

Impact sur la qualité de la ressource en eaux souterraines du surstockage dans la plaine alluviale de la Bassée

Rapport intermédiaire

BRGM/RP-55918-FR

Novembre 2007

Étude réalisée dans le cadre des projets
de recherche du BRGM 2007

L. Gourcy, A. Winckel, N. Baran, A. Brenot, A. Gutierrez

Vérificateur :

Nom : E. Petelet-Giraud

Date : 19 novembre 2007

Signature :

Approbateur :

Nom : D. Pennequin

Date :

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Mots clés : eaux souterraines, qualité, isotopes de l'eau, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, inondation, Seine-et-Marne

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : **Gourcy, L. Winckel, A., Baran, N., Brenot, A., Gutierrez, A.** (2007) – Impact sur la qualité de la ressource en eaux souterraines du surstockage dans la plaine alluviale de la Bassée. Rapport BRGM/RP-55918-FR, 135 p., 96 ill., 3 ann.

Synthèse

Le projet hydraulique de « La Bassée », qui s'inspire des aménagements artificiels intervenant dans la lutte contre les crues du Rhin, consiste à prélever temporairement en Seine un maximum d'eau afin de laisser passer la pointe des fortes crues de l'Yonne. L'espace situé entre Bray-sur-Seine et Montereau-Fault-Yonne convient parfaitement à ce projet car l'aménagement en canal à grand gabarit d'une partie de la Seine, conjugué à l'action des deux lacs réservoirs en amont, a soustrait ces terrains aux inondations.

L'objectif du projet cofinancé par l'Institution Interdépartementale des barrages Réservoirs du Bassin de la Seine est l'étude, à une échelle locale, de la dynamique des écoulements et des solutés associés afin d'évaluer l'impact sur les systèmes aquifères d'une arrivée possible de polluants par les eaux détournées de la Seine.

Le surstockage *i)* modifie les charges hydrauliques et donc les transferts d'eau et de solutés dans la ZNS vers les eaux souterraines et *ii)* apporte en surface une eau (eau de la Seine) contenant potentiellement des polluants pouvant migrer vers les eaux souterraines et pouvant changer les conditions physico-chimiques (pH, potentiel d'oxydo-réduction notamment) des eaux souterraines. L'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à ces modifications et apports nécessite la modélisation hydraulique et hydrogéochimique des transferts dans la zone non saturée (ZNS).

Le programme de recherche se déroule en 5 phases : 1) Caractérisation des échanges nappe alluviale-nappe de la craie-eaux de surface 2) Estimation des entrants potentiels sur le bassin versant de la Seine 3) Etude des vitesses de transfert et stocks de polluants dans la ZNS 4) Estimation de l'impact d'un surstockage et conséquences sur la qualité de la ressource et 5) Synthèse des travaux et valorisation des résultats.

Suivant le planning prévisionnel du projet, ont été réalisées pendant les six premiers mois du projet les deux campagnes de prélèvement, basses eaux et hautes eaux, pour la caractérisation des échanges nappes – rivière, la détermination des entrants potentiels sur le bassin versant et la collecte des échantillons de sols sur trois sites afin de permettre l'étude de la ZNS.

D'après les premières investigations, il y a vraisemblablement continuité hydraulique entre la craie et les alluvions sur l'ensemble du secteur d'étude. La craie représenterait donc un pôle important de la recharge des alluvions. Ces relations ont été démontrées également à l'aide de l'étude des CFC. Les premières analyses isotopiques ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) montrent qu'il existe également une recharge locale de la nappe de la craie et de la nappe alluviale par les eaux de surface (zones inondées et cours d'eau).

L'analyse de l'état des lieux du SDAGE a fait par ailleurs ressortir un risque important de pollution par les nitrates et les phytosanitaires. Il existe également un certain nombre d'installations classées sur et en amont de la plaine de la Bassée.

Les suivis existants de la qualité des eaux de la Seine et de deux de ses affluents (la Voulzie et l'Auxence) montrent que le risque principal de contamination des eaux souterraines par les eaux superficielles est lié aux produits phytosanitaires. Parmi ceux-ci, les triazines sont les plus fréquents, en particulier l'atrazine et ses métabolites.

Les trois masses d'eau considérées dans cette étude, la nappe alluviale, la nappe de la craie et les calcaires du tertiaire présentent des concentrations en nitrates élevées et une contamination par l'atrazine et ses dérivés. Les mesures faites en 2007 indiquent également la présence en fortes concentrations de glyphosate et AMPA. L'impact des apports anthropiques de type agricole se confirme par les données de la chimie des éléments majeurs et traces dissous. La présence de conditions réductrices peut localement entraîner une dénitrification et donc une forte diminution des concentrations en nitrates.

Du point de vue chimique, aucune tendance liée à la répartition spatiale des points ne se dégage clairement. La faible variabilité isotopique et chimique entre les eaux de l'aquifère alluvial et l'aquifère de la craie indique un mélange relativement homogène des eaux de ces aquifères sur l'ensemble de la zone d'étude avec quelques exceptions locales.

Sans surprise les eaux les plus anciennes (temps de résidence élevé et/ou pourcentage d'eau jeune le plus faible) correspondent aux eaux de l'aquifère de la craie. Toutefois des eaux de l'aquifère alluvial montrent un temps de résidence moyen de plus de 70 ans et/ou un pourcentage d'eau jeune relativement faible (< à 40%), ce qui indiquerait que les apports superficiels sont limités en volume.

Des informations complémentaires sont attendues de la deuxième campagne de prélèvement effectuée en période de basses eaux ainsi que des analyses des sols de la zone non saturée. Du fait que les résultats présentés dans ce rapport sont partiels aucune synthèse n'a été réalisée à partir de cette information.

Sommaire

1. Introduction	13
1.1. CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE	13
1.2. OBJECTIFS DU PROJET	14
2. Présentation de la zone d'étude	15
2.1. PARTICULARITES DU SITE DE LA BASSEE	15
2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	15
2.3. ETUDES ANTERIEURES.....	17
3. Méthodologie	19
3.1. CHOIX DES POINTS DE MESURE	19
3.2. METHODES DE MESURES.....	20
3.3. ANALYSES DES EAUX SOUTERRAINES ET DE SURFACE.....	20
3.3.1. Les données physico-chimiques	20
3.3.2. Les pesticides.....	23
3.3.3. Les OHV	24
3.3.4. Les isotopes et gaz dissous	24
3.4. LES PRELEVEMENTS DE SOL ET ANALYSES CORRESPONDANTES	30
3.4.1. Sélection des sites pilotes	30
3.4.2. Prélèvements de terrain	32
4. Estimation des pressions	35
4.1. OCCUPATION DES SOLS	35
4.2. INVENTAIRES DES PRESSIONS.....	37
4.2.1. Pressions agricoles et industries agroalimentaires	37
4.2.2. Pressions industrielles et urbanisation	37
5. Qualité des eaux de surface	45
5.1. INTRODUCTION	45

5.2. DEBITS ET QUALITE DES EAUX DE LA SEINE	45
5.2.1. Débits de la Seine	45
5.2.2. Qualité des eaux de la Seine	47
5.2.3. Comparaison des résultats d'analyse de l'Agence de l'eau et de la DIREN Ile-de-France	71
5.2.4. Recherche des éléments toxiques et/ou indésirables	74
5.2.5. Recherche des nitrates	75
5.2.6. Paramètres physico-chimiques de terrain	77
5.2.7. Majeurs	79
5.2.8. Synthèse	83
5.3. DEBITS ET QUALITE DES EAUX DE LA VOULZIE A JUTIGNY	84
5.3.1. Débits de la Voulzie à Jutigny	84
5.3.2. Recherche de produits phytosanitaires	85
5.3.3. Recherche des micropolluants organiques	89
5.3.4. Recherche des éléments toxiques et/ou indésirables	90
5.3.5. Recherche des nitrates	91
5.4. QUALITE DES EAUX DE L'AUXENCE A VIMPELLES	91
5.4.1. Recherche de produits phytosanitaires	91
5.4.2. Recherche des éléments toxiques et/ou indésirables	94
5.4.3. Recherche des micropolluants organiques	95
5.4.4. Recherche des nitrates	95
5.5. CONCLUSIONS	95
6. la qualité des eaux souterraines	97
6.1. LES DONNEES REGIONALES	97
6.1.1. Aquifère alluvial	97
6.1.2. Aquifère de la craie	97
6.1.3. Aquifère du tertiaire	99
6.2. LES DONNEES OBTENUES DANS LE CADRE DE CETTE ETUDE	99
6.2.1. La chimie des majeurs et traces	99
6.2.2. Les produits phytosanitaires	102
6.2.3. Les OHV	106
7. Caractérisation des échanges nappes-rivières	107
7.1. CONDITIONS D'APPLICATION DES METHODES	107
7.2. CHIMIE ELEMENTAIRE	107

7.2.1. Validité des analyses chimiques réalisées	107
7.2.2. Diagramme de Piper : faciès chimique des eaux	109
7.2.3. Relation inter-éléments.....	109
7.2.4. Rapports élémentaires	115
7.3. APPROCHE ISOTOPIQUE	116
7.3.1. Isotopes stables de la molécule d'eau.....	116
7.3.2. Isotopes du strontium	117
7.3.3. Choix des points de prélèvement pour la 2ème Campagne.....	120
7.4. DATATION ET DETERMINATION DES ECHANGES.....	121
8. Etude des vitesses de transfert et stocks de polluants dans la ZNS	127
8.1. TRAITEMENT DES CAROTTES	127
9. Conclusions	129
10. Bibliographie.....	131

Liste des illustrations

Illustration 1 : Carte de localisation de la plaine de la Bassée (Seine-et-Marne)	13
Illustration 2 : Contexte géologique de la plaine de la Bassée (Vernoux et al., 2004)	16
Illustration 3 : Localisation des points de prélèvement pour la campagne de juin 2007	20
Illustration 4 : Modes opératoires et méthodes d'analyses des éléments majeurs et traces.....	22
Illustration 5 : Liste des molécules organiques recherchées par une technique dite « multi-résidus » couplée à une méthode spécifique (dérivation FMOC et analyse LC/fluorimétrie) pour le glyphosate et son produit de dégradation (AMPA)	23
Illustration 6 : Tableau récapitulatif des méthodes d'analyses d'isotopes et gaz dissous	25
Illustration 7 : Echelle de datation pour quelques éléments radioactifs et gazeux	27
Illustration 8 : Chroniques de tritium à Ottawa, Canada (plus longue chronique existante) et Orléans (la plus proche du site de la Bassée)	28
Illustration 9 : Chronique des concentrations dans l'air des CFC, SF6, tritium et autres traceurs des âges modernes.....	29
Illustration 10 : Localisation des sites pilotes	31
Illustration 11 : Sondage pour prélèvement de sol	32
Illustration 12 : Résultats de l'exploitation des données brutes de l'occupation des sols de la Bassée (Fustec et al., 1998-2001)	35

Illustration 13 : Evolution de l'occupation des sols de la Bassée aval entre 1949 et 1997 (Fustec et al., 1998-2001)	36
Illustration 14 : Carte de localisation des sites Basias et Basol, ainsi que des établissements IREP de la zone d'étude.....	40
Illustration 15 : Liste des sites industriels et activité de service du département de l'Aube (basias).....	41
Illustration 16 : Liste des sites et sols pollués ou potentiellement pollués du département de Seine-et-Marne (basol).....	42
Illustration 17 : Liste des entreprises susceptibles de rejeter des produits polluants dans l'eau, l'air et/ou le sol des départements de l'Aube et de Seine-et-Marne (IREP).....	43
Illustration 18 : Débits mensuels moyens à la station hydrométrique de Mery-sur-Seine sur la période 1956-2006 (www.hydro.eaufrance.fr).....	46
Illustration 19 : Débits mensuels moyens à la station hydrométrique de Pont-sur-Seine sur la période 1979-2007 (www.hydro.eaufrance.fr).....	46
Illustration 20 : Fréquence de quantification des 14 molécules phytosanitaires ou produits de dégradation les plus retrouvés (sur 90 points de mesure, en novembre 2000 et juillet 2001 ; DIREN Champagne-Ardenne 2003a)	49
Illustration 21 : Fréquence de détection et de quantification des 21 molécules phytosanitaires ou produits de dégradation les plus retrouvés dans les eaux de surface de Champagne-Ardenne en 2002 (sur 90 points de mesure ; DIREN Champagne-Ardenne 2003b).....	50
Illustration 22 : Moyenne des concentrations (en µg/l) en substances phytosanitaires de juillet à novembre 2002 (sur 90 points de mesure ; DIREN Champagne-Ardenne a, 2003).....	50
Illustration 23 : Pluie mensuelle en Ile-de-France entre juillet 2005 et juin 2006 (DIREN Ile-de-France)	52
Illustration 24 : Courbe hydrographique de la Seine à Poissy pour la période de septembre 2005 à août 2006 (DIREN Ile-de-France)	54
Illustration 25 : Fréquences de quantification des molécules phytosanitaires les plus retrouvées dans les eaux de surface d'Ile-de-France en 2005-2006 (DIREN Ile-de-France, 2006)	55
Illustration 26 : Répartition du nombre de quantifications par campagne pour les molécules les plus retrouvées dans les eaux superficielles en 2005-2006 (DIREN Ile-de-France, 2006).....	56
Illustration 27 : Liste des molécules quantifiées entre octobre 2005 et mai 2006 sur la Seine à Montereau-Fault-Yonne (DIREN Ile-de-France).....	57
Illustration 28 : Liste des produits phytosanitaires et produits de dégradation recherchés par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006.....	58
Illustration 29 : Liste des produits phytosanitaires et produits de dégradation retrouvés au moins une fois dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie).....	59
Illustration 30 : Fréquence d'occurrence des produits phytosanitaires les plus souvent rencontrés dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie).....	60

Illustration 31 : Tableau de synthèse des triazines rencontrées dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)	61
Illustration 32 : Evolution des teneurs en atrazine, déséthylatrazine et 2-hydroxyatrazine dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)	62
Illustration 33 : Fréquence d'occurrence mensuelle de l'atrazine, de la déséthylatrazine et du 2-hydroxyatrazine dans les eaux de la Seine (données Agence de l'Eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)	63
Illustration 34 : Evolution des teneurs en terbuthylazine et en simazine dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)	64
Illustration 35 : Fréquence d'occurrence mensuelle de la terbuthylazine et de la simazine dans les eaux de la Seine (données Agence de l'Eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)	65
Illustration 36 : Tableau de synthèse de l'AMPA dans les eaux de la Seine en 2005 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)	66
Illustration 37 : Evolution des teneurs en AMPA dans les eaux de la Seine en 2005 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)	66
Illustration 38 : Tableau de synthèse des urées substituées dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)	67
Illustration 39 : Evolution des teneurs en chlortoluron, diuron et isoproturon dans les eaux de la Seine en 2005 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)	68
Illustration 40 : Fréquence d'occurrence mensuelle du diuron et de l'isoproturon dans les eaux de la Seine (données Agence de l'Eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)	69
Illustration 41 : Tableau de synthèse de la carbendazime dans les eaux de la Seine entre 1997 et 1998 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)	69
Illustration 42 : Tableau de synthèse des organochlorés dans les eaux de la Seine entre 2001 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)	70
Illustration 43 : Tableau de synthèse de l'oxydémétonméthyl dans les eaux de la Seine en 2000 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)	70
Illustration 44 : Liste des micropolluants organiques retrouvés au moins une fois dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)	72
Illustration 45 : Teneurs mesurées en tétrachloroéthène dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2003 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)	73
Illustration 46 : Tableau de synthèse des composés organiques halogénés volatils dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)	73
Illustration 47 : Tableau de synthèse des dérivés du benzène dans les eaux de la Seine en 2005 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)	74
Illustration 48 : Tableau de synthèse du bore dans les eaux de la Seine entre 2000 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)	75
Illustration 49 : Evolution des teneurs en bore dans les eaux de la Seine entre 2000 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)	75

Illustration 50 : Tableau de synthèse des nitrates dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)	76
Illustration 51 : Evolution des teneurs en nitrates dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)	76
Illustration 52 : Teneurs moyennes mensuelles des nitrates dans les eaux de la Seine (données Agence de l'eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)	77
Illustration 53 : Tableau de synthèse des paramètres physico-chimiques dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)	77
Illustration 54 : Valeurs moyennes mensuelles de la conductivité et de l'oxygène dissous dans les eaux de la Seine (données Agence de l'eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)	78
Illustration 55 : Valeurs moyennes mensuelles de la conductivité et de la température dans les eaux de la Seine (données Agence de l'eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)	78
Illustration 56 : Evolution mensuelle des paramètres physico-chimiques dans les eaux de la Seine (données Agence de l'eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)	79
Illustration 57 : Tableau de synthèse des majeurs dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)	79
Illustration 58 : Evolution mensuelle des majeurs dans les eaux de la Seine (données Agence de l'eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)	80
Illustration 59 : Teneurs moyennes mensuelles des chlorures dans les eaux de la Seine (données Agence de l'Eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006).....	80
Illustration 60 : Teneurs moyennes mensuelles des hydrogénocarbonates et du calcium dans les eaux de la Seine (données Agence de l'Eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)	81
Illustration 61 : Evolution des teneurs en sulfates dans les eaux de la Seine aux trois stations de mesure d'EDF entre 1995 et 2001 (données EDF)	82
Illustration 62 : Tableau d'évolution des teneurs en sulfates dans les eaux de la Seine entre les stations de Marnay-sur-Seine et Nogent-sur-Seine entre 1995 et 2001 (données EDF)	82
Illustration 63 : Tableau d'évolution des teneurs en sulfates dans les eaux de la Seine entre les stations de Nogent-sur-Seine et la Motte-Tilly entre 1995 et 2001 (données EDF).....	83
Illustration 64 : Fréquence d'occurrence des pesticides les plus fréquents dans les eaux de la Seine (données Agence de l'eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)	83
Illustration 65 : Débits mensuels moyens de la Voulzie à la station hydrométrique de Jutigny sur la période 1974-2007 (www.hydro.eaufrance.fr).....	85
Illustration 66 : Liste des molécules quantifiées entre octobre 2005 et mai 2006 sur la Voulzie à Jutigny (DIREN Ile-de-France)	86
Illustration 67 : Tableau de données des triazines dans les eaux de la Voulzie entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)	87
Illustration 68 : Evolution des teneurs en atrazine et en déséthylatrazine dans les eaux de la Voulzie entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)	87

Illustration 69 : Tableau de données de l'isoproturon dans les eaux de la Voulzie entre 1998 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie).....	88
Illustration 70 : Tableau de données des composés organiques halogénés volatils dans les eaux de la Voulzie entre 1998 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)	89
Illustration 71 : Evolution des teneurs en nitrates dans les eaux de la Voulzie entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie).....	91
Illustration 72 : Liste des molécules quantifiées entre octobre 2005 et mai 2006 sur l'Auxence à Vimnelles (DIREN Ile-de-France).....	92
Illustration 73 : Tableau de données des triazines dans les eaux de l'Auxence entre 1998 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)	93
Illustration 74 : Evolution des teneurs en atrazine et en déséthylatrazine dans les eaux de l'Auxence entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie).....	93
Illustration 75 : Evolution des teneurs en nitrates dans les eaux de l'Auxence entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie).....	95
Illustration 76 : Localisation des points régionaux captant des niveaux d'eau bien définis et possédant des données qualité disponibles dans ADES	98
Illustration 77 : Données in-situ et concentrations des ions majeurs des eaux prélevées à la Bassée en juin 2007.....	100
Illustration 78 : Concentrations des éléments traces dans les eaux de la Bassée prélevées en juin 2007	101
Illustration 79 : Concentrations en produits phytosanitaires et produits de dégradation quantifiés lors de la campagne de juin 2007.....	102
Illustration 80 - Les principales molécules quantifiées dans les eaux souterraines, tous réseaux confondus - année 2003 (source IFEN, 2006).....	104
Illustration 81 : Les principales molécules quantifiées dans les eaux souterraines, tous réseaux confondus - année 2004.	104
Illustration 82 : TDS vs. conductivité électrique de l'eau (a), somme des anions (Σ^-) vs. somme des cations (Σ^+) (b), balance ionique (NICB) vs. somme des cations (Σ^+).....	108
Illustration 83 : diagramme de Piper pour les points de prélèvement de la mission juin 2007	109
Illustration 84 : Na vs. Cl (a), SO ₄ vs. Cl (b), NO ₃ vs. Cl (c), Ca vs. Cl (d), Mg vs. Cl (e) pour les eaux de rivières et les souterraines.	112
Illustration 85 : Sr vs. Cl (a), Sr vs. Ca (b) pour les eaux de rivières et les souterraines.	113
Illustration 86 : Localisation des points de prélèvements de la campagne de juin 2007 et des profils d'étude	113
Illustration 87 : Na vs. Cl (a), SO ₄ vs. Cl (b), NO ₃ vs. Cl (c), Ca vs. Cl (d), Mg vs. Cl (e), Sr vs. Ca (f) pour les eaux souterraines en fonction des profils étudiés.	114
Illustration 88 : Ca/Na vs. Mg/Na.	116
Illustration 89 : δD vs. $\delta^{18}O$, LMWL Orléans : droite météorique locale calculée pour la station de suivi d'Orléans ; GMWL : droite météorique mondiale.....	117
Illustration 90 : $^{87}Sr/^{86}Sr$ vs. $1/Sr$ (a), $^{87}Sr/^{86}Sr$ vs. Ca/Sr (b).....	118

Illustration 91 : Ca/Sr (a) et $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (b) vs. Distance sur les profils Nord-sud ; Ca/Sr (c) et $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (d) vs. Distance sur les profils Est-ouest.....	120
Illustration 92 : Concentrations (pmol.l^{-1}) en CFC et SF6 des échantillons de la Bassée – juin 2007	121
Illustration 93 : Tracé des comparaisons entre les concentrations en CFC-12 et CFC-11 et SF6 et CFC-113 des eaux de la Bassée et modèles piston flow (PFM) et exponentiel (EFM).....	123
Illustration 94 : Tracé des comparaisons entre les concentrations en CFC-113 et CFC-11 des eaux de la Bassée et modèles piston flow (PFM) et exponentiel (EFM).....	124
Illustration 95 : Résumé des âges CFC calculés et des modèles et traceurs utilisés (en gras le résultat le plus favorable).....	125
Illustration 96 : Distribution des catégories d'âge CFC des eaux selon le type d'aquifère sur la plaine de la Bassée	126

Liste des annexes

Annexe 1 Description des sondages	137
Annexe 2 Résultats complets des analyses d'éléments majeurs et traces.....	163
Annexe 3 Résultats des analyses de micropolluants organiques	167

1. Introduction

1.1. CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE

Entre juin 2001 et fin 2004, une étude de faisabilité relative à un nouvel aménagement en Seine-et-Marne (La Bassée) a été réalisée. Son objectif était d'identifier les moyens permettant d'atténuer les crues à l'aval de la confluence de la Seine et de l'Yonne. Cette étude sous la maîtrise d'ouvrage de l'institution « Les Grands Lacs de Seine » (Institution Interdépartementale des barrages Réservoirs du Bassin de la Seine) s'inscrit dans les programmes du plan Etat-Région 2000-2006, de l'appel à projets 2003-2006 du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et du programme Interreg.3B 2003-2008 de la Communauté Européenne dans le cadre du projet SAND auquel l'IIBRBS s'est associé à la demande de la Région Ile de France et de l'Agence de l'eau Seine-Normandie.

Le projet hydraulique de « La Bassée », qui s'inspire des aménagements artificiels intervenant dans la lutte contre les crues du Rhin, consiste à prélever temporairement en Seine un maximum d'eau afin de laisser passer la pointe des fortes crues de l'Yonne. Le système utilisé est de type ralentissement dynamique, constitué d'ouvrages passifs, apparaissant plus adapté aux situations qui prévalent actuellement et soutenu par le MEDAD. L'espace situé entre Bray-sur-Seine et Montereau-Fault-Yonne (Illustration 1) convient parfaitement à ce projet car l'aménagement en canal à grand gabarit (3000 tonnes) d'une partie de la Seine, conjugué à l'action des deux lacs réservoirs en amont, a soustrait ces terrains aux inondations.

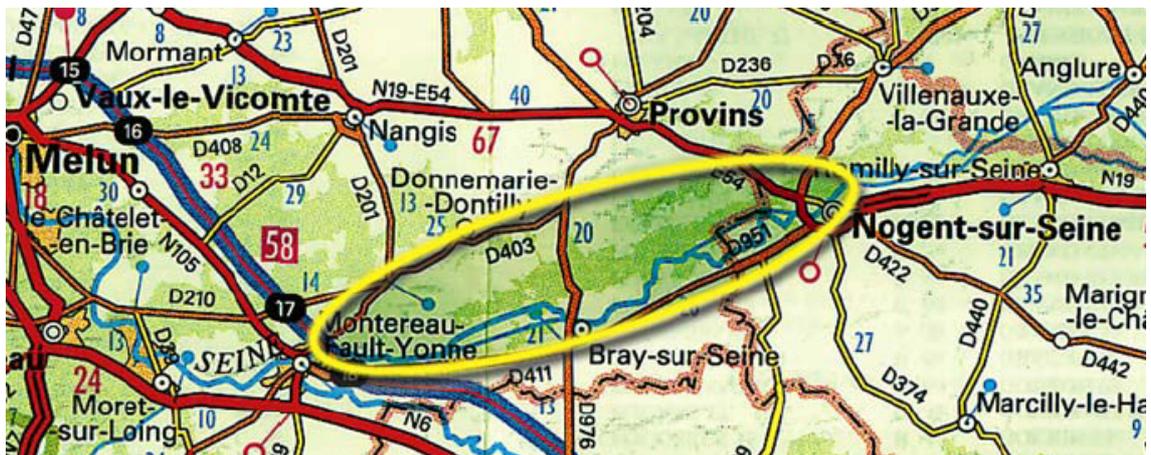


Illustration 1 : Carte de localisation de la plaine de la Bassée (Seine-et-Marne)

1.2. OBJECTIFS DU PROJET

Le projet d'aménagement de la Bassée a fait l'objet d'un grand nombre d'études, centré sur le secteur Bray-sur-Seine / Montereau-Fault-Yonne et couvrant tous les aspects (techniques, économiques, géologiques, hydrauliques, ...) sur lesquels ce type de projet a des incidences, la résultante révélant sa pertinence. La question de la vulnérabilité de la ressource en eau souterraine en terme de qualité doit être approfondie au regard des enjeux.

Pour cette raison, il est important de connaître les conséquences sur les sols et les eaux souterraines en matière de qualité du détournement des eaux de la Seine durant les épisodes de fortes crues. Le BRGM a proposé à l'IIBRBS un projet de recherche sur l'étude de l'impact de la déviation des eaux de surface et du nouveau fonctionnement hydrologique de la plaine de la Bassée entre Bray-sur-Seine et Montereau-Fault-Yonne (2300 ha) sur la qualité des eaux souterraines.

L'objectif de ce travail est l'étude, à une échelle locale, de la dynamique des écoulements et donc des solutés associés afin d'évaluer l'impact sur les systèmes aquifères d'une arrivée possible de polluants par les eaux détournées de la Seine.

Le surstockage *i)* modifie les charges hydrauliques et donc les transferts d'eau et de solutés dans la ZNS vers les eaux souterraines et *ii)* apporte en surface une eau (eau de la Seine) contenant potentiellement des polluants pouvant migrer vers les eaux souterraines et pouvant changer les conditions physico-chimiques (pH, potentiel d'oxydo-réduction) des eaux souterraines. L'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à ces modifications et apports nécessite la modélisation hydraulique et hydrogéochimique des transferts dans la zone non saturée (ZNS).

L'état de l'art sur les transferts en zone non saturée montre que des recherches sont nécessaires car le transport de soluté est modifié par la porosité capillaire et osmotique particulières dans cette zone. Ces particularités doivent être déterminées élément par élément et selon les conditions spécifiques.

Il résulte que la priorité afin de lever les verrous de la connaissance sur la qualité des eaux souterraines est l'évaluation de l'impact d'un surstockage (charge hydraulique plus grande) sur l'entraînement de substances contenues dans la zone non saturée, et l'impact d'un apport de contaminants par les eaux de crues déviées de la Seine.

Le projet se focalise plus particulièrement sur les transports verticaux de polluants (infiltration au travers de la zone non saturée).

2. Présentation de la zone d'étude

2.1. PARTICULARITES DU SITE DE LA BASSEE

Le site de la Bassée, la plus grande plaine inondable du bassin Seine-Normandie est un des sites NATURA2000 de Seine et Marne. La Bassée est une vaste plaine alluviale de la Seine. Elle abrite la plus grande et l'une des dernières forêts alluviales du bassin parisien ainsi qu'un ensemble relictuel de prairies humides. Elle présente aussi un réseau de noues et de milieux palustres d'un grand intérêt écologique. Elle se caractérise par une flore originale pour la région parisienne, constituée d'espèces en aire disjointe ou en limite d'aire (médio-européenne notamment). Les alluvions de la Bassée sont également reconnues comme une source potentielle d'intérêt régional majeur pour l'alimentation en eau potable. L'Agence de l'eau Seine-Normandie porte un intérêt spécial aux sites de l'aquifère alluvial favorables à l'exploitation des eaux souterraines (appelés « barrettes » ou « gîtes aquifères ») notamment par une politique d'acquisition de terrains (inclus dans le SDAGE). En effet, la qualité de la nappe de la craie utilisée en divers endroits pour l'eau potable s'est dégradée (nitrates notamment) et une utilisation plus importante des alluvions est envisagée. Il convient donc d'approfondir le problème de compatibilité entre le projet de stockage et le projet de mobilisation de la ressource souterraine AEP dans la Bassée, compte tenu du mode de fonctionnement envisagé pour les casiers, à savoir 15 jours d'inondation tous les 5 ans en moyenne.

La particularité du site d'étude est double, un système de surstockage du fait de la dérivation des crues de la Seine (surélévement prévu des eaux de plus de 2 mètres sur certains secteurs), et une exploitation importante des granulats qui changent les conditions hydrodynamiques et donc les modalités de transfert des polluants.

2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Les alluvions de la Seine dans la plaine de la Bassée contiennent une nappe d'accompagnement du cours d'eau (masse d'eau 3006). La faible pente de cette région a provoqué la divagation de la Seine et la formation de nombreux paléochenaux ayant pour conséquence des variations de lithologie et d'épaisseur considérables. Les alluvions ont une épaisseur moyenne de 7-8 mètres présentant une forte variabilité spatiale (jusqu'à 20 m). On y distingue les alluvions anciennes, correspondant à des dépôts liés à la dernière glaciation et les alluvions modernes (Holocène). Les alluvions anciennes sont constituées de graviers essentiellement calcaires de quelques mm à cm. Les alluvions modernes sont de granulométrie plus fine avec présence fréquente de limons (argiles silteuses). La transmissivité des alluvions est extrêmement variable selon l'endroit et la valeur moyenne de $3,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ obtenue à partir de nombreux pompages d'essais (Mégny, 1979) ne doit pas cacher la variabilité rencontrée ($0,9 \cdot 10^{-2}$ à $7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$). On estime que la perméabilité horizontale correspondante (en supposant que l'essentiel de la transmissivité provient

de la zone alluviale saturée) varie de $2,5 \cdot 10^{-3}$ à $8,5 \cdot 10^{-3}$ m.s⁻¹. La porosité totale peut être estimée globalement de l'ordre de 30% et la porosité efficace de 4 à 9%. En raison des modes de dépôts fluviaux de ces sédiments, la nappe peut être confinée localement dans des formations sableuses par des matériaux fins riches en matière organique.

Les alluvions reposent sur les couches crayeuses qui sont également aquifères dans la partie supérieure de la formation et contiennent une nappe libre au sud de la Seine (masse d'eau 3209). Les couches crayeuses dont le pendage nord présente la particularité d'être perpendiculaire à l'axe de la vallée, ont été diversement incisées par le lit de la Seine, ses affluents et ses divagations. Il y a communication entre les alluvions et la craie avec une alimentation (directe ou par drainance verticale ascendante) de la craie directement vers les alluvions de la Seine (Vernoux et al., 2004). Pour se convaincre du sens d'écoulement, il suffit d'observer les cotes piézométriques des ouvrages dans la craie au Sud de la Seine (qui culminent à l'altitude 140 m) avec l'altitude moyenne de la nappe des alluvions (50 m). Il y a vraisemblablement continuité hydraulique entre la craie et les alluvions sur l'ensemble du secteur d'étude. La craie représenterait donc un pôle important de la recharge des alluvions.

La perméabilité de la craie est extrêmement variable. Contrairement au réservoir alluvial où le milieu poreux est continu, le réservoir crayeux est dit à double porosité, avec une partie faiblement perméable (10^{-8} à 10^{-6} m.s⁻¹) correspondant à la matrice crayeuse et une partie fortement perméable (parfois jusqu'à 10^{-2} m.s⁻¹) correspondant aux diaclases (fractures) recoupant la craie et permettant la circulation de l'eau souterraine. La présence de karstification est connue, notamment sur Vimpeles.

