



Source des Brévilles Montreuil-sur-Epte (95) Bilan des activités pour l'année 2003

Rapport final

BRGM/RP-52889-FR
janvier 2004



CHAMBRE
INTERDEPARTEMENTALE
D'AGRICULTURE
ILE-DE-FRANCE



Région Ile de France



val
d'oise
le département



AGENCE DE L'EAU
SEINE-NORMANDIE



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document public

Source des Brévilles Montreuil-sur-Epte (95) Bilan des activités pour l'année 2003

Rapport final

BRGM/RP-52889-FR
janvier 2004

Étude réalisée dans le cadre du projet de recherche
BRGM 2002-EAU-03 « Pollutions diffuses »

N. Baran, C. Mouvet, X. Morvan



Mots clés : Produits phytosanitaires, Acétochlore, Bassin hydrogéologique.

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

Baran N., Mouvet C., Morvan X. (2004) - Source des Brévilles – Montreuil-sur-Epte (95). Bilan des activités pour l'année 2003. Rapport BRGM RP-52889-FR, 55 p., 22 ill.

© BRGM, 2004, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

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 arrêté l'usage de l'atrazine avant son interdiction officielle.

L'acétochlore, molécule homologuée en France en 2000, a été retenue comme molécule de substitution en association avec d'autres molécules suite aux propositions faites par l'AGPM et la chambre d'agriculture d'Ile-de-France.

Les travaux du BRGM ont débuté au printemps 2000. 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 deux sols contrastés, représentatifs du bassin. Le transfert des phytosanitaires dans les sols a été étudié de manière intensive en 2000 et 2001.

Le présent rapport fait un bilan des actions menées pendant l'année 2003 et fait suite aux rapports BRGM/RP-51703-FR et BRGM/RP-51974-FR qui portaient sur les suivis culturaux 2000 et 2001 et sur la mise en place et les résultats du suivi à l'échelle du bassin pendant les années 2000 à 2002.

Sommaire

1. Cadre de l'étude	7
2. Contexte	9
2.1. CHOIX DU SITE	9
2.2. LE PROGRAMME DE SUBSTITUTION : CHOIX DES MOLÉCULES ET RÉSULTATS.....	10
2.3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE : ÉTAT DES CONNAISSANCES AVANT LE DÉBUT DE L'ÉTUDE.....	10
3. Objectifs	11
4. Les travaux menés en 2003	13
4.1. SUIVI DE LA NAPPE : ASPECTS HYDRODYNAMIQUES ET QUALITÉ	13
4.1.1. Les variations du niveau piézométrique.....	13
4.1.2. La qualité de la nappe	16
4.2. LE SUIVI DE L'EXUTOIRE DU SYSTÈME.....	22
4.2.1. Les mesures de débit	22
4.2.2. Traçages.....	24
4.2.3. La qualité de l'eau à la source	25
4.2.4. Transfert dans la zone non saturée	28
4.3. MODÉLISATION DES ÉCOULEMENTS D'EAU ET DU TRANSPORT DE PHYTOSANITAIRES	30
4.3.1. Modélisation en 1D	30
4.3.2. Modélisation en 2 et 3D – premières tentatives.....	31
5. Les travaux prévus pour 2004	35
5.1. SUIVI DE LA QUALITÉ DE LA NAPPE	35
5.2. FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE DU BASSIN.....	35
5.3. CONNAISSANCE DU BASSIN.....	35
6. Conclusions	37

Liste des illustrations

Illustration 1 - Carte de localisation des piézomètres dans le bassin.....	13
Illustration 2 - Variations des niveaux piézométriques (février 2001 à décembre 2003) et terme (moyennes mensuelles des précipitations de 1988 à 2003 à Buhy - précipitations mensuelles enregistrées à la station de Buhy).....	15
Illustration 3 - Précipitations annuelles enregistrées à la station de Buhy.	16
Illustration 4 - Teneur en phytosanitaires dans les piézomètres (mars 2001 à décembre 2003) (échelle différente pour Pz5, 7 et 8).	18
Illustration 5 - Teneurs en phytosanitaires dans les piézomètres 5, 8 et 7- transept amont vers aval - de mars 2001 à décembre 2003.	19
Illustration 6 - Teneurs en chlorure et nitrate dans chaque piézomètre (mars 2001 à décembre 2003) - évolution temporelle.	20
Illustration 7 - Teneurs en chlorure et nitrate dans les piézomètres et la source (mars 2001 à décembre 2003).	21
Illustration 8 - Opérations de jaugeages pour améliorer la relation théorique hauteur d'eau - débit.	22
Illustration 9 - Comparaison de la courbe théorique de débit avec les couples hauteur d'eau - débit obtenus au cours de jaugeages.	23
Illustration 10 - Débits mesurés et pluie mensuelle.....	24
Illustration 11 - Restitution du traceur (Rhodamine G) à la source après injection dans le piézomètre 7.	25
Illustration 12 - Suivi des concentrations en atrazine, dééthylatrazine (DEA) et déisopropylatrazine (DIA), isoproturon et chlortoluron à la source des Brévilles d'octobre 1999 à décembre 2003.	26
Illustration 13 - Suivi des concentrations en nitrate et chlorure à la source des Brévilles de mars 2000 à décembre 2003.	28
Illustration 14 - Teneurs en bromure sur des profils réalisés 32 et 20 mois après l'application du traceur.....	29
Illustration 15 - Teneurs en acétochlore observées et simulées dans le calcisol de l'année 2000, 7 et 56 jours après son application.	31
Illustration 16 - Modélisation en régime permanent : niveaux piézométriques simulés comparés aux niveaux observés et zones de perméabilités considérées pour la simulation.....	32
Illustration 17 - Coupe utilisée pour la modélisation 2D.....	33

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, 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 chaque année la substitution de l'atrazine et le conseil régional d'Ile-de-France a cofinancé, 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 notamment parce que les périodes de suivi sont généralement courtes et que le fonctionnement hydrodynamique des bassins étudiés est souvent mal connu. 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 Ile-de-France à retenir le site de Montreuil-sur-Epte comme représentatif d'un cas de 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 six 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. Depuis avril 1999 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 d'acétochlore (molécule homologuée en France en 2000) en association avec d'autres molécules comme par exemple le bromoxynil.

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'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 si nécessaire.

La chambre d'agriculture d'Ile-de-France assure la prise de contact avec les agriculteurs susceptibles d'implanter du maïs et le suivi des parcelles pour connaître le développement des adventices. Des inventaires floristiques sont réalisés sur les parcelles concernées.

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 sus-jacents sont également saturés ou ne le sont pas. 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 m 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 m en amont de la source a montré que, à cet endroit, 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 depuis le début 2000, 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 ;
- étudier 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 2003

4.1. SUIVI DE LA NAPPE : ASPECTS HYDRODYNAMIQUES ET QUALITÉ

4.1.1. Les variations du niveau piézométrique

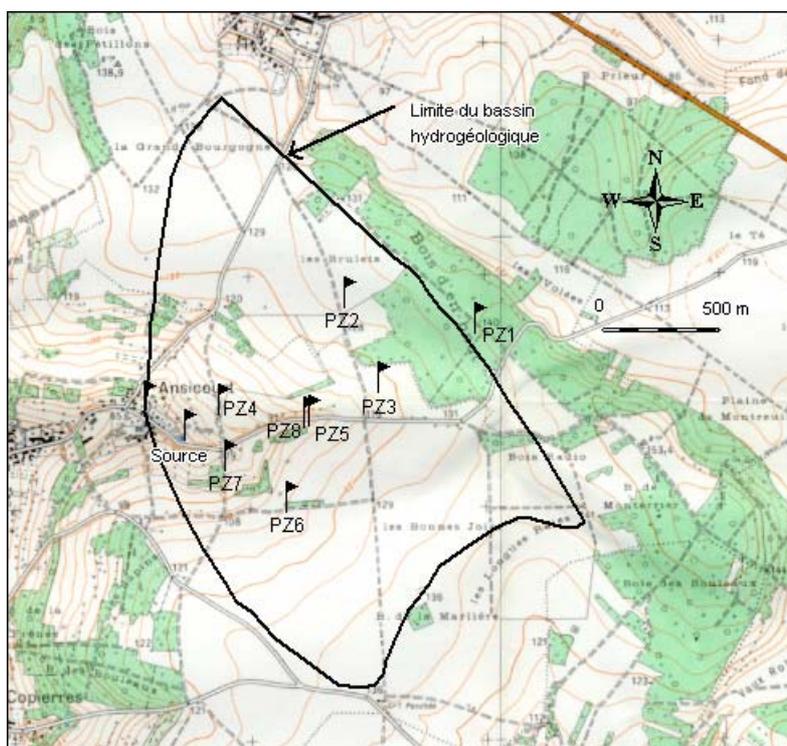


Illustration 1 - Carte de localisation des piézomètres dans le bassin.

Le piézomètre 1 situé dans la partie amont du bassin, dans la forêt, est sec, ce qui a d'ailleurs permis de préciser les limites est du bassin. Il n'est donc pas possible de mesurer un niveau d'eau ni ses variations au cours du temps.

Les niveaux piézométriques sont mesurés avec une sonde manuelle à chaque passage sur le site, soit en moyenne deux fois par mois. Les piézomètres 2, 3, 4, 7 et 8 ont été équipés pendant plusieurs mois au cours de l'année 2003 de sondes avec acquisition automatique dans le but d'estimer les variations journalières du niveau piézométrique et les éventuelles réponses du niveau piézométrique lors de forts épisodes pluvieux succédant à une longue période sèche. Après au moins quatre mois

de suivi, il apparaît qu'aucun des piézomètres ne présente de variations de niveaux piézométriques au pas de temps journalier. Or ces appareils nécessitent un entretien régulier et gênent les opérateurs lors des prélèvements d'eau, les dispositifs ont donc été maintenus seulement dans les piézomètres 4, 7 et 8.

Depuis la réalisation et l'équipement des piézomètres, les niveaux enregistrés indiquent une remontée plus ou moins forte suivant le piézomètre considéré (ill. 2). 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 11 années (1993-2003), 2002 est très proche de la moyenne et 2003 apparaît comme nettement déficitaire (535 mm vs. 787 mm en moyenne, ill. 3). Ces fortes variations pluviométriques semblent se traduire par une atténuation de l'augmentation des niveaux piézométriques voire une stabilisation de ces niveaux ou une très légère décroissance depuis plusieurs mois ou semaines selon les piézomètres. Sur quelques piézomètres (Pz 2, 3, 5, 6 et 8), le niveau semble amorcer une légère décroissance qui pourrait résulter des conditions particulièrement sèches de 2003. La poursuite des mesures permettra de vérifier cette tendance.

