MINISTÈRE DE L'EMPLOI
ET DE LA SOLIDARITÉ

PRÉFECTURE DE LA RÉGION PICARDIE
DIRECTION RÉGIONALE
DES AFFAIRES SANITAIRES ET SOCIALES

DOCUMENT PUBLIC

Pollution des eaux souterraines et superficielles par des produits phytosanitaires dans un même bassin hydrogéologique

Application dans le bassin de la Serre
Département de l'Aisne

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 98-J-228

mai 1999
R 40615

BRGM
L'ENTREPRISE AU SERVICE DE LA TERRE

MINISTÈRE DE L'EMPLOI
ET DE LA SOLIDARITÉ

PRÉFECTURE DE LA RÉGION PICARDIE
DIRECTION RÉGIONALE
DES AFFAIRES SANITAIRES ET SOCIALES

DOCUMENT PUBLIC

Pollution des eaux souterraines et superficielles par des produits phytosanitaires dans un même bassin hydrogéologique

Application dans le bassin de la Serre
Département de l'Aisne

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 98-J-228

Rédigé sous la responsabilité de
I. Czernichowski-Lauriol, M. Caudron

mai 1999
R 40615

BRGM
L'ENTREPRISE AU SERVICE DE LA TERRE

Mots clés : Pesticides, Phytosanitaires, Rivière, Nappe, Eau souterraine, Eau superficielle, Mécanismes de transfert, Analyses chimiques, Pollution, Bassin de la Serre, Aisne.

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

Czernichowski-Lauriol I., Caudron M. (1999) - Pollution des eaux souterraines et superficielles par des produits phytosanitaires dans un même bassin hydrogéologique - Application dans le bassin de la Serre, département de l'Aisne. Rap. BRGM R 40615, 71 p., 15 fig, 1 tabl., 3 ann.

© BRGM, 1999, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Confrontée à des signes inquiétants de contamination des eaux par les produits phytosanitaires, aussi bien au niveau de certains captages d'alimentation en eau potable exploitant le réservoir aquifère de la craie, qu'au niveau de certains cours d'eau qui naturellement drainent cette nappe, la Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales de Picardie a souhaité initier une réflexion sur les relations hydrochimiques entre eaux souterraines et superficielles à l'échelle d'un même bassin hydrogéologique.

Dans ce but, elle a confié au BRGM, Service géologique régional de Picardie, la réalisation d'une synthèse bibliographique sur les processus de migration des pesticides vers les eaux souterraines et superficielles, ainsi que l'examen de la situation dans un bassin pilote : le bassin de la Serre, au Nord de Laon dans l'Aisne, secteur réputé sensible vis-à-vis de la pollution des eaux par les produits phytosanitaires.

L'examen des données disponibles sur les teneurs en pesticides des eaux de nappe et de rivière, recueillies auprès de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales et de la Direction Régionale de l'Environnement, montre que la situation dans le bassin de la Serre est préoccupante. En effet, 21 captages d'alimentation en eau potable sur les 34 considérés ont présenté au moins une fois depuis 1990 une contamination, fréquemment située au-dessus de la concentration maximale admissible de 0,1 µg/l. Les molécules incriminées sont essentiellement l'atrazine et ses produits de dégradation ainsi que la simazine, molécules qui ont d'ailleurs été presque systématiquement retrouvées dans les eaux de rivière, avec des concentrations globalement du même ordre de grandeur. L'examen plus approfondi des secteurs de Marle et de Tavaux et Ponséricourt laisse penser qu'il est plausible que le bruit de fond de la pollution enregistrée dans les eaux de rivière provienne de la nappe, alors que les pics épisodiques élevés enregistrés dans les eaux de rivière seraient la conséquence du ruissellement de surface lors des fortes pluies. Toutefois dans le cas de Marle, il semble qu'une partie de la contamination des eaux pompées au captage provienne indirectement de la rivière via l'aquifère alluvial.

Malgré le caractère fragmentaire des données disponibles, tant dans le temps que dans l'espace, il existe donc un faisceau de présomptions laissant craindre une contamination diffuse et généralisée des eaux souterraines et superficielles du bassin de la Serre par les produits phytosanitaires, et des transferts entre ces deux milieux.

Un programme d'investigations complémentaires s'avère indispensable pour établir un diagnostic approfondi de la situation dans ce bassin et confirmer ces premières présomptions. Ce programme devra inclure d'une part un suivi régulier des teneurs en pesticides dans les eaux souterraines et superficielles, mais aussi dans les eaux de pluie, et, d'autre part, une enquête sur les utilisations et usages agricoles et non agricoles des molécules détectées. C'est alors qu'un programme d'action pertinent pour la protection des captages d'alimentation en eau potable pourra être mis en place.

Sommaire

Introduction 9

1. Synthèse bibliographique sur les processus de migration des produits phytosanitaires vers les ressources en eaux souterraines et superficielles 11

1.1. Les apports de produits phytosanitaires 11

1.2. Les processus de migration vers les eaux souterraines et superficielles 12

1.2.1. Volatilisation dans l'atmosphère et retombées sur les sols par les pluies 13
1.2.2. Adsorption/désorption sur les composés organiques et minéraux du sol 14
1.2.3. Dégradation 16
1.2.4. Transport par l'eau, par ruissellement et infiltration 16

1.3. Le potentiel de transfert des molécules phytosanitaires en fonction de leurs propriétés physico-chimiques 19

1.4. La problématique des échanges nappe/rivière 20

2. Données disponibles sur le bassin de la Serre 21

2.1. Caractéristiques générales 21

2.1.1. Situation géographique et hydrographie 21
2.1.2. Géologie et hydrogéologie 21
2.1.3. Végétation 23
2.1.4. Habitat 25

2.2. Teneurs en pesticides des eaux de nappe 25

2.3. Teneurs en pesticides des eaux de rivière 27

2.4. Débits des eaux de rivière 31

2.5. Piézométrie 33

3. Étude des relations nappe-rivière dans le bassin de la Serre 35

3.1. Secteur de Tavaux et Ponséricourt 35

3.2. Secteur de Marle 40

4. Programme d'investigations complémentaires 49

4.1. Compléments de mesures et d'analyses 49

4.2. Enquêtes sur les utilisations des produits phytosanitaires 53

4.3. Mise en œuvre de la méthode nationale SIRIS à l'échelle du bassin 53

Conclusion 55

Bibliographie 57

Liste des figures

Fig. 1 - Les apports des produits phytosanitaires à l'environnement (Creusot, 1998) 12

Fig. 2 - Représentation schématique du concept de pluie efficace (Daum et *al.*, 1996) 18

Fig. 3 - Plan de situation du bassin de la Serre (extrait de carte Michelin à 1/200 000) 22

Fig. 4 - Teneurs en pesticides des eaux de nappe dans le bassin de la Serre (source : captages AEP - DDASS 02) 24

Fig. 5a - Teneurs en pesticides des eaux de rivière dans le bassin de la Serre : molécules retrouvées dans la nappe 26

Fig. 5b - Teneurs en pesticides des eaux de rivière dans le bassin de la Serre : autres molécules, dépassant parfois les 0,3 µg/l 28

Fig. 5 c - Teneurs en pesticides des eaux de rivière dans le bassin de la Serre : autres molécules, ne dépassant pas les 0,3 µg/l 29

Fig. 6 - Précipitations, débits des rivières et piézométrie dans le bassin de la Serre entre novembre 1994 et décembre 1995 30
Fig. 7 - Fluctuations piézométriques de la nappe de la craie dans le bassin de la Serre depuis 1970 32
Fig. 8 - Teneurs en atrazine dans le bassin de la Serre 36
Fig. 9 - Extrait de carte IGN à 1/25 000 du secteur de Tavaux et Ponsérícourt 37
Fig. 10a - Débits et teneur en pesticides des eaux de la Serre à Saint-Pierremont entre novembre 1994 et août 1995 38
Fig. 10b - Teneurs en pesticides au captage de Tavaux et Ponsérícourt 39
Fig. 11 - Extrait de carte IGN à 1/25 000 dans le secteur de Marle 41
Fig. 12 - Teneurs en pesticides au captage de Marle et piézométrie de la nappe 42
Fig. 13 - Débits et teneurs en pesticides des eaux du Vilpion et de la Brune entre novembre 1994 et août 1995 45
Fig. 14 - Débits et teneurs en pesticides des eaux de la Serre entre novembre 1994 et août 1995.....47
Fig. 15 - Localisation des 8 profils proposés pour des investigations complémentaires 51

Liste des tableaux

Tabl. 1 - Points potentiels de prélèvements pour des investigations complémentaires selon 8 profils hydrogéochimiques 52

Liste des annexes

Ann. 1 - Liste des captages pris en considération 61
Ann. 2 - Localisation des points de prélèvement des eaux de rivière considérés 65
Ann. 3 - Zone d'alimentation du captage A.E.P. de Marle 69

Introduction

Certains captages d'alimentation en eau potable de Picardie, exploitant le réservoir aquifère de la craie, présentent des signes de contamination plus ou moins persistants par des produits phytosanitaires. Certains cours d'eau qui naturellement drainent cette nappe d'eau souterraine présentent également des signes plus ou moins continus de pollution analogue.

Le bassin de la Serre, au nord-est de Laon dans le département de l'Aisne, apparaît comme un secteur particulièrement touché. Afin d'étudier la faisabilité d'une protection des captages, le problème posé est de savoir si, dans le contexte hydrogéologique local, des relations hydrochimiques entre les eaux souterraines et superficielles existent.

Devant l'évolution préoccupante de la contamination des eaux par les produits phytosanitaires, la DRASS de Picardie a décidé d'initier une étude à caractère méthodologique, en s'appuyant sur l'exemple du bassin de la Serre.

La DRASS a confié cette étude au BRGM, Service géologique régional de Picardie, (convention du 4 décembre 1998) avec pour objectif de :

- réaliser une synthèse bibliographique sur les processus de migration des produits phytosanitaires vers les ressources en eaux souterraines et superficielles ;
- rassembler les données disponibles relatives au bassin de la Serre ;
- formuler des hypothèses sur les transferts entre milieu superficiel et milieu souterrain dans le bassin de la Serre ;
- définir un programme d'investigations complémentaires devant permettre, par la suite, d'élaborer un programme de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine, exploités dans le bassin.

Ces différents points font chacun l'objet d'un chapitre du rapport.

1. Synthèse bibliographique sur les processus de migration des produits phytosanitaires vers les ressources en eaux souterraines et superficielles

Cette synthèse bibliographique a été réalisée à partir de quelques documents clés consultés et ne saurait donc être exhaustive.

1.1. LES APPORTS DE PRODUITS PHYTOSANITAIRES

C'est dans les années 1940 que les premiers pesticides de synthèse sont apparus sur le marché, avec des résultats très positifs quant à l'augmentation des rendements agricoles (Van der Werf, 1997).

Les principales utilisations des produits phytosanitaires sont indiquées en figure 1 (Creusot, 1998).

L'agriculture est de loin le premier utilisateur en tonnage mais la pollution venant du secteur non agricole peut être importante (voies de circulation, sylviculture, usages domestiques, etc.). On recense plus de 900 molécules phytosanitaires, ou substances actives, qui entrent dans la composition de plus de 8 500 produits commercialisés bénéficiant d'une autorisation de mise sur le marché. Environ 2 700 usages peuvent être définis selon la culture, le type d'application et le parasite concerné (Creusot, 1998). Les principales actions sont : herbicides, fongicides, insecticides, acaricides, ...

Les produits phytosanitaires sont appliqués le plus souvent sous la forme de liquides pulvérisés sur les plantes et/ou sur le sol. Dans certains cas, ils sont incorporés au sol ou y sont injectés, ou sont déposés sous forme de granulés, ou encore les graines en sont enrobées. Lors des traitements par pulvérisation, une partie des produits peuvent être entraînés par le vent avant d'avoir atteint leur cible, cet effet étant plus ou moins important (de 1 à 50 %) selon la technique d'application (aéronef, rampes de traitement) et les conditions météorologiques (Van der Werf, 1997).

Une partie importante des apports effectués n'atteint donc pas l'organisme cible. La quantité potentiellement disponible pour la contamination des milieux et des organismes non cibles, dont l'homme, est donc considérable (IFEN, 1998).

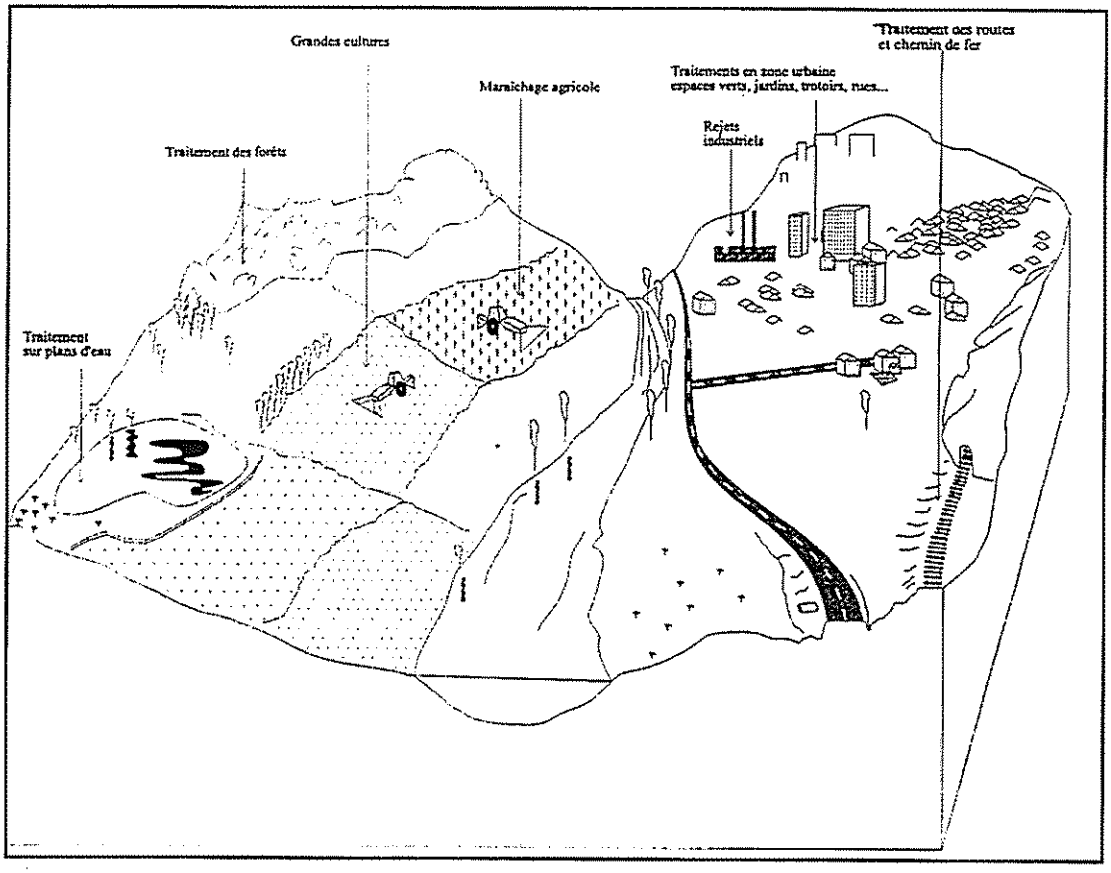


Fig. 1 - Les apports des produits phytosanitaires à l'environnement (Creusot, 1998).

1.2. LES PROCESSUS DE MIGRATION VERS LES EAUX SOUTERRAINES ET SUPERFICIELLES

Au niveau mondial, on s'intéresse à la présence de pesticides dans les eaux superficielles depuis les années 1960, depuis qu'on s'est aperçu de la toxicité directe d'insecticides organo-chlorés pour des animaux aquatiques. Durant les deux décennies suivantes, on a trouvé de plus en plus de pesticides dans les eaux souterraines, provoquant une inquiétude légitime puisque l'eau de boisson est dans bien des cas puisée dans les nappes. On a commencé à se soucier du passage de pesticides dans l'atmosphère durant les années 1970 et 1980, constatant que les substances peuvent se répandre très loin comme l'atteste leur découverte dans les embruns océaniques et dans la neige de l'Arctique (Van der Werf, 1997).

La migration des produits phytosanitaires dans l'environnement est contrôlée par de nombreux processus : l'eau est le principal vecteur de migration et à ce transport par l'eau se greffe des processus d'adsorption/désorption et des processus de dégradation qui peuvent freiner, ou parfois accélérer, la migration.

Les processus de base contrôlant la contamination des eaux sont :

- la volatilisation dans l'atmosphère et les retombées sur les sols par les pluies ;
- l'adsorption/désorption sur les composés organiques et minéraux du sol ;

- la dégradation physico-chimique et biologique ;
- le transport par l'eau par ruissellement et infiltration.

1.2.1. Volatilisation dans l'atmosphère et retombées sur les sols par les pluies

La présence de produits phytosanitaires dans l'atmosphère résulte des pertes entraînées par le vent au moment de l'application (dérive), ou de leur volatilisation dans l'air après avoir atteint leur cible (sol ou végétaux), ou encore de l'érosion éolienne des particules de sol sur lesquelles ils sont adsorbés (Narcy, 1996 ; Roche, 1998).

Les phytosanitaires dans l'air sont sous plusieurs états (Roche, 1998) :

- sous forme de vapeur, comme l'eau en particulier ;
- associés à des aérosols (particules de 0,3 à 1 µm) ;
- dissous dans des gouttelettes de brouillard (1 à 100 µm) ;
- dissous dans les gouttelettes de pluie des nuages.

Les relations entre ces états sont complexes, dépendantes des conditions atmosphériques, des propriétés physico-chimiques (solubilité, tension de vapeur, poids moléculaire, etc.) et des quantités de chaque produit, des propriétés d'adsorption du sol. Elles sont évolutives dans le temps (Narcy, 1996 ; Van der Werf, 1997 ; Roche, 1998).

Avant de retomber sur le sol par l'intermédiaire des pluies, les phytosanitaires peuvent être en partie décomposés dans l'air par des réactions de photolyse sous l'action des rayons ultraviolets, ou par des réactions d'oxydation. Si certains produits peuvent avoir une durée de vie de quelques dizaines de jours, d'autres sont très stables (Roche, 1998).

Les premières recherches effectuées sur la pollution atmosphérique montrent que l'on peut mettre en évidence (Roche, 1998) :

- une pollution chronique, ayant un niveau faible, liée à la présence de pesticides à longue durée de vie, tels que les organochlorés, qui circulent sur de longues distances dans l'atmosphère ;
- une pollution locale ou régionale, liée à l'utilisation saisonnière des pesticides. Après des pics de courte durée (quelques jours), la concentration diminue du fait de la dilution et de l'entraînement dans les masses d'air, la dégradation jouant aussi un rôle à moyen terme (quelques semaines).

Il a été montré que selon les périodes et les types d'événements pluvieux, les pluies peuvent contenir des pesticides ; elles dépassent parfois la norme européenne pour l'eau potable (0,1 µg/l) (Narcy, 1996 ; Roche, 1998).

Le rapport tout récent de l'IFEN (1998) sur les pesticides dans les eaux souligne que la contribution directe des eaux de pluie à la contamination des eaux d'un bassin versant doit être envisagée car elle est sans doute importante.

1.2.2. Adsorption/désorption sur les composés organiques et minéraux du sol

La mobilité de la matière active est réduite par son adsorption sur les particules solides du sol, essentiellement la matière organique, mais aussi les minéraux argileux et les oxydes et hydroxydes de fer, d'aluminium ou de manganèse :

La matière organique

C'est elle qui a un rôle déterminant dans l'adsorption des matières actives non ionisées, comme l'atrazine par exemple (Van der Werf, 1997 ; Calvet, 1998). Toutefois, en plus de la teneur en matière organique, il faut également tenir compte de sa nature. Les substances humiques sont les plus réactives, et parmi elles il faut distinguer les acides humiques et les acides fulviques (carbone organique extractible) et les humines (carbone organique non extractible) qui ont des capacités d'adsorption différentes (Kervévan-Moreau, 1997).

La taille moléculaire des substances humiques, leur aromaticité et la présence de nombreux groupements fonctionnels (carboxyles, carbonyles, etc.) sont les facteurs qui favorisent l'adsorption des pesticides. Les mécanismes d'adsorption sont soit physiques, par l'intervention des forces de Van der Waals ou de liaisons hydrophobes, soit chimiques par les liaisons hydrogène et les échanges d'ions (Kervévan-Moreau, 1997). Ces mécanismes dépendent cependant du degré d'humidification du sol et de son pH.

Par ailleurs, la matière organique dissoute favorise la migration des pesticides sous forme dissoute dans les eaux en augmentant leur solubilité apparente, et de ce fait limite leur adsorption sur les particules solides du sol (Kervévan-Moreau, 1997).

Les argiles

La contribution des argiles à l'adsorption des pesticides est prépondérante quand le sol est pauvre en matière organique (Kervévan-Moreau, 1997). Il existe dans la littérature certaines valeurs guides pour le rapport « % argile / % mat. organique » permettant de soupçonner le rôle significatif des argiles dans l'adsorption de telle ou telle molécule.

Le pouvoir adsorbant des argiles leur est conféré par :

- la présence d'une grande surface spécifique liée à la structure en feuillets ;
- des charges négatives en surface et en bordure, et leur neutralisation par des cations dits compensateurs (H^+, K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} ...).

La nature minéralogique des argiles est également importante du fait de leurs caractéristiques physico-chimiques différentes (surfaces spécifiques, capacités d'échange cationique, cœfficients d'adsorption). Par exemple, l'atrazine est plus adsorbée sur la montmorillonite que sur l'illite et la kaolinite.