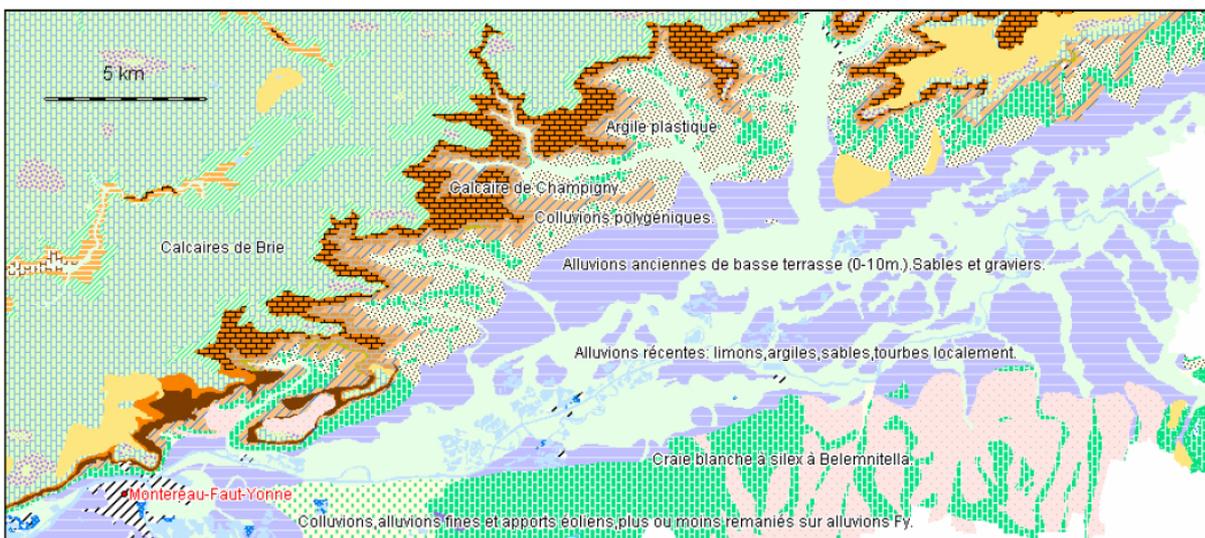


Illustration 2 : Contexte géologique de la plaine de la Bassée (Vernoux et al., 2004)

Au nord et nord-ouest se trouvent les formations tertiaires du calcaire de Champigny (masse d'eau 3103) visibles sur l'illustration 2. Ce réservoir aquifère est composé d'un

ensemble multicouche constitué de formations de calcaires lacustres séparées localement par des intercalations marneuses. L'ensemble repose sur les formations yprésiennes dont la base argileuse limite les communications avec la nappe de la craie. Celle-ci y est d'ailleurs captive et moins perméable que dans la partie sud où l'érosion a pu développer les fractures et diaclases qui lui procurent une meilleure productivité. Les formations tertiaires contribuent cependant à l'alimentation de la plaine alluviale de la Bassée par quelques sources de débordement de la nappe de Champigny (telle la source de Provins) donnant naissance à de courtes vallées.

La craie présente un pendage perpendiculaire à l'axe de la vallée Montereau-Nogent-sur-Seine se glissant sous les formations tertiaires au nord de la zone d'étude mais en contact direct avec les formations alluviales au niveau de la Bassée. Ainsi la recharge de la plaine alluviale de la Bassée se produit non seulement par alimentation directe des précipitations atmosphériques tombant sur la surface d'affleurement des alluvions, la Seine en période de hautes eaux mais également pour une part sans doute non négligeable d'écoulements souterrains provenant de la nappe de la craie dont la Seine constitue l'exutoire naturel. Enfin, pour une moindre part, le plateau tertiaire du calcaire de Champigny est susceptible de contribuer localement, principalement via les vallées des affluents de rive droite de la Seine, à la recharge des alluvions.

2.3. ETUDES ANTERIEURES

Plusieurs études ont été réalisées dans le cadre de l'amélioration des connaissances géologiques et hydrogéologiques, du projet d'aménagement de la Bassée et/ou de la protection de la qualité des eaux de la Seine et eaux souterraines (Agence de l'eau Seine-Normandie). Les informations géologiques et hydrogéologiques utilisées dans ce rapport proviennent principalement des travaux du BRGM (Mégny, 1965, Mégny, 1979, Vernoux et *al.*, 2004) et plus récemment des études spécifiques réalisées par TERRASOL (2002 et 2003), SOBESOL (2003) et la SOGREAH (2003) pour le projet d'aménagement de la Bassée. Les données antérieures et chroniques sur la qualité des eaux de surface et eaux souterraines sont extraites de la banque de données de l'Agence de l'eau Seine-Normandie (RNB) et du portail national d'accès aux données sur les eaux souterraines (ADES, 2007), des travaux réalisés plus récemment par Aquascop-Calligée (2004) et des divers études réalisées dans le cadre du PIREN-Seine.

3. Méthodologie

3.1. CHOIX DES POINTS DE MESURE

Afin de caractériser les eaux souterraines de la plaine de la Bassée des points d'eaux de l'aquifère alluvial et de l'aquifère de la craie, les deux aquifères présents, ont été sélectionnés. Les points ont été choisis parmi les piézomètres installés en 2001 par SOBESOL. Ces piézomètres sont récents, nombreux, et on dispose de la coupe technique détaillée de chacun d'eux. Les piézomètres captant les deux niveaux aquifères et permettant donc un mélange des eaux d'origine différentes ont été écartés de la sélection. Les points ont été sélectionnés selon divers profils choisis de telle manière à être globalement perpendiculaires (profils Nord-sud) ou parallèles au cours de la Seine (profils Est-ouest). Le profil nord-sud 1 (Bazoches-Lès-Bray) comprend PzSa37, PzScH4, PzSa38, PzSa16, PzSa48, PzSa41 et PzSc09 ; le profil nord-sud 2 (Egigny – Balloy) comprend PzSc22, PzSc16, PzSa26, PzScH3, PzSa21 et PzSa20. Les 2 profils est-ouest ont été choisis de telle manière qu'un passe au nord et l'autre au sud du lit de la Seine. Le profil est-ouest 1 comprend PzSc11, PzSa02, PzSa05, PzSc16, PzSa37 et PzSa61. Le profil Est-ouest 2 comprend PzSc11, PzSa02, PzSa05, PzSa21, PzScH3, PzSa20, PzSc09 et PzSa65. Au total 19 points d'eau souterraine ont été étudiés.

Pour les eaux de surface, les deux plus importants cours d'eau ont été pris en compte, la Seine amont à Bray-sur-Seine et la Seine aval à Marolles et la Voulzie à Jutigny.

La première campagne de mesure qui s'est déroulée les 12 et 13 juin 2007 compte donc 22 points d'observation (Illustration 3). Elle correspond à la période de descente des eaux pour l'aquifère de la craie et de l'alluvial (Mouy-sur-Seine code BSS 02605X0062/M4) et suit une période relativement pluvieuse. La deuxième campagne s'est déroulée en période de basses eaux, du 6 au 8 novembre. Elle inclue trois points supplémentaires, un bassin de décantation en aval (La Tombe) et un bassin en amont (Bazoches-lès-Bray) de la plaine alluvial et de l'eau de la craie plus au sud de la zone à La-Chapelle-sur-Oreuse.

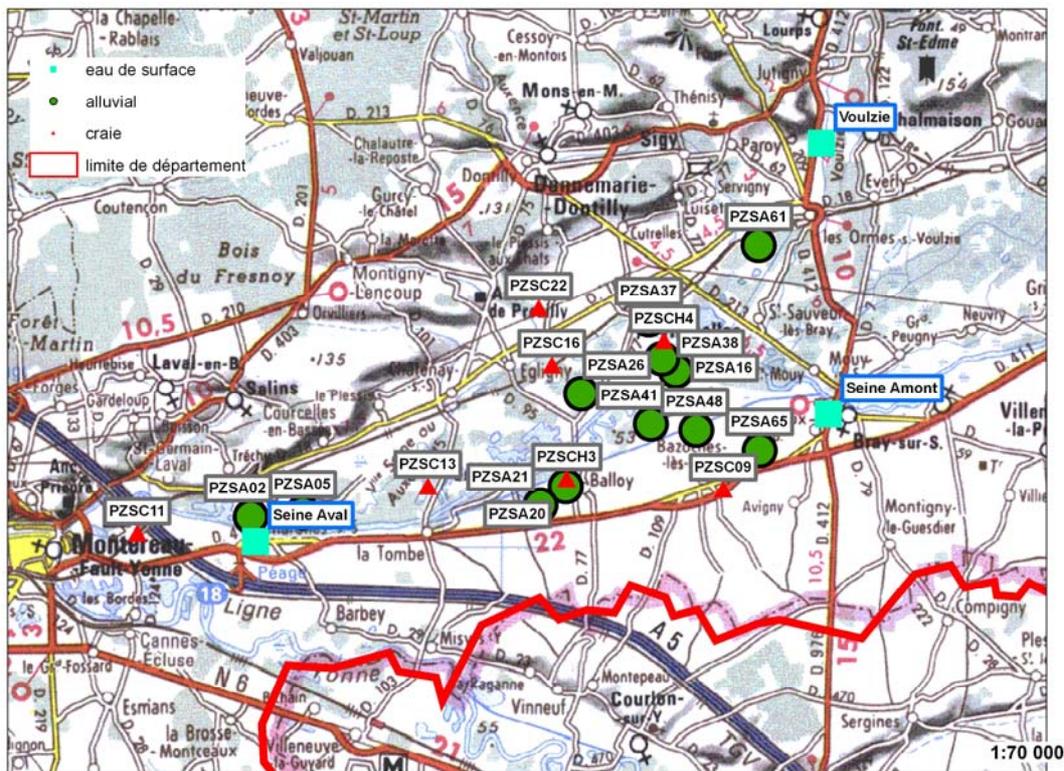


Illustration 3 : Localisation des points de prélèvement pour la campagne de juin 2007

3.2. METHODES DE MESURES

Toutes les techniques de prélèvement, d'échantillonnage et de conservation ont été validées au BRGM afin de répondre à trois objectifs : représentativité du milieu, caractérisation des phénomènes et limitation des transformations, et font l'objet d'un mode opératoire spécifique qui permet de garantir la non contamination des échantillons.

3.3. ANALYSES DES EAUX SOUTERRAINES ET DE SURFACE

3.3.1. Les données physico-chimiques

Les premiers outils utilisés pour essayer de mieux connaître l'origine de l'eau et des sels dissous et les relations entre aquifères et avec les eaux superficielles sont ceux de la géochimie classique. Ils sont utiles pour répondre aux questions suivantes : d'où vient l'eau souterraine ? Quelles sont les différents aquifères et interrelations ? Quel est le fonctionnement du système ?

Les concentrations en éléments chimiques dans les eaux sont en grande partie acquises par l'altération des roches encaissantes. Contrairement aux cations qui

résultent de réactions d'équilibre de façon thermodépendante, les teneurs en éléments dits "mobiles" (chlorure, brome, et dans une moindre mesure les espèces réduites et oxydées du soufre) sont liées à des réactions irréversibles et non tamponnées par des équilibres entre ces espèces et les néoformations minérales.

Ainsi, par l'étude des saturations (ou état d'équilibre) des eaux par rapport aux minéraux constitutifs de l'aquifère, on pourra établir l'origine des différents éléments en solution, et voir d'éventuels effets de drainance (ou mélange avec d'autres aquifères et/eaux de surface).

La sélection des analyses prend impérativement en compte les données géologiques, hydrogéologiques avec la nécessité de la connaissance de la chimie du milieu aquatique (eau de surface et eau souterraine) et des différentes phases interagissant avec lui, l'objectif de l'étude étant à terme de comprendre l'origine de l'eau et des sels dissous, son cheminement, son évolution physico-chimique, les mélanges,... Le choix s'est donc porté sur l'ensemble des éléments majeurs dissous (Ca, Mg, Na, K, HCO₃, SO₄, Cl, NO₃) ainsi que la silice (SiO₂). Un grand nombre d'éléments dissous mineurs ou traces a été également analysé afin de renseigner sur les interactions eau-roches et les éventuelles pollutions anthropiques.

Pour interpréter correctement les données recueillies sur la répartition des éléments chimiques dans les eaux, il est nécessaire de connaître leur spéciation, et pour ce faire de posséder la chimie globale de l'eau des différents pôles potentiels d'alimentation, avec en appui des mesures fiables des paramètres physico-chimiques sur le terrain (pH, potentiel rédox, alcalinité, température,...). Les paramètres physico-chimiques seront impérativement mesurés sur le terrain au moment du prélèvement des eaux souterraines et de surface.

Les analyses physico-chimiques sont faites selon les normes NF EN ISO/CEI 17025 et NF EN ISO 9001-2000 (Illustration 4).

Elément	Mode opératoire	Commentaire
Ca (calcium)	NF en ISO 11865	Analyse par ICP
Mg (magnésium)		
K (potassium)		
Na (sodium)		
Cl (chlorure)	NF en ISO 10305	Méthode par chromatographie ionique (DIONEX) selon NF EN 10304-1 (juin 1995) pour les eaux faiblement contaminées et ISO EN 10304-2 (sept 1996) pour les eaux usées. Evaluation des aires des pics.
SO4 (sulfates)		
NO3 (nitrates exprimés en NO3)		
NO2 (nitrites)	NF EN 26777	Spectrométrie visible
NH4 (ammonium)	NF EN ISO 11732	Flux continu
Ag (argent)	MO108	Analyse d'éléments traces par ICP-MS
Al (aluminium)		
As (arsenic)		
B (bore)		
Ba (barium)		
Be (béryllium)		
Cd (cadmium)		
Co (cobalt)		
Cr (chrome)		
Cu (cuivre)		
Li (lithium)		
Mn (manganèse)		
Ni (nickel)		
Pb (plomb)		
Sr (strontium)		
Zn (zinc)		

Illustration 4 : Modes opératoires et méthodes d'analyses des éléments majeurs et traces

3.3.2. Les pesticides

2,4 DDD	5 ng/L dichlorvos	0.05 µg/L MCPA	0.05 µg/L Sébutylazine	0.025 µg/L
2,4 DDE	5 ng/L dicofol	0.05 µg/L Malathion	0.05 µg/L Tebuconazole	0.05 µg/L
2,4 DDT	5 ng/L Dieldrine	5 ng/L Monolinuron	0.025 µg/L Tebutame	0.025 µg/L
2,4,5-T	0.05 µg/L Diméthénamide	0.05 µg/L Monuron	0.05 µg/L Terbutylazine	0.025 µg/L
2,4,D	0.05 µg/L diméthoate	0.05 µg/L Mécoprop	0.05 µg/L Terbutryne	0.025 µg/L
4,4' DDD	5 ng/L Dinoterb	0.05 µg/L Métamitron	0.05 µg/L Thiabendazole	0.05 µg/L
4,4' DDE	5 ng/L disulfoton	0.05 µg/L Métazachlore	0.025 µg/L triclopyr	0.05 µg/L
4,4' DDT	5 ng/L Diuron	0.025 µg/L Méthabenzthiazuron	0.025 µg/L Trifluraline	0.025 µg/L
Acétochlore	0.025 µg/L Désisopropylatrazine	0.025 µg/L Méthomyl	0.05 µg/L Tétraconazole	0.05 µg/L
Alachlore	0.03 µg/L Déséthylatrazine	0.025 µg/L Méthoxychlore	5 ng/L alpha HCH	5 ng/L
Aldrine	5 ng/L Endosulfan I	5 ng/L Métobromuron	0.05 µg/L beta HCH	5 ng/L
Aldicarbe	0.15 µg/L Endosulfan II	5 ng/L Métolachlor ⁽²⁾	0.025 µg/L delta HCH	5 ng/L
Alphamétrine	0.05 µg/L Endosulfan sulfate	20 ng/L Métoxuron	0.025 µg/L epsilon HCH	5 ng/L
Amétryne	0.025 µg/L Endrine	5 ng/L Métribuzine	0.025 µg/L gamma HCH (lindane)	5 ng/L
Atrazine	0.05 µg/L Fenpropimorphe	0.05 µg/L Métsulfuron Méthyle	0.05 µg/L	
Bentazone	0.05 µg/L Fenthion	0.05 µg/L Napropamide	0.05 µg/L glyphosate	0.05 µg/L
Bifenox	0.05 µg/L Flurochloridone	0.05 µg/L Nicosulfuron	0.2 µg/L AMPA	0.05 µg/L
Biphényl	0.05 µg/L Fluzilazole	0.05 µg/L Néburon	0.05 µg/L	
Bromacil	0.05 µg/L Folpel	0.05 µg/L oxadiazon	0.05 µg/L	
Bromopropylate	0.05 µg/L Fénamiphos	0.05 µg/L oxamyl	0.05 µg/L	
Bromoxynil	0.05 µg/L Fénitrothion	0.05 µg/L Parathion-méthyl	0.05 µg/L	
Cadusafos	0.05 µg/L Heptachlore	5 ng/L Parathion-éthyl	0.05 µg/L	
Captan	0.05 µg/L Heptachlore époxyde cis+trans	5 ng/L Penconazole	0.05 µg/L	
Carbendazime	0.025 µg/L Hexachlorobenzène	5 ng/L Pendiméthaline	0.04 µg/L	
Carbofuran	0.05 µg/L Hexaconazole	0.05 µg/L Pentachlorophénol	0.3 µg/L	
Carbophenothion	0.05 µg/L Hexazinon	0.025 µg/L Phosalone	0.05 µg/L	
Chlorfenvinphos	0.05 µg/L Imazalil	0.05 µg/L Phostiasate	0.05 µg/L	
Chlorpyrifos ethyl ⁽¹⁾	0.05 µg/L Imazaméthabenz	0.05 µg/L Piperonyl butoxyde	0.05 µg/L	
Chlortoluron	0.025 µg/L Ioxynil	0.05 µg/L Prométryne	0.05 µg/L	
Cyanazine	0.025 µg/L Isoproturon	0.025 µg/L Propanil	0.05 µg/L	
Desmétryne	0.025 µg/L Isoproturon-1CH3	0.025 µg/L Propazine	0.025 µg/L	
Diazinon	0.05 µg/L Isoproturon-2CH3	0.025 µg/L Propoxur	0.05 µg/L	

Illustration 5 : Liste des molécules organiques recherchées par une technique dite « multi-résidus » couplée à une méthode spécifique (dérivation FMOC et analyse LC/fluorimétrie) pour le glyphosate et son produit de dégradation (AMPA)

L'illustration 5 correspond à la liste des 116 substances recherchées dans les échantillons d'eau brutes.

3.3.3. Les OHV

Les analyses d'OHV sont réalisées à l'aide d'un chromatographe de phase gazeuse couplé à un détecteur à capture d'électron (GC/ECD).

Une liste sélective de composés organohalogènes volatils (OHV) a été établie à partir des données des rapports antérieures ayant traités à l'étude qualitative de eaux de la nappe alluviale, de l'aquifère de la craie et de la Seine (Agence de l'eau Seine-Normandie (RNB) et ADES, Aquascop-Calligée, 2004). Ainsi le trichloréthylène, 1,1,1-trichloroéthane, bromoforme, chloroforme, dichloromonobromométhane, tétrachloroéthylène ont été mesurés dans les eaux souterraines et de surface (Illustration 5) avec une limite de quantification de $2 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Les OHV, substances synthétisées à partir d'hydrocarbures sont d'origine anthropique et leur présence dans les eaux de surface ou souterraines relèvent d'une pollution actuelle ou passée.

3.3.4. Les isotopes et gaz dissous

Les analyses isotopiques et des gaz dissous (CFC, SF6) ne suivent pas de normes ISO, inexistantes pour ces éléments, mais font l'objet d'un contrôle continu (utilisation de standard internes et participation à des exercices de calibration inter-laboratoires) qui permettent de garantir l'obtention de faibles incertitudes (Illustration 6).

Analyses isotopiques et de CFC	Méthode	Incertitude
Rapport $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ de l'eau	Equilibration avec CO_2 de composition connue	$\pm 0,1 \text{ ‰}$
Rapport $^2\text{H}/^1\text{H}$ de l'eau	Réduction par zinc	$\pm 0,8 \text{ ‰}$
Rapport $^{37}\text{Sr}/^{36}\text{Sr}$ du strontium dissous total dans l'eau	TIMS	$\pm 0,05\%$

Analyses isotopiques et de CFC	Méthode	Incertitude
Teneur en ^3H	Enrichissement électrolytique et comptage par scintillation liquide	$\pm 10 \%$
CFC-113, CFC-12, CFC-11, SF6	Purge and trap et chromatographe en phase gazeuse équipé d'un détecteur à capture d'électron	$\pm 5\%$

Illustration 6 : Tableau récapitulatif des méthodes d'analyses d'isotopes et gaz dissous

Toutes les analyses sont effectuées au laboratoire du BRGM à l'exception des analyses des CFC et SF6 par chromatographie gazeuse (Spurenstofflabor, Allemagne).

a) Rapport isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Le rapport isotopique du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) d'une eau est lié à celui du minéral ou des associations minéralogiques avec lequel l'eau a interagi. Les effets de variations du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ liés à la décroissance radioactive d'un élément père (^{87}Rb) en élément fils (^{87}Sr) ne sont pas significatifs, compte tenu de la courte échelle de temps à laquelle ces processus sont étudiés en géochimie environnementale ainsi que les effets de fractionnements isotopiques liés à la différence de masse qui ne sont pas détectables pour des éléments dont la masse est proche de 80. Les variations du rapport isotopique du strontium dans un hydrosystème donnent ainsi des informations sur l'origine et les proportions de mélange des différents composants naturels (interaction roche-eau) et anthropogéniques.

Lors des phénomènes d'interaction eau-roche, le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de la fraction de strontium libéré sera différent de la roche totale et typique du ou des minéraux altérés et ceci en liaison avec la "résistance" des minéraux vis-à-vis de l'agressivité du fluide. Globalement, le strontium solubilisé dans la roche et transporté vers l'extérieur du système formé par la roche est beaucoup moins radiogénique (c'est-à-dire de rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ plus bas) que le strontium dans la roche totale non altérée ; d'autre part, le strontium des argiles résiduelles est beaucoup plus radiogénique. Les variations isotopiques observées dans les fluides peuvent être issues du mélange de Sr de composition isotopique différente provenant de différentes sources. Ainsi, dans le cas simple où deux sources de rapport isotopique ou chimique sont présentes, la composition du mélange peut être déterminée. Les variations du rapport isotopique du

strontium dans un hydrosystème donnent ainsi des informations sur (1) l'origine et les proportions de mélange des différents composants fluides ainsi que sur (2) la nature et l'intensité des processus d'interaction roche-eau liés notamment à l'altération et à l'érosion.

Pour l'interprétation des rapports isotopiques une mesure des concentrations des eaux en strontium et rubidium en infra-traces (niveaux de quantification très bas) sera effectuée en parallèle.

La plaine de la Bassée étant largement cultivée, l'utilisation d'engrais enrichis en strontium est possible. Le strontium d'origine anthropique (engrais) a un rapport isotopique globalement connu.

b) les isotopes de l'eau ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$)

Les variations de composition isotopique en oxygène et en hydrogène, traceurs intimes de la molécule d'eau obéissent à certaines lois. Lors des changements de phases (condensation, évaporation, passage phase liquide-phase solide), des fractionnements isotopiques entre les diverses molécules se réalisent ; ceux-ci sont dépendants de la température. Ainsi la composition isotopique des eaux météoriques varie en fonction de paramètres géographiques ou paléogéographiques : latitude, altitude, saison, période climatique (nombreux exemples d'eaux anciennes précipitées sous un climat qui n'a plus cours actuellement).

Afin de connaître les relations entre aquifères et les relations aquifères/eaux superficielles, les deux compositions isotopiques $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ traceurs intimes de la molécule d'eau seront analysées. La mesure des deux traceurs permet la comparaison par rapport à la fonction entrée, c'est-à-dire par rapport à la droite météorique locale et de voir si les eaux de l'aquifère ont été modifiées par échange ou mélange avec des eaux extérieures au système. La mesure de ces deux traceurs est indispensable pour détecter les phénomènes d'évaporation et déterminer l'origine des eaux. Dans un contexte tel que celui de la plaine alluviale de la Bassée, une forte évaporation des eaux de surface est attendue et permettra ainsi le « marquage » des eaux qui s'infiltreront ensuite.

c) La datation des eaux jeunes

Dater les eaux souterraines signifie déterminer l'âge de l'eau souterraine, i.e. le temps écoulé à partir du moment où l'eau devient souterraine, en d'autres termes, depuis son infiltration dans le sol à partir des précipitations ou depuis tout autre type d'eau de surface (rivières, lacs). Il existe plusieurs méthodes pour calculer ou estimer l'âge des eaux souterraines. Deux méthodes distinctes ont été suggérées pour l'étude actuelle en fonction du type d'aquifère et de l'état des connaissances, celle qui se base sur l'application de la décroissance radioactive et celle qui se base sur l'utilisation de certains gaz produits industriellement au XXème siècle.

Le processus physique de la décroissance radioactive est la base de la détermination de l'âge des eaux. La décroissance radioactive d'un élément est complètement indépendante des paramètres environnementaux comme la pression, la température, le pH ou les liaisons chimiques, et dépend seulement d'un degré d'instabilité caractéristique, exprimé par une demie vie. De la demi-vie des éléments dépendra la plage de temps d'utilisation des traceurs dans les études hydrogéologiques (Illustration 7).

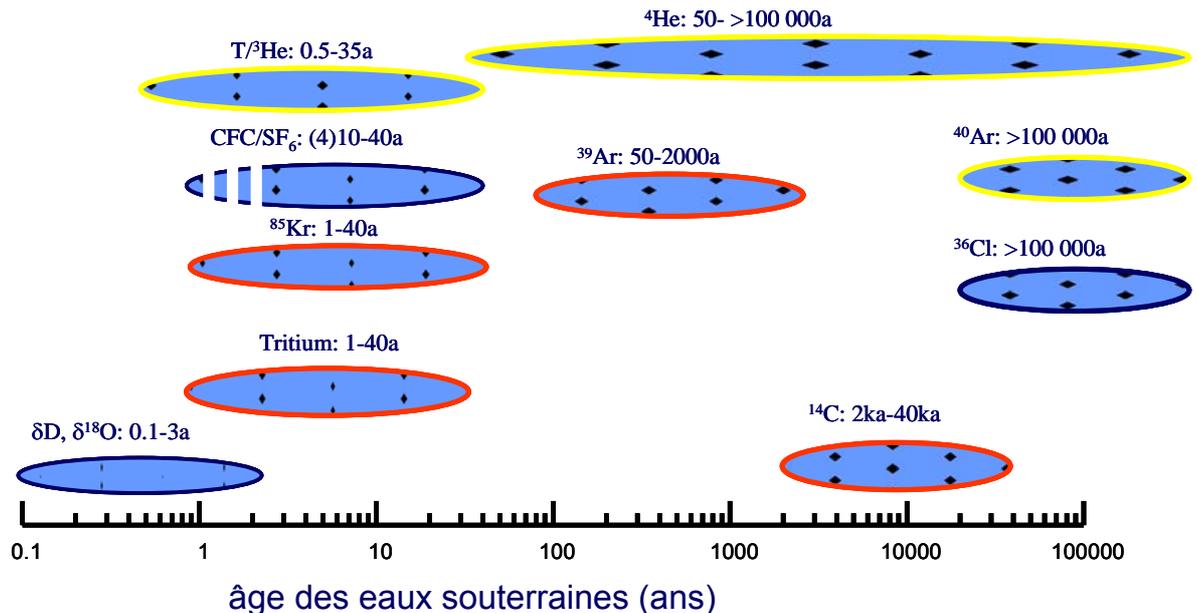


Illustration 7 : Echelle de datation pour quelques éléments radioactifs et gazeux

L'âge attendu pour les eaux de l'alluvial est contemporain (moins de 60 ans). D'autre part la datation des eaux a pour but non pas la détermination d'un âge absolu des eaux mais la compréhension des échanges entre nappes alluviales et de la craie et eaux de surface. Ainsi nous nous sommes intéressés uniquement aux outils de datations des eaux jeunes, qui pourraient donc avoir une relation avec les eaux de surface ou de l'aquifère de surface. Les méthodes de datation retenues sont donc celles utilisant le tritium de l'eau (>1960), les CFC (>1950) et le SF₆ (>1970).

Le tritium, ${}^3\text{H}$, est un traceur intime de la molécule d'eau, qui permet d'estimer le temps de transit des eaux dans l'aquifère (gamme temporelle de 0 à une soixantaine d'années). C'est un marqueur des masses d'eau contemporaines. En effet, une production artificielle s'est ajoutée à la production naturelle au cours des essais thermonucléaires aériens, pendant la période 1952 - 1963 ; les essais ont cessé depuis 1963 (Illustration 8). Par l'intermédiaire de cette production artificielle, on peut différencier les eaux qui résultent des précipitations sans ${}^3\text{H}$ nucléaire (avant 1952), des eaux de précipitations formées dans une atmosphère contenant du ${}^3\text{H}$ nucléaire (après 1952). Ce radio-isotope a été durant ces trente dernières années le plus utilisé en hydrogéologie notamment pour connaître si les recharges modernes d'aquifères

étaient présentes, en comparant les teneurs en tritium de la fonction d'entrée du système aquifère (précipitation-évapotranspiration) et celles de la fonction de sortie (nappe atteintes par forage, sources,...).

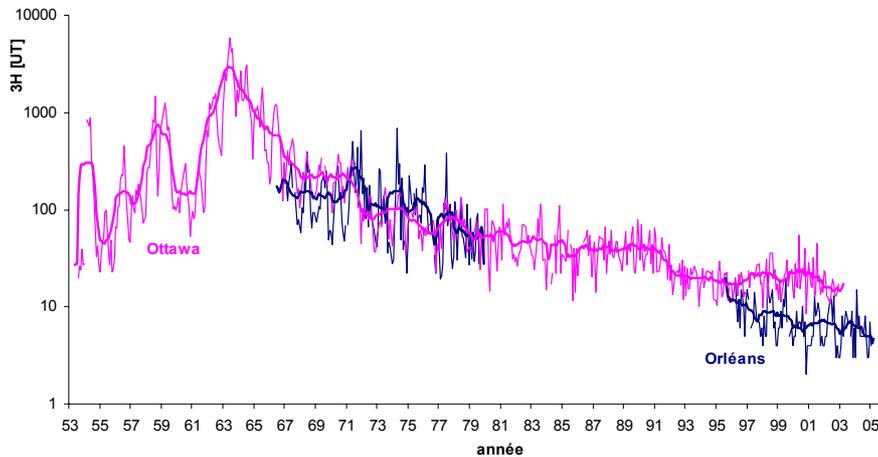


Illustration 8 : Chroniques de tritium à Ottawa, Canada (plus longue chronique existante) et Orléans (la plus proche du site de la Bassée)

Le facteur limitant l'utilisation de ce traceur des âges est l'absence d'une longue chronique indiquant la teneur en tritium des pluies locales et la présence d'une source proche de tritium, la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine.

Le deuxième type d'éléments permettant une datation des eaux jeunes sont les gaz dissous (IAEA, 2006). Cette méthode est basée sur la mesure de gaz conservatif à l'état de trace. Les traceurs gazeux (CFC-11, CFC-12, CFC-113, SF6...) présents dans l'atmosphère passent la zone non saturée selon un transport diffusif avant d'entrer dans l'eau souterraine sous forme de gaz dissous suivant la loi d'Henry. La datation des eaux se base sur la comparaison des concentrations en gaz dissous dans les eaux souterraines et les chroniques de concentration des gaz dans l'atmosphère. Ces chroniques (fonction d'entrée, Illustration 9) sont parfaitement connues car mesurées en routine à plusieurs stations localisées dans les hémisphères nord et sud. Pour les deux types de traceurs de l'âge des eaux, il est très important de connaître la fonction « entrée », i.e. le taux de traceur qui s'infiltré (dépendant du temps). Dans cette étude, les chroniques d'entrées pour les CFC et le SF6 sont celles de l'hémisphère nord donné par le Climate Monitoring Diagnostics Laboratory / National Oceanic and Atmospheric Administration (CMDL/NOAA). Comparées aux données de la station de surveillance la plus proche de la Bassée, Mace Head en Irlande les écarts entre les deux stations sont peu importants (Goody *et al.*, 2006).

tracer1b.grf (JK Böhlke) 4/22/03

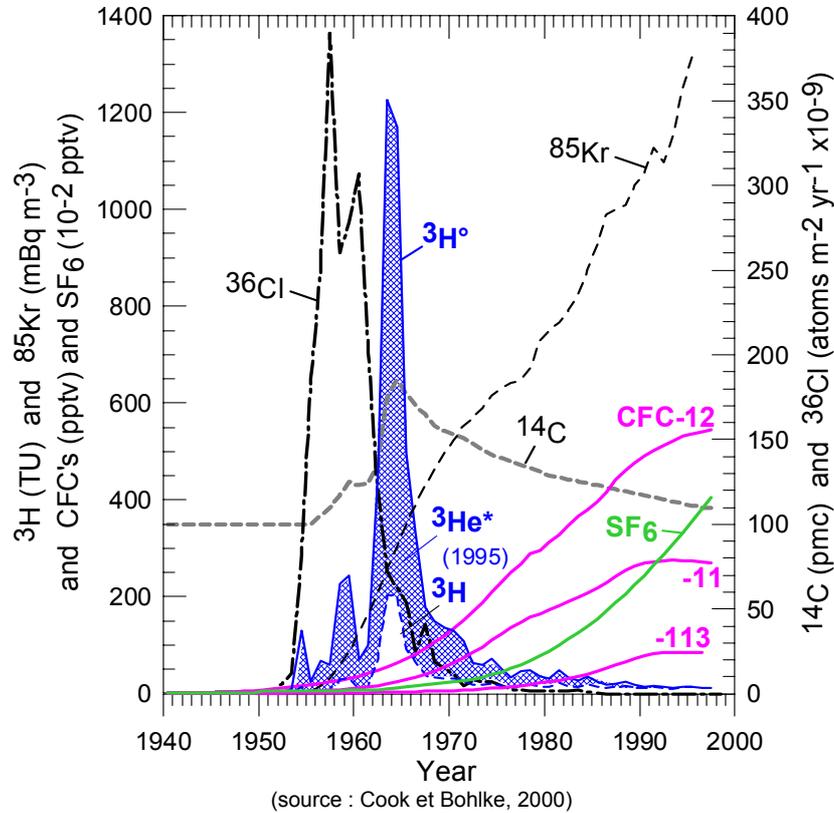


Illustration 9 : Chronique des concentrations dans l'air des CFC, SF6, tritium et autres traceurs des âges modernes

Les composés halogénés CFC-11 (trichlorofluorométhane), CFC-12 (dichlorodifluorométhane), et CFC-113 (trichlorotrifluorométhane) communément appelés fréons sont utilisés principalement comme gaz réfrigérants, propulseurs, solvants et agents d'expansion dans les mousses de matières plastiques. L'intérêt de l'utilisation de ces composés halogénés pour la datation des eaux repose principalement sur leur origine et leurs propriétés physico-chimiques :

- temps de résidence atmosphérique élevé,
- homogénéité des concentrations atmosphériques entre les deux hémisphères,
- pas de source naturelle, origine uniquement anthropique,
- bonne stabilité chimique dans le sol et dans l'eau.