Aucun piézomètre ne met en évidence de façon nette des fluctuations saisonnières c'est-à-dire qu'au cours d'une année, il n'est pas possible de distinguer clairement une période de hautes eaux et de basses eaux.

L'allure des courbes piézométriques souligne le fort pouvoir tampon du système hydrogéologique qui est capable d'atténuer fortement les effets des variations climatiques. La zone non saturée, constituée par les calcaires lutétiens, pourrait donc avoir un fort rôle de stockage.

Sur la période allant de février 2001 à décembre 2003, les piézomètres présentant les plus importantes remontées (de l'ordre du mètre cinquante) sont les piézomètres situés dans la partie amont du bassin (Pz2 et 3) alors que les piézomètres les plus à l'aval (Pz4 et Pz7) montrent une augmentation d'environ seulement 20 centimètres.

Bien que les variations pluviométriques ne se répercutent pas rapidement sur le niveau piézométrique, la tendance générale est en accord avec l'évolution pluviométrique. En effet, au début du suivi les précipitations sont fortement excédentaires (le bilan moyennes mensuelles effectué pour les pluies mesurées à Buhy de 1988 à 2003 – précipitations mensuelles est fortement négatif) et le niveau piézométrique croît avec une pente importante. L'année 2002, avec une pluviométrie annuelle proche de la moyenne, présente quelques mois déficitaires et quelques mois excédentaires. Le niveau piézométrique continue à croître mais avec une pente beaucoup plus faible. Enfin alors que les pluies deviennent très inférieures à la moyenne, le niveau piézométrique est stabilisé et commence dans certains cas à baisser légèrement (Pz6 et 8 par exemple).

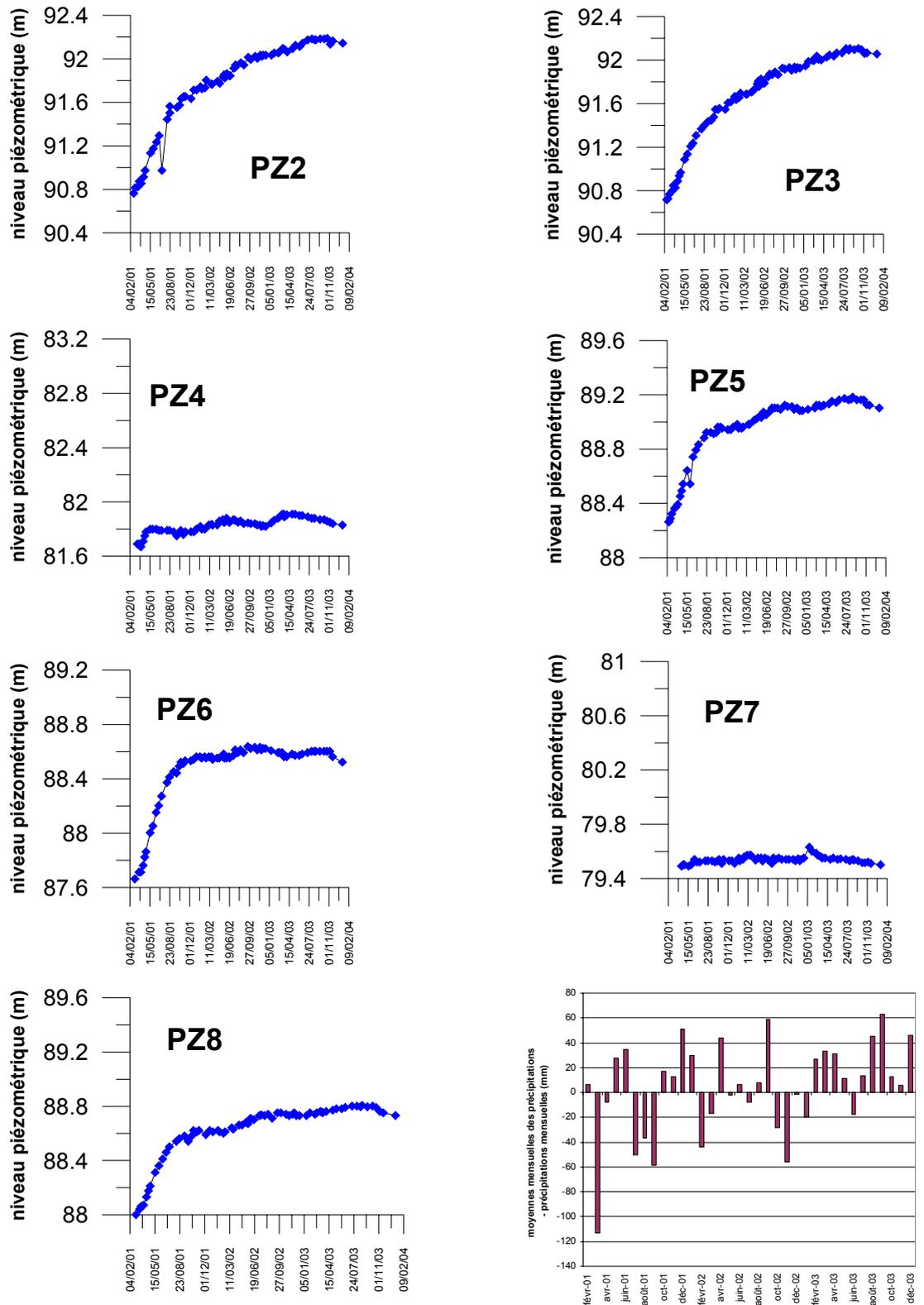


Illustration 2 - Variations des niveaux piézométriques (février 2001 à décembre 2003) et terme (moyennes mensuelles des précipitations de 1988 à 2003 à Buhy - précipitations mensuelles enregistrées à la station de Buhy).

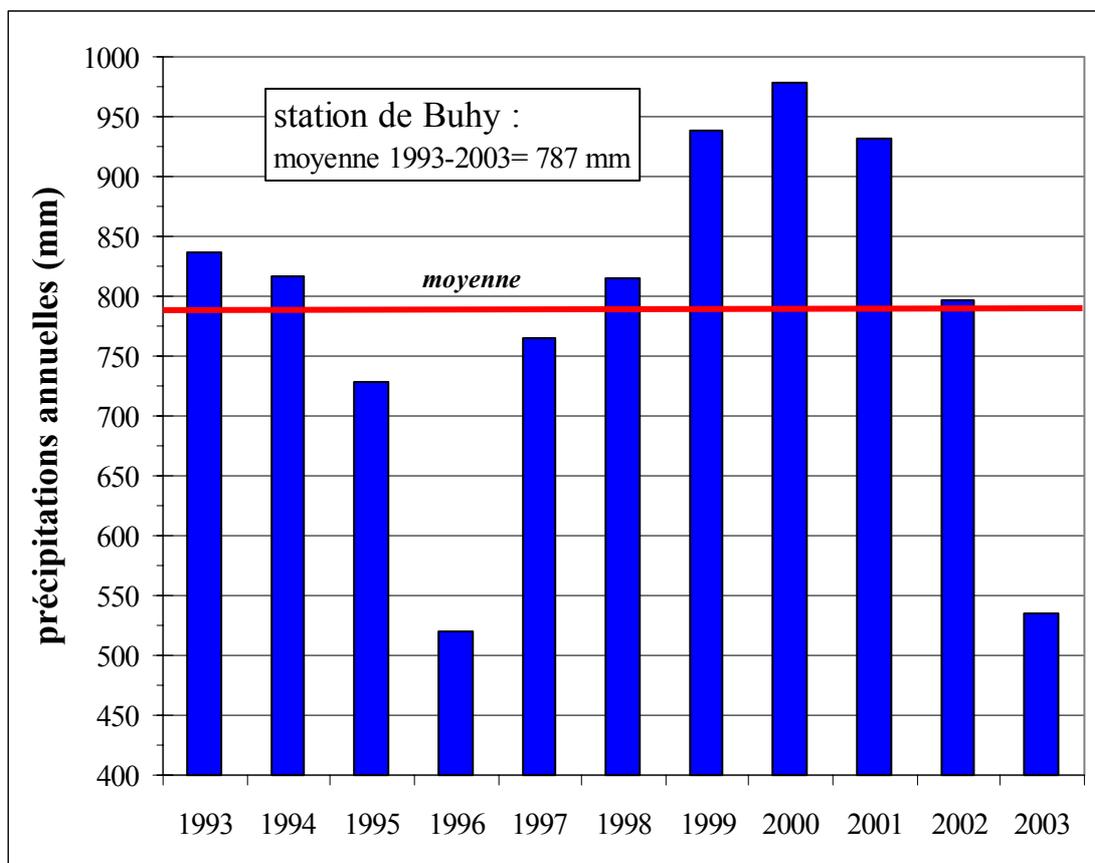


Illustration 3 - Précipitations annuelles enregistrées à la station de Buhy.

4.1.2. La qualité de la nappe

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 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, mesurés en continu lors des pompages.

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), didesméthyl-

isoproturon (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 deux dernières molécules ont été fournis gracieusement par Monsanto.

L'illustration 4 montre les résultats obtenus dans les piézomètres pour les phytosanitaires pendant la période de mars 2001 à décembre 2003. Les piézomètres 4 et 7 ayant fait l'objet d'un traçage destiné à préciser les propriétés de l'aquifère, les prélèvements dans ces forages ont été stoppés à partir d'août 2003 pour plusieurs mois.

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.

Bien que situé dans une parcelle cultivée, 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, certains mois en 2003, des traces de dééthylatrazine en mars 2001 et mai 2002 et de façon systématique en 2003 (janvier à juillet), des traces de chlortoluron en mars 2001, d'isoproturon en mars 2001 et systématiquement depuis décembre 2002 (jusque juillet 2003).

