

DOCUMENT PUBLIC

Source des Brévilles – Montreuil-sur-Epte (95) Bilan des activités jusqu'à novembre 2002 et suivis parcellaires pour l'année culturale 2001

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

BRGM/RP-51974-FR

Novembre 2002

N. Baran, C. Mouvet, X. Morvan



CHAMBRE
INTERDEPARTEMENTALE
D'AGRICULTURE
ILE-DE-FRANCE

**val
d'oise**
le département



Région **Ile de France**



AGENCE DE L'EAU
SEINE-NORMANDIE



Géosciences pour une Terre durable

brgm

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 novembre 2002 et suivis parcellaires pour l'année culturale 2001. Rapport BRGM RP - 51974 – FR, 55 p., 20 fig., 2 tabl.

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 et à son principal produit de dégradation – la dééthylatrazine- depuis plusieurs années (données DDASS). 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 du BRGM ont débuté début 2000 et poursuivront jusqu'à mi-2004. Ils visent à répondre à plusieurs objectifs, allant de l'amélioration des connaissances sur le fonctionnement hydrogéologique du site jusqu'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 entre décembre 2001 et novembre 2002 à l'échelle du bassin et présente les résultats obtenus pour les 2 parcelles expérimentales étudiées pendant l'année culturale 2001. Ce rapport fait suite au rapport BRGM/RP 51703-FR qui portait sur le suivi cultural 2000, la mise en place et les résultats du suivi à l'échelle du bassin pendant les années 2000 et 2001.

Sommaire

SYNTHÈSE	3
1. CADRE DE L'ÉTUDE	9
2. CONTEXTE	11
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
3. OBJECTIFS	15
4. LES TRAVAUX MENÉS EN 2002	17
4.1. DÉLIMITATION DU BASSIN HYDROGÉOLOGIQUE	17
4.2. POMPAGES D'ESSAI	18
4.3 PROPRIÉTÉS HYDRIQUES DES SOLS	19
4.4. SUIVI DE LA NAPPE : ASPECTS HYDRODYNAMIQUES ET QUALITÉ	21
4.4.1. <i>Les piézomètres</i>	21
4.4.2. <i>Le suivi de l'exutoire du système</i>	30
5. SUIVIS PARCELLAIRES POUR L'ANNÉE CULTURALE 2001	35
5.1. LES PARCELLES ÉTUDIÉES	35
5.2. APPLICATION DE BROMURE ET D'ACÉTOCHLORE.....	36
5.3. LES PRÉLÈVEMENTS DE SOL	39
5.4. LE DOSAGE DES BROMURES, DE L'ACÉTOCHLORE ET DE SES PRODUITS DE DÉGRADATION	40
5.4.1. <i>Dosage des bromures</i>	40
5.4.2. <i>Dosage de l'acétochlore et des ses dérivés</i>	40
5.5. LE COMPORTEMENT DE L'ACÉTOCHLORE ET DES BROMURES	41
5.5.1. <i>Transfert des solutés dans le calcisol</i>	41
5.5.2. <i>Transfert de solutés dans le luvisol</i>	44
5.5.3. <i>Bilan de masse dans les 2 sols. Comparaison avec l'année 2000</i>	45
6. LES TRAVAUX PRÉVUS POUR LA CAMPAGNE CULTURALE 2002	49
6.1. SUIVI DE LA QUALITÉ DE LA NAPPE	49
6.2. FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE DU BASSIN	49
6.3. SUIVI PARCELLAIRE.....	49
7. CONCLUSIONS	51

Liste des illustrations

Liste des figures

Figure 1 : Délimitation de la zone d'étude basée sur la station hydrométrique	17
Figure 2 : Localisation des prélèvements de sols	19
Figure 3 : Valeurs moyennes et écart type de teneurs en eau obtenues pour 12 mottes soumises à des succions (pF) allant de 1 à 6.5. (exemple d'un néoluvisol).....	20
Figure 4 : Détermination de la loi liant la conductivité hydraulique à la succion par la méthode WIND (2 répétitions d'un même échantillon).....	21
Figure 5 : Variations des niveaux piézométriques (février 2001 à novembre 2002).....	23
Figure 6 : Précipitations annuelles enregistrées à la station de Buhy	24
Figure 7 : Précipitations mensuelles pour la période janvier 2000 à août 2002 et moyennes mensuelles enregistrées à la station de Buhy pour les années 1993 à 2001	25
Figure 8 : Teneurs en phytosanitaires dans les piézomètres (03/2001 à 09/2002) (échelle différente pour Pz5, 7 et 8).....	26
Figure 9 : Teneurs en chlorure et nitrate dans les piézomètres (mars 2001 à octobre 2002).....	29
Figure 10 : Suivi des concentrations en atrazine, dééthylatrazine (DEA) et déisopropylatrazine (DIA) à la source des Brévilles de octobre 1999 à octobre 2002.....	32
Figure 11 : Suivi des concentrations en isoproturon et chlortoluron à la source des Brévilles de octobre 1999 à octobre 2002.....	33
Figure 12 : Suivi des concentrations en nitrate et chlorure à la source des Brévilles de mars 2000 à octobre 2002	34
Figure 13 : Hétérogénéités des apports d'acétochlore (A) et des bromures (B)	37
sur le calcosol.....	37
Figure 14 : Hétérogénéités des apports d'acétochlore (A) et des bromures (B)	37
sur le luvisol	37
Figure 15 : Emplacement des barquettes et quantités appliquées	38
mesurées en acétochlore (A) et en bromure (B) sur le calcosol.....	38
Figure 16 : Emplacement des barquettes et quantités appliquées	39
mesurées en acétochlore (A) et en bromure (B) sur le néoluvisol	39
Figure 17 : Evolution des concentrations en ESA, OA, acétochlore et bromure dans le calcosol pour 5 dates – suivi 2001	42
Figure 18 : Evolution des concentrations en ESA, OA, acétochlore et bromure dans le luvisol pour 5 dates – suivi 2001.....	44
Figure 19 : Pourcentage de dérivés ESA, OA, d'acétochlore et somme de ces produits par rapport à la dose moyenne appliquée en 2000 dans un calcosol et 2001 dans un calcosol.....	46
Figure 20 : Pourcentage de dérivés ESA, OA, d'acétochlore et somme de ces produits par rapport à la dose moyenne appliquée en 2000 et 2001 dans des luvisols	47

Liste des tableaux

Tableau 1 : Transmissivités calculées pour chaque piézomètre	18
Tableau 2 : Principales interventions sur les parcelles suivies en 2001	35

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. Ce site est retenu car il est sujet à une pollution diffuse d'origine exclusivement agricole.

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.

Des collaborations ont lieu avec la Chambre d'Agriculture d'Ile-de-France et l'INRA d'Orléans. Le Conseil Général du val d'Oise supporte financièrement la substitution de l'atrazine et le Conseil Régional d'Ile-de-France cofinance, avec l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, le changement de matériel des agriculteurs.

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 une compréhension suffisante 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.

L'utilisation de la source des Brévilles pour l'alimentation en eau potable des communes de Montreuil-sur-Epte et Buhy a été remise en cause parce qu'une contamination à l'atrazine et à la dééthylatrazine y est avérée depuis plusieurs années (données DDASS citées dans Paranthoen, 1999 et suivi DDASS 2000 et 2001). Ce problème persistant a conduit le sous-groupe 4 « expérimentation sur site » du Groupe Régional Île-de-France à retenir le site de Montreuil-sur-Epte, comme site représentatif de la pollution diffuse.

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 (environ 3 km²) 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 donc réduit.

Ces agriculteurs ont accepté, de plus, de modifier leurs pratiques culturales. Pour les années culturales 2000 et 2001, les apports d'atrazine ont été totalement exclus. Un programme de substitution a été mis en place et le désherbage est effectué à l'aide notamment d'acétochlore (molécule homologuée en France en 2000).

La petite taille du bassin, le nombre restreint d'agriculteurs et leur motivation sont des atouts majeurs pour ce site. Les informations recueillies seront utiles non seulement pour comprendre le fonctionnement hydrodynamique de cet aquifère peu étudié, mais également pour mieux suivre le devenir de l'atrazine, de l'acétochlore et de leurs principaux produits de dégradation.

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

Dès l'année culturale 2000, la Chambre d'Agriculture d'Île-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 si nécessaire. Le programme proposé en 2000 (acétochlore + bromoxynil, EMBLEM) ayant donné des résultats peu satisfaisants pour une des 2 parcelles (salissure par des graminées), l'itinéraire technique a été modifié en 2001.

Trois parcelles sont concernées par le programme de substitution en 2001. Sur 2 d'entre elles, un traitement acétochlore suivi d'un traitement bromoxynil (VIRGUL) a été réalisé (4.32 + 11.83 ha traités) ; sur la troisième parcelle (12.5 ha), le traitement acétochlore a été suivi d'un traitement bromoxynil + nicosulfuron (VIRGUL + MILAGRO).

La chambre d'Agriculture d'Ile-de-France a assuré le suivi des parcelles pour connaître le développement des adventices. Des inventaires floristiques ont été régulièrement réalisés sur les 3 parcelles. Bien que quelques graminées soient présentes, le degré de salissure est acceptable. Toutefois, pour une des parcelles, le programme 2001 n'est pas apparu satisfaisant pour la renouée des oiseaux.

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 par un système de drains au niveau d'un réservoir enterré d'environ 5 mètres de profondeur. 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 donnée dans le rapport susmentionné.

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 2002

4.1. Délimitation du bassin hydrogéologique

La synthèse des données géologiques disponibles avant l'étude, des données obtenues lors de la réalisation des piézomètres et des prospections de terrain ainsi que les informations tirées des différentes campagnes de géophysiques (RMP) (rapport BRGM/RP 51703-FR) permettent de proposer une limite d'étude. La limite de la zone d'étude est la limite du bassin d'alimentation de la station hydrométrique (seuil). En effet, à cet endroit, tout le débit de la nappe est mesuré alors que la source ne correspond qu'à une partie des écoulements. Le bassin d'alimentation strict de la source est donc légèrement plus petit que le bassin proposé ici (figure 1).

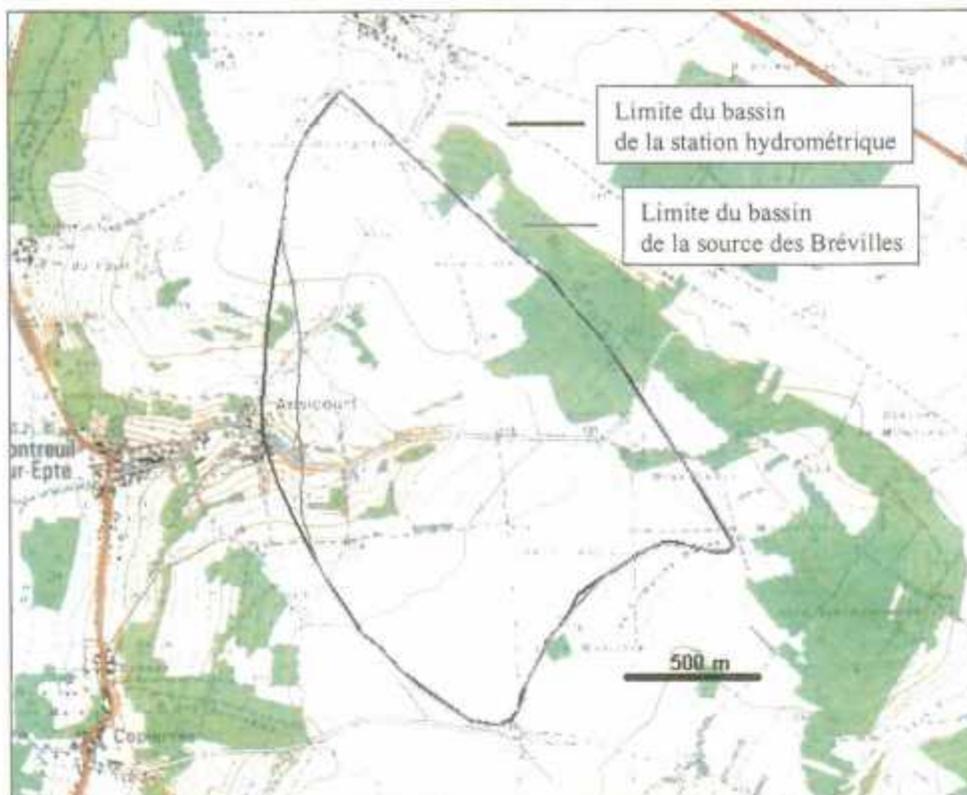


Figure 1 : Délimitation de la zone d'étude basée sur la station hydrométrique

La validation définitive du périmètre proposé sera faite à l'issue des travaux de modélisation. En effet, il convient de vérifier que le périmètre proposé et les débits ainsi que les niveaux piézométriques enregistrés sont concordants. La validation sera d'autant plus étayée que la période d'étude sera longue et que les variations climatiques se traduiront par des variations importantes des débits et des niveaux piézométriques.