Les oxydes et hydroxydes de fer, d'aluminium et de manganèse

Plusieurs auteurs ont mentionné leur rôle dans l'adsorption des pesticides, notamment de l'atrazine (Kervévan-Moreau, 1997). Les formes les plus répandues des oxydes de fer dans les sols sont la goethite (Fe_2O_3) et l'hématite (FeOOH), et pour les oxydes d'aluminium la gibbsite ($Al(OH)_3$) et la boehmite (AlOOH). Ils proviennent principalement de l'hydrolyse des aluminosilicates.

Tous ces processus d'adsorption, outre la teneur et la nature de la matière organique, des argiles et des oxydes et hydroxydes présents dans le sol, sont influencés par (Kervévan-Moreau, 1997) :

- la structure du sol : un sol bien structuré, qui présente des chemins préférentiels (macropores, galeries de vers de terre, etc.) a un pouvoir d'adsorption plus faible car la circulation de l'eau est facilitée et le contact avec l'adsorbant est réduit dans le temps mais aussi dans l'espace du fait de la présence de ces voies préférentielles ;

- le pH du sol : dans un sol, les variations de pH sont essentiellement dues aux plantes ou à l'application d'engrais azotés. Le plus souvent, l'application d'engrais azotés augmente le pH. En ce qui concerne l'atrazine, cela favorise alors la mise en solution de la matière organique du sol et consécutivement diminue le pouvoir adsorbant du sol et favorise la migration de l'atrazine sous forme dissoute ;

- la température et la teneur en eau du sol : leur rôle dans les processus d'adsorption est également invoqué par plusieurs auteurs.

L'adsorption est un processus dont la réaction inverse est la désorption. L'adsorption et la désorption constituent des équilibres temporaires, qui dépendent de nombreux facteurs. L'adsorption n'est souvent en fait que partiellement réversible : il peut se former des résidus non désorbables, encore appelés résidus liés ou résidus non extractibles. La désorption est provoquée par les changements physico-chimiques au niveau du sol (variations de pH, de température, de teneur en eau, modification de la structure du sol, maturation de la matière organique, etc.).

1.2.3. Dégradation

Les processus de dégradation des pesticides sont de deux types (Narcy, 1996 ; Van der Werf, 1997 ; Bordenave, 1998) :

Dégradation physico-chimique

Elle repose essentiellement sur l'hydrolyse et dépend du pH, de la température et de l'humidité du sol. Par ailleurs l'adsorption sur les colloïdes du sol serait pré-requise pour que se produise l'hydrolyse, car les argiles et les acides humiques joueraient un rôle de catalyseur. L'hydrolyse chimique en aquifère ou dans les eaux de surface ne serait cependant pas significative du fait d'une cinétique de réaction trop lente.

Une photodécomposition peut également intervenir à la surface du sol ou au niveau de lacs, mais ce mécanisme aurait aussi un rôle mineur.

Biodégradation

Elle est due à la microflore du sol et par conséquent se déroule principalement dans la couche de surface du sol. Elle est influencée par de nombreux facteurs pédologiques, agronomiques et climatiques qui ont tous une action sur les populations microbiennes du sol. Les sols riches en matière organique favorisent la biomasse bactérienne du sol. L'activité dégradante dépend de la température et de la teneur en eau du sol, mais aussi de la nature des populations microbiennes. La biodégradation peut créer des métabolites plus rémanents et plus toxiques que la substance d'origine.

La biodégradation peut également se produire sur les eaux de surface mais ne concerne qu'une faible profondeur d'eau.

1.2.4. Transport par l'eau, par ruissellement et infiltration

L'eau est le principal vecteur de la migration des pesticides vers les rivières et les nappes par des processus de ruissellement et d'infiltration. Le ruissellement contribue principalement à la pollution des eaux de surface tandis que l'infiltration, ou lixiviation, contribue surtout à celle des eaux profondes.

Bien que l'on considère souvent séparément les eaux de surface et les eaux souterraines, elles sont liées presque partout par le cycle hydrologique. En fonction des gradients hydrauliques et des perméabilités des terrains superficiels, c'est l'eau de surface qui alimente les aquifères ou les aquifères qui alimentent les eaux de surface. En conséquence, les taux de pesticides dans les eaux superficielles pourront affecter les eaux souterraines ou dépendre d'elles (Van der Werf, 1996).

a) Le ruissellement

Le ruissellement peut être défini comme le mouvement à la surface du sol de l'eau et des matières dissoutes et en suspension qu'elle contient.

On distingue habituellement deux types de genèses du ruissellement (Bordenave, 1998 ; Gril et *al.*, 1998) :

Le ruissellement par dépassement de la capacité d'adsorption du sol, dit ruissellement « hortonien »

Il se produit si l'intensité de la pluie est supérieure à la capacité d'infiltration du sol. Il est aggravé par l'existence de « croûtes de battance » (sols à texture limoneuse et/ou à structure dégradée), par les fortes intensités de pluie, par la pente des terrains, par l'absence de végétation, etc.

En modifiant l'état de surface du sol (rugosité, perméabilité, couvert végétal), l'activité agricole détermine en grande partie les risques. Ainsi au printemps, l'émiettement excessif du sol, combiné à des lignes de semis orientées dans le sens de la pente, sont des facteurs de risque importants. Il en est de même en automne pour la récolte du maïs sur sol humide (Bordenave, 1998).

Le ruissellement par saturation

Il se produit quand les horizons de surface sont saturés en eau et il est généré directement par la pluie ou par écoulement subsuperficiel ou hypodermique. Ce dernier est un écoulement latéral sous la surface du sol à faible profondeur (environ 1 m) occasionné par un horizon moins perméable ; il est susceptible de réapparaître à la surface à la faveur d'une rupture de pente, d'une remontée de l'horizon imperméable, ou par les réseaux de fossés ou de drainages enterrés.

Ce type de ruissellement est surtout dépendant de la hauteur d'eau (et non pas de l'intensité) et du cumul des pluies antérieures (Bordenave, 1998).

D'abord diffus, le ruissellement qui se forme à la surface du sol s'organise et se concentre progressivement, d'abord au niveau de la parcelle suivant le microrelief et les rigoles existantes (traces de roues, ligne de semis), puis dans les dépressions avant d'atteindre le réseau hydrographique du bassin versant (Bordenave, 1998 ; Gril et *al.*, 1998).

b) L'infiltration

L'eau qui s'infiltre dans le sous-sol entraîne le transfert d'un certain nombre de composés vers les nappes, essentiellement sous forme dissoute mais potentiellement aussi sous forme colloïdale, voire même particulaire dans certains cas. Ces quantités d'eau qui s'infiltrent ne représentent qu'une part de la pluviométrie et ne sont pas simplement proportionnelles aux précipitations. En effet, la part qui s'infiltre et qui est

susceptible de contribuer à la recharge des nappes est très variable suivant les époques de l'année (fonction de la température, de l'ensoleillement...), le type de sols et leur couverture, mais aussi selon les caractéristiques mêmes des événements pluvieux (intensité, durée, succession...) (Landreau et *al.*, 1998).

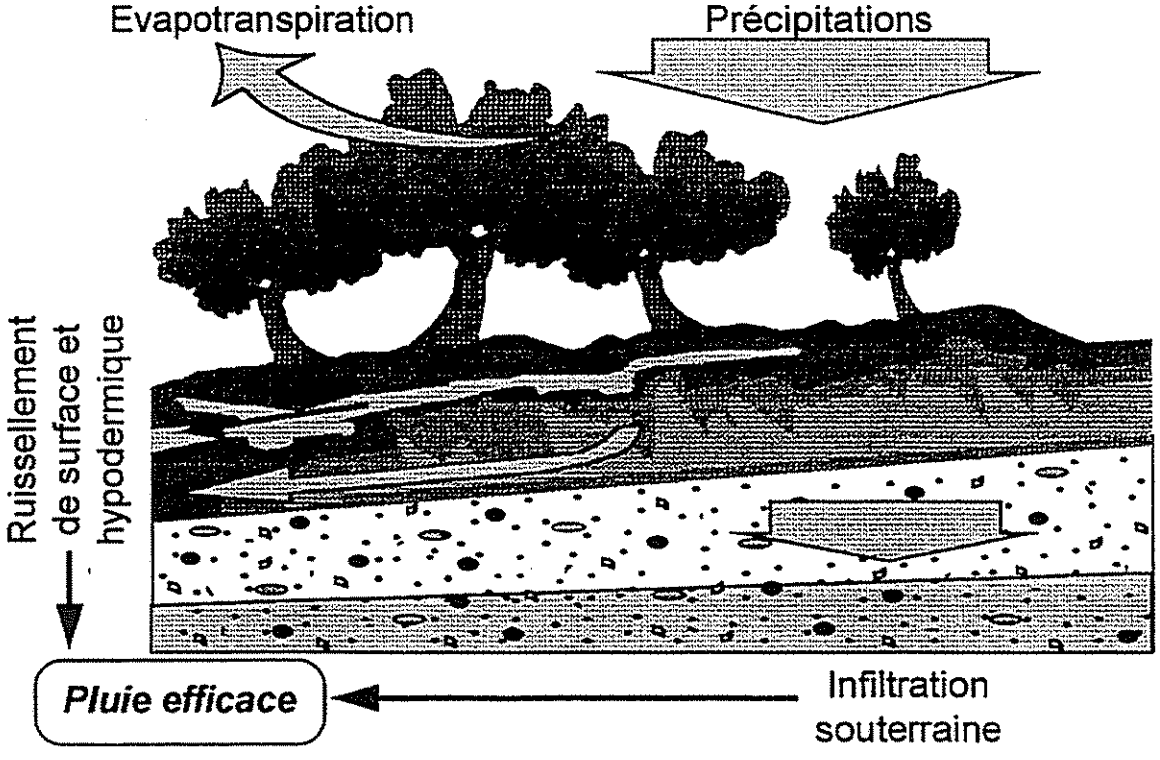


Fig. 2 - Représentation schématique du concept de pluies efficace (Daum et al., 1996).

Comme l'illustre schématiquement la figure 2, l'eau qui s'infiltre dans le sous-sol n'est qu'une part des précipitations, desquelles sont déduites la quantité d'eau stockée dans le sol (réserve en eau du sol), l'évapotranspiration (eau évaporée physiquement ou prélevée par la végétation) et le ruissellement. La somme de ce qui s'infiltre en profondeur et de ce qui ruisselle constitue la pluie efficace et alimente les ressources en eau, qu'elles soient superficielles ou souterraines (Daum et *al.*, 1996 ; Landreau et *al.*, 1998).

En France, la recharge des nappes s'effectue essentiellement entre mi-octobre et mi-avril, période pendant laquelle les réserves d'eau des sols sont plus ou moins totalement reconstituées et où l'évapotranspiration n'est pas prépondérante (Landreau et *al.*, 1998).

Le transfert d'eau par infiltration est essentiellement vertical et s'effectue par les pores et fissures du sol et du sous-sol. La vitesse d'infiltration peut être de l'ordre de 1 m par an dans les formations crayeuses peu fissurées (craie de Champagne ou de Picardie), de

l'ordre de la dizaine de mètres par an dans des formations calcaires plus fissurées (calcaires de Beauce), ou de plusieurs mètres par heure dans des terrains karstiques. Suivant les caractéristiques du sol et du sous-sol, les temps de transfert de la surface du sol vers la nappe peuvent varier de quelques jours à quelques dizaines d'années (Landreau et *al.*, 1998).

On notera aussi qu'il existe des infiltrations ou rejets artificiels directs des eaux pluviales des zones habitées (bassins d'infiltration, puits absorbants, puisards, ...).

1.3. LE POTENTIEL DE TRANSFERT DES MOLÉCULES PHYTOSANITAIRES EN FONCTION DE LEURS PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES

Le potentiel de transfert de chaque molécule phytosanitaire en fonction des 4 processus de base peut être évalué à partir de quelques propriétés bio-physico-chimiques des molécules (DRAF/FREDEC Picardie, 1996 ; Calvet et *al.*, 1996 ; Mouvet, 1996 ; Bordenave, 1998 ; Schiavon, 1998) :

- le temps de demi-vie, ou DT50 : durée au bout de laquelle la moitié de la substance initialement introduite est dégradée, donne une indication sur le temps de persistance dans le sol ;
- la solubilité dans l'eau : indication sur la tendance d'un produit à être entraîné sous forme dissoute dans les eaux ;
- le coefficient de partage octanol/eau : rend compte de la tendance d'une molécule à s'accumuler dans les membranes biologiques et donc les organismes vivants notamment (si Kow élevé, risque de bioaccumulation);
- le coefficient de partage sol/eau, ou Kd : indication sur l'aptitude d'une molécule à être adsorbée ou désorbée sur les particules du sol ;
- le coefficient de partage carbone organique /eau, ou Koc : Koc = Kd x %Corg ; indication sur l'aptitude d'une molécule à être adsorbée ou désorbée sur la matière organique ;
- la constante de Henry, ou K_H : rend compte de la volatilité d'une substance.

Ce sont soit des paramètres indépendants du milieu et déterminés en laboratoire, soit des paramètres qui ont comme valeur une moyenne calculée à partir d'essais réalisés en plein champ et couvrant la plus grande diversité de milieux pédoclimatiques.

En combinant ces facteurs et en tenant compte des quantités épandues sur le bassin, on peut ainsi aboutir à une classification des molécules en fonction de leur potentiel intrinsèque de transfert vers les eaux superficielles et souterraines.

1.4. LA PROBLÉMATIQUE DES ÉCHANGES NAPPE/RIVIÈRE

Au niveau d'un bassin versant, le régime de soutien des écoulements de surface par les eaux souterraines, ainsi que la recharge naturelle des nappes par les cours d'eau, entraînent des échanges continus entre eux. Ces échanges, variables selon le temps et le lieu, ont un rôle important dans la migration de pesticides. En conséquence, les taux de pesticides dans les eaux superficielles peuvent affecter les eaux souterraines ou dépendre d'elles (Van der Werf, 1997 ; Banton et Lafrance, 1997).

Les nappes constituant fréquemment les débits d'étiage des cours d'eau, les concentrations dans les cours d'eau à l'étiage reflètent alors directement la contribution des aquifères. La qualité des eaux superficielles d'un bassin versant durant ces périodes renseigne donc souvent sur la qualité des eaux souterraines de ce bassin (Banton et Lafrance, 1997).

Les aquifères alluviaux sont particulièrement propices à des échanges importants et rapides entre eaux superficielles et souterraines. Les principales études publiées mettant en évidence la relation nappe/rivière à propos de la contamination par les pesticides se rapportent à des aquifères alluviaux aux États-Unis (Squillace et *al.*, 1993 ; Wang et Squillace, 1994 ; Squillace et *al.*, 1997 ; Banton et Lafrance, 1997 ; Mouvet et Amraoui, 1998). Il a par exemple été montré sur des cas concrets que la contamination des eaux de rivière par l'atrazine a été responsable de la contamination de puits situés à 20 ou 50 m de la rive et captant une eau à 20 m de profondeur. Il a également été montré que la présence d'atrazine et de l'un de ses sous-produits dans l'aquifère était responsable de 75 % de la charge en pesticides de la rivière durant les basses eaux. Après un étiage prolongé, les concentrations en atrazine dans la rivière sont faibles mais stables ; elles proviennent des eaux de nappe qui alimentent la rivière. Cela indique que les concentrations en atrazine de la nappe, généralement assez uniformes dans l'espace, constituent une source stable et diffuse de pesticides circulant vers la rivière durant l'essentiel de la période d'étiage.

En France, il n'y a pas eu jusqu'à présent d'investigations approfondies sur le rôle des échanges nappe/rivière dans la contamination des eaux par les produits phytosanitaires (Mouvet et Amraoui, 1998). Le CORPEN recommande la prise en compte de ces échanges dans l'optique de diagnostic devant mener à la mise sur pied de programmes d'action (CORPEN, 1996 ; p. 21, 22 et 24). Le suivi des concentrations en atrazine sur la Marne de 1991 à 1996 a permis de mettre en évidence un bruit de fond d'environ 0,1 µg/l toute l'année, imputé au drainage des nappes contaminées, des pics de concentration très élevés engendrés par les eaux de ruissellement suite à des épisodes pluvieux importants, ainsi que des saisons d'assez fortes concentrations dont le démarrage coïncide généralement avec le début des applications dans les champs et qui peuvent s'étendre plusieurs mois au-delà de la période de traitement (Tisseau et *al.*, 1998).

2. Données disponibles sur le bassin de la Serre

2.1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

2.1.1. Situation géographique et hydrographie

Le bassin hydrographique de la Serre, d'une superficie de 1 420 km², est développé dans les parties septentrionale et orientale du département, dans un quadrilatère allant de Laon à Vervins et de La Fère à Rozoy-sur-Serre (cf. fig. 3).

Affluent de l'Oise, la Serre prend sa source en Ardennes et sa longueur totale est de 79 km. Traversant un relief assez mou, le profil en long présente une pente moyenne de 1,3 %. Les flancs de la vallée ont une pente moyenne de 15 % en rive gauche, et 8 % en rive droite.

Plusieurs affluents se jettent dans la Serre, de l'amont vers l'aval :

- le Hurtaut et le ruisseau de Soize : en rive gauche ;
- le Vilpion (28 km) en rive droite, grossi par la Brune (31 km) et ses affluents (le Hurteau et la Blonde) ;
- la Souche (25 km) en rive gauche et ses affluents les ruisseaux des Barentons (l = 22 km), de Mauregny (l = 20 km) et de Sainte-Preuve (l = 15 km) ;
- la Buzelle (l = 15 km) en rive gauche ;
- le Péron (l = 17 km) en rive droite.

Tous ces cours d'eau constituent un réseau hydrographique actif assez dense surtout sur le versant nord du bassin de la Serre (sous-bassin du Vilpion-Brune).

2.1.2. Géologie et hydrogéologie

Le bassin de la Serre repose entièrement sur la craie du Sénonien-Turonien sauf dans l'extrémité amont (limite Aisne-Ardennes) où apparaissent en fond de vallée les marnes du Cénomanien. Des buttes résiduelles de formations sablo-gréseuses existent encore sur les crêtes des interfluves, surtout sur le versant méridional du bassin.

Le toit de la craie est recouvert soit par des limons loessiques éoliens ou colluviaux, soit par des formations résiduelles (biefs à silex), sur quelques mètres. Ces formations retardent l'infiltration des eaux météoriques et facilitent le ruissellement en bordure de vallées.

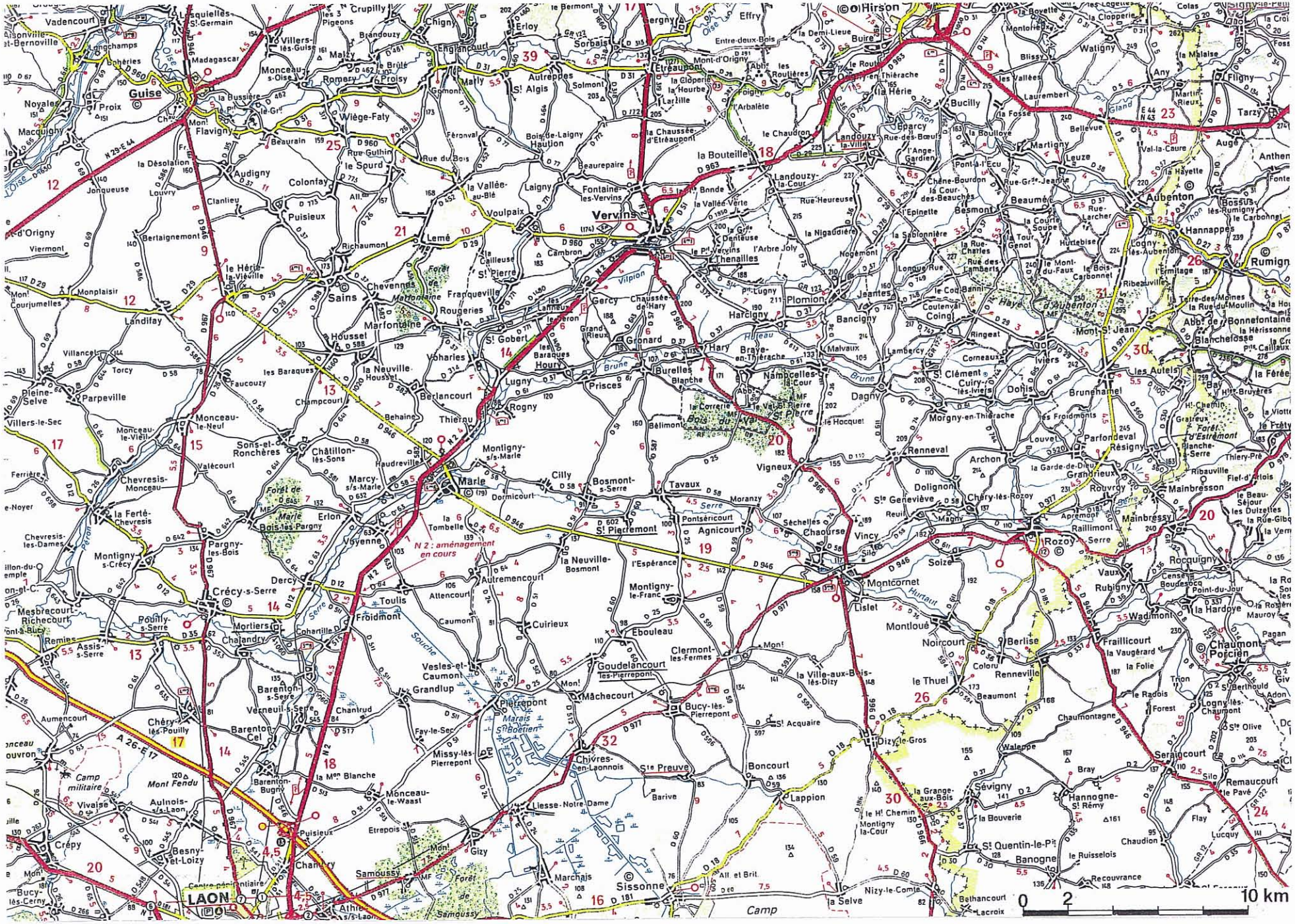


Fig. 3 - Plan de situation du bassin de la Serre (extrait de carte Michelin à 1/200 000).