Les piézomètres 2, 3 et 6 présentent des degrés de contamination comparables, quelques dixièmes de microgrammes par litre, avec une détection quasi systématique d'atrazine et de dééthylatrazine à des concentrations égales ou supérieures à celles de la molécule mère. Les teneurs en DEA décroissent régulièrement depuis juin 2002 dans les piézomètres 2 et 3 mais présentent encore de fortes variations dans le Pz6. Aucune tendance nette d'évolution pour l'atrazine n'est mise en évidence.

Les urées ont été détectées ponctuellement dans les piézomètres 2, 3 et 6 (traces d'isoproturon et de chlortoluron en mars et juin 2001, d'isoproturon en décembre 2002 pour Pz2, en mars 2001 pour Pz3 et traces d'isoproturon en février 2003 pour Pz6).

Les piézomètres 5, 7 et 8 révèlent des teneurs en phytosanitaires beaucoup plus élevées que les autres piézomètres (sur l'illustration 4, l'axe des concentrations a une échelle dix fois supérieure à celle des 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 quasi systématique dans le Pz5.

La présence presque 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 réputées n'être mobilisables que pendant une courte période (de quelques semaines à quelques mois) après l'application (Baran, 1999). Cela pourrait être le signe d'une très faible dégradation de cette molécule dans la zone non saturée et la zone saturée conjuguée à un faible renouvellement de l'eau dans ce piézomètre.

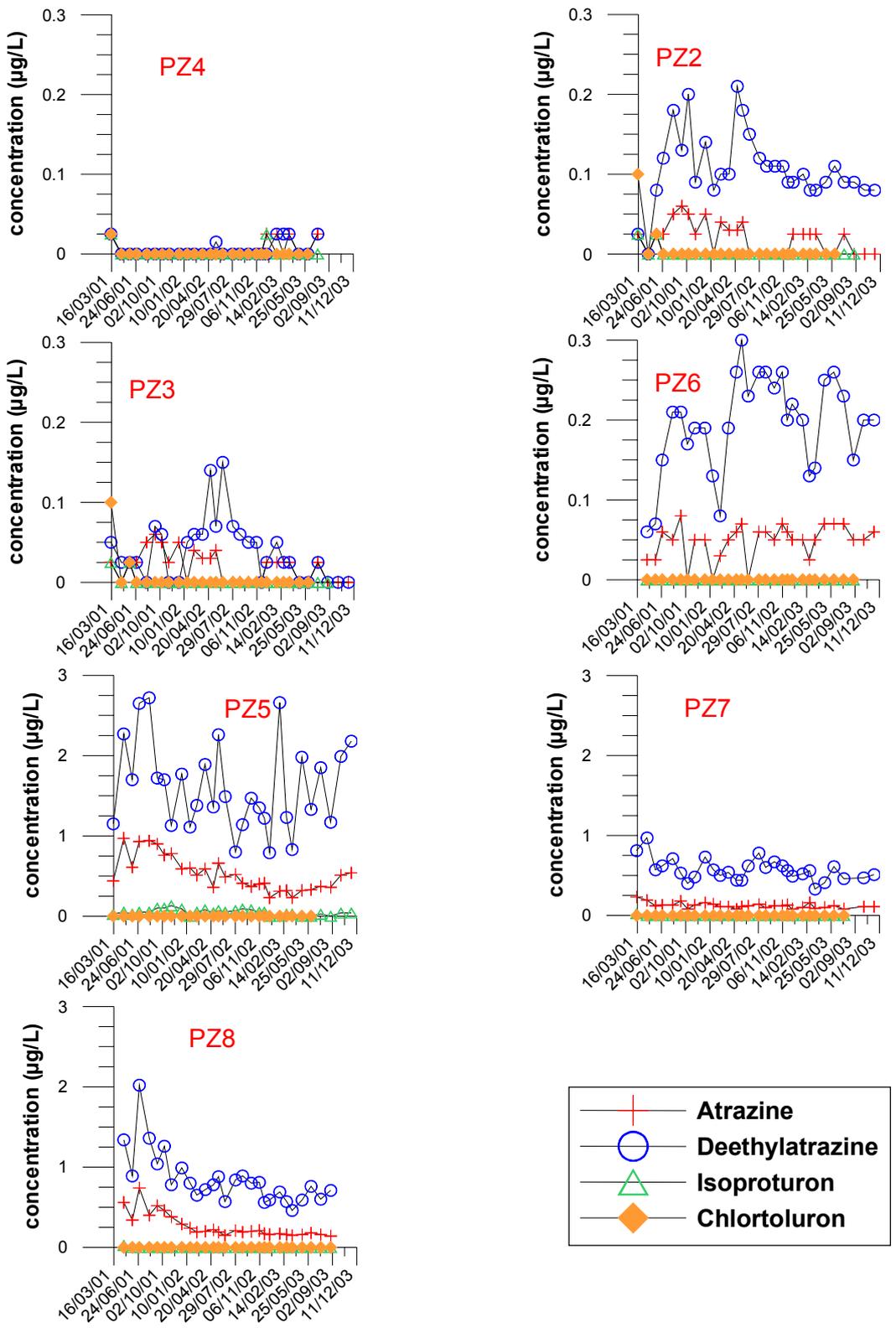


Illustration 4 - Teneur en phytosanitaires dans les piézomètres (mars 2001 à décembre 2003) (échelle différente pour Pz5, 7 et 8).

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 et non 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 (160 vs. 65 mm de pluie enregistrées à Buhy).

Les chroniques phytosanitaires observées pour chacun des piézomètres sont le résultat des pratiques culturales, des propriétés des sols et de la zone non saturée à l'aplomb du piézomètre mais aussi des apports latéraux aussi bien dans la zone non saturée que dans la zone saturée. Ainsi la présence d'atrazine dans le piézomètre 8 situé dans une parcelle qui n'a jamais été traitée en atrazine pourrait résulter des apports effectués sur la parcelle dans laquelle se trouve le Pz5, située à une vingtaine de mètres en amont. À ce jour, il n'est pas possible de dire si ces apports se font essentiellement via la zone saturée par des apports horizontaux ou de pertes au sein de la zone non saturée fracturée avec en plus d'un déplacement vertical une forte composante horizontale. Le signal observé dans le Pz8 présente de fortes similitudes avec celui mesuré dans le Pz5 (20 mètres à l'amont) mais est plus difficilement reconnaissable dans celui du Pz7 situé environ 500 m à l'aval (ill. 5).

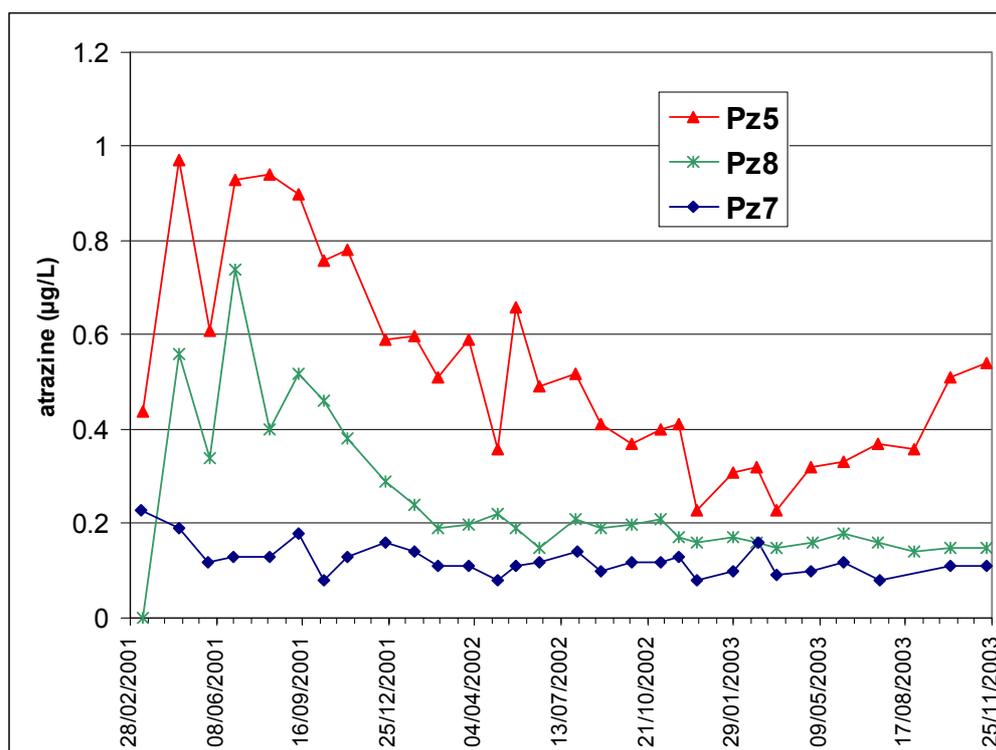


Illustration 5 - Teneurs en phytosanitaires dans les piézomètres 5, 8 et 7- transept amont vers aval - de mars 2001 à décembre 2003.