Le périmètre proposé ici est un peu plus grand que le périmètre proposé antérieurement lors de l'établissement du périmètre de protection (rapport SOGREAH, anonyme 1994). L'extension vers le sud et le nord est plus importante ; en revanche, l'extension vers l'Est est plus réduite.

4.2. Pompages d'essai

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.

Huit piézomètres ont donc été installés au cours du dernier trimestre 2000 et du premier trimestre de 2001 (rapport Antea, anonyme, 2001).

Pour mieux comprendre le fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère sableux, des essais de pompages ont été réalisés du 21 au 25 janvier 2002, dans chacun de ces piézomètres (à l'exception du piézomètre 1 non productif). Ces données complètent les observations de niveau piézométriques réalisées à chaque passage sur le site (en moyenne toutes les 2 semaines).

Deux types d'essais ont été réalisés : les essais par paliers (3 paliers à des débits différents) qui permettent notamment de déterminer la transmissivité de l'aquifère (et donc sa perméabilité) et le pompage longue durée qui permet d'estimer le coefficient d'emménagement de la nappe. Le détail des opérations est reporté dans le rapport BRGM/RP 51534-FR (Gutierrez, 2002).

Les transmissivités calculées pour chaque piézomètre sont reportées dans le tableau 1.

	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6	Pz7	Pz8
Transmissivité (m ² /s)	2.10 ⁻⁴ à 6.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴ à 4.10 ⁻⁴	1,5.10 ⁻³ à 2,5.10 ⁻³	2.10 ⁻³	10 ⁻³ à 1.3.10 ⁻³	4.10 ⁻³	4.10 ⁻³

Tableau 1 : Transmissivités calculées pour chaque piézomètre

Les essais réalisés ont permis de montrer que, malgré des pertes de charge très variables d'un piézomètre à un autre, les transmissivités restent voisines (comprises entre 6.10⁻⁴ et 1.10⁻³ m²/s). Toutefois, les piézomètres 2 et 3 se distinguent des piézomètres 4 à 8. Les Pz 2 et 3, situés à l'amont du bassin et dont l'épaisseur mouillée est la plus faible, captent la partie inférieure de l'aquifère ; ils présentent les valeurs de transmissivité les plus faibles (2 à 6.10⁻⁴ m²/s). Les Pz 4 à 8 ont des valeurs de transmissivités plus importantes (1 à 4.10⁻³ m²/s).

Ces pompages ont permis de montrer qu'il existe une hétérogénéité verticale de la perméabilité de l'aquifère, la partie supérieure semblant nettement plus productive que la partie inférieure.

4.3 Propriétés hydriques des sols

Pour compléter les mesures effectuées dans les parcelles expérimentales et avoir une idée du fonctionnement hydrodynamique de tous les sols représentés sur les bassins, des prélèvements de sols, destinés à des mesures en laboratoire, ont été effectués. Ce travail est réalisé en étroite collaboration avec l'INRA d'Orléans. Les principales unités pédologiques ont été échantillonnées.

La figure 2 permet de localiser l'ensemble des sols prélevés.

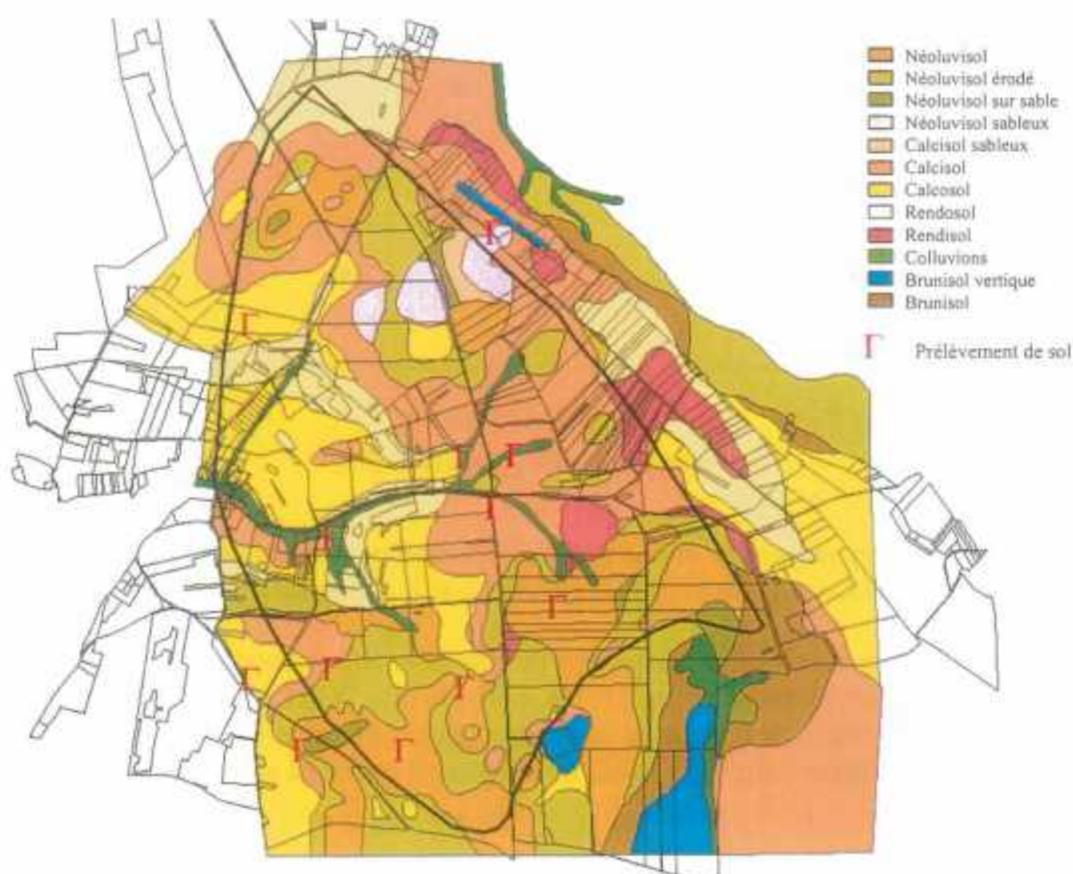


Figure 2 : Localisation des prélèvements de sols

Les mesures réalisées sont de différents types. La méthode « mottes » permet d'établir une relation entre le potentiel matriciel (équivalent à l'inverse de la succion et mesuré par les tensiomètres) et la teneur en eau. Les mesures sont réalisées sur des mottes de sol de quelques cm³ et sont de ce fait parfois contestées car elles ne prennent pas en compte un volume de sol suffisamment grand pour intégrer l'hétérogénéité des sols. En revanche, cette méthode est la seule utilisable dans les sols caillouteux puisqu'elle ne nécessite qu'un faible volume de sol pouvant être prélevé entre les cailloux.

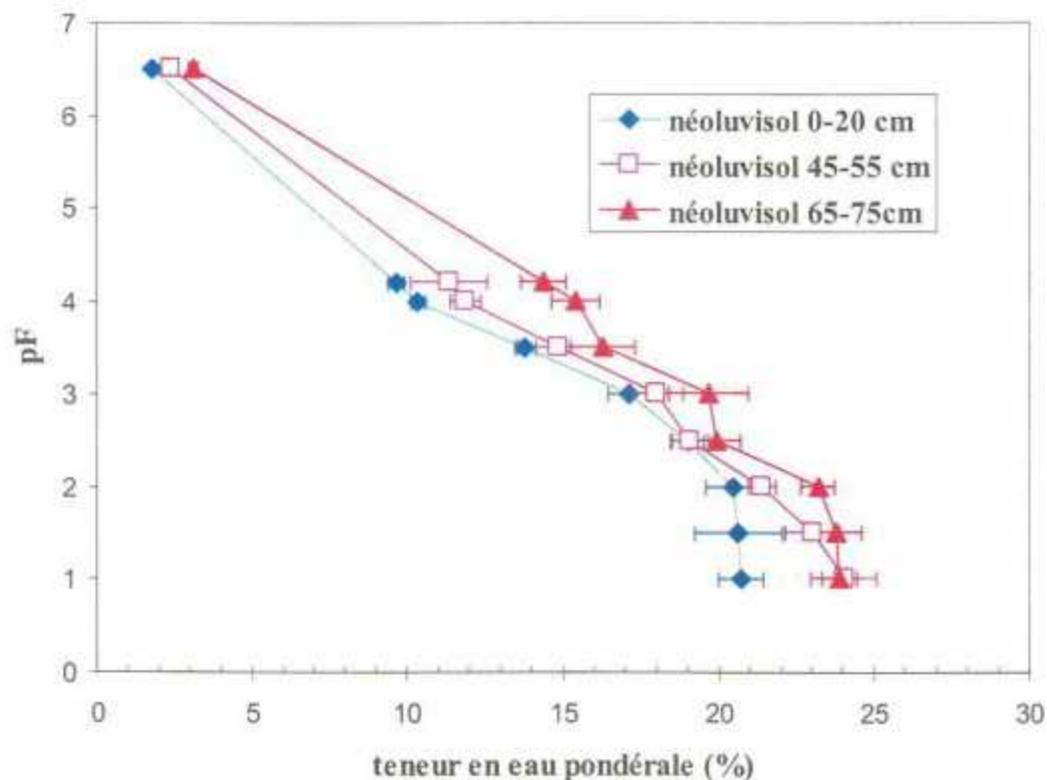


Figure 3 : Valeurs moyennes et écart type de teneurs en eau obtenues pour 12 mottes soumises à des succions (pF) allant de 1 à 6.5. (exemple d'un néoluvisol)

Une méthode complémentaire permettant de travailler notamment sur des volumes de sols plus importants (dizaine de cm^3) est la méthode dite WIND. Elle permet également d'établir une loi reliant les teneurs en eau à des valeurs de succion. Elle permet aussi de déterminer une relation entre les valeurs de teneurs en eau et de perméabilité.

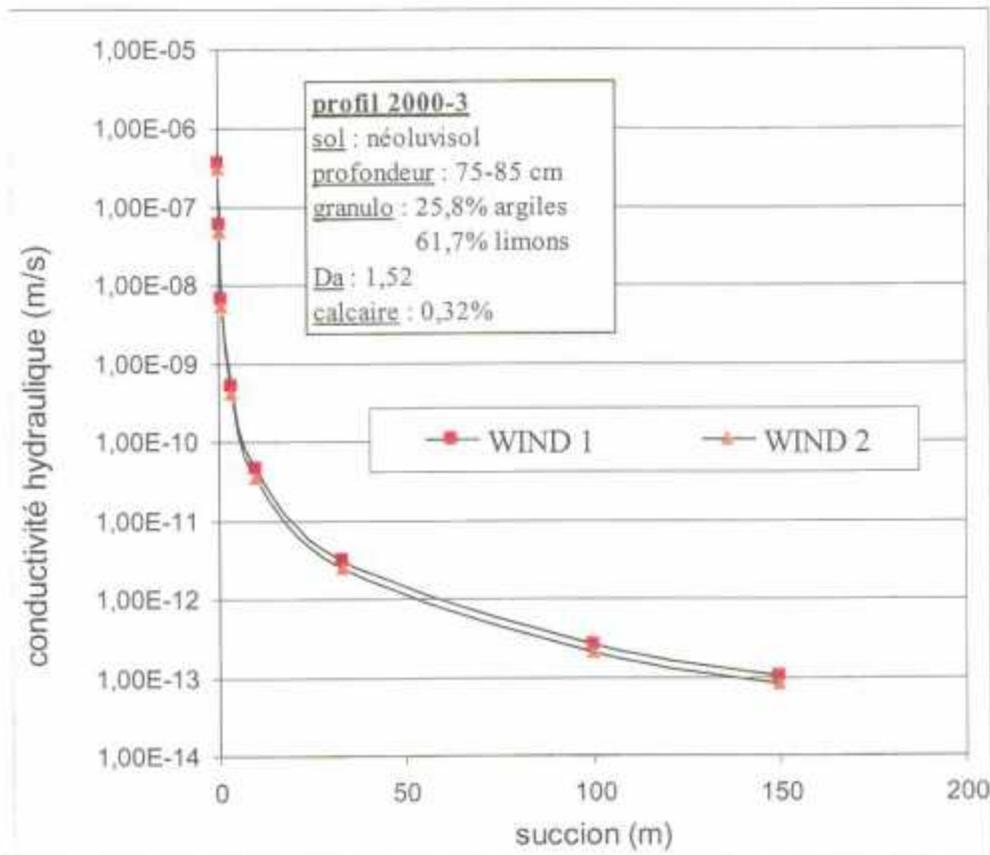


Figure 4 : Détermination de la loi liant la conductivité hydraulique à la succion par la méthode WIND (2 répétitions d'un même échantillon)

Enfin, la troisième mesure effectuée est la méthode dite Ksat qui permet de déterminer la perméabilité du sol à saturation.

4.4. Suivi de la nappe : aspects hydrodynamiques et qualité

4.4.1. Les piézomètres

4.4.1.1. 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).