Le fond des vallées alluvionnaires est tapissé d'alluvions sablo-argileuses à tourbeuses (la Souche). Le réservoir crayeux contient une nappe libre qui est drainée par tous les vallons et vallées du réseau hydrographique et donne naissance à des sources diffuses ou ponctuelles au pied des coteaux (sources de débordement ou de déversement) ou au milieu des lits majeurs (sources de trop-plein parfois artésiennes). Ce sont elles qui assurent le soutien des débits d'étiage des cours d'eau et qui se mêlent aux eaux de ruissellement en période de précipitations intenses aussi bien hivernales qu'estivales.

L'alimentation du réservoir crayeux provient des apports atmosphériques régionaux dont une partie (200 à 400 mm par an) s'infiltre à travers les affleurements de la craie et les limons de couverture.

Dans la zone non saturée, les eaux percolent lentement à travers les pores de la roche ou plus rapidement à travers les fissures et les joints qui affectent la roche massive dans sa tranche supérieure (jusqu'à 40 m de profondeur).

Arrivées dans la nappe (zone saturée), les eaux empruntent des cheminements sub-horizontaux à travers le réseau fissuré et gagnent les émergences en aval hydraulique ou les terrains alluvionnaires qui recouvrent le réservoir aquifère. Par ces deux types de cheminement, les cours d'eau recueillent les eaux drainées. Leurs parcours est modifié quand il y a pompage artificiel dans la nappe.

2.1.3. Végétation

Les forêts et les bocages sont installés sur les sables, les bois et les pâtures dans les zones à drainage imparfait. Les cultures se sont surtout développées sur les terres limoneuses sur substratum crayeux.

Pour ces raisons agronomiques, les champs cultivés occupent une large surface sur le versant méridional du bassin. Les zones boisées ont été conservées au nord du sous-bassin de la Brune vers la Thiérache et sur les flancs des collines tertiaires du Laonnois.

Sur le plateau crayeux il reste quelques forêts individualisées : Bois de Val Saint Pierre, Forêt de Marle, Forêt de Marfontaine, Forêt de Samoussy. Le camp militaire de Sissonne est parsemé de nombreuses parcelles boisées.

Enfin, de vastes étendues marécageuses occupent le fond très plat de la vallée de la Souche où la nappe phréatique est subaffleurante.

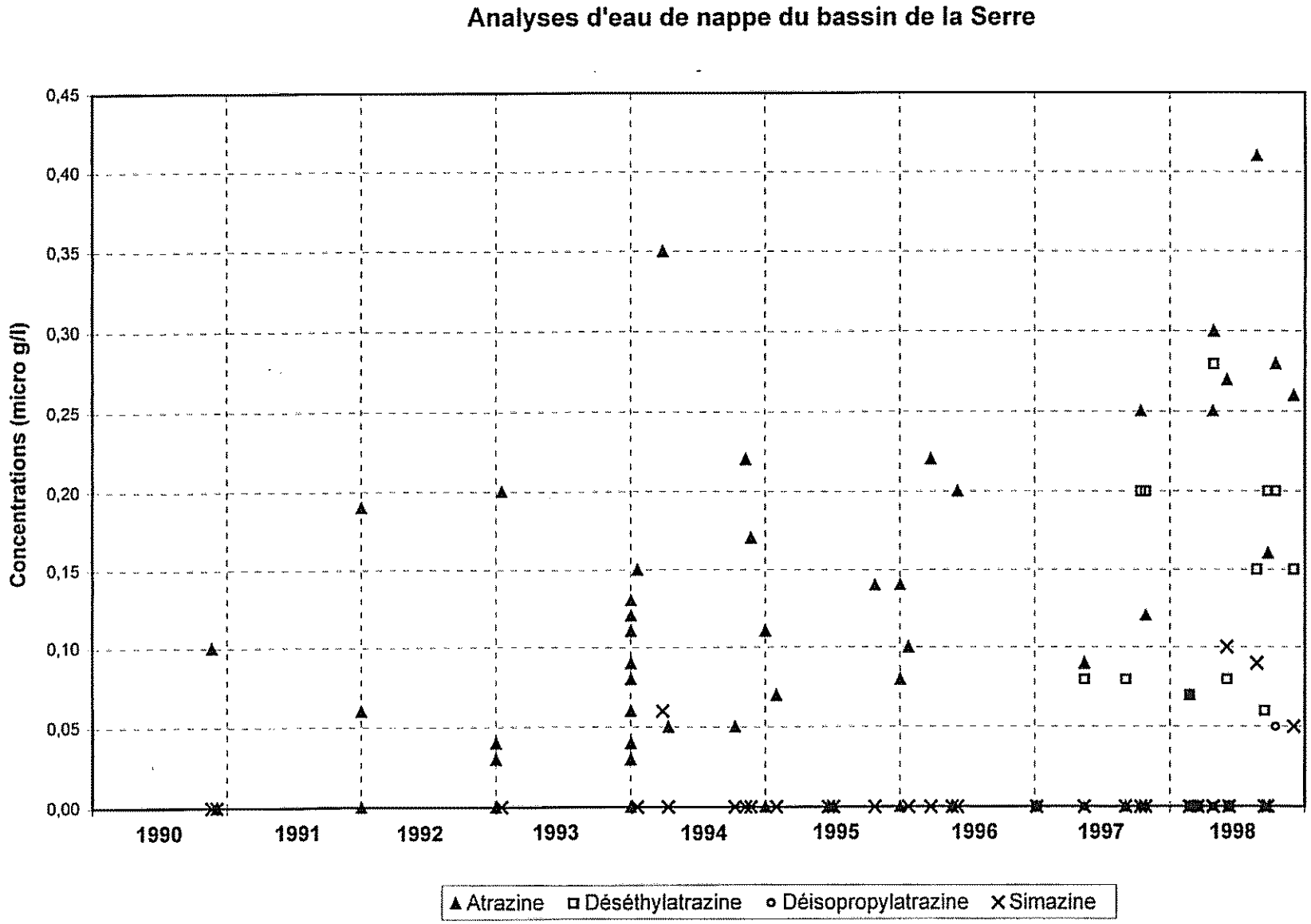


Fig. 4 - Teneurs en pesticides des eaux de nappe dans le bassin de la Serre (source : captages AEP - DDASS 02).

2.1.4. Habitat

L'habitat est regroupé dans de nombreux petits villages aussi bien sur le plateau que dans les vallées avec de rares hameaux. Deux bourgades plus importantes sont implantées dans la vallée de la Serre : Marle et Rozoy-sur-Serre.

Vers la Thiérache l'habitat, à caractère pastoral, est plus dispersé.

Peu de communes rurales sont desservies par un réseau d'assainissement collectif. Pour les bourgs possédant un cours d'eau pérenne, celui-ci sert de réceptacle des eaux usées. Pour les autres, l'assainissement individuel par puits filtrants ou encore par puisards est de règle.

2.2. TENEURS EN PESTICIDES DES EAUX DE NAPPE

Les données sur les teneurs en pesticides des eaux de nappe ont été fournies par la DDASS de l'Aisne ; elles relèvent du contrôle sanitaire effectué sur les captages d'eau potable. Elles ne concernent que des eaux du réservoir de la craie.

Nous avons alors saisi les données sous forme informatique et recherché les indices de référence des captages (indices Banque du Sous-Sol), de manière à constituer un fichier de données sur les teneurs en pesticides des eaux de nappe dans le bassin.

La figure 4 donne un aperçu de l'ensemble des analyses phytosanitaires disponibles sur le bassin depuis 1990, pour les molécules détectées au moins une fois dans les eaux de nappe. Elles proviennent de 34 captages d'eau potable, dont la liste est donnée en annexe 1.

On constate que seules quatre molécules ont été détectées. Elles appartiennent à la famille des triazines. Il s'agit de :

- l'atrazine : molécule fréquemment retrouvée ;
- la déséthylatrazine (DEA) et la déisopropylatrazine : produits de dégradation de l'atrazine recherchés depuis 1997 seulement ;
- la simazine.

Certaines ont dépassé la concentration maximale admissible, qui est de 0,1 µg/l. Les valeurs maximales avoisinent les 0,4 µg/l. Des pesticides ont été détectés au moins une fois sur 21 captages parmi les 34 considérés (cf. annexe 1). La situation est donc préoccupante dans le bassin de la Serre, comme l'indiquait par ailleurs E. Delhaye (1998) dans un article général faisant le point sur la pollution de l'eau par les phytosanitaires dans tout le département de l'Aisne.

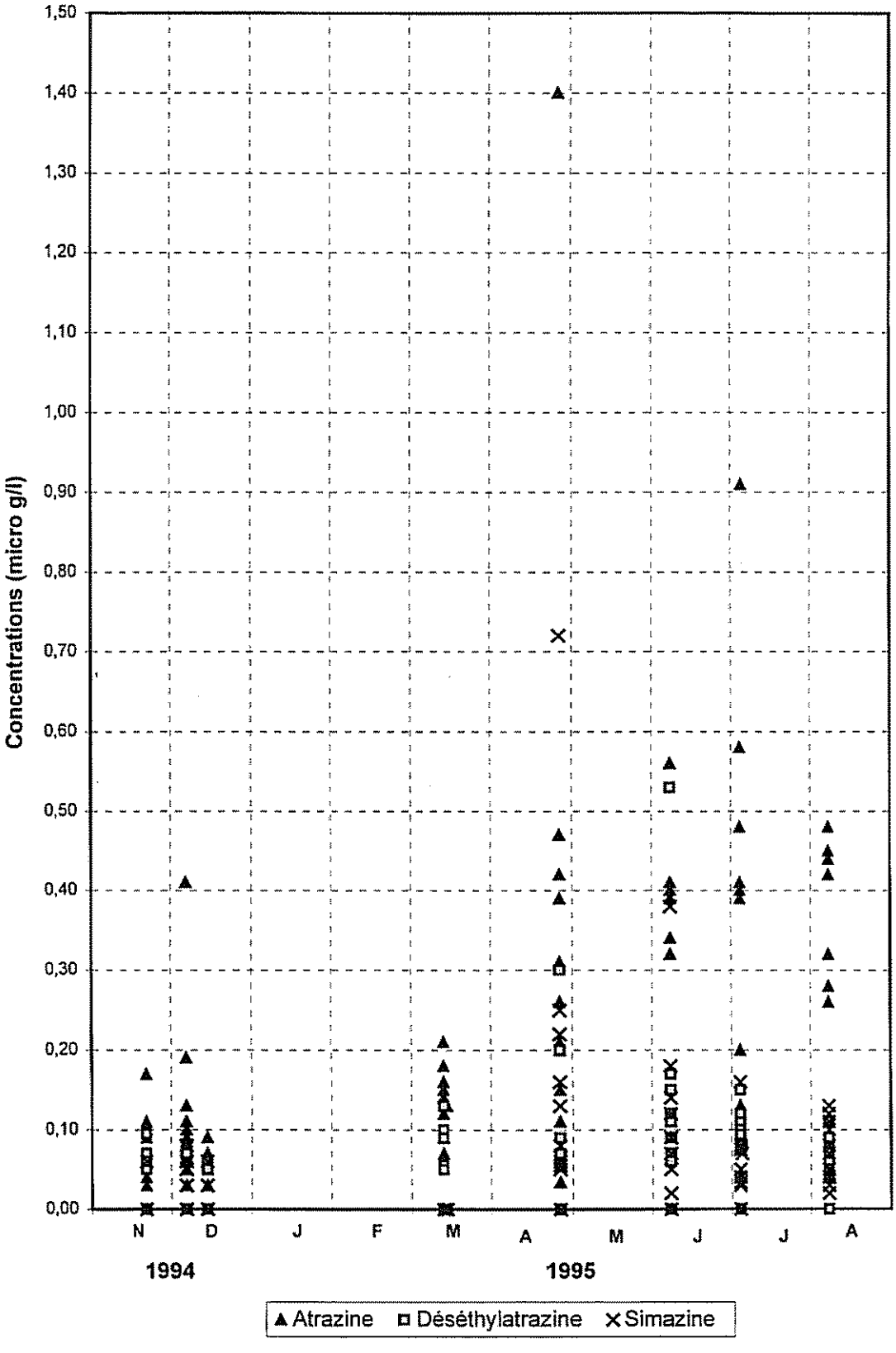


Fig. 5a - Teneurs en pesticides des eaux de rivière dans le bassin de la Serre : molécules retrouvées dans la nappe.

Ce graphique ne donne cependant qu'un aperçu global et partiel de la situation dans la nappe :

- il n'a été réalisé qu'à partir de données issues de captages d'alimentation en eau potable ;
- certaines données ne se référaient qu'à une année (par exemple 1992), et non pas à une date précise ; une date arbitraire au 1er janvier a été alors attribuée dans un premier temps ;
- la fréquence des analyses pesticides sur un même captage est très irrégulière. Pour de nombreux captages l'on ne dispose que d'une seule analyse pesticide depuis 1990, et datant déjà de plusieurs années ;
- selon les analyses, il y a une grande diversité parmi les pesticides recherchés. Il n'y a pas de liste de molécules systématiquement recherchées et l'analyse se fait souvent au cas par cas. Seule l'atrazine a été assez systématiquement recherchée, mais pas toujours. Il se peut donc que certaines molécules soient ou aient été présentes, mais n'aient pas été recherchées. Par exemple, si la simazine et la déséthylatrazine n'ont pas été détectées avant 1997, c'est peut-être parce qu'elles n'ont pas souvent été recherchées.

L'on notera que les limites de détection sont différentes selon les molécules et les laboratoires. Elles sont en général de l'ordre de 0,05 µg/l. Des investigations plus poussées nécessiteraient d'examiner avec attention ces limites de détection.

2.3. TENEURS EN PESTICIDES DES EAUX DE RIVIÈRE

Les données disponibles sur les teneurs en pesticides des eaux de rivière sont issues de 8 campagnes de prélèvement effectuées entre novembre 1994 et août 1995 par la DIREN sur les eaux de la Serre et de ses affluents. Des mesures de débit ont également été faites lors des prélèvements.

Nous avons donc collecté les données auprès de la DIREN et les avons saisies sous forme informatique de manière à constituer un fichier de données sur les teneurs en pesticides des eaux de rivière dans le bassin.

Les figures 5 a, b, c, donnent un aperçu de la nature et des concentrations des pesticides détectés au moins une fois dans les rivières du bassin au cours de ces campagnes. Ces analyses proviennent de 12 points de prélèvements, répartis sur la Serre et ses affluents (cf. ann. 2). Tous ces points sont affectés par une contamination.

La figure 5 a ne s'intéresse qu'aux 3 molécules retrouvées dans la nappe : atrazine, déséthylatrazine et simazine (la déisopropylatrazine n'a jamais été recherchée). La figure 5b s'intéresse à 4 autres pesticides dont de très fortes teneurs, dépassant 1 µg/l, ont été mesurées dans les eaux superficielles : isoproturon, diuron, néburon et métoxuron. La figure 5c présente 9 autres molécules détectées au moins une fois mais à des teneurs qui restent inférieures à 0,3 µg/l.

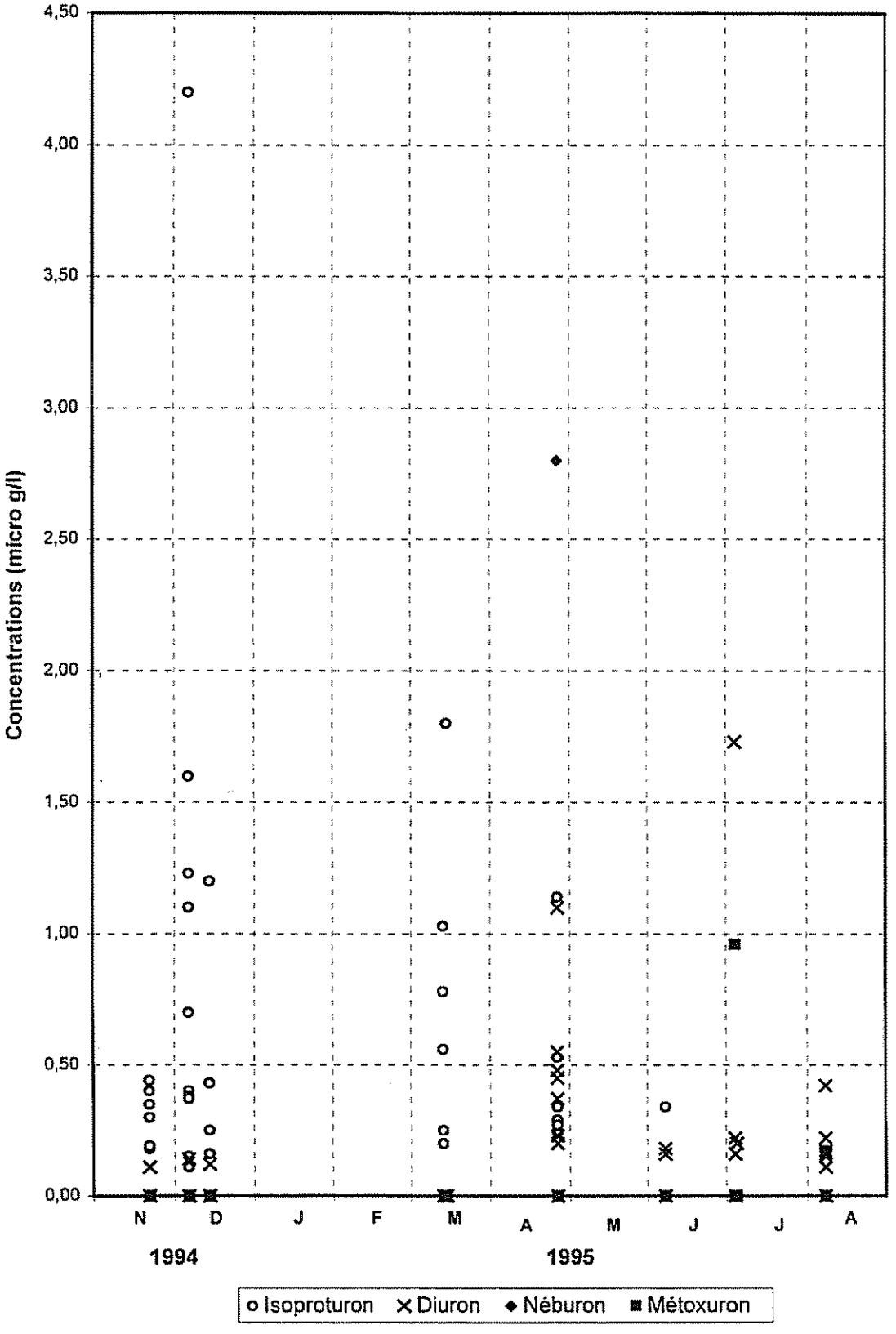


Fig. 5b - Teneurs en pesticides des eaux de rivière dans le bassin de la Serre : autres molécules, dépassant parfois les 0,3 µg/l.