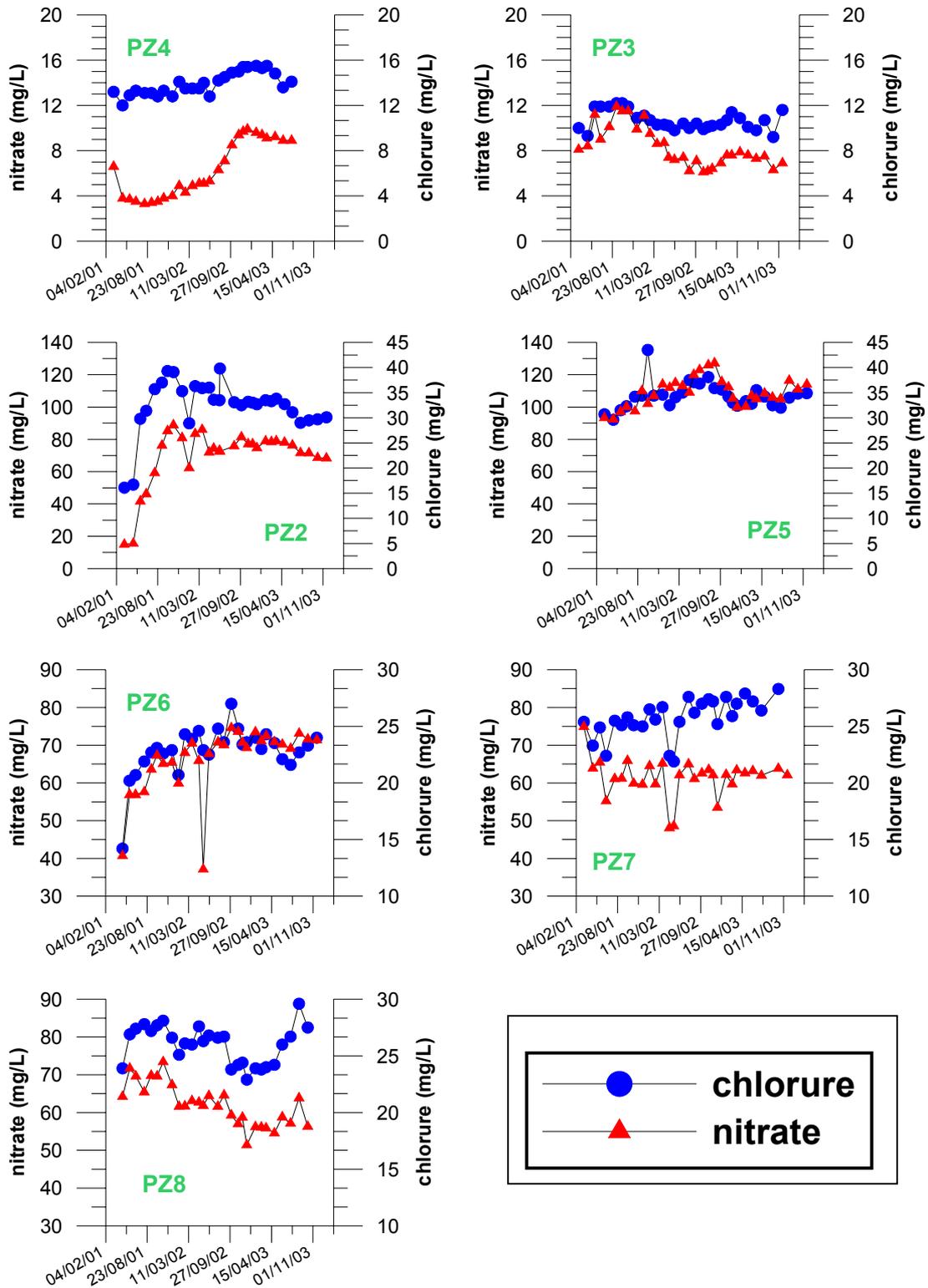


Illustration 6 - Teneurs en chlorure et nitrate dans chaque piézomètre (mars 2001 à décembre 2003) - évolution temporelle.

En terme de chimie minérale (seuls les nitrates et les chlorures sont présentés en ill. 6), les résultats obtenus dans les différents piézomètres sont également très hétérogènes. Les concentrations en nitrate observées vont de moins de 10 à environ 130 mg/L (Pz4 et Pz5 respectivement), les teneurs en chlorure variant de 10 à presque 45 mg/L (Pz4 et Pz5 respectivement).

Comme pour les phytosanitaires, le piézomètre 4 se distingue par une très faible contamination, notamment en nitrate. Bien que les concentrations en nitrate augmentent légèrement au cours du temps, 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). Le piézomètre 3 présente également des teneurs en chlorure faibles.

Pour les autres piézomètres, il est difficile de décrire une tendance ; les teneurs restent du même ordre de grandeur au cours des 34 mois de suivi pour un piézomètre donné même si quelques pics sont plus moins remarquables. Les plus fortes augmentations ont été enregistrées au début du suivi pour les piézomètres 2 et 6. Ces augmentations pourraient être liée à un artéfact résultant de la réalisation des piézomètres. En effet, lors de la foration des piézomètres des boues de polymère ont été utilisées et il est possible que malgré le soufflage effectué à la fin des travaux d'équipement, ce piézomètre ait été mal développé. Il aurait alors fallu quelques mois pour que cette boue se dégrade et pour arriver à effectuer des prélèvements représentatifs de la nappe à cet endroit.

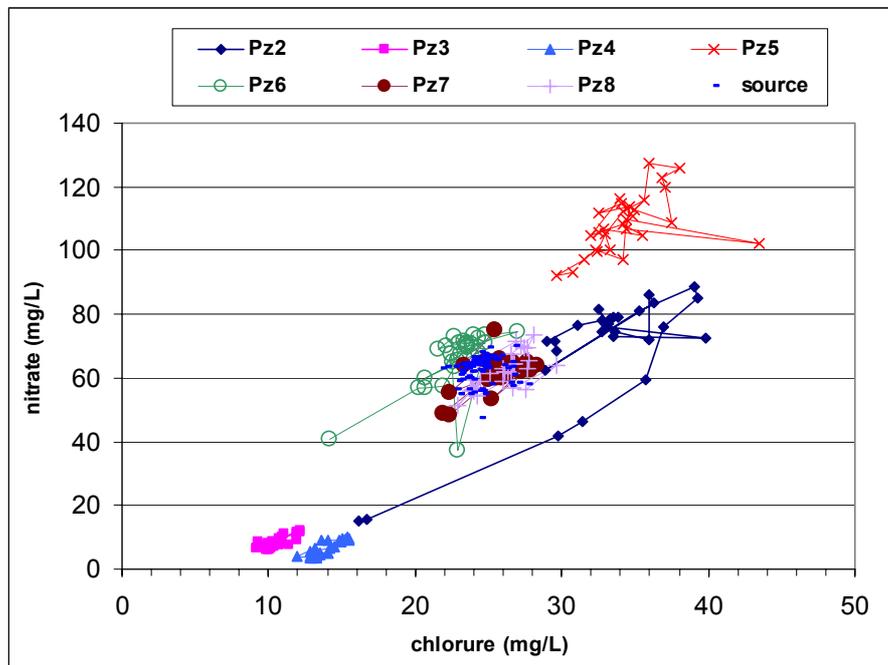


Illustration 7 - Teneurs en chlorure et nitrate dans les piézomètres et la source (mars 2001 à décembre 2003).

La représentation des teneurs en nitrate et chlorure dans chaque piézomètre pour chaque campagne mensuelle de mesure (février 2001 à décembre 2003 - ill. 7) permet de mettre en évidence plusieurs ensembles, résultant probablement de fonctionnements hydrogéologiques différents suivant la localisation dans le bassin. Ainsi, les piézomètres 3 et 4 montrent des faibles teneurs en chlorure et nitrate témoignant vraisemblablement d'une faible contamination liée aux activités humaines. Les niveaux captés dans ces piézomètres pourraient donc être relativement protégés. Les piézomètres 6, 7 et 8 ont une chimie comparable à celle de la source. Le piézomètre 2 se distingue par une forte variation de teneurs enregistrées pendant tout le suivi alors que les autres piézomètres montrent des gammes de variations beaucoup plus restreintes. Le piézomètre 5 semble être le piézomètre le plus sujet aux effets des actions anthropiques puisque les fortes teneurs en chlorure et nitrate sont probablement liés aux apports d'engrais. A noter que ce piézomètre présente également les plus fortes concentrations en phytosanitaires ce qui pourrait signifier qu'il est effectivement le plus sensible aux actions anthropiques.

4.2. LE SUIVI DE L'EXUTOIRE DU SYSTÈME

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



Illustration 8 - Opérations de jaugeages pour améliorer la relation théorique hauteur d'eau - débit.

sonde de pression reliée à une station automatique d'acquisition a été installée. Les fluctuations de débit mesurées 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 ont été réalisées dans la gamme de hauteurs d'eau observées pour permettre une conversion plus fiable des hauteurs en débit. Afin d'effectuer des mesures sur une large gamme de couples (hauteur d'eau – débit), des pompages d'eau ont été fait en amont du seuil de manière à obtenir des faibles débits et à l'inverse des apports d'eau ont été faits afin d'avoir des débits importants (ill. 8).

L'illustration 9 permet de comparer la courbe théorique hauteur-débit estimée à partir de la géométrie du seuil (courbe théorique de Kidvaster-Carter) et la courbe d'étalonnage recalculée en fonction des différents jaugeages effectués. Les différences sont observées essentiellement pour des hauteurs d'eau de 80 mm correspondant à plus de 25 L/s.

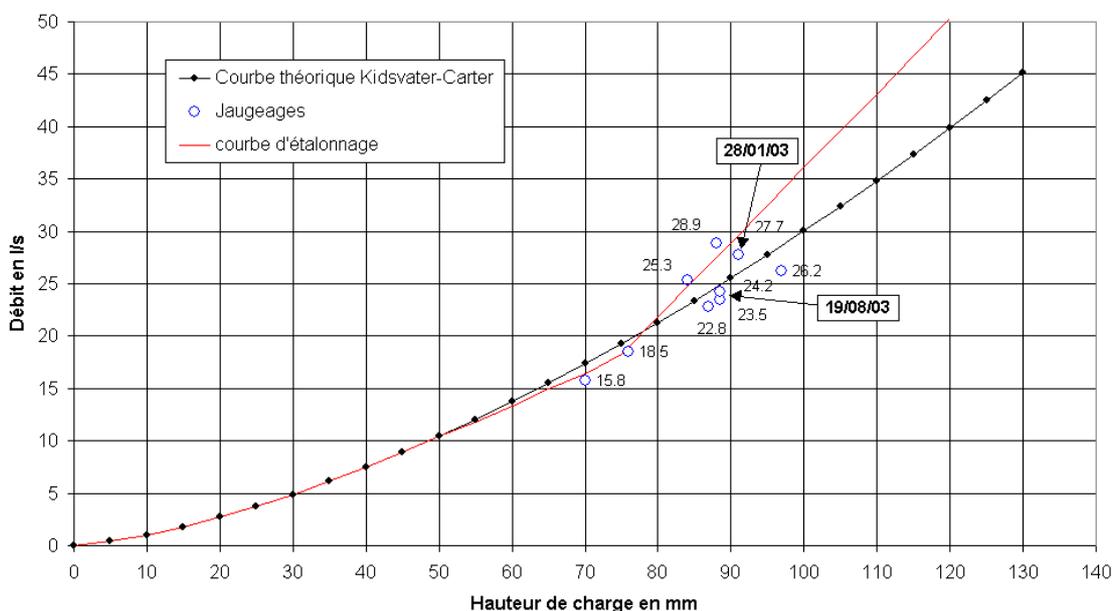


Illustration 9 - Comparaison de la courbe théorique de débit avec les couples hauteur d'eau - débit obtenus au cours de jaugeages.