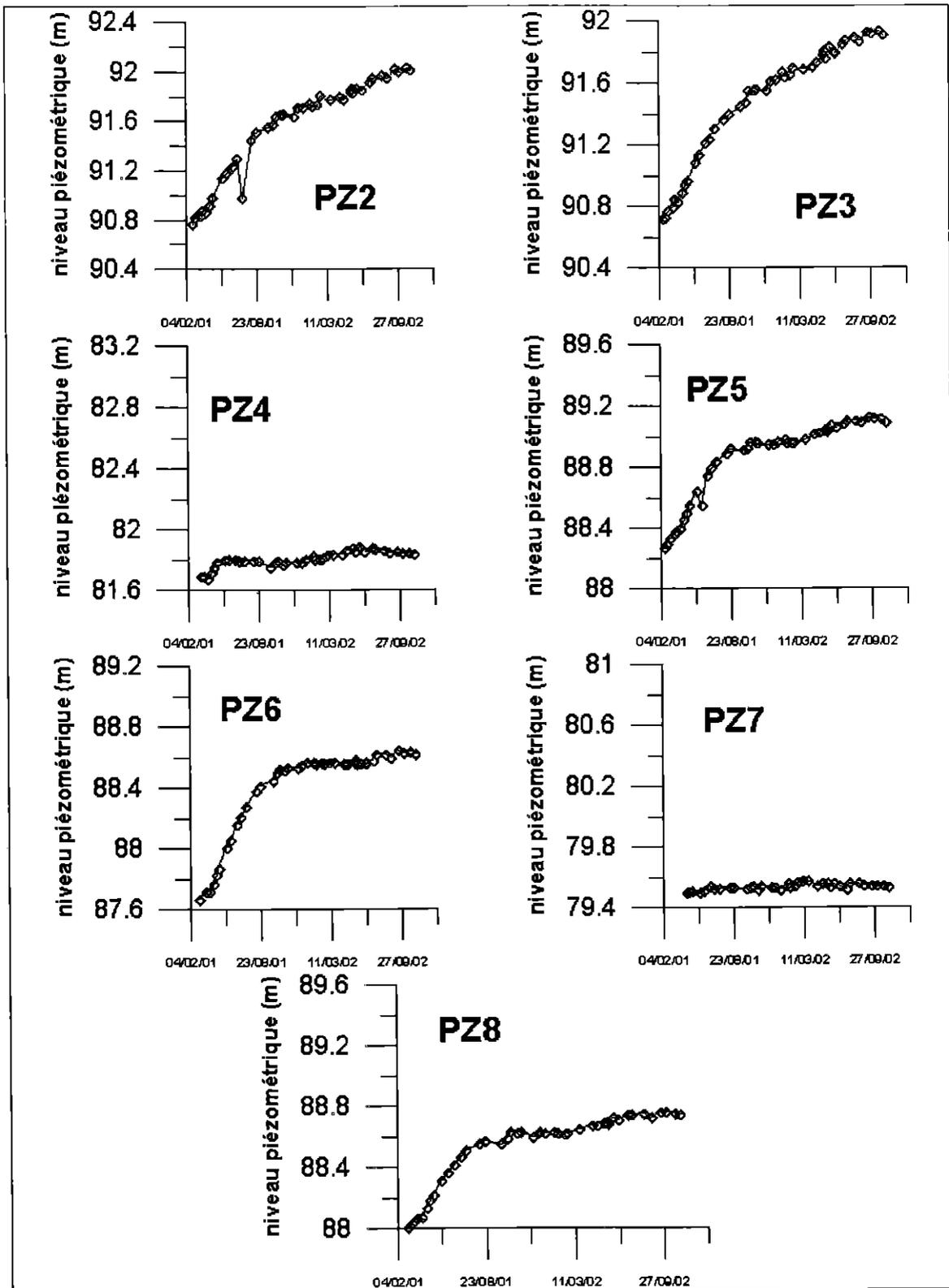


Figure 5 : Variations des niveaux piézométriques (février 2001 à novembre 2002)

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

Depuis l'équipement des piézomètres, les niveaux enregistrés indiquent une remontée plus ou moins forte suivant le piézomètre considéré (figure 5). Cette remontée est liée au caractère excédentaire des pluies ces dernières années. Les années 1999, 2000 et 2001 ont en effet des précipitations supérieures à la moyenne établie sur les 8 années (1993 à 2001 ; figure 6).

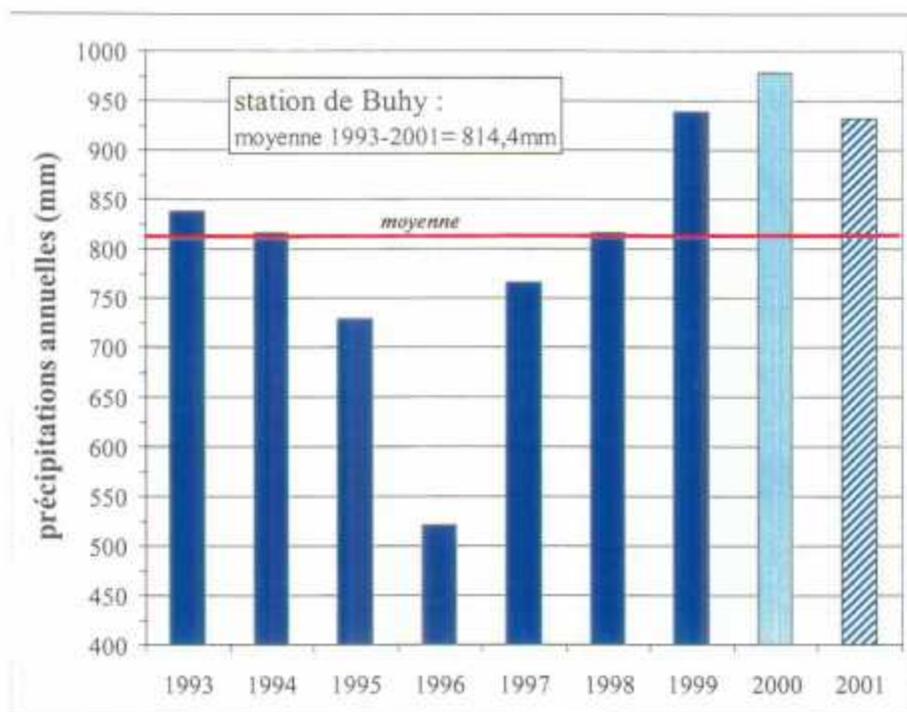


figure 6 : Précipitations annuelles enregistrées à la station de Buhy

Les piézomètres présentant les plus importantes remontées (de l'ordre du mètre) sont les piézomètres situés dans la partie amont du bassin (Pz2 et 3). Les piézomètres les plus à l'aval (Pz4 et Pz7) montrent une augmentation seulement de l'ordre du décimètre sur la période allant de février 2001 à novembre 2002.

Bien que l'augmentation des niveaux persiste pour chaque piézomètre, l'augmentation est moins importante depuis septembre-octobre 2001. Cela correspond au moment où les précipitations mensuelles deviennent moins importantes et plus proches de la moyenne (figure 7) : octobre et novembre 2001 sont proches de la moyenne et décembre est presque 2 fois inférieur.

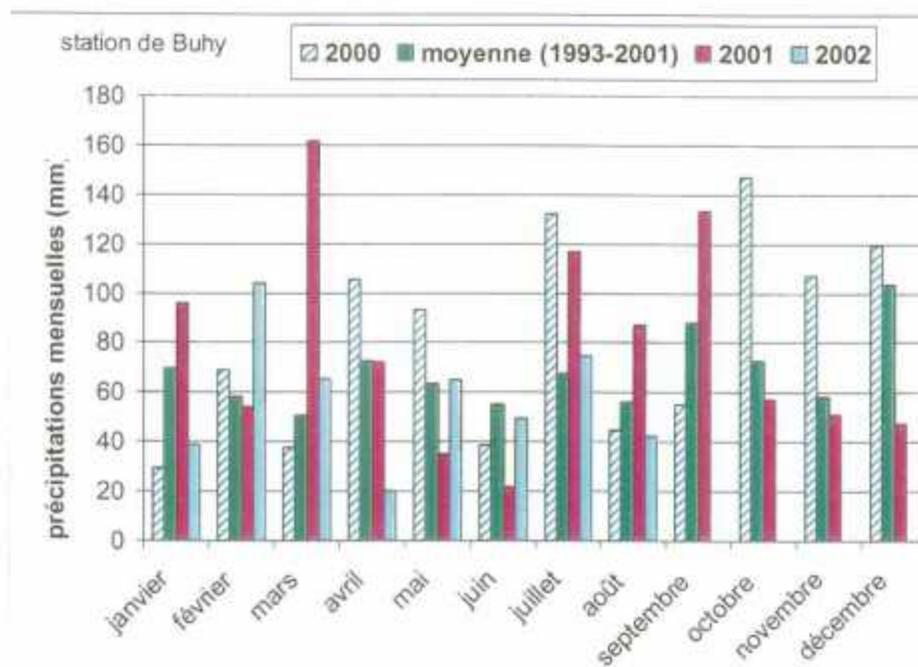


Figure 7 : Précipitations mensuelles pour la période janvier 2000 à août 2002 et moyennes mensuelles enregistrées à la station de Buhy pour les années 1993 à 2001

4.4.1.2. La qualité de la nappe

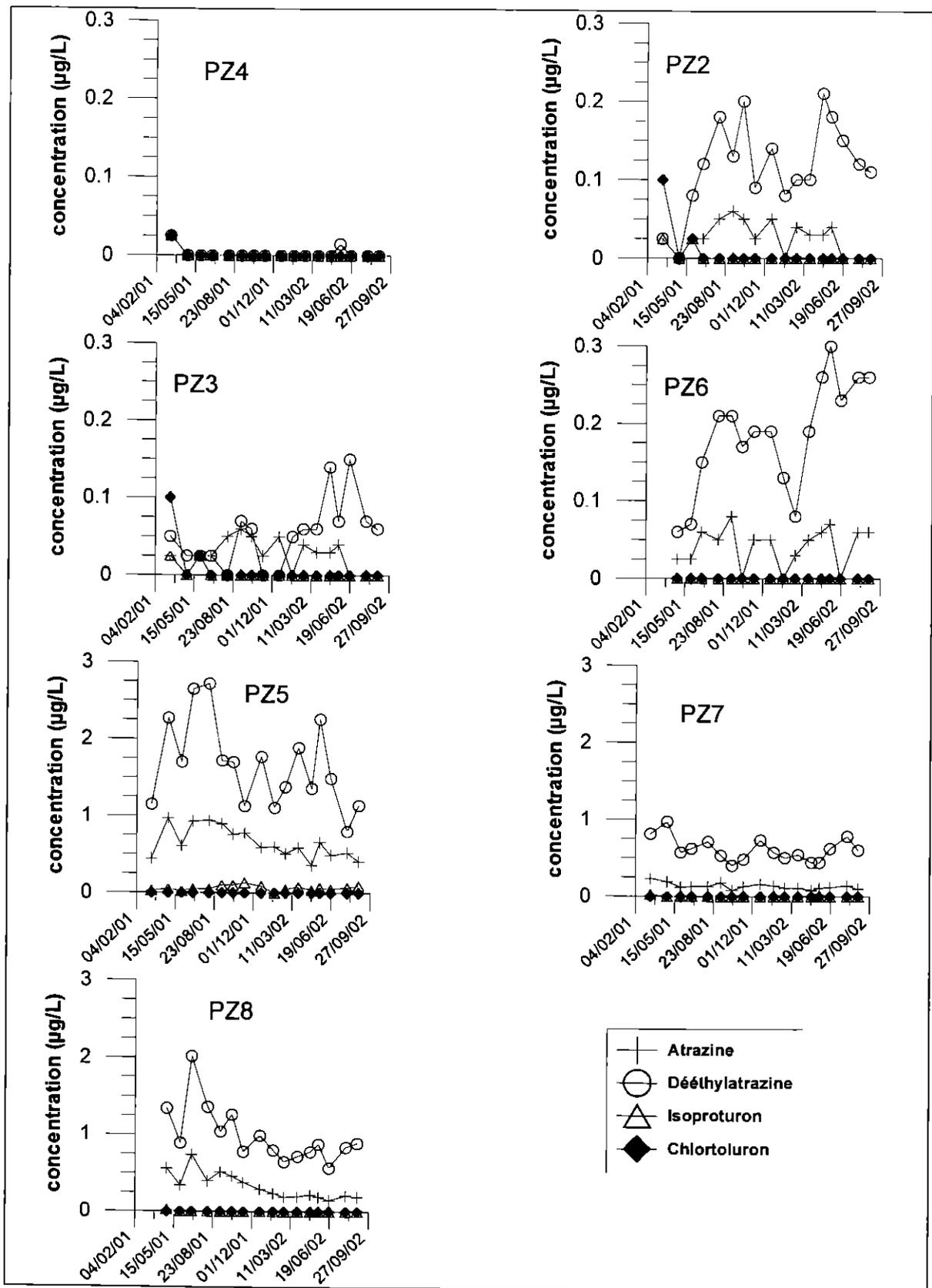


Figure 8 : Teneurs en phytosanitaires dans les piézomètres (03/2001 à 09/2002) (échelle différente pour Pz5, 7 et 8)

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 MP1 après vidange préalable de trois fois le volume du piézomètre et pour assurer un prélèvement représentatif de la qualité de la nappe au droit du piézomètre. Ce pompage est jugé satisfaisant pour assurer un renouvellement de l'eau du piézomètre car il correspond à la stabilisation des paramètres de température, de pH et de conductivité.

