



AGENCE DE L'EAU  
SEINE-NORMANDIE

DOCUMENT PUBLIC

*Source des Brévilles – Montreuil-sur-Epte (95)  
Bilan des activités jusqu'à décembre 2001  
et suivis parcellaires pour l'année culturelle 2000*

Etude réalisée dans le cadre du projet de recherche  
BRGM 02EAUR03 – « Pollutions diffuses »

N. Baran, C. Mouvet

Juin 2002  
BRGM/RP-51703-FR



Mots clés : produits phytosanitaires, acétochlore, parcelles expérimentales, bassin hydrogéologique

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Baran N., Mouvet C. (2002) - Source des Brévilles – Montreuil-sur-Epte (95). Bilan des activités jusqu'à décembre 2001 et suivis parcellaires pour l'année culturale 2000. Rapport BRGM RP - 51703 – FR, 63 p., 23 fig., 7 tabl., 1 annexe.

## **Synthèse**

Dans le cadre de ses actions de recherche sur le transfert des phytosanitaires, le BRGM a entrepris sur le site de Montreuil-sur-Epte (95) un suivi intensif du transfert des phytosanitaires dans les sols, jusque et dans la nappe.

Le site retenu a été proposé par le sous-groupe 4 « expérimentation sur site » du Groupe Régional Ile de France car la source, utilisée pour l'alimentation en eau potable, présentait une contamination persistante à l'atrazine depuis plusieurs années. Face à ce constat, les agriculteurs présents sur le bassin ont accepté de modifier leurs pratiques culturales et ont banni l'usage de l'atrazine.

L'acétochlore, molécule homologuée en France en 2000, a été retenue comme molécule de substitution suite aux propositions faites par l'AGPM et la Chambre d'Agriculture d'Ile de France.

Les travaux qui seront menés entre début 2000 et mi-2004 visent à répondre à plusieurs objectifs allant de l'amélioration des connaissances sur le fonctionnement hydrogéologique du site à la modélisation du transfert des solutés à l'échelle du bassin en passant par l'étude du transfert de l'acétochlore et ses produits de dégradation dans 2 sols contrastés, représentatifs du bassin.

Le présent rapport fait un bilan des actions menées jusqu'en décembre 2001 à l'échelle du bassin et présente les résultats obtenus pour les 2 parcelles expérimentales étudiées pendant l'année culturale 2000.

*Source des Brévilles – Montreuil-sur-Epte (95). Bilan des activités jusqu'à décembre 2001 et suivis parcellaires pour l'année culturale 2000*

## Sommaire

<b>1. CADRE DE L'ÉTUDE</b> .....	<b>9</b>
<b>2. CONTEXTE</b> .....	<b>11</b>
2.1. CHOIX DU SITE .....	11
2.2. LE PROGRAMME DE SUBSTITUTION : CHOIX DES MOLÉCULES ET RÉSULTATS .....	11
2.3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE : ÉTAT DES CONNAISSANCES AVANT LE DÉBUT DE L'ÉTUDE .....	12
<b>3. OBJECTIFS</b> .....	<b>13</b>
<b>4. LES TRAVAUX MENÉS EN 2000</b> .....	<b>15</b>
4.1. PROSPECTION GÉOLOGIQUE ET GÉOPHYSIQUE .....	15
4.2. IMPLANTATION DE PIÉZOMÈTRES .....	18
4.2.1. <i>Choix des sites</i> .....	19
4.2.2. <i>Les informations géologiques apportés par les piézomètres</i> .....	19
4.2.3. <i>Les variations du niveau piézométrique</i> .....	21
4.2.4. <i>La qualité de l'eau</i> .....	22
4.3. LE SUIVI DE L'EXUTOIRE DU SYSTÈME.....	26
4.3.1. <i>Les mesures de débit</i> .....	26
4.3.2. <i>La qualité de l'eau</i> .....	27
4.4. LA PÉDOLOGIE.....	29
<b>5. SUIVIS PARCELLAIRES POUR L'ANNÉE CULTURALE 2000</b> .....	<b>31</b>
5.1. LES PARCELLES ÉTUDIÉES .....	31
5.2. APPLICATION DE BROMURE ET D'ACÉTOCHLORE.....	32
5.3. LES PRÉLÈVEMENTS DE SOL .....	36
5.4. LE DOSAGE DES BROMURES, DE L'ACÉTOCHLORE ET DE SES PRODUITS DE DÉGRADATION .....	37
5.4.1. <i>Dosage des bromures</i> .....	37
5.4.2. <i>Dosage de l'acétochlore et des ses dérivés</i> .....	37
5.5. LE COMPORTEMENT DE L'ACÉTOCHLORE ET DES BROMURES.....	38
5.5.1. <i>Mise en évidence de l'hétérogénéité intra-parcellaire et stratégie d'analyses</i> .....	38
5.5.2. <i>Transfert des solutés dans le calcisol</i> .....	41
5.5.3. <i>Transfert des solutés dans le néoluvisol</i> .....	46
5.5.4. <i>Les différences observées entre les 2 types de sol</i> .....	50
<b>6. LES TRAVAUX PRÉVUS POUR LA CAMPAGNE CULTURALE 2001</b> .....	<b>55</b>
6.1. SUIVI DE LA QUALITÉ DE LA NAPPE .....	55
6.2. FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE DU BASSIN .....	55
6.3. SUIVI PARCELLAIRE.....	55
<b>7. CONCLUSIONS</b> .....	<b>57</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>59</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>61</b>
<b>ANNEXE</b> .....	<b>63</b>

## Liste des illustrations

### Liste des figures

- Figure 1 : Localisation des sondages RMP et des piézomètres
- Figure 2 : Altitude du toit de la nappe estimée à partir des mesures RMP
- Figure 3 : Courbes granulométrique de répartition et cumulative (échantillons de sable, Pz5)
- Figure 4 : Variations des niveaux piézométriques de février à décembre 2001
- Figure 5 : Evolution des teneurs en phytosanitaires dans les piézomètres (03 à 12/2001)
- Figure 6 : Evolution des teneurs en chlorure et nitrate dans les piézomètres (03 à 12/2001)
- Figure 7 : Evolution des débits non corrigés à la source de décembre 2000 à décembre 2001
- Figure 8 : Suivi des concentrations en atrazine, dééthylatrazine et déisopropylatrazine à la source des Brévilles de octobre 1999 à décembre 2001
- Figure 9 : Suivi des concentrations en isoproturon et chlortoluron à la source des Brévilles de octobre 1999 à décembre 2001
- Figure 10 : Carte des sols du secteur étudié
- Figure 11 : Hétérogénéités des apports d'acétochlore (A) et des bromures (B) sur le calcisol
- Figure 12 : Hétérogénéités des apports d'acétochlore (A) et des bromures (B) sur le néoluvisol
- Figure 13 : Emplacement des barquettes et quantités appliquées mesurées en acétochlore (A) et en bromure (B) sur le calcisol
- Figure 14 : Emplacement des barquettes et quantités appliquées mesurées en acétochlore (A) et en bromure (B) sur le néoluvisol
- Figure 15 : Exemple de la variabilité des profils de bromure obtenus pour les 16 carottes du luvisol lors de la première campagne de prélèvements.
- Figure 16 : Evolution des teneurs en bromure dans le calcisol pour 6 dates de prélèvement
- Figure 17 : Evolution des concentrations en ESA, OA et acétochlore dans le calcisol pour 5 dates
- Figure 18 : Evolution des teneurs en bromure dans le luvisol pour 6 dates de prélèvement
- Figure 19 : Evolution des concentrations en ESA, OA et acétochlore dans le luvisol pour 5 dates
- Figure 20 : Bilan de bromure par rapport à la quantité appliquée en fonction de la pluie cumulée et du nombre de jours depuis le traitement pour le calcisol et le luvisol
- Figure 21 : Pourcentage de dérivés ESA, OA, d'acétochlore et somme de ces produits par rapport à la dose moyenne appliquée sur le calcisol pour les différentes campagnes
- Figure 22 : Pourcentage de dérivés ESA, OA, d'acétochlore et somme de ces produits par rapport à la dose moyenne appliquée sur le luvisol pour les différentes campagnes

Figure 23 : Comparaison des teneurs en calcaire, argile et matière organique dans le luvisol et le calcisol jusqu'à 60 cm de profondeur

### Liste des tableaux

Tableau 1a : Caractéristiques physico-chimiques du luvisol

Tableau 1b : Caractéristiques physico-chimiques du calcisol

Tableau 2 : Principales interventions sur les parcelles suivies en 2000

Tableau 3 : Concentrations en bromure dans les sols avant application du traceur (KBr)

Tableau 4 : Pourcentage de bromure par rapport à la dose moyenne appliquée et précipitations cumulées pour les 6 campagnes de prélèvements de sol

Tableau 5 : Pourcentage de dérivé ESA, OA et d'acétochlore restant dans le sol par rapport à la dose moyenne appliquée sur la parcelle de calcisol pour les différentes campagnes d'échantillonnage

Tableau 6 : Pourcentage de bromure par rapport à la dose moyenne appliquée sur le néoluvisol et précipitations cumulées pour les 6 campagnes de prélèvements de sol

Tableau 7 : Pourcentage de dérivé ESA, OA et d'acétochlore restant dans le sol par rapport à la dose moyenne appliquée sur la parcelle de néoluvisol pour les différentes campagnes d'échantillonnage

*Source des Brévilles – Montreuil-sur-Epte (95). Bilan des activités jusqu'à décembre 2001 et suivis parcellaires pour l'année culturale 2000*

## **1. Cadre de l'étude**

Dans le cadre du Groupe Régional Ile de France « Pollution des eaux par les produits phytosanitaires », sous-groupe 4 : « expérimentation sur site » coordonné par la DRAF d'Ile de France, des sites d'études potentiels ont été inventoriés au cours d'une réunion qui s'est tenue le 16 mars 1999. Montreuil-sur-Epte est l'un de ces sites.

Dans le cadre de ses actions de recherche sur le transfert des phytosanitaires, le BRGM finance pour partie les travaux menés sur le site. L'Union européenne, par l'intermédiaire du projet PEGASE (Pesticide in European Groundwaters : detailed study of representative Aquifers and Simulation of Possible Evolution scenarios), supporte également le projet. L'Agence de l'Eau Seine Normandie, par la convention n° 012095 relative au suivi et à l'étude du transit des phytosanitaires, contribue également au financement de ce projet.



Les diverses visites des parcelles effectuées par la Chambre d'Agriculture ont montré que ces produits ont des efficacités incomplètes. Pour l'une des parcelles (luvisol – M. Prével), une efficacité incomplète, à la limite de l'acceptabilité, a été observée sur la renouée des oiseaux. Pour l'autre parcelle (calcosol – Mme Versyck), une efficacité incomplète, en dessous du seuil d'acceptabilité, a été constatée sur les graminées (folle avoine et ray-grass).

### **2.3. Contexte géologique et hydrogéologique : état des connaissances avant le début de l'étude**

Les informations sont tirées de la carte géologique n° 125 (Gisors, 1 /50 000) éditée par le BRGM.

Le secteur étudié se trouve sur le flanc ouest de l'anticlinal de La Chapelle-en-Vexin. Les formations d'âge tertiaire rencontrées sont essentiellement des calcaires bartoniens et lutétiens, des sables et grès de l'Yprésien. Localement, des limons quaternaires recouvrent ces formations et il est également possible de trouver des grès et meulière du Stampien (partie amont du bassin).

La nappe se trouve dans les sables de Cuise mais aucune information ne permet de savoir si les calcaires lutétiens sont également saturés ou non. La nappe est libre.

La source des Brévilles qui constitue un exutoire de la nappe est utilisée pour l'alimentation en eau potable des communes de Montreuil-sur-Epte et de Buhy. Les émergences diffuses au niveau de la source sont recueillies au niveau d'un réservoir enterré d'environ 5 mètres de profondeur par un système de drains. L'eau de ce réservoir est pompée, généralement la nuit, pour être distribuée après stockage au niveau d'un réservoir tampon. Seul un traitement au chlore est effectué avant la distribution de l'eau.

La source est exploitée en régie directe par la commune.

Il n'existe aucun puits ou forage sur la zone d'étude.

Le piézomètre double réalisé par la SOGREAH à environ 20 mètres en amont de la source a montré que la nappe de Cuise est indépendante de celle de la craie sous-jacente (Anonyme, 1994).

Le bassin d'alimentation de la source n'est pas clairement défini. En effet dans le rapport de la Sogreah (Anonyme, 1994), les méthodes utilisées pour définir ce bassin ne sont pas explicites. Les acteurs locaux contestent d'ailleurs les limites annoncées et pensent que le bassin a une taille nettement supérieure à celle qui est retenue.

## 2. Contexte

### 2.1. Choix du site

Les études menées sur les phytosanitaires dans les eaux souterraines sont à ce jour peu importantes comparativement aux travaux réalisés sur les eaux superficielles. Quelques réseaux de suivi existent mais ne permettent pas d'approcher la compréhension des contaminations observées. Il paraissait donc indispensable d'entreprendre des études sur la contamination des eaux souterraines par les phytosanitaires en fédérant sur un même site un fort potentiel technique.

Le site de Montreuil-sur-Epte a été inventorié par le sous-groupe 4 « expérimentation sur site » du Groupe Régional Ile-de-France parce qu'une contamination à l'atrazine et à la dééthylatrazine y est avérée depuis plusieurs années (données DDASS citées dans Paranthoen, 1999), mettant en péril l'utilisation de la source pour l'alimentation en eau potable des communes de Montreuil-sur-Epte et Buhy.

Les quelques informations disponibles au début de l'étude (décembre 1999) laissent penser que le site de Montreuil-sur-Epte constitue une unité hydrogéologique de taille restreinte sans interaction avec des eaux superficielles, présentant un fonctionnement hydrodynamique a priori assez simple. Les usages en phytosanitaires sont exclusivement agricoles et 6 agriculteurs seulement sont localisés sur le bassin hydrogéologique tel qu'il a été défini par une étude réalisée par la Sogreah (Anonyme, 1994) dans le cadre de l'établissement du périmètre de protection de la source. Aucun corps de ferme ne se trouve sur le site ; le risque de pollution ponctuelle est de fait réduit.

Ces agriculteurs ont accepté, de plus, de modifier leurs pratiques culturales. Pour l'année culturale 2000, les apports d'atrazine ont été suspendus et le désherbage s'est effectué à l'aide notamment d'acétochlore, molécule homologuée en France en 2000.

Tous ces éléments rendent le site de Montreuil-sur-Epte très intéressant.

### 2.2. Le programme de substitution : choix des molécules et résultats

La Chambre d'Agriculture d'Ile de France et l'AGPM ont proposé un programme de substitution à l'atrazine pour le désherbage du maïs. L'acétochlore est la molécule proposée avec un programme de rattrapage à l'aide de bromoxynil, si nécessaire.

L'itinéraire proposé en 2000 est donc :

- En post semis/pré levée : TROPHEE 5 litres/hectare (soit 2 kg d'acétochlore par hectare).
- En post levée : EMBLEM 2 kg/hectare (soit 0.6 kg de bromoxynil par hectare).

### **3. Objectifs**

Les différents objectifs des travaux prévus entre début 2000 et mi-2004, sont les suivants :

- Acquérir les données hydrogéologiques nécessaires pour affiner la délimitation du bassin d'alimentation de la source des Brévilles.
- Suivre l'évolution de la qualité de la source suite à l'arrêt de l'utilisation de l'atrazine et à l'introduction d'une nouvelle substance, l'acétochlore.
- Etudier la variabilité spatiale et temporelle de la qualité de la nappe à l'échelle du bassin.
- Caractériser le transit de l'acétochlore et de ses produits de dégradation au travers des sols jusque dans la nappe.
- Modéliser le système afin de restituer au mieux les données observées et utiliser le modèle à des fins prédictives pour tester par exemple différents scénarios de changements de pratiques agricoles.

## 4. Les travaux menés en 2000

### 4.1. Prospection géologique et géophysique

Afin de préciser les informations de la carte géologique, un retour sur le terrain a été réalisé par R. Wyns, géologue au BRGM. Il a permis de préciser la position de certains niveaux repères du toit et du mur de la nappe et aussi la localisation de 2 failles importantes.

Les observations réalisées au cours de la foration de piézomètres sont également utilisées pour comprendre la structure géologique du secteur.

Des mesures géophysiques de RMP (Résonance Magnétique Protonique) ont été réalisées en août 2000 et complétées en octobre 2001 (figure 1). Vers le bourg de Buhy, des mesures auraient été précieuses de manière à mieux cerner la limite Nord du bassin mais le bruit de fond engendré par les lignes électriques rend impossible l'utilisation de la RMP dans ce secteur.

Après un calage réalisé sur les niveaux piézométriques mesurés dans les différents piézomètres, ces mesures permettent de proposer une carte piézométrique préliminaire du secteur malgré le nombre très limité de points d'accès à la nappe. Ces données, qui doivent encore être affinées, confortent l'hypothèse de l'existence de failles dans la partie Nord-Est du bassin (secteur boisé) qui isole cet ensemble du reste du bassin. La nappe de la Craie est également clairement mise en évidence et ne semble pas être en relation avec celle des sables de Cuise. Cet élément est donc en accord avec les informations recueillies par la SOGREAH lors de la réalisation du piézomètre double.

La géophysique a donc permis de conforter l'hypothèse suggérée par la SOGREAH à la suite d'une observation ponctuelle, que la nappe de la craie et celle des sables de Cuise sont séparées par un niveau imperméable (niveau d'argiles sparnaciennes) et de l'étendre à l'échelle du bassin. Elle permet également, en complément des nouvelles données géologiques, de proposer des limites de bassin d'alimentation.

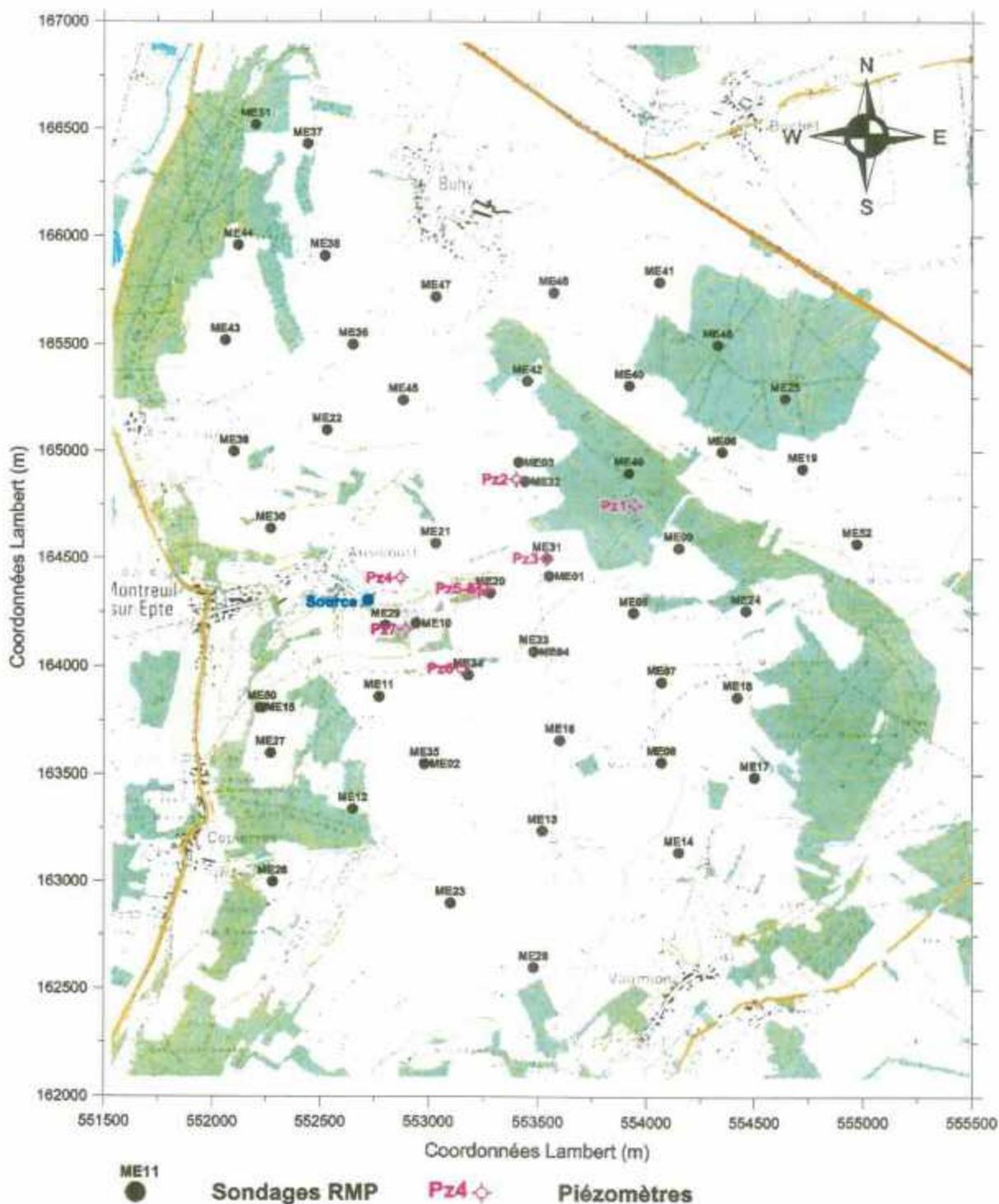


Figure 1 : Localisation des sondages RMP (MEXX) et des piézomètres (PzX)

### CARTE DE L'ALTITUDE DU TOIT DE LA NAPPE ATTRIBUEE AU CUISIEN

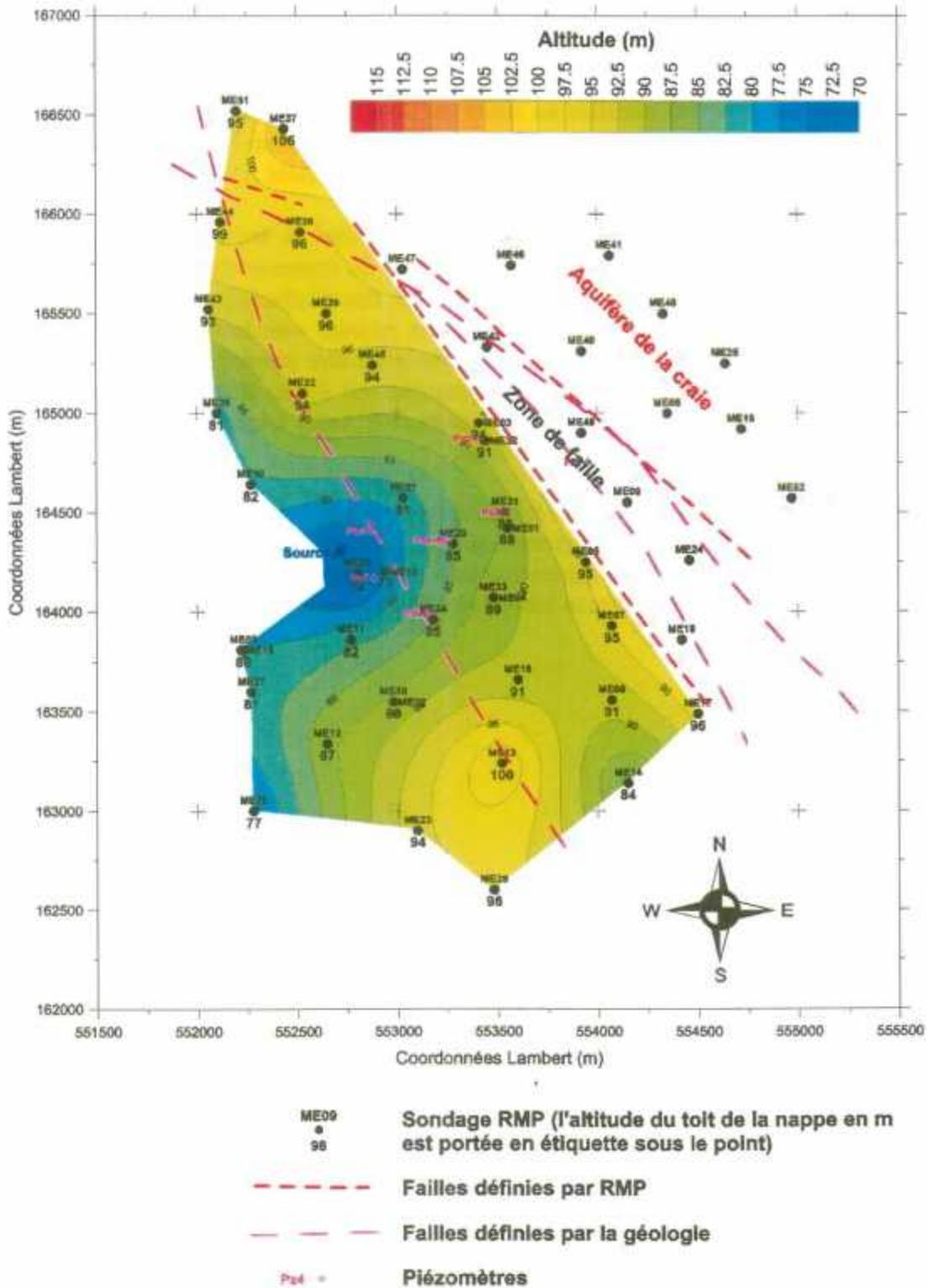


Figure 2 : Altitude du toit de la nappe estimée à partir des mesures RMP

## **4.2. Implantation de piézomètres**

Sur le secteur étudié, il n'existait aucun point d'accès à la nappe qui aurait permis d'une part d'étudier la recharge de la nappe en suivant l'évolution du niveau piézométrique, et d'autre part d'étudier la variabilité spatiale de la qualité de l'eau.