Jusqu'en août 2001, la source était exploitée pour l'alimentation en eau potable et donc des volumes d'eau plus ou moins importants étaient prélevés.

Un travail important de correction de données (suite au jaugeage, influence des volumes pompés, effet de mise en charge,...) a été réalisé pour obtenir la chronique des débits présentées en illustration 10.

Jusqu'en août 2001, même après les diverses corrections apportées, les débits estimés restent probablement sous-estimés ce qui expliquerait le fort décalage entre la première partie de la courbe (jusqu'à août 2001) et le reste de la chronique. La chronique devient de meilleure qualité ensuite grâce aux jaugeages, aux contrôles

manuels effectués sur le site et au meilleur entretien du capteur. Les débits ont fluctué entre environ 15 et 30 l/s depuis le début du suivi.

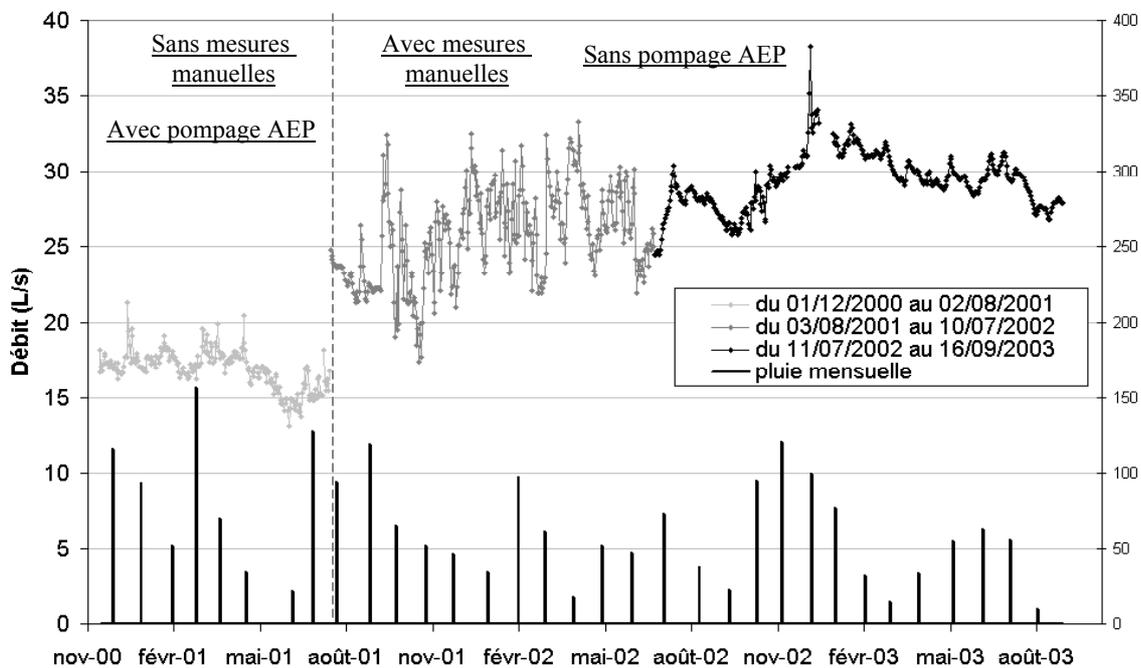


Illustration 10 - Débits mesurés et pluie mensuelle.

4.2.2. Traçages

Afin de mieux apprécier les relations hydrodynamiques entre certains piézomètres et la source, un premier traçage a été effectué entre le Pz7 et la source, et un second entre le Pz4 et la source. Ces traçages doivent permettre d'améliorer la connaissance sur les propriétés hydrauliques des sables de Cuise qui constituent l'aquifère.

Le 8 août 2003, 465 g de fluorescéine ont été injectés dans le Pz4 et 388 g de rhodamine G dans le piézomètre 7. L'injection a été réalisée après dissolution du produit dans un grand volume d'eau et un pompage en circuit fermé dans le piézomètre pendant environ 30 minutes après l'injection a permis de garantir une bonne dissolution du produit et une bonne répartition du traceur sur toute la hauteur de la zone saturée. Un préleveur automatique permettant de prélever un échantillon par jour a été installé à la source. Un spectrofluorimètre permettant une mesure en continu a également été installé à la source de manière à suivre l'éventuelle arrivée des deux traceurs. Le spectrofluorimètre donne des résultats moins précis que le dosage direct mais permet de mettre au point une stratégie d'analyses et constitue une solution de secours si des problèmes techniques apparaissent avec le préleveur. Parallèlement à ce double suivi à la source, des mesures régulières ont été effectuées dans les piézomètres pour apprécier la dispersion des traceurs dans le milieu naturel.

Au niveau du piézomètre 4, le traceur est encore détecté à l'œil six mois après son injection suggérant qu'une très faible quantité s'est dispersée autour du piézomètre. Aucun signal de fluorescéine n'a été enregistré à la source.

Au niveau du piézomètre 7, la dispersion de la rhodamine a été relativement rapide et le traceur n'était plus visible à l'œil après quelques jours. Les analyses effectuées aux laboratoires ont mis en évidence à la source, environ 10 jours après l'injection, un signal relativement faible mais suffisamment fort pour être indiscutable. Après 120 jours, le traceur est toujours détecté à la source.

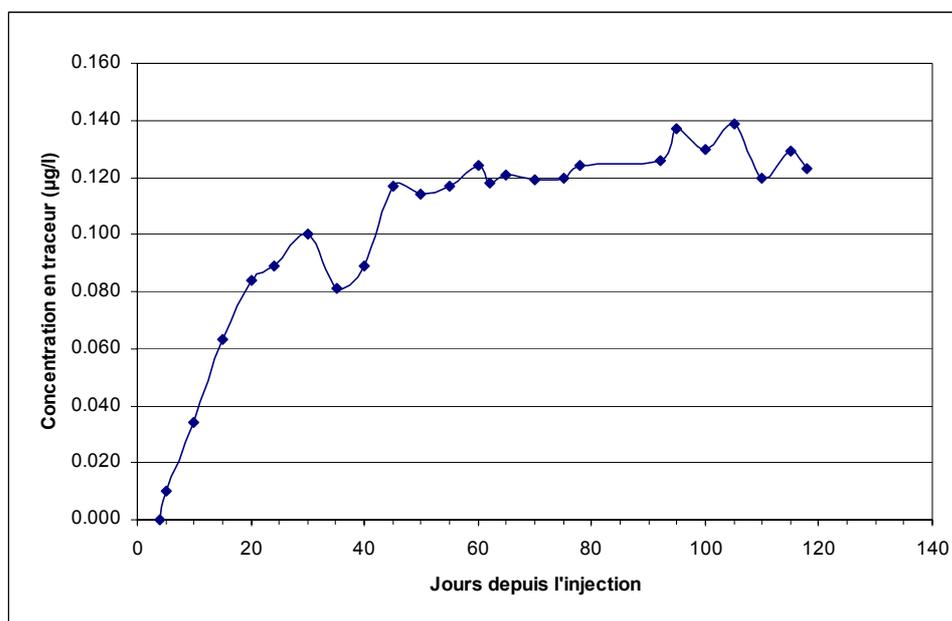


Illustration 11 - Restitution du traceur (Rhodamine G) à la source après injection dans le piézomètre 7.

Ces résultats permettent de confirmer l'existence d'une relation hydrodynamique entre la source et le Pz7. Le suivi se poursuit en 2004 et l'analyse des données déjà acquises et à venir permettra d'estimer, outre la quantité de traceur restituée, des paramètres tels que la porosité cinématique et les coefficients de dispersion longitudinale et transversale. Le traçage a également permis de montrer que les échanges entre le Pz4 et la source sont très faibles laissant suggérer un certain « isolement hydraulique » du Pz4.

4.2.3. La qualité de l'eau à la source

Un suivi bi-mensuel est effectué en terme de chimie minérale et phytosanitaires (ill. 12). La liste des molécules recherchées a été établie par application de la méthode SIRIS (Paranthoen, 1999). L'acétochlore et ses deux principaux produits de

dégradation (acétochlore éthanesulfonique et acétochlore oxanilique) sont ajoutés à cette liste.

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.

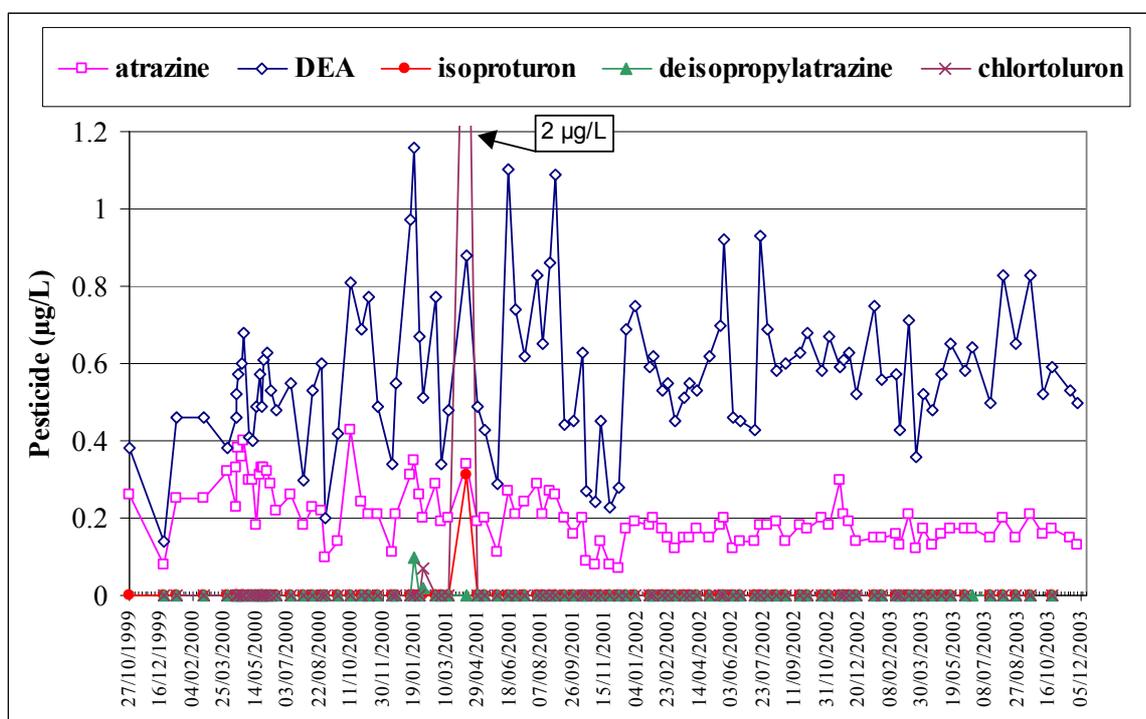


Illustration 12 - Suivi des concentrations en atrazine, dééthylatrazine (DEA) et déisopropylatrazine (DIA), isoproturon et chlortoluron à la source des Brévilles d'octobre 1999 à décembre 2003.