L'hexafluorure de soufre (SF6) est utilisé principalement pour ses capacités isolantes par l'industrie d'énergie électrique, dans les accélérateurs et la production du double vitrage. Ce gaz est également utilisé dans la production du magnésium et comme

traceur pour la détection des transferts de polluants (traçage gazeux). Le SF6 est maintenant parmi les gaz provoquant l'effet de serre spécifiquement dénoncés par la communauté internationale (protocole de Kyoto) pour les réductions d'émission et le contrôle du réchauffement global de l'atmosphère.

En 1987 à Montréal, les principaux pays producteurs de CFC décidèrent d'en stopper la production. En Europe, depuis le 1er octobre 2000, les CFC ne peuvent plus être mis sur le marché et doivent être impérativement récupérés et détruits depuis le 1er janvier 2002. Même si l'utilisation du SF6 et des CFC est maintenant limitée et les concentrations dans l'air stabilisées ou diminuées, le démantèlement des réfrigérateurs, bombes à aérosols, double vitrage,... entraîne encore des émissions.

La mesure de l'activité (cas des traceurs radioactifs) ou des concentrations (cas des gaz dissous) ne donne qu'une information relative de l'âge d'une eau. L'âge radiométrique d'une eau souterraine est en fait l'âge moyen d'un mélange de nombreux écoulements élémentaires. La datation des eaux souterraines ne peut donc se limiter uniquement à déterminer un âge. C'est toute une répartition des âges qu'il faut déterminer. Pour permettre une datation des eaux souterraines il est essentiel d'obtenir au préalable un modèle conceptuel des circulations souterraines qui permettra notamment la détermination des principaux modes de circulation des eaux (type piston, exponentiel, modèle de mélange).

3.4. LES PRELEVEMENTS DE SOL ET ANALYSES CORRESPONDANTES

3.4.1. Sélection des sites pilotes

Le choix des sites répond à des critères d'ordre pratique et scientifique. Sur le plan pratique, les sites doivent être accessibles, autorisés, se situer à l'intérieur d'un futur casier du projet de surstockage. Il est en outre nécessaire de disposer de données sur la perméabilité, les terrains rencontrés et le niveau d'eau pour déterminer à la fois les profondeurs et les techniques de sondage et l'intérêt du site pour l'étude. Ces données sont disponibles dans les travaux antérieurs effectués dans le cadre de l'étude de faisabilité coordonnées par l'IIBRBS.

Sur le plan scientifique, on recherche trois sites qui rendent compte de la diversité des conditions d'infiltration et de pressions anthropiques rencontrées dans ces casiers. La distribution des perméabilités verticales et de l'occupation des sols montrent une grande variabilité qui ne pourra pas être complètement représentée lors de cette étude. Toutefois, les trois sites sélectionnés (Illustration 10) sont représentatifs des grands types de d'occupation des sols et de perméabilités.

Le site n° 1 est en lisière de forêt, en zone classée à fort intérêt écologique. Le site 2 est en zone d'exploitation de carrière sur un secteur actuellement cultivé. Le site 3 est une jachère. Les sites 1 et 3 sont situés dans les zones définies comme gîtes aquifères (« barrettes ») par l'agence de l'eau.

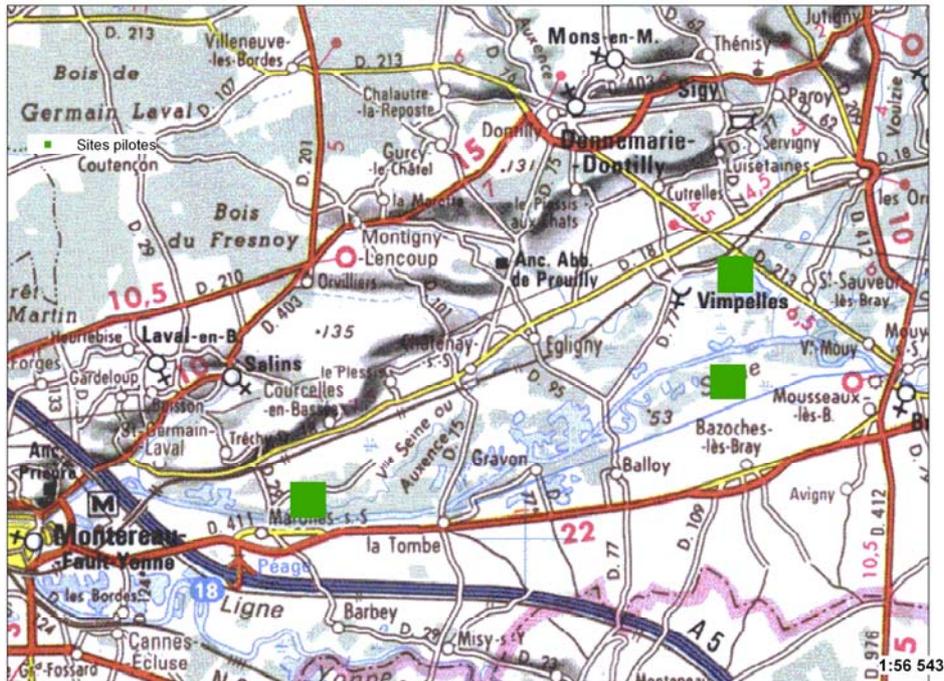


Illustration 10 : Localisation des sites pilotes.

Les perméabilités des terrains de surface, d'après la campagne de mesures menée en 2004 (Leon, 2004), offre une plage de variation de 2 ordres de grandeurs : depuis $3 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$ (site 3) à $8 \cdot 10^{-7}$ (site 2). Les terrains sous jacents devraient également présenter une large variabilité allant des graviers aux argiles. Enfin, la profondeur du niveau saturé en eau (qui détermine l'épaisseur de la zone non saturée à laquelle le projet s'intéresse plus particulièrement) permettra des sondages de l'ordre de 3 m de profondeur.

Les 3 sites sont numérotés d'Est en Ouest :

Site 1 (Casier 1) : secteur amont – Entité paysagère 9 « les grandes prairies » dominé par le boisement et nombreux petits plans d'eau et clairières agricoles. Lieu-dit « Champ de l'Épine ». Alluvions modernes de perméabilité verticale au point Sa52bis $K = 8 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$. Pas d'échantillonnage d'eau proche. Commune de Saint-Sauveur-les-Bray.

Site 2 (Casier 7) : secteur central - proche de plusieurs lacs au sud de la Seine. Entité paysagère 8 « Plaine de Champmorin » grandes clairières agricoles et zones d'exploitations de graviers et sables. Présence de limon (alluvial moderne) et alluvial ancien en recouvrement de la craie. Eaux plus anciennes car mélange important avec les eaux de la craie. Perméabilité verticale sur sondage SaH3 $K = 7,95 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$. Site localisé en terrain agricole. Commune de Bazoche-les-Bray. Lieu-dit « Le Canton ».

Site 3 (Casier 9) : secteur aval de la Bassée. Entité paysagère 3 « plaine de la Muette » avec combinaison de clairières agricoles et d'une trame boisée. Vocation

écologique. Alluvion ancienne directement sur la craie. Perméabilité verticale au point Sa5 $K=2,65 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$. Eau « jeune » d'une trentaine d'années. Site localisé en sous-bois. Commune de Marolles. Lieu-dit « Les Jachères »

L'annexe 1 rassemble les détails de ces sites et des sondages réalisés.

3.4.2. Prélèvements de terrain

Les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'un carottier par percussion « Géoprobe ». La machine, légère et montée sur chenille, permet de réaliser des prélèvements de faible profondeur et en petit diamètre (50 mm) dans des formations meubles ou tendres, avec de bonnes récupérations d'échantillons, tant sur le plan qualitatif que quantitatif. Les échantillons sont récupérés dans des gaines transparentes ce qui permet l'estimation du taux de récupération (rapport de la longueur forée sur la longueur de terrain récupérée) ainsi qu'une première identification lithologique, et garanti l'absence de contamination par un milieu extérieur (Illustration 11).



Illustration 11 : Sondage pour prélèvement de sol

Photo de gauche : la machine géoprobe en place sur le site n°3. Noter dans le coin inférieur gauche le tube intérieur et les gaines transparentes destinées à recevoir la carotte. En haut, à droite, extraction de la carotte dans sa gaine. En bas à droite : repérage des cotes et des variations lithologiques grâce aux gaines transparentes.

Les prélèvements se sont déroulés du 15 au 17 octobre 2007. Le détail des résultats est présenté en annexe 1. Trois sondages au minimum ont été forés sur chaque site, ceci afin de garantir la récupération d'une quantité suffisante d'échantillons pour les différents tests à réaliser sur les sédiments et d'estimer la variabilité spatiale entre plusieurs échantillons prélevés au même endroit (la distance entre les prélèvements est de 0,40 à 1 m).

Sondage 1 :

Les sondages ont une profondeur de 3,50 m. Les terrains rencontrés sont identiques dans les trois sondages :

0 – 0.85 m : Sol

0.85 – 3,50 m : sables et graviers (Alluvions modernes)

Le niveau d'eau était visible sur les échantillons (2.28 m). Ce niveau se situe dans les sables. La nappe est donc libre à cet endroit.

Sondage 2 :

Deux des sondages ont une profondeur de 3,20 m. Un troisième sondage a été prolongé jusqu'à 4,55 m de manière à identifier l'épaisseur des matériaux limoneux rencontrés et atteindre la nappe. Les terrains rencontrés présentent une variabilité importante sur les 4 sondages réalisés, avec notamment la présence d'un niveau sableux aquifère de 50 cm d'épaisseur entre 1,50 et 2 m de profondeur qui apparaît sur deux sondages et n'apparaît pas sur les deux autres. Les sondages retenus pour les traitements ultérieurs concernent les carottages les plus profonds. La coupe lithologique y est la suivante :

0 – 2,2 m sol limoneux relativement hétérogène qui peut correspondre à des colluvions ou à un remblai lié à l'exploitation des gravières voisines

2,2 – 3,5 m : limons gris

3,5 – 4,5 m : silts, sables fins et sables grossiers, granoclassés.

Le niveau de l'eau mesuré dans le sondage est rencontré à la profondeur de 1,10 m. Le niveau sableux profond contient donc une nappe captive.

Sondage 3 :

Les sondages, d'une profondeur de 3,20 à 3,40 m ont rencontré :

0 - 0,6 sol sableux

0,6 – 3,20 m : sable beige hétérogène avec granoclassement (sable plus fins au sommet et gravier à la base)

3,20 – 3,40 m : gravier argileux ocre.

Le niveau de la nappe mesuré au piézomètre voisin est de 2,73 m.

4. Estimation des pressions

4.1. OCCUPATION DES SOLS

Une analyse de l'évolution de l'occupation des sols entre 1949, 1961, 1976, 1987 et 1997 sur le territoire de la Bassée aval (entre Nogent-sur-Seine et Montereau-Fault-Yonne) a été réalisée dans le cadre du PIREN-Seine (Fustec *et al.*, 1998-2001). Elle montre que les cultures constituent la principale occupation du sol dans ce secteur, soit environ 40 % du territoire (Illustration 12). Cette proportion n'a pas beaucoup évolué dans le temps. Cependant, les cultures se sont déplacées dans l'espace, en se développant au détriment des prairies et en perdant des surfaces au profit des carrières. Au total, environ 60 % du territoire Bassée aval a été occupé à un moment donné par les cultures.

	1949	1961	1976	1987	1997
eaux naturelles et zones humides	3,2%	3,2%	3,1%	3,4%	2,7%
canaux et rivières recalibrées	0,6%	0,6%	1,0%	1,8%	2,3%
gravières	0,9%	1,5%	5,9%	10,6%	13,5%
bâti et surfaces équipées	3,7%	4,1%	5,2%	5,7%	5,8%
cultures	41,7%	42,7%	46,0%	43,1%	40,8%
prairies	13,0%	8,9%	2,6%	1,3%	1,3%
fourrés arbustifs	9,1%	8,5%	7,2%	7,8%	6,9%
bois à exploitation intensive	17,4%	15,5%	12,9%	10,7%	9,9%
boisements à exploitation extensive	6,5%	9,2%	9,4%	9,3%	9,8%
boisements naturels à semi-naturels	3,8%	5,8%	6,7%	6,4%	7,0%
	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
<i>total des boisements</i>	36,8%	39,0%	36,2%	34,2%	33,6%

*Illustration 12 : Résultats de l'exploitation des données brutes de l'occupation des sols de la Bassée (Fustec *et al.*, 1998-2001)*

Les prairies ont régressé de 90 % entre 1949 et 1997, et ne représentent plus aujourd'hui que 1,3 % du territoire. Cette chute s'est produite essentiellement dans les années 70, au profit des cultures et, dans une moindre mesure, des boisements et carrières.

Les carrières se sont développées à partir des années 70, essentiellement au détriment des cultures. Après exploitation, elles se transforment en plan d'eau et en friches. Elles représentent aujourd'hui environ 13,5 % du territoire.

Les formations boisées ont connu une légère décroissance depuis les années 70 et représentent aujourd'hui environ 34 % de la surface boisée de la Bassée aval. Cette stabilité apparente masque en réalité une modification importante au sein des

différentes catégories de boisements. Les exploitations intensives (peupleraies) se sont en effet effondrées de 60 %, tandis que les exploitations extensives et les bois naturels à semi-naturels voyaient leur surface augmenter de la même proportion.

Les autres milieux occupent une surface beaucoup plus limitée. Quelques évolutions significatives sont toutefois à noter, notamment l'augmentation des surfaces urbanisées (villes, routes, ...) et des cours d'eau recalibrés au détriment des rivières naturelles.

Cette étude a donc permis d'évaluer l'incidence des activités humaines sur l'évolution de cette zone depuis la fin de la dernière guerre mondiale. La pression anthropique s'est révélée fatale à l'égard de certains milieux ; les plus remarquables (les prairies) étant les plus affectés (Illustration 13).

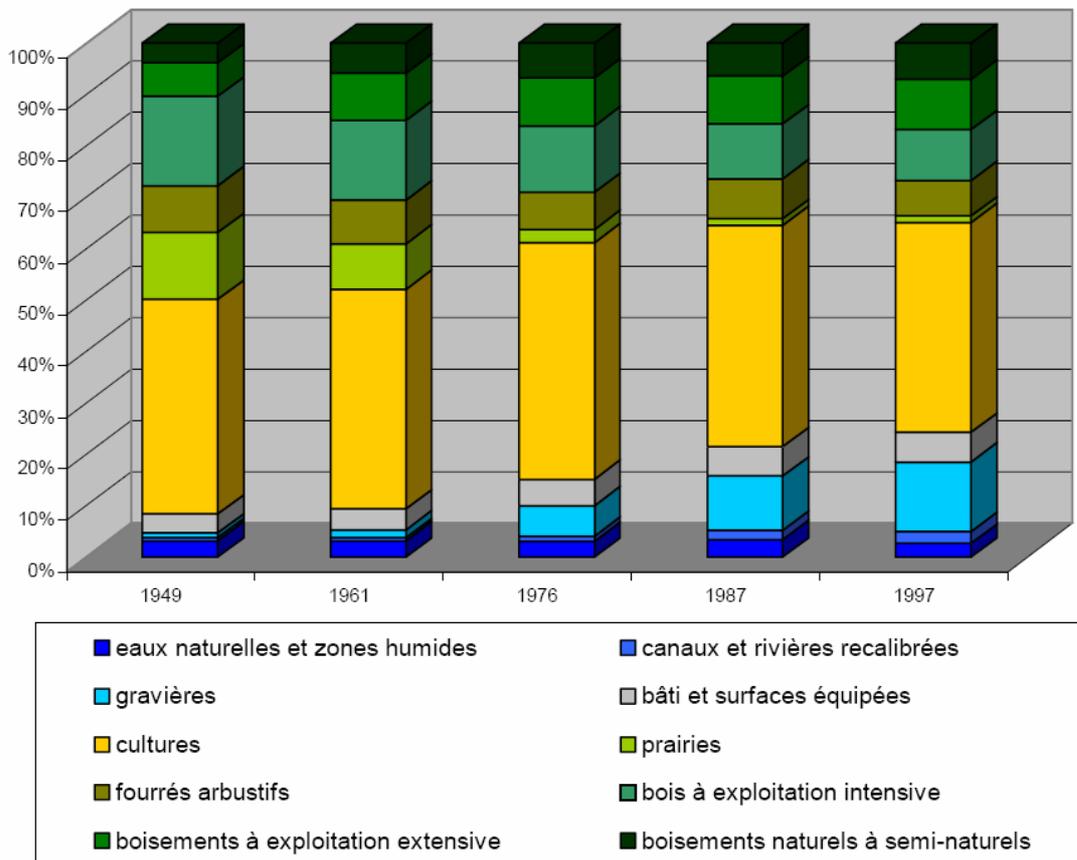


Illustration 13 : Evolution de l'occupation des sols de la Bassée aval entre 1949 et 1997 (Fustec et al., 1998-2001)

4.2. INVENTAIRES DES PRESSIONS

4.2.1. Pressions agricoles et industries agroalimentaires

Les activités agricoles et les industries agroalimentaires en découlant sont fortement représentées sur le bassin versant de la Seine. Les cultures sont majoritairement présentes en Champagne crayeuse avec les céréales (blé tendre, maïs, orge, escourgeon, avoine, ...), les betteraves industrielles, les oléagineux (colza, tournesol), les plantes textiles (chanvre, lin) et médicinales, les protéagineux, le chou à choucroute, les pommes de terre et légumes frais. La viticulture est présente dans le département de l'Aube avec plus de 7 000 ha de vignobles (production de champagne).

L'élevage est essentiellement bovin (production de viande et de lait) mais aussi ovin et porcin.

Les industries de transformation sont variées : sucrerie, distillerie, meunerie, malterie, cave vinicole, boyauderie (andouillette de Troyes), fabrication de choucroute (Brienne-le-Chateau), alimentation animale (déshydratation de luzerne).

La réduction des pollutions diffuses agricoles est un premier enjeu mentionné dans le SDAGE. L'agriculture joue un rôle prépondérant dans les quantités de nitrates rejoignant le milieu aquatique : à l'échelle du bassin de la Seine, il a été estimé que les deux tiers des excédents d'engrais (non consommés par les plantes) sont entraînés vers les nappes et les rivières. L'analyse de l'état des lieux du SDAGE a fait par ailleurs ressortir un risque important de pollution par les phytosanitaires.

4.2.2. Pressions industrielles et urbanisation

Les activités humaines et industrielles sont concentrées dans les vallées (la Seine et l'Yonne), ce qui accentue la menace sur les eaux souterraines qui sont vulnérables vis-à-vis des pollutions superficielles de part la karstification qui y est développée et la faible épaisseur de la ZNS.

On remarque deux pôles importants d'habitat et d'activité industrielle : Troyes et Romilly-sur-Seine. Dans une moindre mesure, on peut citer Châtillon-sur-Seine, Bar-sur-Seine et Nogent-sur-Seine.

Les activités industrielles autres qu'alimentaires sont essentiellement présentes dans l'agglomération troyenne (bonneterie, mécanique, pneumatique, éclairage) à laquelle il convient d'ajouter Arcis-sur-Aube, Nogent-sur-Seine, Provins et Romilly-sur-Seine.

Un autre des enjeux du SDAGE porte sur la lutte contre les émissions de substances toxiques, compte tenu des constats de contamination de certains milieux. Cet enjeu concerne les rejets industriels mais également les rejets d'origine urbaine et les rejets diffus.

De même, la mise en conformité des stations d'épuration est un enjeu important du SDAGE. Le classement de l'ensemble du bassin Seine-Normandie en « zones sensibles » nécessite un traitement plus poussé de l'azote et du phosphore.

La carte de l'illustration 14 a été réalisée en collectant les données de différentes sources :

- la banque de données nationale BASIAS, qui constitue l'inventaire des sites industriels et activités de service, en activité ou non,
- la base de données BASOL, des sites et sols pollués ou potentiellement pollués,
- le registre français des émissions polluantes.

a) Données issues de Basias

Les données présentes dans la banque de données nationale BASIAS (<http://basias.brgm.fr>) ont été extraites pour les communes du secteur d'étude, pour le département de l'Aube. Cette banque constitue l'inventaire des sites industriels et activités de service, en activité ou non. Pour le département de la Seine-et-Marne, cet inventaire est en cours et aucune donnée n'est disponible à ce jour.

Il est important de souligner que l'existence d'un site industriel dans BASIAS ne préjuge en rien d'une éventuelle pollution au droit de celui-ci.

Les activités industrielles sont réparties en trois groupes selon le Service de l'Environnement Industriel (SEI). Pour le département de l'Aube, les activités retenues sont celles de deux premiers groupes d'activité (1 et 2) parmi les trois définis en fonction de leur dangerosité potentielle décroissance (1>2>3).

Activités du 1^{er} groupe :

- Anciennes décharges ou dépôts ou installations de recyclage, récupération, élimination de déchets industriels,
- Productions et/ou stockages (associés ou non associés à l'activité de production) des industries suivantes : chimie, pétrochimie, carbochimie, pharmacie et parapharmacie, phytosanitaires et pesticides, extraction et raffinage du pétrole, gazéification, cokéfaction et transformation de la houille,
- Dépôts d'hydrocarbures (> 10 m³) et stations services,
- Industries de la métallurgie et fonderie des métaux non-ferreux,
- Industries de la sidérurgie primaire des métaux ferreux,
- Industrie de traitement de surface,
- Activités de la cristallerie et de la céramique,
- Activités d'ennoblissement textile, de tannerie,
- Activités de traitement de bois

Activités du 2^{ème} groupe :

- Centrales thermiques (fioul, charbon),
- Sidérurgie secondaire des métaux ferreux, transformation de l'acier,

- Industries mécaniques et ateliers d'entretien et de maintenance.

Activités du 3^{ème} groupe :

- Autres activités, par exemple : activités agricoles (exploitations agricoles), fonderie de suif (fabrique de bougies), carrières à ciel ouvert et mines ou carrières souterraines, travail des métaux (forgerons notamment), carbonisation du bois (type forêt), fabrique d'eau de javel et savonnerie, fabrique de gélatine animale, appareil mobile de fabrication d'acétylène, entrepôt frigorifique non classé ou soumis à simple déclaration, travail du bois (menuiserie, ébénisterie, scierie), centrale à béton, sauf fabrication de produits préfabriqués, dépôt de charbon, cristallerie, verrerie,

La période de recherche concerne les dossiers de 1800 à 1996, sans prétendre à une totale exhaustivité. Les sources de données sont les archives départementales de l'Aube, la préfecture de l'Aube et la DRAC.

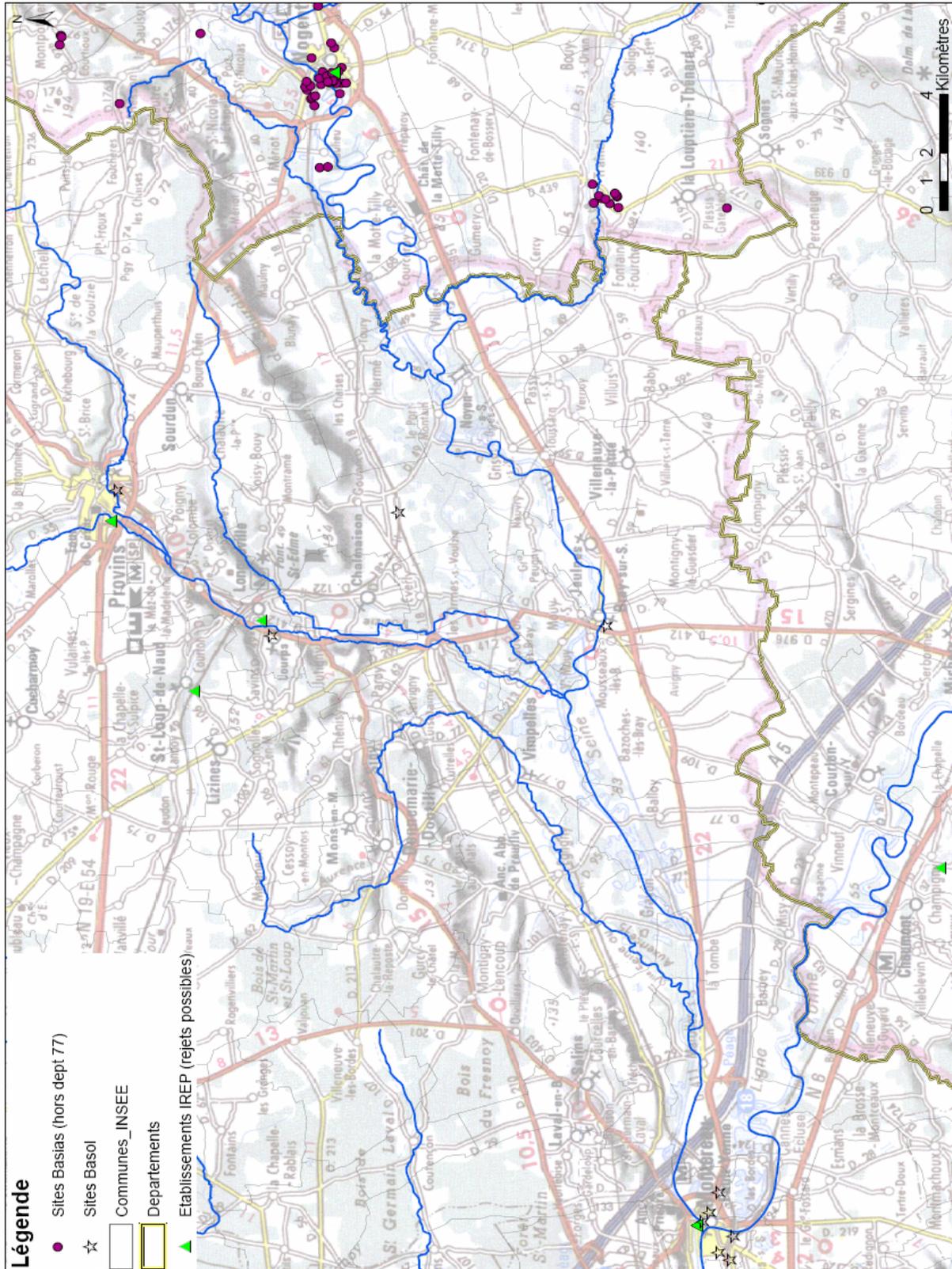


Illustration 14 : Carte de localisation des sites Basias et Basol, ainsi que des établissements IREP de la zone d'étude

Impact sur la qualité de la ressource en eau du surstockage à la Bassée

Raison sociale de l'entreprise	Type activité	Commune principale	Etat d'occupation du site
Commune de La Louptière-Thénard	Décharge	LA LOUPTIERE-THENARD (10208)	Ne sait pas
SCA "Les Merveilles du Plessis"	DLI	LA LOUPTIERE-THENARD (10208)	Ne sait pas
Ets RENARD.M.	Ferrailleur	LA SAULSOTTE (10367)	En activité
Commune de la Saulsotte	Décharge d'ordures ménagères	LA SAULSOTTE (10367)	Activité terminée
ROUSSEY S.A	DLI	LE MERIOT (10231)	Ne sait pas
Ets Soufflet, Ets KEFELIAN; Ets DOSSE (Meubles de Beaulieu)	Dépôt de semences, Fabrique de meubles en bois	LE MERIOT (10231)	Activité terminée
METAPLAST	Décharge de matériaux industriels	MONTPOTHIER (10254)	Activité terminée
Art et Traitement du verre	Fabrication d'articles en verre	MONTPOTHIER (10254)	Activité terminée
Ets HURY Pierre (Serigraphie)	Sérigraphie	MONTPOTHIER (10254)	Activité terminée
Ets MORET	Construction de machines agricoles	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	En activité
Les Transformables GAMBIA	Usine de matières plastiques	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Ets Massy	Mégisserie, tannerie	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
	Poudrière	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
ENCO ; Le matériel électrique du SW ; Construction électrique L-M	Fabrication de matériel électrique	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Sté Garage Saint-Laurent	Garage et station service	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	En activité
Le Transformable GAMBIA	Travail du bois	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Ne sait pas
Ets MOTTRE	Stockage de grains	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Brûlerie Georges VERNIER	Brulerie et extrait de café	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	En activité
Ets OLFAD, Ets Pierre BRIET ; Ets Noël GIRARD	Conditionnement de parfums, DLI	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Ets Soufflet-Driot	Station service	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	En activité
Ets Ancelin Pierre et Fils	Menuiserie métallique, serrurerie	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Ets Leclercq "Grand garage central", Ets Louis Leclerc	Transports Routiers de carburants - Garage-Atelier mécanique	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Ets Ernest HILAIRE	Atelier de mécanique	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Groupe Jean Soufflet ; Malterie Sassot Frères ; Grande Malterie de Nogent	Malterie	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	En activité
Ets L. BERLU	Forgeron, Carrossier	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Ets Brisson-Dauthel ; Brisson-Dauthel SA ou J Soufflet et Cie	DLI	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
SCARM	Stockage de grains	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
MONOGEPE	Supermarché	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	En activité
SA des Moulins de Nogent ; Minoterie Est ; Minoterie Lassot Père	Minoterie	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Ets Chpolawski, Sté Standard Française des Pétroles	Travail spéciaux des Bétons, DLI, station service	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	En activité
Ets Leclercq Louis	Station service	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Ets Meignen Henri	DLI	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Cie RICHER	Dépôt d'engrais	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	En activité
Ets GAUTHIER-GAUTRIN	Brasserie	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Ets Vergne, Ets Veuve Durand et Fils; Ets Durand ; Ets Poncellet ; Ets Duchat Meignen Bureau	DLI	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Ets ANCELIN père et fils	Menuiserie, serrurerie	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Ne sait pas
Sté des fabriques de sucre, Ets Chatard et Cie	Sucrerie	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Ets BASTIEN André	Ferrailleur	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
KNAUF PIA ; Plastiques industriels de l'Aube ; Plastiques Expansés de l'Aube	Fabrication et transformation de matières plastiques	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	En activité
Mairie de Nogent-sur-Seine	Usine à gaz d'éclairage public	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Ets USSE, Ets DOC SAC	Electricien, Industrie du cuir	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	En activité
Les Coopératives de Champagne (COOP)	Supermarché (station service)	NOGENT-SUR-SEINE (10268)	Activité terminée
Ets SPACK SYSTEM, Ets COTELLE et Fils	Fabrique de machines industrielles, Usine de traitement des métaux	TRAINEL (10382)	En activité
Mécanique générale de l'Orvin	Mécanique générale	TRAINEL (10382)	Ne sait pas
Ets SOUFFLET	Silos à grains	TRAINEL (10382)	En activité
Ets Ebarbage à Façon (Maurice POISSY)	Atelier d'ébarbage	TRAINEL (10382)	Activité terminée
Garage Sergent	Garage, station service	TRAINEL (10382)	En activité
Ets Gateau	Réparation de machines agricoles	TRAINEL (10382)	En activité
Ets RODIER Roger	Réparation matériels agricoles, serrurerie	TRAINEL (10382)	Activité terminée
Ets COTELLE Raymond	Usine de traitement des métaux	TRAINEL (10382)	Activité terminée
Ets PAILLARD, Ets OPOIX	Garage, station service	TRAINEL (10382)	Activité terminée
Commune de Trainel	Décharge	TRAINEL (10382)	Ne sait pas
CAM SARL	Chaudronnerie	TRAINEL (10382)	Activité terminée
Ets SAT, Société des ateliers de Trainel	Usine de traitement des métaux et fabrication de petits objets décoratifs	TRAINEL (10382)	Activité terminée

Illustration 15 : Liste des sites industriels et activité de service du département de l'Aube (basias)

54 sites (Illustration 15) ont été recensés, situés sur 6 communes différentes :

- la Louptière-Thénard (2 sites),
- la Saulsotte (2 sites),
- le Mériot (2 sites),
- Montpothier (3 sites),
- Nogent-sur-Seine (33 sites),
- Trainel (12 sites).

Parmi ces 54 sites, 31 ne sont plus en activité et 15 étaient toujours en activité lors de l'inventaire de Basias (certains ne sont donc peut être plus en activité actuellement). Pour 7 des sites, l'information sur l'état de l'activité était inconnue lors de l'enquête.

b) Données issues de Basol

La base de données BASOL (<http://basol.environnement.gouv.fr>) recense les sites et sols pollués ou potentiellement pollués, appelant une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif. Sur les communes de la zone d'étude, dix sites sont référencés, tous situés dans le département de la Seine-et-Marne.

Raison sociale de l'entreprise	Commune	Informations sur le site
Cristal Union	BRAY-SUR-SEINE	site sous surveillance après diagnostic, pas de travaux complets dans l'immédiat
SICA de Gouaix	GOUAIX	site traité avec restriction d'usage, travaux réalisés, restrictions d'usage ou servitudes imposées (ou en cours)
Mueller Europe	LONGUEVILLE	site nécessitant des investigations complémentaires, DA et EDR prescrits
centrale EDF	MONTEREAU-FAULT-YONNE	site mis à l'étude - diagnostic prescrit par AP
centre EDF GDF services	MONTEREAU-FAULT-YONNE	site traité avec restriction d'usage, travaux réalisés, restrictions d'usage ou servitudes imposées (ou en cours)
Gordon Choisy	MONTEREAU-FAULT-YONNE	site traité avec restriction d'usage, travaux réalisés, restrictions d'usage ou servitudes imposées (ou en cours)
SAGEM	MONTEREAU-FAULT-YONNE	site mis à l'étude - diagnostic prescrit par AP
SAM	MONTEREAU-FAULT-YONNE	site traité avec restriction d'usage, travaux réalisés, restrictions d'usage ou servitudes imposées (ou en cours)
sites des noues, 5 bd du maréchal Leclerc	MONTEREAU-FAULT-YONNE	site traité avec restriction d'usage, travaux réalisés, restrictions d'usage ou servitudes imposées (ou en cours)
centre EDF GDF services	PROVINS	site en cours de traitement - objectifs de réhabilitation et choix techniques définis ou en cours de mise en œuvre

Illustration 16 : Liste des sites et sols pollués ou potentiellement pollués du département de Seine-et-Marne (basol)

Ces sites se répartissent sur les communes de :

- Bray-sur-Seine (1 site),
- Gouaix (1 site),
- Longueville (1 site),
- Montereau-Fault-Yonne (6 sites),
- Provins (1 site).

c) Données issues de l'IREP

Le registre français des émissions polluantes accessible sur le site internet : <http://www.pollutionsindustrielles.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php> a pour objet de faciliter l'accès au public à l'information en matière d'environnement en ce qui concerne les émissions dans l'eau, dans l'air et dans le sol, ainsi que la production de déchets dangereux des installations industrielles et des élevages. Ce site Internet, réalisé avec l'appui technique de l'Office International de l'Eau, contribue ainsi à l'amélioration de la connaissance environnementale, à la prévention et à la réduction de la pollution et des risques pour l'environnement.