8 piézomètres ont donc été installés au cours du dernier trimestre 2000 et du premier trimestre de 2001. Les travaux ont été réalisés par un foreur (société ARGOAT), prestataire du BRGM, sous le contrôle du BRGM et de la société ANTEA.

La partie supérieure des piézomètres a été forée suivant la technique du tubage à l'avancement (Odex) qui permet de limiter les risques de contamination des solides lors de leur remontée. Pour des raisons techniques, pour des profondeurs supérieures à 15 mètres, la technique du marteau fond de trou a été retenue pour le reste de la foration dans les terrains durs. Ensuite le rotary à la boue a dû être employé pour les terrains meubles. Enfin certains niveaux de la zone saturée ont été carottés permettant ainsi d'obtenir des échantillons non remaniés. Le rapport d'Antea (Anonyme, 2001) donne une description complète des travaux de forage.

Les solides de la zone non saturée ont été récupérés par horizon de 50 centimètres pour analyse et évaluation du stock de phytosanitaires et de nitrate, entre autres. Les carottes de sable sont utilisées pour des expérimentations de dégradation en conditions de zone saturée menées conjointement avec le laboratoire DTU (Danemark), partenaire du projet PEGASE.

#### 4.2.1. Choix des sites

La localisation des piézomètres (figure 1) répond à plusieurs critères :

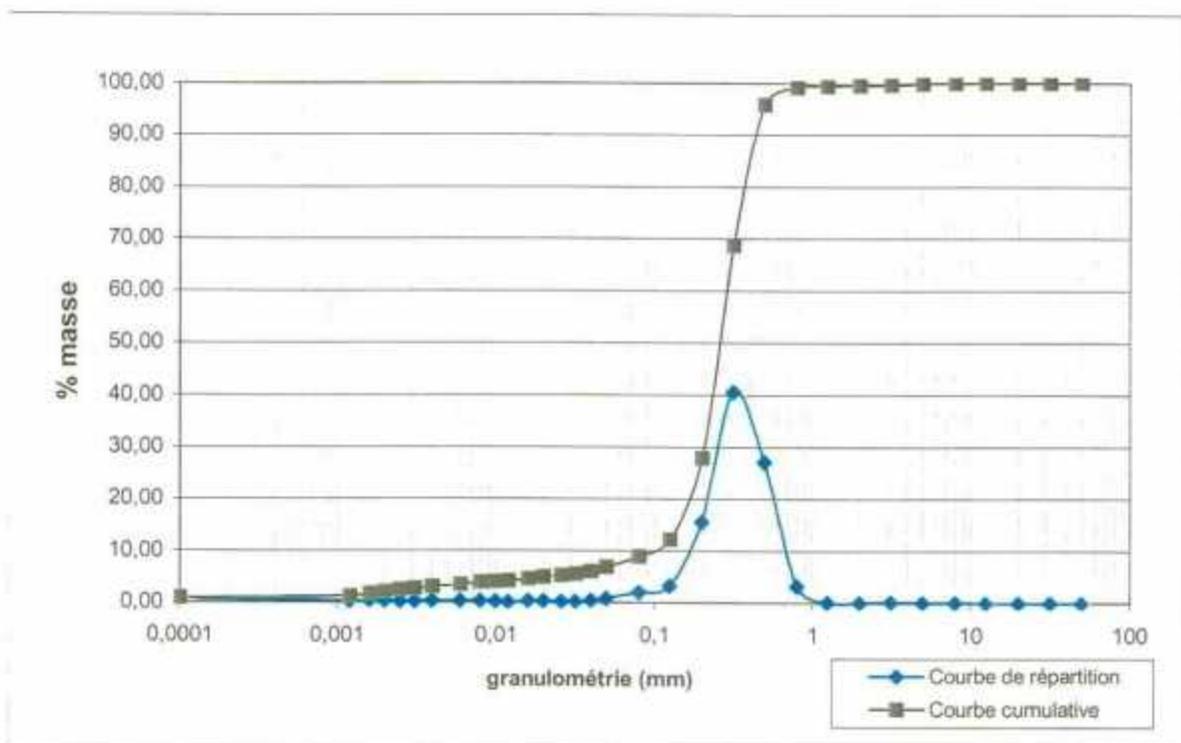
1. certains piézomètres doivent se trouver à l'aval de parcelles sur lesquelles l'acétochlore va être appliqué en 2000 ou 2001 ;
2. deux des piézomètres doivent être suffisamment proches l'un de l'autre pour qu'un pompage d'essai et des traçages puissent être effectués (ces mesures contribuent à la caractérisation du comportement hydrodynamique de la nappe) ;
3. les piézomètres doivent être répartis sur l'ensemble du bassin pour acquérir le maximum d'informations sur la géologie, la recharge et la qualité de la nappe ;
4. les piézomètres doivent être accessibles avec un véhicule utilitaire léger ;
5. les propriétaires et exploitants agricoles ainsi que la commune doivent accepter la gêne engendrée par la mise en place de ces piézomètres dans les parcelles ;
6. un piézomètre est placé à l'amont du bassin, dans le secteur boisé, de manière à déterminer la qualité de l'eau en dehors d'apports agricoles.

Certains piézomètres ont été placés dans des parcelles agricoles et les solides de la zone non saturée ont été récupérés lors de la foration. Des analyses devraient être effectuées sur ces solides de manière à estimer le stock de phytosanitaires et notamment d'atrazine et de dééthylatrazine présent dans la zone non saturée et susceptible d'être lessivé à plus ou moins long terme vers la nappe. Par ailleurs, les nitrates seront également dosés pour en déterminer les profils au sein de la zone non saturée. Les bromures seront aussi recherchés pour essayer de mettre en évidence le transfert de ce traceur conservatif appliqué sur les 2 parcelles expérimentales.

#### 4.2.2. Les informations géologiques apportés par les piézomètres

Lors de la foration, différents niveaux repères ont pu être identifiés. Sur chaque piézomètre, les argiles sparnaciennes (niveau imperméable) qui constituent le substratum de l'aquifère ont été atteintes et traversées sur au moins 1 mètre.

L'Yprésien supérieur est caractérisé par le faciès des sables de Cuise. Il s'agit de sables fauves très fins présentant parfois des intercalations argileuses centimétriques. Une analyse granulométrique a été effectuée sur des sables remontés lors du carottage du piézomètre 5 montre que plus de 50 % de l'échantillon a une dimension inférieure à 0.15 mm (figure 3).



**Figure 3 : Courbes granulométrique de répartition et cumulative (échantillons de sable, Pz5)**

Localement et apparemment plutôt dans les positions de thalwegs (PZ5, PZ8 et PZ7), la formation présente dans sa partie sommitale des bancs de grès qui résulteraient de la consolidation des sables sous l'effet du battement de la nappe.

Des accumulations de débris coquilliers appelés faluns ont été repérés lors du carottage du PZ6. Ils ont également été identifiés dans les argiles sableuses rencontrées à la base du PZ7. Ils n'ont pas été observés dans les autres piézomètres ce qui traduit une hétérogénéité des faciès sur le bassin.

Lors de la foration, les calcaires constituant la zone non saturée sont également apparus hétérogènes. Ils présentent en effet des alternances de bancs carbonatés avec des niveaux marneux ou détritiques. Certains niveaux marneux représentent parfois des obstacles à l'infiltration, sans toutefois engendrer la création de niveau aquifère perché. Néanmoins certains niveaux sont apparus gorgés lors de la foration (PZ2, PZ3).

Contrairement à ce qui était imaginé initialement ni les sables de Cuise ni les calcaires lutétiens ne sont homogènes sur une même verticale ni spatialement à l'échelle du bassin. Il est probable que ces différences de faciès dans la zone non saturée et la zone saturée se traduisent par des différences de propriétés hydrodynamiques qui pourraient induire des différences en terme de transit d'eau et de phytosanitaires.

Les coupes géologiques des piézomètres sont présentés en annexe.

#### **4.2.3. Les variations du niveau piézométrique**

Le piézomètre 1 situé dans la partie amont du bassin, dans la forêt, est sec. Il n'est donc pas possible de mesurer un niveau d'eau ni ses variations au cours du temps. La coupe géologique montre en fait que les niveaux géologiques sont décalés par rapport aux autres piézomètres ce qui met en évidence l'existence d'une faille qui a contribué à faire remonter le bloc situé à l'est de celle-ci par rapport au reste du bassin. Le mur des sables au niveau du Pz1 se trouve au dessus du niveau piézométrique attendu par extrapolation des données obtenues sur les autres piézomètres (Anonyme, 2001).

Les niveaux piézométriques sont mesurés à chaque passage sur le site soit en moyenne 2 fois par mois avec une sonde manuelle.

Depuis l'équipement des piézomètres, les niveaux enregistrés indiquent une tendance à la remontée de la nappe consécutive à la recharge liée aux fortes précipitations enregistrées dans le secteur en 2000. En effet, les précipitations enregistrées par Météo-France à la station de Buhy, située en position de plateau, sont de 978 mm en 2000 (moyenne annuelle = 800 mm pour les années 1993-2000) et de 965 mm à la station de Bray-et-Lû située en vallée (moyenne annuelle = 675.5 mm pour les années 1988-2000).

Les variations du niveau piézométrique ne sont pas homogènes sur le bassin. En effet, pour les piézomètres 4 et 7, situés dans la partie aval du bassin, la remontée est de l'ordre d'une dizaine de centimètres (de février à septembre 2001) alors qu'elle est de plusieurs dizaines de centimètres pour les piézomètres 2, 3, 5, 6 et 8.

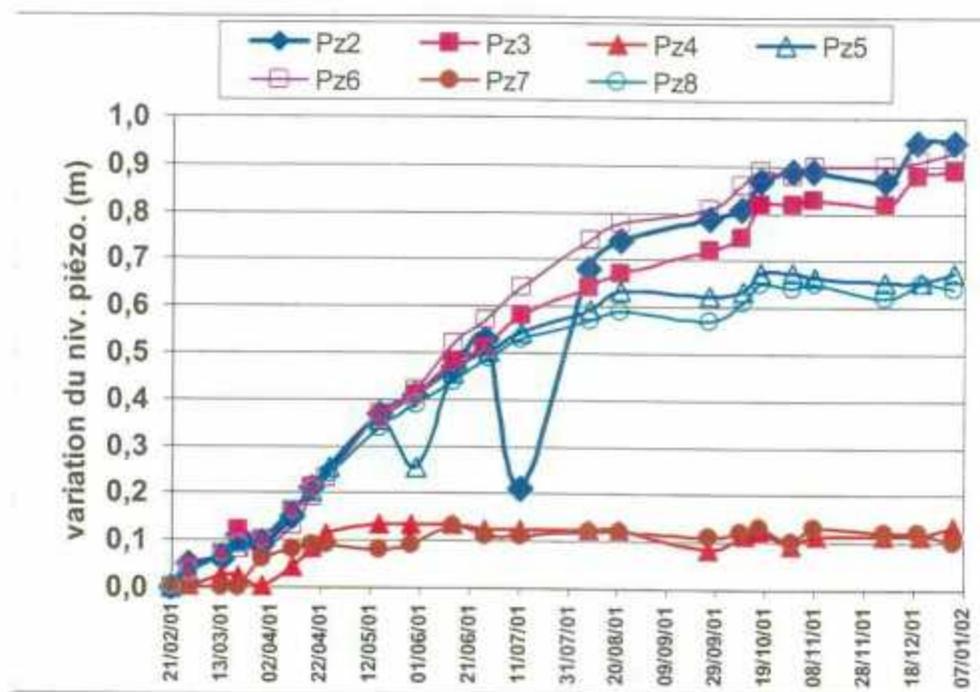


Figure 4 : Variations des niveaux piézométriques de février à décembre 2001

#### 4.2.4. La qualité de l'eau

Depuis le mois de mars 2001, des prélèvements d'eau sont effectués sur les différents piézomètres à une fréquence mensuelle.

Les prélèvements sont effectués à l'aide d'une pompe MPI après vidange préalable de trois fois le volume du piézomètre. Ce pompage est jugé satisfaisant pour assurer un renouvellement de l'eau du piézomètre. La stabilisation des paramètres de température, de pH et de conductivité confirme cette hypothèse.

Les anions et cations majeurs (chlorure, sulfate, nitrate, calcium, magnésium, sodium, carbonate, bicarbonate, potassium, orthophosphate) sont analysés ainsi que les phytosanitaires suivants : atrazine, dééthylatrazine (produit de dégradation de l'atrazine), isoproturon, monométhylisoproturon (produit de dégradation de l'isoproturon), didesméthylisoproturon (produit de dégradation de l'isoproturon), chlortoluron, acétochlore, acétochlore éthanesulfonique (produit de dégradation de l'acétochlore) et acétochlore oxanilique (produit de dégradation de l'acétochlore). Les standards de ces molécules ont été fournis gracieusement par Monsanto.

Les figures 5 et 6 montrent les résultats obtenus pour les piézomètres et la source pendant la période de mars à décembre 2001. Les produits de dégradation de l'isoproturon, l'acétochlore et ses métabolites n'ont été décelés à aucune date dans aucun des piézomètres ni d'ailleurs à la source.

La qualité de l'eau en terme de phytosanitaires est très variable d'un piézomètre à un autre. Certains piézomètres ne présentent pas ou peu de contamination en phytosanitaires (PZ3 et PZ4) alors que d'autres présentent des concentrations plus importantes. Le piézomètre 7 présente des concentrations en triazines comparables à celle mesurées à la source (environ 0,2 µg/L pour l'atrazine et comprises entre 0.5 et 1 µg/L pour la DEA) alors que les piézomètres 5 et 8 révèlent des concentrations largement supérieures pouvant atteindre ou dépasser 2 µg/L en dééthylatrazine et 0.5 µg/L en atrazine. Pour les urées substituées, à l'exception du piézomètre 5, ces molécules ne sont retrouvées que de manière ponctuelle à des périodes proches des périodes d'application ou non retrouvées. Dans le PZ5, l'isoproturon est détecté en revanche de manière presque systématique à des teneurs de l'ordre de 0,1 µg/L.

De la même manière, en terme de chimie minérale et notamment de nitrate, les concentrations mesurées sont très variables d'un piézomètre à un autre. Les piézomètres 6 et 8 présentent des valeurs en nitrate de l'ordre de 60 mg/L comparables à celles mesurées à la source. Le piézomètre 5 présente des teneurs très supérieures, de l'ordre de 100 mg/L alors que les piézomètres 3 et 4 révèlent des concentrations inférieures ou proches de 10 mg/L.

En fonction des piézomètres, les variations de concentration en nitrate pour un piézomètre donné diffèrent. Les piézomètres 2, 5 et 6 montrent une augmentation des teneurs en nitrate, le piézomètre 7 une diminution alors que les piézomètres 3, 4 et 8 présentent des teneurs relativement constantes.

Les piézomètres 3 et 4, implantés dans des parcelles agricoles cultivées, présentent à la fois une faible contamination en phytosanitaires et en nitrate. Les plus fortes teneurs en nitrate et en phytosanitaires sont enregistrées dans les piézomètres 5, 7 et 8. Les piézomètres 5 et 8 sont peu éloignés l'un de l'autre (moins de 30 mètres) mais localisés dans 2 parcelles agricoles différentes, au niveau du thalweg principal du bassin topographique. Le piézomètre 7 est implanté dans un chemin communal, à l'aval de parcelles cultivées et dans la partie aval du bassin hydrogéologique.

Il est probable qu'en plus des différences de pratiques agricoles, les caractéristiques du milieu (sol et géologie de la zone non saturée) puissent expliquer les différences observées.

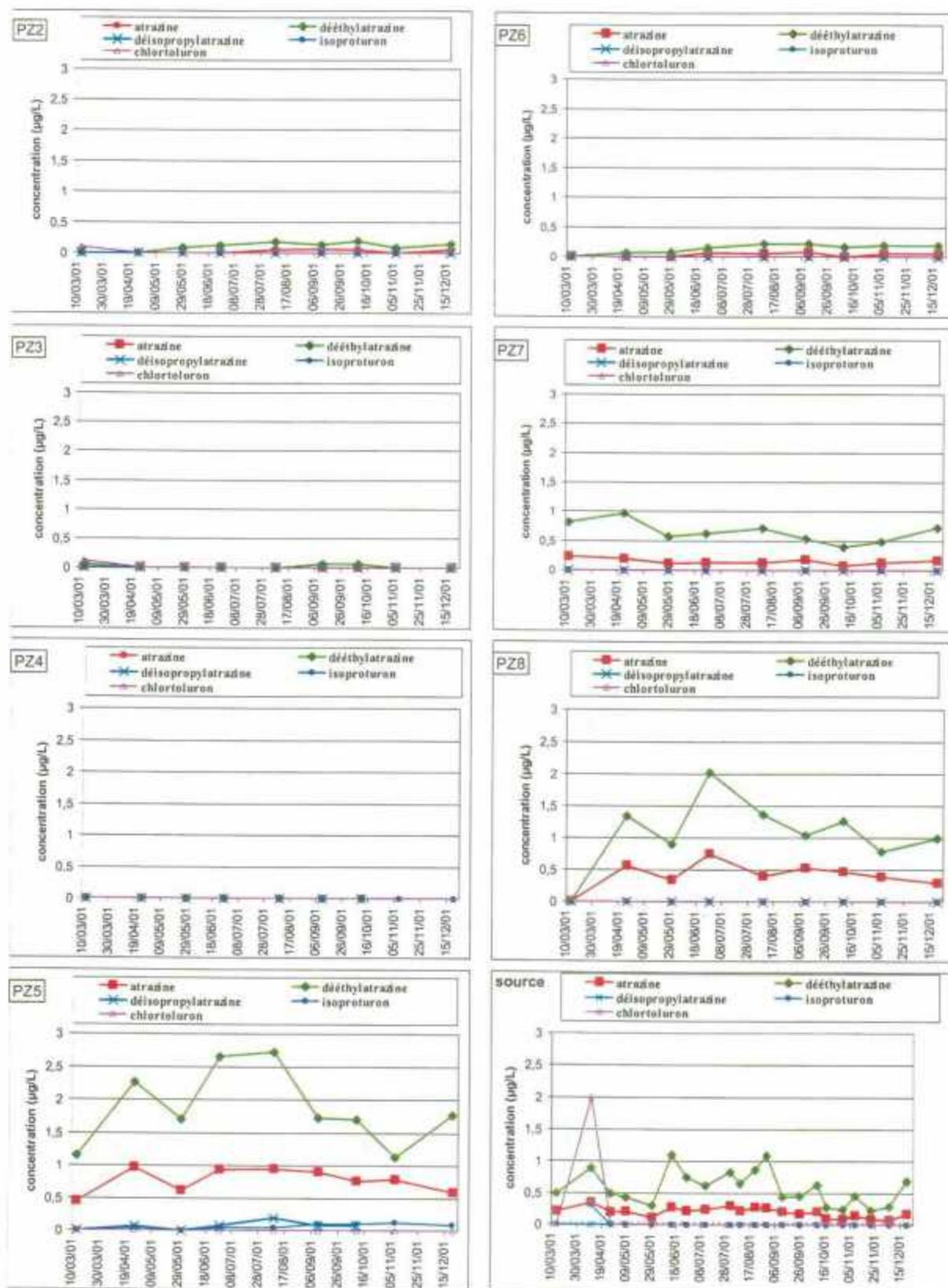


Figure 5 : Tenures en phytosanitaires dans les piézomètres (03 à 12/2001)

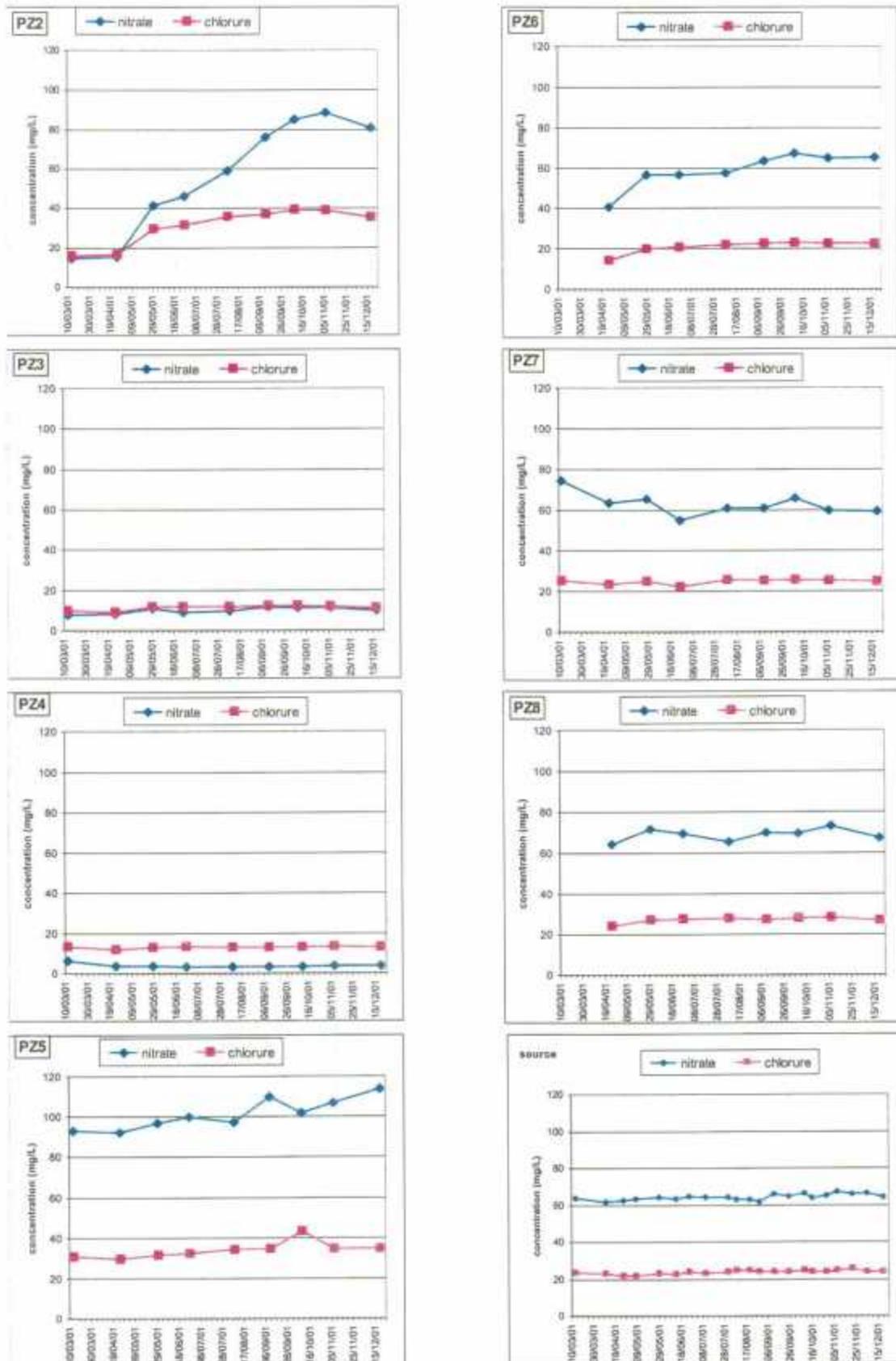


Figure 6 : Tenure en chlorure et nitrate dans les piézomètres (03 à 12/2001)

### 4.3. Le suivi de l'exutoire du système

#### 4.3.1. Les mesures de débit

Depuis décembre 2000, des mesures de débit sont effectuées en continu à l'aval de la source des Brévilles. Un seuil a été aménagé dans la partie canalisée du rû et une sonde de pression reliée à une station automatique d'acquisition a été installée. Des contrôles visuels effectués à chaque passage sur le terrain et visant à vérifier la validité des mesures automatiques ont permis de mettre en évidence une légère dérive du capteur de pression. Les corrections sont en cours sur les données acquises.

