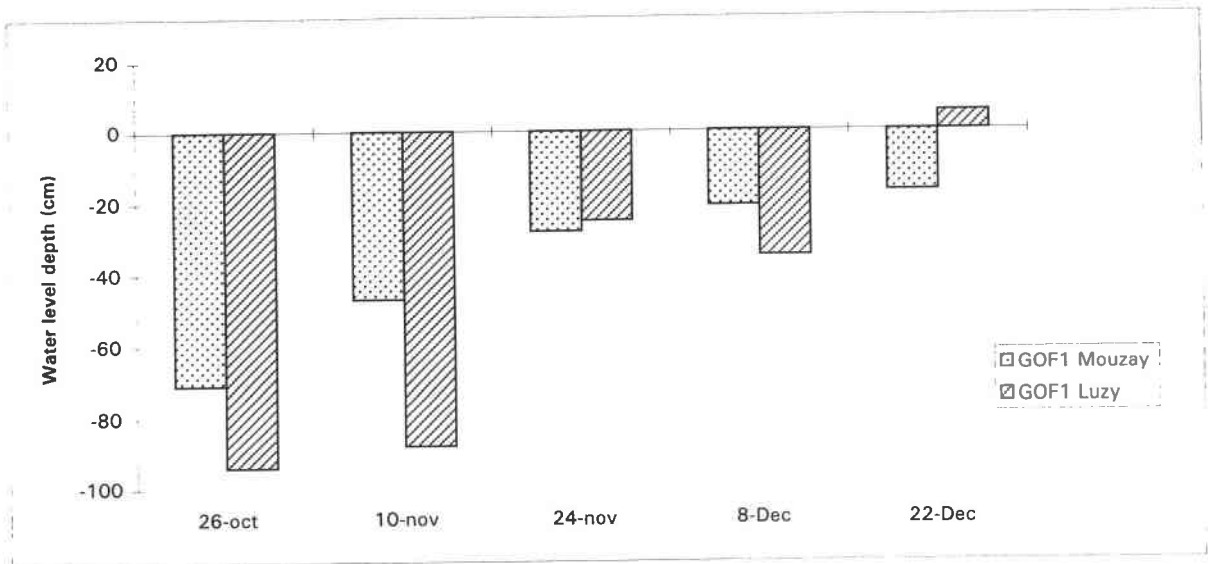


Figure 5: Influence of rainfalls in the functioning of the water table in Luzy and Mouzay for the same community (GOF1)

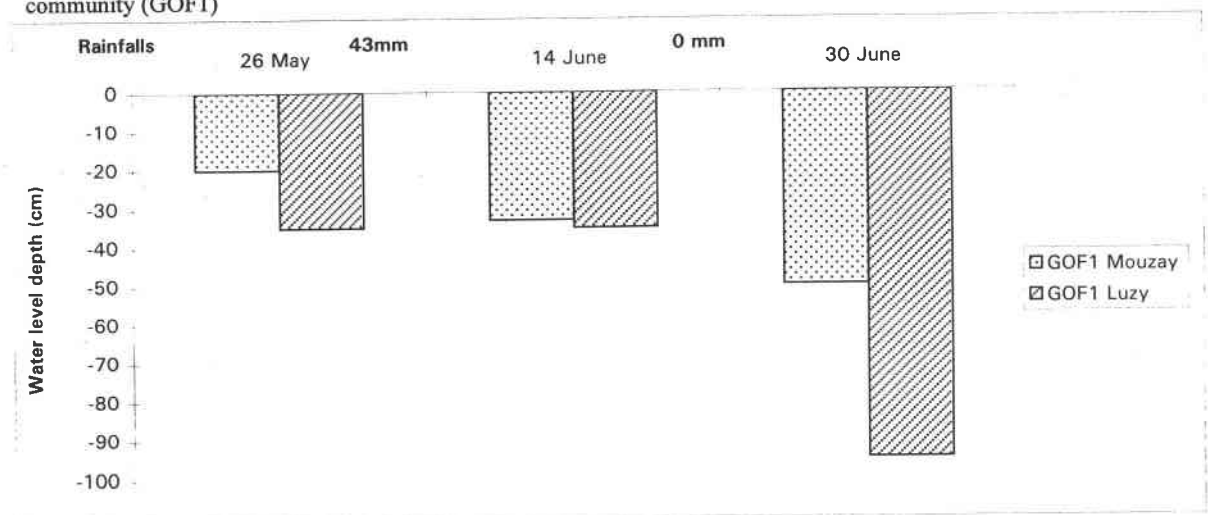




Figure 6: Comparative Factorial Correspondences Analysis from Luzy and Mouzay plant communities