Ce registre est constitué des données déclarées chaque année par les exploitants.

Pour de nombreuses raisons, un tel registre ne peut être exhaustif. Les installations concernées sont les installations classées soumises à autorisation préfectorale, et plus particulièrement les installations relevant de la directive IPPC (directive 96/61/CE relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution). Le registre vise cent polluants pour les émissions dans l'eau, cinquante pour les émissions dans l'air (notamment des substances toxiques et cancérigènes) et 400 catégories de déchets dangereux. En cas d'anomalie, les exploitants ont la possibilité d'en informer le service d'inspection des installations classées dont ils dépendent et d'effectuer une demande de modification des données publiées (cf. mentions légales).

Raison sociale de l'entreprise	Commune
Osborn Tubes (ex Gautier Troussel)	LONGUEVILLE
EDF (centre de production thermique de Montereau)	MONTEREAU-FAULT-YONNE
Quaron (ex Solvadis France)	MONTEREAU-FAULT-YONNE
Kuhn Nodet (30 - rue gde haie)	MONTEREAU-FAULT-YONNE
Generis	MONTEREAU-FAULT-YONNE
Silec Cable	MONTEREAU-FAULT-YONNE
SAM Montreau	MONTEREAU-FAULT-YONNE
Chaufferie de Surville à Montreau-Fault-Yonne	MONTEREAU-FAULT-YONNE
DIAL Fonderie (ex DIAL Europe)	MONTEREAU-FAULT-YONNE
SEDAC-France	NOGENT-SUR-SEINE
Knauf Pack Nord	NOGENT-SUR-SEINE
Les Papeteries de Champagne	NOGENT-SUR-SEINE
Malteries Soufflet	NOGENT-SUR-SEINE
Ferraz Shawmut	SAINT-LOUP-DE-NAUD

Illustration 17 : Liste des entreprises susceptibles de rejeter des produits polluants dans l'eau, l'air et/ou le sol des départements de l'Aube et de Seine-et-Marne (IREP)

14 entreprises susceptibles de rejeter des produits polluants dans l'eau, l'air et/ou le sol ont été recensées sur la zone d'étude (Illustration 17).

Elles se répartissent sur 4 communes :

- Longueville (1 site),
- Montereau-Fault-Yonne (8 sites),
- Nogent-sur-Seine (4 sites),
- Saint-Loup-de-Naud (1 site).

5. Qualité des eaux de surface

5.1. INTRODUCTION

Pour l'étude de la qualité des eaux superficielles dans ce secteur, outre les données sur la qualité des eaux de la Seine entre Montereau-Fault-Yonne à l'ouest et Nogent-sur-Seine à l'est, celles des eaux de la Voulzie et de l'Auxence (affluents de la Seine) ont été analysées, en parallèle des données de débits, lorsque celles-ci existent.

Les données utilisées pour cette synthèse proviennent :

- du PIREN-Seine,
- de l'Agence de l'eau Seine-Normandie,
- de la DIREN Ile-de-France,
- de la DIREN Champagne-Ardenne,
- d'EDF.

5.2. DEBITS ET QUALITE DES EAUX DE LA SEINE

5.2.1. Débits de la Seine

Les données sur les débits de la Seine sont issues de la banque Hydro (www.hydro.eaufrance.fr).

a) Station : la Seine à Méry-sur-Seine

Les statistiques issues de la banque Hydro sur les débits de la Seine à la station hydrométrique de Méry-sur-Seine (à environ 35 km en amont de Nogent-sur-Seine, à quelques kilomètres en amont de la confluence de la Seine et de l'Aube) sur la période 1956-2006 montrent que les débits sont les plus forts en février, de l'ordre de $55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Puis, ils baissent régulièrement jusqu'en juin où les débits les plus faibles sont observés (de l'ordre de $21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). En juillet et août, le débit reste constant autour de $21\text{-}22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Une remontée du débit s'amorce en septembre et dure jusqu'en février. L'année hydrologique sur cette station s'étend donc de septembre à août (Illustration 18).

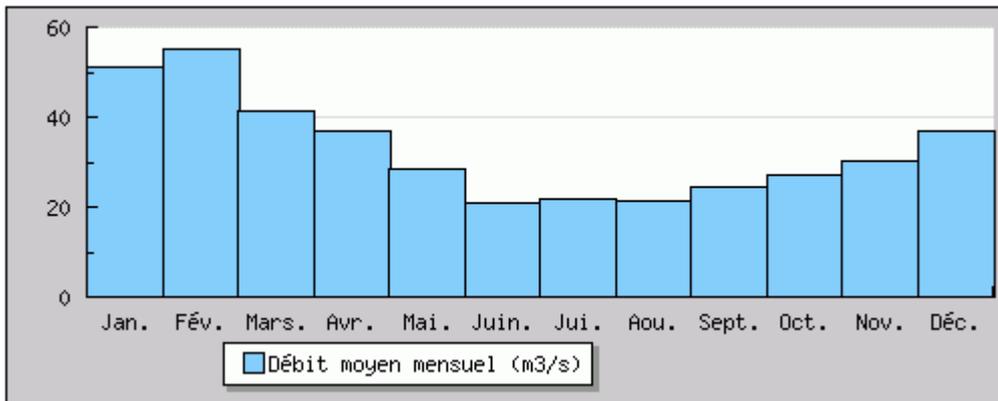


Illustration 18 : Débits mensuels moyens à la station hydrométrique de Mery-sur-Seine sur la période 1956-2006 (www.hydro.eaufrance.fr)

b) Station : la Seine à Pont-sur-Seine

Les statistiques provenant de la banque Hydro sur les débits de la Seine à la station hydrométrique de Pont-sur-Seine (à une dizaine de kilomètres en amont de Nogent-sur-Seine, à quelques kilomètres en aval de la confluence de la Seine et de l'Aube) sur la période 1979-2007 montrent une évolution globalement semblable à celle de la station précédente, avec des débits plus élevés. Les débits les plus faibles sont observés non pas en juin ($56,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) mais en août (de l'ordre de $42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Une remontée du débit s'amorce en septembre et dure jusqu'en février où il atteint son maximum avec $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit environ le double de la station de Méry-sur-Seine. L'année hydrologique sur cette station s'étend également de septembre à août (Illustration 19).

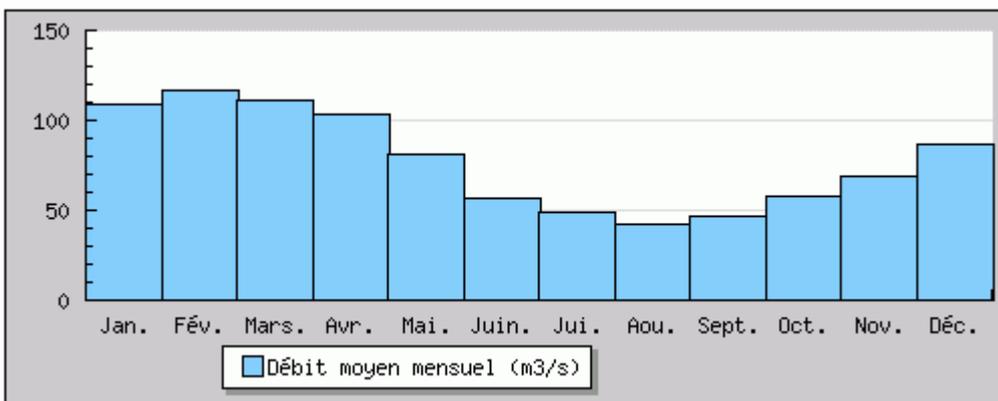


Illustration 19 : Débits mensuels moyens à la station hydrométrique de Pont-sur-Seine sur la période 1979-2007 (www.hydro.eaufrance.fr)

c) Station : la Seine à Montereau-Fault-Yonne

Aucune synthèse de données des débits n'est disponible pour cette station. En revanche, les hauteurs sont disponibles pour l'année 1986 et de 1999 à 2007. En revanche, il est précisé que l'année hydrologique s'étend de septembre à aout.

d) Station : la Seine à Montereau-Fault-Yonne

De même, aucune synthèse n'existe pour cette station, dont les hauteurs sont uniquement disponibles pour la période 2005-2007. De même que pour les précédentes, l'année hydrologique s'étend de septembre à aout.

5.2.2. Qualité des eaux de la Seine

L'origine des données sur la qualité des eaux de la Seine est diverse. De plus, les données se présentent sous plusieurs formes. Ainsi, ont été exploitées :

- les données brutes des analyses chimiques de l'Agence de l'eau Seine-Normandie (entre janvier 1997 et décembre 2006 pour la majorité des paramètres et à partir de janvier 2000 pour certains),
- les données brutes ainsi que les rapports de synthèse de la DIREN Ile-de-France,
- les rapports de synthèse de la DIREN Champagne-Ardenne,
- les données brutes des analyses chimiques réalisées et fournies par EDF.

a) Présentation des données disponibles par organisme

• Agence de l'eau Seine-Normandie

Une extraction de la base de données de l'Agence de l'eau Seine-Normandie (<http://www.eau-seine-normandie.fr>) a été réalisée sur la période 1997-2005 pour l'ensemble des paramètres mesurés sur le support « eau » pour la Seine, la Voulzie et l'Auxence. En complément, un fichier a été fourni par l'Agence de l'eau pour les données 2006. Celui-ci comportait les données de 2000 à 2006, et il s'est avéré qu'il contenait des paramètres qui n'étaient pas disponibles dans l'extraction réalisée.

Au total, 443 paramètres différents au maximum ont été mesurés au cours de différentes campagnes, ceux-ci n'ayant pas tous été mesurés de façon synchrone, ni à la même fréquence.

Il s'agit entre autre :

- des paramètres physico-chimiques de terrain,
- des ions majeurs,
- des pesticides,
- des micropolluants organiques ou minéraux.

• EDF

EDF effectue tous les mois un suivi des eaux de la Seine au niveau de la centrale de Nogent-sur-Seine, mais également une dizaine de kilomètres en amont à Marnay-sur-Seine et à une dizaine de kilomètres en aval à la Motte-Tilly.

Ces suivis mensuels, dont nous disposons des données pour les années 1995 à 2001, portent sur :

- les propriétés organoleptiques (odeur, aspect, dépôt),
- les paramètres physico-chimiques de terrain (pH, température, conductivité, oxygène dissous)
- les matières en suspension et la turbidité,
- la DBO5, l'oxydabilité, le carbone organique total et le TAC,
- les hydrocarbures,
- les cations majeurs,
- les nitrites et l'ammonium,
- les orthophosphates et le phosphore,
- la silice,
- les chlorophylles a et b.

• DIREN Champagne-Ardenne

La DIREN Champagne-Ardenne suit dans le cadre du réseau national de bassin (RNB) 15 stations, dont une située à Nogent-sur-Seine. Les rapports de synthèse sur ces suivis sont disponibles sur le site internet (www.champagne-ardenne.ecologie.gouv.fr) pour la période 2002-2005.

Certains paramètres sont mesurés à une fréquence mensuelle. Il s'agit :

- des paramètres physico-chimiques mesurés in-situ (température, pH, oxygène dissous et conductivité),
- des matières en suspension,
- de la DBO5 et du carbone organique dissous,
- des composés azotés (ammonium, nitrites, nitrates et azote kjeldahl),
- des composés phosphorés (phosphates et phosphore total).

En complément de ces analyses, les ions majeurs sont mesurés une fois par trimestre.

• DIREN Ile-de-France

Les données sur la qualité des eaux de la Seine provenant de la DIREN Ile-de-France portent sur les produits phytosanitaires, étudiés depuis 2003.

b) Bilan de la qualité des eaux par type de produits

• Recherche de produits phytosanitaires

1) DIREN Champagne-Ardenne

Des pesticides ont été recherchés à plusieurs reprises par la DIREN Champagne-Ardenne. Les conclusions générales sur l'ensemble des stations suivies sont disponibles dans deux rapports (DIREN Champagne-Ardenne 2003a ; DIREN Champagne-Ardenne 2003b). Néanmoins, aucune précision n'est donnée station par station.

Le rapport sur les produits phytosanitaires dans les rivières de Champagne-Ardenne (DIREN Champagne-Ardenne, 2003a) indique que 5 pesticides différents ont été trouvés à la station de mesure de Nogent-sur-Seine sur 81 recherchés en novembre 2000 et en juillet 2001 (Illustration 20). Au cours de ces deux campagnes, toutes stations confondues, ce sont la déséthylatrazine et l'atrazine qui ont été le plus souvent observées dans plus de 80 % des cas.

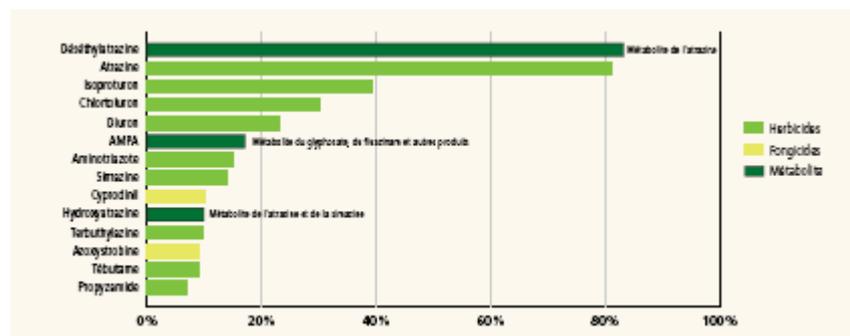


Illustration 20 : Fréquence de quantification des 14 molécules phytosanitaires ou produits de dégradation les plus retrouvés (sur 90 points de mesure, en novembre 2000 et juillet 2001 ; DIREN Champagne-Ardenne 2003a)

En 2002 (juillet, août, octobre et novembre), 15 pesticides ont été observés à cette même station sur 61 molécules recherchées. Au cours de ces mesures, l'atrazine et la déséthylatrazine étaient également les molécules les plus fréquentes, présentes dans quasiment 100 % des cas. Les concentrations les plus fortes sont observées au cours du mois d'octobre (Illustration 21).

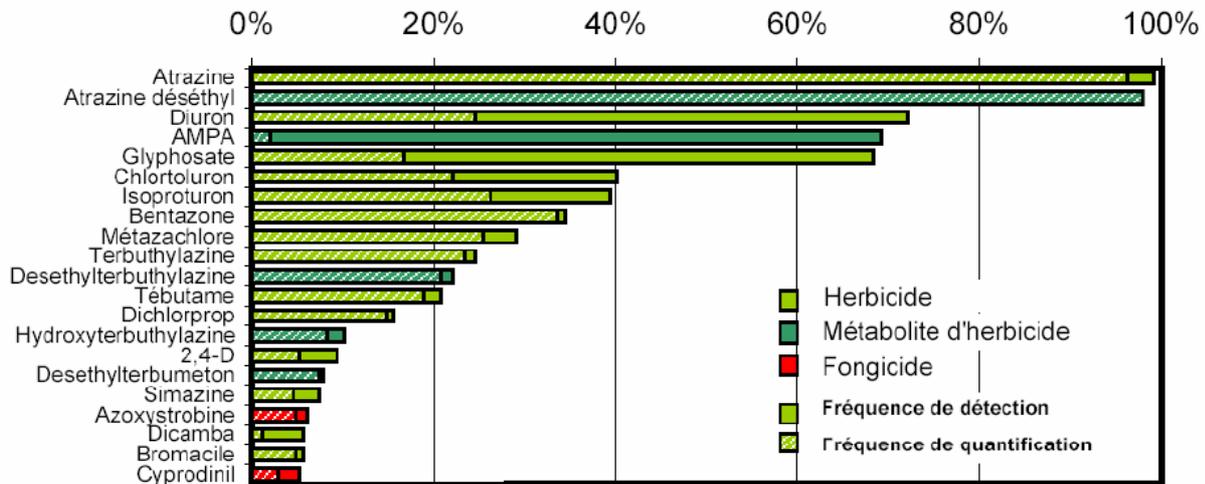


Illustration 21 : Fréquence de détection et de quantification des 21 molécules phytosanitaires ou produits de dégradation les plus retrouvés dans les eaux de surface de Champagne-Ardenne en 2002 (sur 90 points de mesure ; DIREN Champagne-Ardenne 2003b)

Toutes stations confondues, la moyenne des concentrations en phytosanitaires (somme de toutes les molécules quantifiées) est inférieure à $0,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ en juillet, légèrement supérieure à cette valeur en août, puis passe à près de $0,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ en octobre et baisse pour atteindre $0,5 \mu\text{g.l}^{-1}$ en novembre (Illustration 22).

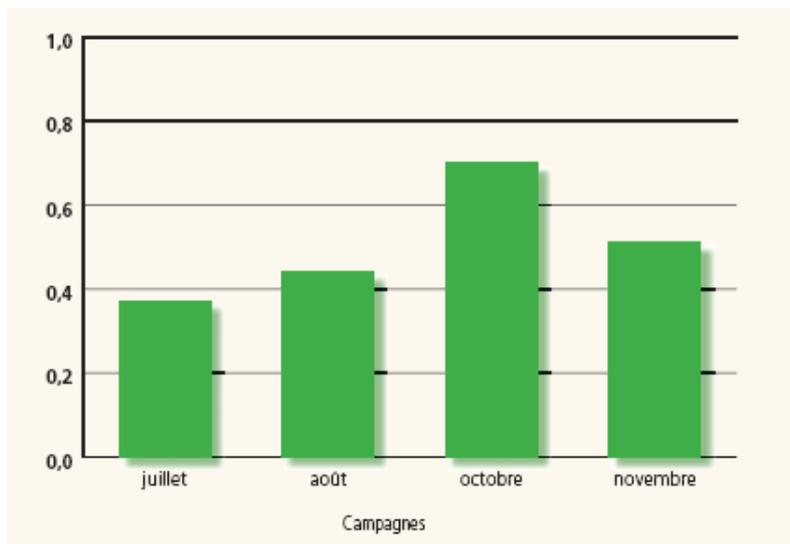


Illustration 22 : Moyenne des concentrations (en $\mu\text{g/l}$) en substances phytosanitaires de juillet à novembre 2002 (sur 90 points de mesure ; DIREN Champagne-Ardenne a, 2003)

Au cours des campagnes de juillet, août et octobre, la concentration totale en pesticides à la station de Nogent-sur-Seine fut comprise entre $0,2$ et $0,5 \mu\text{g.l}^{-1}$. En novembre, elle fut supérieure à $1 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Les conclusions établies en 2004 et 2005 par station confirment la contamination des eaux de la Seine par les pesticides à la station de Nogent-sur-Seine.

Les conclusions de cette étude sont que la contamination généralisée des eaux de surface de Champagne-Ardenne et la forte altération en période automnale sont liées vraisemblablement à la restitution au milieu aquatique des molécules adsorbées sur les sols érodés par le ruissellement des eaux de pluie. Ces résultats ont permis de classer les eaux de la Seine à cette station parmi les eaux de qualité passable au regard des critères d'évaluation de la qualité de l'eau par le SEQ-Eau (DIREN Champagne-Ardenne, 2003b).

D'une manière générale, cette étude a montré la contamination des eaux de la Seine au niveau de Nogent-sur-Seine semble plus forte en période automnale (octobre-novembre) qu'en période estivale (juillet-août). Ces résultats sont donc relativement différents de ceux obtenus par l'analyse des données de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie qui montrent que la contamination des eaux de la Seine à Montereau-Fault-Yonne est la plus importante pour la majorité des molécules en avril-mai et juin. Seul le chlortoluron (observé uniquement à trois reprises en décembre) fait exception de façon notable. Néanmoins, les données de la DIREN Champagne-Ardenne sont beaucoup moins exhaustives que celles de l'Agence de l'eau et ne semblent pas centrées sur les périodes de plus forte contamination.

2) DIREN Ile-de-France

Depuis 2003, la DIREN Ile-de-France édite des bulletins sur les suivis qu'elle réalise sur les pesticides dans les eaux superficielles de cette région.

Les informations ci-dessous proviennent du bulletin le plus récent : Info phyto n°5 (décembre 2006)

Il présente les résultats des prélèvements effectués entre le 1^{er} septembre 2005 et le 31 août 2006 sur 4 campagnes de prélèvement (octobre 2005, novembre 2005, février 2006 et mai 2006). A priori, ces prélèvements sont répartis selon les périodes de traitements et selon les périodes propices pour le transfert des molécules vers les eaux, afin d'identifier les molécules à forte mobilité et/ou utilisées en quantité importante ou a contrario celles qui demeurent dans les eaux en l'absence de pressions anthropiques. Au total, 103 stations, dont 2 sur l'Auxence, une sur la Voulzie et une sur la Seine.

161 molécules différentes sont recherchées avec une prépondérance pour les herbicides (54 %). La liste est composée de molécules en adéquation avec les pratiques phytosanitaires de la région tant au niveau agricole que non agricole mais également avec les évolutions réglementaires permettant d'intégrer de nouvelles molécules utilisées entre autre en substitution de molécules interdites.

Des conditions climatiques peu favorables aux transferts...

Différents mécanismes de transferts sont impliqués dans la contamination des eaux par les produits phytosanitaires. Le vent et la pluie sont les principaux vecteurs

responsables des transferts de produits phytosanitaires vers les rivières et les nappes. Les transferts liés aux précipitations s'expliquent par :

- le ruissellement de surface et l'érosion
- le ruissellement hypodermique (sous la surface du sol) et les réseaux de drainage agricole
- l'infiltration en profondeur.

Les propriétés physico-chimiques des substances actives influencent leur comportement et leur capacité de transfert dans le milieu. Il est donc nécessaire de connaître les conditions climatiques et hydrologiques relatives aux quatre campagnes afin d'identifier si ces campagnes ont été effectuées à des périodes propices aux transferts de molécules et donc exploiter de façon cohérente les résultats.

Le début de cette nouvelle période d'étude est marqué par une pluviométrie déficitaire : en septembre 2005, le déficit pluviométrique est compris entre 20 et 50 % par rapport à la normale (Illustration 23). Ce déficit est plus important au nord (Val d'Oise et au centre).

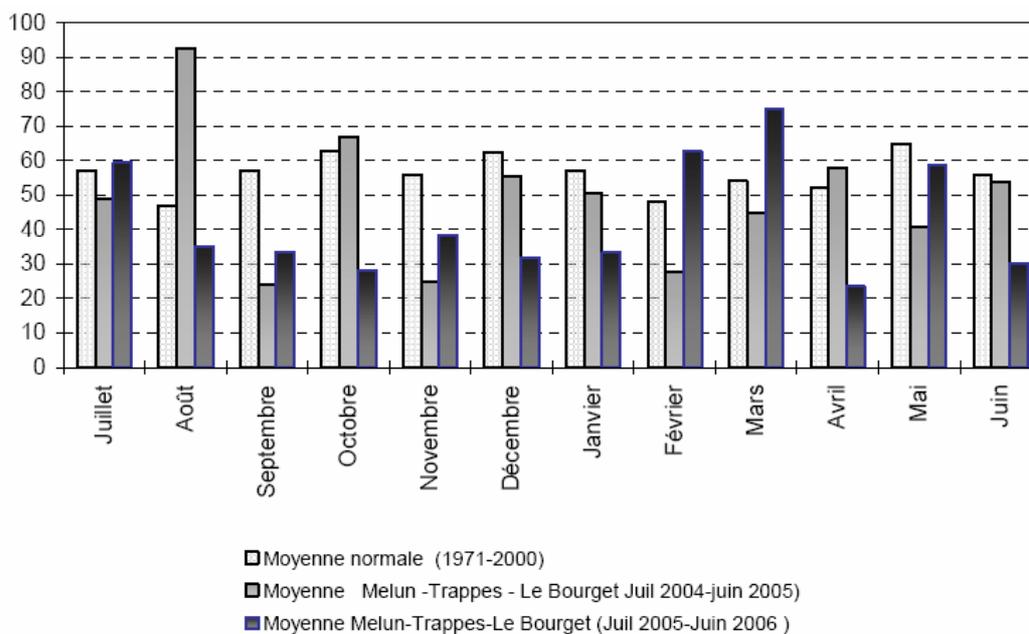


Illustration 23 : Pluie mensuelle en Ile-de-France entre juillet 2005 et juin 2006 (DIREN Ile-de-France)

En octobre, mois de la première campagne de prélèvement, le déficit se creuse avec un écart à la normale compris entre 25 et 70 %. Ce déficit pluviométrique est observé jusqu'en janvier 2006. La seconde campagne de prélèvement, réalisée fin novembre 2005, a donc aussi été réalisée dans des conditions sèches.

A partir de février 2006, la pluviométrie devient proche, voire supérieure, à la normale : 10 % d'excédents sont observés à l'est d'un axe Pontoise/Melun. La troisième

campagne, réalisée à la fin de ce mois s'est donc déroulée dans des conditions proches de la normale.

En mars 2006, la pluviométrie est largement supérieure à la normale (excédent de 20 à 30 %), ce qui réduit l'important déficit pluviométrique à l'issue d'un hiver très sec.

Cependant, le mois d'avril n'a pratiquement pas connu de pluie. Par conséquent, la quatrième campagne de prélèvement se déroule également dans des conditions pluviométriques déficitaires, sauf au nord-est de la région où les précipitations sont supérieures à la normale.

Toutefois, des études détaillées de transfert de pesticides montrent que les relations entre les pluies et les concentrations de pesticides dans les rivières est sont complexes.

Des faibles débits sur les grandes rivières

En septembre et octobre 2005, les débits mesurés sur la Seine et la Marne sont normaux grâce au soutien d'étiage des barrages et réservoirs. L'Oise en revanche est en étiage prononcé.

A partir de novembre 2005, les débits mesurés sont plus faibles et inférieurs à la normale saisonnière. Jusqu'à début février 2006, les débits demeurent inférieurs à la normale malgré une légère augmentation.

En mars 2006, les importantes précipitations ont permis une nette amélioration : le contraste du mois de mars est saisissant par rapport aux données sèches des mois précédents. Ces pluies ont permis de maintenir des débits proches des normales saisonnières jusque fin mai 2006.

La première et la dernière campagne 2005-2006 se sont déroulées avec des débits proches de la normale contrairement aux campagnes de novembre 2005 et février 2006 où les débits sur les grands axes sont faibles (Illustration 24).

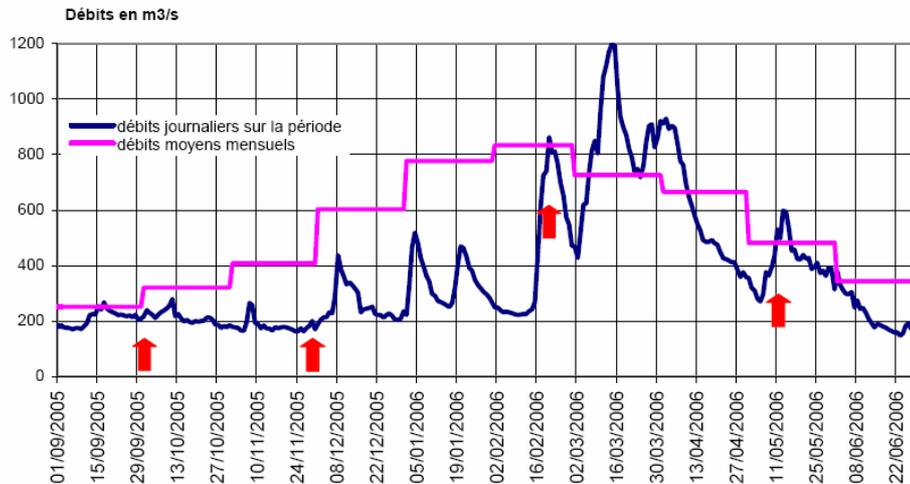


Illustration 24 : Courbe hydrographique de la Seine à Poissy pour la période de septembre 2005 à août 2006 (DIREN Ile-de-France)

Une évolution de la qualité peu satisfaisante...

D'après les résultats des analyses, 60 % des stations de suivis sont de qualité médiocre à mauvaise en 2005-2006, contre 66 % en 2004-2005 et 49 % en 2003-2004.

Par rapport à 2004-2005, la proportion de stations de mauvaise qualité n'a pas évolué. En revanche, les stations de qualité médiocre ont diminué leur effectif au profit des stations de qualité moyenne. Ce premier constat souligne un état de contamination toujours important et marqué dans la région Ile-de-France.

Dans le détail, en 2005-2006, 84 des 161 molécules recherchées ont été retrouvées dans les eaux superficielles.

L'illustration 25 présente la fréquence de quantification en fonction des substances.

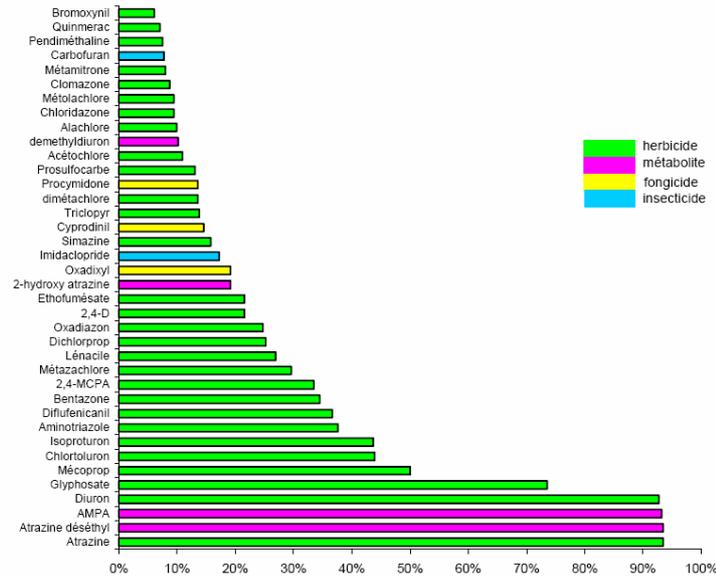


Illustration 25 : Fréquences de quantification des molécules phytosanitaires les plus retrouvées dans les eaux de surface d'Île-de-France en 2005-2006 (DIREN Ile-de-France, 2006)

D'après cette illustration, il apparaît qu'en 2005-2006, 18 molécules sont fréquemment retrouvées dans les eaux superficielles (fréquence de quantification supérieure à 20 %).

Pour l'aminotriazole et le 2,4-MCPA, les fréquences de quantification ont doublé entre les deux dernières périodes d'étude avec respectivement 38 et 34 % en 2005-2006, contre 17 et 16 % en 2004-2005. Par ailleurs, le 2,4-D passe de 17 % en 2004-2005 à 22 % en 2005-2006 et le dichlorprop passe de 17 % en 2004-2005 à 25 % en 2005-2006.

Les nouveaux contaminants à forte fréquence sont le diuron, l'AMPA et le glyphosate (augmentation de 15 % par rapport à 2004-2005 pour ce dernier).

Les impacts de l'interdiction de l'utilisation de l'atrazine et de la simazine sont assez nets pour cette dernière dont la fréquence de quantification passe de 32 % en 2004-2005 à 16 % en 2005-2006 (Illustration 26). En revanche, pour l'atrazine et son métabolite, la baisse est plus légère : de 98 % en 2004-2005, leur fréquence de quantification atteint les 94 % en 2005-2006.

Certaines molécules sont présentes toute l'année dans les eaux. D'autres ont un caractère plus furtif ou saisonnier. L'illustration 26 présente la répartition du nombre de quantifications par campagne pour les molécules les plus retrouvées dans eux superficielles en 2005-2006.

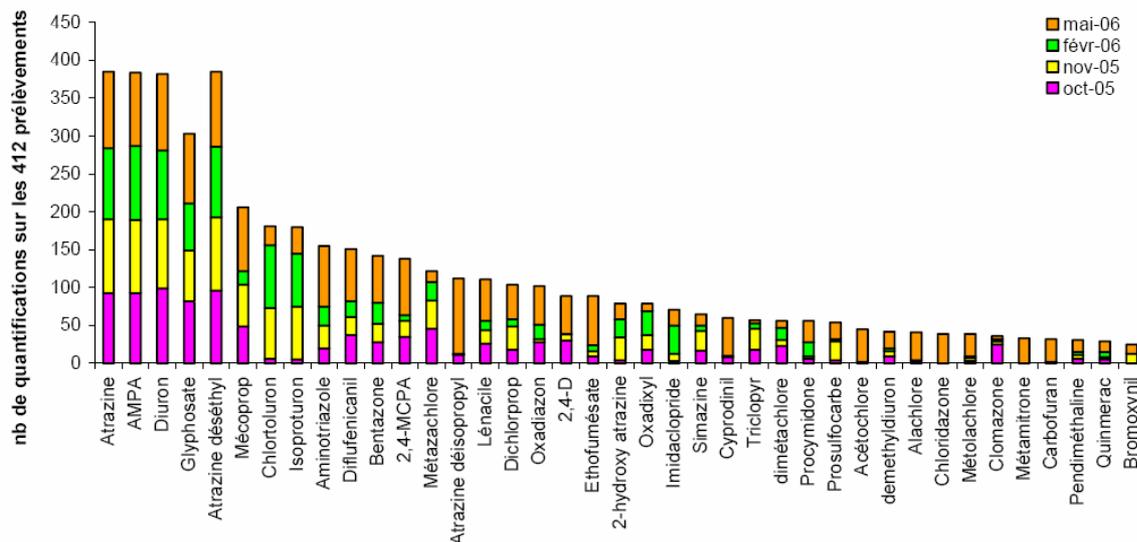


Illustration 26 : Répartition du nombre de quantifications par campagne pour les molécules les plus retrouvées dans les eaux superficielles en 2005-2006 (DIREN Ile-de-France, 2006)

L'atrazine et ses métabolites, le diuron, le glyphosate et son métabolite mais également d'autres substances telles le mécoprop, l'aminotriazole, le diflufénicanil sont retrouvées dans des proportions équivalentes tout au long de l'année.