L'acétochlore et ses produits de dégradation n'ont pas été détectés à ce jour (décembre 2003), à l'exception d'une mesure positive à la source le 10 avril 2002 (juste après les applications par les agriculteurs), et dans le piézomètre 6 (se trouvant dans une parcelle traitée par l'acétochlore en avril 2002) le 29 avril 2002. Les valeurs mesurées étant proches des limites de détection, ces deux 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 d'observations faites en mars 2001 sur 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 et à la source.

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

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 (ill. 12) bien que la dernière application en atrazine ait été réalisée en avril 1999. La désisopropylatrazine (DIA) n'a été quantifiée que de manière ponctuelle (janvier 2001) à une concentration maximale de l'ordre de 0,1 µg/L. La DIA est parfois détectée à l'état de traces (mai et juin 2001, décembre 2002, mars et avril 2003, septembre et octobre 2003). Les teneurs en dééthylatrazine (DEA) fluctuent assez fortement et sont généralement supérieures à 0,4 µg/L. Toutefois, ces fluctuations présentent une amplitude moindre depuis janvier 2002. Les teneurs en atrazine restent supérieures à 0,1 µg/L et semblent présenter des variations moins importantes depuis le début 2002, à l'instar de la DEA. La présence dans les eaux de la source de l'atrazine et de son principal produit de dégradation, la dééthylatrazine, 4,5 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. Le changement d'allure de la chronique avec une atténuation des pics à partir de début 2002 pourrait être lié aux changements climatiques et notamment à la baisse des précipitations efficaces qui se traduiraient pas une baisse des apports sous forme d'impulsions d'atrazine et de DEA. Une autre hypothèse pour expliquer la persistance de ces molécules à la source est que le temps de renouvellement de la nappe serait supérieur à 4 ans.

Les urées substituées présentent un comportement très différent de celui des triazines (ill. 12). En effet, elles ne sont quantifiées que de manière ponctuelle (en février et avril 2001). L'isoproturon a été détecté mais non quantifié pendant les deux mois qui ont suivi cette détection (avril-juin 2001) et en avril 2003. La détection de ces molécules semble donc à mettre en relation avec les périodes d'application.

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 (ill. 2). 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. Une autre piste d'explication est la localisation des parcelles traitées sur le bassin : outre leur distance par rapport à la source, leur position même dans le bassin hydrogéologique qui a une structure complexe (fortement influencée par les différentes failles détectées en décembre 2003 sur le site ; résultats non présentés ici) pourrait être un autre facteur déterminant dans l'apparition ou non de ces molécules à la source pendant les semaines qui suivent leur application.

Concernant la chimie minérale, seuls les résultats relatifs aux nitrates et aux chlorures sont présentés en illustration 13. Les teneurs en nitrate étaient de l'ordre de 55 mg/L en mars 2000 au début du suivi et sont voisines de 66 mg/L en décembre 2003. L'augmentation globale des concentrations en nitrate 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 10 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. Ce profil est très similaire à ce qui est observé pour les niveaux piézométriques à savoir une forte augmentation suivie d'une période de stabilité, comme si le bassin avait répondu dans un premier temps à un fort changement qui pourrait être lié à de fortes précipitations suivi d'une période où les différents paramètres fluctuent peu et semblent à l'équilibre.

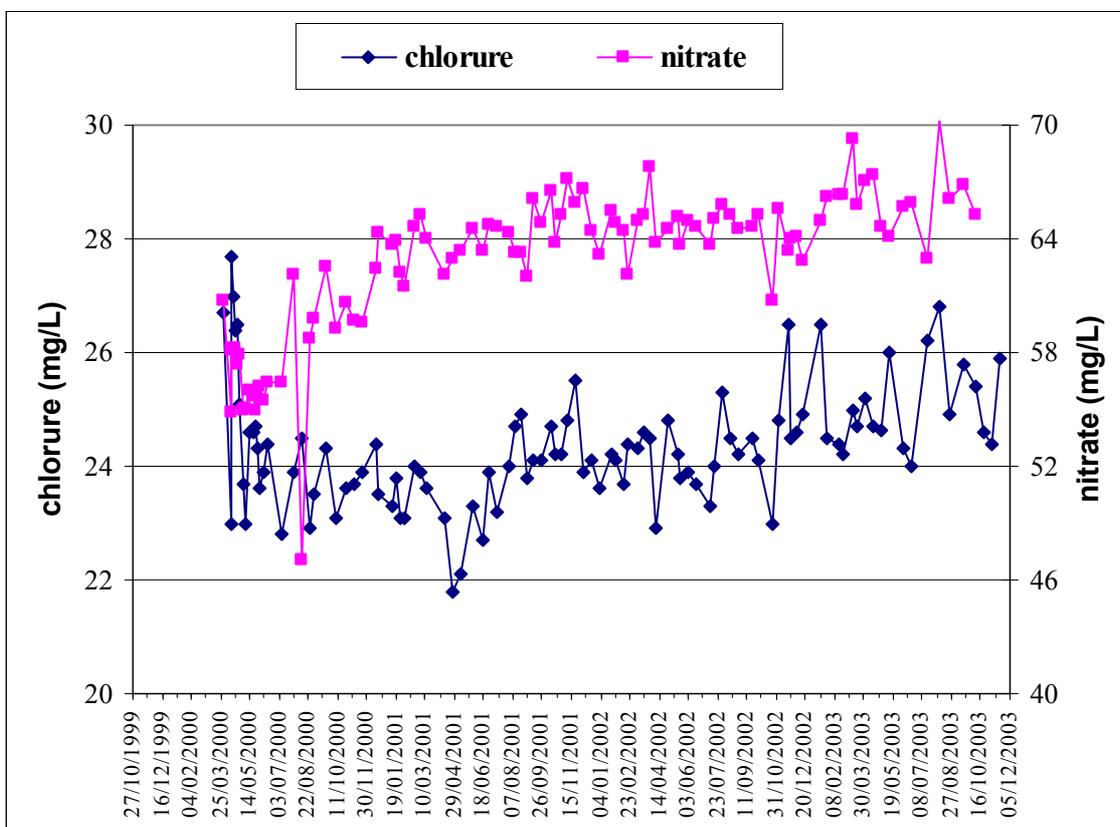


Illustration 13 - Suivi des concentrations en nitrate et chlorure à la source des Brévilles de mars 2000 à décembre 2003.

4.2.4. Transfert dans la zone non saturée

Afin d'étudier le transfert de l'eau et des solutés dans la zone non saturée au-delà du premier mètre de sol, des sondages jusqu'à 15 mètres de profondeur ont été effectués en novembre et décembre 2002. Ces sondages ont permis d'affiner la connaissance géologique mais aussi et surtout de caractériser le transfert des bromures appliqués

sur certaines parcelles 1,5 ou 2,5 années plus tôt. En effet, lors des années culturales 2000 et 2001, certaines parcelles agricoles ont fait l'objet d'un suivi intensif sur le transfert de l'acétochlore et du traceur conservatif (bromure) appliqué simultanément au phytosanitaire (Baran *et al.*, 2001 ; Baran *et al.*, 2002).

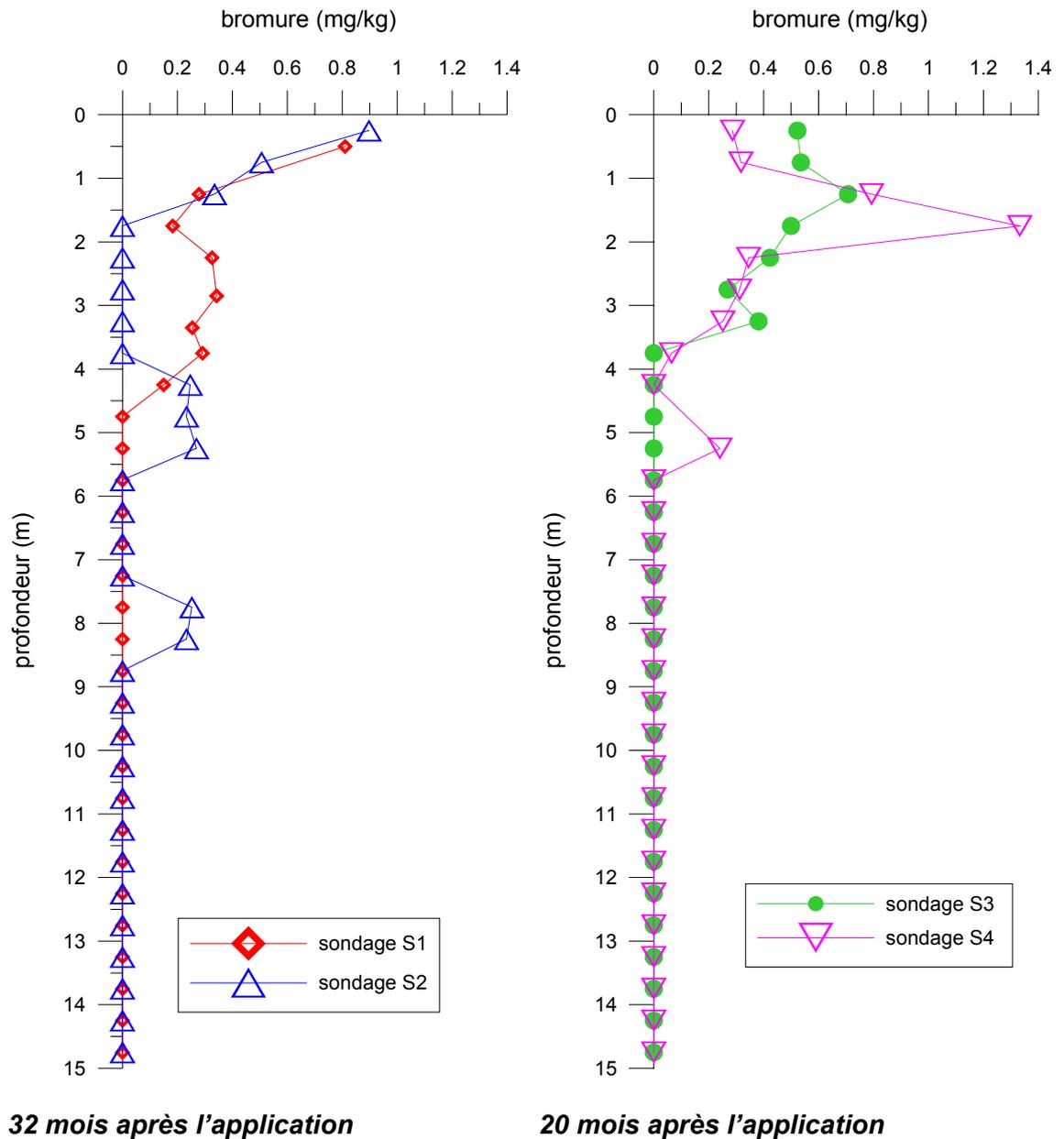


Illustration 14 - Teneurs en bromure sur des profils réalisés 32 et 20 mois après l'application du traceur.