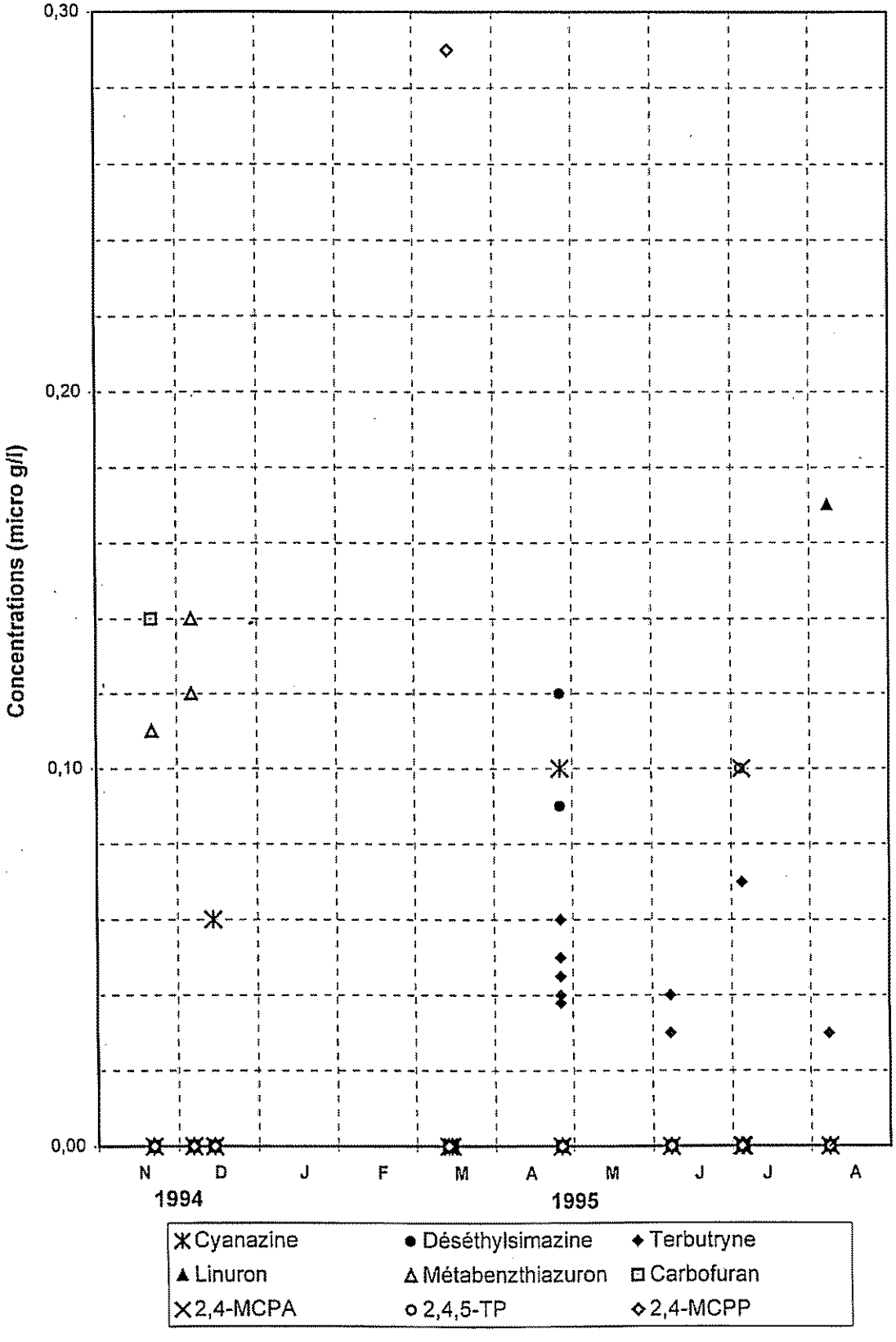
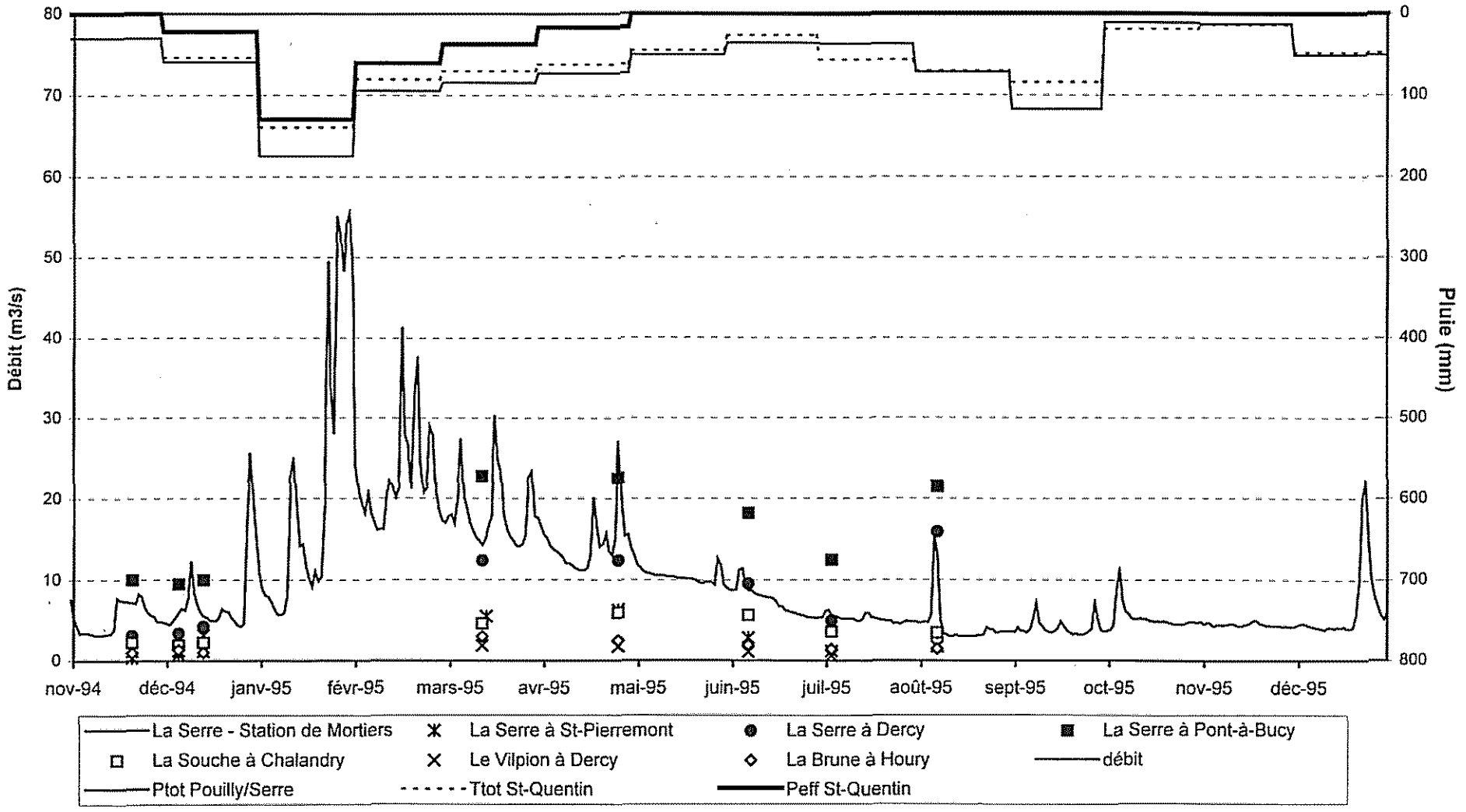


Fig. 5 c - Teneurs en pesticides des eaux de rivière dans le bassin de la Serre : autres molécules, ne dépassant pas les 0,3 µg/l.



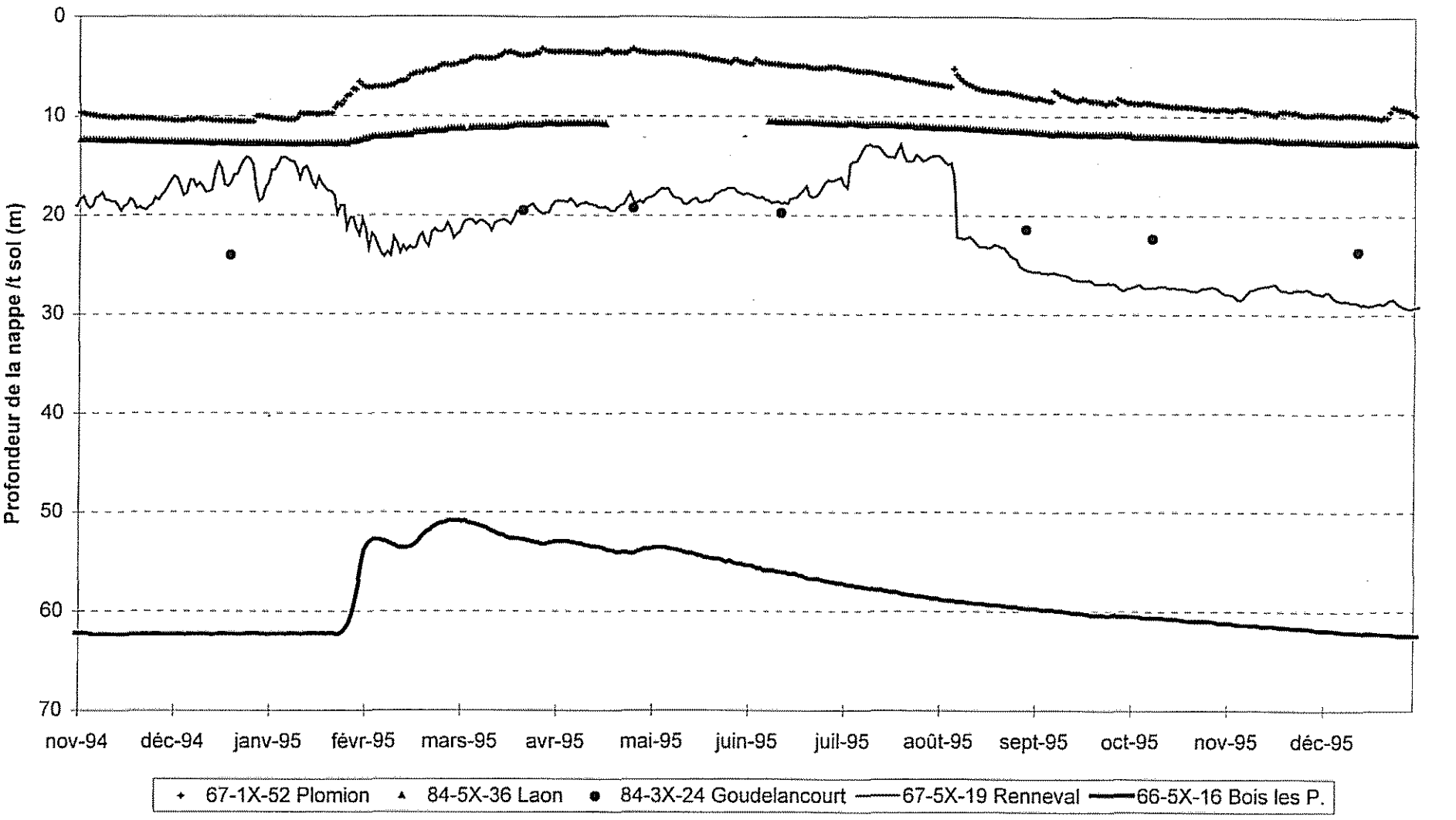


Fig. 6 - Précipitations, débits des rivières et piézométrie dans le bassin de la Serre entre novembre 1994 et décembre 1995.

La gamme des concentrations est beaucoup plus importante que dans la nappe. De très fortes valeurs ont parfois été mesurées, avec un maximum de 4 µg/l pour l'isoproturon le 6 décembre 1994 dans les eaux du Vilpion à Thenailles.

Les molécules détectées dans les eaux superficielles sont donc beaucoup plus nombreuses que dans les eaux de nappe (16 molécules au lieu de 3). Alors que seules des triazines ont été retrouvées dans la nappe, l'on a détecté aussi dans les eaux superficielles des urées substituées, carbamates et acides phénoxyacétiques. Cependant toutes ces molécules n'avaient pas été recherchées dans la nappe.

Parmi les 13 molécules qui n'ont été détectées que dans les eaux de rivière, 8 n'ont jamais été recherchées dans la nappe, et 5 ont été recherchées au moins une fois mais avec un résultat inférieur au seuil de détection.

L'on notera ici également que les limites de détection sont différentes selon les molécules et les laboratoires. Concernant nos données dans les eaux de rivière, elles proviennent toutes du même laboratoire, différent de ceux impliqués pour les analyses d'eau de nappe. Les limites de détection des analyses des eaux de rivière se situent entre 0,02 et 0,1 µg/l selon les molécules.

2.4. DÉBITS DES EAUX DE RIVIÈRE

Les débits mesurés sur la Serre et ses principaux affluents lors des 8 campagnes de prélèvement effectuées entre novembre 1994 et août 1995 par la DIREN sont reportés en figure 6. Parallèlement à ces données ponctuelles, ont été également reportés sur la figure les débits moyens journaliers de la station de Mortiers sur la Serre, communiqués par la DIREN ; cette courbe permet d'avoir une vision continue des variations de débit dans le bassin et met en évidence l'existence de pics élevés épisodiques.

Des indications sur les précipitations à cette période sont également reportées sur le graphique. Il s'agit des précipitations mensuelles enregistrées aux stations Météo France de Pouilly-sur-Serre et de Fontaine-les-Clercs (Saint Quentin), ainsi que les pluies efficaces calculées par le BRGM pour cette dernière station.

L'examen de ces graphiques montre que :

- les débits mesurés lors des 8 campagnes ont les mêmes tendances d'évolution au cours du temps, ce qui traduit un comportement relativement homogène à l'échelle du bassin ;
- la station de Mortiers confirme ces tendances, mais montre aussi que les débits ont été maximum en janvier-février 1995, ce qui est à corréler avec les fortes précipitations efficaces à cette époque.

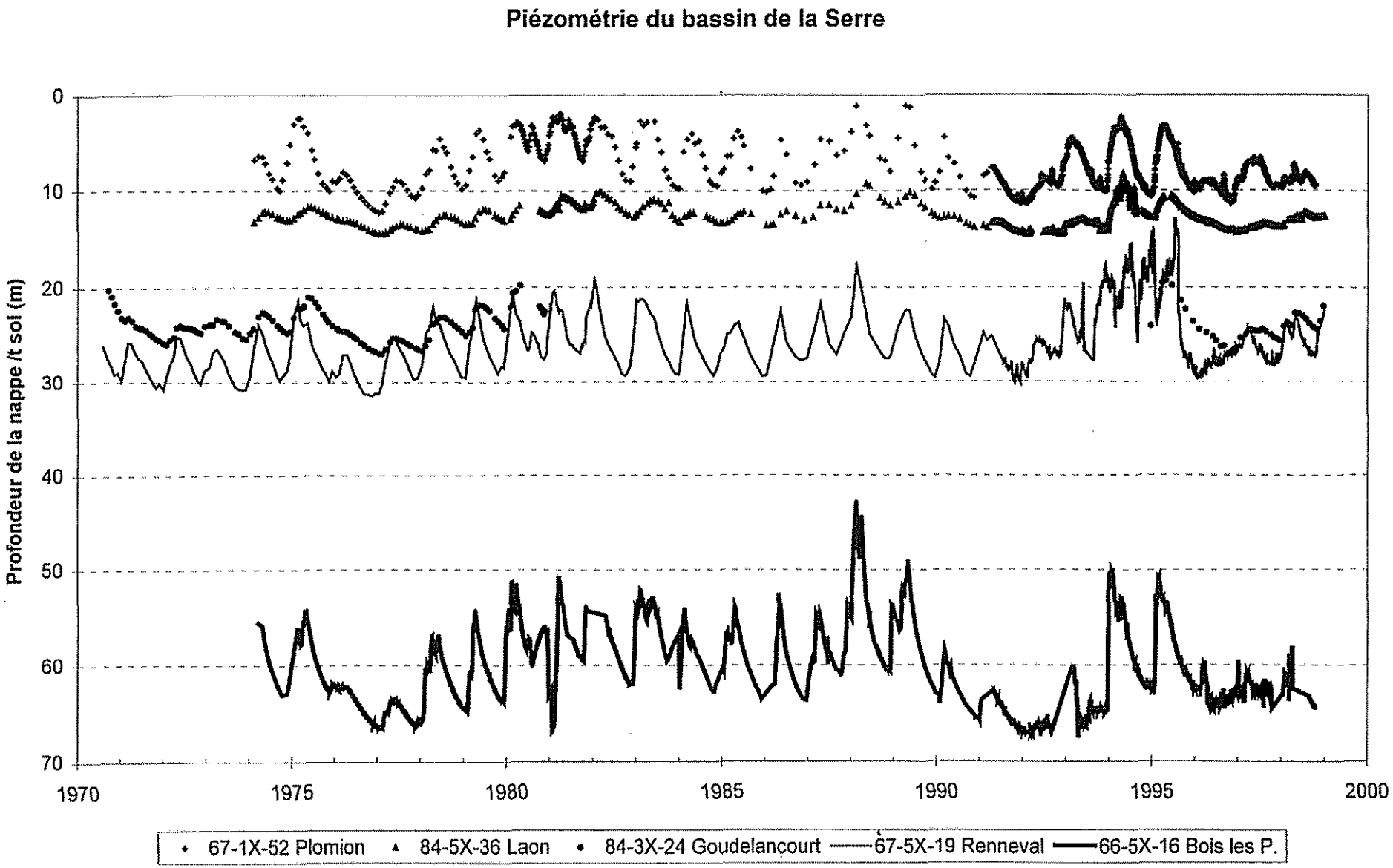


Fig. 7 - Fluctuations piézométriques de la nappe de la craie dans le bassin de la Serre depuis 1970.

2.5. PIÉZOMÉTRIE

La figure 7 présente l'évolution de la profondeur de la nappe au cours du temps depuis les années 1970, au niveau des 5 piézomètres en service à l'heure actuelle.

La variabilité saisonnière est bien marquée. Une variabilité interanuelle, assez faible, apparaît sous forme de recharges successives excédentaires puis déficitaires sur plusieurs années. Cela traduit l'existence d'une forte diffusivité du réservoir aquifère, d'une réalimentation rapide et d'un bon drainage.

Les hautes eaux ont atteint des cotes exceptionnelles en 1988, 1994 et 1995, alors que des étiages marqués ont été enregistrés en 1976, 1977, 1992 et 1996.

Le détail des fluctuations entre novembre 1994 et décembre 1995 est reporté en figure 6, de manière à avoir une vision globale et simultanée des évolutions piézométriques, des fluctuations de débit dans les rivières et des précipitations à cette époque. Cette figure montre que la nappe réagit plus ou moins fortement selon les endroits aux fortes pluies efficaces de l'hiver 1994/1995. Le piézomètre de Renneval a un comportement déphasé dû à sa position entre les deux sous-bassins de la Serre au sud et de la Brune au nord : crue hivernale due aux pluies de l'automne 1994, crue estivale due aux pluies de janvier et février 1995. Le niveau de la nappe à Bois-le-Pargny, non loin de la station de Mortiers, réagit avec une tendance globale identique à celle du débit de la rivière à Mortiers, abstraction faite des pics qui sont lissés.

3. Étude des relations nappe-rivière dans le bassin de la Serre

Ce chapitre a pour but d'initier une réflexion sur les éventuelles relations qui pourraient exister entre les teneurs en pesticides enregistrées dans les rivières et dans la nappe, d'après les informations disponibles sur le bassin et présentées au chapitre 2.

En préambule, la figure 8 présente un aperçu de la situation concernant la pollution par l'atrazine dans le bassin, molécule largement retrouvée à la fois dans les eaux superficielles et souterraines et pour laquelle on dispose du plus grand nombre d'analyses. L'on remarquera que la plupart des concentrations se situent dans la gamme 0,05-0,30 µg/l, aussi bien dans la nappe que dans les eaux de rivières. Quelques teneurs importantes ont toutefois été enregistrées dans les eaux de rivières, pouvant atteindre 1,4 µg/l.

Cette vision globale de la pollution par l'atrazine est cependant très imparfaite, étant donné les périodes et fréquences différentes à laquelle ont été analysées les eaux souterraines et superficielles : entre 1990 et 1998 pour la nappe, concentrées sur 8 mois seulement en 1994/1995 pour les rivières. Cela illustre une des difficultés à laquelle on se trouve confronté pour aborder la problématique des relations nappe-rivière.

Afin de pousser plus loin les investigations sur les relations nappe-rivière en matière de transferts de pesticides, nous nous sommes intéressés à 2 sites où des chroniques fournies de teneurs en pesticides des eaux de nappe sont disponibles, et qui sont situés à proximité d'une rivière : Tavaux et Ponséricourt et Marle.

3.1. SECTEUR DE TAVAUX ET PONSERICOURT

Le captage de Tavaux et Ponséricourt (66-8X-34) est situé sur un versant au nord du village (cf. fig. 9), à une altitude de 140 m, l'altitude de la nappe en ce point étant de l'ordre de 100 m d'où une profondeur de nappe d'environ 40 m. Au sud de la ville coule la Serre à une altitude d'environ 95 m. La distance entre le captage et la rivière est d'environ 1 km, soit un gradient hydraulique de l'ordre de 5 à 7 ‰. Un des lieux de prélèvement des eaux de rivière par la DIREN en 1994/1995 était situé dans ce secteur, près de Saint-Pierremont.

Les teneurs en pesticides et les débits mesurés dans la Serre à Saint-Pierremont entre novembre 1994 et août 1995 sont reportés en figure 10a. Seuls les pesticides détectés au moins une fois ont été pris en compte : atrazine, déséthylatrazine, simazine, diuron, isoproturon et 2,4-MCPP. Le débit de la Serre à Mortiers est indiqué de manière à

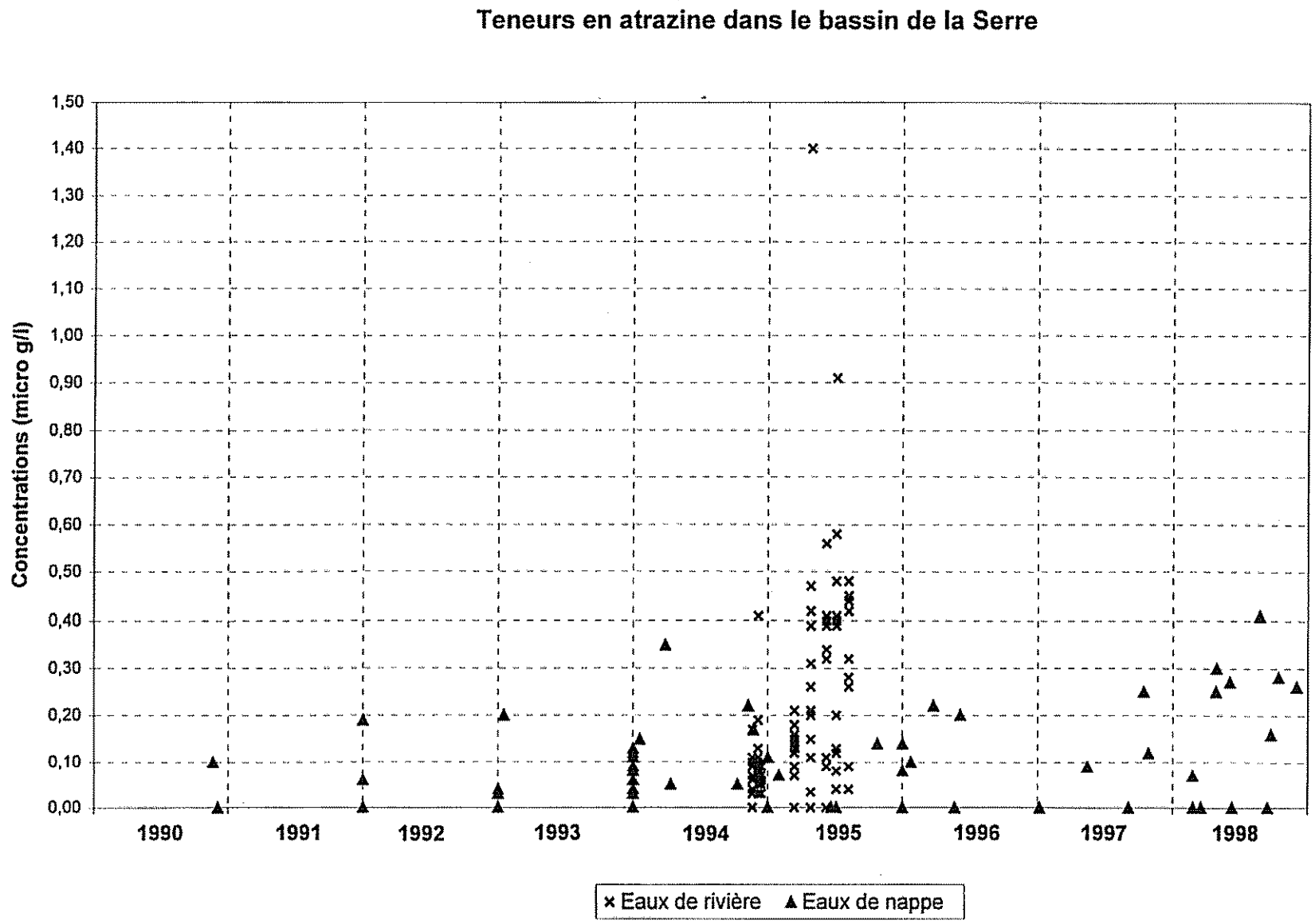


Fig. 8 – Teneurs en atrazine dans le bassin de la Serre.