D'autres contaminants apparaissent en bouffées, principalement au printemps, à l'issue des traitements pratiqués. Parmi eux figurent l'alachlore, le chloridazone, le métolachlore, le clomazone ou encore le carbofuran.

De plus, plusieurs molécules ont un nombre de quantifications qui augmente considérablement en mai 2006 par rapport aux trois premières campagnes : mécoprop, aminotriazole, diflufénicanil, bentazone, 2,4-MCPA, lénacile, 2,4-D, éthofumésate.

Les analyses pratiquées par de la DIREN sur les eaux de la Seine à Montereau-Fault-Yonne (Illustration 27) entre octobre 2005 et mai 2006 montrent la présence de :

- 5 produits phytosanitaires en octobre 2005 (soit 0,33 $\mu\text{g.l}^{-1}$ de pesticides totaux)
- 8 produits phytosanitaires en novembre 2005 (soit 0,47 $\mu\text{g.l}^{-1}$ de pesticides totaux)
- 5 produits phytosanitaires en février 2006 (soit 0,44 $\mu\text{g.l}^{-1}$ de pesticides totaux)
- 19 produits phytosanitaires en mai 2006 (soit 2,22 $\mu\text{g.l}^{-1}$ de pesticides totaux)

3014000	Molécules	Concentration (µg/l)	Pesticides totaux (µg/l)
oct-05	AMPA	0.15	0.33
	Atrazine	0.01	
	Atrazine déséthyl	0.03	
	Diuron	0.04	
	Glyphosate	0.1	
nov-05	2-hydroxy atrazine	0.03	0.47
	AMPA	0.21	
	Atrazine	0.03	
	Atrazine déséthyl	0.03	
	Chlortoluron	0.04	
	Dichlorprop	0.05	
	Diuron	0.01	
	Métazachlore	0.07	
févr-06	AMPA	0.21	0.44
	Atrazine	0.02	
	Atrazine déséthyl	0.02	
	Chlortoluron	0.15	
	Méthabenzthiazuron	0.04	
mai-06	2,4-MCPA	0.16	2.22
	Acétochlore	0.07	
	Aminotriazole	0.56	
	AMPA	0.25	
	Atrazine	0.05	
	Atrazine déséthyl	0.07	
	Bentazone	0.04	
	Carbofuran	0.16	
	Cyprodinil	0.02	
	Diflufenicanil	0.02	
	Dimethenamide	0.09	
	Diuron	0.29	
	Ethofumésate	0.02	
	Glyphosate	0.21	
	Isoproturon	0.1	
	Lénacile	0.02	
	Mécoprop	0.06	
Métazachlore	0.02		
Métolachlore	0.01		

Illustration 27 : Liste des molécules quantifiées entre octobre 2005 et mai 2006 sur la Seine à Montereau-Fault-Yonne (DIREN Ile-de-France)

3) Données Agence de l'eau Seine-Normandie : La Seine (Montereau-Fault-Yonne)

Jusqu'à 311 produits phytosanitaires ou produits de leur dégradation différents ont été recherchés au cours des différentes campagnes menées par l'Agence de l'eau Seine-Normandie (Illustration 28).

Parmi ceux-ci figurent 59 fongicides (19,0 % des molécules recherchées), 113 herbicides (36,3 %), 123 insecticides (39,5 %), 1 répulsif, 2 régulateurs, 2 rodenticides et 11 métabolites ou produits de dégradation (3,5 %).

2,4,5-T	Cymoxanil	Flurtamone	Parathion méthyl
2,4-D	Cyperméthrine	Flusilazole	Penconazole
2,4-DB	Cyproconazole	Flutriafol	Pencycuron
2,4-MCPA	Cyprodinil	Fluvalinate-tau	Pendiméthaline
2,4-MCPB	Deltaméthrine	Folpel	Pentachlorophénol
2,6-Dichlorobenzamide	Déméton	Fonofos	Perméthrine
2-hydroxy atrazine	Déméton-O	Formothion	Phenmédiptame
3-hydroxy-carbofuran	Déméton-O-Méthyl	Furalaxyl	Phorate
Acétochlore	Déméton-S	Glyphosate	Phosalone
Acionifène	Déméton-S-Méthyl	Haloxyp-méthyl (R)	Phosphamidon
Acrinathrine	Déméton-S-méthylsulfone	Heptachlore	Phoxime
Alachlore	Déséthyl-terbuméton	Heptachlore époxyde	Piclorame
Aldicarbe	Desmétryne	Heptachlore époxyde endo trans	Piperonyl butoxyde
Aldicarbe sulfoné	Diallate	Hexachlorobenzène	Pirimicarbe
Aldicarbe sulfoxyde	Diazinon	Hexachlorocyclohexane alpha	Prochloraz
Aldrine	Dibromoéthane-1,2	Hexachlorocyclohexane bêta	Procyimidone
Alpha-cyperméthrine	Dicamba	Hexachlorocyclohexane delta	Profenofos
Amétryne	Dichlobenil	Hexachlorocyclohexane gamma	Prométryne
Amidosulfuron	Dichlofluanide	Hexaconazole	Propachlore
Aminotriazole	Dichlorofenthion	Hexaflumuron	Propanil
AMPA	Dichloropropane-1,2	Hexazinone	Propargite
Anthraquinone	Dichloropropane-1,3	Hexythiazox	Propazine
asulame	Dichloropropène-1,3 cis	Hydroxyterbutylazine	Propétamphos
Atrazine	Dichloropropène-1,3 trans	Imazali	Propiconazole
Atrazine désisopropyl	Dichloropropène-2,3	Imazaméthabenz-méthyl	Propoxur
Atrazine déséthyl	Dichlorprop	Imidaclopride	Propyzamide
Azinphos éthyl	Dichlorvos	Ioxynil	Prosulfocarbe
Azinphos méthyl	Diclofop-méthyl	Iprodione	Pyraclostrobine
Azoxystrobine	Dicofol	isazofos	Pyrazophos
Benalaxyl	Dieldrine	Isodrine	Pyridabène
Bendiocarbe	Diéthofencarbe	Isofenphos	Pyridate
Benfluraline	Difénoconazole	Isoproturon	Pyrifénos
Bentazone	Diflubenzuron	Isoxaben	Pyriméthanyl
Bifénos	Diflufenicanil	Isoxaflutole	Pyrimiphos-éthyl
Bifenthrine	Diméfuron	Krésoxim-méthyl	Pyrimiphos-méthyl
Bitertanol	Dimethenamide	Lambda-cyhalothrine	Quinalphos
Bromacil	Diméthoate	Lénacile	Quinmerac
Bromadiolone	Diméthomorphe	Linuron	Quinoxyfen
Bromophos éthyl	Diniconazole	Malathion	Quintozène
Bromophos méthyl	Dinitrocrésol	Mécoprop	Quizalofop
Bromopropylate	Dinocap	mepiquat	Quizalofop éthyl
Bromoxynil	Dinosébe	Mépronil	Rimsulfuron
Bromuconazole	Dinoterbe	Mercaptodiméthur	Secbuméton
Bupirimate	Diquat	Métalaxyl	Simazine
Butraline	Disulfoton	Métaldéhyde	Sulcotrione
Cadusafos	Diuron	Métamitrone	Sulfotep
Captafol	Endosulfan	Métazachlore	Tébuconazole
Caplane	Endosulfan alpha	Metconazole	Tébufenpyrad
Carbaryl	Endosulfan bêta	Méthabenzthiazuron	Tébutame
Carbendazime	Endosulfan sulfate	Methamidophos	Téflubenzuron
Carbétamide	Endrine	Méthidathion	Téfluthrine
Carbofuran	Epoxiconazole	Méthomyl	Terbacil
Carbophénothion	EPTC	Métobromuron	Terbuméton
Chinométhionate	Esfenvalerate	Métolachlore	Terbuphos
Chlorbufame	Ethidimuron	Métosulame	Terbutylazine
Chlordane	Ethiofencarbe	Métoxuron	Terbutylazine déséthyl
Chlordane alpha	Ethion	Métribuzine	Terbutryne
Chlordane gamma	Ethofumésate	Metsulfuron méthyle	Tétrachlorvinphos
Chlordécone	Ethoprophos	Mévinphos	Tetraconazole
Chlorfenvinphos	Fénarimol	Monolinuron	Tétradifon
Chloridazone	Fenbuconazole	Monuron	Thiaflumide
Chlorméphos	Fenclorophos	Myclobutanil	Thifensulfuron méthyl
Chloroméquat chlorure	Fénitrothion	Naled	Thiodicarbe
Chloronébe	fenoxycarbe	Napropamide	Thiométon
Chlorophacinone	Fenproprathrine	Naptalame	Tralométhrine
Chlorothalonil	Fenpropidine	Néburon	Triadiméfone
Chloroxuron	Fenpropimorphe	Nicosulfuron	Triadiménol
Chlorprophame	Fenthion	Norflurazone	Triallate
Chlorpyrifos-éthyl	Fénuron	Nuaimol	Triasulfuron
Chlorpyrifos-méthyl	Fipronil	Oryzalin	Triazamate
Chlorsulfuron	Flazasulfuron	Oxadialgyl	Triazophos
Chlortoluron	Fluazifop-butyl	Oxadiazon	Trichlorfon
Clomazone	Fluazifop-P-butyl	Oxadixyl	Triclopyr
Clopyralide	Fludioxonil	Oxamyl	Tridémorphe
Coumaphos	Flufenoxuron	Oxydéméton-méthyl	Triflumuron
Cyanazine	Fluquinconazole	Paraquat	Trifluraline
Cyfluthrine	Flurochloridone	Parathion éthyl	Vinclozoline
Cyhalothrine	Fluroxypr		

herbicide | insecticide | fongicide | régulateur | métabolite | répulsif | rodenticide

Illustration 28 : Liste des produits phytosanitaires et produits de dégradation recherchés par l'Agence de l'eau Seine-Normandie dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006.

2-hydroxy atrazine	Linuron
AMPA	Métazachlore
Atrazine	Métolachlore
Atrazine désisopropyl	Métribuzine
Atrazine déséthyl	Oxadixyl
Carbofuran	Oxydéméton-méthyl
Chlortoluron	Prométryne
Diuron	Prosulfocarbe
Fipronil	Simazine
Hexaconazole	Terbutylazine
Isoproturon	

herbicide	insecticide	fongicide	métabolite
-----------	-------------	-----------	------------

Illustration 29 : Liste des produits phytosanitaires et produits de dégradation retrouvés au moins une fois dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)

La majorité des pesticides n'a pas été observée au cours des différentes analyses. En revanche, pour 21 d'entre eux, des teneurs ont été mesurées au moins une fois au cours des différentes analyses (Illustration 29).

Les molécules les plus fréquemment rencontrées sont majoritairement des herbicides (12 sur 21). Les autres composés sont des insecticides (3 sur 21) et des fongicides (2 sur 21).

De même, des traces de produits de la dégradation de certains pesticides ont été retrouvées dans les eaux de la Seine à une ou plusieurs reprises (4 molécules sur 21).

Les fréquences d'occurrence des 13 produits phytosanitaires et produits de dégradation les plus souvent observés dans les eaux de la Seine parmi les 21 cités ci-dessus sont présentées dans l'illustration 30.

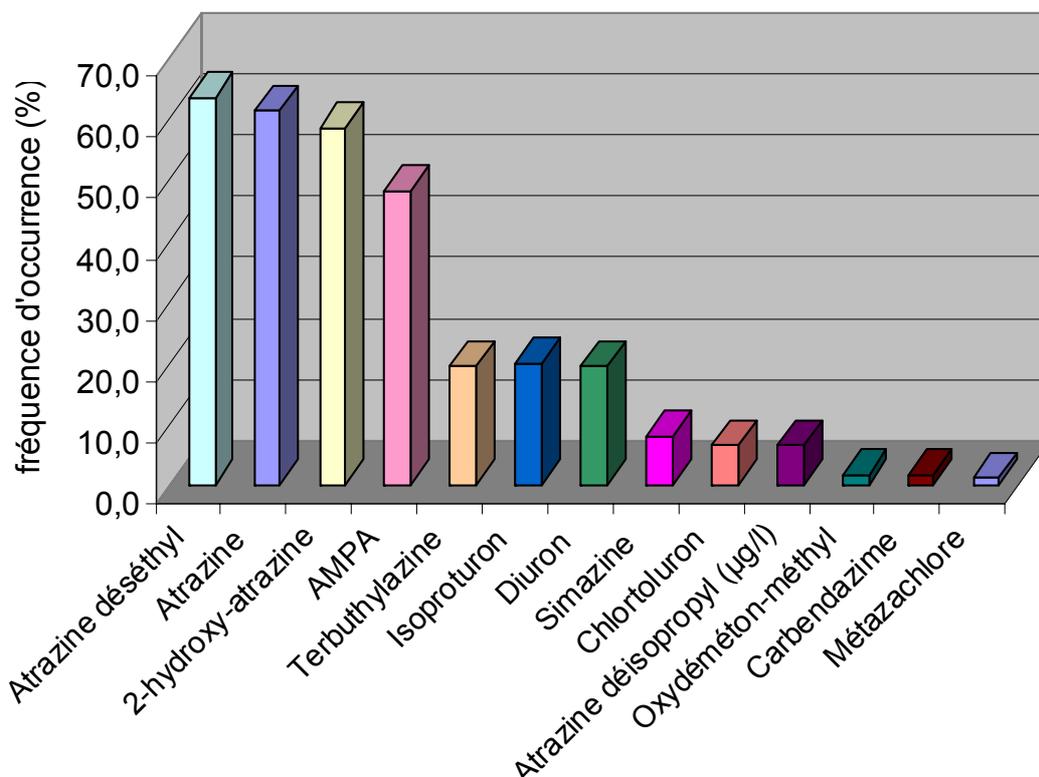


Illustration 30 : Fréquence d'occurrence des produits phytosanitaires les plus souvent rencontrés dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

Phytosanitaires herbicides de la famille des triazines : atrazine, déséthylatrazine, déisopropylatrazine, terbutylazine, simazine, 2-hydroxy-atrazine, prométryne

Une analyse des fréquences d'occurrence des phytosanitaires de type « triazines » montre que l'atrazine, le 2-hydroxy-atrazine et la déséthylatrazine (ces deux derniers composés étant issus de la dégradation de l'atrazine) sont les composés les plus fréquemment observés dans les eaux de la Seine (paramètres rencontrés dans les eaux dans 58 à 63 % des cas), puis viennent la terbutylazine (environ 19 % des cas), la simazine et la déisopropylatrazine dans moins de 10 % des analyses, ainsi que la prométryne qui n'a été observée qu'une fois.

	Atrazine (µg/l)	Atrazine déséthyl (µg/l)	2-hydroxy- atrazine (µg/l)	Terbutylazine (µg/l)	Simazine (µg/l)	Atrazine déisopropyl (µg/l)	Prométryne (µg/l)
nombre d'analyses	211	210	72	211	211	137	152
nombre de fois mesuré	129	133	42	41	17	9	1
% de fois mesuré	61,1	63,3	58,3	19,4	8,0	6,6	0,7
minimum	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,05
maximum	0,61	0,235	0,04	0,18	0,10	0,02	0,05
moyenne	0,06	0,06	0,02	0,04	0,04	0,01	0,05
médiane	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,01	
écart type	0,07	0,03	0,01	0,03	0,02	0,01	

Illustration 31 : Tableau de synthèse des triazines rencontrées dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

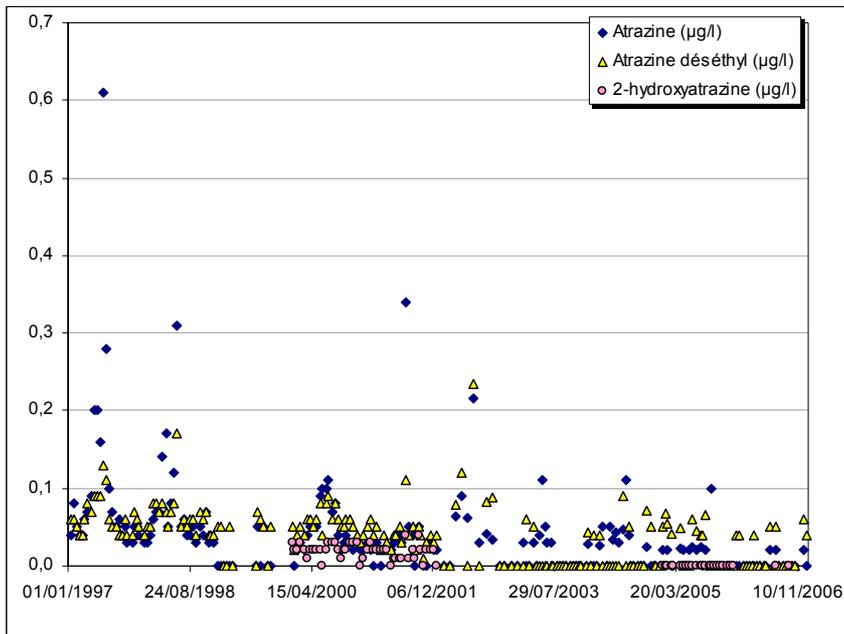
Dans les eaux de la Seine, les teneurs observées en atrazine varient entre 0,02 et 0,61 µg.l⁻¹. La teneur la plus importante mesurée fut celle du mois de juin 1997. Les teneurs les plus élevées (supérieures à 0,1 µg.l⁻¹) sont enregistrées entre les mois de mai et septembre suivant les années, ce pic semblant diminuer avec le temps. En 2006, seules 3 analyses ont révélé la présence de ce composé avec des teneurs de 0,02 µg.l⁻¹ (Illustration 31).

Il est à noter qu'une interdiction d'utilisation de l'atrazine a été prise fin 2001, avec une date limite de vente fixée au 30 septembre 2002 et une date limite d'utilisation fixée au 30 juin 2003.

Les substances les plus présentes sont l'atrazine et ses métabolites. La déséthylatrazine DEA est le produit phytosanitaire le plus rencontré sur la Bassée indiquant une dégradation importante de l'atrazine. Toutefois, du fait de la dynamique du transfert de l'atrazine dans les eaux souterraines, ce n'est pas avant quelques années que l'effet de cette interdiction devrait être perceptible sur les teneurs des eaux souterraines.

Pour résoudre ce problème, certains captages ne sont plus exploités (Melz), pour d'autres, les eaux sont mélangées à d'autres eaux moins contaminées, enfin certains exploitants mettent en place une station de traitement sur charbon actif (Gravelottes).

Pour la déséthylatrazine, les teneurs varient entre 0,01 et 0,235 µg.l⁻¹. Entre 1997 et 2001, mis à part 5 analyses en 1999, toutes les autres montrent systématiquement la présence de cette substance dans les eaux de la Seine. A partir de 2002, entre 7 et 10 analyses chaque année présentent des teneurs en déséthylatrazine supérieures au seuil de quantification de cette substance (Illustration 32).



* : dans ce graphique, les teneurs inférieures au seuil de quantification ont été mises à zéro.

Illustration 32 : Evolution des teneurs en atrazine, déséthylatrazine et 2-hydroxyatrazine dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)

Le 2-hydroxy-atrazine, qui est un produit de dégradation de l'atrazine, a été recherché en 2000-2001 et en 2005-2006. Au cours des deux premières années d'étude, cette substance a été observée à 42 reprises sur 47 analyses réalisées soit dans 90 % des cas. Les teneurs observées sur cette période varient entre 0,01 et 0,04 µg.l⁻¹. En 2005 et 2006, sur les 25 analyses réalisées, aucune n'a montré de traces de cette substance. Néanmoins, il est à noter que pour les deux dernières années, les seuils de quantification étaient de 0,05 µg.l⁻¹ pour les deux premières analyses, puis de 0,5 µg.l⁻¹ pour les suivantes, soit nettement supérieurs aux teneurs observées entre 2000 et 2001 (erreur possible dans la saisie). Il est donc difficile d'affirmer avec certitude que le 2-hydroxy-atrazine était totalement absent des eaux de la Seine en 2005 et 2006 au regard des résultats d'analyse.

Au niveau de la fréquence d'occurrence de l'atrazine et de ses dérivés, la présence de l'atrazine est cyclique et varie entre 46,7 et 94,1 %. Entre septembre et mars, elle varie globalement entre 47 et 53 %. Puis, elle augmente progressivement pour atteindre 94 % en juin. .

En revanche, pour les produits de dégradation de l'atrazine, l'évolution dans le temps est beaucoup moins régulière.

Pour la déséthylatrazine, la fréquence d'occurrence est relativement forte (de 60 à 80 %) entre novembre et avril, puis entre juin et août. Elle est plus faible en mai, ainsi que de septembre à octobre où elle varie entre 47 et 53 %.

Pour le 2-hydroxyatrazine, la fréquence d'occurrence varie entre 67 et 75 % entre janvier et avril et est également forte autour de 67 % en août et en novembre. Elle est de 50 % en mai, juin et octobre et de 33 % en décembre (Illustration 33).

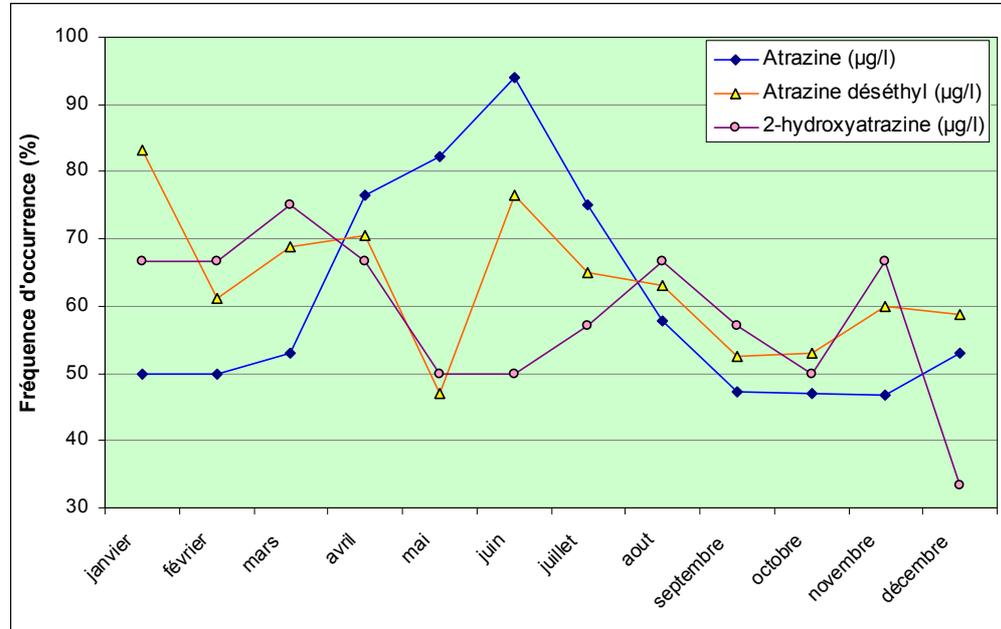
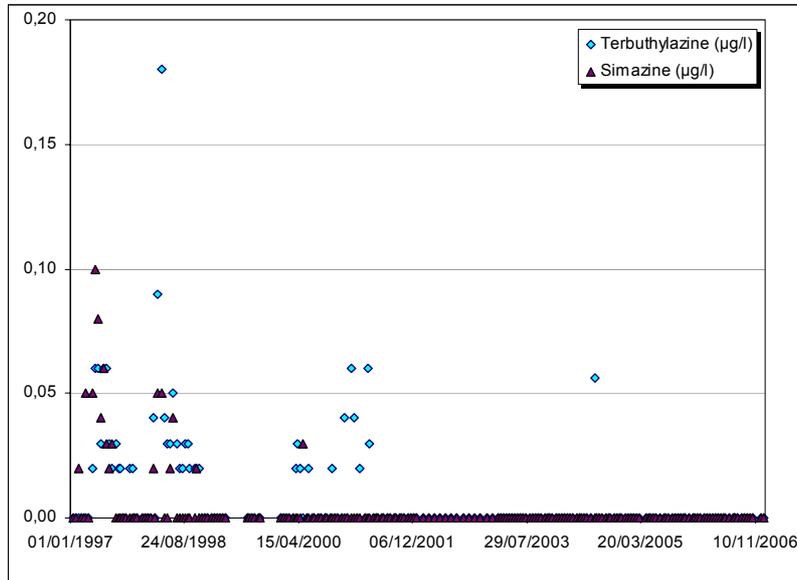


Illustration 33 : Fréquence d'occurrence mensuelle de l'atrazine, de la déséthylatrazine et du 2-hydroxyatrazine dans les eaux de la Seine (données Agence de l'Eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)

La déisopropylatrazine, produit de dégradation de l'atrazine, a été observé à 9 reprises dans les eaux de la Seine entre 2000 et 2006. En 2000, il a été observé 6 fois, une fois en janvier puis d'avril à août. En 2001, il fut également noté en janvier, juillet et septembre. Les teneurs observées sont faibles et varient entre 0,01 et 0,02 µg.l⁻¹. Il est donc important de noter que cette molécule n'a pas été observée depuis septembre 2001 mais que le seuil de quantification qui était de 0,01 µg.l⁻¹ en 2000 et 2001, est passé à 0,05 µg.l⁻¹ en 2002, puis a varié entre 0,04 et 0,05 µg.l⁻¹ en 2004 et enfin a atteint 0,1 µg.l⁻¹ à partir de février 2005. La terbuthylazine a été observée au cours d'environ 20 % des analyses avec des teneurs variant entre 0,02 et 0,18 µg.l⁻¹. Cette substance a fréquemment été rencontrée dans les eaux de la Seine en 1997 et 1998 : c'est d'ailleurs en avril 1998 que la teneur la plus élevée fut observée (Illustration 34). En 1999, cette substance n'a pas été rencontrée puis elle l'a été peu fréquemment en 2000 et tout début 2001. Depuis début mai 2001, seule une analyse en juillet 2004 a révélé la présence de terbuthylazine : cette substance a été interdite en France en 2003.

La simazine quant à elle a été vue dans 8 % des analyses, avec des teneurs variant entre 0,02 et 0,10 µg.l⁻¹. Cette substance a été observée à plusieurs reprises en 1997 et 1998, puis une fois en mai 2000 : cette substance semble donc également de moins

en moins souvent présente dans les eaux de la Seine. Ceci est probablement dû à l'interdiction d'usage faite en 2001 pour cette molécule.



* : dans ce graphique, les teneurs inférieures au seuil de quantification ont été mises à zéro.

Illustration 34 : Evolution des teneurs en terbuthylazine et en simazine dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)

Au niveau de la fréquence d'occurrence de la terbuthylazine au cours de l'année (Illustration 35), elle augmente globalement de janvier à avril où elle atteint son maximum avec 41,2 %, puis diminue jusqu'en décembre pour atteindre 6 %.

Pour la simazine, au cours des différentes campagnes réalisées, cette molécule n'a jamais été retrouvée en janvier, septembre et novembre-décembre. Sa fréquence d'occurrence augmente de février (5,6 %) à juin (23,5 %) puis diminue.

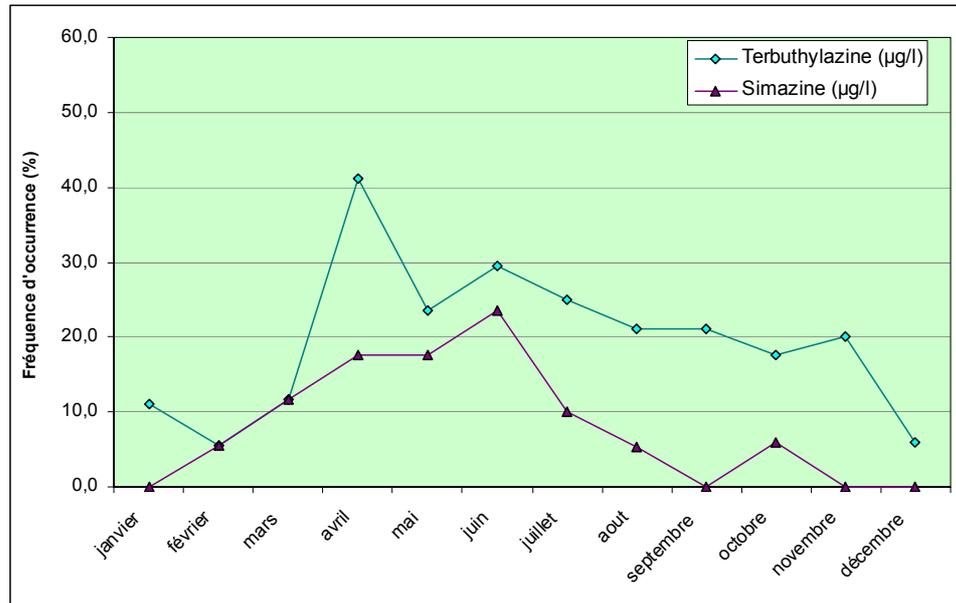


Illustration 35 : Fréquence d'occurrence mensuelle de la terbuthylazine et de la simazine dans les eaux de la Seine (données Agence de l'Eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)

La prométryne quant à elle n'a été observée qu'une fois à une teneur de $0,05 \mu\text{g.l}^{-1}$ lors de l'analyse réalisée le 27 février 2001.

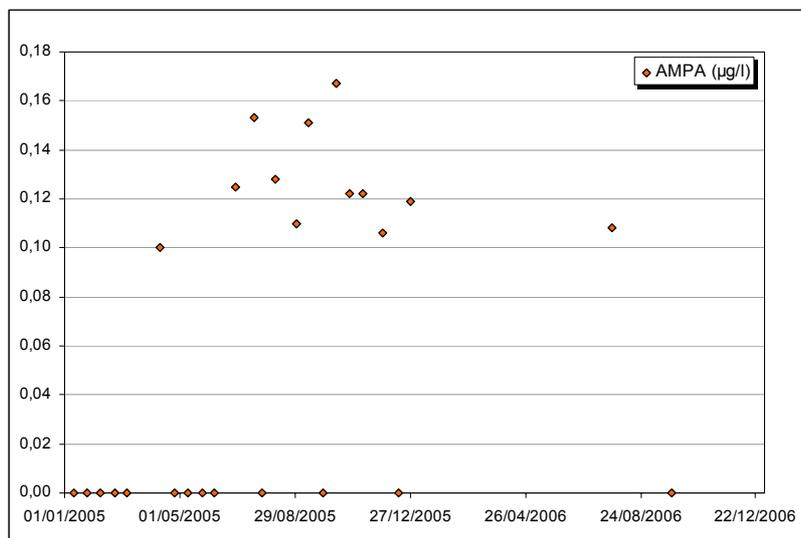
Phytoprotecteurs herbicides de la famille des dérivés de glycine et produits de dégradation : AMPA

Le glyphosate et son principal métabolite, l'AMPA (acide d'aminométhylphosphonique), ont été recherchés dans les eaux de la Seine 23 fois en 2005 (soit environ deux fois par mois), puis une fois en juillet et en septembre 2006. Ces analyses montrent que le glyphosate n'a jamais été observé dans les eaux de la Seine (seuil de quantification : $0,1 \mu\text{g.l}^{-1}$).

En revanche, l'AMPA a été observé dans près de la moitié des analyses réalisées, à des teneurs variant entre $0,10$ et $0,17 \mu\text{g.l}^{-1}$. Au cours des autres analyses, les teneurs sont inférieures au seuil de quantification qui est de $0,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ (Illustration 36 et Illustration 37).

	AMPA (µg/l)
nombre d'analyses	25
nombre de fois mesuré	12
% de fois mesuré	48,0
minimum	0,10
maximum	0,17
moyenne	0,13
médiane	0,12
écart type	0,02

Illustration 36 : Tableau de synthèse de l'AMPA dans les eaux de la Seine en 2005 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)



* : dans ce graphique, les teneurs inférieures au seuil de quantification de 0,1 µg.l⁻¹ ont été mises à zéro.

Illustration 37 : Evolution des teneurs en AMPA dans les eaux de la Seine en 2005 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)

Phytoprotecteurs herbicides de la famille des triazinones : métribuzine

La métribuzine n'a été observée qu'une fois entre 2000 et 2006, le 28 août 2001, à une teneur de 0,05 µg.l⁻¹. Il faut néanmoins noter que sur la période 2000-2001, le seuil de quantification était de 0,02 µg.l⁻¹, alors qu'entre 2002 et 2006, il était de 0,05 µg.l⁻¹.

Phytosanitaires herbicides de la famille des urées substituées : diuron, isoproturon, chlortoluron, linuron

Les teneurs en chlortoluron varient entre 0,02 et 0,425 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Cette substance a été observée dans 6,6 % des analyses et les teneurs semblent augmenter au cours du temps, ce paramètre étant parallèlement de moins en moins souvent observé. En effet, entre 1997 et 2001, les teneurs en chlortoluron varient entre 0,02 et 0,07 $\mu\text{g.l}^{-1}$. En 2002, aucune analyse n'a révélé la présence de cette substance, puis chaque année suivante, les teneurs sont en augmentation, bien que cette substance ne soit observée qu'une seule fois dans l'année. Ainsi, elles varient comme suit :

- 0,07 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en décembre 2003,
- 0,125 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en décembre 2004,
- 0,425 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en décembre 2005.

En revanche, en 2006, 5 analyses montrent la présence de cette substance, mais en plus faible quantité, soit entre 0,03 et 0,05 $\mu\text{g.l}^{-1}$.