Les teneurs en bromure ont été mesurées sur deux sondages effectués dans deux parcelles, l'une traitée en avril 2000, l'autre en avril 2001, soit 32 et 20 mois avant la réalisation des forages (ill. 14). Pour une parcelle donnée (32 ou 20 mois après l'application), les duplicats montrent une forte variabilité avec un profil montrant un pic principal donc le maximum est encore proche de la surface (S1 de la parcelle 32 mois après l'application et S3 de la parcelle 20 mois après l'application) et un autre profil présentant plusieurs pics (S2 et S4 des parcelles 32 et 20 mois après l'application), signe de l'existence de plusieurs modalités d'infiltration résultant de la fracturation des calcaires. Il existe donc une forte hétérogénéité des écoulements au sein de la zone non saturée à rattacher à la variabilité de la fracturation. Pour les deux parcelles, la détection de bromure à plusieurs mètres de profondeur confirme que, comme cela avait été observé dans les sols, une fraction des solutés est capable de migrer rapidement vers la nappe. Par exemple pour le sondage S2, un pic à 8 mètres de profondeur correspond à une vitesse moyenne d'infiltration de 3 m/an.

4.3. MODÉLISATION DES ÉCOULEMENTS D'EAU ET DU TRANSPORT DE PHYTOSANITAIRES

Au cours de l'année 2003, plusieurs essais de modélisation ont été effectués sur la base des données acquises lors des trois années de suivi. L'objectif final est de modéliser ce qui se passe à l'échelle du bassin (modélisation 3D) afin d'utiliser le modèle à des fins explicatives et prédictives. La première approche est une modélisation en une dimension (1D) permettant d'abord de voir si il est possible de simuler ce qui a été observé dans le sol. En 1D, un maillage très fin est généralement utilisé de manière à décrire au mieux ce qui a été observé. Cette finesse est toutefois peu compatible avec une approche 3D sous peine de construire un modèle extrêmement lourd et qui nécessiterait que la totalité du bassin soit parfaitement décrite. Dans un premier temps, les données observées dans le sol sont donc simulées avec une approche fine ; des simplifications sont ensuite effectuées et testées pour apprécier la dégradation de la qualité des simulations avant le passage en 3D.

4.3.1. Modélisation en 1D

Le travail a été effectué sur le calcisol étudié en 2000. Le sol a une profondeur moyenne de 40 cm et deux horizons pédologiques ont été distingués sur le terrain. Dans un premier temps, les données bromure sont utilisées pour juger du calage hydrodynamique du modèle puis le transfert de l'acétochlore est testé de manière plus spécifique.

Une analyse de sensibilité a été effectuée pour tester différents paramètres tels que l'épaisseur des mailles du modèle, l'épaisseur total du profil (influence du niveau calcaire sous-jacent) ou encore la façon dont les plantes sont prises en compte par le modèle. Un rapport détaillé sur ces résultats est disponible (Darsy et Gutierrez, 2004).

Les paramètres spécifiques aux phytosanitaires comme le temps de demi-vie ou le coefficient de sorption ont également été testés.

À titre d'exemple, l'illustration 15 présente les résultats de simulation, comparés aux données observées, dans le calcisol étudié plus spécifiquement pendant l'année culturale 2000.

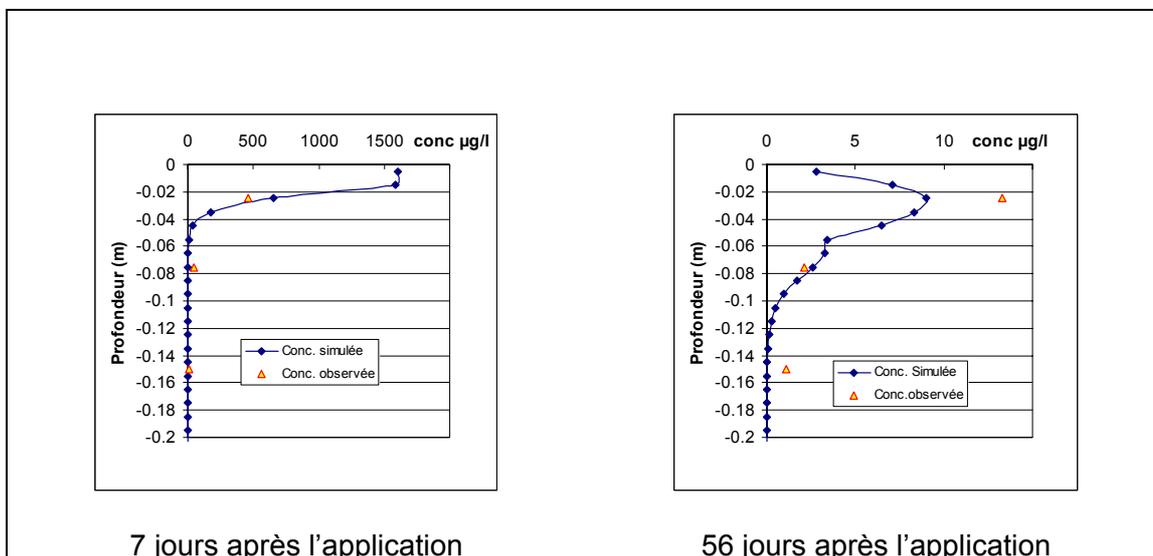


Illustration 15 - Teneurs en acétochlore observées et simulées dans le calcisol de l'année 2000, 7 et 56 jours après son application.

A l'issue de cette première approche, il est apparu que la modélisation du transfert de l'acétochlore dans une colonne de sol était tout à fait envisageable et donnait des résultats satisfaisants (ordre de grandeur des concentrations simulées et allure générale des profils) comparables aux données observées. En revanche, il apparaît que la simplification du modèle, nécessaire pour le passage aux simulations en 3D, détériore fortement la qualité des simulations par rapport aux données observées. Il faudra donc trouver un compromis entre la simplification nécessaire pour alléger le modèle et la qualité du rendu.

4.3.2. Modélisation en 2 et 3D – premières tentatives

Le maillage 3D a été construit en prenant en compte l'ensemble des observations réalisées sur le bassin (descriptif géologique effectué lors de la foration des piézomètres, données de RMP, carte des sols, modèle numérique de terrain calculé après levés *in situ*, transmissivités estimées lors des pompages d'essais ...). Sur la base de ces observations plusieurs essais ont été réalisés pour obtenir les résultats les plus probants. Ainsi, des zones de perméabilités différentes ont, par exemple, été distinguées (ill. 16).

Des premiers essais ont été réalisés en conditions de régime permanent (recharge constante au cours du temps). Une bonne concordance a été obtenue entre la recharge estimée, le niveau piézométrique observé dans les piézomètres (à l'exception du Pz7) et le débit enregistré à la station hydrométrique (ill. 16).

Les premières simulations réalisées en régime transitoire (recharge variable au cours du temps) conduisent, pour chaque piézomètre, à des variations importantes de niveaux piézométriques simulés qui ne correspondent absolument pas aux observations. Le modèle construit initialement n'est donc pas capable d'atténuer les variations liées aux conditions climatiques alors que *in situ*, la zone non saturée semble avoir un très fort pouvoir tampon.