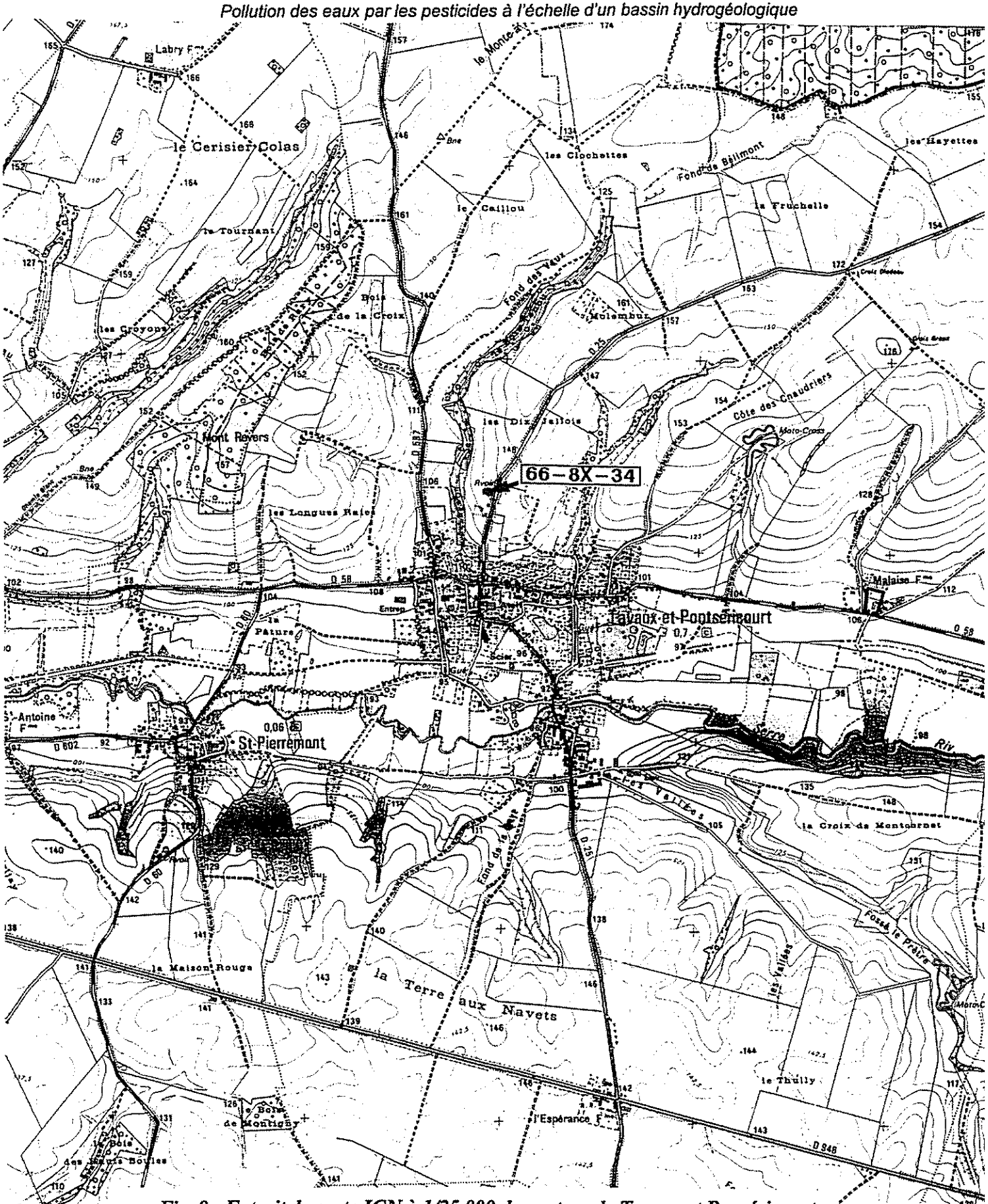


Fig. 9 - Extrait de carte IGN à 1/25 000 du secteur de Tavaux et Ponsérincourt.

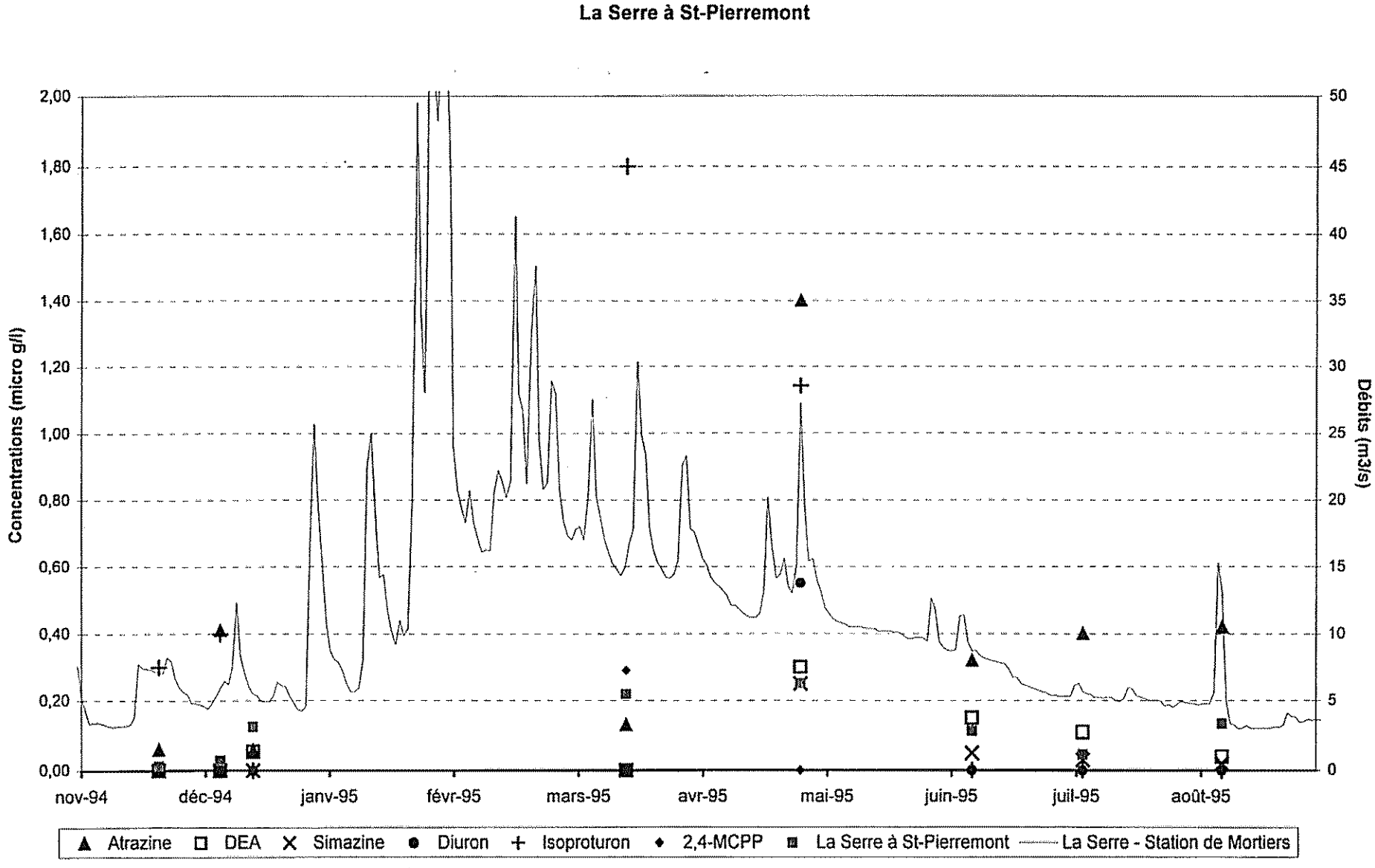


Fig. 10a - Débits et teneur en pesticides des eaux de la Serre à Saint-Pierremont entre novembre 1994 et août 1995.

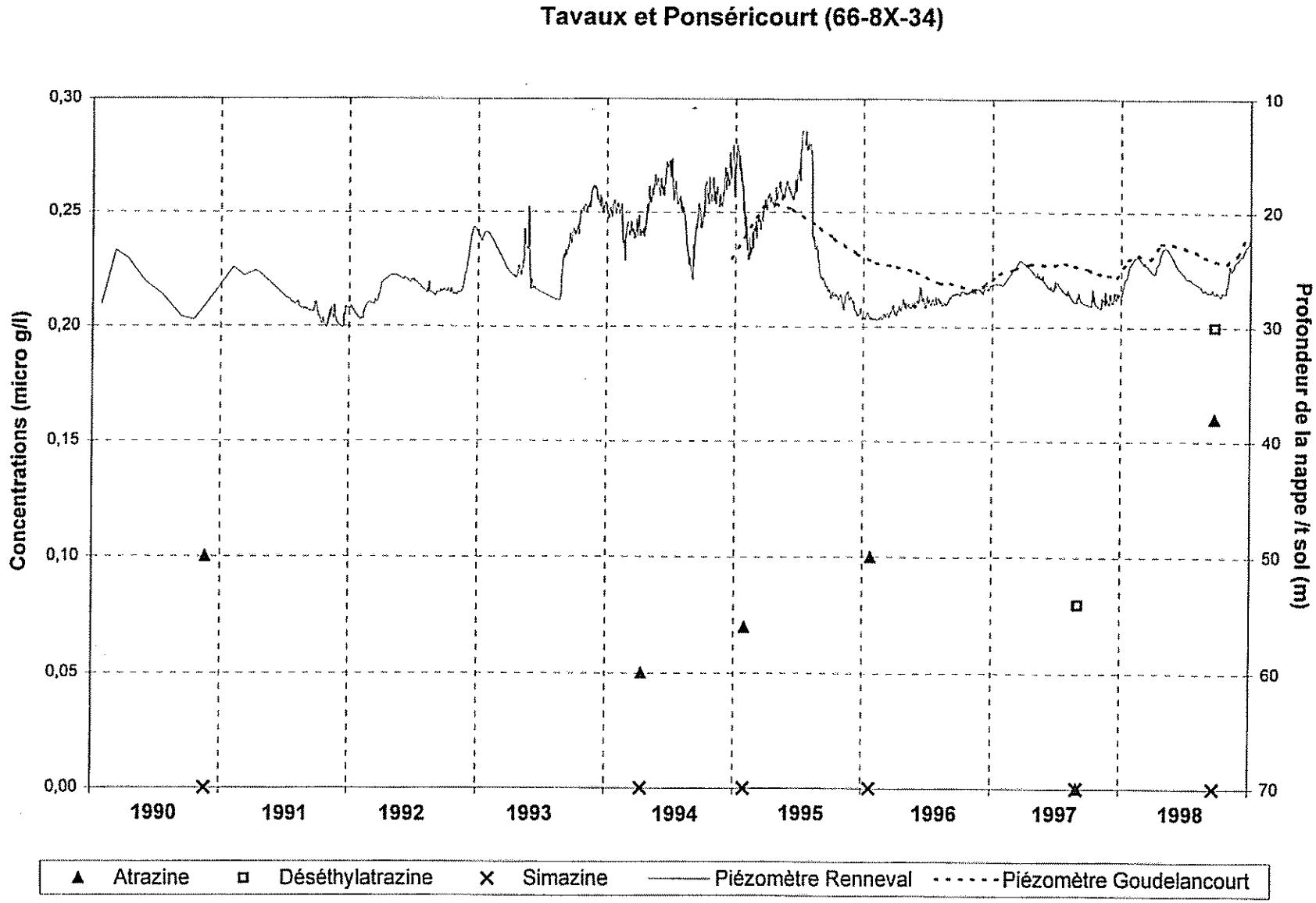


Fig. 10b – Teneurs en pesticides au captage de Tavaux et Ponsérícourt.

donner un aperçu de la fluctuation journalière des débits dans le bassin et à compléter la vision fragmentaire donnée par les 8 mesures de débit à Saint-Pierremont. Les plus fortes concentrations dans la rivière ont été enregistrées au moment des crues printanières (mars et avril 1995) ; il n'y a toutefois pas eu de prélèvements en janvier et février 1995, période à laquelle les débits et la pluviométrie ont été les plus forts.

La figure 10b synthétise les données sur la nappe, avec les teneurs en pesticides mesurées au captage de Tavaux et Ponsériçourt et les évolutions piézométriques connues sur les 2 piézomètres les plus proches, Renneval (67-5X-19) et Goudelancourt (84-3X-24). Seules 2 molécules ont été détectées dans la nappe, à des concentrations dépassant parfois les 0,10 µg/l : l'atrazine et la déséthylatrazine. Ces 2 molécules sont présentes dans la rivière, à des teneurs en général supérieures. La simazine, le linuron, l'isoproturon et le 2,4-MCPP, qui ont été retrouvés dans la rivière, n'ont pas été recherchés dans la nappe, à l'exception de la simazine qui a été analysée plusieurs fois mais avec des résultats toujours inférieurs à la limite de détection de 0,05 µg/l (cf. fig. 10b).

En conclusion, les données fragmentaires sur les teneurs en pesticides dans la nappe et la rivière dans le secteur de Tavaux et Ponsériçourt ne permettent pas de mettre clairement en évidence un transfert nappe-rivière mais incitent à approfondir les investigations dans ce sens. La contamination de la Serre par la nappe pourrait expliquer le bruit de fond du niveau de pollution observé dans la rivière, telles que les teneurs enregistrées en novembre et décembre 1994 à Saint-Pierremont, avant les forts évènements pluvieux de janvier et février 1995. Les teneurs importantes mesurées dans les eaux de la Serre à Saint-Pierremont au printemps 1995 proviendraient essentiellement des conséquences du ruissellement lors des fortes pluies de l'hiver, et pourraient être aussi liées à des événements accidentels ponctuels.

3.2. SECTEUR DE MARLE

Le captage de Marle (66-6X-09) est situé à la confluence des vallées du Vilpion et de la Serre, au nord de la ville (cf. fig. 11), à une altitude de 82 m environ, la profondeur de la nappe étant de l'ordre de 5 m (mesure d'octobre 1970). La distance entre le captage et les deux rivières est de l'ordre du kilomètre. Au niveau de la confluence, les deux rivières ont une cote d'environ 80 m. Les niveaux d'eau dans la rivière et dans la nappe sont donc à peu près semblables, ce qui suppose des inversions de gradient hydraulique à certaines époques de l'année. En particulier en période de pompage dans le captage, le niveau de l'eau dans la nappe doit être inférieur au niveau de l'eau dans la rivière.

La zone d'alimentation du captage de Marle ainsi que sa situation géologique sont indiquées en annexe 3.

Le Vilpion et la Serre communiquent entre elles par deux déversoirs : l'un est situé en amont de Marle au sud-est du captage où une partie de la Serre se déverse dans le

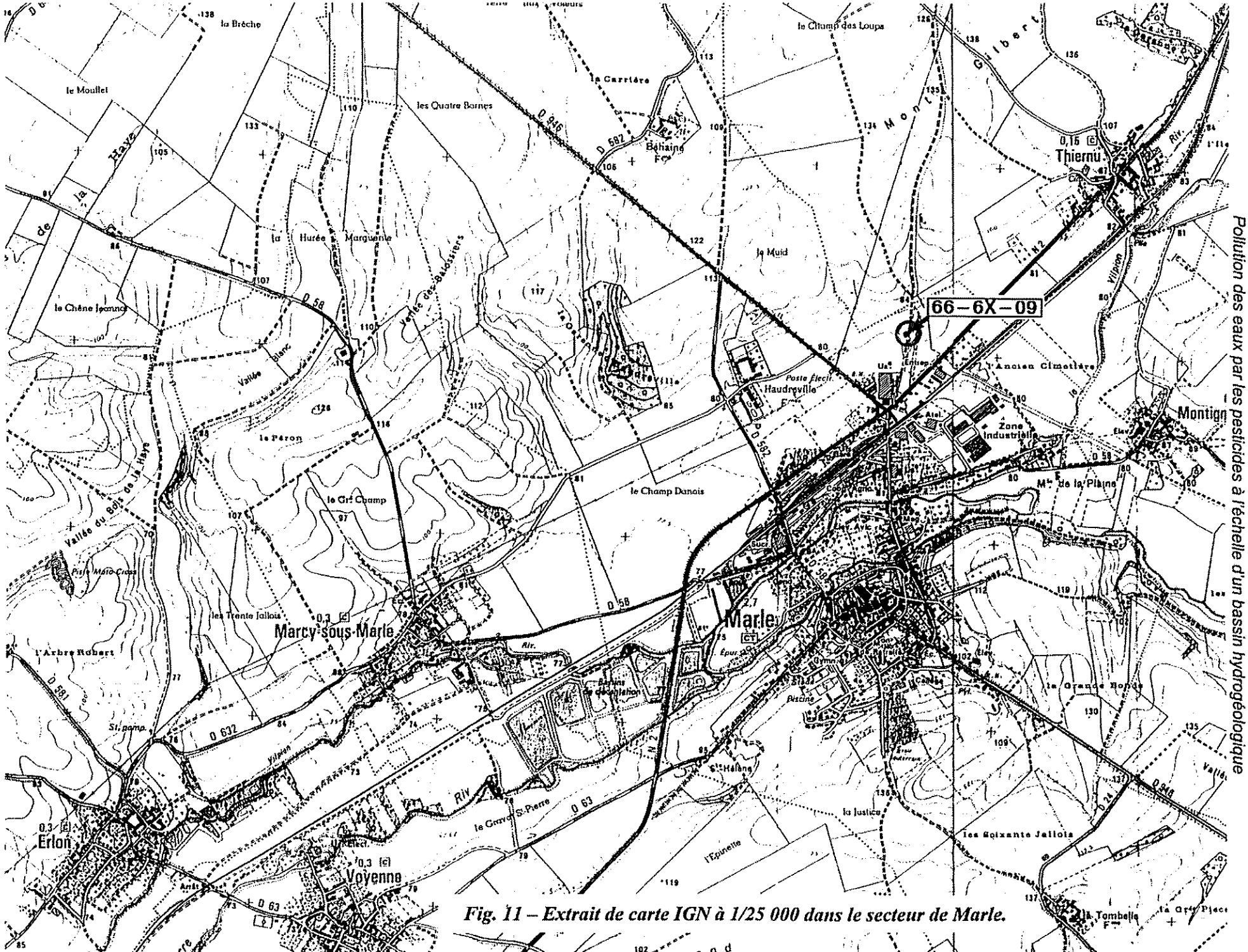


Fig. 11 – Extrait de carte IGN à 1/25 000 dans le secteur de Marle.