Lorsque la source était encore utilisée pour l'alimentation en eau potable, l'influence des pompages effectués de nuit pour assurer la distribution était clairement enregistrée sur la chronique de débit (jusqu'août 2001 environ). Après cette date, les variations sont moins importantes au cours d'un jour donné. Un travail de traitement de données doit être effectué pour ne prendre en compte que les débits non influencés et conduire entre autres à la détermination de débits moyens journaliers. En plus des oscillations liées au pompage, des pics sont observés. Ils résultent, non pas de variation de débit de la nappe, mais d'apports d'eau rapides consécutifs à des précipitations intenses et fortes (ruissellement sur la chaussée, apport d'eaux pluviales des habitations en amont du seuil etc..) jusqu'au seuil. Les débits mesurés sont de l'ordre de 15 L/s soit 54 m<sup>3</sup>/h.

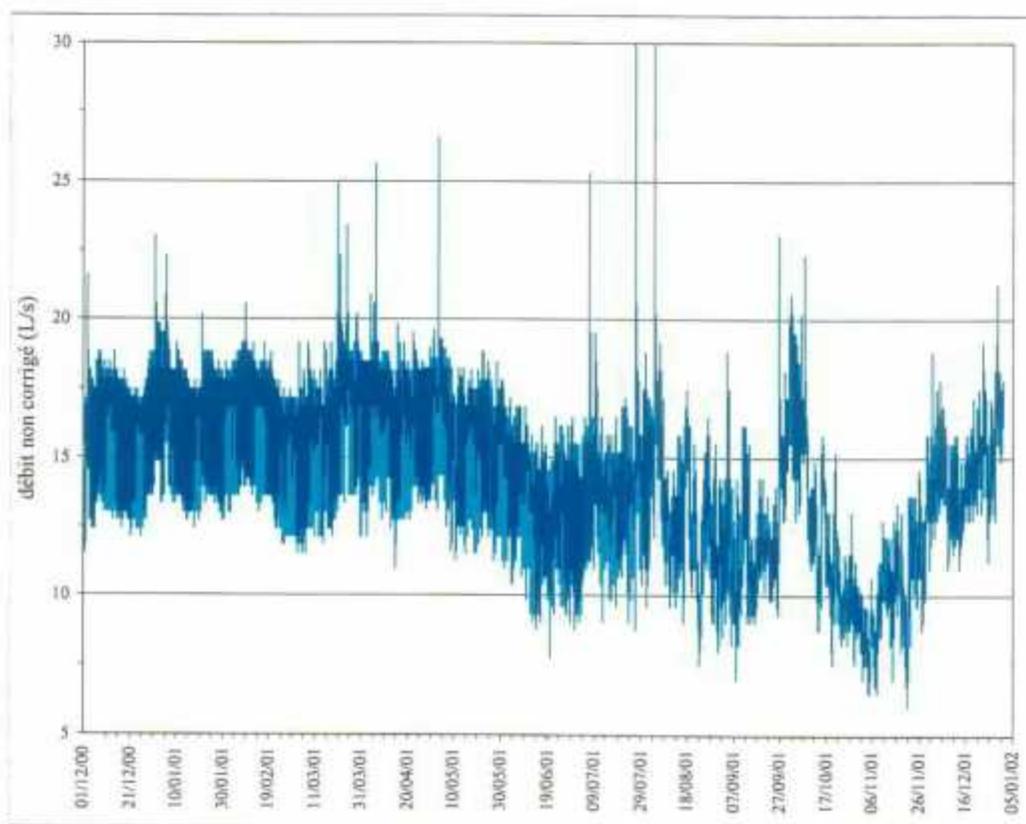


Figure 7 : Evolution des débits non corrigés à la source de décembre 2000 à décembre 2001 (pas de temps de mesure : 5 minutes)

#### 4.3.2. La qualité de l'eau

Un suivi bi-mensuel est effectué en terme de chimie minérale et phytosanitaires. La liste des molécules recherchées a été établie par application de la méthode SIRIS (Paranthoen, 1999). A ces molécules, l'acétochlore et ses deux principaux produits de dégradation (acétochlore éthanesulfonique et acétochlore oxanilique) sont ajoutés.

Les molécules n'ayant jamais été retrouvées au cours de l'année 2000, à raison d'une analyse tous les 15 jours, ne sont actuellement plus recherchées. Il s'agit de la bentazone, le bromoxynil, la cyanazine, le dichlorprop, l'imazaméthabenz-méthyl, l'ioxynil, le MCPA, le mécoprop, l'oxydéméthon-méthyl, le prochloraze, la sulcotrione, le tébutame et le tribunéron-méthyl.

Les molécules qui sont toujours recherchées sont l'atrazine, la dééthylatrazine, la déisopropylatrazine, l'isoproturon et ses produits de dégradation, le chlortoluron, l'acétochlore et ses deux produits de dégradation susmentionnés.

L'acétochlore et ses produits de dégradation n'ont pas été détectés à ce jour (décembre 2001). Les produits de dégradation de l'isoproturon ne sont pas non plus retrouvés.

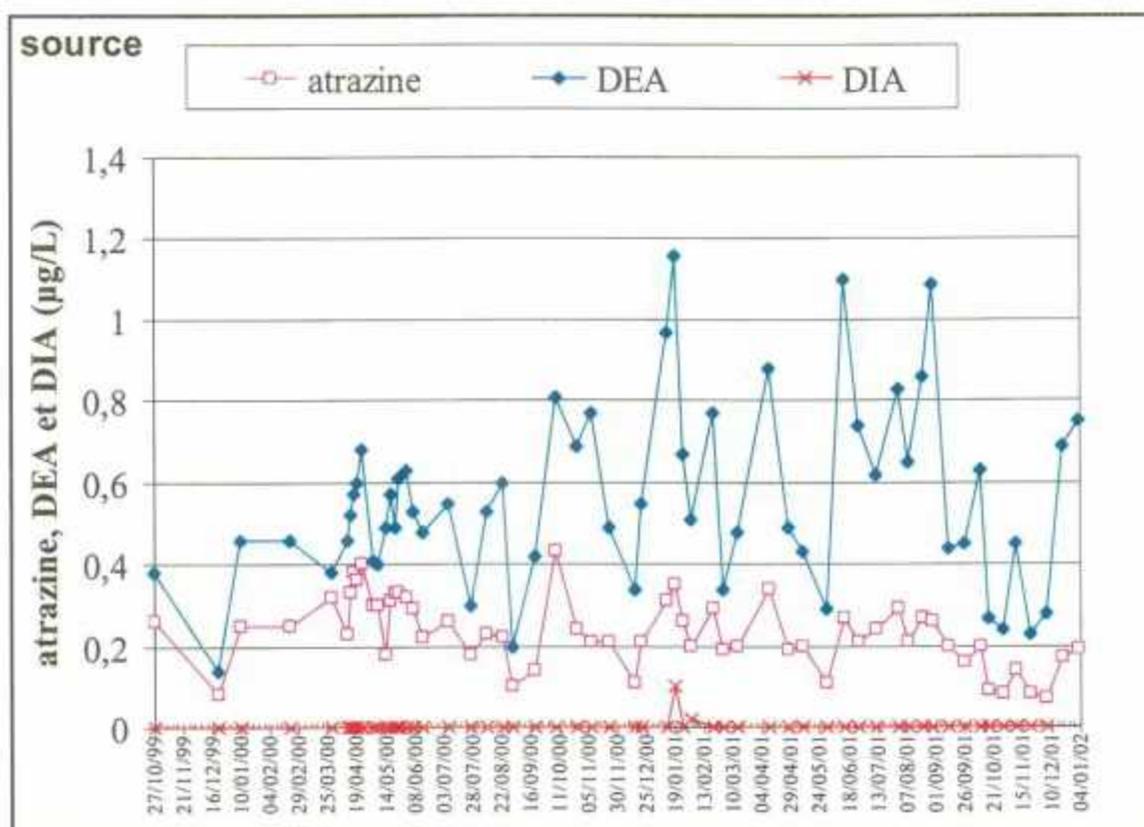


Figure 8 : Suivi des concentrations en atrazine, dééthylatrazine (DEA) et déisopropylatrazine (DIA) à la source des Brévilles de octobre 1999 à décembre 2001

Depuis le début du suivi intensif réalisé dans le cadre de cette étude (octobre 1999), l'atrazine et la dééthylatrazine sont retrouvées de manière systématique dans les eaux de la source (figure 8) bien que la dernière application en atrazine ait été réalisée en avril 1999. Les teneurs en atrazine oscillent autour de 0,2 µg/L ; les teneurs en dééthylatrazine sont toujours supérieures à celles de l'atrazine. Les valeurs les plus fortes en dééthylatrazine ont été mesurées en 2001. La déisopropylatrazine n'a été détectée que de manière ponctuelle (janvier 2001) à des concentrations de l'ordre de 0,1 µg/L. Ces observations témoignent de la grande persistance de ces molécules et de la présence probable d'un stock d'atrazine et vraisemblablement de dééthylatrazine, dans le sol et/ou la zone non saturée, stock qui reste mobilisable.

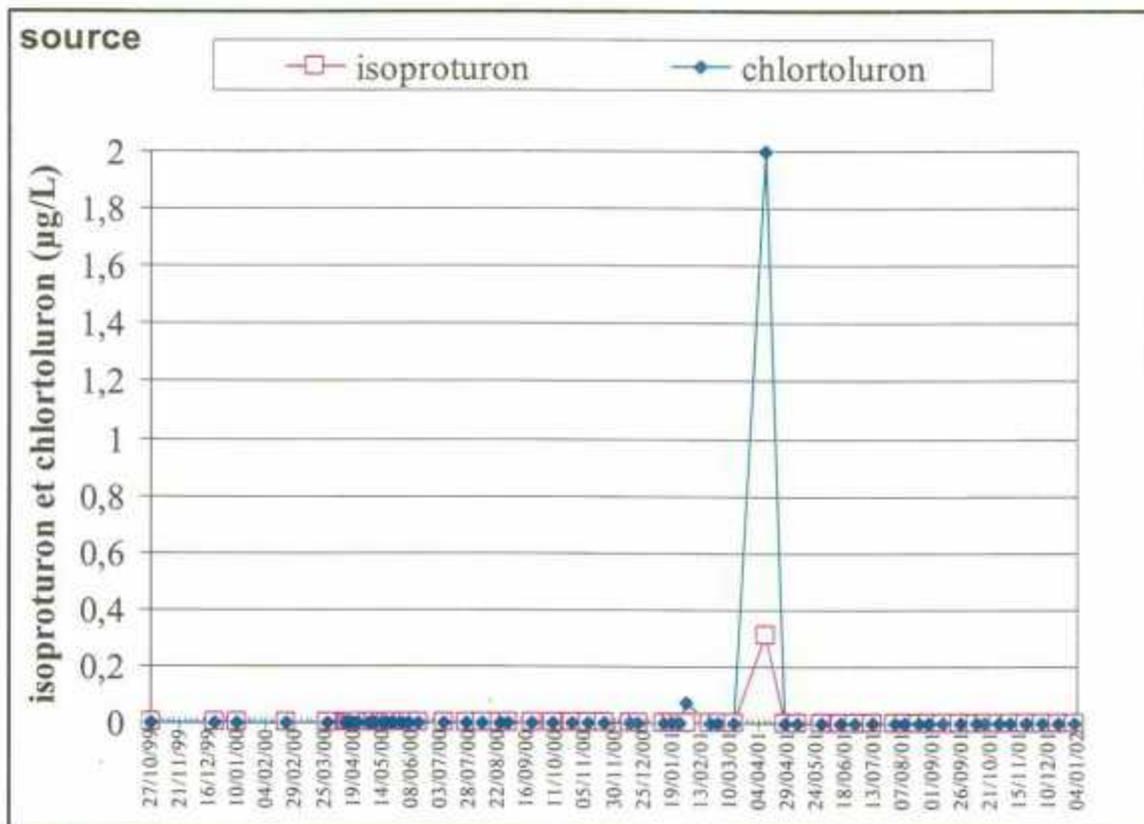


Figure 9 : Suivi des concentrations en isoproturon et chlortoluron à la source des Brévilles de octobre 1999 à décembre 2001

Ces deux molécules n'ont été retrouvées que de manière très ponctuelle durant le premier trimestre 2001 c'est à dire à des moments où ces molécules sont utilisées pour le désherbage des céréales. Un pic de 2 µg/L en chlortoluron a été observé en avril. Il semble que ces molécules soient peu mobilisables dans le temps et seulement pendant une durée assez courte après leur application. Cette mobilité réduite dans le temps peut être liée à une fixation sur le sol sous forme de résidus liés ou à une dégradation en des composés non recherchés.

#### 4.4. La pédologie

Au cours de l'hiver 2001, une vaste campagne d'étude pédologique a été menée sur le bassin en collaboration avec l'INRA d'Orléans. 250 sondages à la tarière à main ont été réalisés ainsi que 10 fosses. Sur la base des informations recueillies (texture des sols, succession des textures en profondeur, porosité, hydromorphie etc...) une carte des sols a été établie (figure 10). 12 unités ont été identifiées mais peuvent être regroupées en 3 grands ensembles. Le premier ensemble est constitué par les sols développés sur des limons éoliens. Il comprend les luvisols et les brunisols. Ces sols sont généralement profonds et sains. Le deuxième grand ensemble est constitué par les sols développés sur le substrat calcaire. Il s'agit des calcisols, calcosols, rendosols et rendisols. Ces sols sont généralement courts et riches en cailloux calcaires, ils apparaissent également bien drainants. Le premier ensemble est plutôt représenté sur le versant sud du bassin alors que les sols courts sont plutôt présents sur le versant nord. Enfin le troisième ensemble, représenté de façon beaucoup plus anecdotique, correspond aux colluvions. Elles sont présentes dans les dépressions marquées du bassin et notamment au niveau du thalweg principal orienté globalement est-ouest.

Lors de l'ouverture des fosses pédologiques, des prélèvements ont été faits pour définir les propriétés hydrodynamiques des sols à l'aide de manipulations de laboratoire. Les paramètres qui sont étudiés sont la conductivité à saturation, les relations potentiel de pression-teneur en eau et conductivité-teneur en eau. Les mesures sont en cours au laboratoire de l'INRA et des mesures complémentaires devraient être effectuées en 2002.

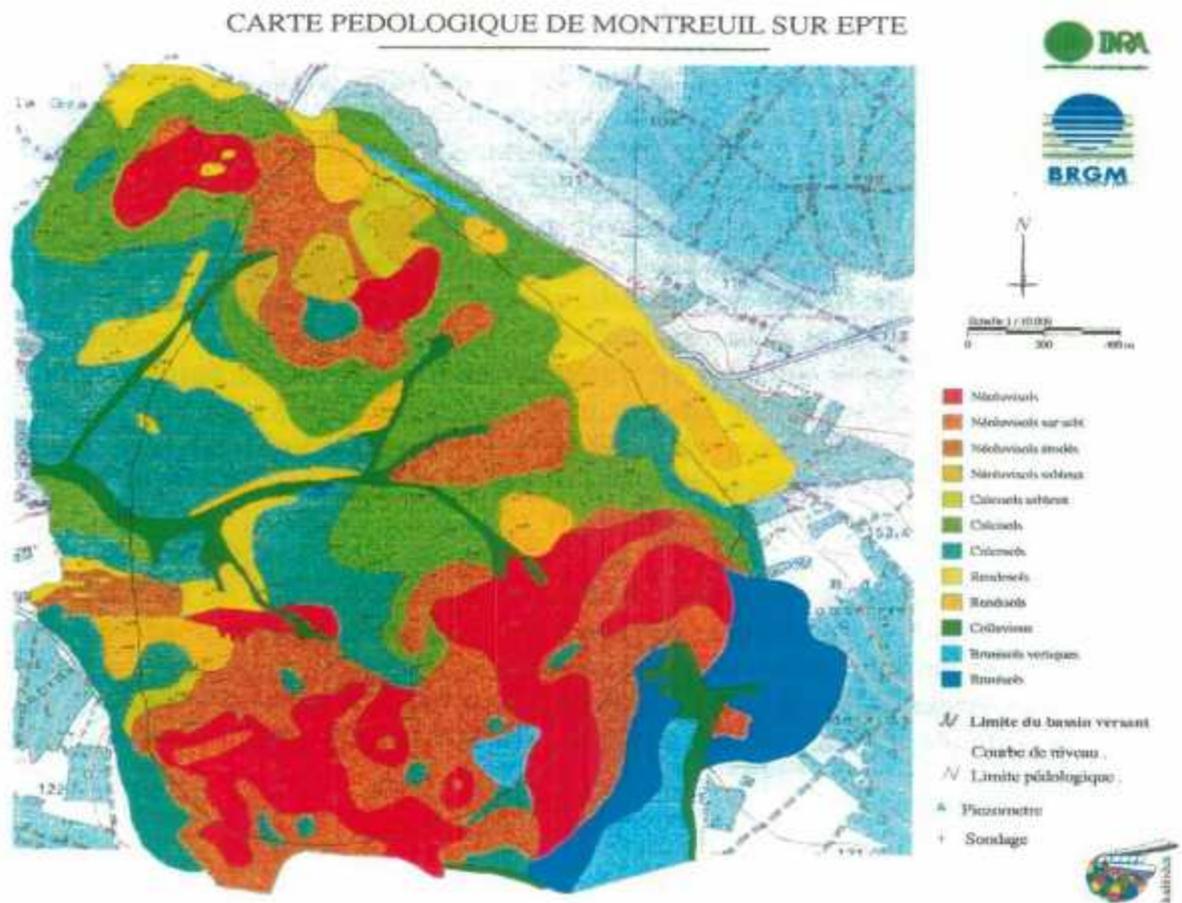


Figure 10 : Carte des sols du secteur étudié (collaboration INRA)

## 5. Suivis parcellaires pour l'année culturale 2000

### 5.1. Les parcelles étudiées

Deux parcelles représentatives des 2 grandes unités de sols identifiées ont été suivies pendant la saison culturale 2000. Ces deux parcelles étaient emblavées en maïs, culture faisant partie intégrante de la rotation.

La première parcelle, d'environ 10 hectares, correspond à un sol épais développé sur des limons éoliens. Il s'agit d'un néoluvisol (classification FAO, tableau 1a). L'épaisseur moyenne est de l'ordre du mètre. Il ne contient pas de cailloux. L'absence de traces d'hydromorphie indique un ressuyage satisfaisant et l'absence d'engorgement temporaire ou permanent de ce sol.