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), la déisopropylatrazine (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 trois dernières molécules ont été fournis gracieusement par Monsanto.

La figure 8 montre les résultats obtenus dans les piézomètres pour les phytosanitaires pendant la période de mars 2001 à octobre 2002.

La qualité de l'eau en terme de phytosanitaires est très variable d'un piézomètre à un autre, tant en degré de contamination que dans l'évolution des teneurs en fonction du temps.

Le piézomètre 4 se distingue par la très faible contamination de l'eau. En effet, parmi les molécules recherchées seules des traces (quantité inférieure à la limite de quantification) d'atrazine ont été détectées en mars 2001, des traces de dééthylatrazine en mars 2001 et mai 2002, des traces d'isoproturon et de chlortoluron en mars 2001. Les piézomètres 2, 3 et 6 présentent des degrés de contamination comparables avec une détection quasi systématique d'atrazine et de dééthylatrazine à des concentrations égales ou supérieures à celles de la molécule mère.

Les urées ont été détectées ponctuellement dans les piézomètres 2 et 3 (traces d'isoproturon et de chlortoluron en mars et juin 2001 pour Pz2, en mars 2001 pour Pz3). Les urées n'ont, en revanche, pas été détectées dans le piézomètre 6. Les piézomètres 5, 7 et 8 révèlent des teneurs en phytosanitaires plus élevées que les autres piézomètres. L'atrazine et la dééthylatrazine sont détectées systématiquement dans ces piézomètres. Des traces d'isoproturon ont été trouvées en mars et avril 2001 dans les Pz8 et 7 respectivement alors que cette molécule est détectée de manière systématique dans le Pz5.

La présence systématique d'isoproturon dans le Pz5, à des teneurs de l'ordre de 0.1 µg/L, est un fait assez étonnant puisque les urées sont sensées n'être mobilisables

que pendant une courte période (de quelques semaines à quelques mois) après l'application (Baran, 1999). La détection de l'isoproturon et parfois de chlortoluron dans les autres piézomètres coïncide avec des périodes de traitement (fin de l'hiver). Le fait que les molécules soient détectées au début du printemps 2001 plutôt que pendant le printemps 2002 résulte très probablement de la différence de pluviométrie entre les mois de mars et avril 2001 et 2002. En effet, les précipitations qui pourraient permettre le transport rapide d'une partie de ces substances récemment appliquées ont été plus de deux fois supérieures en mars 2001 qu'en mars 2002 (65 vs. 160 mm de pluie enregistrées à Buhy ; figure 7).

En ce qui concerne les triazines, les piézomètres 5 et 8 et dans une moindre mesure le 7, montrent une décroissance des teneurs depuis août-octobre 2001 qui pourrait être mise en rapport avec l'augmentation plus progressive des niveaux piézométriques depuis cette date par rapport aux mois précédents (figure 7). Pour les piézomètres 2, 3 et 6, l'évolution des teneurs en atrazine est plus erratique ; en revanche les teneurs en dééthylatrazine tendent à croître.

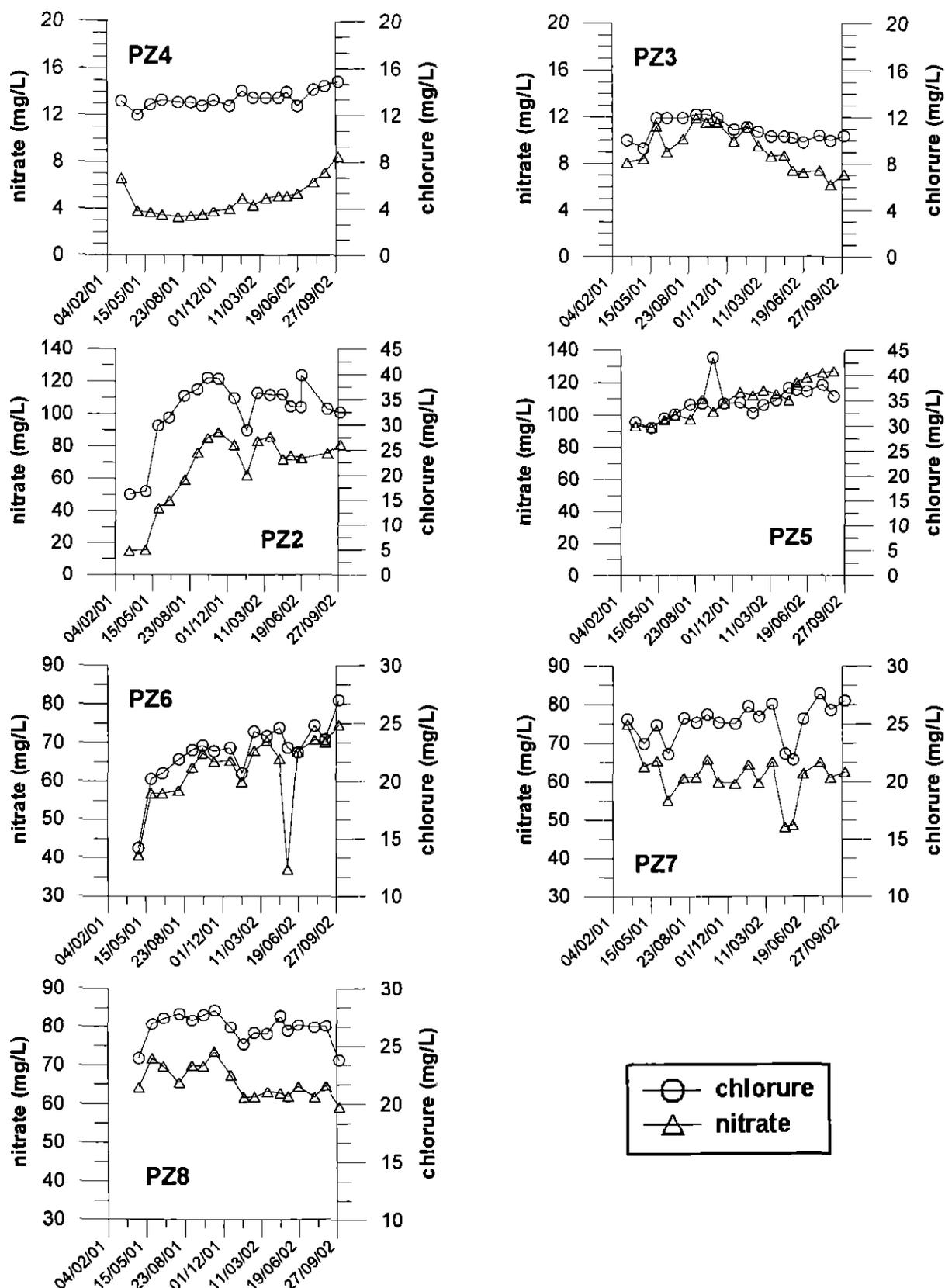


Figure 9 : Teneurs en chlorure et nitrate dans les piézomètres (mars 2001 à octobre 2002)

En terme de chimie minérale (figure 9), les résultats obtenus dans les différents piézomètres sont également très hétérogènes (seuls les nitrates et les chlorures sont présentés ici). Les concentrations en nitrate observées vont de moins de 10 à environ 130 mg/L (Pz4 et Pz5 respectivement) alors que les teneurs en chlorure varient de 10 à presque 40 mg/L (Pz4 et Pz5 respectivement).

Comme pour les phytosanitaires, le piézomètre 4 se distingue par une très faible contamination notamment en nitrate car, bien que les concentrations en nitrate augmentent légèrement, celles-ci restent inférieures à 10 mg/L. Il convient de rappeler que ce piézomètre se trouve dans une parcelle cultivée. De la même manière, le piézomètre 3 situé dans une parcelle de grande culture présente des teneurs en nitrate faibles (de l'ordre de 10 mg/L).

Les concentrations en chlorure et nitrate augmentent dans les piézomètres 2, 5 et 6 alors qu'elles paraissent plus stables dans le piézomètre 7. Les teneurs en chlorure et nitrate décroissent nettement pour le piézomètre 3 à partir de septembre-octobre 2001 ; pour le piézomètre 8 elles décroissent fortement pour le début de l'année 2002 et restent relativement constantes jusqu'en octobre 2002.

Une éventuelle relation entre l'évolution des ions minéraux et notamment le nitrate et les phytosanitaires n'est absolument pas évidente. Pour le piézomètre 8 les évolutions des différents paramètres vont toutes dans le sens d'une diminution. Pour le piézomètre 3, en revanche, l'augmentation des teneurs en phytosanitaires s'accompagne d'une baisse des teneurs en nitrate alors que la tendance inverse est observée pour le piézomètre 5.

Il est probable qu'en plus des différences de pratiques agricoles, les caractéristiques du milieu (sol, et géologie et hydrodynamique de la zone non saturée, ces 2 derniers paramètres étant extrêmement difficiles à renseigner) puissent expliquer les différences observées. Une étude plus fine des pratiques culturales va être réalisée.

4.4.2. Le suivi de l'exutoire du système

4.4.2.1. 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. Les fluctuations de débit étant plus faibles que ce qui avait été imaginé, et le seuil restant en charge, la relation hauteur-débit tirée de la géométrie du seuil est peu satisfaisante. Des courbes de jaugeage sont réalisées dans la gamme de hauteurs d'eau observées pour permettre une conversion plus fiable des hauteurs en débit.

Des jaugeages différentiels sont également réalisés pour estimer la proportion d'eau issue de la source captée par rapport au débit total mesuré au niveau du seuil. Des mesures réalisées dans plusieurs contextes climatiques permettront d'apprécier la fluctuation de cette proportion au cours du temps.

4.4.2.2 La qualité de l'eau à la source

Un suivi bi-mensuel est effectué en terme de chimie minérale et phytosanitaires (figures 10, 11 et 12). La liste des molécules recherchées a été établie par application de la méthode SIRIS (Paranthoen, 1999), avec l'ajout de 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 (novembre 2002) à l'exception d'une mesure positive à la source le 10/4/02 (juste après les applications par les agriculteurs) et dans le piézomètre 6 (se trouvant dans une parcelle traitée cette année par l'acétochlore) le 29/4/02. Les valeurs mesurées étant proches des limites de détection, ces 2 signaux sont donc à considérer avec prudence. Toutefois, si ces signaux correspondaient à une réelle contamination, cela signifierait qu'une partie de l'acétochlore appliqué est capable de migrer très rapidement dans la nappe. Ce résultat, même s'il n'est pas confirmé, va dans le sens des observations faites en mars 2001 à savoir l'apparition d'urées substituées peu de temps après l'application. Il n'est donc pas exclu, que, sous certaines conditions météorologiques, une fraction des phytosanitaires transitent rapidement jusqu'à la nappe.

Les produits de dégradation de l'isoproturon ne sont jamais retrouvés.

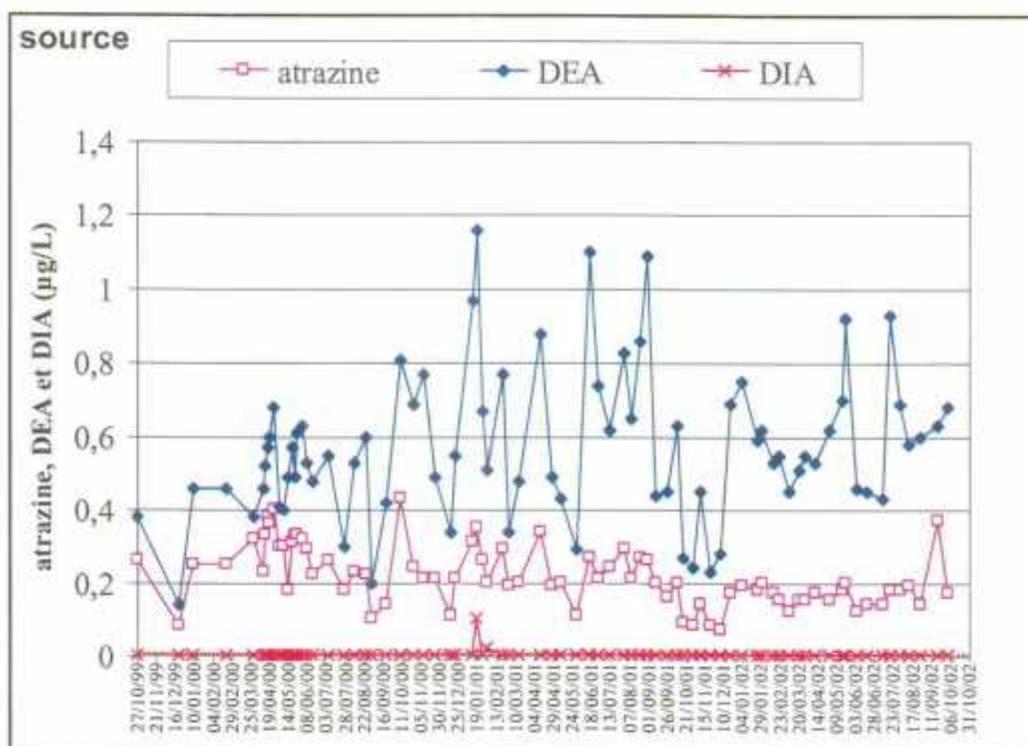


Figure 10 : Suivi des concentrations en atrazine, dééthylatrazine (DEA) et désisopropylatrazine (DIA) à la source des Brévilles de octobre 1999 à octobre 2002

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 10) bien que la dernière application en atrazine ait été réalisée en avril 1999. La désisopropylatrazine n'a été détectée que de manière ponctuelle (janvier 2001) à une concentration maximale de l'ordre de 0,1 µg/L. Les teneurs en dééthylatrazine fluctuent assez fortement et sont généralement supérieures à 0,4 µg/L. Les teneurs en atrazine présentent des variations moins importantes et la tendance générale semble à la baisse. Depuis octobre 2001, les concentrations en atrazine sont globalement comprises entre 0,1 et 0,2 µg/L. La présence dans les eaux de la source de l'atrazine et de son principal produit de dégradation, la dééthylatrazine, 3,5 ans après la dernière application sur le bassin confirme le caractère persistant de ces molécules et suggère l'existence d'un stock dans le sol ou la zone non saturée plus profonde, stock qui réalimente régulièrement la nappe.