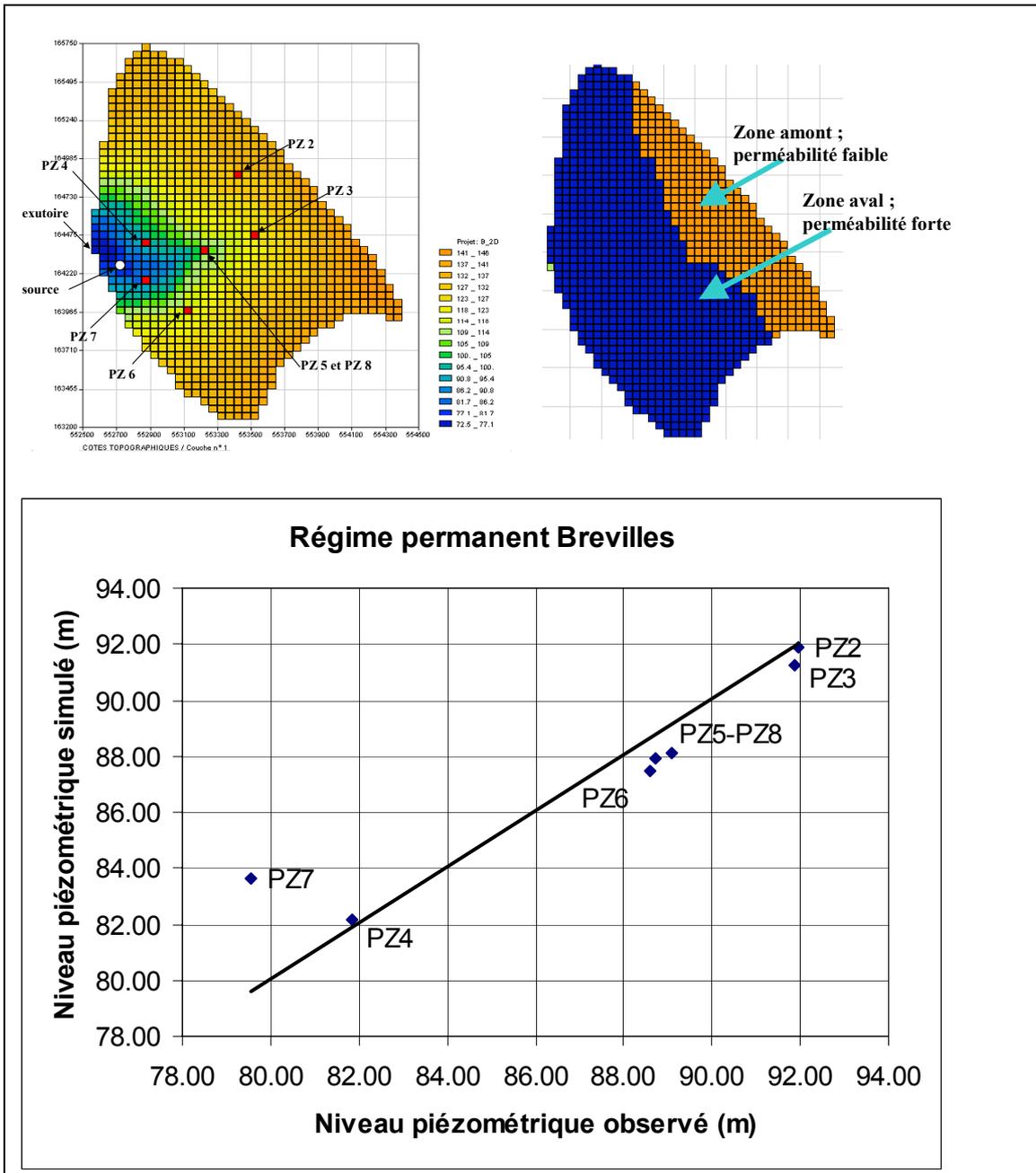


Illustration 16 - Modélisation en régime permanent : niveaux piézométriques simulés comparés aux niveaux observés et zones de perméabilités considérées pour la simulation.

Une phase intermédiaire entre la modélisation 1D (colonne de sol) et la modélisation 3D (bassin dans son ensemble) est la modélisation 2D qui permet de faire des simulations sur une coupe à travers le bassin, par exemple d'amont vers l'aval. Cette approche permet des simulations plus rapides qu'en 3D. Ainsi, il est possible d'essayer d'améliorer le modèle en ajustant les paramètres spécifiques à la zone non saturée de manière plus aisée qu'en travaillant en 3D. Bien évidemment, cela ne constitue qu'une étape intermédiaire qui permettra d'ajuster localement l'ensemble des paramètres mais pas à l'échelle du bassin.

La coupe considérée actuellement part du nord-est du Pz3 jusqu'à la source en passant par Pz5 et Pz8 (ill. 17).

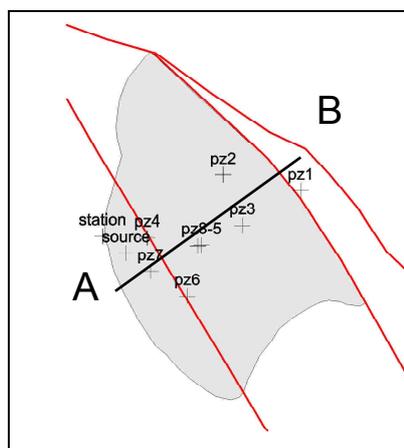


Illustration 17 - Coupe utilisée pour la modélisation 2D.

Avant de s'intéresser aux solutés, les aspects hydrodynamiques sont considérés. Il s'agit donc dans un premier temps de vérifier que les niveaux piézométriques simulés correspondent aux niveaux piézométriques observés. Une analyse de sensibilité a été menée sur tous les paramètres spécifiques à la zone non saturée pour essayer de définir le paramètre le plus sensible, c'est-à-dire celui qui influe le plus sur les résultats. Une approche Monte-Carlo a permis de tester plus d'une centaine de jeux de paramètres en combinant, pour chaque paramètre, des valeurs tirées au sort dans une fourchette de valeurs réalistes.

Aucune des simulations n'a permis d'atténuer les variations de niveaux piézométriques simulées tout en conservant sur la coupe un gradient hydraulique cohérent avec les observations de terrain.

La modélisation se poursuit afin d'améliorer les calages hydrodynamiques et le transfert des solutés sera ensuite plus spécifiquement étudié. Des mesures complémentaires de terrain seront vraisemblablement réalisées pour encore mieux affiner la connaissance de la géométrie du bassin et mieux préciser le rôle des failles identifiées lors de la prospection géophysique de décembre 2003 qui pourrait être nettement supérieur à ce que l'on imaginait jusqu'à présent.

5. Les travaux prévus pour 2004

5.1. SUIVI DE LA QUALITÉ DE LA NAPPE

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

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

5.2. FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE DU BASSIN

La pluviométrie sera suivie à l'aide de stations automatiques sur les deux versants du bassin hydrogéologique. Le débit sera mesuré en continu. Des jaugeages seront effectués pour obtenir des mesures de débit de meilleure qualité. Il est possible que de nouveaux aménagements soient réalisés pour améliorer ou compléter ces mesures.

5.3. CONNAISSANCE DU BASSIN

La modélisation pose différents problèmes de calage qui pourraient résulter d'une connaissance encore insuffisante du bassin (géométrie et fonctionnement). Une première hypothèse émise à l'issue des prospections géophysiques réalisées en fin d'année suggère que le rôle des différentes failles présentes sur le bassin n'est pas suffisamment pris en compte. Des opérations de terrain (prospection géologique, mesures géophysiques) seraient probablement très utiles pour essayer de mieux comprendre l'importance de ces failles.

De la même façon, des traçages complémentaires seraient sûrement utiles pour affiner la connaissance des relations hydrodynamiques entre différents points et donc mieux comprendre le fonctionnement de la zone saturée (sables de Cuise).

Il s'agit de pistes de travail. Ces opérations, même si elles sont tout à fait opportunes, sont toutefois conditionnées à l'obtention de financements permettant leur réalisation.

6. Conclusions

Les investigations initiées entre fin 1999 et décembre 2003 sur le site de Montreuil-sur-Epte mettent en évidence un certain nombre de faits principaux. Les suivis effectués à la source et dans les 7 piézomètres étudiés depuis février 2001 montrent que la qualité de l'eau de la nappe évolue fortement tant au niveau temporel que spatial. 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. Cette atténuation des variations pourrait résulter d'un changement des conditions climatiques, allant d'années fortement excédentaires (1999-2000) à une année fortement déficitaire (2003) en passant par des années proches de la moyenne.

L'acétochlore utilisée comme molécule de substitution et ses produits de dégradation ESA et OA, n'ont pas été détectés à ce jour, ni à la source, ni dans les piézomètres.

Les urées substituées analysées sont détectées de manière ponctuelle, généralement quelques semaines après des périodes d'application. Toutefois les signaux diffèrent d'une année à l'autre, la détection la plus forte ayant eu lieu en 2001. L'importance du signal peut être liée à différents facteurs comme les conditions climatiques régnant après l'application (quantité de pluie, délai entre l'application et la première pluie significative) et /ou la position dans le bassin des parcelles traitées.

Le fonctionnement hydrodynamique du bassin se précise même si certaines questions restent sans réponse actuellement.

Les variations des niveaux piézométriques semblent refléter l'évolution générale de la pluviométrie avec une augmentation forte au début du suivi, plus lente après août-septembre 2001. Une légère décroissance semble s'amorcer sur certains piézomètres, conséquence probable du fort déficit pluviométrique de l'année 2003. Le débit de la source fluctue peu depuis le début du suivi. Ces observations pourraient indiquer que la zone non saturée a un rôle tampon, particulièrement fort dans ce système, atténuant ainsi sa réponse au cours du temps.

Les résultats préliminaires des traçages effectués entre le Pz7 et la source, entre le Pz4 et la source, montrent des liens hydrauliques entre le Pz7 et la source ; la dispersion autour du Pz4 extrêmement faible souligne l'hétérogénéité du fonctionnement de la zone saturée à l'échelle du bassin.

La modélisation vise dans un premier temps à simuler les données observées avant de passer à une utilisation prédictive dans un deuxième temps. Des essais de modélisation 1D ont montré que la simulation du transfert de l'acétochlore dans les sols est possible à condition d'utiliser une discrétisation spatiale très fine. Les tests réalisés pour voir s'il est possible de simplifier ce modèle, étape indispensable pour passer à une modélisation 3D à l'échelle du bassin ont montré que la simplification du

modèle conduit à une forte dégradation de la qualité des données simulées comparées aux données observées. Il faudra donc trouver un compromis entre la simplification du modèle, nécessaire pour la construction du maillage 3D et l'optimisation des temps de calcul, et d'autre part des simulations donnant des résultats proches des observations.

Un premier modèle 3D a été construit et testé du point de vue hydrodynamique. La modélisation en régime permanent (recharge constante au cours du temps) montre que les données sont cohérentes entre elles (recharge, débit simulé, niveaux piézométriques). Toutefois, la modélisation en régime transitoire (recharge variable au cours du temps) ne s'avère pas satisfaisante. En effet, quelque soit le piézomètre considéré, le modèle simule des variations piézométriques importantes inter et intra-annuelles qui sont en total désaccord avec les observations de terrain. Des ajustements des paramètres de la zone non saturée (calcaires lutétiens) sont en cours ; ils visent à mieux restituer l'effet tampon de la zone non saturée, effet qui semble très important au vu des données de terrain.

Bibliographie

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

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, 329 p.

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. 63 p.

Baran N., Mouvet C., Morvan X. (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.

Darsy C., Gutierrez A. (2004) - Projet PEGASE. Modélisations sur le site de la source des Brévilles. Montreuil-sur-Epte (95). Rapport BRGM RP-52596-FR.

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. 37 p.

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. Nous les en remercions très vivement.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

**Centre scientifique et technique
Service eau**

3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34