La deuxième parcelle présente un sol plus court développé sur les calcaires. Il s'agit d'un calcisol selon la classification FAO (tableau 1b). L'épaisseur, variable, est en moyenne de l'ordre de 50 centimètres. Ce sol est riche en cailloux calcaires dès la surface. Il s'agit d'un sol sain, ne présentant pas de traces d'hydromorphie semblant donc indiquer un bon ressuyage. Cette parcelle agricole a une surface d'environ 6 hectares.

profondeur (cm)	argile (%)		limon (%)		sable (%)		CaCO <sub>3</sub> (%)		Matière organique (%)	
	Moy.	E. type	Moy.	E. type	Moy.	E. type	Moy.	E. type	Moy.	E. type
0-5	15.1	1.6	67.7	1.1	14.5	1.2	0.3	0.3	2.4	0.1
5-10	14.9	1.3	67.4	1.8	15.1	2.0	0.3	0.3	2.3	0.1
10-20	15.7	1.3	68.0	1.1	14.3	1.1	0.2	0.5	1.7	0.2
20-30	16.1	1.8	68.1	1.9	14.3	1.0	0.1	0.1	1.5	0.2
30-40	19.7	3.8	67.1	2.6	12.1	1.6	0.1	0.1	1.0	0.2
40-50	21.5	5.6	59.2	17.4	10.6	2.1	8.0	22.4	0.8	0.1
50-60	22.6	2.9	66.2	2.0	10.3	2.5	0.1	0.2	0.7	0.2
60-70	25.0	5.0	63.2	3.9	9.6	1.5	1.5	3.4	0.7	0.2
70-80	24.0	1.0	55.9	13.6	11.7	2.1	7.8	17.5	0.6	0.2
80-90	28.9	2.0	55.3	6.2	10.9	2.1	4.3	7.0	0.6	0.2

**Tableau 1a : Caractéristiques physico-chimiques du luvisol  
(moyenne et écart-type sur 8 échantillons)**

profondeur (cm)	argile (%)		limon (%)		sable (%)		CaCO <sub>3</sub> (%)		Matière organique (%)	
	Moy.	E. type	Moy.	E. type	Moy.	E. type	Moy.	E. type	Moy.	E. type
0-5	21.8	1.4	59.8	4.7	9.1	0.9	5.9	5.5	3.4	0.2
5-10	22.0	1.9	60.6	4.4	8.9	0.6	5.4	4.9	3.1	0.2
10-20	20.8	5.2	56.1	14.2	9.0	1.1	11.7	18.9	2.5	0.7
20-30	20.9	5.0	56.8	11.5	9.5	1.9	10.7	13.8	2.1	0.4
30-40	14.2	7.3	34.0	21.3	13.8	8.5	36.4	25.2	1.5	0.6
40-50	10.4	4.5	28.1	10.0	11.8	4.8	48.6	12.6	1.1	0.5
50-65	7.4	1.5	14.1	0.4	10.6	4.1	67.1	6.1	0.7	0.1

**Tableau 1b : Caractéristiques physico-chimiques du calcisol  
(moyenne et écart-type sur 8 échantillons)**

Les deux parcelles ont été instrumentées, quelques jours après le semis du maïs et avant le traitement herbicide. Le tableau 2 résume les principales interventions sur ces 2 parcelles.

INTERVENTION	Calcisol	Luvisol
Instrumentation de la parcelle	12 avril 2000	11 avril 2000
Date du traitement herbicide	19 avril 2000	19 avril 2000
Date de l'application de bromure	19 avril 2000	19 avril 2000

**Tableau 2 : Principales interventions sur les parcelles suivies en 2000**

Seule une surface de l'ordre de 0,7 hectare située au sein de chaque parcelle agricole est étudiée. Cette surface expérimentale est divisée en 4 blocs de taille égale (50 x 35 m).

## 5.2. Application de bromure et d'acétochlore

Environ une heure avant l'application de l'acétochlore, des bromures sous forme de KBr ont été appliqués sur les 2 parcelles. Le bromure est un traceur dit conservatif c'est-à-dire ne subissant pas d'interaction avec la matrice du sol et pas de dégradation. Les bromures sont donc considérés comme un traceur de l'eau. Ils sont présents en quantité peu importante à l'état naturel. Des analyses réalisées sur des échantillons de sols prélevés avant l'application ont montré des teneurs maximales de 0,28 mg/kg. Les

profils de bromure et leur évolution au cours du temps après l'application peuvent donc être interprétés sans ambiguïté.

L'application des bromures a été réalisée par l'un des 2 agriculteurs concernés à l'aide du même pulvérisateur sur les 2 parcelles et à partir de la même préparation initiale.

Type de sol	Profondeur (cm)	Concentration en bromure (mg/kg)
luvisol	0-20	0.05
	20-40	0.15
	40-65	0.15
	65-90	0.12
	90-110	0.18
	110-130	0.12
calcisol	0-5	0.10
	5-10	0.12
	10-20	0.18
	20-30	0.28
	30-40	0.24
	40-50	0.19

**Tableau 3 : Concentrations en bromure dans les sols avant application du traceur (KBr)**

Chaque agriculteur a effectué, environ une heure après l'application des bromures, son traitement herbicide en procédant de manière habituelle. Les 2 agriculteurs ont donc utilisé, pour l'acétochlore, des pulvérisateurs différents. Toute la parcelle a été traitée. Le produit commercial est du TROPHEE dans les 2 cas. Il s'agit de la première application de ce produit sur les 2 parcelles et sur le bassin.

Afin d'apprécier la variabilité des apports en surface et de les connaître avec précision, 40 coupelles en aluminium (matériau inerte vis à vis des phytosanitaires) ont été placées dans chaque parcelle expérimentale, soit 10 par bloc. Leur disposition est relativement aléatoire : une série de 5 barquettes, espacées de manière relativement régulière en évitant les zones de recouvrement potentiel, est placée sur une ligne perpendiculaire au sens du traitement. Moins d'une heure après le traitement acétochlore, chaque barquette a été ramassée et placée dans un flacon en verre ambré hermétique. Les pertes potentielles par volatilisation ou photodégradation sont de cette manière très réduites. Après retour au laboratoire, une solution de méthanol a été ajoutée de manière à recouvrir la barquette. Après agitation, un aliquot est prélevé de manière à doser l'acétochlore et les bromures.

Les figures 11 et 12 montrent la variabilité des apports sur chaque parcelle.

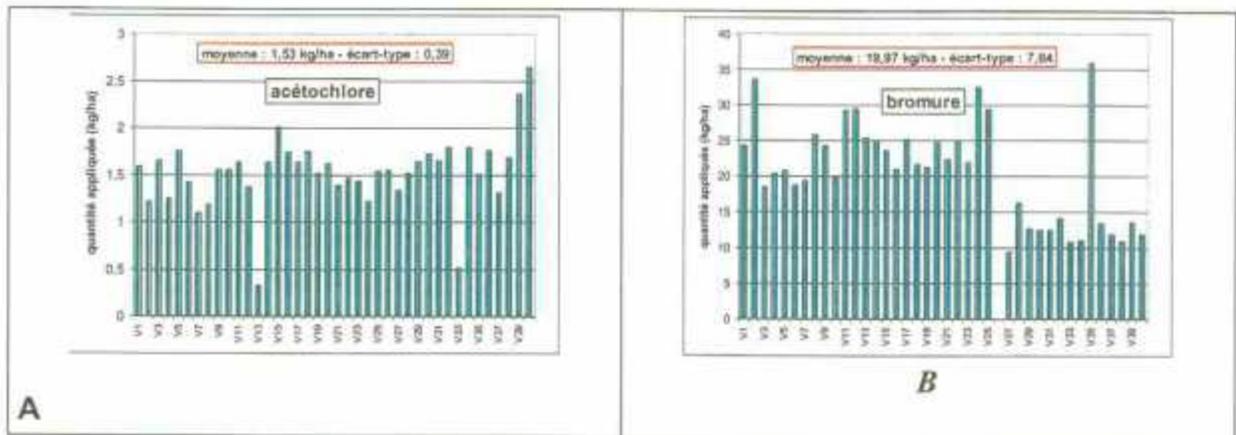


Figure 11 : Hétérogénéités des apports d'acétochlore (A) et des bromures (B) sur le calcisol

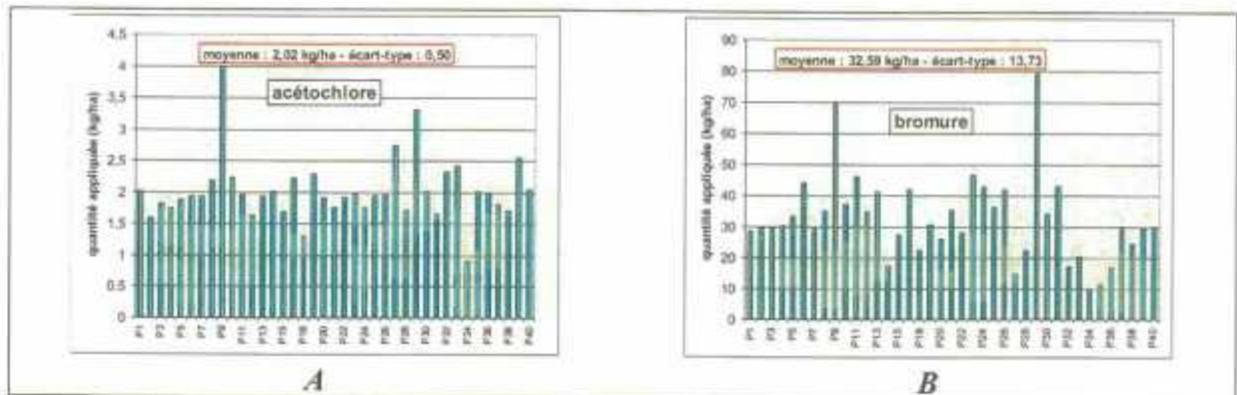


Figure 12 : Hétérogénéités des apports d'acétochlore (A) et des bromures (B) sur le luvisol

Les quantités appliquées mesurées ne suivent pas une règle générale (comme une quantité plus ou moins importante à l'extrémité ou au centre de la rampe) qui serait liée à la position de la barquette par rapport à la rampe de pulvérisation (figures 13 et 14). L'interpolation des valeurs de quantités appliquées entre les barquettes est donc impossible. Cette manipulation permet d'appréhender la variabilité spatiale des applications et de calculer une dose moyenne appliquée ainsi qu'un écart-type. Elle ne rend toutefois pas possible la comparaison directe des valeurs mesurées pour différentes carottes, les valeurs mesurées étant tributaires de la quantité appliquée.

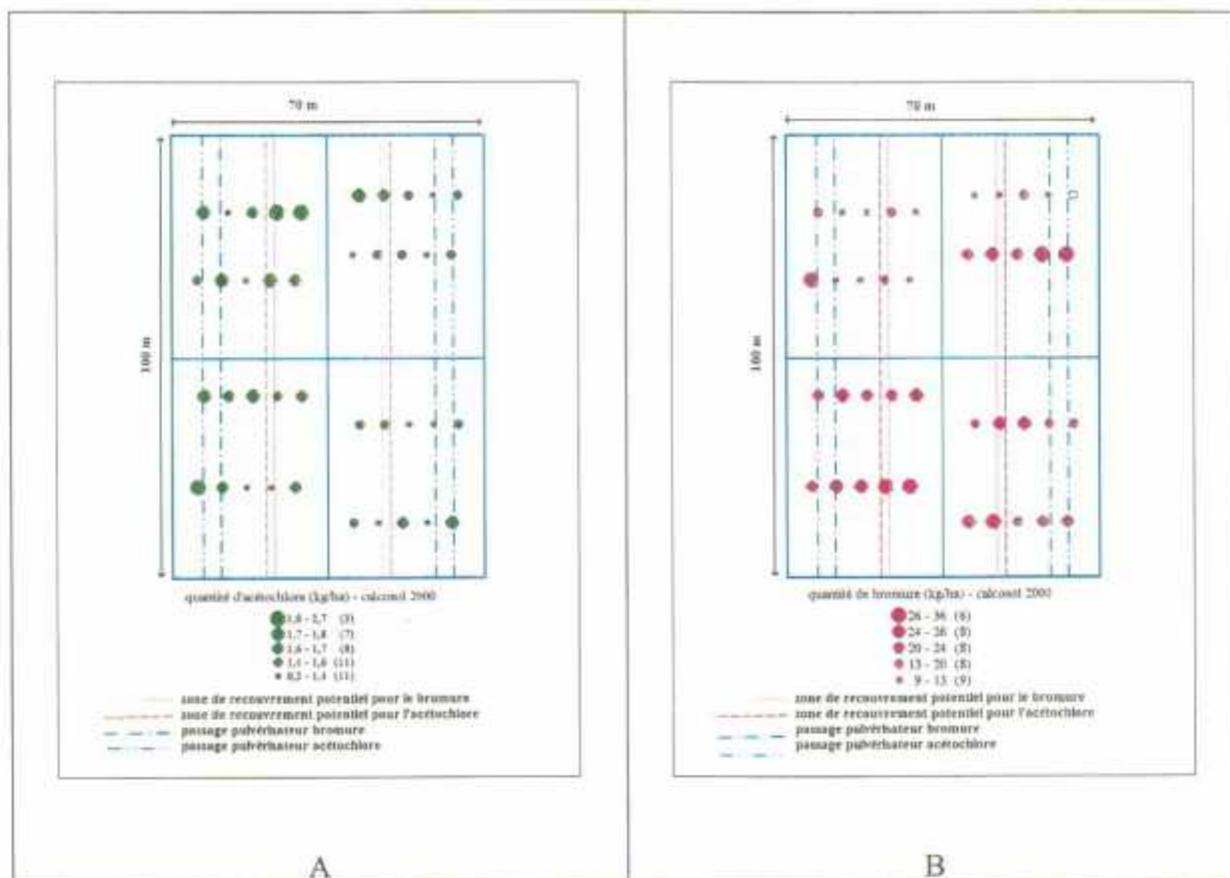


Figure 13 : Emplacement des barquettes et quantités appliquées mesurées en acétochlors (A) et en bromure (B) sur le calcisol

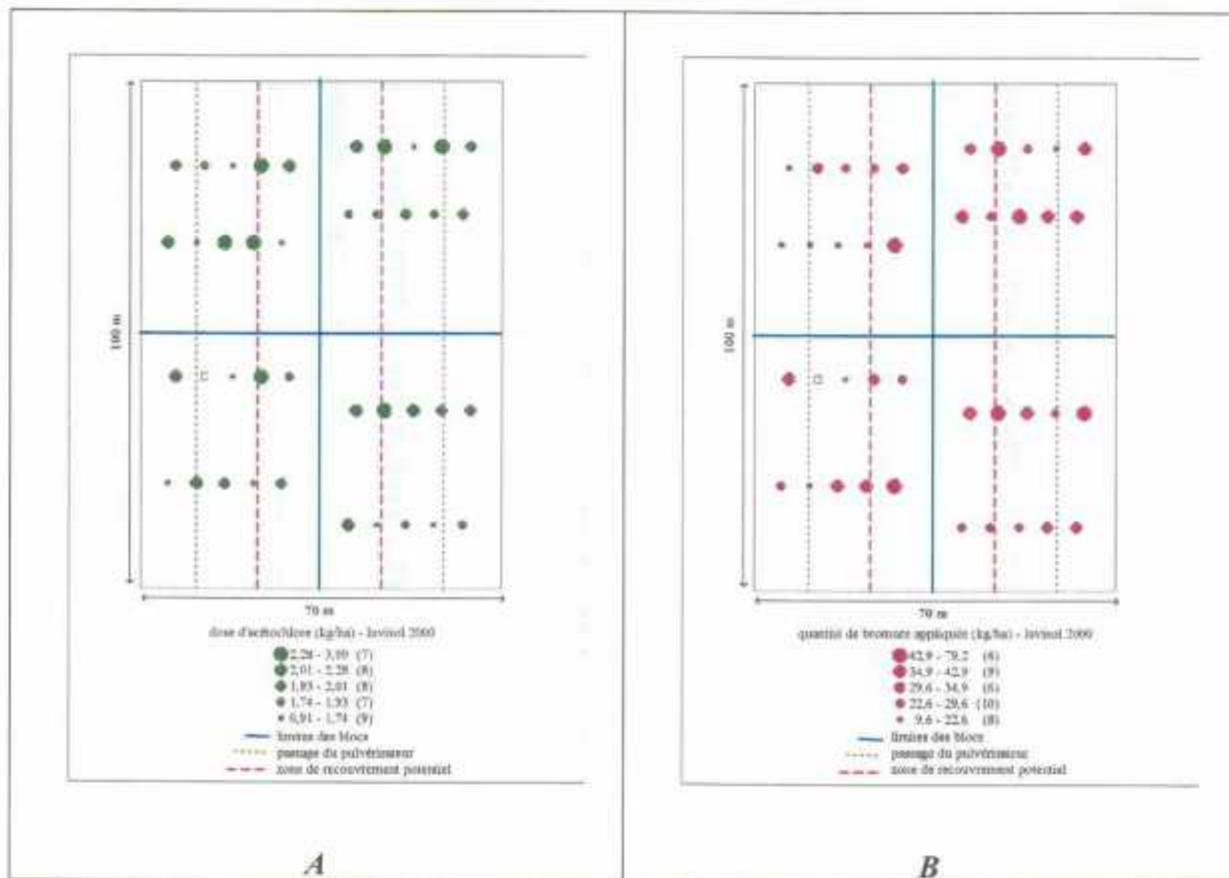


Figure 14 : Emplacement des barquettes et quantités appliquées mesurées en acétochlorure (A) et en bromure (B) sur le néoluvisol

### 5.3. les prélèvements de sol

Afin de caractériser le transit de l'acétochlorure et de ses produits de dégradation dans le premier mètre, des prélèvements de sol sont effectués à différentes dates après l'application.

Un carottier à percussion de 10 centimètres de diamètre est utilisé. Il permet de prélever des carottes non remaniées jusqu'à 1 mètre, voire plus courtes si le substrat est atteint avant 1 mètre.

Pour chaque parcelle et chaque date, 16 carottes sont prélevées, soit 4 par blocs. Les carottes, emballées dans du papier aluminium sont logées dans des tubes PVC et emballées hermétiquement de manière à limiter les pertes en eau. Au laboratoire, le pourtour (qui aurait pu être contaminé lors de la foration) de chaque carotte est éliminé et le cœur de la carotte est découpé en tranches de 0-5, 5-10 cm puis tous les 10 centimètres. Toutefois lorsque des hétérogénéités pédologiques étaient observées,

comme la transition d'horizons limono-argileux à des marnes, des sous-horizons ont été distingués.

Chaque horizon est pesé humide puis séché à 40°C jusqu'à poids constant pendant au maximum 72 heures. L'humidité pondérale est ainsi déterminée. Après séchage, le sol est broyé et tamisé à 2 mm. Chaque horizon est divisé en 2 échantillons. Le premier est destiné à l'analyse des bromures et est conservé à 4°C avant dosage ; le deuxième est destiné à l'analyse des phytosanitaires et est stocké à -18°C.

## **5.4. Le dosage des bromures, de l'acétochlore et de ses produits de dégradation**

### **5.4.1. Dosage des bromures**

10 grammes de sol séché, broyé et tamisé à 2 mm sont placés dans un tube en polyéthylène de 20 ml. 10 ml d'une solution de  $\text{CaCl}_2$   $10^{-4}$  M, servant d'extractant sont ajoutés. Après agitation au vortex pendant quelques secondes, les tubes sont placés sur un agitateur rotatif pendant 40 minutes de manière à assurer une mise en solution permanente et suffisamment longue pour garantir une extraction optimale. Les tubes sont ensuite centrifugés pendant 30 minutes à 4000 tours/minutes. Le surnageant est filtré à 0,45  $\mu\text{m}$  à l'aide d'un filtre en acétate de cellulose.

Ce surnageant est dosé en chromatographie ionique (Dionex, 4500 i). La colonne utilisée est de type As14, l'éluant est un mélange de carbonate et de bicarbonate de sodium. L'identification du composé se fait grâce à son temps de rétention, sa quantification en fonction de l'aire du pic observé et par comparaison à des standards de concentration connue injectés. La limite de quantification est de 0.1 mg/kg.

### **5.4.2. Dosage de l'acétochlore et des ses dérivés**

La méthode utilisée pour l'acétochlore est une adaptation des méthodes proposées dans la littérature scientifique. Pour les dérivés, la méthode a été développée au sein du BRGM Analyses en concertation avec Monsanto, producteur de l'acétochlore. Monsanto a également fourni, à titre gracieux, les étalons des deux produits de dégradation.

Le dosage de l'acétochlore et de ses dérivés nécessite la mise en œuvre de 2 méthodes d'extraction et de dosages. Pour les deux méthodes, les sols sont séchés, broyés et tamisés à 2 mm.

- **Pour l'acétochlore**

50 g de sol sont agités avec 200 ml d'un mélange acétonitrile/eau. Après centrifugation, le surnageant est évaporé puis acidifié. Du méthanol est ensuite ajouté et une nouvelle évaporation est réalisée. L'extrait est alors composé d'un mélange eau/méthanol. Le

dosage s'effectue en CLHP/MS (chromatographie liquide haute performance couplée à un spectromètre de masse) ; la limite de quantification est de 0.5 µg/kg.

- **Pour les dérivés**

L'extraction, par la technique de l'Accelerated Solvent Extraction (ASE), se fait sous des conditions de haute pression et haute température. 15g de sol sont placés dans une cellule dans laquelle percole de l'acétone (3 lavages successifs). Après évaporation, la reprise de l'extrait est faite à l'aide d'acétate d'éthyl. Le dosage s'effectue en CG/SM (chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse) ; les limites de quantification sont de 0.5 et 2 µg/kg pour les dérivés ESA et OA, respectivement.

Pour ces deux méthodes, des essais de taux de rendement d'extraction ont été effectués. Les taux de rendement sont satisfaisants suivant les critères généralement admis par les laboratoires d'analyses (compris entre 70 et 120 %) et montrent de plus que ces techniques sont reproductibles.

## **5.5. le comportement de l'acétochlore et des bromures**

### **5.5.1. Mise en évidence de l'hétérogénéité intra-parcellaire et stratégie d'analyses**

Les bromures ont été dosés sur chaque horizon de chaque carotte et pour chaque date. A titre d'exemple, les profils obtenus dans le néoluvisol lors de la première campagne de prélèvements sont présentés en figure 15.