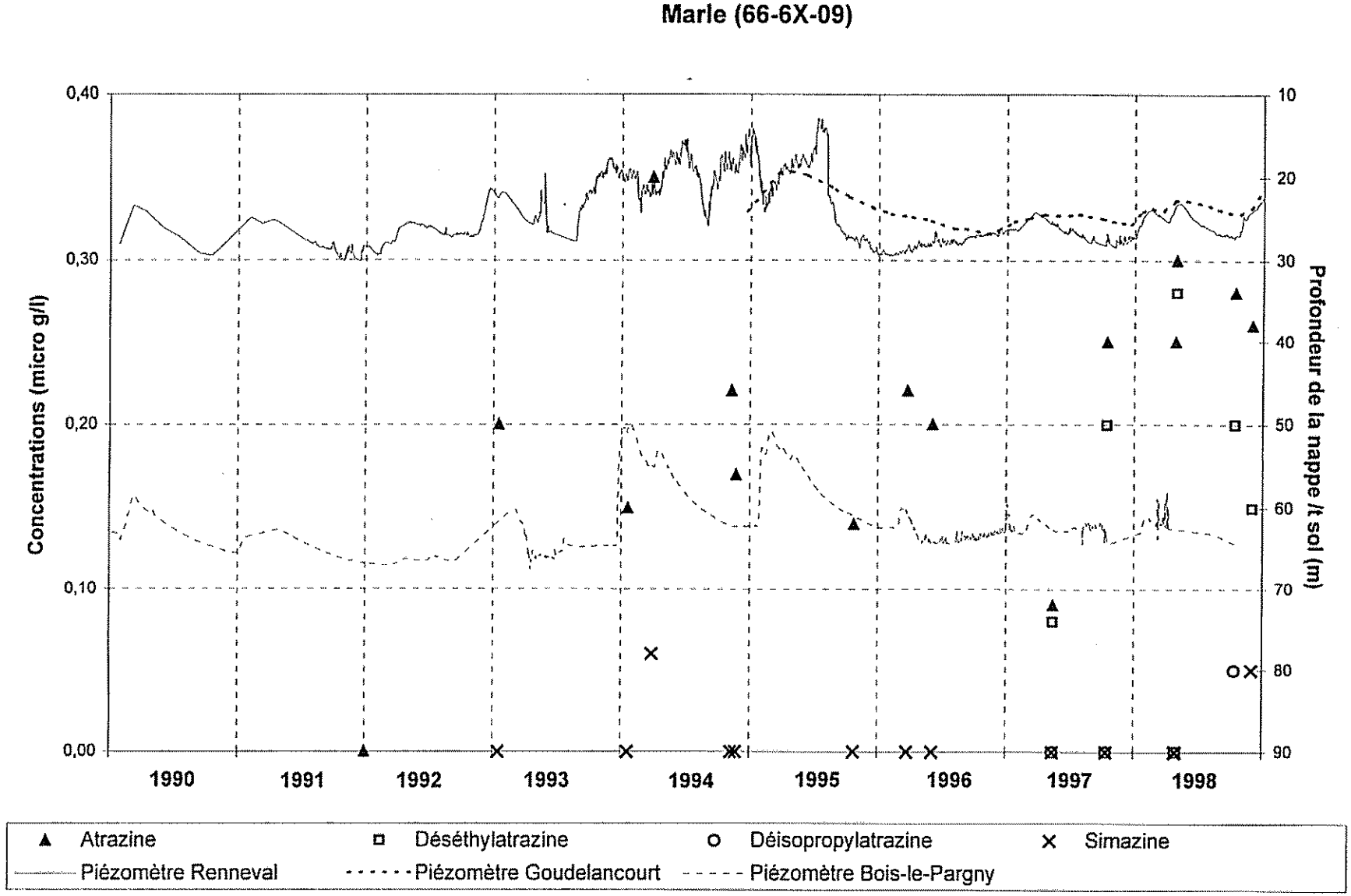


Fig. 12 - Teneurs en pesticides au captage de Marle et piézométrie de la nappe.

Vilpion (environ 80 %), l'autre est situé en aval de Marle où une partie du Vilpion se rejette de nouveau dans la Serre.

Les campagnes de prélèvement des eaux de rivière par la DIREN en 1994/1995 ont concerné plusieurs points situés sur la Serre et le Vilpion, en amont et en aval de Marle.

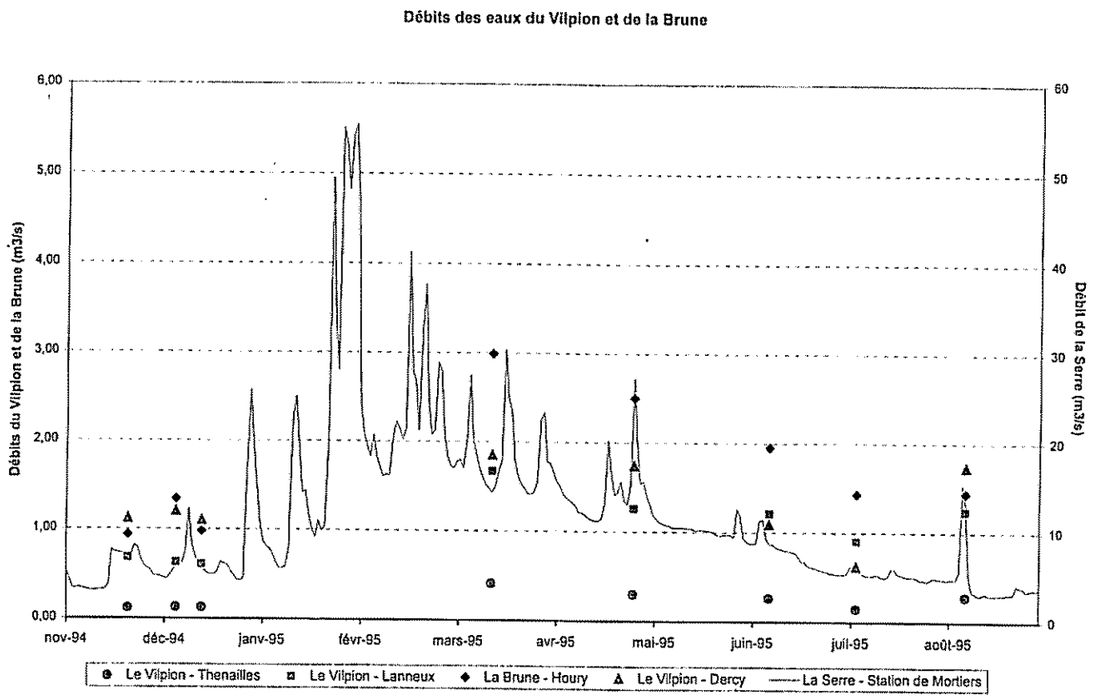
Il faut noter l'existence dans ce secteur de vallée d'une zone industrielle, située en amont de Marle au niveau de la confluence, ainsi que d'une voie ferrée. Cette dernière, reliant notamment Laon à Vervins, remonte la vallée de la Serre à partir des environs de Mortiers puis la vallée du Vilpion entre Marle et Les Lanneux avant de bifurquer vers Vervins.

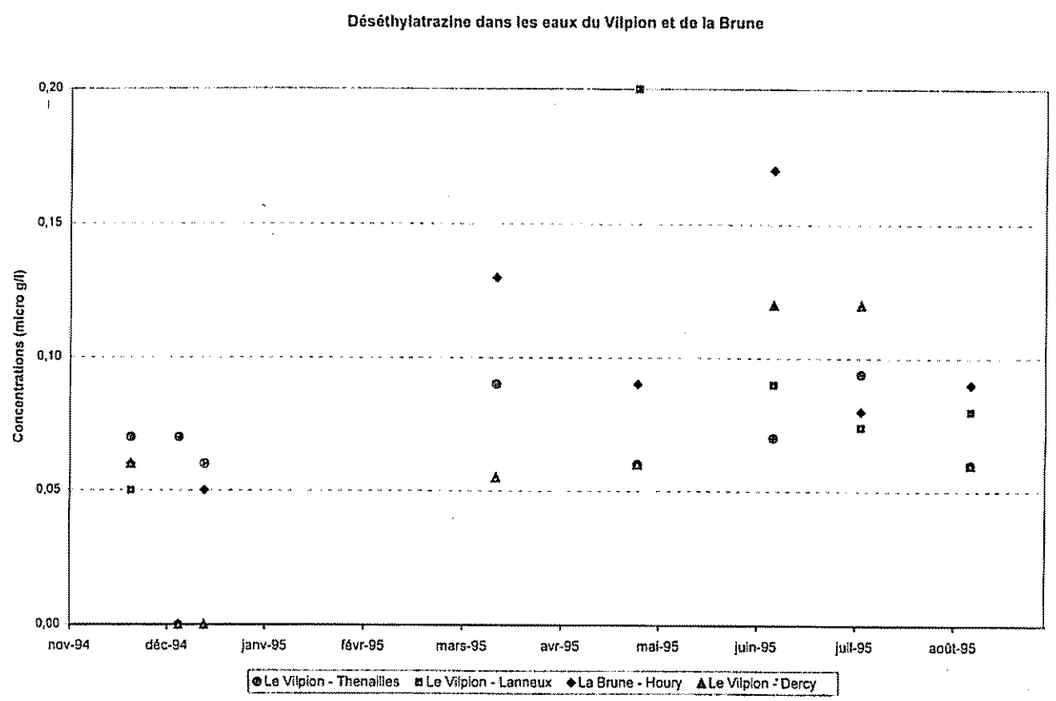
La figure 12 synthétise les données sur la nappe, avec les teneurs en pesticides mesurées au captage de Marle et les évolutions piézométriques enregistrées à Bois-le-Pargny (66-5X-16), Goudelancourt (84-3X-24) et Renneval (67-5X-19). Seules 4 molécules ont été détectées dans la nappe. L'atrazine semble en augmentation constante depuis 1993 et avoisine maintenant les 0,30 µg/l, avec toutefois un pic à 0,35 µg/l en mars 1994. Deux des produits de dégradation de l'atrazine, analysés seulement depuis 1997, ont été détectés : la déséthylatrazine, dont la présence est persistante et qui dépasse le seuil de 0,10 µg/l, et la déisopropylatrazine détectée pour la première fois en octobre 1998 avec une concentration de 0,05 µg/l. Cette dernière n'a toutefois pas été recherchée lors de l'analyse de décembre 1998. La simazine, recherchée depuis 1993, n'a été détectée que deux fois, en mars 1994 et décembre 1998, à des concentrations de 0,06 et 0,05 µg/l respectivement.

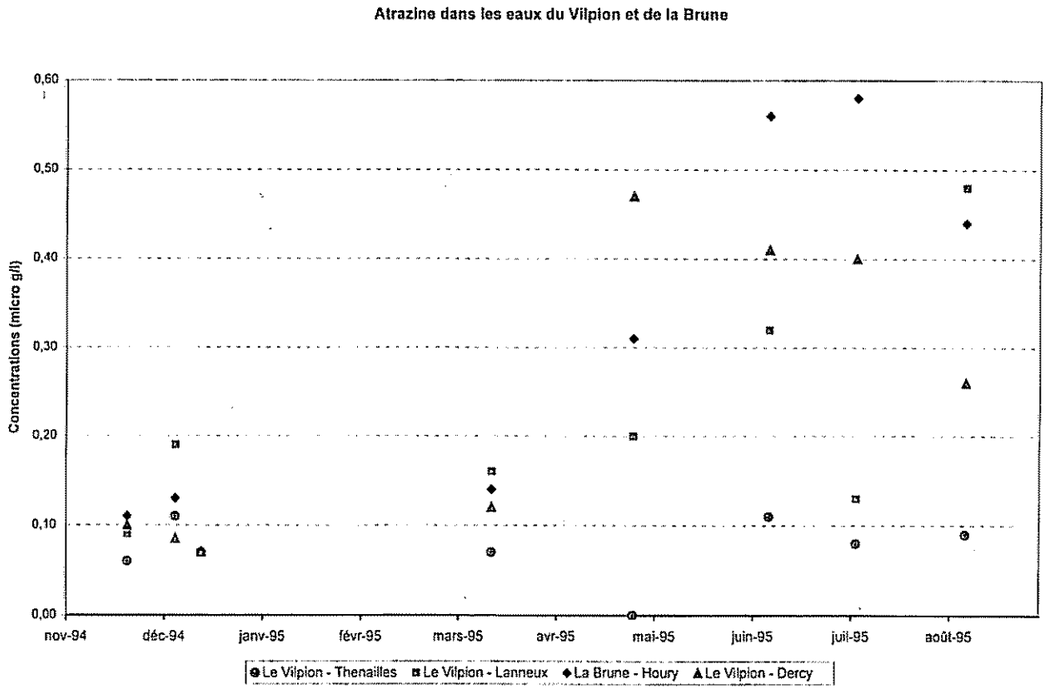
La situation dans les deux rivières voisines en amont et en aval de Marle est synthétisée sur la figure 13 pour le Vilpion et son affluent la Brune, et sur la figure 14 pour la Serre, où sont reportés pour la période novembre 1994 - août 1995 les débits des rivières et les teneurs des 3 molécules retrouvées dans la nappe au captage de Marle, à savoir l'atrazine, la déséthylatrazine et la simazine (la déisopropylatrazine n'a pas été analysée lors des campagnes de prélèvement dans les eaux superficielles).

Ces 3 molécules sont aussi retrouvées quasi systématiquement dans les deux rivières, aussi bien très à l'amont, comme à Thenailles sur le Vilpion ou au Fréty sur la Serre, qu'en aval à Dercy et Pont-à-Bucy. On note toutefois que les teneurs sont beaucoup plus fortes et dispersées après les fortes pluies de l'hiver 94/95, tout comme les débits. Les différences de l'amont vers l'aval des rivières ne sont pas très sensibles, même s'il est vrai que les teneurs sont tout de même moindres très en amont, à Thenailles ou au Fréty.

Cependant dès les Lanneux pour le Vilpion, et dès Saint-Pierremont pour la Serre, les teneurs deviennent élevées, ainsi que sur la Brune où la pollution est la plus marquée. Les teneurs sur le Vilpion et la Serre à Dercy sont semblables, ce qui illustre la communication entre ces deux rivières dans ce secteur de vallée compris entre Marle et Dercy. Entre Pont-à-Bucy et Dercy, les teneurs sont semblables pour l'atrazine et son produit de dégradation, mais des différences plus notables sont notées pour la simazine.







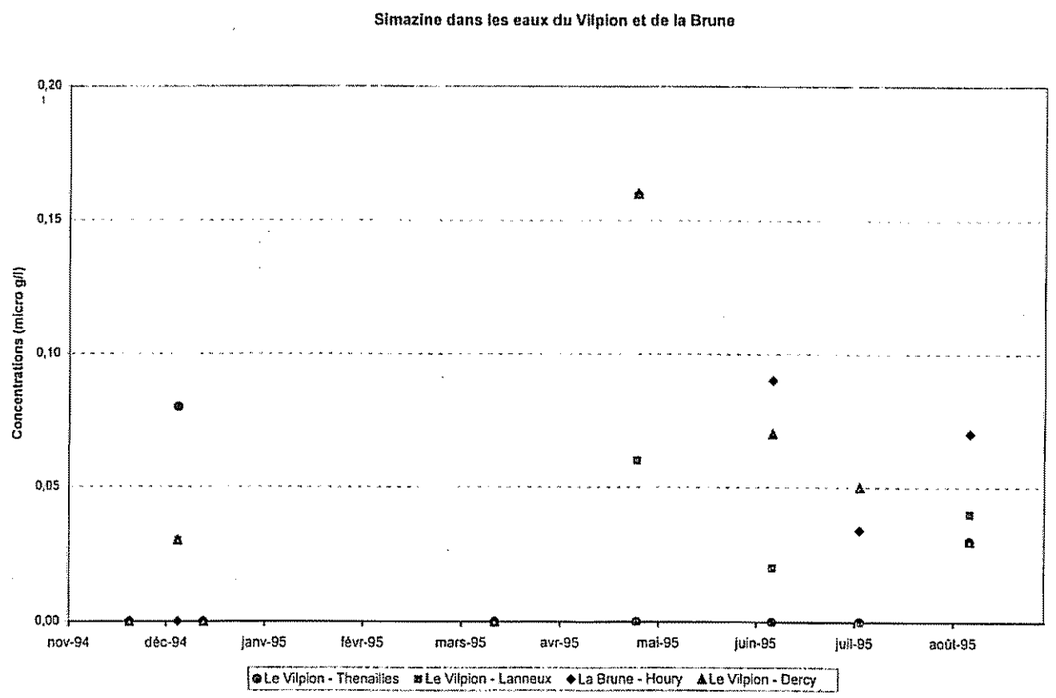
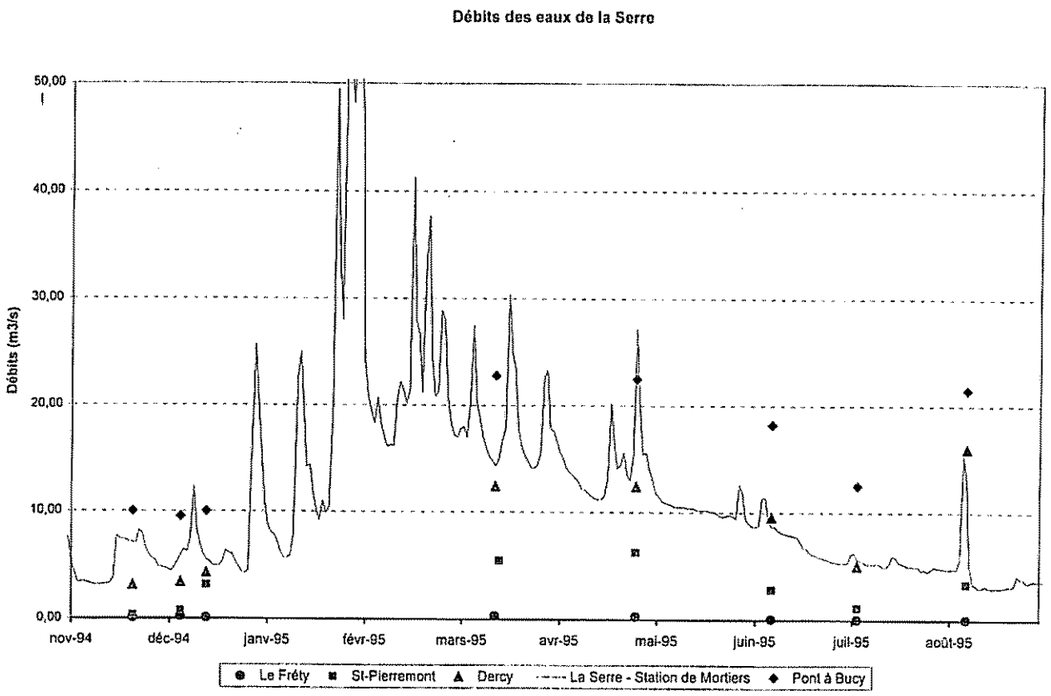
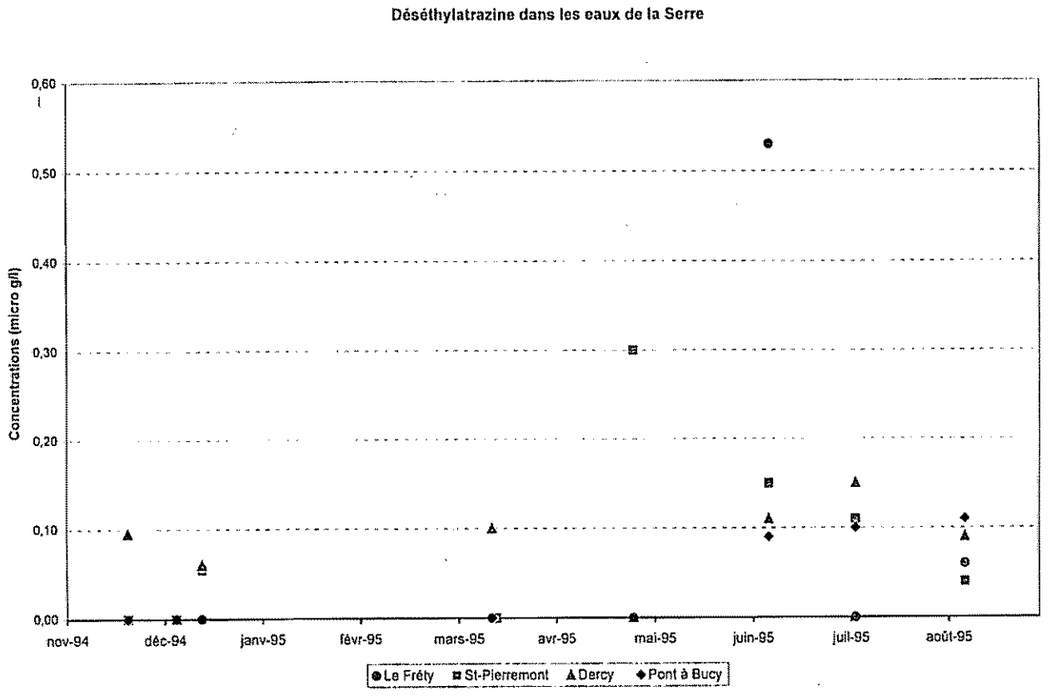
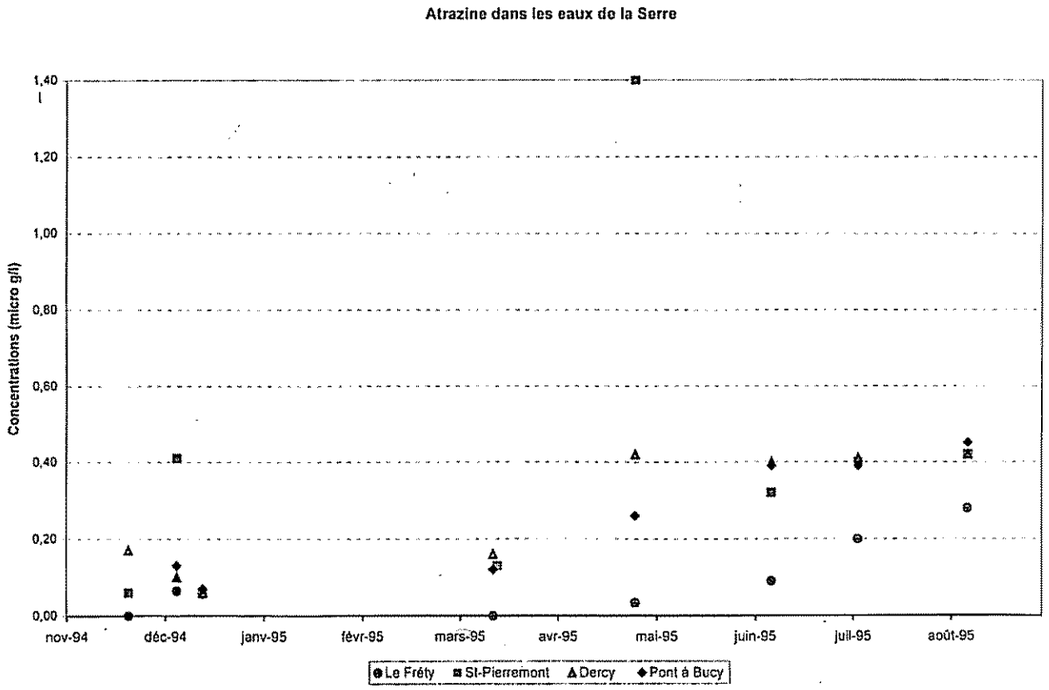


Fig. 13 - Débits et teneurs en pesticides des eaux du Vilpion et de la Brune entre novembre 1994 et août 1995.