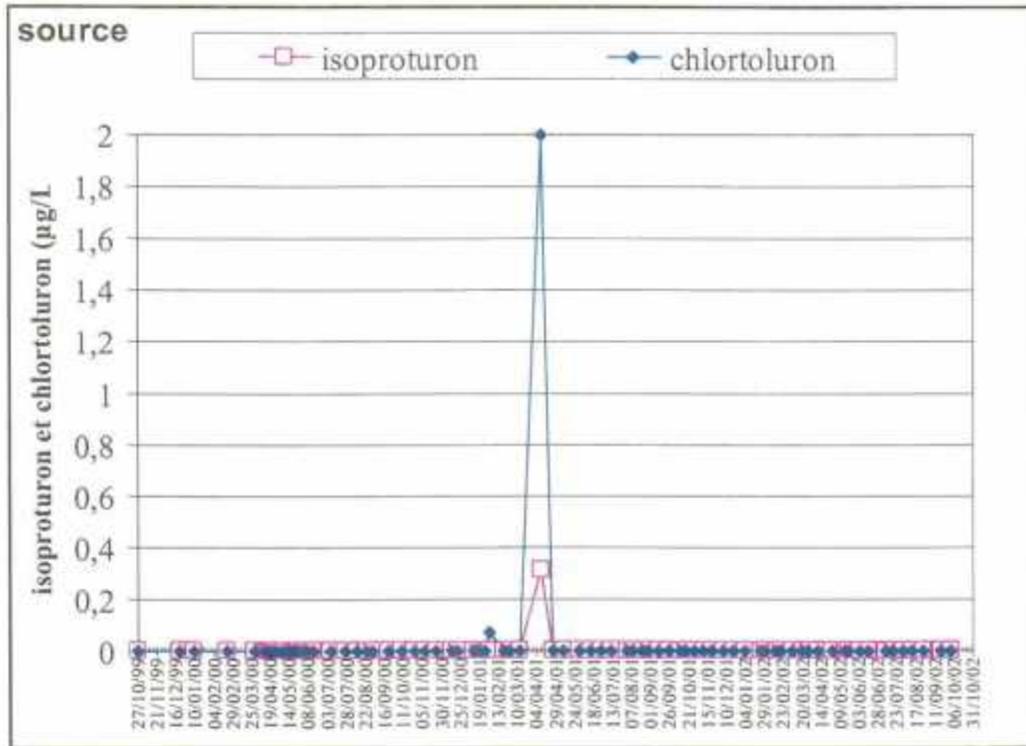


Figure 11 : Suivi des concentrations en isoproturon et chlortoluron à la source des Brévilles de octobre 1999 à octobre 2002

Les urées substituées présentent un comportement très différent de celui des triazines. En effet, elles ne sont détectées que de manière ponctuelle (en février et avril 2001), c'est-à-dire des époques en rapport avec les applications agricoles. Il semble que ces molécules soient mobilisables pendant une période 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. L'absence de ces produits au cours du printemps 2002, alors qu'ils ont probablement été appliqués en quantités équivalentes à celles de 2001, s'explique probablement par une pluviométrie moins importante en mars 2001 qu'en mars 2002 (figure 7). La pluviométrie, deux fois moins importante en mars 2002, n'aura peut-être pas permis aux produits d'atteindre rapidement (c'est-à-dire pendant leur courte période de mobilisation potentielle) l'aquifère.

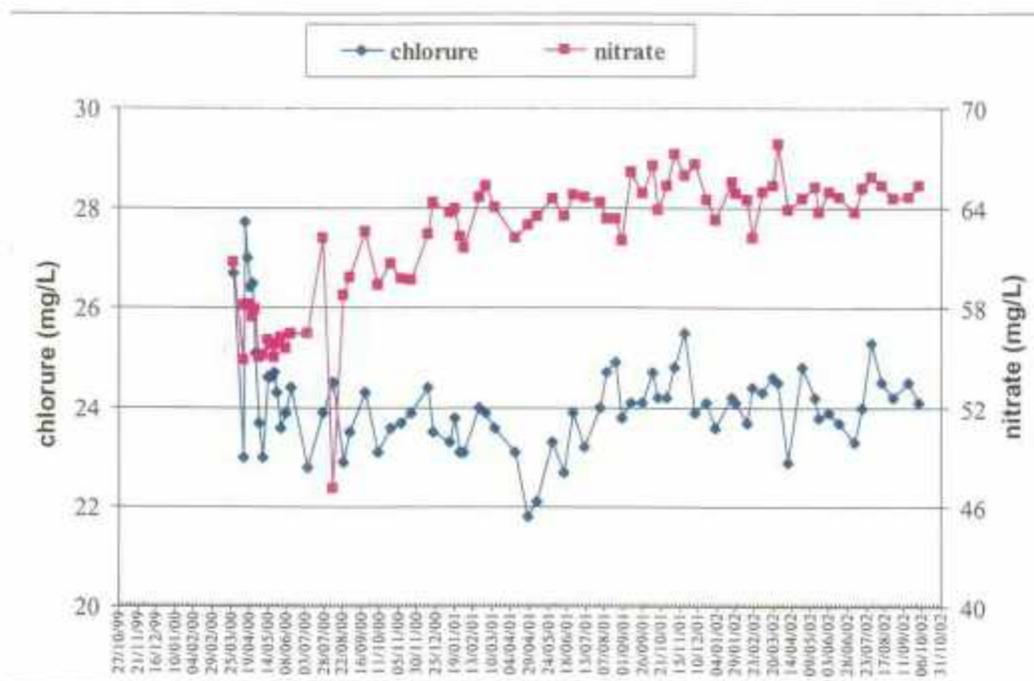


Figure 12 : Suivi des concentrations en nitrate et chlorure à la source des Brévilles de mars 2000 à octobre 2002

Les teneurs en nitrate étaient de l'ordre de 55 mg/L en mars 2000 au début du suivi et sont voisines de 65 mg/L en octobre 2002, soit 32 mois plus tard. L'augmentation globale a été plus importante au début du suivi (mars 2000 à mai 2001) et les teneurs sont relativement constantes depuis cette date même si des oscillations de faible amplitude (moins de 5 mg/L) existent. La modification des conditions climatiques vers le milieu de l'année 2001 pourrait là aussi expliquer le changement de pente de l'augmentation.

Les chlorures sont souvent utilisés pour apprécier l'importance de la recharge. Une diminution des teneurs peut être interprétée comme un signe d'une recharge assez importante, une eau peu chargée en chlorure transitant jusqu'à la nappe. L'augmentation des teneurs, si les signaux d'entrée n'ont pas été modifiés (modifications des apports par les engrais notamment), pourrait témoigner d'une remobilisation d'un stock constitué au niveau du sol ou de la zone non saturée. Sur cette base, la chronique indiquerait une recharge importante jusqu'à mai 2001 puis une diminution de cette recharge.

5. Suivis parcellaires pour l'année culturale 2001

5.1. Les parcelles étudiées

Comme pour la saison culturale 2000, deux parcelles représentatives des 2 grandes unités de sols identifiées à la suite de l'établissement de la carte pédologique par l'INRA d'Orléans ont été suivies pendant la saison culturale 2001. Ces deux parcelles étaient emblavées en maïs, culture faisant partie intégrante de la rotation des deux agriculteurs concernés. Une troisième parcelle emblavée en maïs, de taille plus réduite (4.32 ha) et située à la bordure sud du bassin, n'a pas été retenue.

La première parcelle retenue (11.83 ha) constituée d'un sol peu épais, caillouteux correspond à un calcosol (classification FAO). L'épaisseur du sol est variable mais de l'ordre de 50 centimètres. Il s'agit d'un sol sain ne présentant pas de traces d'hydromorphie.

La deuxième parcelle, de 12.5 ha, présente un sol plus épais, non caillouteux correspondant à un luvisol (classification FAO). Ce sol présente également un bon ressuyage.

Les deux sols retenus sont contrastés mais tout à fait comparables aux 2 sols étudiés l'année précédente. De cette façon, une nouvelle comparaison du transfert des phytosanitaires entre 2 sols contrastés sera possible et l'influence des conditions climatiques après le traitement pourra être appréhendée. En effet, les deux années de suivi ont été très pluviométriquement très différentes : les semaines succédant à l'application ont été très pluvieuses en 2000 et beaucoup moins arrosées en 2001 (figure 6).

Les deux parcelles ont été instrumentées après le semis du maïs et avant le traitement herbicide. Le tableau 2 résume les principales interventions sur ces 2 parcelles. Bien que les semis aient quasiment été synchrones, il faut noter que l'application du phytosanitaire a été réalisée avec une semaine de décalage.

INTERVENTION	Calcosol	Luvisol
Date du semis	26 avril 2001	27 avril 2001
Instrumentation de la parcelle	27 avril 2001	28 et 29 avril 2001
Date du traitement herbicide	2 mai 2001	9 mai 2001
Date de l'application de bromure	2 mai 2001	9 mai 2001

Tableau 2 : Principales interventions sur les parcelles suivies en 2001

Seule une partie de la parcelle agricole est retenue pour l'expérimentation. La géométrie des parcelles expérimentales a été adaptée en fonction de forme de la parcelle agricole : 4 blocs de 48 x 50 m alignés suivant la longueur de la parcelle pour le calcosol, 4 blocs de 35 x 40 m disposés pour former un carré pour le luvisol. L'emprise est donc respectivement de 0.96 et 0.7 ha pour le calcosol et le luvisol.

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 ni interaction avec la matrice du sol ni dégradation. Les bromures sont donc considérés comme un traceur de l'eau. Ils sont présents en quantité peu importantes à l'état naturel. Des analyses réalisées sur des échantillons de sols prélevés avant l'application ont montré des teneurs de l'ordre de 1 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 à une semaine d'intervalle. La solution mère a été préparée à chaque fois par dissolution préalable du bromure dans un récipient de grande taille (de l'ordre de 70 litres) avant transfert dans le pulvérisateur de l'agriculteur. Pour chaque application, un prélèvement était effectué dans le pulvérisateur au début et à la fin de l'application pour s'assurer de la bonne homogénéisation de la solution dans le pulvérisateur.

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 le cas du calcosol et de l'HARDNESS pour le luvisol. Il s'agit de la première application de ce produit sur les 2 parcelles et de la deuxième sur le bassin (cf. suivi de l'année culturale 2000). La dose théorique est de 2 000 g/ha qui correspond à la dose recommandée par les producteurs.

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 pour chacun des 4 blocs. 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, fermé hermétiquement. 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 13 et 14 montrent la variabilité des apports sur chaque parcelle.