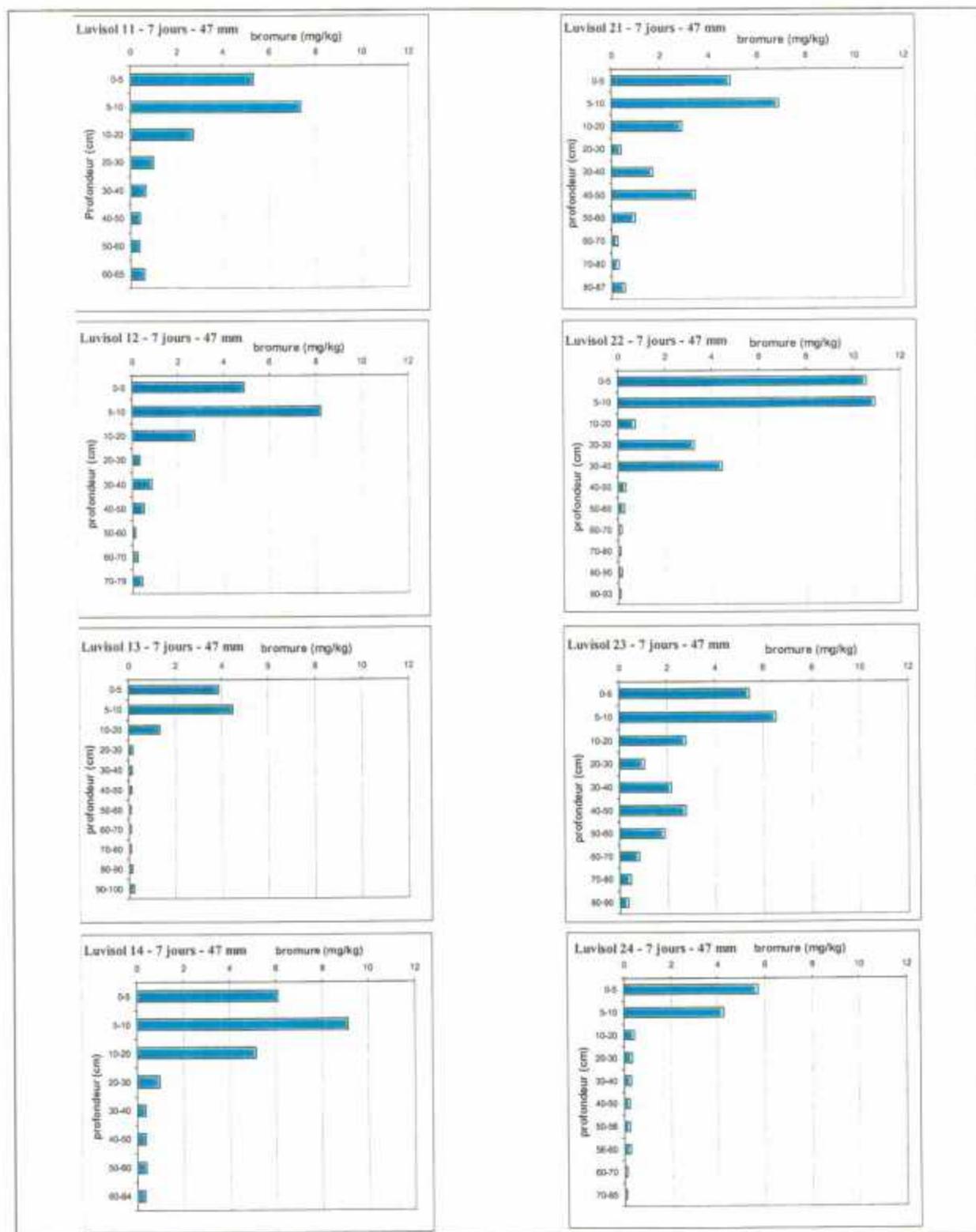


Figure 15 : Exemple de la variabilité des profils de bromure obtenus pour les 16 carottes du luvisol lors de la première campagne de prélèvements (Luvisol xy : x= numéro du bloc, y = numéro de la carotte de ce bloc)

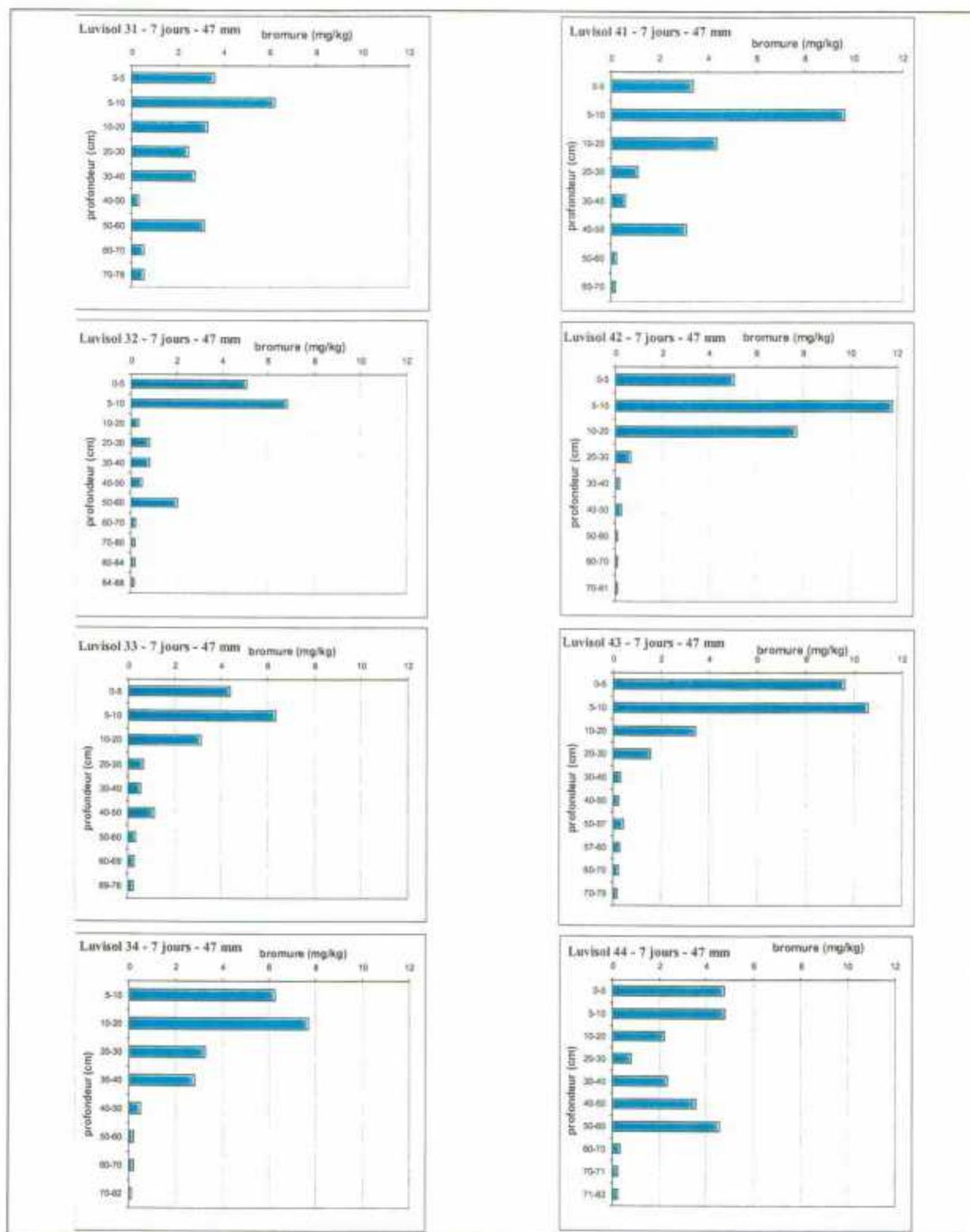


Figure 15 (suite) : Exemple de la variabilité des profils de bromure obtenus pour les 16 carottes du luvisol lors de la première campagne de prélèvements (Luvisol xy : x = numéro du bloc, y = numéro de la carotte de ce bloc)

Pour chaque campagne de prélèvement et pour les 2 sols, les profils sont extrêmement hétérogènes tant sur l'allure générale du profil que pour les concentrations mesurées. Les différences de concentration peuvent être expliquées en partie par les différences de quantité appliquées en surface (figures 10 et 11). Deux grands types de profil peuvent être distingués. Les profils dans lesquels un seul pic symétrique est observé, comme les carottes P34 ou P14 (figure 15), traduisent l'existence d'écoulements majoritairement au sein de la microporosité. Certains profils, comme les carottes P21, P23, P31, P32 ou encore P41) présentent plusieurs pics liés à un cumul entre d'une part des écoulements préférentiels dans la macroporosité (chenaux de vers de terre par exemple) et d'autre part du transport dans la microporosité. La proportion entre le transport dans la micro et la macroporosité varie spatialement au sein de la parcelle et engendre cette diversité de profils.

Un grand nombre de prélèvements s'avère donc indispensable pour prendre en compte cette variabilité intra-parcellaire. Pour toutes les dates de prélèvement, les bromures sont analysés sur chaque horizon de chaque carotte. La moyenne et les écarts-types obtenus pour chaque profondeur sont calculés de manière à décrire un comportement moyen.

Sur la base des profils bromures, deux carottes présentant des comportements extrêmes, à savoir transport matriciel dominant ou flux préférentiels très fortement marqués, sont sélectionnées et destinées à l'analyse phytosanitaire. Ce choix est également réalisé au vu des bilans de bromure. Pour chaque carotte, la quantité de bromure présente dans le profil est calculée en prenant en compte la concentration mesurée et la densité du sol, estimée à  $1.5 \text{ kg/dm}^3$  sur tout le profil. Cette quantité est comparée à la dose moyenne appliquée sur la parcelle. Pour l'exemple présenté (date 1 – luvisol), les bilans obtenus pour chaque carotte varie de 31 à 93%, la valeur moyenne obtenue en regroupant les 16 carottes individuelles étant de 69%. Pour les phytosanitaires, 3 carottes sont donc analysées : deux correspondant à des cas extrêmes (écoulement matriciel dominant/écoulement préférentiel dominant) et la carotte moyenne reconstituée à partir des 16 prélèvements élémentaires.

## **5.5.2. Transfert des solutés dans le calcisol**

### **5.5.2.1. Bromure : évolution et bilan de masse**

La figure 16 présente l'évolution des concentrations en bromure dans le calcisol pour les 6 dates de prélèvements. Les valeurs présentées sont les moyennes et les écarts-types calculés à partir des valeurs obtenues pour chacune des 16 carottes prélevées. Il faut noter toutefois que pour les horizons profonds, le nombre d'échantillons peut être moindre : en effet, les carottes ont une longueur variable selon la profondeur d'apparition du substrat calcaire. Par exemple, l'horizon 60-70 cm à la date 1 résulte d'une seule mesure ; ceci explique également l'absence d'écart-type.

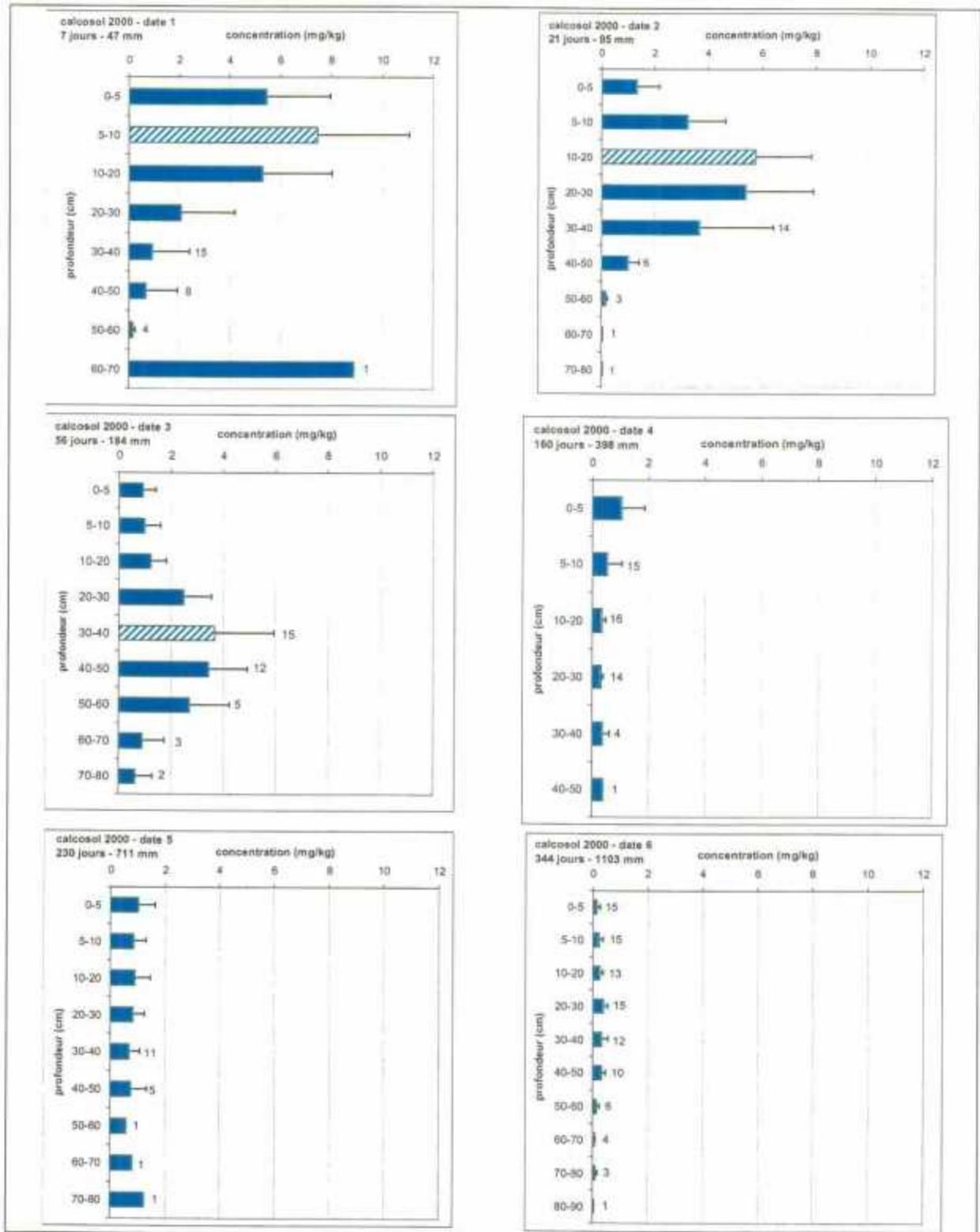


Figure 16 : Evolution des teneurs en bromure dans le calcosol pour 6 dates de prélèvement (moyenne et écart-type sur 16 échantillons si nombre non précisé)

Pour chaque date, un bilan de masse est effectué. La quantité de bromure présente dans le profil est comparée à la quantité moyenne de bromure appliquée en surface. Pour ce calcul, la densité du sol est considérée comme constante sur tout le profil et égale à 1.5 kg/dm<sup>3</sup>. Des mesures de densité sont en cours et permettront d'affiner ce calcul.

Numéro de la campagne	Nombre de jours après l'application	Pluie cumulée depuis l'application (mm)	% de bromure par rapport à la dose moyenne initiale
1	7	46.4	117
2	21	94.8	138
3	56	184	121
4	160	398.2	14
5	230	711.2	31
6	344	1103.4	13

**Tableau 4 : Pourcentage de bromure par rapport à la dose moyenne appliquée sur le calcisol et précipitations cumulées pour les 6 campagnes de prélèvements de sol (valeur moyenne obtenue à partir de 16 analyses élémentaires – densité du sol estimée à 1.5 kg/dm<sup>3</sup>)**

Les profils moyens obtenus pour chaque date montrent que le pic de bromure migre vers le bas (figure 16). En effet à la date 1, la concentration maximale est enregistrée à 5-10 cm, puis à 10-20 cm pour la date 2, 30-40 cm à la date 3. A partir de la date 4, aucun maximum ne se distingue clairement. Les concentrations mesurées sont très faibles, et assez voisines des valeurs obtenues sur les sols avant application du traceur pour les dates 4 et 6 (tableau 3). La présence de bromure en bas des carottes ainsi que la migration du pic vers le bas témoignent d'un lessivage du bromure vers les horizons les plus profonds, lessivage qui se produit également vraisemblablement dans les horizons plus profonds que ceux qui ont été échantillonnés. Les bilans de matière (tableau 4) montrent également une diminution de la quantité de bromure présent dans le profil au cours du temps. Alors que pour les 3 premières dates, une masse de bromure équivalente –à l'hétérogénéité spatiale près- à celle appliquée est encore contenue dans le profil échantillonné, donc environ dans le premier mètre de sol, à partir de la date 4, seule une très faible quantité reste dans ce premier mètre. Le bromure n'étant ni dégradé ni adsorbé sur la matrice solide, l'hypothèse la plus vraisemblable est un lessivage. Toutefois, il est reconnu qu'une partie des bromures, variable selon les plantes mais pouvant atteindre 20 à 30 % de la quantité appliquée, peut être prise par les plantes. Même si les prélèvements par les plantes atteignent ces valeurs, cela ne suffit pas à expliquer une perte de l'ordre de 85 % de la quantité appliquée. Le lessivage reste donc le processus le plus important. Des prélèvements de plantes ont été effectués et des dosages sont en cours de manière à préciser la quantité réellement absorbée par les plantes.

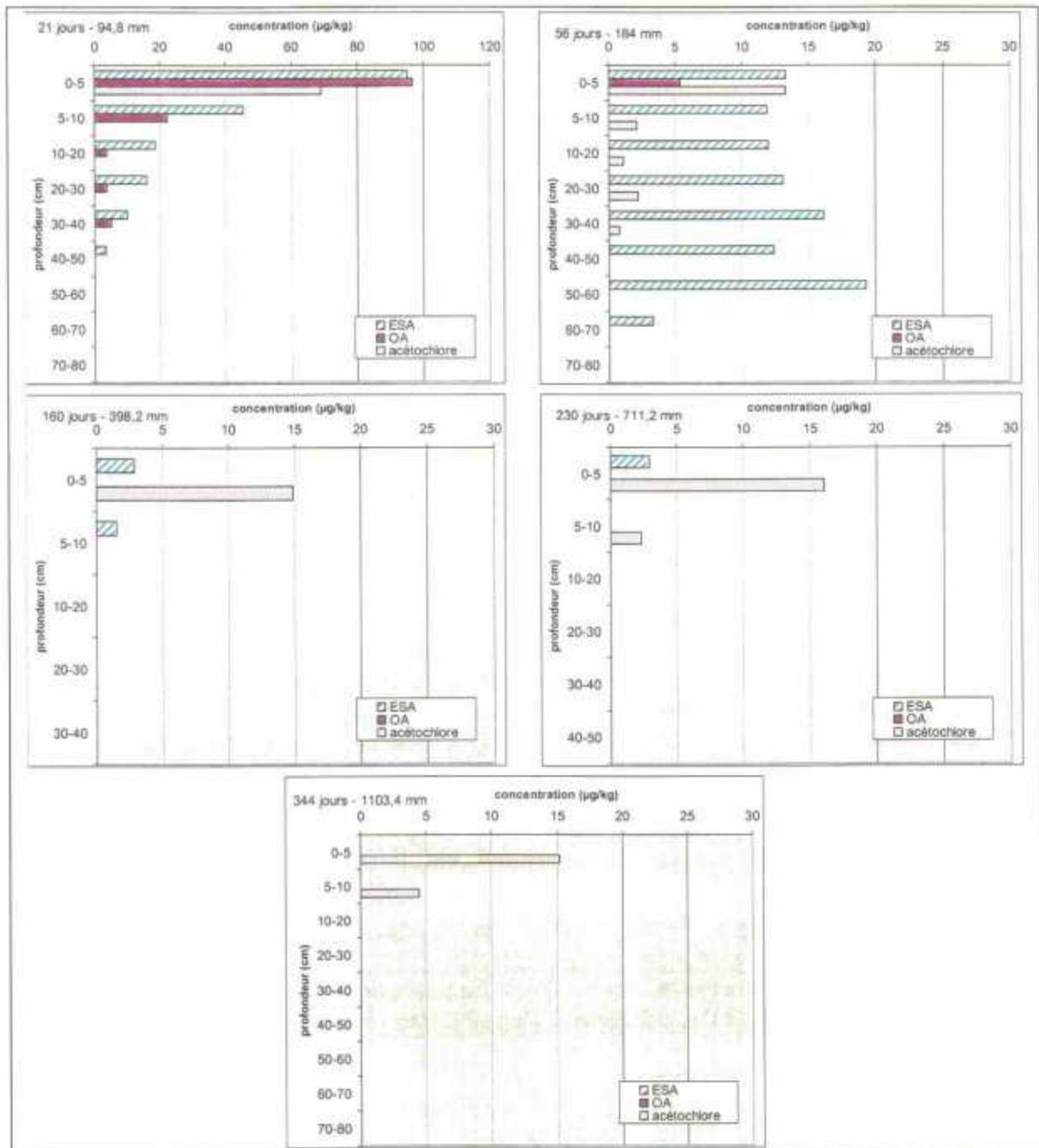
L'augmentation du bilan entre la date 4 et la date 5 peut également résulter de cette consommation du bromure par les plantes. La date 4 se situe fin septembre donc juste avant la récolte ; la date 5 correspond à début décembre, époque où les maïs ont été récoltés et les résidus de récolte contenant des bromures sont présents sur le sol. Lors de la décomposition des débris végétaux, il est possible que des bromures soient libérés dans le sol. Une deuxième hypothèse est que lors de l'échantillonnage des débris de végétaux soient prélevés et analysés en même temps que le sol. Ces deux hypothèses vont dans le sens d'une augmentation des bromures présents dans l'horizon de surface. Le fort écart-type observé pour l'horizon de surface à la date 5 traduit une forte hétérogénéité qui pourrait résulter de la répartition non homogène des débris végétaux à la surface du sol.

Pour les 3 premières dates, les bilans dépassent 100 %. L'utilisation de la densité à  $1.5 \text{ kg/dm}^3$  sur l'ensemble du profil pourrait engendrer cette surestimation du pourcentage de bromure encore présent dans le profil par rapport à la quantité moyenne appliquée. La quantité de bromure présente dans l'horizon de surface est importante pour ces 3 dates, or la densité est vraisemblablement plus faible pour cet horizon qui est travaillé régulièrement. De plus, aucune correction n'est faite de manière à prendre en compte le bromure présent à l'état naturel dans le sol.

#### 5.5.2.2. Acétochlore et produits dérivés

<b>CALCOSOL 2000</b>	<b>Date 2</b>	<b>Date 3</b>	<b>Date 4</b>	<b>Date 5</b>	<b>Date 6</b>
Nbre de jours depuis l'application	21	56	160	230	344
Précipitations cumulées (mm)	94.8	184.0	398.2	711.2	1106.4
% ESA	11.6	8.7	0.2	0.1	0
% OA	7.0	0.1	0	0	0
% acétochlore	3.4	0.7	0.7	0.9	1.0
<b>% acétochlore + dérivés</b>	<b>22.0</b>	<b>9.5</b>	<b>0.9</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>

**Tableau 5 : Pourcentage de dérivé ESA, OA et d'acétochlore restant dans le sol par rapport à la dose moyenne appliquée sur la parcelle de calcosol pour les différentes campagnes d'échantillonnage (échantillon moyen constitué à partir de 16 prélèvements élémentaires – densité du sol estimée à  $1.5 \text{ kg/dm}^3$ )**



**Figure 17 : Evolution des concentrations en ESA, OA et acétochlore dans le calcisol pour 5 dates (limites de quantification 0.5 ; 2 et 0.5 µg/kg respectivement)**

La détection de dérivés ESA et OA dès la première série de mesures, soit 21 jours après l'application, témoigne de la mise en place rapide de la dégradation. La microflore présente dans le sol s'adapte rapidement, ou est intrinsèquement capable de transformer l'acétochlore, puisqu'il s'agit de la première application d'acétochlore sur la parcelle.

Les plus fortes concentrations de dérivés sont observées pour la date 2 (56 jours) puis elles diminuent pour devenir quasi nulles à partir de la date 4. La non-détection des dérivés ESA et OA peut résulter d'une dégradation de ces produits en d'autres non recherchés, de leur lessivage plus bas que le premier mètre ou bien de la formation de résidus liés, non détectables lors de l'analyse. La présence, à des concentrations nettement supérieures aux limites de quantification, des deux dérivés dans les horizons les plus profonds échantillonnés à la date 2 montrent que le lessivage existe. Il est toutefois impossible de quantifier le pourcentage de lessivage, le stock mobilisable n'étant pas connu. Les deux autres hypothèses (dégradation ou fixation) ne peuvent pas être exclues. Le dérivé ESA est présent en quantités plus importantes que le dérivé OA.

La quantité d'acétochlore dans le profil est faible dès la première campagne de mesure. En effet, après seulement 21 jours, la quantité d'acétochlore représente moins de 4 % de la quantité appliquée. La dégradation qui se traduit par l'apparition des dérivés ESA et OA explique en partie cette baisse. Le lessivage et la production de résidus liés pourraient également être des processus importants. La volatilisation du produit mère présent à la surface du sol pourrait également contribuer à diminuer la quantité de produit présent dans le profil de sol.