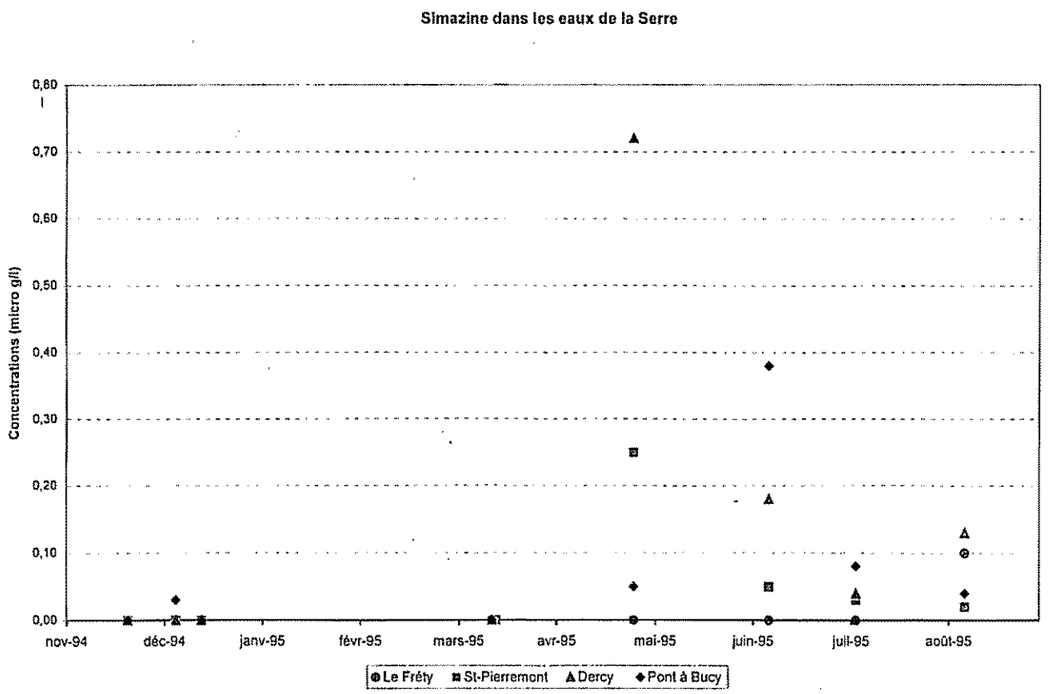


Fig. 14 - Débits et teneurs en pesticides des eaux de la Serre entre novembre 1994 et août 1995.

Les ordres de grandeur des concentrations de l'atrazine dans les eaux superficielles et souterraines sont semblables :

- entre 0,10 et 0,30 µg/l au captage de Marle entre 1993 et 1998 ;
- entre 0,05 et 0,40 µg/l dans les eaux de la Serre entre novembre 1994 et août 1995 ;
- entre 0,05 et 0,60 µg/l dans les eaux du Vilpion et de la Brune entre novembre 1994 et août 1995.

De même, les ordres de grandeur des concentrations de la déséthylatrazine dans les eaux superficielles et souterraines sont semblables :

- entre 0,05 et 0,30 µg/l au captage de Marle entre 1997 et 1998 ;
- entre 0,05 et 0,20 µg/l dans les eaux de la Serre entre novembre 1994 et août 1995, avec toutefois deux pointes montant à 0,30 et 0,50 µg/l ;
- entre 0,05 et 0,20 µg/l dans les eaux du Vilpion et de la Brune entre novembre 1994 et août 1995.

Concernant les teneurs en simazine :

- supérieures à la limite de détection de 0,05 µg/l à deux reprises seulement au captage de Marle, en mars 1994 (0,06 µg/l) et décembre 1998 (0,05 µg/l), les analyses effectuées fin 1994 et fin 1995 n'ayant rien détecté ;
- entre 0 et 0,20 µg/l dans les eaux de la Serre entre novembre 1994 et août 1995, avec toutefois quelques valeurs supérieures avec un maximum de 0,70 µg/l à Dercy en avril 1995 ;
- entre 0 et 0,16 µg/l dans les eaux du Vilpion et de la Brune entre novembre 1994 et août 1995.

En conclusion, les données fragmentaires sur les teneurs en pesticides dans la nappe et la rivière dans le secteur de Marle ne permettent pas de mettre clairement en évidence un transfert nappe-rivière mais incitent à approfondir les investigations dans ce sens.

La contamination de la Serre et du Vilpion par la nappe pourrait expliquer le bruit de fond du niveau de pollution dans ces rivières, telles que les teneurs enregistrées en novembre et décembre 1994 dans les deux rivières, avant les forts événements pluvieux de janvier et février 1995. Les teneurs importantes mesurées dans la Serre, le Vilpion et la Brune au printemps 1995 ne peuvent provenir que des conséquences du ruissellement lors des fortes pluies de l'hiver, et parfois être aussi liées à des événements accidentels ponctuels.

Au vu de la situation hydrologique et hydrogéologique de ce secteur précis, il n'est pas non plus impossible que la rivière contribue indirectement à une contamination de l'eau pompée au captage. En effet, le captage en exploitation pourrait attirer de l'eau de l'aquifère alluvial, lui-même en relation hydrodynamique avec la rivière.

4. Programme d'investigations complémentaires

Les données disponibles sur les teneurs en pesticides des eaux souterraines et superficielles dans le bassin de la Serre sont insuffisantes, car fragmentaires et non synchrones, pour établir un lien entre la contamination des rivières et de la nappe via les transferts entre ces deux milieux et pour établir un programme de protection des captages d'eau destinés à la consommation humaine.

Un programme d'investigations complémentaires doit donc être mené, avec deux grands volets : des compléments de mesures et d'analyses, des enquêtes sur les utilisations agricoles et non agricoles des molécules retrouvées dans les eaux. Il permettra notamment de voir si on a affaire à une pollution chronique, sans doute étendue et durable, ou à une pollution plus localisée et sans doute plus épisodique et plus facilement maîtrisable.

Il serait également intéressant de mettre en œuvre la méthode nationale SIRIS à l'échelle du bassin de la Serre.

4.1. COMPLÉMENTS DE MESURES ET D'ANALYSES

Afin de remédier au caractère fragmentaire des données disponibles, il est nécessaire de procéder à un suivi régulier des eaux souterraines et superficielles, avec la même liste de molécules recherchées, et en faisant appel au même laboratoire d'analyse de manière à utiliser les mêmes méthodes d'analyse et surtout à avoir les mêmes limites de détection.

Concernant les ouvrages captants la nappe, il serait intéressant d'effectuer des analyses non seulement dans les captages d'eau potable, mais aussi dans d'autres ouvrages particuliers existants, tels que forages d'irrigation, forages industriels, piézomètres et sources, de manière à avoir une meilleure connaissance spatiale de l'ampleur de la pollution dans la nappe.

Des investigations plus fines à la fois dans le temps et dans l'espace devraient être conduites dans des secteurs proches d'une rivière où des contaminations à la fois des eaux souterraines et superficielles ont été mises en évidence, comme à Tavaux et Ponséricourt et Marle. Des prélèvements dans la nappe entre le captage et la rivière devraient être effectués de manière à établir des profils hydrogéochimiques. Nous proposons de prospecter dans plusieurs secteurs sensibles selon des profils à établir à partir de points d'eau existants (cf. fig. 15 et tabl. 1) :

Profil I (Vallée du Péron) : secteur de grandes cultures céréalières avec vallée bien individualisée, pollution détectée sur le plateau et en rivière, nappe profonde (> 20 m).

Profil II (Vallée du Vilpion) : en amont de Marle et de la confluence avec la Serre, captage AEP contaminé, sous influence de la rivière qui draine un secteur d'herbages en amont du bassin.

Profil III (Vallée de la Serre) : versant nord peu étendu avec nombreuses dépressions couvertes d'herbages et de polycultures, nappe peu profonde dans la craie du Turonien (< 20 m).

Profil IV (Vallée de Landouzy) : en amont de la confluence avec le Vilpion, petite vallée couverte de prairies avec des sources perchées et du ruissellement.

Profil V (Vallée de la Serre) : secteur vallonné, en amont du bassin, avec plusieurs petits villages et fermes d'élevage, couvert de pâturages et de polycultures ; présence de nombreuses sources sur le versant nord, nappe peu profonde (< 20 m).

Profil VI (Plaine du Laonnois) : secteur de plaine couverte de cultures légumières avec irrigation intense et captages AEP à l'écart des villages ; recouvrement de la craie assez réduit (< 1 m).

Profil VII (Vallée de la Souche) : secteur de marais avec nappe subaffleurante ou artésienne, forte épaisseur d'alluvions tourbeuses, irrigation en bordure de vallée, pas de détection de pesticides connue à ce jour.

Profil VIII (Vallée des Barentons) : bassin drainant les nappes du Tertiaire autour de la butte de Laon, recouvrement superficiel assez hétérogène, vallée à caractère marécageux, cultures variées avec un peu d'irrigation.

Tout prélèvement dans la nappe et la rivière doit bien sûr être accompagné par une mesure du niveau de la nappe et du débit de la rivière.

La mesure des débits moyens journaliers de la Serre sur la station de Mortiers est très intéressante et est sans doute suffisante pour connaître la tendance continue des variations de débit des eaux superficielles dans le bassin.

Par contre, il sera nécessaire de connaître aussi les précipitations journalières sur le bassin. Les données mensuelles utilisées au stade présent de l'étude sont insuffisantes pour approfondir les investigations.

Il serait également important de procéder à une série d'analyses des eaux de pluie, étant donné que la synthèse bibliographique établie au chapitre 1 a montré que la pluie pouvait être un vecteur de pollution significatif concernant les pesticides.

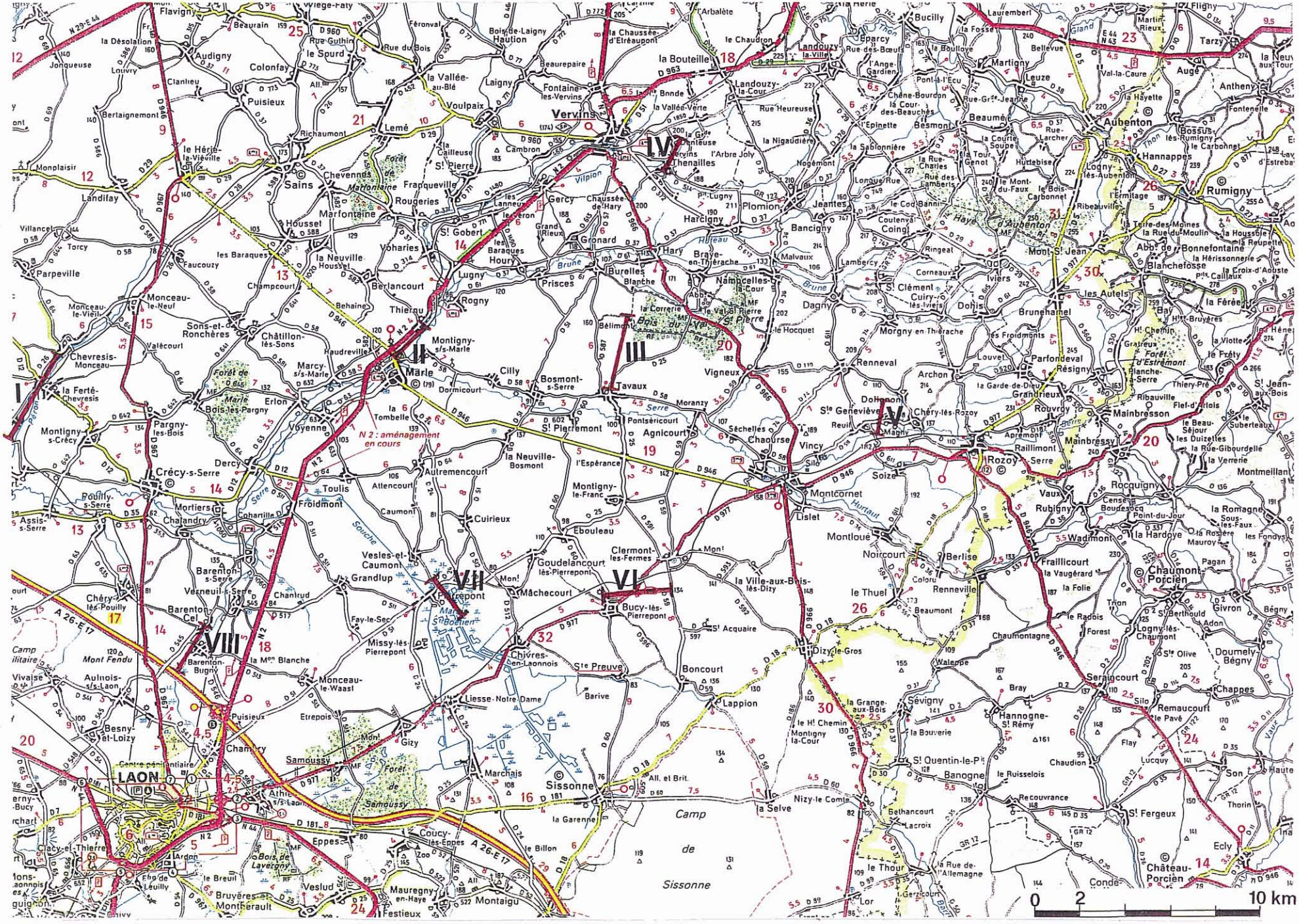


Fig. 15 - Localisation des 8 profils proposés pour des investigations complémentaires.

	Indice	Commune	Lieu-dit	Nature
PROFIL I	65-8X-3	La Ferté-Chevrésis	Ferme de la Ferrière	Puits de la ferme – Réseau qualité 02
	65-8X-18	Chevrésis-Monceau	Village (M. Platel à la Péronnette)	Source privée
(vallée du Péron)		Catillon-le-Temple	Château de Richecourt	Rivière le Péron
	65-7X-47	Nouvion et Catillon	Le Bahon	Captage AEP
PROFIL II	66-6X-9	Marle	Station de pompage	Captage AEP
	66-7X-16	Marle	Compagnie Industrielle alimentaire	Forage industriel
	66-7X-45	Marle	Bayer SCB	Piézomètre dans les alluvions
(vallée du Vilpion)	66-7X-47	Marle	Bayer SCB	Piézomètre dans la craie
		Marle	Moulin de la Plaine	Rivière le Vilpion
		Thiernu	Gué	Rivière le Vilpion
		Marle	Usine Noiret ?	Etang en alluvions
PROFIL III	Indice	Commune	Lieu-dit	Nature
	66-6X-28	Tavaux-et-Pontséricourt	Ru de la Fontaine	Source communale
	66-6X-34	Tavaux-et-Pontséricourt	Château d'eau	Forage AEP
(vallée de la Serre)		Tavaux-et-Pontséricourt	La Serre à Pontséricourt	Rivière La Serre
	66-6X-35	Burelles	Ferme de Bélimont	Puits de la ferme
	66-6X-24	Tavaux	Fontaine Richet	Source Communale
PROFIL IV	66-4X-44	Thenailles	Fond du Bois	Source
	66-4X-46	Vervins	La Grande Denteuse	Source AEP
	66-4X-135	Vervins	Petit Vervins	Puits de ferme
(vallée de Landouzy)		Thenailles	Ru de Landouzy – Pont sous la D 514 (Pont Rouge)	Rivière le Ru de Landouzy
		Thenailles	Le Vilpion – Pont sous la D 514 ou gué	Rivière le Vilpion
	67-6X-12	Sainte-Geneviève	Réservoir	Puits AEP
	67-6X-13	Sainte-Geneviève	Source de la Fontaine	Fontaine communale + lavoir
PROFIL V	67-6X-18	Sainte-Geneviève	Source Maquet	Griffons
		Sainte-Geneviève	Route de Dolignon	Source
(vallée de la Serre)		Sainte-Geneviève	La Serre – Pont, ancienne usine électrique	Rivière la Serre
		Sainte-Geneviève	La Serre – gué à la confluence du ru de Sainte-Geneviève	Rivière la Serre
PROFIL VI	84-4X-34	Bucy-les-Pierrepont	Réservoir Route de Clermont	Puits AEP
	84-4X-115	Bucy-les-Pierrepont	Fond de l'Enfer Monsieur Cryns	Forage agricole
(plaine du Laonnois)	84-4X-116	Bucy-les-Pierrepont	Fond de l'Enfer Monsieur Cryns	Forage agricole
	84-4X-30	Bucy-les-Pierrepont	Usine Pimelia	Forage industriel
	84-4X-31 ou 36	Bucy-les-Pierrepont	Ferme Renard – rue de Chivres	Puits privé
PROFIL VII	84-3X-34	Pierrepont	Route de Cuirieux	Puits AEP
	84-3X-94	Pierrepont	Les Prés de Froimont Monsieur Yverneau	Forage agricole
(vallée de la Souche)	84-3X-93	Pierrepont	Marais de la Souche Ets Darquenne	Forage agricole
	84-3X-95	Pierrepont	Les Broches Monsieur Pinon	Forage agricole
		Pierrepont	La Souche – Pont de la D.51	Rivière la Souche
PROFIL VIII	84-1X-2	Baranton-Cel	Prise d'eau	Puits AEP
	84-1X-63	Baranton-Cel	La Bascule Monsieur Brazier	Forage agricole
(vallée des Barentons)	84-1X-67	Aulnois-sous-Laon	Allée des Pommiers SCA Saint-Georges	Forage agricole
	84-1X-70	Aulnois-sous-Laon	Ferme de Reneuil Monsieur Pigeon	Forage agricole
		Aulnois-sous-Laon	Ru des Barentons – Aval autoroute A.26	Rivière le Ru des Barentons
		Baranton-Bugny	Ru des Barentons Gué, Jardin Pacquot	Rivière le Rû des Barentons
		Baranton-Bugny	Ru des Barentons Pont, les Prés Harmont	Rivière le Rû des Barentons

Tabl. 1 - Points potentiels de prélèvements pour des investigations complémentaires selon 8 profils hydrogéochimiques.

4.2. ENQUÊTES SUR LES UTILISATIONS DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES

Il est nécessaire de procéder également à une enquête historique sur les utilisations et usages à la fois agricoles et non agricoles des pesticides sur le bassin : molécules utilisées, surfaces traitées, quantités appliquées, méthodes d'application, années et périodes d'application, sites de fabrication ou de stockage, etc.

L'on pourrait dans un premier temps se limiter aux seules molécules détectées dans les eaux souterraines ou superficielles, en écartant les molécules recherchées mais non retrouvées dans les eaux. Cependant, cette enquête incitera peut-être à rechercher dans les eaux des molécules que l'on n'a jamais recherchées jusqu'à présent ; de plus il est possible que les molécules recherchées mais non détectées jusqu'à présent finissent par apparaître dans les eaux.

4.3. MISE EN ŒUVRE DE LA MÉTHODE NATIONALE SIRIS A L'ÉCHELLE DU BASSIN

La méthode nationale SIRIS est une méthode d'aide à la décision pour la hiérarchisation des molécules phytosanitaires à rechercher dans les eaux souterraines et superficielles.

Elle prend en considération les données sur l'utilisation des phytosanitaires dans la zone investiguée (molécules employées, surfaces traitées et quantités épandues), les caractéristiques physico-chimiques de ces molécules et les conséquences toxicologiques et éco-toxicologiques de l'exposition à ces produits.

Appliquée au bassin de la Serre, dans la mesure où suffisamment de données sur les utilisations des phytosanitaires dans le bassin seraient disponibles, la mise en œuvre de cette méthode présenterait l'avantage :

- de guider les investigations à effectuer sur les eaux du bassin ;
- de permettre un test de cette méthode sur des données concrètes à l'échelle d'un bassin versant.

Conclusion

La synthèse bibliographique effectuée à partir de quelques documents clés a permis de faire ressortir les causes et les mécanismes de la contamination des eaux souterraines et superficielles par les produits phytosanitaires : applications à usage agricole et non agricole depuis les années 1940, faible proportion des produits atteignant leur cible, entraînement des excès par les eaux de ruissellement et d'infiltration, volatilisation dans l'atmosphère et retombées par les pluies, processus d'adsorption/désorption et de dégradation qui peuvent freiner ou accélérer les migrations, tous ces mécanismes étant contrôlés par les propriétés intrinsèques de chaque molécule et par les caractéristiques propres du milieu récepteur.

Si au niveau mondial, la prise de conscience de la présence de pesticides dans les eaux superficielles, souterraines et atmosphériques a été progressive depuis les années 1960 et abordée sous des angles indépendants, l'on commence depuis peu à s'intéresser au rôle des échanges nappe-rivière-pluie dans la contamination des eaux par les produits phytosanitaires. Le CORPEN, en 1996 (Comité d'Orientation pour la Réduction de la Pollution des Eaux par les Nitrates, les phosphates et les produits phytosanitaires), et l'IFEN, en 1998 (Institut Français de l'Environnement), ont recommandé la prise en compte de ces échanges dans l'optique de diagnostics devant mener à la mise sur pied de programmes d'actions.