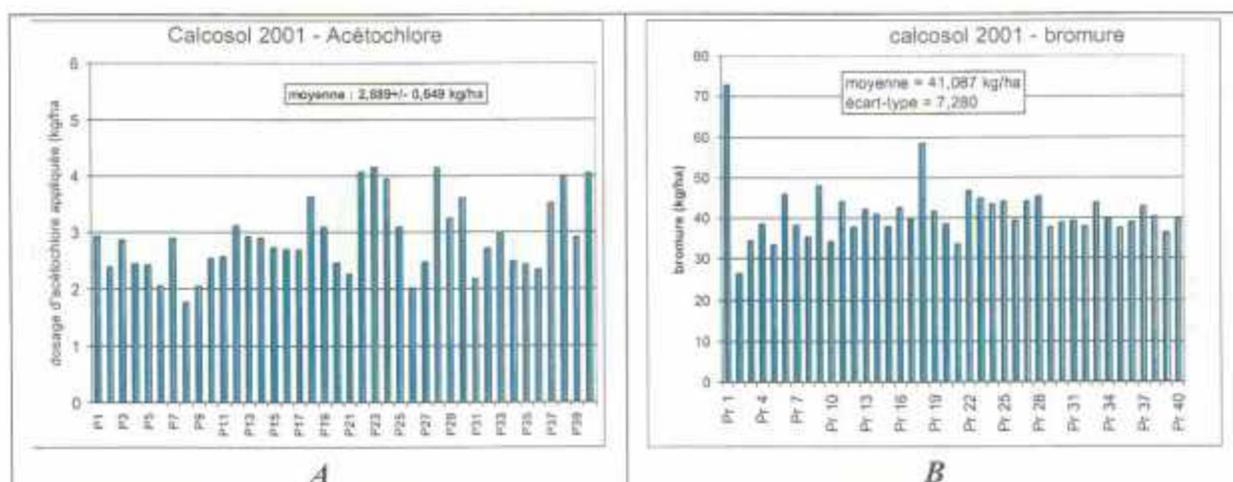


Figure 13 : Hétérogénéités des apports d'acétochlore (A) et des bromures (B) sur le calcosol

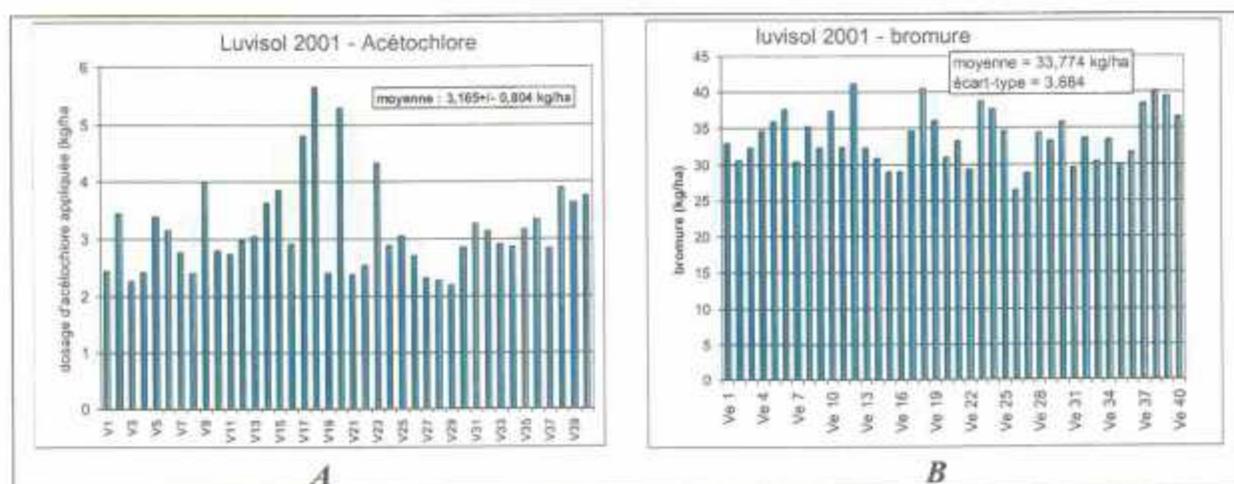


Figure 14 : Hétérogénéités des apports d'acétochlore (A) et des bromures (B) sur le luvisol

Le bromure a été appliqué à deux dates différentes sur les 2 parcelles ce qui a conduit à la réalisation de deux solutions mères et qui explique les différences de dose totale (environ 33 et 41 kg pour le luvisol et le calcosol, respectivement). Bien que le même matériel ait été utilisé pour les 2 parcelles, la variabilité est plus importante sur le calcosol que le luvisol. Le plus fort écart type pour le calcosol est surtout lié aux barquettes 1 et 18 ayant reçu des doses beaucoup plus importantes, doses attendues par exemple dans les zones de recouvrement du pulvérisateur (bande de 1 m environ entre 2 passages). Toutefois, la localisation des barquettes dans la parcelle ne permet pas de retenir cette hypothèse de recouvrement car les 2 barquettes se trouvaient au milieu d'une rampe (figure 15).

L'application de l'acétochlore a été réalisée par deux pulvérisateurs. Les conditions météorologiques étaient très bonnes dans le cas du calcosol, et moyennes dans le cas du luvisol puisqu'il y avait du vent persistant avec quelques rafales. Ces différences de conditions météorologiques pourraient expliquer en partie le plus grand écart type obtenu pour le luvisol. Les différents réglages des pulvérisateurs pourraient aussi être mis en cause même si les deux pulvérisateurs avaient été contrôlés quelques jours avant les applications par la Chambre d'Agriculture d'Ile de France.

Dans les 2 cas, les doses appliquées sont supérieures à la dose théorique de 2 kg/ha et aucune explication n'apparaît pour le moment pour expliquer cette différence.

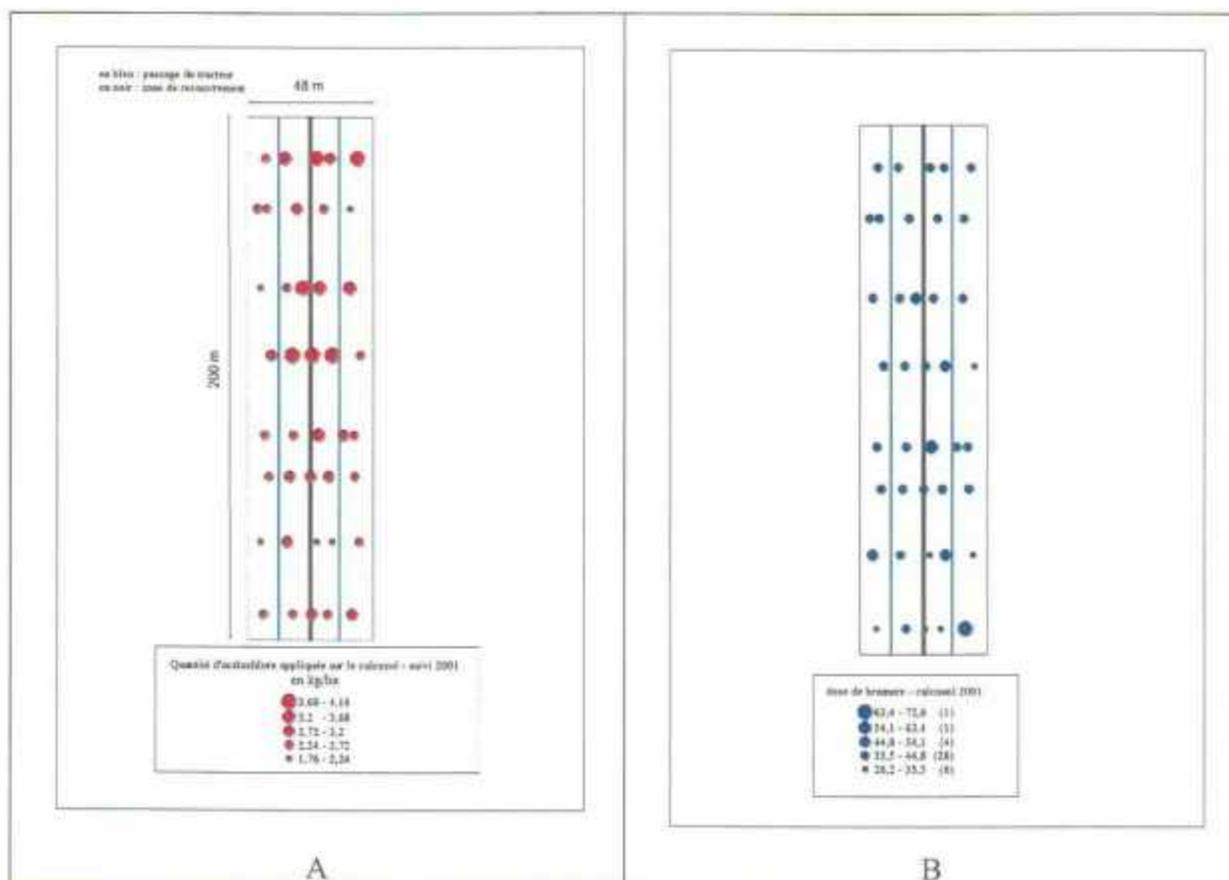


Figure 15 : Emplacement des barquettes et quantités appliquées mesurées en acétochlore (A) et en bromure (B) sur le calcosol

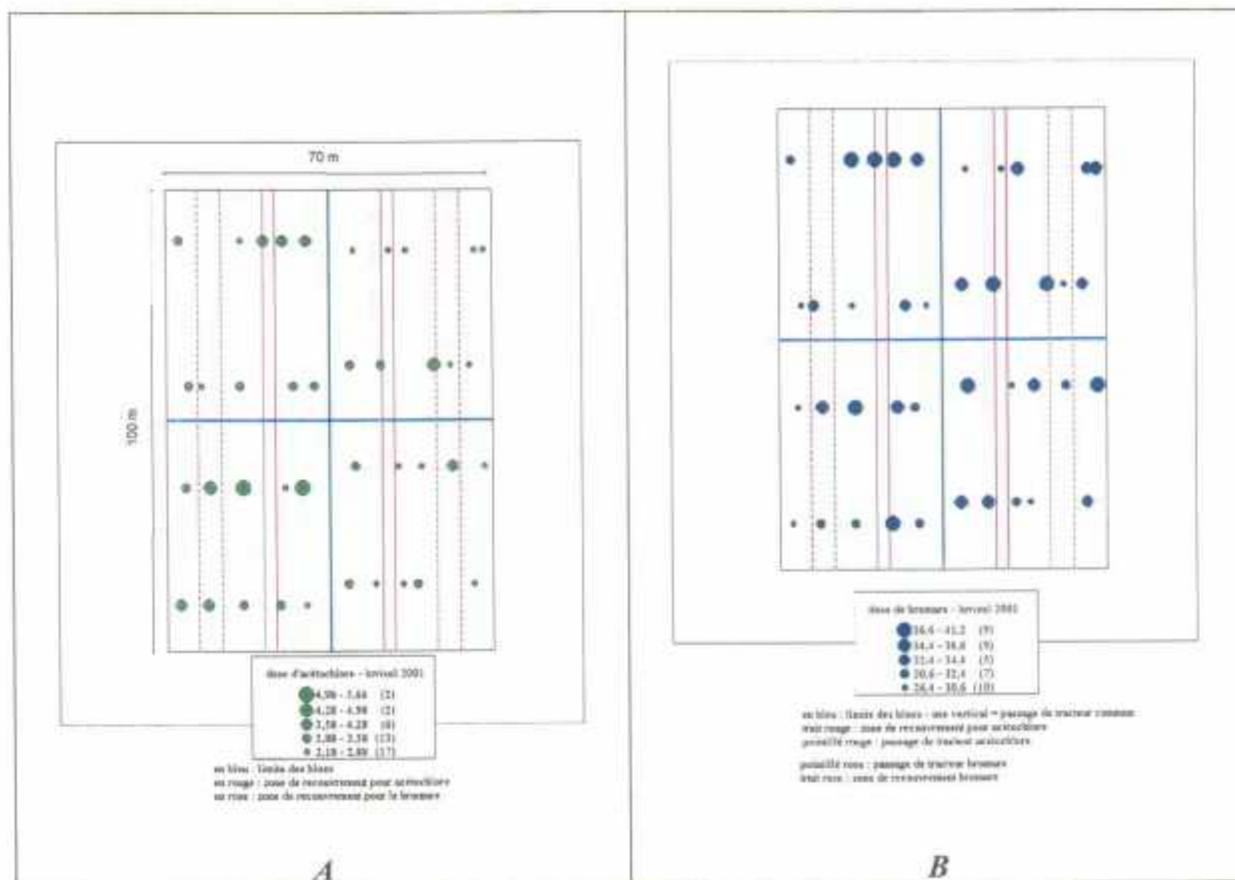


Figure 16 : Emplacement des barquettes et quantités appliquées mesurées en acétochlore (A) et en bromure (B) sur le néoluvisol

5.3. les prélèvements de sol

Afin de caractériser le transit de l'acétochlore et de ses produits de dégradation dans le premier mètre de sol, des prélèvements 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 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 μm 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

Les bromures ont été dosés sur chaque horizon de chaque carotte et pour chaque date ce qui représente environ 250 échantillons à chaque campagne de prélèvement pour les 2 parcelles.

L'hétérogénéité intra-parcellaire observée lors du suivi pendant l'année 2000 a conduit à maintenir un nombre élevé de carottes pour chaque date et chaque parcelle. L'analyse des différents profils bromure obtenus au cours de l'année 2001 (non présentés ici) montre que ce choix a été à nouveau justifié.

En revanche, pour les phytosanitaires et afin de limiter le nombre d'analyses, un échantillon composite a été réalisé, par mélange en masses égales des 16 échantillons élémentaires pour chaque profondeur de sol.