Le total représentant la somme des dérivés ESA et OA ainsi que de la molécule mère ne représente que 22 % de la dose appliquée après 21 jours et décroît très rapidement. Les parts respectives des processus de dégradation, de lessivage ou de fixation ne peuvent pas être déterminées. A partir de la date 4, environ seulement 1 % de l'acétochlore appliqué est encore présent dans le profil. Ce pourcent correspond principalement à de l'acétochlore restant sous sa forme mère dans l'horizon de surface.

### 5.5.3. Transfert des solutés dans le néoluvisol

#### 5.5.3.1. Bromure : évolution et bilan de masse

Numéro de la campagne	Nombre de jours après l'application	Pluie cumulée depuis l'application (mm)	% de bromure par rapport à la dose initiale
1	7	46.4	70
2	27	115.4	85
3	56	184.0	56
4	160	398.2	13
5	230	711.2	27
6	344	1103.4	11

*Tableau 6 : Pourcentage de bromure par rapport à la dose moyenne appliquée sur le néoluvisol et précipitations cumulées pour les 6 campagnes de prélèvements de sol (valeur moyenne obtenue à partir de 16 analyses élémentaires – densité du sol estimée à 1.5 kg/dm<sup>3</sup>)*

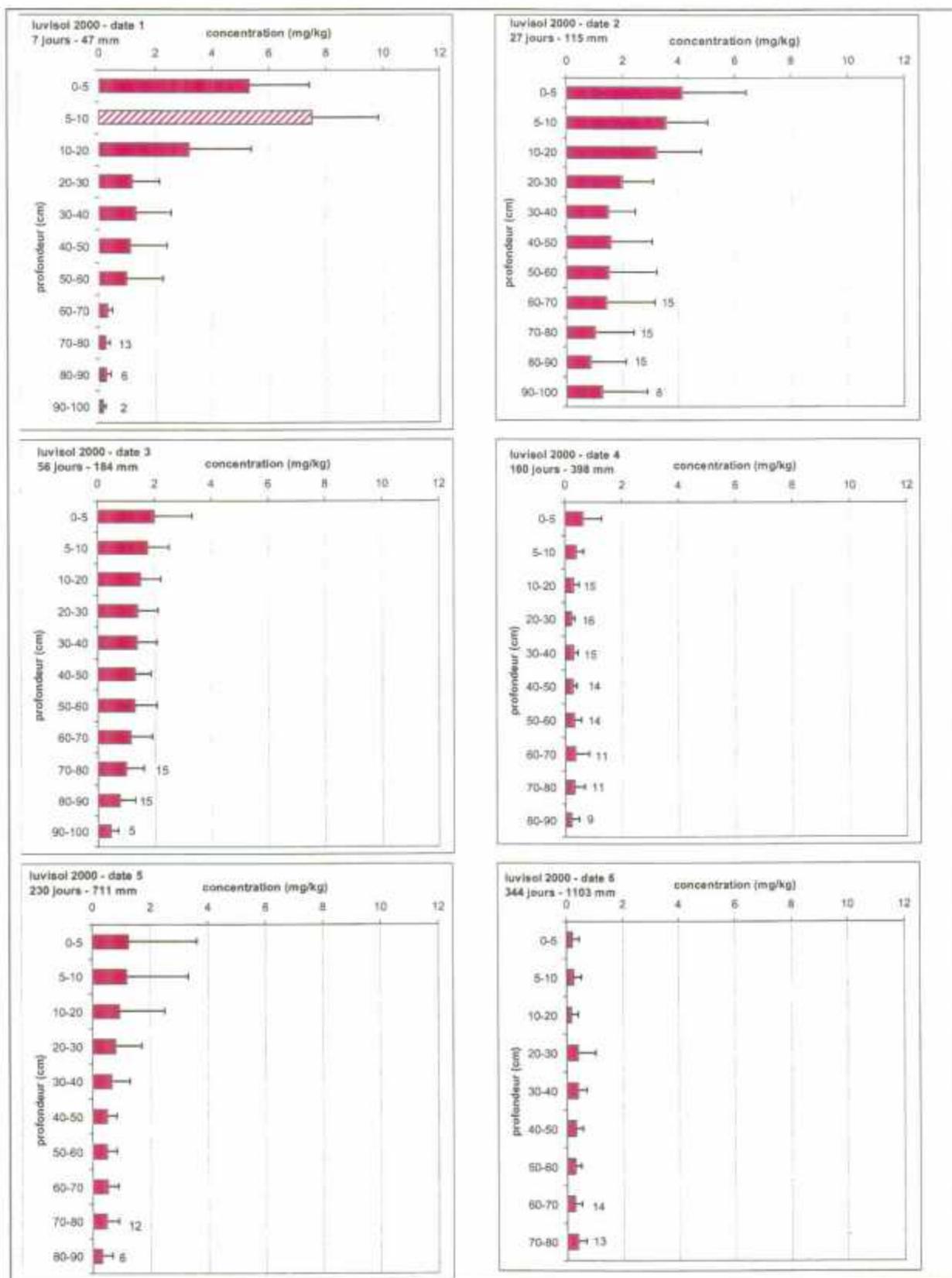


Figure 18 : Evolution des teneurs en bromure dans le luvisol pour 6 dates de prélèvement (moyenne et écart-type sur 16 échantillons sauf si nombre précisé)

Comme pour le calcisol, la valeur moyenne obtenue pour chaque horizon résulte de l'analyse de 16 échantillons élémentaires, à l'exception des horizons les plus profonds. Un bilan de matière par rapport à la quantité moyenne appliquée est effectué en admettant une densité homogène sur le profil égale à  $1.5 \text{ kg/dm}^3$ , qui sera vérifiée dans la deuxième année des travaux.

A partir de la date 3 (figure 18), soit 184 mm de pluie depuis le traitement, la quantité de bromure représente environ seulement 50 % de la quantité appliquée. A partir de la date 4, la quantité de bromure restant dans le premier mètre de sol est faible, moins de 30 %. Le bromure est détecté dans les horizons les plus profonds échantillonnés et la diminution de la quantité restant dans le profil suggèrent un lessivage vers des horizons plus profonds. A l'exception de la date 1, il n'y a pas de pic nettement marqué, les concentrations en bromure assez voisines pour toutes les profondeurs d'un même profil pour une date donnée. Ces profils ne sont pas caractéristiques d'un transport matriciel dominant.

La quantité de bromure absorbée par les plantes est en cours d'évaluation.

### 5.5.3.2. Acétochlore et produits dérivés

<i>LUVISOL 2000</i>	Date 2	Date 3	Date 4	Date 5	Date 6
Nbre de jours depuis l'application	27	56	160	230	344
Précipitations cumulées (mm)	115.4	184.0	398.2	711.2	1106.4
% ESA	8.4	5.3	1.5	0.1	0
% OA	13.0	6.9	0.7	0.1	0
% acétochlore	5.3	1.6	0.2	0.6	0.5
<b>% acétochlore + dérivés</b>	<b>26.7</b>	<b>13.8</b>	<b>2.4</b>	<b>0.8</b>	<b>0.5</b>

*Tableau 7 : Pourcentage de dérivé ESA, OA et d'acétochlore restant dans le sol par rapport à la dose moyenne appliquée sur la parcelle de néoluvisol pour les différentes campagnes d'échantillonnage (échantillon moyen constitué à partir de 16 analyses élémentaires – densité du sol estimée à  $1.5 \text{ kg/dm}^3$ )*

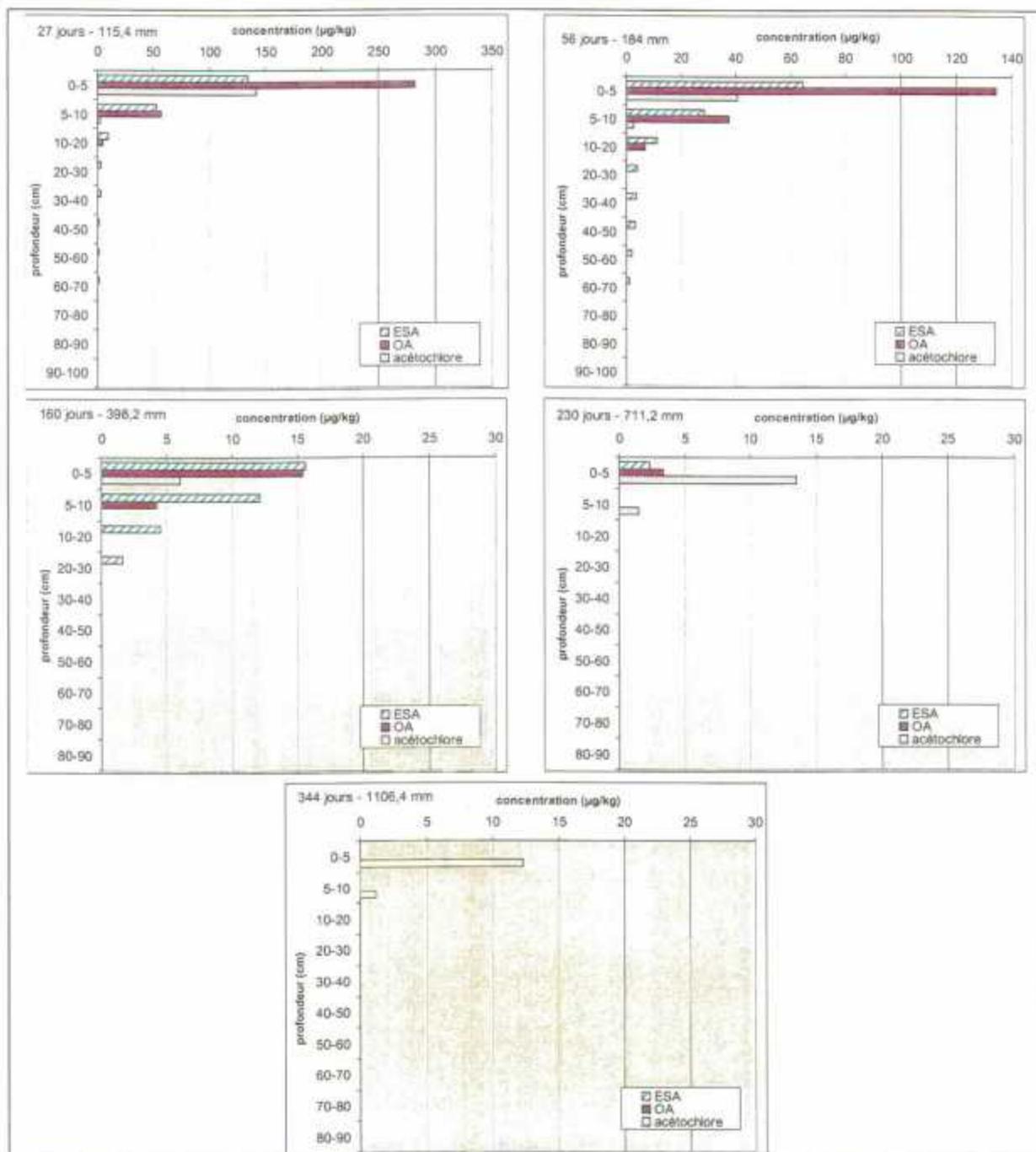


Figure 19 : Evolution des concentrations en ESA, OA et acétochlore dans le luvisol pour 5 dates

La présence de dérivés ESA et OA 27 jours après le traitement montre que la dégradation de l'acétochlore s'est mis en place dans le luvisol et que ces deux dérivés représentent bien une voie de dégradation de la molécule mère. Le dérivé OA est le dérivé qui est produit en plus grande quantité. Dans les horizons de surface, les

concentrations en OA sont généralement très supérieures à celles de l'ESA. Pour les horizons inférieurs, les concentrations des 2 produits sont voisines.

A partir de la date 5, soit 230 jours, les dérivés ne sont quasiment plus détectés ; seule la molécule mère reste détectable, et uniquement dans les horizons de surface. La quantité détectée représente moins de 1 % de la quantité d'acétochlore appliquée. La disparition des dérivés pourraient résulter des différents processus évoqués également pour le calcisol : dégradation en d'autres produits non recherchés, lessivage vers des horizons plus profonds, fixation sous forme de résidus liés au niveau de la matrice solide ou volatilisation.

#### 5.5.4. Les différences observées entre les 2 types de sol

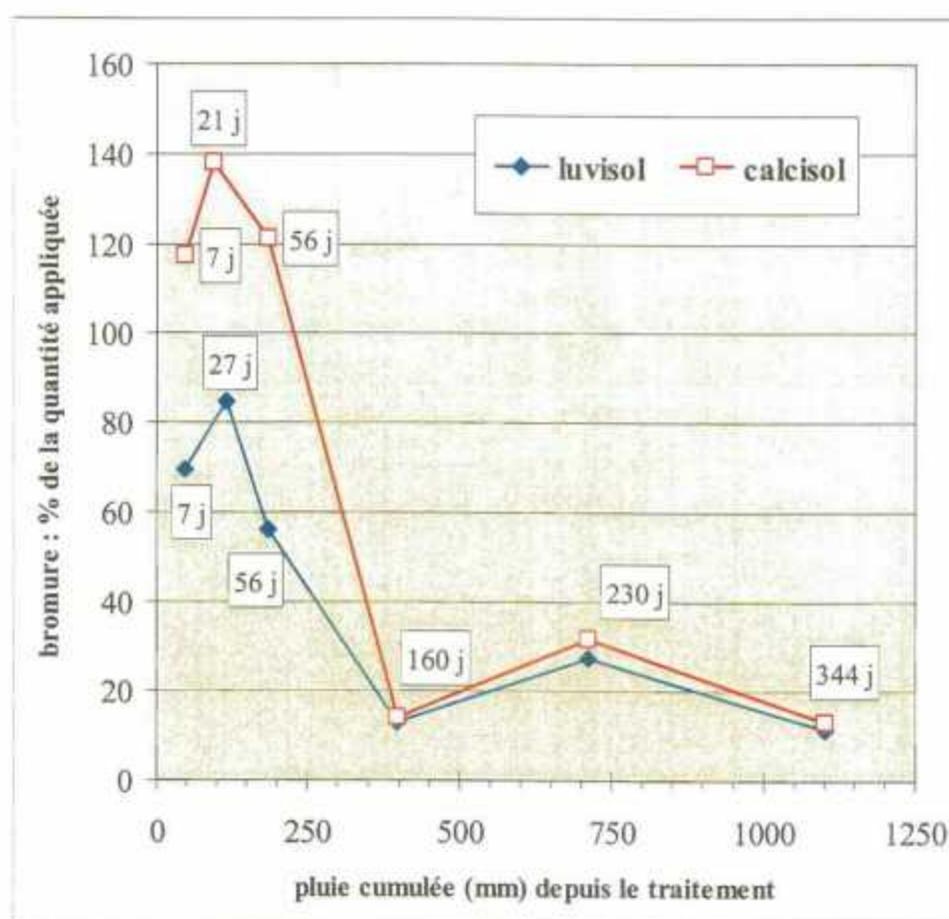


Figure 20 : Bilan de bromure par rapport à la quantité appliquée en fonction de la pluie cumulée et du nombre de jours depuis le traitement pour le calcisol et le luvisol

Pour les 2 types de sol (figure 20), la quantité de bromure disponible dans le profil chute brutalement entre la date 3 et 4 (entre 56 et 160 jours, la date 4 équivalent à environ 400 mm de pluie cumulée depuis le traitement) sans doute – si les prélèvements par les

plantes sont faibles - suite au lessivage du bromure vers les horizons plus profonds, horizons non échantillonnés. Pour les 2 sols, des dosages de bromure dans les plantes sont en cours. En effet, il est possible qu'une portion non négligeable ait été absorbée par les plantes mais il est peu probable que la totalité de la perte en bromure soit attribuable à ce processus.

Les bilans pour les 2 sols en fonction de la pluie cumulée montrent une même évolution alors que les profils moyens sont très différents (figures 16 et 18). En effet, pour les 4 premières dates dans le calcisol, un pic est nettement observé et son infiltration progressive au cours du temps suggère une prédominance des écoulements matriciels. Pour le luvisol, en revanche, aucun pic ne se distingue clairement à l'exception de la date 1 ; les concentrations en bromure sont assez constantes sur le profil pour une date donnée. Ce type de profil ne s'apparente pas à un écoulement matriciel dominant et laisse supposer que les écoulements préférentiels sont plus importants que dans le calcisol.

Pour les 2 sols, la légère augmentation du bilan à la date 5 (230 jours) comparativement à la date 4 (160 jours) pourrait résulter d'une libération du bromure contenu dans les débris végétaux qui sont en cours de minéralisation ou de l'intégration de quelques débris lors de l'échantillonnage et du dosage du sol et particulièrement de l'horizon de surface.

L'étude du transfert du bromure, traceur conservatif de l'eau, montrant que l'infiltration est différente entre les 2 types de sol, il faut voir si ces différences conduisent à des comportements différents de l'acétochlore et de ses dérivés dans les 2 parcelles.

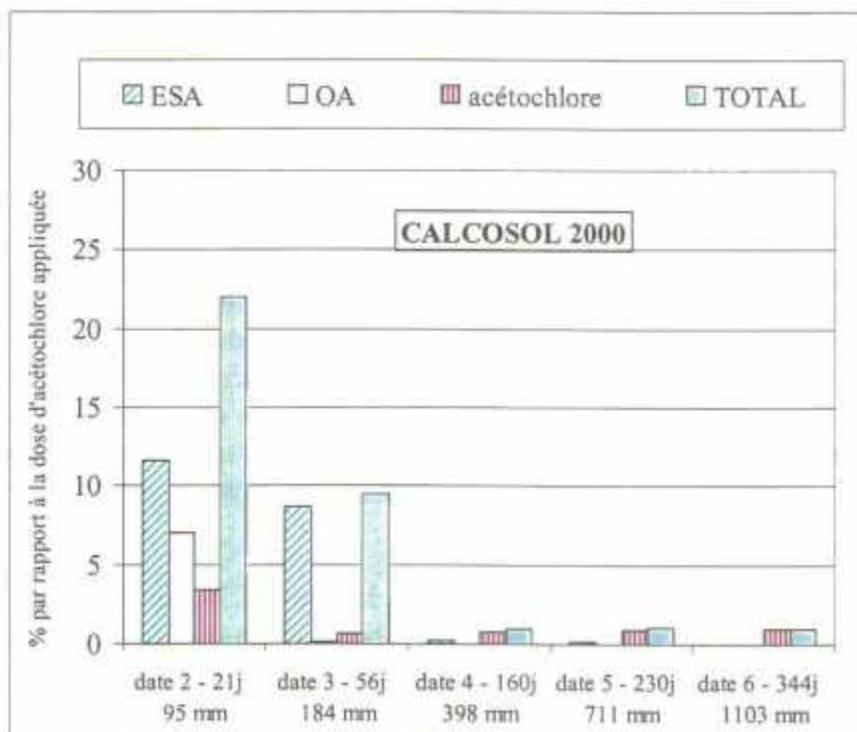


Figure 21 : Pourcentage de dérivés ESA et OA, d'acétochlore et somme de ces produits par rapport à la dose moyenne appliquée sur le calcisol

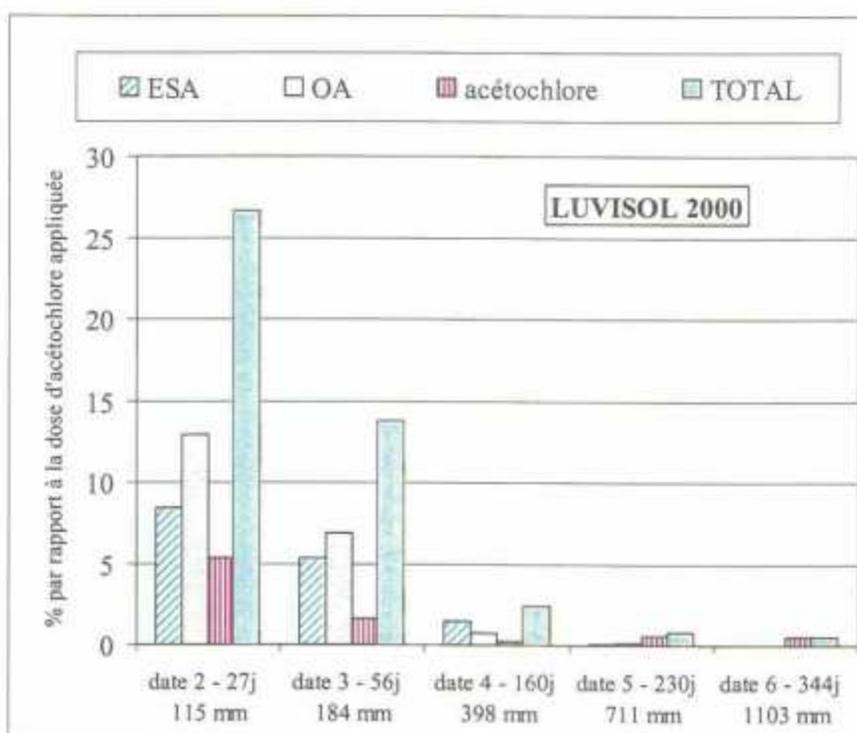


Figure 22 : Pourcentage de dérivés ESA et OA, d'acétochlore et somme de ces produits par rapport à la dose moyenne appliquée sur le luvisol

Pour le calcisol et le luvisol, la détection de dérivés ESA et OA après seulement 21 et 27 jours, respectivement, montrent que la microflore du sol s'est rapidement adaptée ou était intrinsèquement adaptée et que la dégradation de l'acétochlore conduit bien à la formation de ces 2 produits. Dès cette date, chacun des 2 dérivés a des concentrations supérieures à celles de la molécule mère. A partir de la date 5 (230 jours), pour les 2 sols, les dérivés ne sont plus détectés. Seule la molécule mère est décelée dans les horizons de surface mais à une concentration qui ne représente plus qu'environ 1 % de la quantité appliquée.

Les bilans de matière sont légèrement supérieurs pour le luvisol par rapport au calcisol pour les dates 2, 3 et 4 ; ils deviennent comparables pour les dates 5 et 6. La diminution des bilans au cours du temps pour les 2 sols pourrait résulter d'un lessivage, d'une dégradation ou d'une fixation sous forme de résidus liés de l'acétochlore ou de ses dérivés. La présence de dérivés en bas de certains profils plaide en faveur de l'hypothèse d'un lessivage. Il est très probable en fait que les 3 processus coexistent ; il n'est toutefois pas possible de déterminer la part respective de chacun.