L'examen de la situation dans le bassin de la Serre a tout d'abord nécessité la collecte des données disponibles sur ce bassin : les teneurs en pesticides des eaux de nappe à travers les analyses effectuées depuis quelques années par la DDASS sur les captages d'eau potable dans le cadre du contrôle sanitaire, les teneurs en pesticides des eaux de rivière à travers la campagne de prélèvements et d'analyses effectuée par la DIREN entre novembre 1994 et août 1995, ainsi que des données sur les débits des rivières, la piézométrie de la nappe et les précipitations atmosphériques.

Ces données n'offrent qu'une vision imparfaite de la situation dans le bassin, étant donné leur caractère fragmentaire tant dans le temps que dans l'espace.

Cependant elles montrent que la situation dans le bassin est préoccupante.

En effet, 21 captages sur les 34 considérés ont présenté au moins une fois depuis 1990 une contamination, fréquemment située au-dessus de 0,1 µg/l, et essentiellement constituée par l'atrazine mais aussi par ses produits de dégradation et par la simazine.

Ces molécules ont d'ailleurs été presque systématiquement retrouvées dans les eaux de rivière lors des campagnes de novembre 1994 à août 1995, avec des concentrations globalement du même ordre de grandeur que dans la nappe, même si des pics parfois très élevés pouvant atteindre 1,4 µg/l ont été enregistrés et peuvent être imputés au

ruissellement suite aux fortes précipitations de cet hiver là. Treize autres molécules ont été également détectées dans les rivières, avec des concentrations parfois bien supérieures, avec des pics atteignants plusieurs µg/l, comme l'isoproturon, le diuron, le néburon et le métoxuron. Ces molécules n'ont d'ailleurs pas été recherchées dans la nappe.

Deux captages non loin de la Serre ou du Vilpion et pour lesquels on dispose d'une chronique de teneurs en pesticides assez fournie, ont été examinés plus attentivement. Il s'agit des captages de Tavaux et Ponsérícourt et de Marle. Dans les deux cas, la tentative de confrontation entre les teneurs mesurées dans la nappe au captage depuis 1990 et celles mesurées dans les eaux superficielles entre novembre 1994 et août 1995, laisse penser qu'il est plausible que le bruit de fond de la pollution enregistrée dans les eaux de rivière provienne de la nappe. Dans le cas de Marle, on ne peut pas exclure qu'une partie de la contamination des eaux pompées au captage provienne indirectement de la rivière via l'aquifère alluvial.

Il existe donc un faisceau de présomptions laissant craindre une contamination diffuse et généralisée des eaux souterraines et superficielles du bassin de la Serre par les produits phytosanitaires, et des transferts entre les deux milieux.

Cependant, du fait du caractère fragmentaire des données disponibles, un programme d'investigations complémentaires s'avère indispensable pour établir un diagnostic approfondi de la situation dans ce bassin. Ce programme devra inclure d'une part un suivi régulier des teneurs en pesticides dans les eaux souterraines et superficielles, mais aussi dans les eaux de pluie, et d'autre part une enquête sur les utilisations et usages agricoles et non agricoles des molécules détectées. C'est alors qu'un programme d'action pertinent pour la protection des captages d'alimentation en eau potable pourra être mis en place.

La mise en œuvre de la méthode nationale SIRIS serait intéressante à double titre : d'abord pour orienter notre programme d'investigations complémentaires sur le bassin de la Serre, et aussi pour tester cette méthode nationale grâce à des données concrètes à l'échelle d'un bassin versant.

Bibliographie

Banton O., Lafrance P. (1997) - Implication des relations entre les eaux superficielles et souterraines dans le devenir des pesticides. Actes du XXVII[e] congrès du Groupe Français des Pesticides, BRGM Orléans, 21-22 mai 1997, p. 271-279.

Bordenave (1998) - Transferts superficiels des pesticides à l'échelle du bassin versant. *In* : Mécanismes de transfert des produits phytosanitaires, Document provisoire de la Cellule Régionale d'Etude des Pollutions des Eaux par les Produits Phytosanitaires (CREPEPP), Pays de Loire, mai 1998.

Calvet R. (1998) - Transferts dans la zone racinaire. *In* : Agriculture et Environnement - Les produits entraînés par l'eau, p. 39-46. Colloque d'Hydrotechnique - 159[e] Session du Comité Scientifique et Technique, Paris 18 et 19 novembre 1998. Document de la Société Hydrotechnique de France.

Calvet R., Gouy V., Gaillardon P., Belamie R. (1996) - Distribution des molécules pesticides entre les phases solides et liquides du sol. Signification du coefficient de distribution. *In* : Produits phytosanitaires, processus de transfert et modélisation dans les bassins versants, Actes du Séminaire national HydrOsystèmes, Nancy, 22-23 mai 1996, p. 104-115.

Celet P. (1994) - Alimentation en eau potable de la ville de Marle (Aisne). Situation créée par la mauvaise qualité de l'eau de distribution publique et propositions. Rapport hydrogéologique par P. Celet, hydrogéologue agréé du Nord, Coordonnateur Départemental, Université des Sciences et Technologies de Lille, 18 août 1994, 5 p.

Corpen (1996) - Qualité des eaux et produits phytosanitaires - Propositions pour une démarche de diagnostic. 120 p.

Creusot A. (1998) - Produits phytosanitaires et pollution de l'eau. *In* : Les produits phytosanitaires en relation avec la qualité de l'eau. *Revue AGHTM Techniques, Sciences, Méthodes n° 9*, septembre 1998, p. 77-80.

Daum J.R., Desprats J.F., Durand F. (1996) - Précipitations efficaces moyennes annuelles en France (1965-1994). Rapport BRGM R 38975, 17 p., 4 ann.

Draf/Fredec Picardie (1996) - Produits phytosanitaires et qualité des eaux : élaboration d'un guide régional pour une utilisation plus respectueuse de l'environnement. 47 p., + 17 ann.

Gril J.J., Gouy V., Carluer C. (1998) - Processus de transfert par ruissellement, de la parcelle au bassin versant. *In* : Agriculture et Environnement - Les produits entraînés par l'eau, p. 31-38. Colloque d'Hydrotechnique - 159e Session du Comité Scientifique et Technique, Paris 18 et 19 novembre 1998. Document de la Société Hydrotechnique de France.

IFEN (1998) - Les pesticides dans les eaux - Collecte et traitement des données. Rapport IFEN, Collection Etudes et Travaux n° 19, octobre 1998, 190 p.

Kervevan-Moreau C. (1997) - Adsorption et désorption de l'atrazine, la déséthylatrazine et l'hydroxyatrazine au contact de sols, de solides d'aquifère et de constituants isolés des sols. Thèse de l'Université d'Orléans, soutenue le 20/02/1997.

Landreau A., Mouvet C., Normand B. (1998) - Quelques aspects hydrologiques des transferts de solutés par infiltration vers les nappes : nitrates et phytosanitaires. *In* : Agriculture et Environnement - Les produits entraînés par l'eau, p. 47-57. Colloque d'Hydrotechnique - 159e Session du Comité Scientifique et Technique, Paris 18 et 19 novembre 1998. Document de la Société Hydrotechnique de France.

Mouvet C. (1996) - La problématique du transfert des phytosanitaires vers les eaux souterraines. *In* : Produits phytosanitaires, processus de transfert et modélisation dans les bassins versants, Actes du Séminaire national HydrOsystèmes, Nancy 22-23 mai 1996, p. 141-149.

Mouvet C., Amraoui N. (1998) - Contamination des eaux souterraines par les phytosanitaires. *In* : Mécanismes de transfert des produits phytosanitaires, Document provisoire de la Cellule Régionale d'Etude des Pollutions des Eaux par les Produits Phytosanitaires (CREPEPP), Pays de Loire, mai 1998.

Narcy J.B. (1996) - Le point sur ... les triazines - Document de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, Direction de l'Environnement, des Études et de la Recherche, septembre 1996.

Roche F. (1998) - Transferts des produits phytosanitaires vers l'atmosphère. *In* : Mécanismes de transfert des produits phytosanitaires, Document provisoire de la Cellule Régionale d'Etude des Pollutions des Eaux par les Produits Phytosanitaires (CREPEPP), Pays de Loire, mai 1998.

Tisseau M.A., Fauchon N., Vandevelde T. (1998) - Bilan de la contamination des cours d'eau de la région parisienne par les produits phytosanitaires. *In* : Les produits phytosanitaires en relation avec la qualité de l'eau. Revue AGHTM Techniques, Sciences, Méthodes n° 9, septembre 1998, p. 54-59.

Van der Werf Hayo M.G. (1997) - Evaluer l'impact des pesticides sur l'environnement, Courrier de l'Environnement de l'INRA n° 31, août 1997. Paru auparavant en anglais, sous le titre original "Assessing the impact of pesticides on the environment", dans Agriculture, Ecosystems and Environment n° 60 (1996), pp. 81-96.

Schiavon M. (1998) - Origine et devenir des produits phytosanitaires. *In* : Agriculture et Environnement - Les produits entraînés par l'eau, p. 107-118. Colloque d'Hydrotechnique - 159e Session du Comité Scientifique et Technique, Paris 18 et 19 novembre 1998. Document de la Société Hydrotechnique de France.

Squillace P.J., Thurman E.M., Furlong E.T. (1993) - Groundwater as a nonpoint source of atrazine and deethylatrazine in a river during base flow conditions. *Water Resources Research.*, vol. 29, n° 6, p. 1719-1729.

Squillace P.J., Burkart M.R., Simpkins W.W. (1997) - Infiltration of atrazine and metabolites from a stream to alluvial aquifer. *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 33, n° 1, p. 89-95.

Wang W., Squillace P.J. (1994) - Herbicide interchange between a stream and the adjacent alluvial aquifer. *Environ. Sci. Technol.*, vol. 13, p. 2336-2344.

ANNEXE 1

Liste des captages pris en considération

Liste des captages considérés pour l'étude

	A	B	C
1	Indice	Commune	Pesticides détectés au moins une fois ? (1)
2	0065-7X-0001	Monceau-les-Leups	oui
3	0065-7X-0041	Anguilcourt-le-Sart	
4	0065-7X-0047	Nouvion-et-Catillon	
5	0065-8X-0051	Pouilly-sur-Serre	
6	0066-2X-0020	Marfontaine	
7	0066-5X-0045	Crécy-sur-Serre	
8	0066-6X-0008	Erlon	oui
9	0066-6X-0009	Marle	oui
10	0066-6X-0029	Voyenne	oui
11	0066-8X-0034	Tavaux-et-Ponséricourt	oui
12	0067-1X-0049	Plomion	
13	0067-5X-0003	Chaourse	oui
14	0067-5X-0006	Agnicourt-et-Sechelles	oui
15	0067-5X-0036	Vincy-Reuil-et-Magny	oui
16	0067-6X-0012	Sainte-Geneviève	oui
17	0067-6X-0044	Soize	
18	0067-6X-0100	Morgny-en-Thiérache	oui
19	0067-6X-0101	Morgny-en-Thiérache	oui
20	0067-7X-0001 ou 0067-7X-0002	Rozoy-sur-Serre	
21	0084-1X-0002	Barenton-Cel	oui
22	0084-1X-0040	Vermeuil-sur-Serre	oui
23	0084-2X-0002	Monceau-le-Waast	oui
24	0084-2X-0021	Grandlup-et-Fay	
25	0084-3X-0034	Pierrepont	
26	0084-4X-0034	Bucy-les-Pierrepont	oui
27	0084-4X-0039	Ebouleau	oui
28	0084-6X-0069	Samoussy	
29	0084-6X-0084	Athies-sous-Laon	
30	0084-8X-0001	Sissonne	
31	0085-1X-0005	Ville-aux-bois-les-Dizy	oui
32	0085-1X0007	Dizy-le-Gros	oui
33	0085-1X-0009	Lappion	oui
34	0085-2X-0001	Noircourt	oui
35	0085-2X-0043	Le Thuel	oui

(1) d'après les données disponibles au moment de l'étude

ANNEXE 2

Localisation des points de prélèvement des eaux de rivière considérés

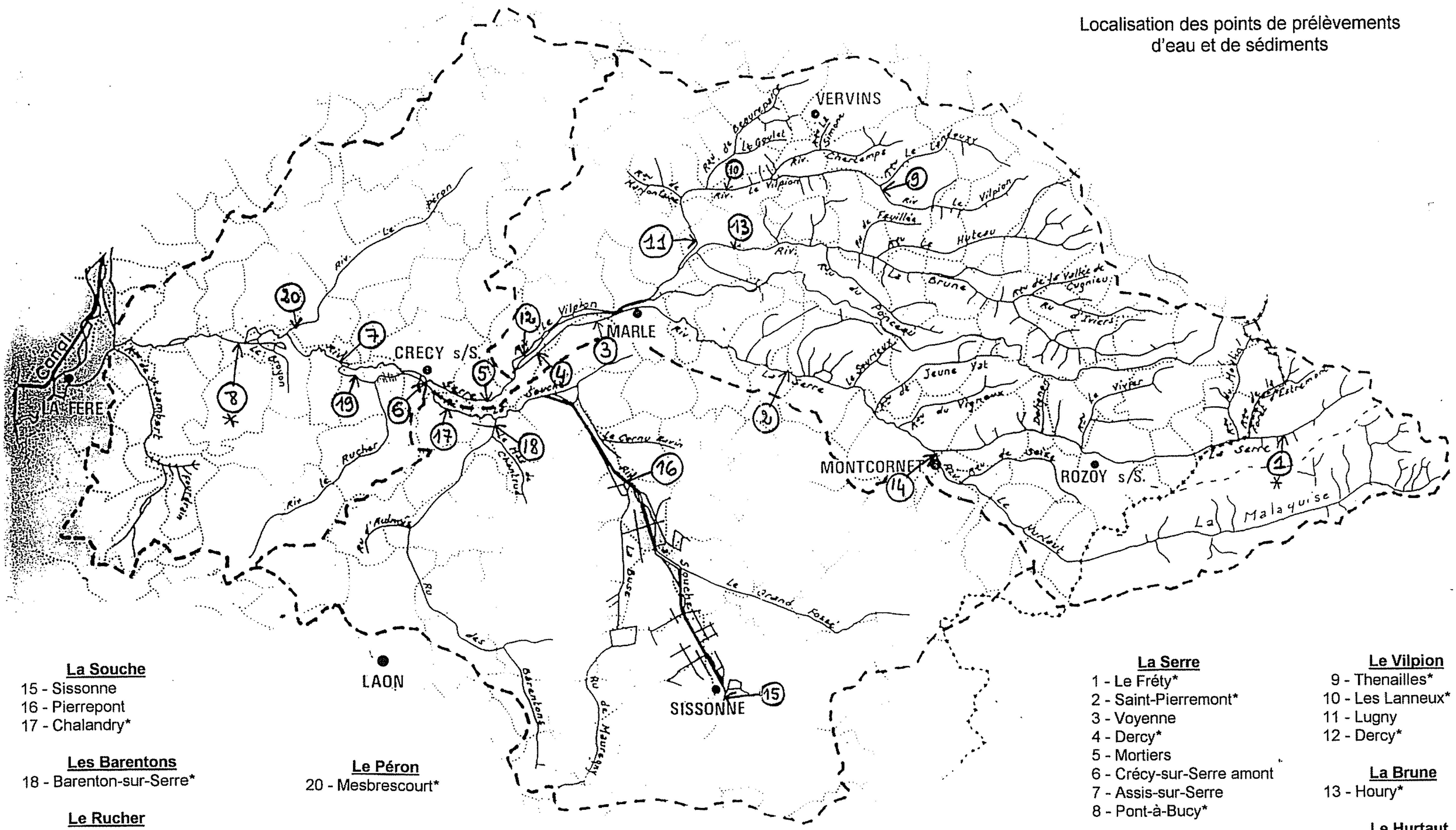
La Serre : Le Fréty (n°1), Saint-Pierremont (n°2), Dercy (n°4), Pont-à-Bucy (n°8)
Le Vilpion : Thenailles (n°9), Les Lanneux (n°10), Dercy (n°12)
La Brune : Houry (n°13)
La Souche : Chalandry (n°17)
Les Barentons : Barenton-sur-Serre (n°18)
Le Rucher : Assis-sur-Serre (n°19)
Le Péron : Mesbrecourt (n°20)

(Document DIREN)

LA SERRE ET SES AFFLUENTS

Présentation générale du bassin versant

Localisation des points de prélèvements d'eau et de sédiments



La Souche
15 - Sissonne
16 - Pierrepont
17 - Chalandry*

Les Barentons
18 - Barenton-sur-Serre*

Le Rucher
19 - Assis-sur-Sere*

Le Péron
20 - Mesbrescourt*

La Serre
1 - Le Fréty*
2 - Saint-Pierremont*
3 - Voyenne
4 - Dercy*
5 - Mortiers
6 - Crécy-sur-Serre amont
7 - Assis-sur-Serre
8 - Pont-à-Bucy*

Le Vilpion
9 - Thenailles*
10 - Les Lanneux*
11 - Lugny
12 - Dercy*

La Brune
13 - Houry*

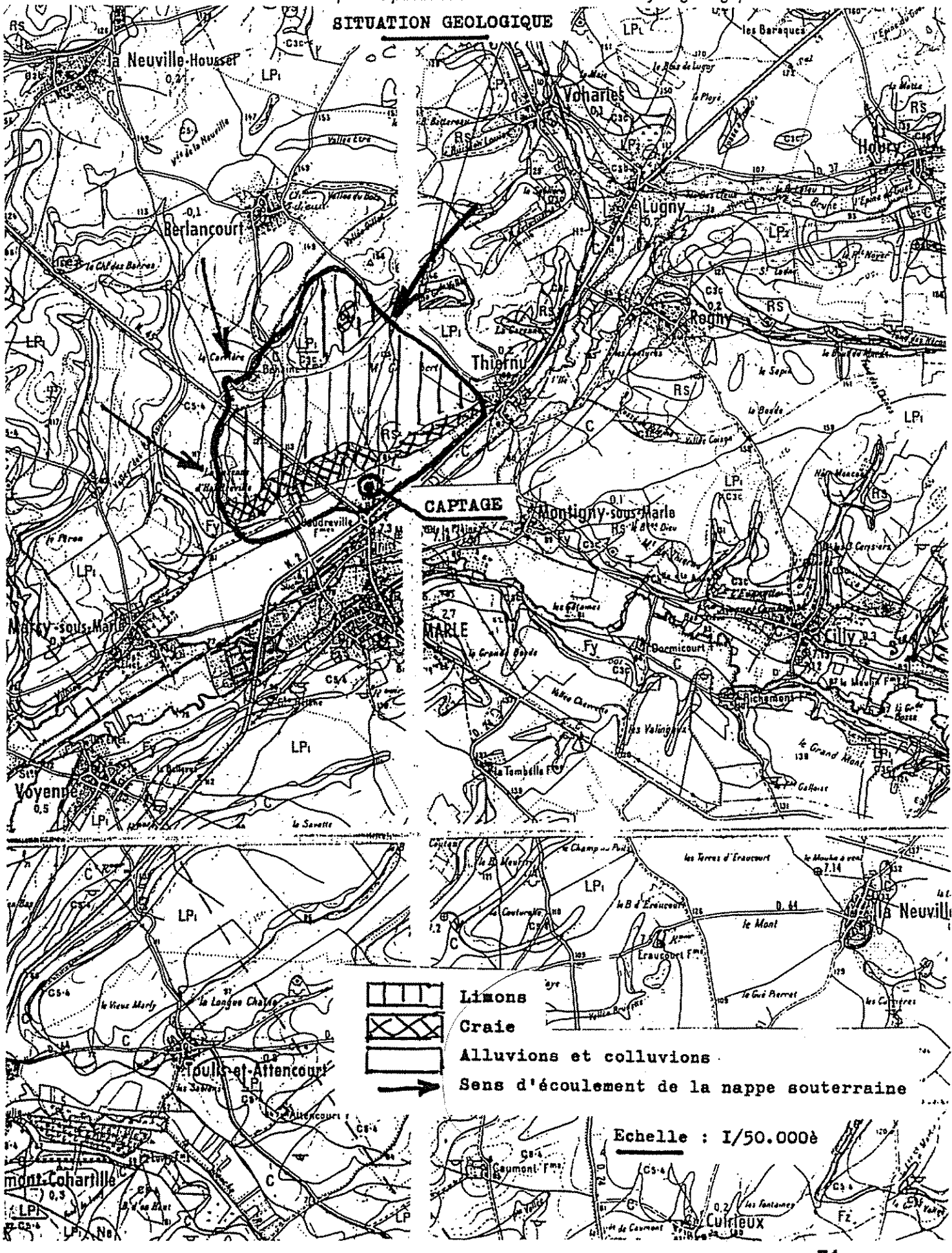
Le Hurtaut
14 - Montcornet

* Points considérés dans la présente étude

ANNEXE 3

Zone d'alimentation du captage A.E.P. de Marle

(Rapport de P. Celet, 1994)


SITUATION GEOLOGIQUE
la Neuville-Housset
Berlancourt
Vohartes
Houcy
Lugny
Rogny
Thierny
CAPTAGE
Montigny-sous-Marle
Marcy-sous-Marle
MARLE
Cilly
Voyenne
Toulis-et-Attencourt
Limons
Craie
Alluvions et colluvions
Sens d'écoulement de la nappe souterraine
Echelle : I/50.000è

BRGM
SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL PICARDIE
Polytech de Rivery - 7, rue Anne Frank, 80136 RIVERY
Tél.: 03 22 91 42 47 - Fax : 03 22 92 31 90