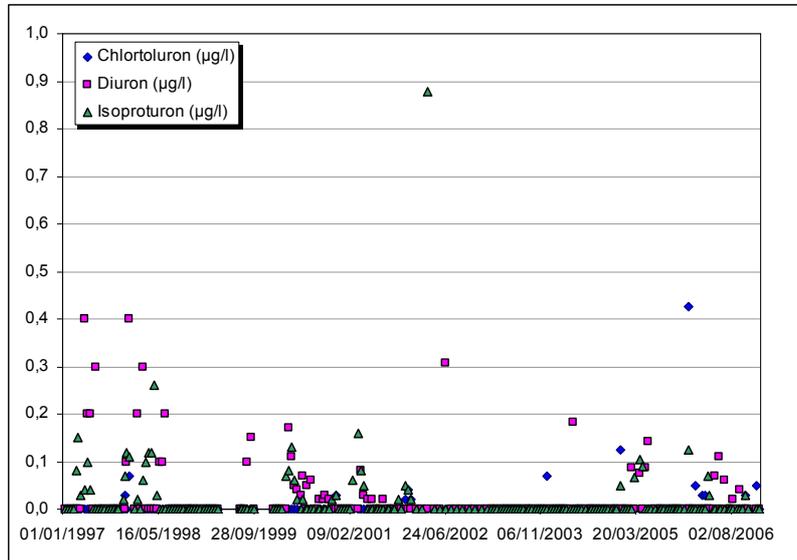
Il faut néanmoins garder à l'esprit qu'entre ces analyses au cours desquelles ce paramètre a été mesuré, d'autres analyses ont eu lieu et ne montraient pas de traces de celui-ci. De plus, il est à noter que le chlortoluron apparaît toujours d'octobre à décembre, mis à part en 2006 où il a également été observé de janvier à mars.

	Chlortoluron ($\mu\text{g/l}$)	Diuron ($\mu\text{g/l}$)	Isoproturon ($\mu\text{g/l}$)	Linuron ($\mu\text{g/l}$)
nombre d'analyses	211	211	211	152
nombre de fois mesuré	14	41	42	1
% de fois mesuré	6,6	19,4	19,9	0,7
minimum	0,02	0,02	0,02	0,06
maximum	0,425	0,4	0,88	0,06
moyenne	0,07	0,12	0,09	0,06
médiane	0,04	0,09	0,06	
écart type	0,11	0,1	0,13	

Illustration 38 : Tableau de synthèse des urées substituées dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)

Les teneurs en diuron varient entre 0,02 et 0,40 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (Illustration 38). Cette molécule a été retrouvée dans 19 % des analyses. Entre 1997 et 1999, les teneurs observées sont relativement élevées, entre 0,1 et 0,4 $\mu\text{g.l}^{-1}$. A partir de 2000, elles semblent progressivement décroître. Entre août 2001 et février 2005, cette substance n'est plus observée, mis-à-part deux exceptions en juin 2002 (0,306 $\mu\text{g.l}^{-1}$) et en avril 2004 (0,183 $\mu\text{g.l}^{-1}$). En 2005, cette substance a été observée 4 fois entre fin février et fin mai 2005, avec des teneurs variables, entre 0,075 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en avril et 0,141 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en mai. En 2006,

cette molécule a été retrouvée à cinq reprises dans les eaux de la Seine, avec des teneurs variant entre $0,02 \mu\text{g.l}^{-1}$ en aout et $0,11 \mu\text{g.l}^{-1}$ en mai.



* : dans ce graphique, les teneurs inférieures au seuil de quantification ont été mises à zéro.

Illustration 39 : Evolution des teneurs en chlortoluron, diuron et isoproturon dans les eaux de la Seine en 2005 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)

Les teneurs en isoproturon varient entre $0,02$ et $0,26 \mu\text{g.l}^{-1}$, à l'exception de la mesure du 26 mars 2002 ($0,88 \mu\text{g.l}^{-1}$). Cette molécule a été retrouvée dans 20 % des analyses. Au niveau des périodes d'observation, l'isoproturon apparaît généralement entre octobre et décembre et entre mars et juin (Illustration 39). D'une manière générale, il semblerait que l'isoproturon soit de moins en moins souvent observé dans les eaux de la Seine.

La fréquence d'occurrence de l'isoproturon augmente (Illustration 40) progressivement de janvier (5,6 %) à avril (64,7 %), puis décroît jusqu'en juillet, mois au cours duquel cette molécule n'a jamais été observée, tout comme en août et septembre, puis elle est de plus en plus fréquente d'octobre (11,8 %) à décembre (35,3 %). Ceci correspond aux deux périodes d'application oct-noc-déc et février-mars.

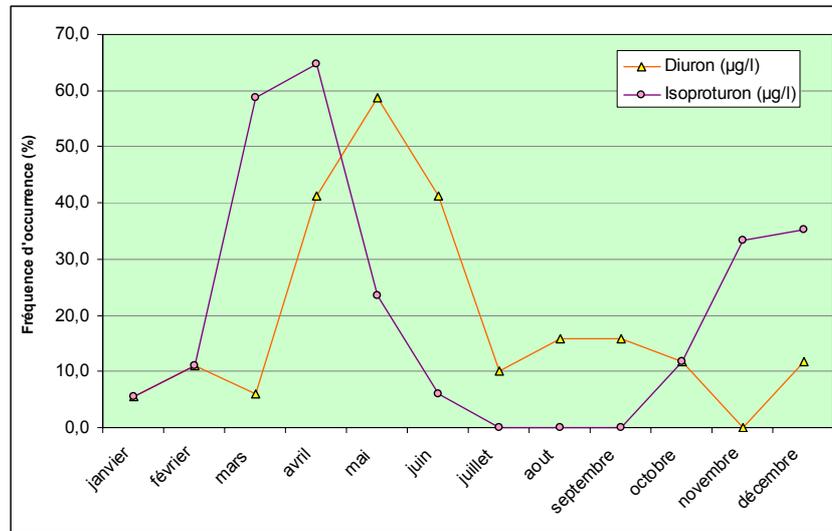


Illustration 40 : Fréquence d'occurrence mensuelle du diuron et de l'isoproturon dans les eaux de la Seine (données Agence de l'Eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)

Le linuron quant à lui n'a été observé qu'une fois entre les années 2000 et 2006, au cours de l'analyse du 12 septembre 2006, avec une teneur de $0,06 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Phytoprotecteur fongicide de la famille des triazoles : hexaconazole

Seule une analyse réalisée en mai 2004 sur les 130 effectuées a montré la présence d'hexaconazole à une teneur de $0,094 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Phytoprotecteur fongicide de la famille des carbamates : carbendazime

La carbendazime a été observée dans les eaux de la Seine à 3 reprises en mai 1997, en décembre 1997 et en février 1998, les teneurs restant faibles, entre $0,01$ et $0,02 \mu\text{g.l}^{-1}$ (Illustration 41).

	Carbendazime (µg/l)
nombre d'analyses	175
nombre de fois mesuré	3
% de fois mesuré	1,7
minimum	0,10
maximum	0,20
moyenne	0,13
médiane	0,10
écart type	0,06

Illustration 41 : Tableau de synthèse de la carbendazime dans les eaux de la Seine entre 1997 et 1998 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)

Phytosanitaire herbicide de la famille des organochlorés : métazachlore et métolachlore

Seules deux analyses réalisées en septembre 2001 et octobre 2006 (Illustration 42) ont montré la présence de métazachlore à des teneurs faibles entre 0,05 et 0,07 µg.l⁻¹. Le métolachlore n'a été observé qu'une fois, en mai 2004, avec une teneur de 0,06 µg.l⁻¹.

	Métazachlore (µg/l)	Métolachlore (µg/l)
nombre d'analyses	151	150
nombre de fois mesuré	2	1
% de fois mesuré	1,3	0,7
minimum	0,05	0,06
maximum	0,07	0,06
moyenne	0,06	0,06
médiane	0,06	
écart type	0,01	

Illustration 42 : Tableau de synthèse des organochlorés dans les eaux de la Seine entre 2001 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)

Phytosanitaire insecticide de la famille des organo-phosphorés : oxydéméton-méthyl

Cette substance a été observée à deux reprises en juillet et août 2000 avec des teneurs variant entre 0,06 et 0,07 µg.l⁻¹ (Illustration 43).

	Oxydémétonméthyl (µg/l)
nombre d'analyses	119
nombre de fois mesuré	2
% de fois mesuré	1,7
minimum	0,06
maximum	0,07
moyenne	0,07
médiane	0,07
écart type	0,01

Illustration 43 : Tableau de synthèse de l'oxydémétonméthyl dans les eaux de la Seine en 2000 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

Phytoprotecteurs insecticides de la famille des carbamates : carbofuran et prosulfocarbe

Le carbofuran a été recherché à 83 reprises entre janvier 2002 et septembre 2006. Il a été observé une fois dans les eaux de la Seine à une teneur de 0,188 µg.l⁻¹ en mai 2005. Pour les autres analyses, les teneurs sont inférieures à 0,05 µg.l⁻¹.

Il en est de même pour le prosulfocarbe qui a été observé une fois en mai 2006 à une teneur de 0,02 µg.l⁻¹ sur les 105 analyses réalisées entre 2002 et 2006. Il est à noter que le seuil de quantification était de 0,05 µg.l⁻¹ de 2002 à 2005, puis il est passé à 0,02 µg.l⁻¹ en 2006 pour la majorité des analyses.

Phytoprotecteur insecticide de la famille des pyrazoles : fipronil

60 analyses ont été réalisées entre janvier 2002 et septembre 2006 concernant le fipronil. Celui-ci a été retrouvé une seule fois dans les eaux de la Seine en mars 2002 à une teneur de 0,147 µg.l⁻¹. Les autres analyses présentent des teneurs inférieures à 0,1 µg.l⁻¹, voire 0,05 µg.l⁻¹ pour les deux analyses de 2006.

Phytoprotecteur fongicide de la famille des anilides : oxadixyl

L'oxadixyl a été recherché à 103 reprises entre 2002 et 2006 et a été retrouvé une fois en mars 2002 à une concentration de 0,061 µg.l⁻¹ (seuil de quantif. de 0,05 µg.l⁻¹).

5.2.3. Comparaison des résultats d'analyse de l'Agence de l'eau et de la DIREN Ile-de-France

Si l'on compare les résultats des 4 campagnes de la DIREN aux 10 à 30 campagnes de l'Agence de l'eau réalisées entre octobre 2005 et fin 2006, il apparaît que :

- 7 molécules ont été retrouvées par les deux organismes au moins une fois : l'AMPA, l'atrazine, la déséthylatrazine, le métazachlore, le chlortoluron, le diuron et l'isoproturon,
- 2 molécules ont été retrouvées par l'Agence de l'Eau une fois mais pas par la DIREN : le linuron (septembre 2006) et le prosulfocarb (mai 2006),
- 2 molécules qui avaient été retrouvées par l'Agence de l'Eau les années précédentes mais qui ne l'ont pas été sur la période octobre 2005-décembre 2006 ont été retrouvées une fois par la DIREN : le 2-hydroxy-atrazine et le métolachlore. Pour ces deux molécules, les teneurs observées par la DIREN sont inférieures au seuil de quantification de l'Agence de l'Eau,
- 12 molécules recherchées en 2005-2006 mais également les années passées et qui n'ont jamais été observées par l'Agence de l'Eau ont été retrouvées par la DIREN au moins une fois : le bentazone, le cyprodinil, le diflufenicanil, le glyphosate, l'aminotriazole, l'éthofumésate, le mécroprop, le 2,4-MCPA, l'acétochlore, le carbofuran, le diméthénamide et le lénacile,
- Le méthabenzthiazuron qui n'a jamais été recherché par l'Agence de l'Eau a été observé par la DIREN en février 2006.

• Recherche des micropolluants organiques

Agence de l'eau Seine-Normandie

76 micropolluants organiques ont été recherchés au cours des différentes campagnes de prélèvement réalisées sur les eaux de la Seine (Illustration 44 : Liste des micropolluants organiques retrouvés au moins une fois dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)). Parmi ceux-ci figurent 22 composés organiques halogénés volatils (29,7 %), 15 composés phénoliques (20,3 %), 18 composés de la famille du benzène (24,3 %), 14 PCB (18,9 %), 3 phtalates (4,0 %) et 2 polybromodiphenylethers (2,7 %).

3 chloropropène	Dichloroéthane-1,2	PCB 118	Toluène
4-para-nonylphenol	Dichloroéthène-1,1	PCB 138	Trichlorobenzène-1,2,3
Benzène	Dichloroéthylène-1,2 cis	PCB 153	Trichlorobenzène-1,2,4
Biphényle	Dichloroéthylène-1,2 trans	PCB 180	Trichlorobenzène-1,3,5
Bromochlorométhane	Dichlorométhane	PCB 194	Trichloroéthane-1,1,1
Bromoforme	Dichloromonobromométhane	PCB 28	Trichloroéthane-1,1,2
Butyl benzyl phtalate	Dichlorophénol-2,3	PCB 35	Trichloroéthylène
Butylbenzène sec	Dichlorophénol-2,4	PCB 52	Trichlorophénol-2,3,5
Butylbenzène tert	Dichlorophénol-2,5	PCBs A1242	Trichlorophénol-2,3,6
Chlorobenzène	Dichlorophénol-2,6	PCBs A1254	Trichlorophénol-2,4,6
Chloroforme	Dichlorophénol-3,4	PCBs A1260	Trichlorophénol-3,4,5
Chlorophénol-2	Dichlorophénol-3,5	Pentachlorobenzène	Triméthylbenzène-1,2,3
Chlorophénol-3	Diéthyl phtalate	Somme des 13 PBDE	Triméthylbenzène-1,2,4
Chlorophénol-4	Éthyl hexyl phtalate	Somme PBE99 et PBE100	Triméthylbenzène-1,3,5
Dibromomonochlorométhane	Ethylbenzène	Styrène	Xylène
Dichlorobenzène-1,2	Hexachlorobutadiène	Tétrachloréthène	Xylène méta + para
Dichlorobenzène-1,3	Mésitylène	Tétrachloroéthane-1,1,1,2	Xylène-ortho
Dichlorobenzène-1,4	PCB 101	Tétrachloroéthane-1,1,2,2	
Dichloroéthane-1,1	PCB 105	Tétrachlorure de carbone	

COHV	composés phénoliques	benzène et dérivés	PCB	phtalates	polybromodiphenylethers
------	----------------------	--------------------	-----	-----------	-------------------------

Illustration 44 : Liste des micropolluants organiques retrouvés au moins une fois dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

Micropolluants organiques de la famille des composés organiques halogénés volatils (COHV) : dichlorométhane, dichloroéthylène 1,2-cis, tétrachloréthène, tétrachlorure de carbone, trichloroéthane 1-1-1, trichloroéthylène

Les teneurs en dichlorométhane se sont toujours révélées inférieures au seuil de quantification (200 µg.l⁻¹ de janvier 1997 à juin 1998, puis 50 µg.l⁻¹ de juillet à décembre 1998, puis 20 µg.l⁻¹ de janvier 1999 à décembre 2001 et enfin 10 µg.l⁻¹ de 2002 à 2006). Seule exception, une teneur mesurée de 38 µg.l⁻¹ en décembre 2000.

Le dichloroéthylène 1,2-cis n'a été observé qu'une seule fois dans les eaux de la Seine entre 2000 et 2006, à une teneur de 0,54 µg.l⁻¹. Il faut noter que le seuil de quantification de cet élément a été de 50 µg.l⁻¹ en 2000 et 2001, puis est passé à 1 µg.l⁻¹ de 2002 à 2004, pour enfin atteindre 0,5 µg.l⁻¹ à partir de 2005.

Concernant les teneurs en tétrachloréthène, celles-ci se sont révélées inférieures au seuil de quantification (entre 0,2 et 2 µg.l⁻¹) de cet élément, à l'exception des douze

analyses présentées dans l'illustration 45 qui ont enregistrées des teneurs variant entre 0,2 et 5 $\mu\text{g.l}^{-1}$ et ce entre 1997 et 2003.

date	Tétrachloroéthène ($\mu\text{g/l}$)
14/05/1997	5,0
08/10/1997	1,0
15/07/1998	1,3
25/08/1998	0,2
09/09/1998	0,3
22/09/1998	0,3
14/10/1998	0,2
27/10/1998	0,2
10/11/1998	0,3
24/11/1998	0,2
08/12/1998	0,2
24/06/2003	2,2

Illustration 45 : Teneurs mesurées en tétrachloroéthène dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2003 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)

Une seule analyse, en décembre 2001, a montré une teneur en tétrachlorure de carbone de 0,5 $\mu\text{g.l}^{-1}$, avec un seuil de quantification qui varie entre 0,05 et 10 $\mu\text{g.l}^{-1}$ suivant les analyses.

Les teneurs en trichloroéthane 1-1-1 se sont également le plus souvent révélées inférieures au seuil de quantification (entre 0,1 et 2 $\mu\text{g.l}^{-1}$). Seules cinq analyses font exception (Illustration 46). Il s'agit d'une analyse en octobre, deux analyses en novembre et une en décembre 1998 où la teneur fut de 0,1 $\mu\text{g.l}^{-1}$, ainsi qu'une analyse en novembre 1997 avec une teneur de 2 $\mu\text{g.l}^{-1}$.

Les teneurs en trichloroéthylène ont été supérieures au seuil de quantification (entre 0,5 et 1 $\mu\text{g.l}^{-1}$) à trois reprises avec des teneurs mesurées de 0,2 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en juillet 1998, 1,9 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en mai 2000 et 1,1 $\mu\text{g.l}^{-1}$ en août 2000.

	Dichlorométhane ($\mu\text{g/l}$)	Dichloroéthylène 1,2-cis ($\mu\text{g/l}$)	Tétrachloroéthène ($\mu\text{g/l}$)	Tétrachlorure de carbone ($\mu\text{g/l}$)	Trichloroéthane 1-1-1 ($\mu\text{g/l}$)	Trichloroéthylène ($\mu\text{g/l}$)
nombre d'analyses	210	150	210	210	210	210
nombre de fois mesuré	1	1	12	1	4	3
% de fois mesuré	0,5	0,7	5,7	0,5	1,9	1,4
minimum	38	0,54	0,2	0,5	0,1	0,2
maximum	38	0,54	5	0,5	0,1	1,90
moyenne	38	0,54	0,95	0,5	0,1	1,07
médiane			0,3		0,1	1,1
écart type			1,42		0	0,85

Illustration 46 : Tableau de synthèse des composés organiques halogénés volatils dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

Micropolluants organiques de la famille des dérivés du benzène : trichlorobenzène-1,2,3 et trichlorobenzène-1,2,4

Le trichlorobenzène-1,2,3 et le trichlorobenzène-1,2,4 n'ont été mesurés qu'en 2005. Le premier a été observé une fois à une teneur de 0,11 µg.l⁻¹ en mars 2005 (Illustration 47). Le second a été retrouvé au cours de quatre analyses successives entre janvier et mars 2005, avec des teneurs variant entre 0,1 et 0,56 µg.l⁻¹.

	Trichlorobenzène-1,2,3 (µg/l)	Trichlorobenzène-1,2,4 (µg/l)
nombre d'analyses	23	23
nombre de fois mesuré	1	4
% de fois mesuré	4,3	17,4
minimum	0,11	0,10
maximum	0,11	0,56
moyenne	0,11	0,29
médiane		0,25
écart type		0,20

Illustration 47 : Tableau de synthèse des dérivés du benzène dans les eaux de la Seine en 2005 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)

Micropolluants organiques de la famille des phtalates : ethyl hexyl phtalate

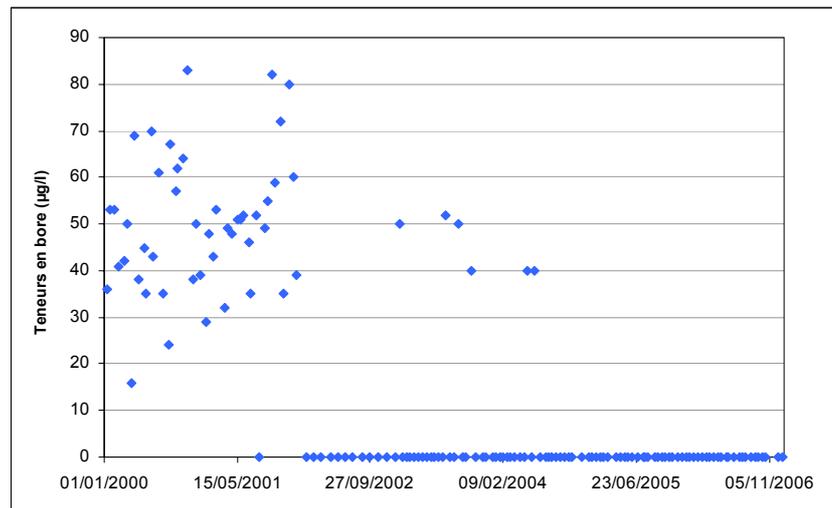
L'ethyl hexyl phtalate n'a été recherché qu'en 2005, soit 23 analyses. Les teneurs se sont révélées à trois reprises supérieures au seuil de quantification qui est de 1 µg.l⁻¹ et ce en juillet (1,05 µg.l⁻¹), en novembre (12 µg.l⁻¹) et en décembre (2,48 µg.l⁻¹).

5.2.4. Recherche des éléments toxiques et/ou indésirables

Seul le bore a été analysé par l'AESN à 127 reprises à partir du mois de janvier 2000 (Illustration 48). En 2000 et 2001, le seuil de quantification était de 10 µg.l⁻¹, et les teneurs mesurées se sont toujours avérées supérieures à cette valeur, à une exception près. A partir de 2002, le seuil de quantification était variable entre 40 et 50 µg.l⁻¹. Dans ce contexte, seules 6 analyses ont révélées des teneurs en bore supérieures à ce seuil, entre 40 et 52 µg.l⁻¹ (Illustration 49).

	Bore ($\mu\text{g/l}$) 2000-2001	Bore ($\mu\text{g/l}$) 2002-2006
nombre d'analyses	47	102
nombre de fois mesuré	46	6
% de fois mesuré	97,9	5,9
minimum	16	40
maximum	83	52
moyenne	49,8	45,3
médiane	49,5	45,0
écart type	14,8	5,9

Illustration 48 : Tableau de synthèse du bore dans les eaux de la Seine entre 2000 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)



* : dans ce graphique, les teneurs inférieures au seuil de quantification ont été mises à zéro.

Illustration 49 : Evolution des teneurs en bore dans les eaux de la Seine entre 2000 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

L'antimoine, l'aluminium, l'argent, l'arsenic, le baryum, le cadmium, le chrome, le cuivre, le fluor, le fer, le manganèse, le mercure, le nickel, le plomb, le sélénium et le zinc n'ont pas été recherchés.

5.2.5. Recherche des nitrates

D'une manière générale, les nitrates sont sources de déséquilibres écologiques et posent des problèmes aux producteurs d'eau potable. Les normes françaises et européennes fixent à 50 mg.l^{-1} la concentration en nitrates au-delà de laquelle l'eau prélevée ne peut servir à la production d'eau potable (classe de qualité très mauvaise).

De plus, étant un nutriment essentiel pour la croissance des végétaux, ils peuvent créer lorsqu'ils sont en excès de graves déséquilibres écologiques. Or, les nitrates risquent fort de se retrouver dans les rivières : ils sont largement employés par l'agriculture, sont très facilement entraînés dans l'eau et constituent une étape stable du cycle de l'azote.

Les teneurs en nitrates mesurées par l'AESN des eaux de la Seine varient de façon cyclique entre 11 et 39,7 mg.l⁻¹ (Illustration 50).

	nitrates (mg/l)
nombre d'analyses	221
minimum	11,0
maximum	39,7
moyenne	21,3
médiane	21,7
écart type	5,7

Illustration 50 : Tableau de synthèse des nitrates dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

Les teneurs les plus faibles (entre 11 et 17 mg.l⁻¹) sont enregistrées entre fin août et fin octobre suivant les années. Les teneurs les plus fortes (entre 27 et 39,7 mg.l⁻¹) sont observées entre fin janvier et fin avril suivant les années (Illustration 51).

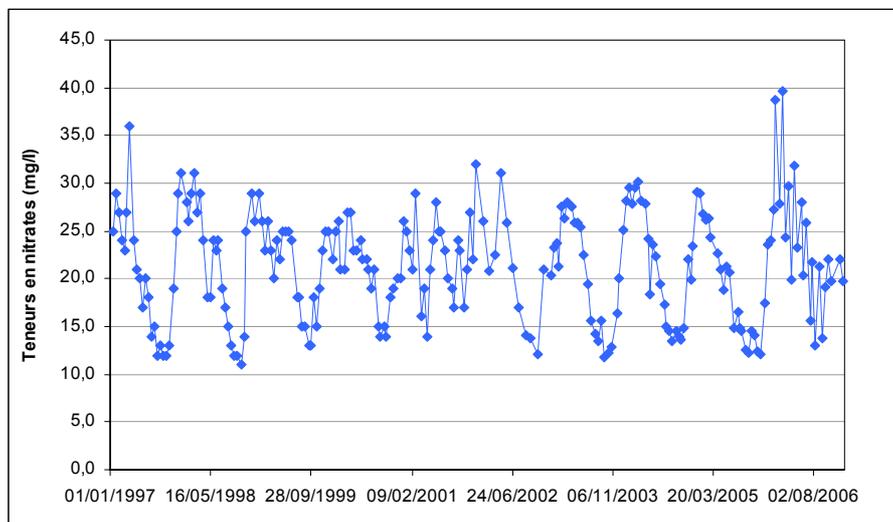


Illustration 51 : Evolution des teneurs en nitrates dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

Cette tendance est bien confirmée par l'illustration 52 présentant les teneurs mensuelles moyennes des concentrations en nitrates.

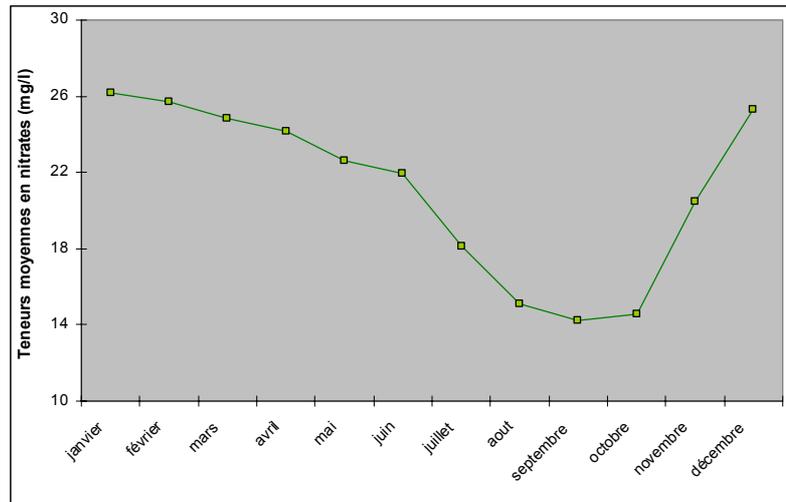


Illustration 52 : Teneurs moyennes mensuelles des nitrates dans les eaux de la Seine (données Agence de l'eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)

5.2.6. Paramètres physico-chimiques de terrain

La conductivité, le pH, la température et les teneurs en oxygène dissous de l'eau de la Seine ont été mesurés par l'AESN à plusieurs reprises (Illustration 53).

	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Potentiel en Hydrogène (unités pH)	Température de l'eau (°C)	Oxygène dissous (mg/l)
nombre de mesures	85	85	85	84
minimum	383	7	0,8	6,3
maximum	722	8,45	28	13,5
moyenne	498	8,0	13,9	10,3
médiane	516	8	13,8	10,4
écart type	68	0,2	6,6	1,7

Illustration 53 : Tableau de synthèse des paramètres physico-chimiques dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

Une analyse des moyennes interannuelles (Illustration 54, Illustration 55, Illustration 56) montre que les paramètres varient dans l'année.

Les variations des teneurs en oxygène dissous semblent globalement corrélées aux variations de la minéralisation (représentée par la conductivité électrique). Cette dernière varie d'ailleurs de façon similaire aux teneurs en nitrates, en hydrogencarbonates et en calcium qui sont les éléments majeurs présentant une évolution marquée de leurs teneurs au cours de l'année.

En revanche, les teneurs en oxygène dissous et la conductivité sont inversement corrélées aux variations de températures de l'eau (elles-mêmes corrélées aux variations climatiques saisonnières).

Le pH des eaux ne varie pas significativement au cours de l'année.

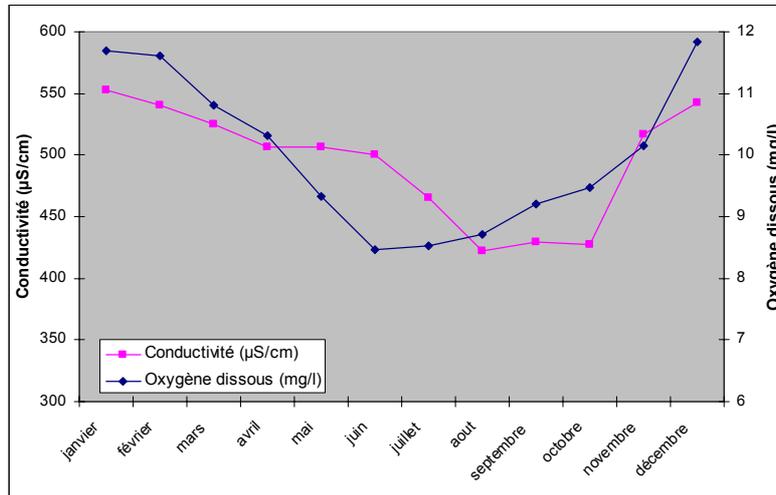


Illustration 54 : Valeurs moyennes mensuelles de la conductivité et de l'oxygène dissous dans les eaux de la Seine (données Agence de l'eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)

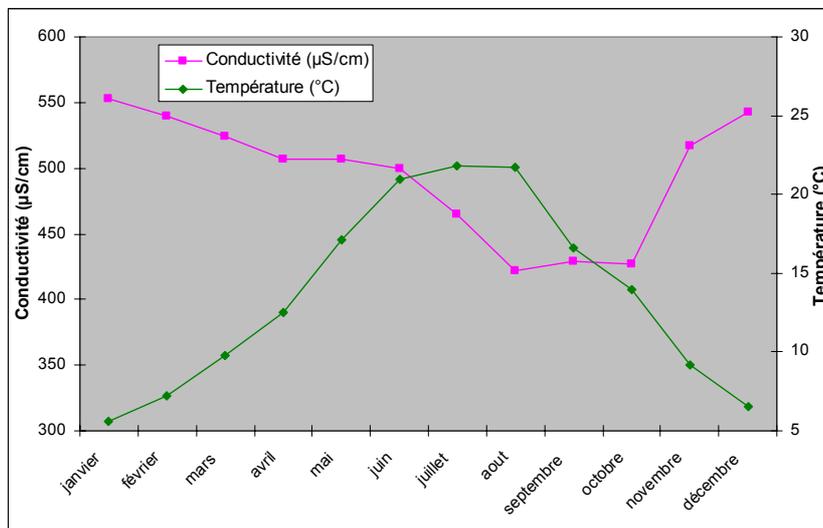


Illustration 55 : Valeurs moyennes mensuelles de la conductivité et de la température dans les eaux de la Seine (données Agence de l'eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)

	janvier	février	mars	avril	mai	juin
Conductivité (µS/cm)	553,0	540,0	524,7	506,8	506,8	500,1
pH	8,1	8,2	8,2	8,0	8,0	8,0
Température (°C)	5,6	7,2	9,8	12,5	17,1	20,9
Oxygène dissous (mg/l)	11,7	11,6	10,8	10,3	9,3	8,5

	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Conductivité (µS/cm)	465,1	421,8	429,1	427,4	517,2	542,2
pH	8,0	8,0	8,0	8,0	8,1	8,2
Température (°C)	21,8	21,7	16,6	13,9	9,1	6,5
Oxygène dissous (mg/l)	8,5	8,7	9,2	9,5	10,2	11,8

Illustration 56 : Evolution mensuelle des paramètres physico-chimiques dans les eaux de la Seine (données Agence de l'eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)

5.2.7. Majeurs

	Hydrogénocarbonates (mg/l)	Chlorures (mg/l)	Sulfates (mg/l)	Calcium (mg/l)	Sodium (mg/l)	Magnésium (mg/l)	Potassium (mg/l)
nombre de mesures	81	81	81	82	82	82	82
minimum	165	11,9	15,8	61,9	4,6	1,9	1,1
maximum	288	28,4	37,9	183	14,7	4,8	3
moyenne	226	19,4	26,8	89,6	8,6	3,6	2,2
médiane	233	18,7	27,3	90,3	8,8	3,7	2,2
écart type	32	4,0	4,5	16,7	2,0	0,4	0,3

Illustration 57 : Tableau de synthèse des majeurs dans les eaux de la Seine entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

Les variations inter-annuelles des ions majeurs dans les eaux de la Seine (mesures AESN) montrent que les teneurs en sulfates, magnésium et potassium ne varient pas (Illustration 57, Illustration 58). Les teneurs en sodium varient mais sans qu'aucune évolution nette ne se dessine. En revanche, les teneurs en chlorures, calcium et bicarbonates évoluent au cours du temps.

	janvier	février	mars	avril	mai	juin
Teneurs en Chlorures (mg/l)	18,6	19,5	20,5	21,7	21,3	23,2
Teneurs en Sulfates (mg/l)	24,0	24,3	23,4	25,0	23,1	25,7
Teneurs en Calcium (mg/l)	104,7	102,2	100,4	98,7	98,9	89,9
Teneurs en Sodium (mg/l)	7,3	10,2	8,0	8,5	9,0	9,7
Teneurs en Magnésium (mg/l)	3,5	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Teneurs en Potassium (mg/l)	2,1	2,1	2,2	2,3	2,1	2,3
Teneurs en Hydrogénocarbonates (mg/l)	264	268	252	247	240	227

	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Teneurs en Chlorures (mg/l)	20,7	16,6	18,1	18,2	18,4	19,3
Teneurs en Sulfates (mg/l)	24,5	21,5	21,8	21,7	24,0	25,6
Teneurs en Calcium (mg/l)	84,1	77,4	73,6	77,1	98,1	104,2
Teneurs en Sodium (mg/l)	9,2	7,3	8,6	8,3	7,8	7,8
Teneurs en Magnésium (mg/l)	3,6	3,5	3,7	3,7	3,7	3,8
Teneurs en Potassium (mg/l)	2,3	2,2	2,2	2,3	2,4	2,4
Teneurs en Hydrogénocarbonates (mg/l)	219	201	195	204	246	267

Illustration 58 : Evolution mensuelle des majeurs dans les eaux de la Seine (données Agence de l'eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)

Les teneurs en chlorures sont stables autour de 18-19 mg.l⁻¹ entre septembre et janvier (Illustration 59). Puis, on note une augmentation quasiment constante jusqu'en juin où elles atteignent une teneur moyenne de 23,2 mg.l⁻¹. S'ensuit une baisse en juillet et août (valeur la faible atteinte avec 16,6 mg.l⁻¹ en moyenne), suivie d'une légère remontée en septembre.