5.5.1. Transfert des solutés dans le calcisol

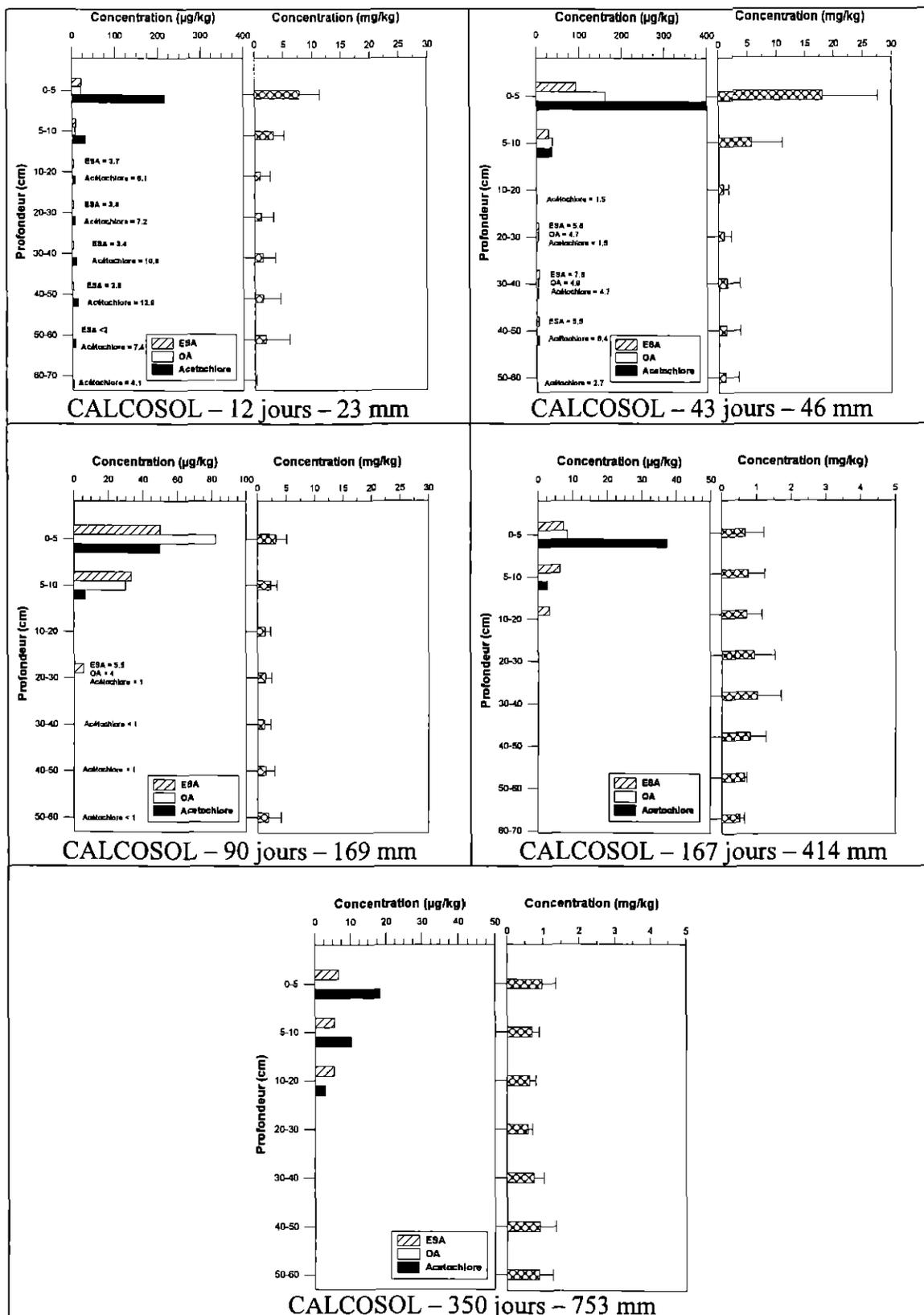


Figure 17 : Evolution des concentrations en ESA, OA, acétochlore et bromure dans le calcosol pour 5 dates – suivi 2001

La figure 17 présente l'évolution des teneurs en acétochlore, de ses principaux produits de dégradation et des bromures en fonction du temps et de la pluie cumulée depuis l'application.

Les profils bromure montrent que le lessivage existe puisque des teneurs supérieures au bruit de fond naturel (de l'ordre de 0.5 à 1 mg/kg) sont détectées à des profondeurs importantes (50-60 cm), par exemple à 43 jours équivalent à 46 mm de pluie cumulée depuis l'application. La présence d'acétochlore dans les horizons les plus profonds échantillonnés à cette date mais aussi à la date précédente et la date suivante confirme l'existence de ce lessivage puisqu'il s'agissait de la première application d'acétochlore. La présence d'acétochlore à 60-70 cm de profondeur à 12 jours et à 50-60 cm à 43 et 90 jours montre que cette molécule est susceptible de migrer vers les horizons les plus profonds de ces sols et qu'elle représente donc un risque de contamination pour la nappe. Toutefois, les faibles concentrations observées (généralement inférieures à 10µg/kg) dans les horizons les plus profonds pourraient indiquer que la quantité lessivée est faible. A l'inverse, les faibles concentrations pourraient être interprétées comme le résultat d'un très fort lessivage qui conduirait à une faible quantité présente dans le profil. Toutefois, la littérature scientifique sur le devenir de l'acétochlore va dans le sens d'une faible mobilité en profondeur dans les sols et conduit à privilégier la première hypothèse.

A 167 et 350 jours, l'acétochlore est détecté uniquement jusqu'à l'horizon 10-20 cm ce qui pourrait signifier que la molécule est mobilisable pendant quelques semaines seulement ou que les teneurs rencontrées sont inférieures à la limite de détection de notre méthode analytique. L'acétochlore est toujours détecté en surface 350 jours après l'application.

La diminution des concentrations en acétochlore au cours du temps peut être expliquée en partie par l'existence d'un lessivage vers les horizons profonds, non échantillonnés, par la formation de résidus liés mais aussi par les processus de dégradation. En effet, la présence de dérivés ESA et OA prouve qu'il y a bien dégradation de la molécule mère et leur présence dès 12 jours montre que la mise en place de la dégradation est rapide bien qu'il s'agisse de la première application du produit phytosanitaire. Ces deux produits de dégradation sont également sujets au lessivage comme le prouve la détection d'ESA à 50-60 cm de profondeur à 12 jours et celle de l'OA à 30-40 cm à 43 jours. Comme la molécule mère, ces produits pourraient présenter un risque de lessivage jusqu'à la nappe.

Les deux dérivés sont surtout détectés lors des premières campagnes de mesures. Leur présence à des concentrations moindres et limitées aux horizons supérieurs lors des campagnes suivantes pourrait résulter d'un lessivage, d'une dégradation secondaire en produits non recherchés ou d'une fixation au niveau du sol. Le dérivé OA est détecté moins longtemps que l'ESA, ce qui pourrait résulter d'un plus grand lessivage, d'une moins grande stabilité ou d'une production moins importante.

5.5.2. Transfert de solutés dans le luvisol

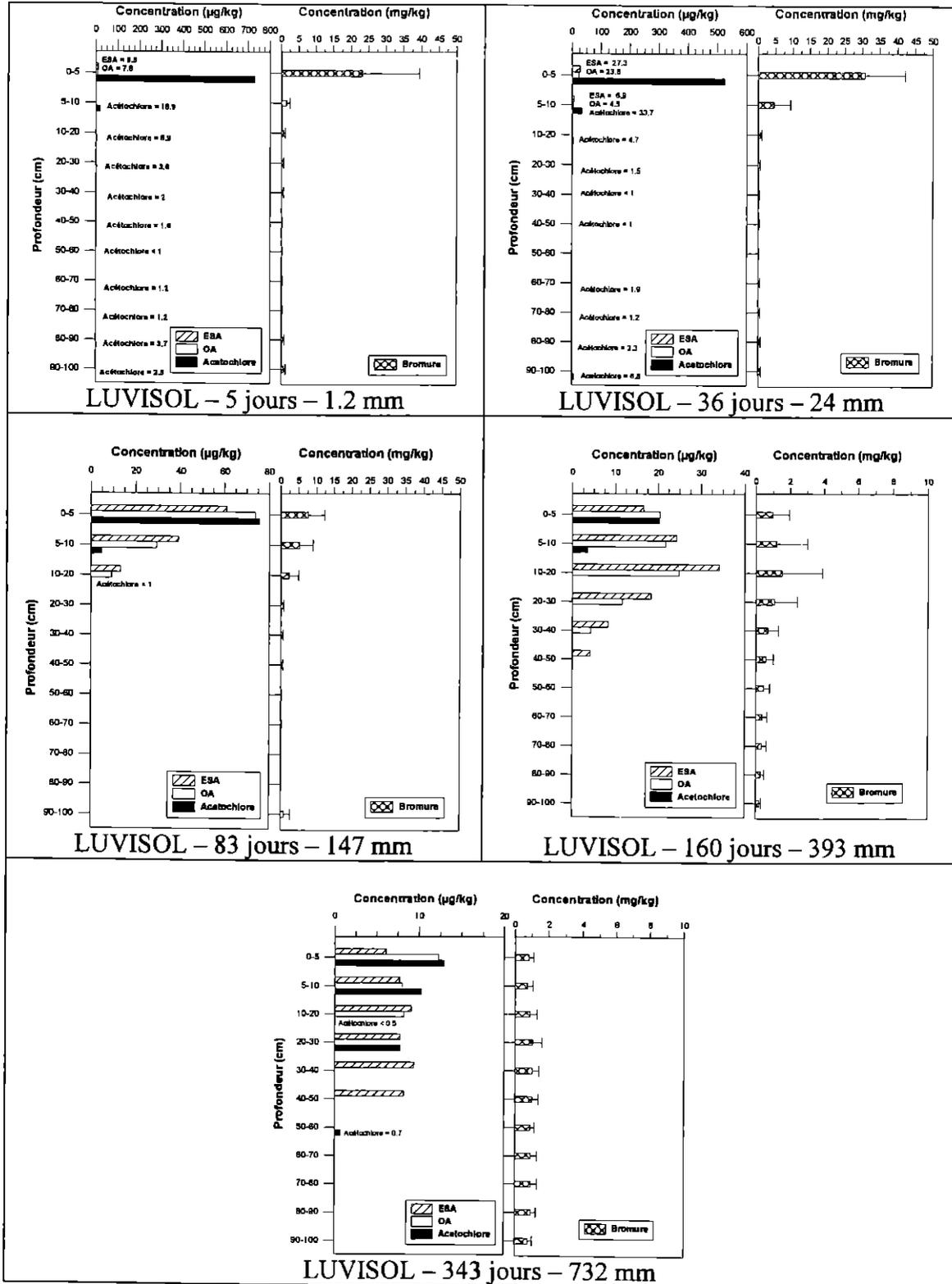


Figure 18 : Evolution des concentrations en ESA, OA, acétochlore et bromure dans le luvisol pour 5 dates – suivi 2001

Dans le luvisol comme dans le calcisol, les teneurs en bromure supérieures aux teneurs naturelles dans les horizons profonds indiquent la mise en place d'un lessivage (figure 18). L'acétochlore présent à 90-100 cm de profondeur à 5 et 36 jours montre que le phytosanitaire est lui aussi sujet au lessivage. A noter qu'à 5 jours, la pluie cumulée depuis l'application est très faible (1.2 mm) et que l'acétochlore est déjà présent dans les horizons les plus profondément échantillonnés. Ce résultat est surprenant mais pourrait s'expliquer par l'existence de macropores donnant naissance à des flux préférentiels susceptibles de mobiliser des solutés même si le volume percolé est faible. De plus, la pluie a été mesurée à Buhy (commune voisine) et il est possible qu'une averse locale soit tombée sur la parcelle étudiée et pas à Buhy. Dans ce cas, la pluie cumulée serait supérieure à ces 1.2 mm mesurés. Malheureusement, le pluviomètre placé sur la parcelle n'a pas fonctionné et il n'est donc pas possible de vérifier cette hypothèse. Enfin, parce qu'il s'agissait de la première application d'acétochlore, il est impossible de faire une confusion avec une application précédente et le produit retrouvé en profondeur ne peut être attribué qu'à cette application. La dissipation de l'acétochlore au cours du temps est donc liée à ce lessivage mais aussi à sa dégradation. Comme dans le calcisol, la mise en place de la dégradation est rapide et conduit à la formation de dérivés ESA et OA qui sont observés dès 5 jours dans l'horizon de surface à teneurs voisines de 10 µg/kg. Par contre, ces deux molécules semblent plus persistantes à plus grande profondeur dans le luvisol que dans le calcisol (date 5). Comme dans le calcisol, lorsque les concentrations en dérivés commencent à être importantes (83 jours et 43 jours pour le luvisol et le calcisol respectivement), dans l'horizon de surface, le dérivé OA présente des concentrations supérieures à celles de l'ESA. Pour les horizons plus profonds, les concentrations sont équivalentes ou le dérivé ESA est dominant. L'ESA et l'OA sont lessivés puisque l'ESA est retrouvé à 40-50 cm à 343 jours et l'OA à 30-40 cm à 160 jours.

5.5.3. Bilan de masse dans les 2 sols. Comparaison avec l'année 2000

Un bilan de matière par rapport à la quantité moyenne appliquée en acétochlore ou en bromure est effectué en admettant une densité homogène sur le profil de sol égale à 1.5 kg/dm³.