Une différence importante entre les 2 sols est la proportion respective de chacun des 2 dérivés entre eux. Pour le calcisol, le dérivé ESA est toujours présent à des concentrations supérieures à celles du dérivé OA, ce qui n'est pas le cas dans le luvisol. Dans le luvisol en effet, en particulier dans l'horizon de surface, les concentrations en OA sont largement supérieures (parfois doubles) de celles de l'ESA. Pour les horizons plus profonds du luvisol, les concentrations de l'OA et de l'ESA sont voisines. La différence entre les 2 parcelles peut résulter d'une différence lors de la dégradation même de l'acétochlore, ou d'une évolution différente des dérivés produits. L'hypothèse d'une dégradation différente dans les 2 sols est probable. D'une part les teneurs en calcaire tendent à tamponner le milieu et jouent donc sur le pH, d'autre part, l'humidité et la température du calcisol du fait de la présence de nombreux cailloux sont différentes par rapport au luvisol bien que les 2 parcelles soient peu éloignées l'une de l'autre. Il est possible que les conditions de milieu comme le pH ou l'humidité et la température différentes entre les 2 parcelles conduisent à la production d'ESA et d'OA dans des proportions différentes, ou que ces mêmes facteurs induisent une dégradation secondaire (c'est à dire une dégradation de ce produit issu lui même de la dégradation de l'acétochlore) plus rapide de l'OA dans le calcisol que dans le luvisol. Les teneurs plus importantes en argile et matière organique pour le calcisol au moins pour les 30 premiers centimètres (figure 23) pourraient également favoriser une adsorption des dérivés, voire la formation de résidus liés en proportion plus importante que dans le luvisol.

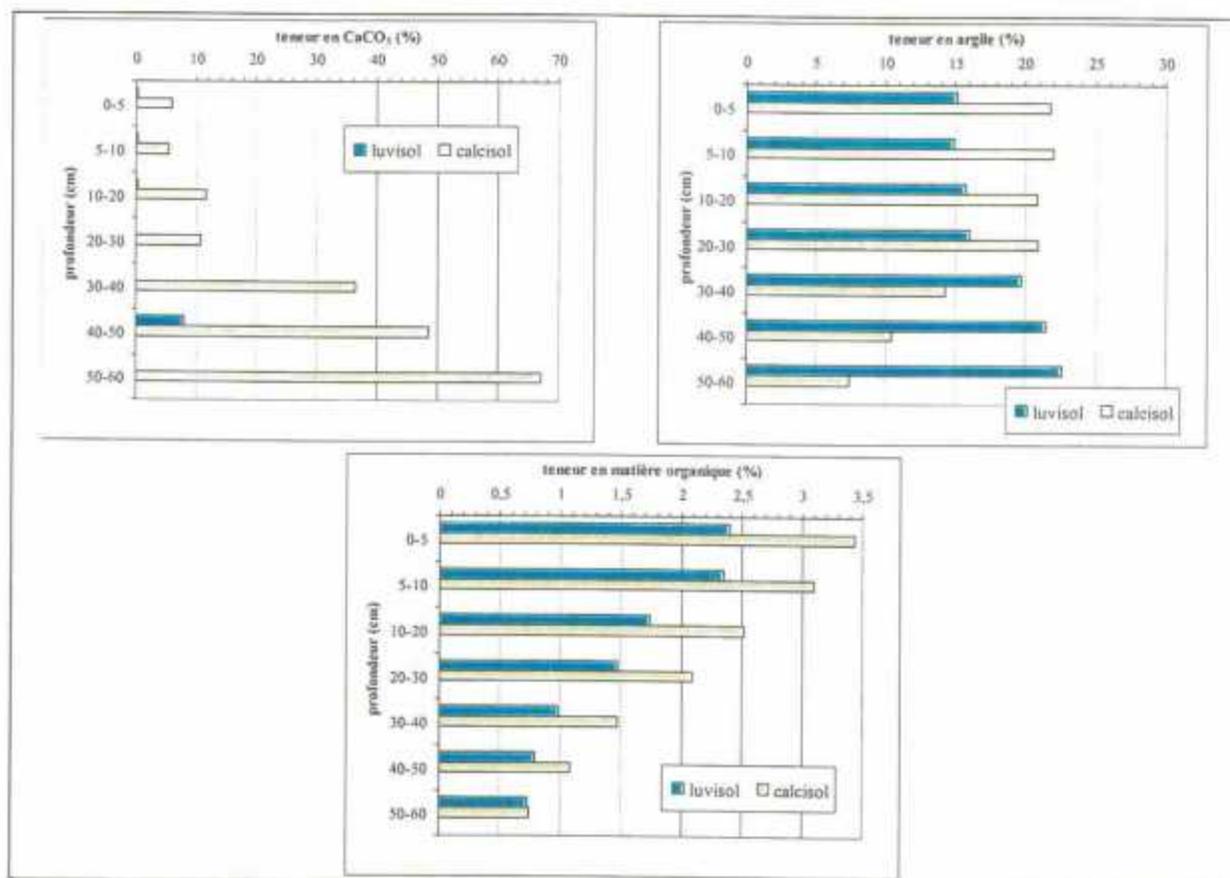


Figure 23 : Comparaison des teneurs en calcaire, argile et matière organique dans le luvisol et le calcisol jusqu'à 60 cm de profondeur

## **6. Les travaux prévus pour la campagne culturale 2001**

### **6.1. Suivi de la qualité de la nappe**

Le suivi bimensuel de la source est maintenu. Les ions majeurs sont dosés ainsi que les phytosanitaires suivants : atrazine, dééthylatrazine, désisopropylatrazine, isoproturon, monométhylisoproturon, didesméthylisoproturon, chlortoluron, acétochlore et ses 2 dérivés.

Les piézomètres font l'objet d'un suivi mensuel portant sur les mêmes molécules que celles recherchées à la source.

### **6.2. Fonctionnement hydrodynamique du bassin**

La pluviométrie est suivie à l'aide de stations automatiques sur les 2 versants du bassin hydrogéologique. Le débit est mesuré en continu. Des jaugeages pourraient être effectués, si la gamme de variation des débits était importante.

### **6.3. Suivi parcellaire**

Deux parcelles cultivées en maïs, correspondant aux deux unités pédologiques principales, sont instrumentées de manière analogue à celles suivies en 2000 (mesure de l'humidité des sols, température, installation de tensiomètres). L'application de bromure a été réalisée juste avant l'application de l'acétochlore. Des carottages réguliers permettant de suivre le transfert des bromures, de l'acétochlore et de ses dérivés sont effectués à plusieurs reprises.

Un équipement léger a été placé, entre mai et septembre 2001, sur les 2 parcelles pour caractériser le ruissellement de manière purement indicative.

## 7. Conclusions

Différentes investigations ont été menées et se poursuivent pour caractériser le fonctionnement hydrodynamique du site et définir les limites du bassin d'alimentation de la source de Montreuil-sur-Epte. Deux campagnes géophysiques (RMP) ont ainsi été effectuées sur l'ensemble du bassin à l'exception du secteur de Buhy où des interférences liées aux lignes électriques rendent cette technique inutilisable. La nappe des sables de Cuise, dont la source des Brévilles constitue une émergence, semble indépendante de la nappe de la craie sous-jacente. Une prospection géologique et la description fine des piézomètres qui ont été forés ont permis de mettre en évidence de fortes hétérogénéités au sein de la zone non saturée et la zone saturée, non seulement sur une verticale donnée mais spatialement sur le bassin. Le site s'avère en fait plus complexe qu'initialement pensé. La synthèse de toutes ces données est en cours. L'aménagement d'un seuil au niveau du rû, la mesure en continu du débit, le suivi des précipitations à 2 endroits du bassin et de la variation des niveaux d'eau dans les piézomètres installés début 2001 permettront de décrire le fonctionnement du site et d'en affiner les limites.

La qualité de la nappe est suivie de manière régulière aussi bien au niveau de la source (bimensuellement), qui constitue un enjeu en termes de ressource en eau potable, que des piézomètres (mensuellement). De cette façon, variabilités spatiale et temporelle sont appréhendées. Au niveau de la source, l'atrazine, bien qu'elle ne soit plus appliquée depuis mai 1999, et son principal produit de dégradation la dééthylatrazine sont détectées de manière systématique à des concentrations supérieures à la valeur guide de potabilité de 0.1 µg/L. En revanche, l'acétochlore, qui a été appliquée en avril 2000 et mai 2001 en substitution de l'atrazine, et ses deux dérivés principaux, l'ESA et l'OA, ne sont pas détectés. Au niveau des piézomètres, la contamination par les phytosanitaires est très variable : l'atrazine et la dééthylatrazine sont les deux substances les plus fréquemment retrouvées, isoproturon et chlortoluron sont détectés de manière moins systématique, l'acétochlore et ses dérivés n'ont pas été détectés. Les pratiques culturales à l'aplomb des piézomètres ne sont vraisemblablement pas les seuls paramètres explicatifs de ces différences. L'épaisseur et la nature des sols et de la zone non saturée sont sans doute tout aussi importants. L'étude de ces paramètres est en cours. Cette forte hétérogénéité de contamination est également observée pour le nitrate, que les piézomètres soient situés ou non dans des parcelles agricoles.

Pour mieux caractériser le transit de l'acétochlore et ses dérivés, deux parcelles expérimentales ont été suivies en 2000 et 2 autres sont suivies sur 2001. Les parcelles choisies sont représentatives des grandes unités de sols identifiées lors de la réalisation de la carte pédologique en 2001 en collaboration avec l'INRA d'Orléans. Sur ces 2 parcelles, un traceur conservatif (bromure) a été appliqué en même temps que l'acétochlore. Différentes campagnes de prélèvements ont permis de mettre en évidence un lessivage du bromure vers les horizons de sol les plus profonds et donc un lessivage potentiel vers la nappe. La détection des dérivés ESA et OA dans les deux parcelles une vingtaine de jours après le traitement montre que la dégradation se met en place rapidement et que ces 2 composés constituent bien une voie de dégradation de

l'acétochlore. Toutefois ces produits disparaissent assez rapidement et ne sont plus retrouvés 230 jours après le traitement. Ils pourraient être à leur tour dégradés en d'autres sous-produits non recherchés, lessivés vers les horizons plus profonds ou fixés sous forme de résidus liés dans le sol. La détection des dérivés dans les horizons de sols les plus profonds prouvent qu'un lessivage existe. Ce processus coexiste toutefois sûrement avec les 2 autres évoqués (dégradation, fixation). L'acétochlore est toujours détecté dans l'horizon de surface des 2 parcelles 344 jours après le traitement mais la quantité trouvée ne représente plus que moins de 1 % de la quantité appliquée. La proportion entre les dérivés ESA et OA est différente suivant le type de sol ; les conditions de pH, d'humidité ou de température différentes qui règnent dans les 2 parcelles pourraient expliquer les différences observées.

Les actions menées en 2000 à l'échelle de la parcelle ont permis de mettre en évidence un risque potentiel de lessivage des produits de dégradation de l'acétochlore vers les horizons profonds du sol. Ces substances ne sont toutefois pas détectées à ce jour dans les piézomètres situés à l'aval des parcelles traitées ou dans la source. Les investigations menées à l'échelle parcellaire en 2001 permettront de confirmer ou non ce résultat d'autant que le contexte climatique a été assez différent, l'année 2000 ayant été une année particulièrement pluvieuse, notamment après le traitement.

Les travaux et suivis menés à l'échelle du bassin sont indispensables pour améliorer la connaissance du fonctionnement hydrodynamique du site et pour la compréhension du transfert des phytosanitaires dans le sol, la zone non saturée et la nappe. Ils devraient permettre à moyen terme de juger de l'évolution potentielle de la qualité de la nappe.

## **Références bibliographiques**

Anonyme, 1994. Montreuil-sur-Epte, source des Brévilles. Etude hydrogéologique et d'environnement. Rapport SOGREAH, 26 p.

Anonyme, 2001. Réalisation de sept piézomètres et d'un forage dans les sables de Cuise. Montreuil-sur-Epte (Val d'Oise). Rapport de fin de travaux. Rapport ANTEA A23555/A, 21p.

Paranthoen S., 1999. Pollution des eaux par les produits phytosanitaires en Ile-de-France : étude de sites spécifiques. Rapport de DAA, INA-PG, 51 p.

## **Remerciements**

Les auteurs tiennent à remercier l'Union Européenne qui finance pour partie ce projet (PEGASE) ainsi que l'Agence de l'Eau Seine Normandie (convention n° 0102095).

Nos remerciements vont également à la société MONSANTO qui a fourni gracieusement les standards des produits de dégradation de l'acétochlore et a collaboré aux développements analytiques permettant l'analyse des produits dans les sols.

La caractérisation des sols du bassin a été réalisée par l'INRA d'Orléans que nous remercions de leur collaboration.

La Chambre d'Agriculture d'Ile-de-France qui a initié les contacts avec les agriculteurs et assuré le suivi de l'efficacité du traitement herbicide sur les parcelles a également facilité notre travail.

Enfin la commune de Montreuil-sur-Epte et les agriculteurs présents sur le site, et plus particulièrement Madame Versyck et Monsieur Prével, ont également largement contribué à la réalisation de ce projet en nous permettant notamment d'accéder librement à leurs parcelles et de les instrumenter. Nous les en remercions vivement.

## **Annexe**

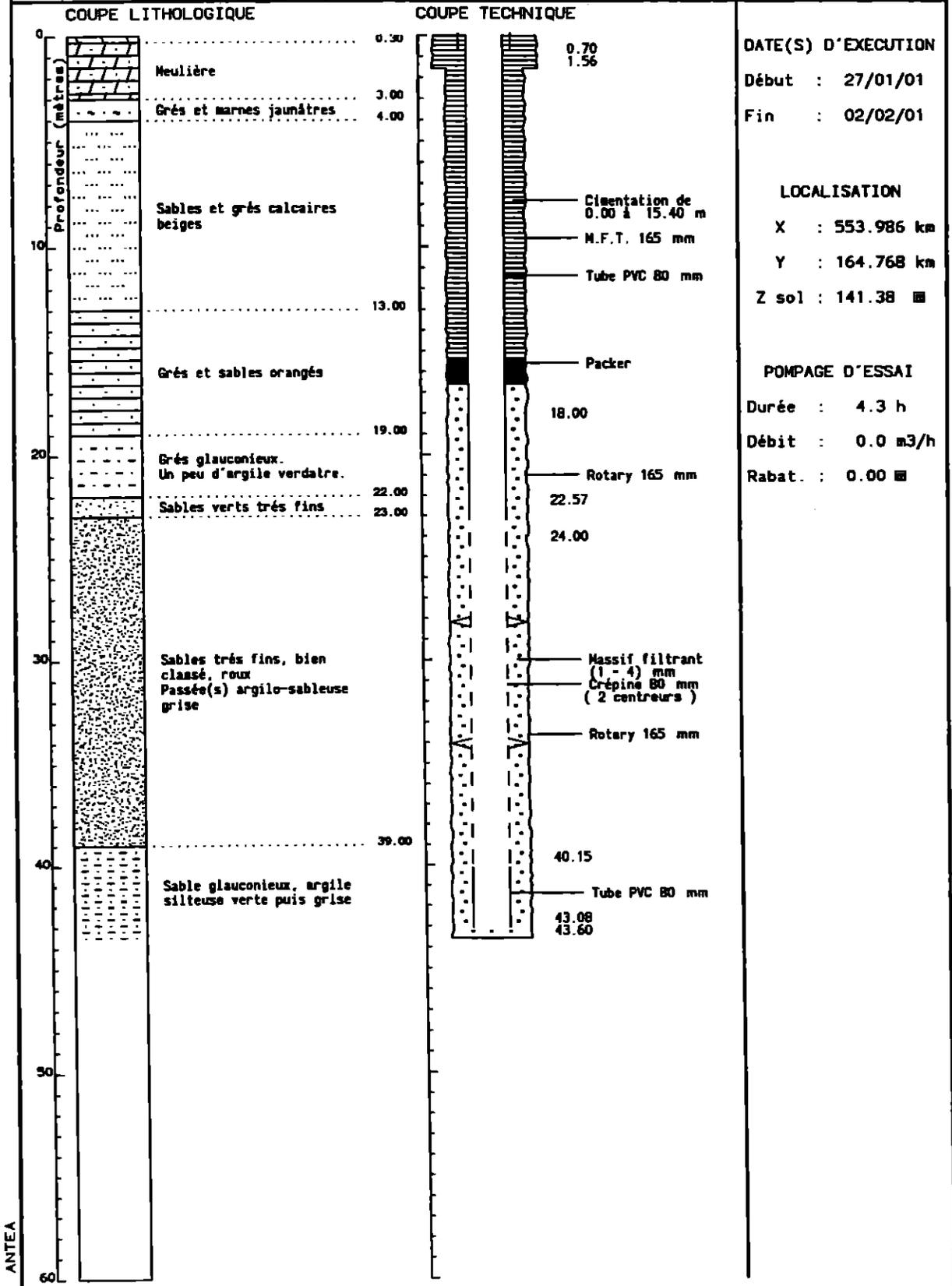
### **Coupes géologiques des piézomètres**