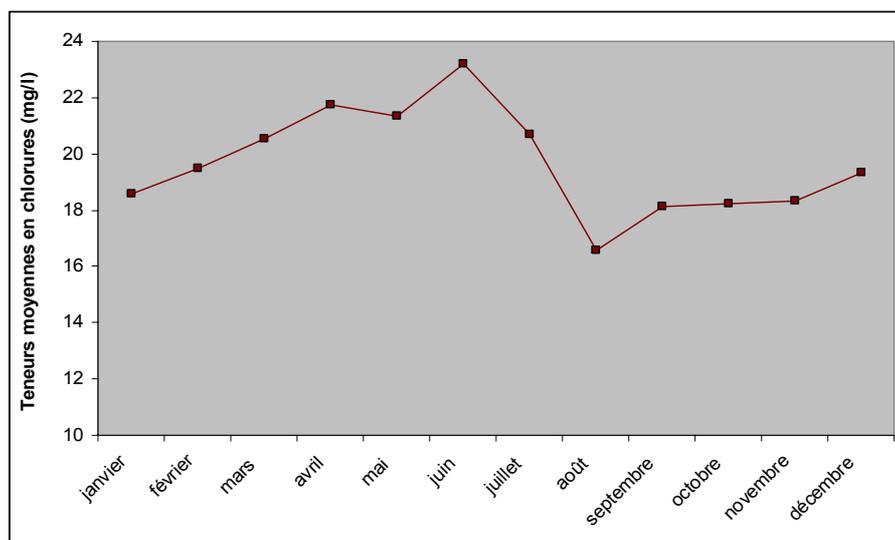


Illustration 59 : Teneurs moyennes mensuelles des chlorures dans les eaux de la Seine (données Agence de l'Eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)

Les teneurs en bicarbonates évoluent de façon similaire par rapport à celles en calcium (Illustration 60). En revanche, les teneurs de ces deux paramètres n'évoluent pas comme celles en chlorures.

En effet, les teneurs les plus faibles sont observées en septembre. Puis, elles augmentent jusqu'en janvier-février, avant de baisser à nouveau. L'évolution annuelle de ces paramètres est identique à celle en nitrates.

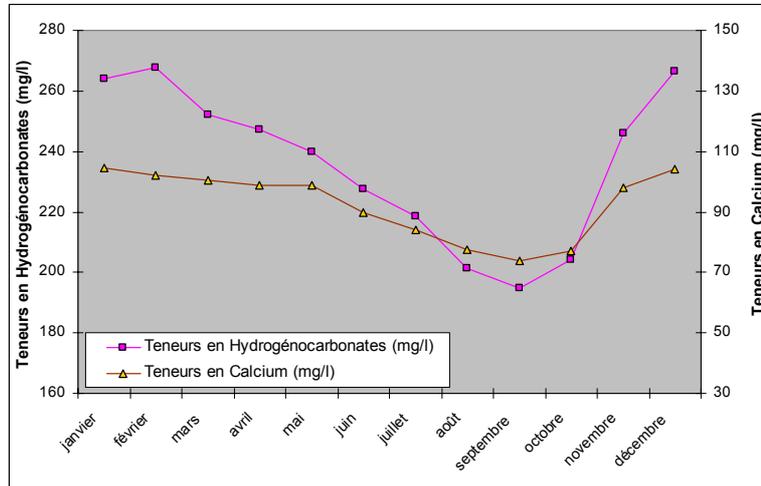


Illustration 60 : Teneurs moyennes mensuelles des hydrogencarbonates et du calcium dans les eaux de la Seine (données Agence de l'Eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)

Autres données

D'un point de vue général, les paramètres étudiés présentent des évolutions semblables à celles observées sur les autres stations de suivi de la qualité suivies par l'Agence de l'eau ou la DIREN.

La comparaison des résultats obtenus aux 3 stations de suivi d'EDF montre qu'aucun paramètre ne présente une évolution nette, à l'exception des teneurs en sulfates qui globalement augmentent entre la station de Marnay-sur-Seine et celle de Nogent-sur-Seine (Illustration 61). Entre cette dernière station et celle de la Motte-Tilly en revanche, la tendance est à la baisse des teneurs en sulfates.

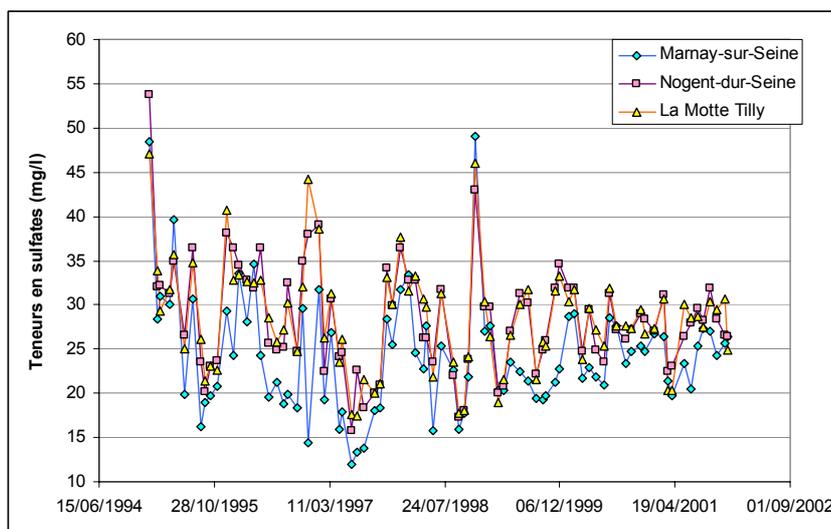


Illustration 61 : Evolution des teneurs en sulfates dans les eaux de la Seine aux trois stations de mesure d'EDF entre 1995 et 2001 (données EDF)

Sur 84 prélèvements et analyses réalisés, 76 d'entre elles (soit 90 % des analyses) ont montré une teneur en sulfates plus élevée à la station de Nogent-sur-Seine qu'à celle de Marnay-sur-Seine, les écarts variant entre 0 et 23,6 mg.l⁻¹. En revanche, seules 8 analyses ont montré des résultats inverses (Illustration 62).

	Augmentation des teneurs en sulfates entre Marnay-sur-Seine et Nogent-sur-Seine	Diminution des teneurs en sulfates entre Marnay-sur-Seine et Nogent-sur-Seine
nombre d'analyses	76	8
minimum	0	-0,4
maximum	23,6	-6,0
moyenne	4,9	-2,1
médiane	3,8	-1,0
écart-Type	3,7	2,2

Illustration 62 : Tableau d'évolution des teneurs en sulfates dans les eaux de la Seine entre les stations de Marnay-sur-Seine et Nogent-sur-Seine entre 1995 et 2001 (données EDF)

Entre les stations de mesure de Nogent-sur-Seine et la Motte-Tilly en revanche, les teneurs sont indifféremment à la baisse ou à la hausse suivant les analyses (Illustration 63). De plus, les variations sont relativement faibles, de l'ordre de 6 à 7 mg.l⁻¹ en valeur absolue au maximum.

	Augmentation des teneurs en sulfates entre Nogent-sur-Seine et la Motte-Tilly	Diminution des teneurs en sulfates entre Nogent-sur-Seine et la Motte-Tilly
nombre d'analyses	46	38
minimum	0	-0,05
maximum	6,3	-6,7
moyenne	1,5	-1,6
médiane	0,9	-1,3
écart-Type	1,4	1,4

Illustration 63 : Tableau d'évolution des teneurs en sulfates dans les eaux de la Seine entre les stations de Nogent-sur-Seine et la Motte-Tilly entre 1995 et 2001 (données EDF)

5.2.8. Synthèse

Les variations de la minéralisation des eaux de la Seine semblent liées aux variations du débit de celle-ci.

Si l'on considère la période de crue la plus probable autour de janvier à mars-avril (période où les débits sont les plus forts), le risque de pollution de la nappe par les eaux superficielles est élevé pour les phytosanitaires et principalement pour les triazines et les urées substituées qui sont les substances les plus souvent observées. L'illustration 63 reprend l'ensemble des molécules les plus fréquentes dans les eaux de la Seine. Il illustre que pour la période décembre-avril, certaines molécules sont très souvent observées dans les eaux de la Seine. Ainsi, l'atrazine, la déséthylatrazine et le 2-hydroxyatrazine sont les plus courantes. Dans une moindre mesure, on trouvera la terbutylazine, la simazine, le chlortoluron, le diuron et l'isoproturon. Toutes substances confondues, c'est au mois d'avril que le risque de pollution par les phytosanitaires est le plus élevé. D'une manière générale, plus la crue sera tardive, et plus le risque de contamination sera élevé.

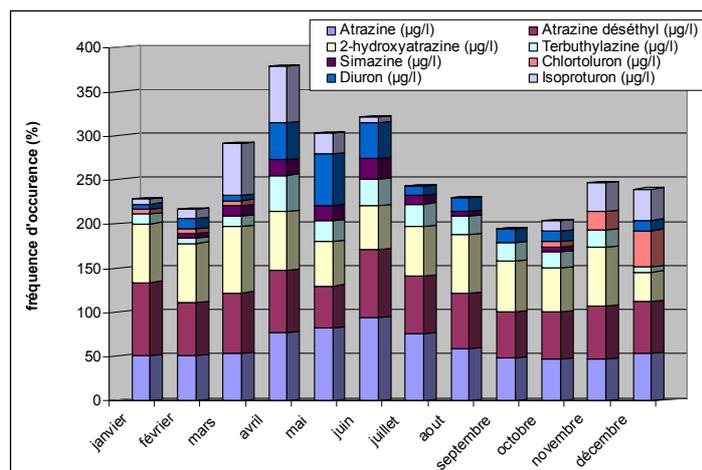


Illustration 64 : Fréquence d'occurrence des pesticides les plus fréquents dans les eaux de la Seine (données Agence de l'eau Seine-Normandie sur la période 1997-2006)

Sur la même période, il existe également un risque de pollution des eaux par les nitrates dont les concentrations avoisinent en moyenne 25 mg.l^{-1} .

En revanche, compte tenu des résultats disponibles, le risque d'une pollution chronique par les micropolluants organiques semble plus faible, celui-ci ne pouvant néanmoins être totalement écarté.

5.3. DEBITS ET QUALITE DES EAUX DE LA VOULZIE A JUTIGNY

La Voulzie est un cours d'eau du sud de la Beauce dont la source se situe sur la commune de Voulton, à 8 kilomètres au nord-est de Provins. Elle rejoint la Seine en rive droite à environ 45 kilomètres de sa source, au niveau de la commune de Saint-Sauveur-les-Bray.

Le débit moyen annuel de ce cours d'eau observé à Jutigny sur une période de 34 ans (1974 à 2007) est de $1,69 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

La Voulzie présente des fluctuations saisonnières de débit extrêmement modérées. La période de hautes eaux se déroule en fin d'hiver et au printemps et est caractérisée par des débits mensuels moyens allant de $1,84$ à $2,09 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, de janvier à mai inclus (avec un maximum en mars). Dès début juin, le débit diminue progressivement pour aboutir à la période des basses eaux qui a lieu d'août à novembre inclus, avec une baisse du débit moyen mensuel allant jusqu'à $1,33 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ au mois de septembre, ce qui est encore abondant, pour un aussi petit cours d'eau. Cependant les fluctuations de débit peuvent être plus importantes suivant les années et sur des périodes plus courtes.

5.3.1. Débits de la Voulzie à Jutigny

Les statistiques issues de la banque Hydro (www.hydro.eaufrance.fr) sur les débits de la Voulzie à la station hydrométrique de Jutigny sur la période 1974-2007 montrent que les débits sont les plus forts en février, mars et avril, de l'ordre de $2 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Puis, ils baissent régulièrement jusqu'en septembre où les débits les plus faibles sont observés (de l'ordre de $1,3 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$). La remontée du débit s'amorce tout doucement en octobre (Illustration 65).

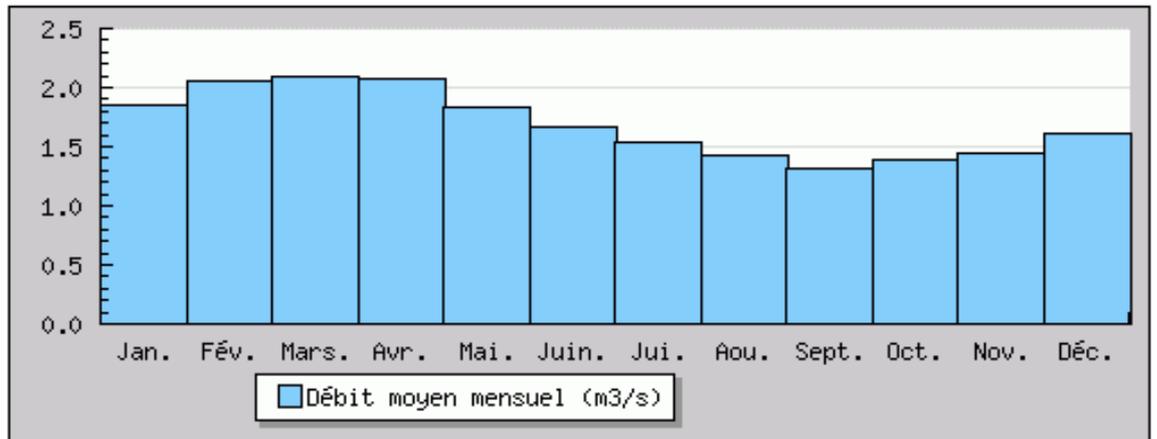


Illustration 65 : Débits mensuels moyens de la Vouzie à la station hydrométrique de Jutigny sur la période 1974-2007 (www.hydro.eaufrance.fr)

5.3.2. Recherche de produits phytosanitaires

Les analyses réalisées par la DIREN sur les eaux de la Vouzie à Jutigny entre octobre 2005 et mai 2006 (Illustration 66) montrent la présence de :

- 12 produits phytosanitaires en octobre 2005 (soit 1,18 $\mu\text{g.l}^{-1}$ de pesticides totaux)
- 7 produits phytosanitaires en novembre 2005 (soit 0,69 $\mu\text{g.l}^{-1}$ de pesticides totaux)
- 12 produits phytosanitaires en février 2006 (soit 0,98 $\mu\text{g.l}^{-1}$ de pesticides totaux)
- 16 produits phytosanitaires en mai 2006 (soit 1,61 $\mu\text{g.l}^{-1}$ de pesticides totaux)

3013300	Molécules	Concentration (µg/l)	Pesticides totaux (µg/l)
oct-05	AMPA	0.49	1.18
	Atrazine	0.1	
	Atrazine déséthyl	0.2	
	Bentazone	0.03	
	Cyprodinil	0.01	
	Diflufenicanil	0.01	
	dimétachlore	0.01	
	Diuron	0.07	
	Glyphosate	0.2	
	Métolachlore	0.01	
	Oxadixyl	0.02	
Simazine	0.03		
nov-05	AMPA	0.23	0.69
	Atrazine	0.1	
	Atrazine déséthyl	0.2	
	Chlortoluron	0.01	
	Diuron	0.01	
	Glyphosate	0.1	
Isoproturon	0.04		
févr-06	AMPA	0.31	0.98
	Atrazine	0.05	
	Atrazine déséthyl	0.06	
	Bentazone	0.02	
	Chlortoluron	0.11	
	Diflufenicanil	0.01	
	dimétachlore	0.04	
	Diuron	0.04	
	Glyphosate	0.23	
	Isoproturon	0.08	
	Métolachlore	0.01	
Oxadixyl	0.02		
mai-06	2-hydroxy atrazine	0.01	36.92
	Aminotriazole	0.07	
	AMPA	0.57	
	Atrazine	0.09	
	Atrazine déséthyl	0.16	
	Bentazone	0.13	
	Chloridazone	0.02	
	Dichlorprop	0.04	
	Diflufenicanil	0.03	
	Diuron	0.1	
	Ethofumésate	0.02	
	Glyphosate	0.24	
	Isoproturon	0.07	
	Mécoprop	0.03	
	Métolachlore	0.01	
Oxadiazon	0.02		

Illustration 66 : Liste des molécules quantifiées entre octobre 2005 et mai 2006 sur la Voulzie à Jutigny (DIREN Ile-de-France)

Pour la majorité des produits phytosanitaires recherchés par l'Agence de l'eau Seine-Normandie, les teneurs sont inférieures au seuil de quantification. Néanmoins, douze molécules différentes ont été retrouvées à une ou plusieurs reprises (Illustration 67).

Phytosanitaires de la famille des triazines : atrazine, déséthylatrazine, déisopropylatrazine, simazine

Pour l'atrazine et la déséthylatrazine, des teneurs ont été mesurées au cours des différentes analyses, ainsi que pour la simazine au cours des deux premières analyses et pour la déisopropylatrazine au cours de l'analyse de 2004.

date	Atrazine (µg/l)	Atrazine déséthyl (µg/l)	Atrazine déisoprpyl (µg/l)	Simazine (µg/l)
26/05/1998	0,21	0,25		0,03
27/04/1999	0,21	0,44		0,05
26/06/2000	0,20	0,44	<0,05	<0,02
28/05/2001	0,18	0,32	<0,05	<0,02
29/05/2002	0,12	0,23	<0,05	<0,02
27/05/2003	0,03	0,22	<0,05	<0,02
26/05/2004	0,07	0,45	0,08	<0,02
17/07/2006	0,07	0,16	<0,1	<0,04
18/09/2006	0,06	0,12	<0,1	<0,04
20/11/2006	0,13	0,31	<0,1	

Illustration 67 : Tableau de données des triazines dans les eaux de la Voulzie entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

D'une manière générale, les teneurs en atrazine diminuent au cours du temps, à l'exception des mesures de 2004 et 2006, qui présentent une remontée (Illustration 68). En revanche, la teneur en déséthylatrazine augmente entre 1998 et 1999, puis décroît jusqu'en 2003, avant de remonter en 2004 et d'atteindre la valeur la plus haute enregistrée ($0,45 \mu\text{g.l}^{-1}$). En 2006, les teneurs varient entre $0,12$ et $0,31 \mu\text{g.l}^{-1}$.

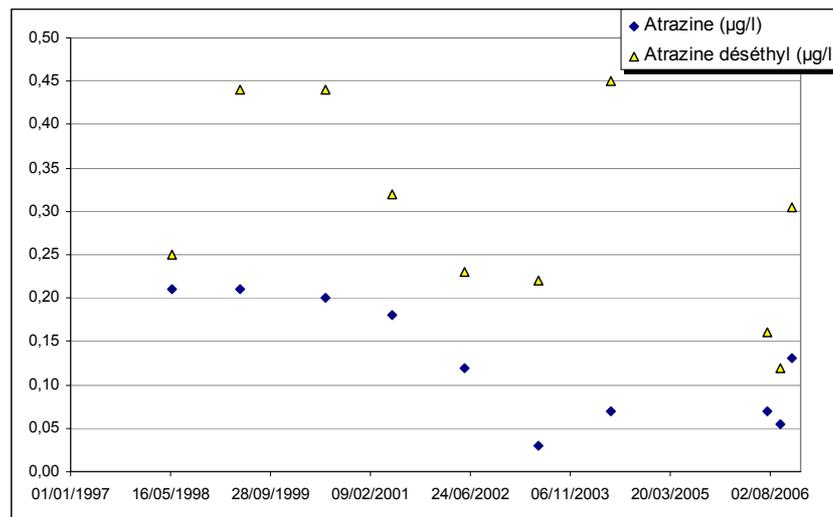


Illustration 68 : Evolution des teneurs en atrazine et en déséthylatrazine dans les eaux de la Voulzie entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

Phytosanitaires de la famille des diazines : bentazone

Les teneurs en bentazone ont été mesurées à cinq reprises. En avril 1999, la teneur était inférieure au seuil de quantification qui était de 0,05 $\mu\text{g.l}^{-1}$. En revanche, en mai 2001, une teneur de 0,24 $\mu\text{g.l}^{-1}$ était enregistrée. En 2006, les teneurs sont à nouveau inférieures au seuil de quantification.

Phytosanitaires de la famille des urées substituées : isoproturon

Les teneurs en isoproturon ont été recherchées une fois par an entre 1998 et 2004, puis 3 fois en 2006 (Illustration 69). Des teneurs supérieures au seuil de quantification (0,05 $\mu\text{g.l}^{-1}$) ont été mesurées en mai 1998, en avril 1999 et en novembre 2006.

date	Isoproturon ($\mu\text{g/l}$)
26/05/1998	0,03
27/04/1999	0,31
26/06/2000	<0,05
28/05/2001	<0,05
29/05/2002	<0,05
27/05/2003	<0,05
26/05/2004	<0,05
17/07/2006	<0,05
18/09/2006	<0,05
20/11/2006	0,077

Illustration 69 : Tableau de données de l'isoproturon dans les eaux de la Voulzie entre 1998 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

Phytosanitaires de la famille des amines : alachlore

10 analyses ont comporté la recherche d'alachlore dans les eaux de la Voulzie. Au cours de l'analyse d'avril 1999, une teneur de 0,009 $\mu\text{g.l}^{-1}$ a été notée.

Phytosanitaires herbicides de la famille des dérivés de glycine : glyphosate et AMPA

Le glyphosate et son principal produit de dégradation, l'AMPA, ont été recherchés à trois reprises dans les eaux de la Voulzie en 2006.

Pour le premier, les analyses du mois de juillet et du mois de novembre ont montré des teneurs respectivement de 0,139 et 0,114 $\mu\text{g.l}^{-1}$. En revanche, celle de septembre a présenté une teneur inférieure au seuil de quantification qui était de 0,1 $\mu\text{g.l}^{-1}$.

Pour l'AMPA, les trois analyses ont révélé la présence de cette molécule dans les eaux avec des teneurs variant entre 0,11 et 0,60 $\mu\text{g.l}^{-1}$.

Phytosanitaire régulateur de la famille des dérivés des ammoniums quaternaires : mépiquat

Cette molécule a également été recherchée uniquement 3 fois et ce au cours de l'année 2006. L'analyse du mois de novembre a montré la présence de cette molécule à hauteur de 0,15 µg.l⁻¹. Le seuil de quantification pour cette molécule lors des deux autres analyses était de 0,05 µg.l⁻¹.

Phytosanitaire herbicide de la famille des carboxamides : diflufenicanil

Cette substance a été analysée deux fois au cours de l'année 2006. L'analyse du mois de juillet a montré une teneur de 0,03 µg.l⁻¹ (seuil de quantification : 0,025 µg.l⁻¹).

Phytosanitaire insecticide de la famille des pyréthriinoïdes : perméthrine

La perméthrine a été analysée en mai 2002, 2003 et 2004, puis 3 fois au cours de l'année 2006 (juillet, septembre et novembre). Seule l'analyse du mois de juillet 2006 a présentée une teneur de 0,08 µg.l⁻¹, soit supérieure au seuil de quantification (entre 0,01 et 0,05 µg.l⁻¹).

5.3.3. Recherche des micropolluants organiques

Micropolluants organiques de la famille des composés organiques halogénés volatils (COHV) : tetrachloroéthène, trichloroéthane 1-1-1, trichloroéthylène, dichloroéthane et dichloroéthylène 1,2-cis

date	Tétrachloro-éthène (µg/l)	Trichloro-éthane-1,1,1 (µg/l)	Trichloro-éthylène (µg/l)	Dichloro-éthane 1,1 (µg/l)	Dichloro-éthylène 1,2-cis (µg/l)
26/05/1998	<2,0	<2,00	<2,00		
27/04/1999	0,4	1,40	1,00		
28/05/2001	<0,1	<0,10	<0,20	<20	<10
29/05/2002	<0,7	0,30	0,30	<20	<10
27/05/2003	<0,1	0,40	0,30	<20	<10
26/05/2004	<0,1	0,20	0,20	<20	<10
20/03/2006	<0,5	3,10	0,74	1,00	1,70
15/05/2006	<0,5	1,40	0,60	0,56	1,20
19/06/2006	<0,5	0,77	<0,50	<0,5	<0,5
17/07/2006	<0,5	<0,50	<0,50	<0,5	<0,5
16/10/2006	<0,5	1,20	<0,50	0,53	0,50
20/11/2006	<0,5	2,70	<0,50	0,67	0,57

Illustration 70 : Tableau de données des composés organiques halogénés volatils dans les eaux de la Voulzie entre 1998 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

6 analyses concernant les micropolluants de la famille des composés organiques halogénés volatils ont été réalisées entre 1998 et 2004, en avril ou mai. 6 autres analyses ont été réalisées en 2006 en mars, mai, juin, juillet, octobre et décembre (Illustration 70).

Il faut noter qu'en 1998, les seuils de quantification étaient de $2 \mu\text{g.l}^{-1}$, ce qui est plus élevé que les teneurs qui ont pu être enregistrées.

Concernant les teneurs en tétrachloréthène, une valeur de $0,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ a été enregistrée en 1999.

Les teneurs en trichloroéthane-1,1,1 et en trichloroéthylène ont été notées respectivement à 9 et 6 reprises. Pour le premier, elles varient entre $0,2$ et $3,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ et entre $0,2$ et $1,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ pour le second.

Le dichloroéthane 1,1 et le dichloroéthylène 1,2-cis ont été observés aux mêmes dates, sur 4 des 10 prélèvements réalisés. Les teneurs enregistrées varient respectivement entre $0,53$ et $1 \mu\text{g.l}^{-1}$ et entre $0,5$ et $1,7 \mu\text{g.l}^{-1}$.

• Comparaison des résultats d'analyse de l'Agence de l'eau et de la DIREN Ile-de-France

Si l'on compare les résultats des 4 campagnes de la DIREN aux 3 campagnes de l'Agence de l'Eau réalisées en 2006, il apparaît que :

- 6 molécules ont été retrouvées par les deux organismes au moins une fois : l'AMPA, l'atrazine, la déséthylatrazine, le glyphosate, le diflufenicanil et l'isoproturon,
- 2 molécules ont été observées par l'Agence de l'Eau en 2006 mais qui pas par la DIREN : le mépiquat et la perméthrine,
- 2 molécules qui avaient été retrouvées par l'Agence de l'Eau les années précédentes mais qui ne l'ont pas été en 2006 ont été observée au moins une fois par la DIREN : la simazine et le bentazone,
- 11 molécules recherchées en 2006, mais également les années passées et qui n'ont jamais été observées par l'Agence de l'Eau ont été retrouvées par la DIREN au moins une fois : le mécroprop, le dichlorprop, le chlortoluron, le cyprodinil, le diuron, le métolachlore, le 2-hydroxy-atrazine, l'aminotriazole, l'éthofumésate, l'oxadiazon et l'oxadixyl. Pour toutes ces molécules, les quantités retrouvées par la DIREN sont inférieures au seuil de quantification de l'Agence de l'Eau pour les différentes molécules,
- 1 molécule qui n'a jamais été recherchée par l'Agence de l'Eau a été observée une fois par la DIREN : le dimétachlore.

5.3.4. Recherche des éléments toxiques et/ou indésirables

Quatre analyses des teneurs en cadmium ont été réalisées par l'AESN entre mars et novembre 1998, celles-ci évoluant entre 24 et $40 \mu\text{g.l}^{-1}$.

L'antimoine, l'aluminium, l'argent, l'arsenic, le baryum, le bore, le chrome, le cuivre, le fluor, le fer, le manganèse, le mercure, le nickel, le plomb, le sélénium et le zinc n'ont pas été recherchés.

5.3.5. Recherche des nitrates

Les teneurs en nitrates mesurées par l'AESN des eaux de la Voulzie varient de façon cyclique entre 30 et 55 mg.l⁻¹ (Illustration 51).

L'amplitude des variations est plus forte en 1997-1998 et depuis 2005.

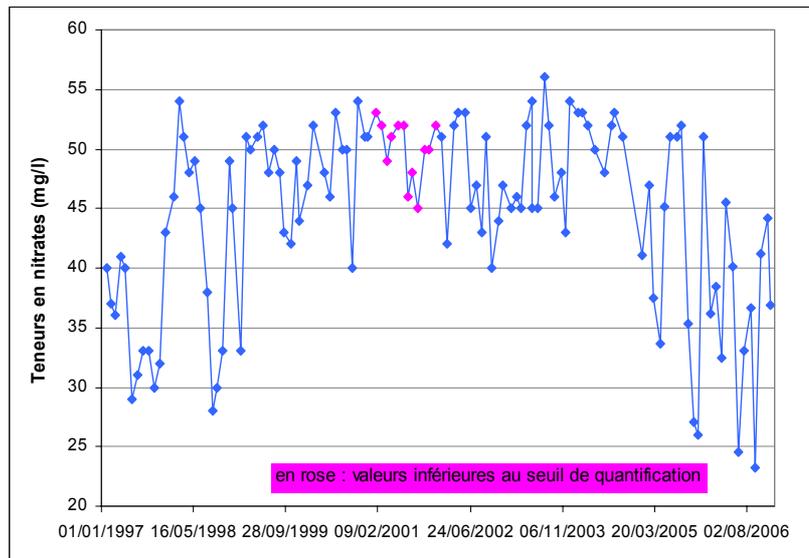


Illustration 71 : Evolution des teneurs en nitrates dans les eaux de la Voulzie entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

5.4. QUALITE DES EAUX DE L'AUXENCE A VIMPELLES

L'Auxence est un cours d'eau qui prend sa source au nord-est de Sognolles-en-Montois et se jette dans le Seine en rive droite à environ 35 kilomètres de sa source, à Marolles-sur-Seine, à six kilomètres en amont de Montereau-Fault-Yonne.

5.4.1. Recherche de produits phytosanitaires

Les analyses réalisées par la DIREN sur les eaux de l'Auxence à Vimpeles entre octobre 2005 et mai 2006 (Illustration 72) montrent la présence de :

- 5 produits phytosanitaires en octobre 2005 (soit 0,74 µg.l⁻¹ de pesticides totaux)
- 8 produits phytosanitaires en novembre 2005 (soit 1,09 µg.l⁻¹ de pesticides totaux)
- 10 produits phytosanitaires en février 2006 (soit 1,78 µg.l⁻¹ de pesticides totaux)
- 8 produits phytosanitaires en mai 2006 (soit 0,71 µg.l⁻¹ de pesticides totaux)

3013660	Molécules	Concentration (µg/l)	Pesticides totaux (µg/l)
oct-05	AMPA	0.34	0.74
	Atrazine	0.06	
	Atrazine déséthyl	0.16	
	Diuron	0.04	
	Glyphosate	0.14	
nov-05	AMPA	0.56	1.09
	Atrazine	0.09	
	Atrazine déséthyl	0.23	
	Dichlorprop	0.01	
	Diuron	0.04	
	Glyphosate	0.11	
	Prosulfocarbe	0.01	
	Simazine	0.04	
févr-06	AMPA	0.55	1.78
	Atrazine	0.04	
	Atrazine déséthyl	0.03	
	Chlortoluron	0.32	
	Diuron	0.06	
	Flutriafol	0.01	
	Glyphosate	0.22	
	Imidaclopride	0.04	
	Isoproturon	0.5	
	Oxadixyl	0.01	
mai-06	2,4-MCPA	0.01	0.71
	AMPA	0.33	
	Atrazine	0.05	
	Atrazine déséthyl	0.12	
	Diuron	0.04	
	Glyphosate	0.1	
	Isoproturon	0.04	
Mécoprop	0.02		

Illustration 72 : Liste des molécules quantifiées entre octobre 2005 et mai 2006 sur l'Auxence à Vimpeles (DIREN Ile-de-France)

La plupart des produits phytosanitaires recherchés par l'AESN n'a pas été retrouvé dans les eaux de l'Auxence. Néanmoins, six d'entre eux ont été observés au moins une fois au cours des différentes analyses.

Phytosanitaires de la famille des triazines : atrazine, déséthylatrazine, simazine

Pour l'atrazine et la déséthylatrazine, des teneurs ont été mesurées au cours de chacune des analyses, et pour la simazine, une teneur de 0,02 µg.l⁻¹ a été enregistrée en 1998 (Illustration 73).

date	Atrazine (µg/l)	Atrazine déséthyl (µg/l)	Simazine (µg/l)
26/05/1998	0,13	0,13	0,02
27/04/1999	0,09	0,19	<0,02
26/06/2000	0,11	0,22	<0,02
28/05/2001	0,07	0,12	<0,02
29/05/2002	0,08	0,15	<0,02
27/05/2003	0,03	0,08	<0,02
26/05/2004	0,04	0,22	<0,02
17/07/2006	0,09	0,22	<0,04
18/09/2006	0,03	0,09	<0,04
20/11/2006	0,05	0,12	

Illustration 73 : Tableau de données des triazines dans les eaux de l'Auxence entre 1998 et 2006 (données Agence de l'Eau Seine-Normandie)

Les teneurs en atrazine varient entre 0,03 et 0,13 µg.l⁻¹. D'une manière générale, elles semblent diminuer au cours du temps.

En revanche, celles en déséthylatrazine augmentent de 1998 à 2000, où elles atteignent la valeur la plus forte de 0,22 µg.l⁻¹. Elles baissent ensuite jusqu'en 2003, puis remontent brusquement en 2004 à la valeur de 2002. En 2006, elles sont également relativement élevées (entre 0,09 et 0,22 µg.l⁻¹).