5.5.3.1. Cas des sols courts type calcisol ou calcosol

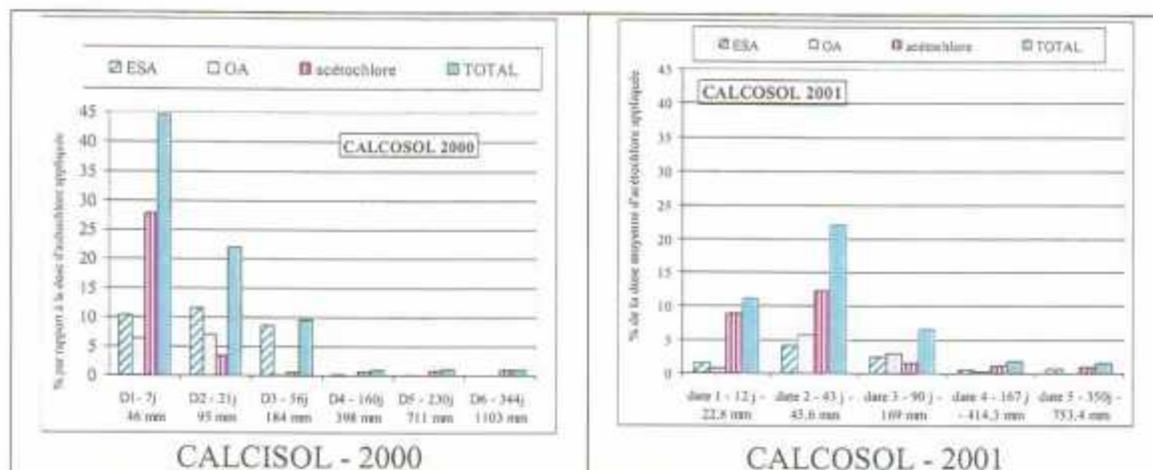


Figure 19 : Pourcentage de dérivés ESA, OA, d'acétochlore et somme de ces produits par rapport à la dose moyenne appliquée en 2000 dans un calcisol et 2001 dans un calcosol

Bien que les 2 sols étudiés en 2000 et 2001 ne soient pas rigoureusement identiques (calcisol et calcosol respectivement), ils présentent des caractéristiques proches qui autorisent leur comparaison.

Au bout d'une année, les quantités résiduelles sont plus importantes en 2001 qu'en 2000. Un plus faible lessivage (pluviométrie de 753 mm contre 1103 mm en 2000) pourrait être invoqué pour expliquer ce phénomène mais les informations obtenues pour les dates 4 de chaque suivi (seule date directement comparable en terme de nombre de jours écoulés depuis l'application et de pluie cumulée) conduisent à rejeter cette hypothèse. En effet, à délai et pluviométrie comparables, les bilans de masse sont effectivement plus importants en 2001 qu'en 2000. Toutefois dans les 2 suivis, après environ 5 mois (160 et 167 j), la somme des produits présents représente moins de 5 % de ce qui avait été appliqué. Les deux suivis montrent également que très rapidement (7 et 12 j après l'application), moins de 50 % du produit appliqué est retrouvé sous forme de molécule mère et de produits de dégradation. Volatilisation, dégradation secondaire ou en des produits non recherchés, formation de résidus liés, et lessivage sont les processus, qui combinés en des proportions non quantifiables, conduisent très probablement à cette faible présence quelques jours après l'application.

Le bilan de masse de la date 1- 2001 est inférieur à la date 2. L'hétérogénéité des apports pourraient conduire à ce cas de figure. Toutefois l'hypothèse la plus vraisemblable est une erreur dans le calcul du bilan par l'utilisation d'une densité estimée homogène du sol pour l'horizon de surface (1.5 kg/dm^3) dans lequel se trouve quasiment tous les produits à la date 1. Une augmentation de la valeur admise comme densité permettrait d'obtenir un bilan de masse plus élevé mais paraîtrait peu vraisemblablement pour un sol agricole. Une autre hypothèse peut être avancée.

Lors de la manipulation des carottes, si elles étaient assez sèches en surface, il est possible que la partie superficielle du sol n'ait pas été correctement et totalement conservée. Or, vu la faible quantité de pluie, les produits étaient probablement présents dans cette partie superficielle ; la perte de cette fraction de sol lors de l'échantillonnage pourrait ainsi contribuer à faire baisser significativement le bilan de masse.

Une différence de proportions relatives des dérivés entre eux pour les 2 années de suivi peut être soulignée. En effet, en 2000 la quantité d'ESA se trouvant dans le profil est toujours supérieure à celle de l'OA alors que pour les dates 2 et 3 de 2001, ce rapport est inversé. Aucune hypothèse n'est avancée pour le moment pour expliquer cette différence.

5.5.3.2. Cas des sols profonds type luvisol

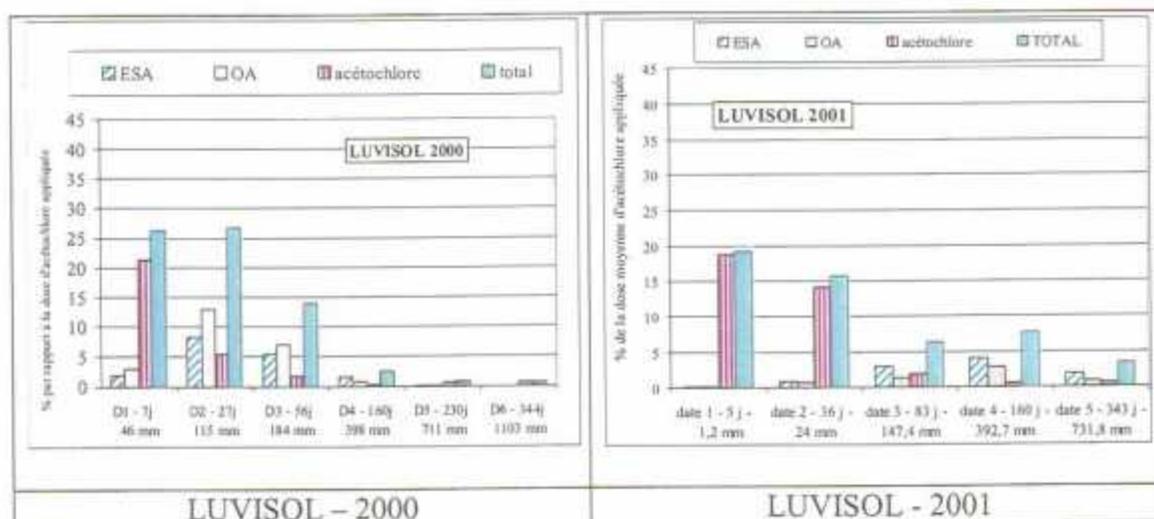


Figure 20 : Pourcentage de dérivés ESA, OA, d'acétochlore et somme de ces produits par rapport à la dose moyenne appliquée en 2000 et 2001 dans des luvisols

Comme dans le cas des sols courts, au bout d'une année, la quantité de produits résiduels (dérivés et produit mère) est plus importante en 2001 qu'en 2000 dans les luvisols. La différence de précipitations qui conduirait à un lessivage moindre en 2001 ne peut suffire à expliquer ce phénomène puisque la date 4 (temps écoulé et pluviométrie équivalents) révèle déjà cette tendance.

En revanche, il est possible que ce soit non pas la quantité totale de pluie mais la répartition au cours du temps de la pluie, qui engendre une telle différence. En effet, suivant la mobilité relative de chaque composé (dérivés-produit mère) et la cinétique de dégradation, il est possible qu'une même quantité de pluie répartie différemment dans le temps conduise à un lessivage plus ou moins important. De la même manière, il est nécessaire de comparer l'évapotranspiration pendant les 2 années pour estimer le risque

de lessivage non pas à partir de la pluie brute mais de la pluie efficace. Les premières informations recueillies semblent indiquer que les pluies efficaces en 2000 ont été beaucoup plus importantes qu'en 2001 et auraient effectivement pu engendrer un lessivage plus important au sein surtout de la microporosité.

Bien que la dégradation soit rapide à se mettre en place puisque des dérivés sont retrouvés dès 5 jours, il semble que le processus soit relativement lent (comparativement à 2000) puisque les proportions varient peu entre 5, 36 et 83 jours après l'application de 2001 : l'acétochlore reste présent à un pourcentage de 15-20 % de la dose initiale et les dérivés représentent quelques pourcents. Il est possible que les conditions de température et d'humidité du sol – 2 paramètres importants dans le processus de dégradation- aient été différentes entre les 2 années, et qu'elles aboutissent à une cinétique de dégradation plus lente en 2001. Une étude plus approfondie des conditions météorologiques doit être menée pour les 2 années.

6. Les travaux prévus pour la campagne culturale 2002

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, déisopropylatrazine, 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 sont effectués pour obtenir des mesures de débit de meilleure qualité.

6.3. Suivi parcellaire

Une seule parcelle, un sol court caillouteux, sera suivie pendant l'année culturale 2002 puisque deux suivis de deux sols contrastés ont été réalisés pendant 2 années climatiquement contrastées. Le suivi envisagé est également beaucoup plus réduit que les années précédentes (nombre de campagnes de prélèvement, nombre de carottes de sol, nombre d'analyse effectuées etc...). L'objectif est de confirmer certaines observations effectuées les années précédentes et non pas d'obtenir un suivi fin.

7. Conclusions

Les investigations initiées fin 1999 sur le site de Montreuil-sur-Epte sont poursuivies tout au long de l'année 2001 et 2002. Les différents travaux de géophysique et de géologie permettent de proposer une limite à la zone d'étude qu'il conviendra de valider par la modélisation envisagée en 2003. Cette modélisation permettra de vérifier que le périmètre proposé est en adéquation avec les variations observées de débit et de niveaux piézométriques.

La qualité de l'eau de la nappe fluctue fortement tant au niveau temporel que spatial comme le montrent les suivis effectués à la source et dans les 7 piézomètres étudiés. L'atrazine et la dééthylatrazine sont détectées dans certains piézomètres et le sont toujours à la source même si la dernière application d'atrazine sur le bassin date d'avril 1999. Les teneurs en atrazine à la source semblent toutefois décroître et les variations entre chaque mesure montrent moins d'amplitude qu'au début du suivi. L'acétochlore utilisée comme molécule de substitution et ses produits de dégradation que sont les dérivés ESA et OA, n'ont pas été détectés de manière formelle. Les urées substituées n'ont pas été détectées à la source au printemps 2002 contrairement au printemps 2001, vraisemblablement parce que les conditions climatiques étaient différentes juste après les applications, le printemps 2002 ayant été moins pluvieux qu'en 2001.

Les variations des niveaux piézométriques, bien qu'ils continuent à augmenter, semblent également refléter ce changement de contexte climatique puisque les niveaux augmentent plus lentement depuis août-septembre 2001.

Pour mieux caractériser le devenir de l'acétochlore et de ses dérivés, deux parcelles pédologiques contrastées ont été instrumentées comme cela avait été fait en 2000. Les sols étudiés, comparables à ceux de 2000, étaient un calcosol et un luvisol. Certains résultats obtenus en 2000 ont été confirmés, d'autres non. La mise en place rapide de la dégradation donnant lieu à la formation de dérivés ESA et OA a été à nouveau observée dans les 2 sols. Le risque de lessivage des 2 dérivés a été confirmé ainsi que leur faible disponibilité dans le temps. Les travaux ont permis de montrer, à nouveau, que l'acétochlore est également sujet au lessivage et toujours détectable dans les horizons superficiels un an après l'application. En revanche, un effet « sol » qui aurait pu expliquer les différences de proportions entre les dérivés ESA et OA en 2000 semble moins évident en 2001. Une étude plus précise des conditions climatiques pendant les 2 années va être réalisée ; elle pourrait permettre de mieux comprendre les différences de cinétique de dégradation observées ou vérifier que les pluies efficaces sont moindres en 2002 et auraient pu induire un lessivage moins important de l'acétochlore et de ses dérivés. Ce lessivage moindre expliquerait en partie les bilans de masse légèrement supérieurs en 2002 par rapport à 2001 pour un nombre équivalent de jours écoulés depuis l'application.

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.

Baran N., 1999. Transit de l'isoproturon et de l'atrazine dans un système hydrologique karstique de la craie (Gâtinais-France) : de la station pédologique expérimentale à l'échelle du système. *Documents BRGM 284*, Editions BRGM, 329p.

Baran N., Mouvet C., 2002. Source des Brévilles – Montreuil-sur-Epte (95). Bilan des activités jusqu'au 21 décembre 2001 et suivis parcellaires pour l'année culturale 2000. Rapport BRGM RP- 51703-FR. 63p.

Gutierrez A., 2002. Réalisation de pompages d'essais dans les sables de Cuise du bassin de la source des Brévilles, Montreuil-sur-Epte (Val d'Oise). Rapport de fin de travaux. Rapport BRGM RP-51534-FR. 37p.

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 très vivement.

BRGM
Service Reprographie
Impression et façonnage