Département : VAL D'OISE

N° classement : 0125-7X-1041

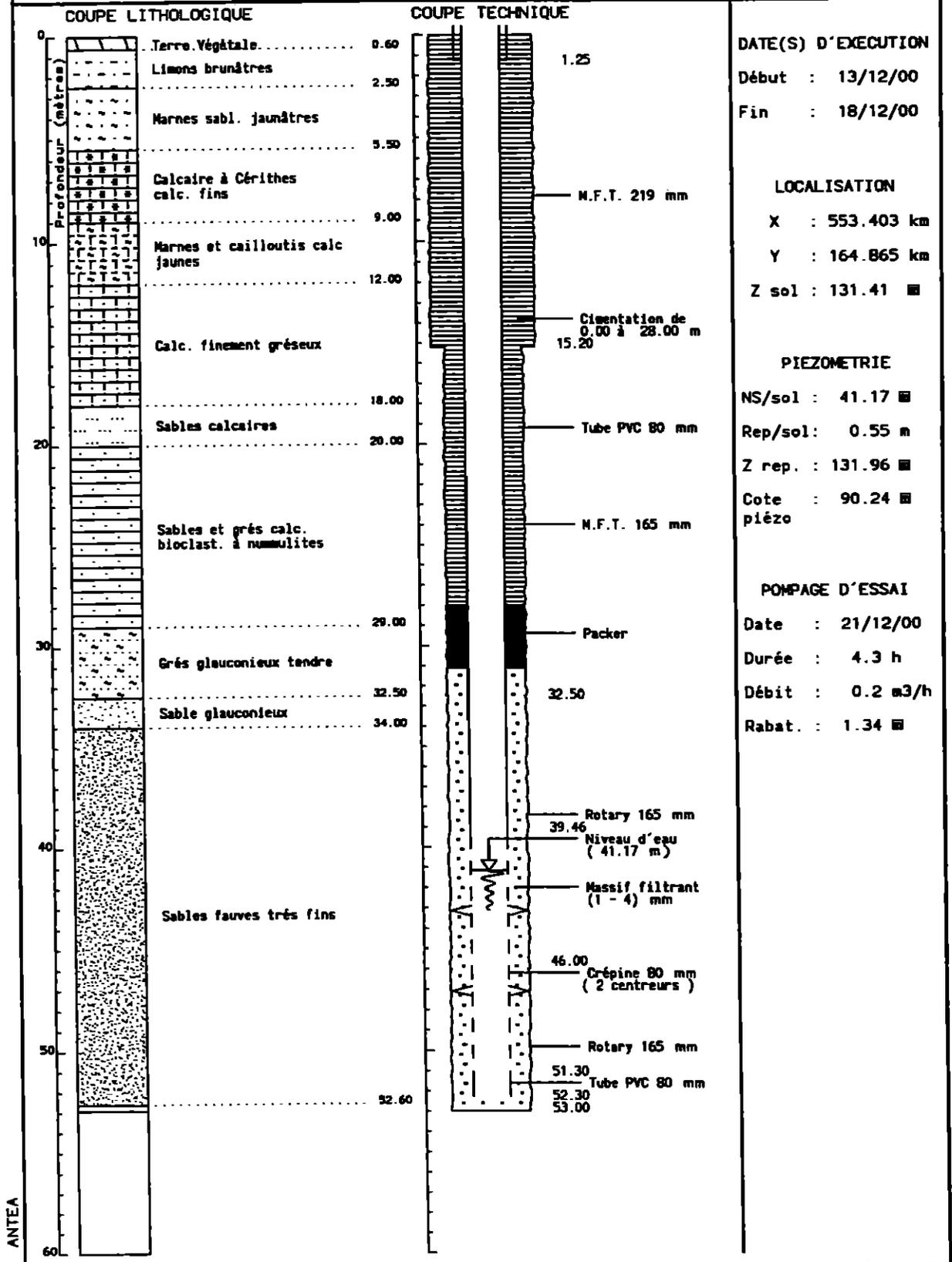
Commune : BUHY

Désignation : PZ1



Département : VAL D'OISE  
Commune : MONTREUIL/EPTE

N° classement : 0125-7X-1042  
Désignation : PZ2



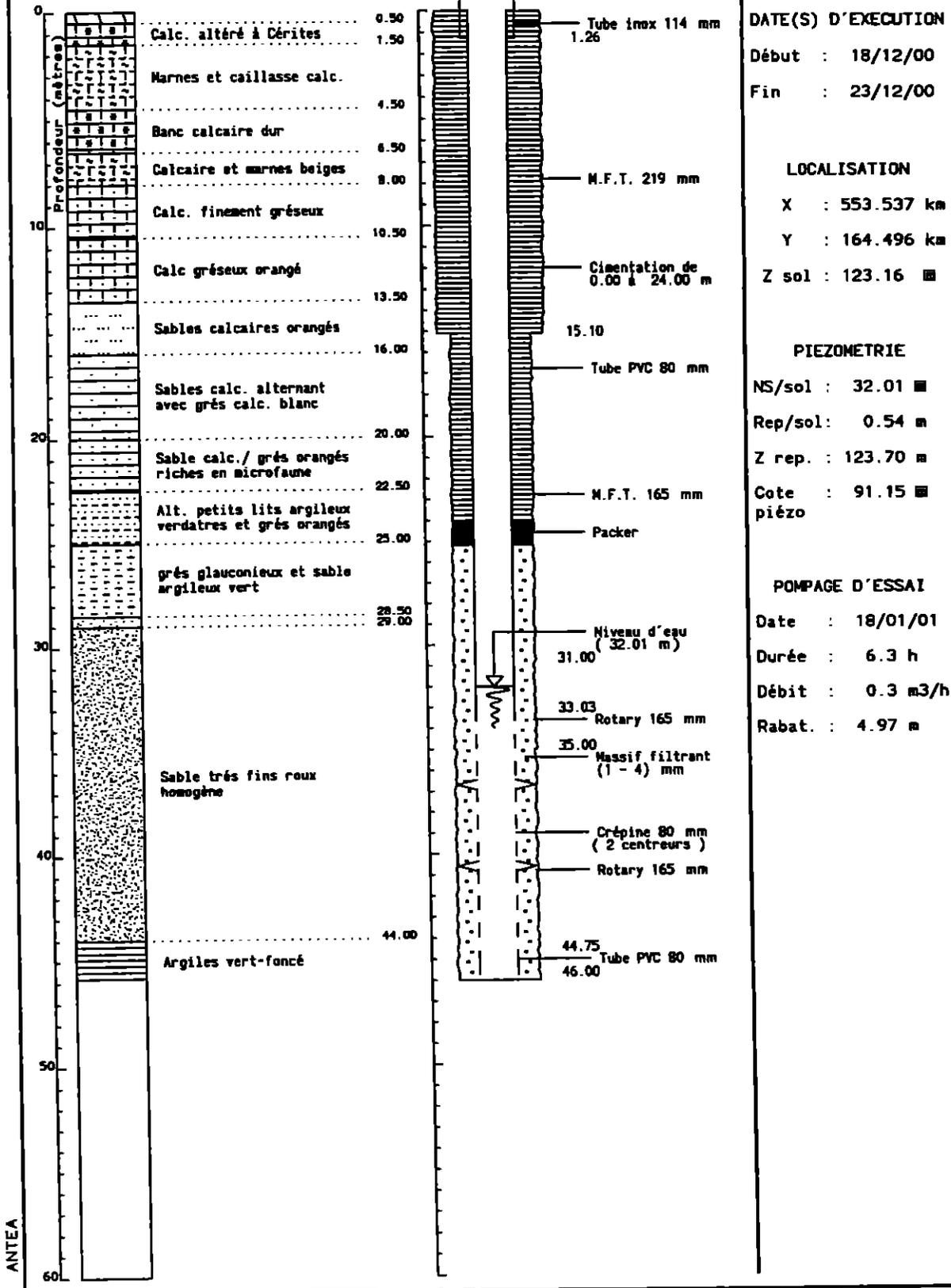
ANTEA

Département : VAL D'OISE  
 Commune : MONTREUIL/EPTE

N° classement : 0125-7X-1043  
 Désignation : PZ3

COUPE LITHOLOGIQUE

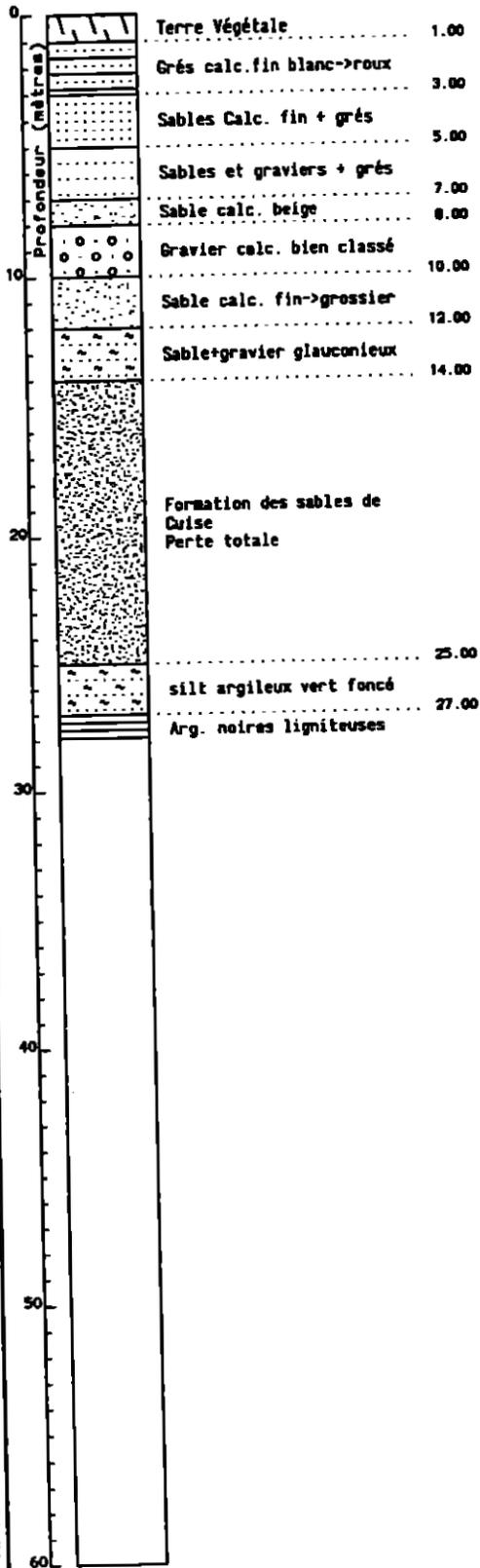
COUPE TECHNIQUE



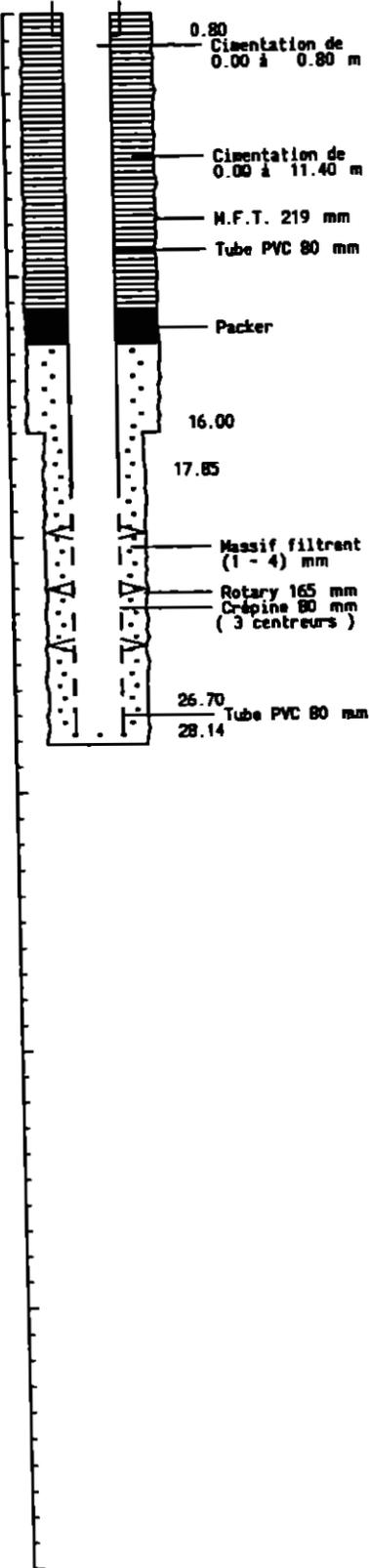
Département : VAL D'OISE  
 Commune : MONTREUIL/EPTE

N° classement : 0125-7X-1044  
 Désignation : PZ4

COUPE LITHOLOGIQUE



COUPE TECHNIQUE



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 07/02/01  
 Fin : 10/02/01

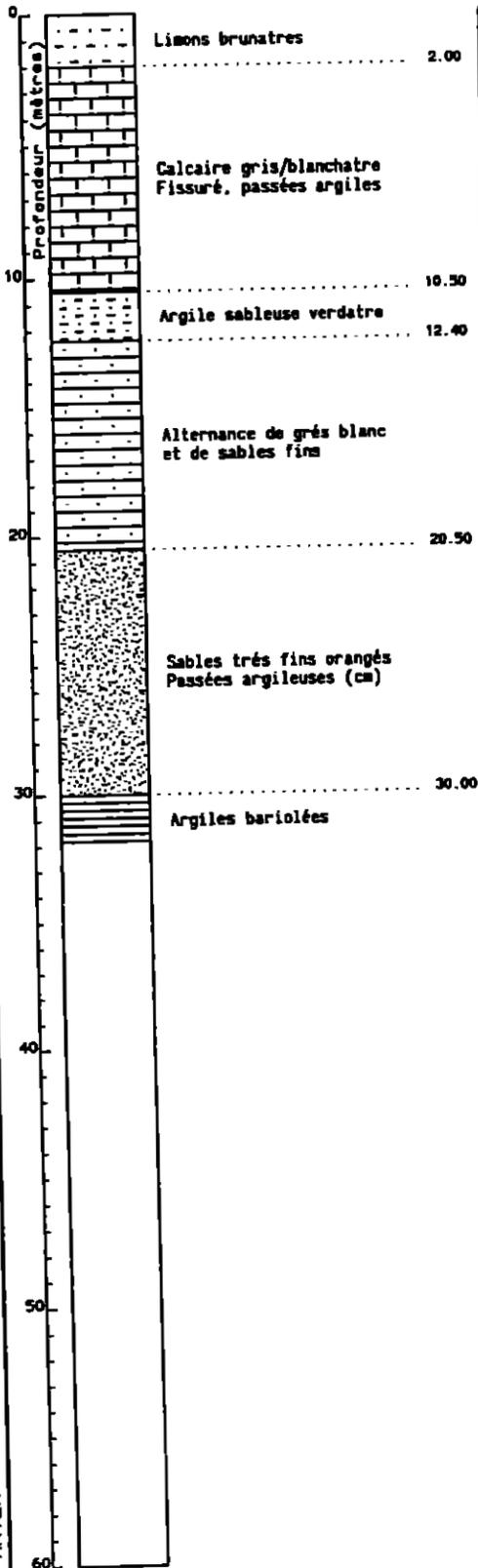
LOCALISATION

X : 552.868 km  
 Y : 164.411 km  
 Z sol : 95.31 m

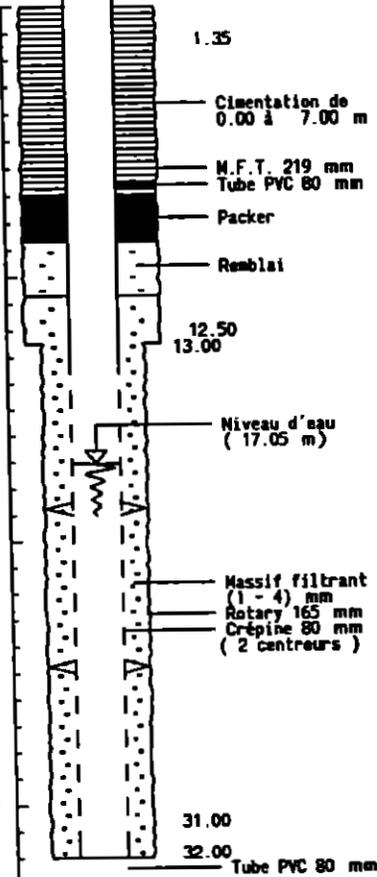
Département : VAL D'OISE  
 Commune : MONTREUIL/EPTE

N° classement : 0125-7X-1045  
 Désignation : PZ5

COUPE LITHOLOGIQUE



COUPE TECHNIQUE



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 06/12/00  
 Fin : 12/12/00

LOCALISATION

X : 553.250 km  
 Y : 164.358 km  
 Z sol : 105.65 m

PIEZOMETRIE

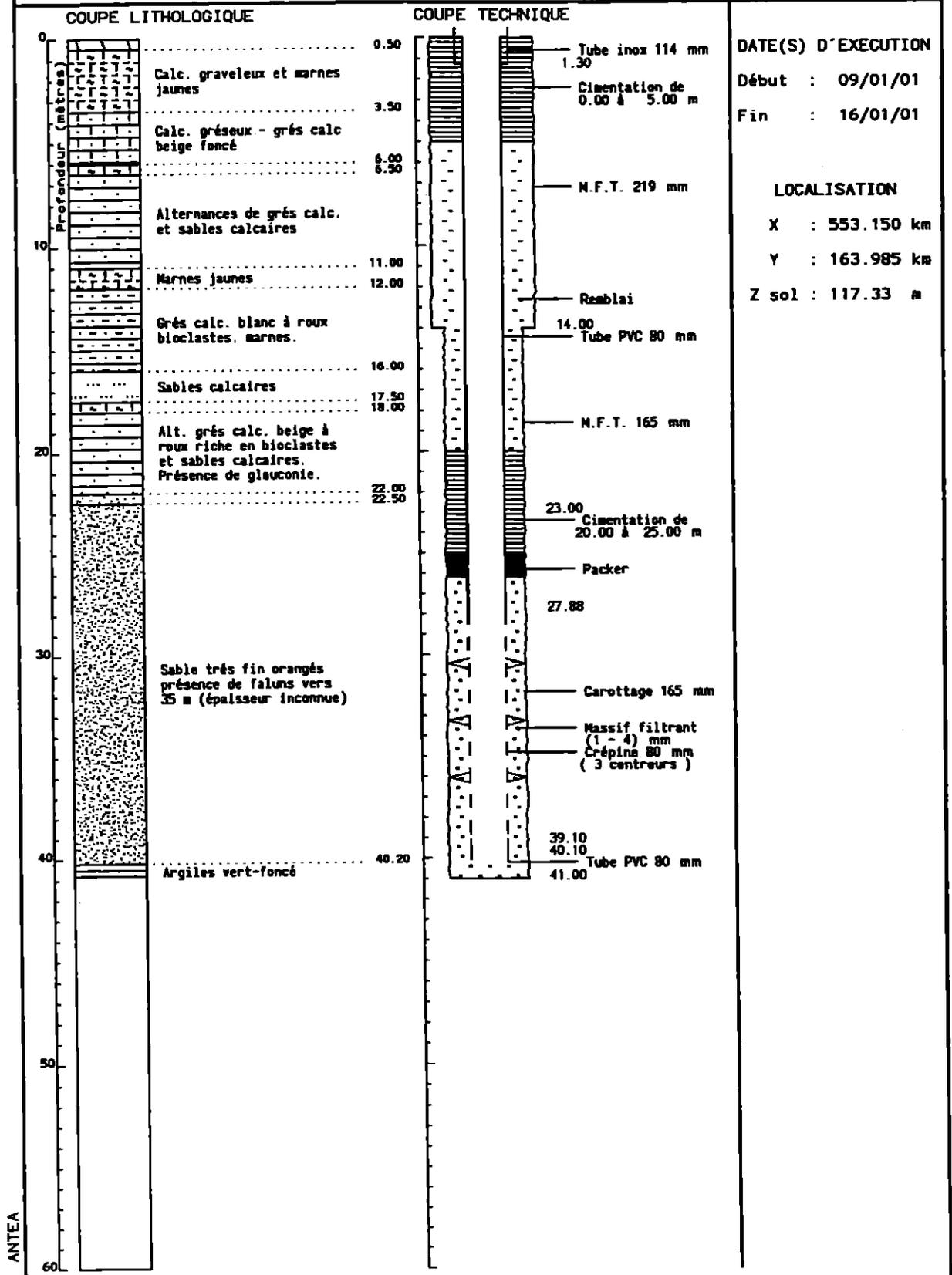
NS/sol : 17.05 m  
 Rep/sol : 0.45 m  
 Z rep. : 106.10 m  
 Cote : 88.60 m piézo

POMPAGE D'ESSAI

Date : 15/12/00  
 Durée : 5.3 h  
 Débit : 0.4 m<sup>3</sup>/h  
 Rabat. : 0.92 m

Département : VAL D'OISE  
 Commune : MONTREUIL/EPTE

N° classement : 0125-7X-1046  
 Désignation : PZ6

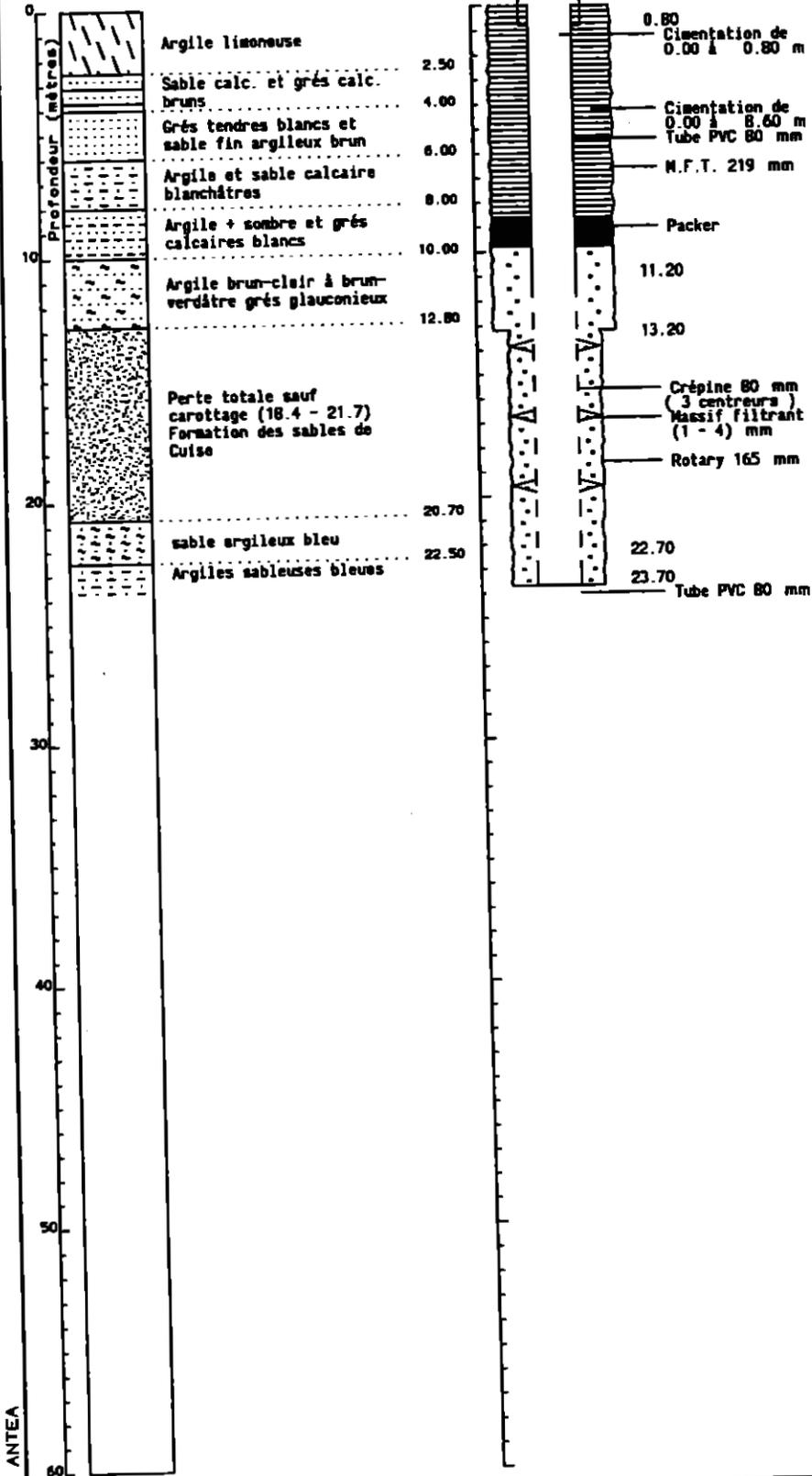


Département : VAL D'OISE  
 Commune : MONTREUIL/EPTÉ

N° classement : 0125-7X-1047  
 Désignation : PZ7

COUPE LITHOLOGIQUE

COUPE TECHNIQUE



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 12/02/01

Fin : 20/02/01

LOCALISATION

X : 552.890 km

Y : 164.166 km

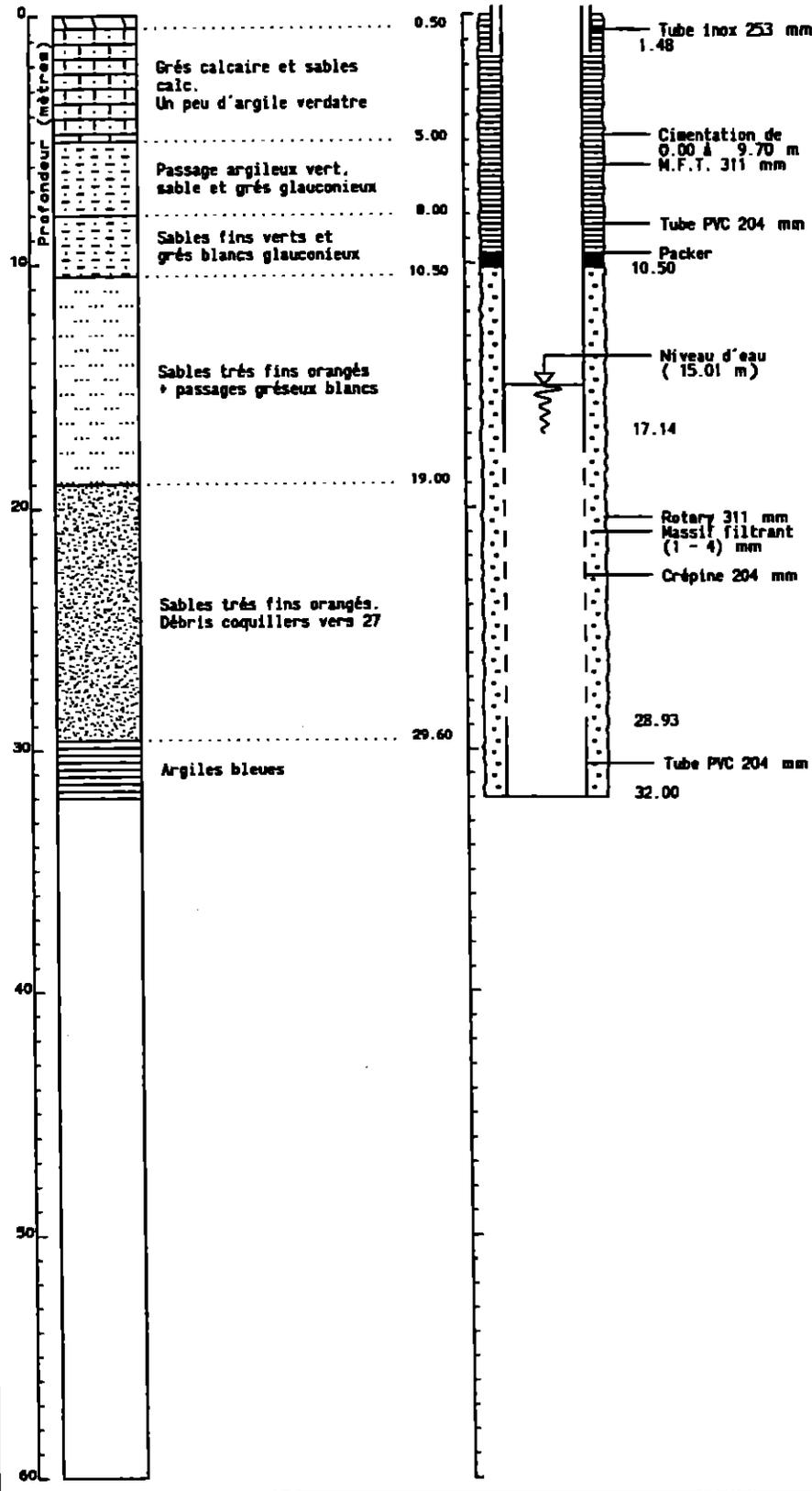
Z sol : 89.25 ■

Département : VAL D'OISE  
Commune : MONTREUIL/EPTE

N° classement : 0125-7X-1048  
Désignation : PZB

COUPE LITHOLOGIQUE

COUPE TECHNIQUE



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 17/01/01  
Fin : 26/01/01

LOCALISATION

X : 553.225 km  
Y : 164.350 km  
Z sol : 103.44 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 15.01 m  
Rep/sol : 0.68 m  
Z rep. : 104.12 m  
Cote : 88.43 m piézo

POMPAGE D'ESSAI

Date : 13/02/01  
Durée : 1.0 h  
Débit : 1.8 m<sup>3</sup>/h  
Rabat. : 5.42 m

ANTEA