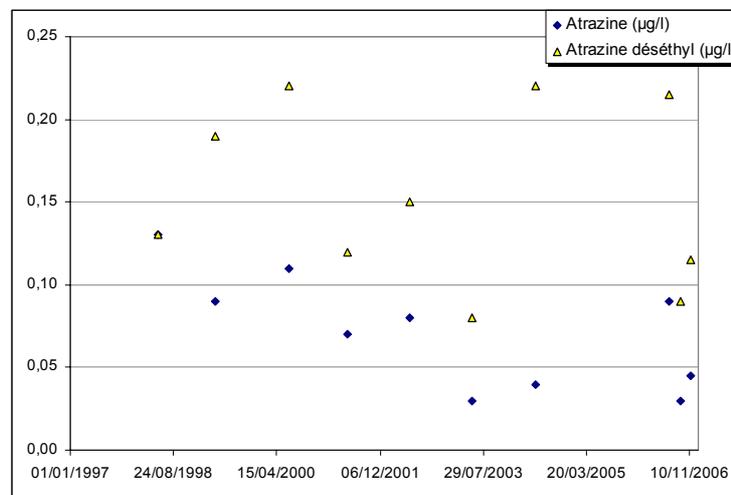


Illustration 74 : Evolution des teneurs en atrazine et en déséthylatrazine dans les eaux de l'Auxence entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

Phytoprotecteurs herbicides de la famille des dérivés de glycine et produits de dégradation : glyphosate et AMPA

Le glyphosate et l'AMPA, son principal produit de dégradation, ont été recherchés trois fois dans les eaux de l'Auxence et ce en 2006.

Pour le premier, seule l'analyse du mois de juillet a montré une teneur de $0,135 \mu\text{g.l}^{-1}$, soit supérieure au seuil de quantification qui était de $0,1 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Pour l'AMPA, les trois analyses ont révélé la présence de cette molécule dans les eaux avec des teneurs variant entre $0,1$ et $1,73 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Phytoprotecteurs de la famille des urées substituées : isoproturon et diuron

Les teneurs en isoproturon et en diuron ont été analysées une fois par an entre 2000 et 2004, puis 3 fois en 2006.

Pour le premier, une teneur supérieure au seuil de quantification ($0,05 \mu\text{g.l}^{-1}$) a été notée en novembre 2006 : elle était de $0,15 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Pour le second, seule une analyse présente un résultat analogue en septembre 2006 avec une teneur de $0,14 \mu\text{g.l}^{-1}$, pour un seuil de quantification variant entre $0,02$ et $0,05 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Comparaison des résultats d'analyse de l'Agence de l'eau et de la DIREN Ile-de-France

Si l'on compare les résultats des 4 campagnes de la DIREN aux 3 campagnes de l'Agence de l'Eau réalisées en 2006, il apparaît que :

- 6 molécules ont été retrouvées par les deux organismes au moins une fois : l'AMPA, l'atrazine, la déséthylatrazine, le glyphosate, le diuron et l'isoproturon,
- 1 molécule qui avait été retrouvée par l'Agence de l'Eau les années précédentes mais qui ne l'a pas été en 2006 a été retrouvée une fois par la DIREN : la simazine. Pour cette molécule, la teneur observée par la DIREN est égale au seuil de quantification de l'Agence de l'Eau ($0,04 \mu\text{g/l}$),
- 12 molécules recherchées en 2006, mais également les années passées et qui n'ont jamais été observées par l'Agence de l'Eau ont été retrouvées par la DIREN au moins une fois : le mécroprop, le dichlorprop, le 2,4-MCPA, le prosulfocarbe, le chlortoluron, le flutriafol, l'imidaclopride et l'oxadixyl. Pour toutes ces molécules, les quantités retrouvées par la DIREN sont inférieures au seuil de quantification de l'Agence de l'Eau pour les différentes molécules

5.4.2. Recherche des éléments toxiques et/ou indésirables

Quatre analyses des teneurs en cadmium ont été réalisées par l'AESN entre mars et novembre 1998. Celles-ci évoluent entre 28 et $37 \mu\text{g.l}^{-1}$.

L'antimoine, l'aluminium, l'argent, l'arsenic, le baryum, le bore, le chrome, le cuivre, le fluor, le fer, le manganèse, le mercure, le nickel, le plomb, le sélénium et le zinc n'ont pas été recherchés.

5.4.3. Recherche des micropolluants organiques

Aucun des micropolluants organiques recherché par l'AESN n'a été observé dans les eaux de l'Auxence au cours des analyses réalisées.

5.4.4. Recherche des nitrates

Les teneurs en nitrates mesurées par l'AESN des eaux de l'Auxence varient entre 2 et 55 mg.l⁻¹ (Illustration 75).

L'amplitude des variations est plus forte à partir de 2006 avec des valeurs maximales plus fortes en hiver et des valeurs minimales en été.

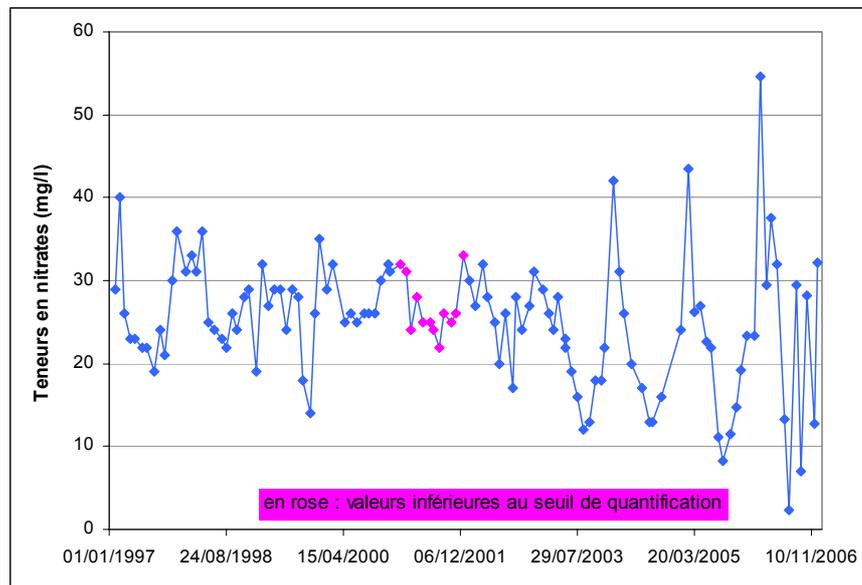


Illustration 75 : Evolution des teneurs en nitrates dans les eaux de l'Auxence entre 1997 et 2006 (données Agence de l'eau Seine-Normandie)

5.5. CONCLUSIONS

Les suivis de la qualité des eaux de la Seine et de deux de ses affluents (la Voulzie et l'Auxence) montrent que le risque principal de contamination des eaux souterraines par les eaux superficielles est lié aux produits phytosanitaires. Parmi ceux-ci, les triazines sont les plus fréquents, en particulier l'atrazine et ses métabolites : déséthylatrazine et 2-hydroxy-atrazine.

Ces substances sont présentes tout au long de l'année, mais plus fréquemment à août. Les débits les plus forts enregistrés sur la Seine ou sur la Voulzie s'étendent de janvier à avril.

6. la qualité des eaux souterraines

6.1. LES DONNEES REGIONALES

6.1.1. Aquifère alluvial

L'aquifère alluvial (mase d'eau 3006) est classé en risque de non atteinte du bon état (RNBE) vis à vis des nitrates. La plupart des points captant cet horizon sont des puits privés et il n'existe donc pas de données qualité disponibles. D'autre part, beaucoup de ces puits captent à la fois les niveaux de l'alluvial et de la craie. Il est ainsi difficile de repérer les niveaux contaminés.

Toutefois deux points d'eau de type « qualitomètre » existent (Illustration 76). L'un, le point La Saulsotte (BSS 02604X0070/F1AEP) en amont de la zone d'étude vers Nogent-sur-Seine dans le département de l'Aube est suivi sur la période 1997-2005. Sur les données des 11 prélèvements disponibles il ne ressort aucune pollution anthropique dépassant les limites de potabilité de l'eau (concentration maximale acceptable, CMA). Les concentrations en nitrates sont actuellement proche de 30 mg.l^{-1} ce qui indique un impact local relativement important.

Le deuxième qualitomètre (BSS 02605X0154/P1) est localisé à Noyen-sur-Seine et fait partie du champ captant de la ville de Provins. Les résultats de 45 prélèvements sont disponibles sur la période 1996-2005. Une valeur de dichlorométhane et une valeur d'atrazine déséthyl se révèlent un peu élevés, respectivement $11 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ et $0,1 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$.

La région de la Bassée étant principalement agricole, cette activité est à l'origine de pollutions récurrentes : 40 % des captages de la nappe alluviale de la Bassée sur les départements de l'Yonne et de Seine-et-Marne ont présenté au moins une fois une contamination aux triazines. Les nitrates et certains pesticides font également partie des pressions liées aux activités agricoles.

Notons que sur la période disponible dans la base de données ADES (1996-2005), certains éléments comme le glyphosate et l'AMPA n'ont pas été mesurés.

6.1.2. Aquifère de la craie

L'aquifère de la craie (masse d'eau 3209) est classé en risque de non atteinte du bon état (RNBE) vis-à-vis des nitrates et des pesticides. Les points de suivi de la qualité disponibles sur le secteur sont localisés à Longueville (02594X0052/P1), Bazoches-les-Bray (02954X0001/P1), Châtenay-sur-Seine (02953X0108/F), Villuis (02962X0003/S1), Jaulnes (02961X0001/P1), Trainel (02963X0006/FAEP) et Cannes-Ecluse (02952X0154/F2 et 02952X0124/P2). Pour les points de Vimpelles (02598X0009/P1) et de Balloy (02954X0058/P1) les niveaux captés ne sont pas clairement définis et il s'agit sans doute de mélange craie et alluvial.

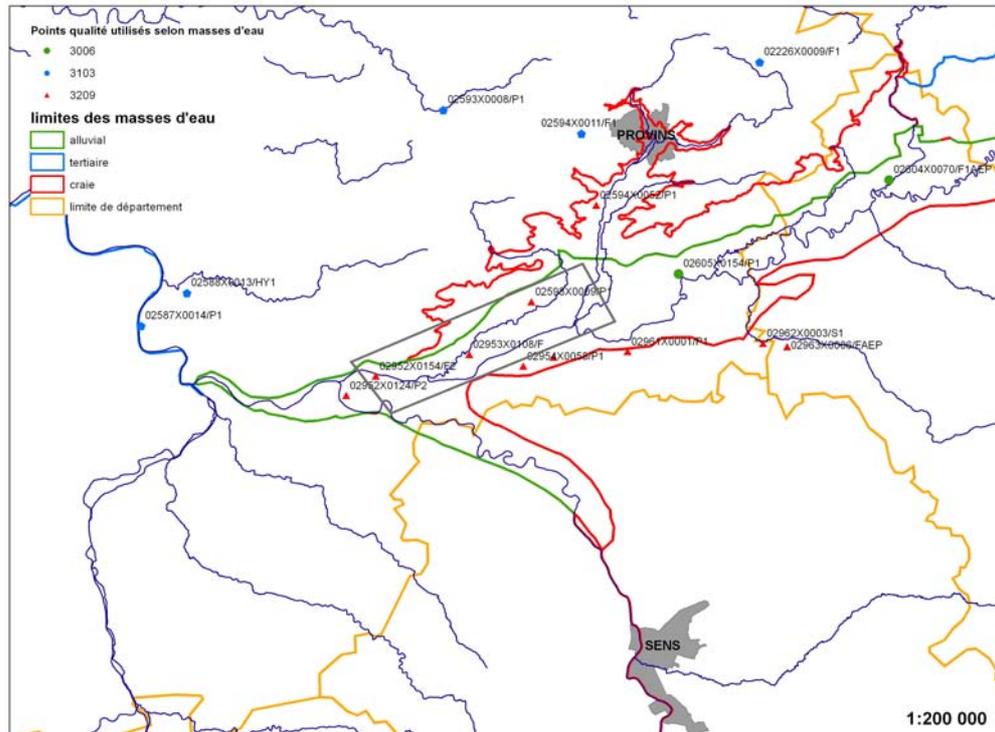


Illustration 76 : Localisation des points régionaux captant des niveaux d'eau bien définis et possédant des données qualité disponibles dans ADES

Jaulnes montrent des teneurs en nitrates supérieures à 50 mg.l^{-1} . On note la présence de pesticides sur Vimpelles (atrazine, atrazine déséthyl), Bazoches les Bray (atrazine DE). Le point de Noyen-sur-Seine est de meilleure qualité.

A Bray-sur-Seine on a noté une pollution ponctuelle d'origine agroalimentaire (source BASOL, transformation du sucre) avec impact de Ba, Pb, HC, HAP, ammonium, nitrates, azote Kjeldahl, manganèse sur la nappe.

Il y a localement des problèmes de fer et manganèse lorsque l'aquifère présente des conditions réductrices.

Il y a également des problèmes d'arsenic (origine industrielle) à Châtenay sur Seine et une qualité moyenne pour les trihalométhanes, le tétrachlorure de carbone, le tétrachloroéthylène, le trichloroéthylène, et le trichloroéthane 1,1,1, dichlorométhane sur Cannes-Ecluse, Châtenay-sur-Seine, Jaulnes et Villuis. A Cannes-Ecluse, les concentrations pour le trichloroéthane 1,1,1 dépassent régulièrement les normes de potabilité. Une des sources possibles de solvants serait la mauvaise qualité des remblais de gravières. Les OHV doivent donc être pris en compte dans cette étude.

Sur l'intégralité de la nappe de la craie, l'atrazine et la déséthylatrazine ont été détectées sur de nombreux points à des valeurs supérieures à la limite de quantification et jusqu'à $0,65 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$.

6.1.3. Aquifère du tertiaire

Les formations tertiaires du calcaire de Champigny en Brie et Soissonnais, masse d'eau 3103, sont la plupart du temps affleurantes au nord du secteur d'étude. De part sa faible protection naturelle et les pressions anthropiques s'exerçant sur elle, cette masse d'eau est dégradée en ce qui concerne les nitrates et produits phytosanitaires, particulièrement par les triazines. On ne connaît pas encore à l'heure actuelle le degré d'altération de l'eau par le glyphosate, très utilisé par le monde agricole et non agricole, par les professionnels et particuliers.

Au nord de la Bassée les points de type « qualitomètres » qui permettent d'évaluer la qualité de cette nappe en contact localement avec les alluvions de la Bassée sont les points de Beauchery Saint Martin (BSS 02226X0009/F1), Vulaines-les-Provins (02594X0011/F1) et La Croix-en-Brie (02593X0008/P1), Féricy (02588X0013/HY1) et Samoreau (02587X0014/P1).

Des dépassements de CMA sont régulièrement observés pour l'atrazine, la D.E.A et D.I.A. pour tous les points d'eau. Les valeurs sont particulièrement élevées en atrazine DEA (jusqu'à 0,31 $\mu\text{g.l}^{-1}$ à Beauchery, 0,91 $\mu\text{g.l}^{-1}$ à Vulaines, 1 $\mu\text{g.l}^{-1}$ à la Croix-en-Brie, 0,34 $\mu\text{g.l}^{-1}$ à Féricy, 0,49 $\mu\text{g.l}^{-1}$ à Samoreau). Le glyphosate a été mesuré avec une limite de quantification de 0,5 $\mu\text{g.l}^{-1}$ mais non détecté. La simazine a été également détectée à Vulaines-les-Provins, La Croix-en-Brie, Féricy et Samoreau dont une fois au dessus de la CMA en 1999.

Les concentrations en nitrates sont proches ou supérieures à la CMA à Beauchery Saint-Martin (max. 63,3 mg.l^{-1} en 2003), Vulaines-les-Provins (max. 54,7 mg.l^{-1} en 2005), La Croix-en-Brie (max. 60 mg.l^{-1} en 2000), Féricy (max. 73.7 mg.l^{-1} en 2001), Samoreau (max. 47 mg.l^{-1} en 2000).

La présence de dichloromonobromométhane, dibromomonochlorométhane et bromoforme à plusieurs stations est sans doute une conséquence de la chloration des eaux pour l'AEP (action du chlore sur la matière organique).

Au point de Chatelet-en-Brie (02588X0024/F2) on note des concentrations très élevées en dichlorométhane (jusqu'à 24 $\mu\text{g.l}^{-1}$) en 2002 et 2003 alors que les concentrations sont maintenant inférieures à 10 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (limite de quantification).

6.2. LES DONNEES OBTENUES DANS LE CADRE DE CETTE ETUDE

6.2.1. La chimie des majeurs et traces

L'interprétation de ces éléments pour la compréhension hydrogéologique du système se trouve au chapitre 7.

Du point de vue strictement qualité, les eaux prélevées en juin 2007 montrent une nette détérioration vis-à-vis des nitrates. Les concentrations (Illustration 77) en cet élément dépassent la concentration maximale autorisée pour l'eau potable à trois

points de l'aquifère alluvial. On observe également la présence d'ammonium et de nitrites dans les eaux de surface et de l'aquifère alluvial. Trois points d'eaux pourraient ne pas être affectés par une pollution anthropique notable en nitrates.

Localisation	Temp	pH	Eh(NHe)	Cond	O ₂ dis	Ca	Mg	Na	K	NH ₄	HCO ₃	Cl	NO ₃	SO ₄	NO ₂	SiO ₂
	deg. C		mV	µS.cm ⁻¹	%	mg.l ⁻¹										
PZSA02	11,9	7,11	383	734	68	147,2	2,1	6,4	1,9	<0,1	281	27,5	60,1	69,5	<0,01	8,6
PZSA05	12,3	7,11	359	643	61	126,3	3,3	6,9	1,9	<0,1	297	19,2	40,8	33,9	<0,01	9,5
PZSA16	12,8	7,06	250	725	97	142,3	3,7	11,8	2,7	<0,1	299	30,8	10	89,5	<0,01	9,8
PZSA20	12	7,15	311	579	88	110,1	2,8	9,5	3,5	<0,1	288	18,3	28,4	20,6	0,07	11,6
PZSA21	12,5	7,38	350	578	97	105	1,6	5,5	2,9	<0,1	214	21,9	82,6	16	<0,01	8,6
PZSA26	11,7	6,97	173	1135	86	257,7	5,4	8,3	0,7	0,2	344	21,5	<0,5	350,8	0,02	8
PZSA37	11,3	6,99	358	786	79	139,1	4,1	22,6	5	<0,1	333	45,1	33,5	49	<0,01	10,6
PZSA38	12	7,02	154	668	88	133,8	3	10,7	0,9	<0,1	333	24	5,8	50,4	<0,01	7,3
PZSA41	13,2	7,21	351	541	91	99,1	3,7	7,8	3,9	<0,1	254	12,8	17,1	24,7	<0,01	9,5
PZSA48	15,9	7,33	302	533	95	94,2	3,9	10,8	2,8	<0,1	248	22,6	5,9	31	0,35	10,7
PZSA61	12,1	6,94	287	860	96	160,6	9,4	15,4	13,6	<0,1	440	32	12,5	68,4	<0,01	11
PZSA65	17,3	7,11	375	763	88	137,8	3,4	10,7	2	<0,1	308	35,1	61,3	32,6	<0,01	10,5
PZSC09	18,6	7,15	345	645	94	115,7	3,1	10,9		<0,1	257	27,3	<0,5	24,8	<0,01	10,5
PZSC11	12,3	7,17	386	525	96	109,5	1,9	11,2	1,1	<0,1	278	19,1	26,8	22,3	<0,01	9,3
PZSC13	13,4	7,39	105	414	87	71,7	2,7	7,2	1,5	1,5	223	15,5	<0,5	2,1	<0,01	9,6
PZSC16	11,5	6,98	175	682	88	139,5	4,6	7,6	1,2	<0,1	348	16,4	<0,5	68,7	<0,01	9,2
PZSC22	12,5	7,03	321	700	88	141,1	2,5	10,4	0,6	<0,1	332	30,3	<0,5	33,8	<0,01	8,6
PZSCH3	14,7	7,32	282	500	66	90,6	3,5	6,2	1,6	<0,1	231	12,5	38,8	15,7	<0,01	7,3
PZSCH4	11,8	6,9	162	733	76	138,4	4,7	14,8	1,3	0,1	349	28,9	<0,5	57,1	<0,01	9,6
Seine Amont	23,5	8,19	344	536	100	93,6	4	13,6	2,6	<0,1	220	26	<0,5	40,9	0,09	6,9
Voulsie	18,7	8,21	364	661	98	93,8	4	12,3	2,5	<0,1	225	25,5	<0,5	40,8	0,08	7
Seine Aval	23,1	8,17	391	538	96	121,4	5,1	13,9	3,1	0,2	295	33,4	<0,5	34,9	0,21	10,6

Illustration 77 : Données in-situ et concentrations des ions majeurs des eaux prélevées à la Bassée en juin 2007

Pour les très faibles concentrations en nitrates, inférieures à la limite de quantification, des phénomènes de dénitrification expliquent probablement une disparition de l'azote selon la réaction suivante : $NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2$

Ce phénomène semble fréquent pour les eaux de la craie indiquant des conditions réductrices dans cet aquifère confiné en amont de la zone d'étude.

Parmi les éléments traces analysés, Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu et Pb demeurent à des concentrations inférieures aux limites de quantification du laboratoire (voir Annexe 2). Le zinc a été mesuré une seule fois à une valeur supérieure à la limite de quantification.

Localisation	Date	lithologie	Fe	Al	As	B	Ba	F	Li	Mn	Ni	Sr	Rb
			mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹				
PZSA02	12/06/2007	alluvial	<0,02	<10	<5	15,0	32,0	0,2	3,0	<2	<2	351	0,4
PZSA05	12/06/2007	alluvial	<0,02	1,1	<5	11,0	42,0	0,2	3,2	<2	<2	341	<0,1
PZSA16	12/06/2007	alluvial	0,08	<10	<5	15,0	28,0	0,2	2,6	28,7	2,0	298	1,2
PZSA20	12/06/2007	alluvial	<0,02	<10	<5	42,0	30,0	0,1	1,9	1,9	<2	296	1,4
PZSA21	12/06/2007	alluvial	<0,02	1,2	<5	13,0	26,0	0,1	1,6	<2	<2	234	<0,1
PZSA26	13/06/2007	alluvial	5,68	1,1	<5	<10	59,0	0,1	2,5	410,2	3,0	658	<0,1
PZSA37	13/06/2007	alluvial	<0,02	<10	<5	20,0	40,0	0,1	3,1	<2	<2	268	1,2
PZSA38	13/06/2007	alluvial	0,53	1,3	1,6	17,0	28,0	0,2	2,1	62,6	<2	288	0,2
PZSA41	13/06/2007	alluvial	<0,02	<10	<5	19,0	26,0	0,1	1,5	<2	<2	293	1,8
PZSA48	13/06/2007	alluvial	<0,02	<10	2,0	36,0	18,0	0,1	2,9	7,4	<2	265	0,8
PZSA61	12/06/2007	alluvial	<0,02	<10	<5	51,0	55,0	0,1	4,5	12,2	<2	330	<0,1
PZSA65	13/06/2007	alluvial	<0,02	1,3	<5	26,0	38,0	0,1	2,7	<2	<2	312	<0,1
PZSC09	13/06/2007	craie	<0,02	1,6	<5	19,0	30,0	<0,1	2,1	<2	<2	269	0,6
PZSC11	12/06/2007	craie	<0,02	<10	<5	15,0	33,0	0,1	3,7	<2	<2	271	<0,1
PZSC13	12/06/2007	craie	2,3	1,4	1,8	19,0	25,0	0,2	1,6	65,1	<2	216	<0,1
PZSC16	13/06/2007	craie	2,39	<10	2,3	18,0	34,0	0,2	2,1	100,2	3,0	334	0,6
PZSC22	12/06/2007	craie	<0,02	<10	<5	10,0	26,0	0,1	2,1	1,8	20,0	246	0,4
PZSCH3	12/06/2007	craie	<0,02	<10	<5	15,0	22,0	0,1	1,4	<2	<2	247	<0,1
PZSCH4	13/06/2007	craie	3,8	1,2	2,6	15,0	41,0	0,2	2,4	97,0	<2	297	0,4
Seine Amont	13/06/2007	surface	<0,02	<10	<5	49,0	21,0	0,1	4,0	3,0	<2	285	1,4
Voulsie	13/06/2007	surface	<0,02	<10	<5	41,0	29,0	0,1	3,0	12,0	<2	196	<0,1
Seine Aval	13/06/2007	surface	<0,02	<10	<5	46,0	22,0	0,1	3,0	2,0	<2	275	0,4

Illustration 78 : Concentrations des éléments traces dans les eaux de la Bassée prélevées en juin 2007

Les autres éléments traces (Illustration 78) se rencontrent en concentrations largement inférieures aux limites de concentrations autorisées.

6.2.2. Les produits phytosanitaires

Les résultats d'analyse de la campagne de juin 2007 montrent que seuls 4 pesticides ou produits de dégradation ont été quantifiés sur les 116 substances recherchées (Voir Annexe 3). La synthèse des résultats pour les molécules quantifiées est portée dans l'illustration 79.

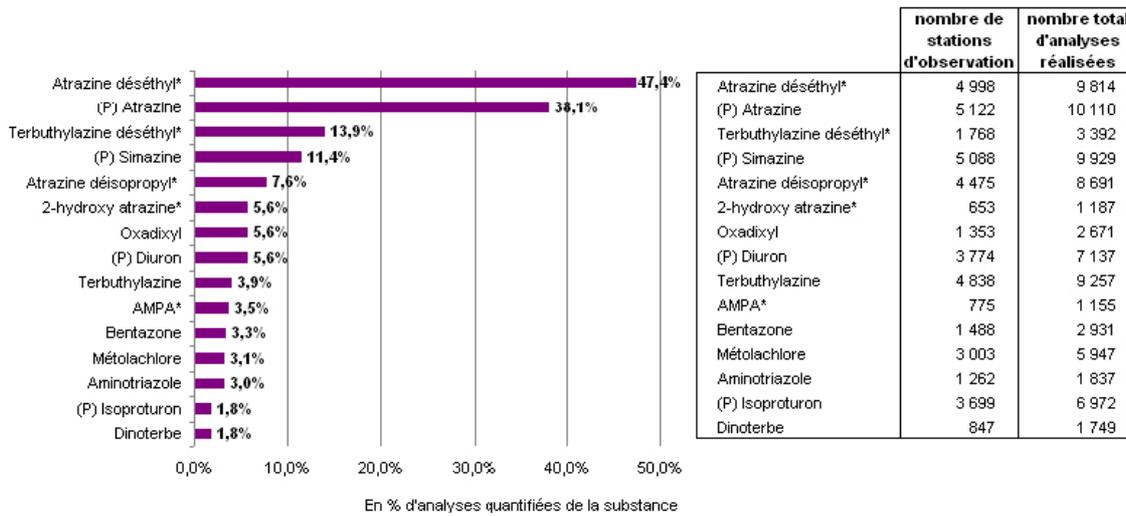
échantillon	Atrazine ($\mu\text{g/L}$)	Dééthylatrazine ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	Glyphosate ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	AMPA ($\mu\text{g.l}^{-1}$)
PZSa37	<0.025	0.05	5.59	<0.05
PZSa16	<0.025	0.057	0.32	<0.05
PZSa02	<0.025	0.07	<0.05	1.2
PZSa20	0.061	0.111	0.19	0.16
PZSa21	<0.025	<0.025	0.98	2.53
PZSa38	<0.025	<0.025	0.13	<0.05
PZSa41	<0.025	<0.025	0.24	<0.05
PZSa48	0.03	0.045	<0.05	<0.05
PZSa61	0.037	0.074	0.4	0.08
PZSa65	<0.025	0.199	0.51	<0.05
PZSa05	<0.025	0.092	0.68	<0.05
PZScH3	0.033	0.087	0.62	<0.05
PZScH4	<0.025	<0.025	0.09	<0.05
PZSc11	<0.025	0.044	0.16	<0.05
PZSc13	<0.025	<0.025	0.16	<0.05
PZSa26	<0.025	<0.025	0.15	<0.05
PZSc16	<0.025	<0.025	0.1	<0.05
PZSc22	<0.025	<0.025	2.72	<0.05
PZSc9	0.05	0.307	0.58	<0.05
Seine Amont	0.029	0.061	1.12	<0.05
Seine Aval	0.031	0.061	1.27	<0.05
Voulzie	0.091	0.236	0.19	0.07

Illustration 79 : Concentrations en produits phytosanitaires et produits de dégradation quantifiés lors de la campagne de juin 2007.

L'atrazine, un herbicide, et son principal produit de dégradation la dééthylatrazine (DEA) ont été quantifiés 8 et 14 fois sur 22 échantillons, respectivement et notamment dans les 3 échantillons d'eau de surface. Les teneurs maximales en atrazine et DEA sont de 0,091 et 0,307 pour la Voulzie et PZSc9, respectivement. Les teneurs quantifiées en atrazine sont toujours inférieures à la valeur guide de $0,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ alors que 4 échantillons présentent des teneurs en DEA supérieures à $0,1 \mu\text{g.l}^{-1}$. Pour un point donné, les teneurs en DEA sont toujours supérieures aux teneurs en atrazine, ce qui est cohérent avec l'absence d'apports récents en atrazine. En effet, pour l'atrazine, la dose homologuée en 1959 de 2500 g/ha a été réduite à 1500 puis 1000 g/ha en 1990 et 1997 avant que la molécule ne soit totalement interdite depuis le 1er septembre 2003. Parallèlement à cette réduction de doses, des restrictions d'usage ont été également observées puisque de 1997 à 2003, seuls les usages agricoles étaient autorisés. Avant cette date, des usages non agricoles importants étaient répertoriés pour l'entretien des voies ferrées, des routes etc.

La détection de l'atrazine et de la DEA dans les eaux souterraines et superficielles n'est pas vraiment surprenante. Depuis 1998, l'Ifen (Institut Français de l'Environnement), sur la base des données collectées auprès de différents producteurs de données (Agences de l'Eau, DDASS, Conseils Généraux, ...), publie un rapport sur la contamination des eaux souterraines. Les derniers rapports publiés par l'Ifen (Ifen 2004 – données 2002) confirment certaines observations des années précédentes comme la détection fréquente de l'atrazine et de son principal produit de dégradation, la déséthylatrazine. L'atrazine a, depuis 1997, un taux de quantification compris entre 40 et 54 % (40 % des 7846 mesures effectuées en 2002, tous réseaux confondus). La déséthylatrazine (DEA), est quantifiée à une fréquence égale (1998-2000) voire supérieure à celle de la molécule mère (en 2002, la DEA a été quantifiée dans 48 % des mesures).

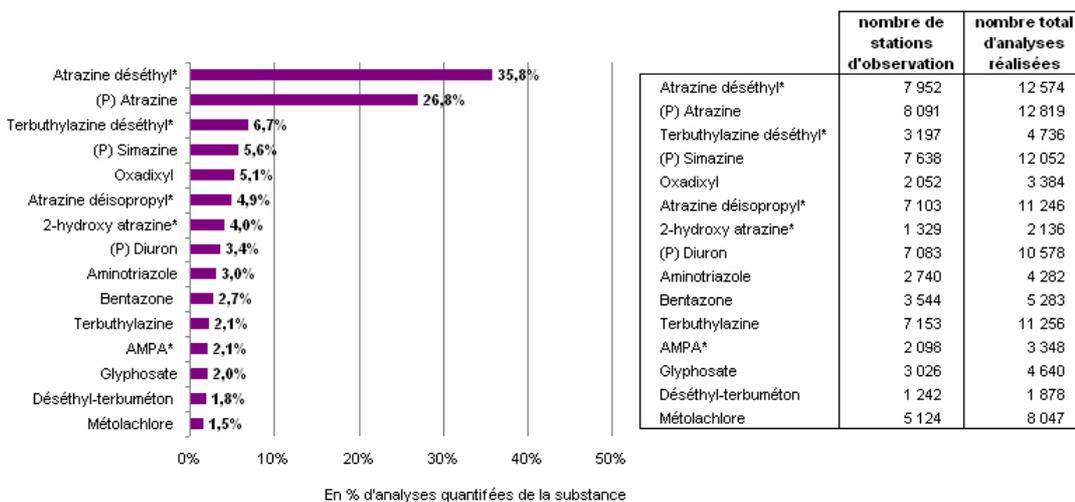
Les plus récentes données disponibles (années 2003 et 2004, cf. illustrations 78 et 79), témoignent des fréquentes détections de l'atrazine et de ses produits de dégradation et l'apparition du métolachlore dans la liste des 15 molécules les plus fréquemment détectées dans les eaux souterraines tous réseaux confondus.



Les substances prioritaires de la directive cadre sur l'eau sont repérées par la lettre P. Les métabolites (substances résultant de la dégradation des molécules mères dans le sol et l'eau) sont repérés par un astérisque.

Source : Agences de l'eau, Conseils généraux, Diren, DRAF-SRPV, DDASS, producteurs d'eau – traitements Ifen.

Illustration 80 - Les principales molécules quantifiées dans les eaux souterraines, tous réseaux confondus - année 2003 (source IFEN, 2006)



source IFEN, 2006

Illustration 81 : Les principales molécules quantifiées dans les eaux souterraines, tous réseaux confondus - année 2004.

La détection de l'atrazine et de la DEA dans le secteur de la Bassée est donc cohérente avec des observations faites au niveau national. La détection en 2007, soit 4 années après l'interdiction pourrait paraître plus surprenante. Des études menées dans d'autres contextes hydrogéologiques ont permis d'acquérir des informations importantes dans le cadre de l'interdiction d'usage de l'atrazine. Sur le bassin de

Montreuil-sur-Epte (nappe dans les sables de Cuise) ou celui du Dragon (calcaires de Champigny), les agriculteurs ont accepté d'arrêter d'utiliser l'atrazine depuis 2000 et 1992, respectivement, soit plusieurs années avant l'interdiction nationale (2003). Sur ces deux sites, l'atrazine et la déséthylatrazine sont toujours détectées (Baran et al., 2005 ; Welté et al., 2005). Cette persistance des molécules résulte probablement de la combinaison de différents facteurs tels que l'existence d'un stock de solutés dans le sol et/ou la zone non saturée, stock en cours de transit ou susceptible d'être remobilisé lors de conditions hydrodynamiques particulières et le lent renouvellement de l'eau des aquifères. Des travaux menés pour la reconquête de la qualité de l'eau sur le bassin hydrogéologique de Vosne-Romanée ont également montré que la forte réduction des apports voire leur arrêt définitif conduit à une diminution faible voire nulle des teneurs en phytosanitaires tels que la simazine, la terbuthylazine ou le diuron (Paput et al., 2005). Les améliorations de pratiques agricoles se traduisent de façon différée sur la qualité de l'eau. La détection d'atrazine et de DEA malgré les arrêts d'apport d'atrazine est donc cohérente avec des observations réalisées sur d'autres sites où les stocks existants, les vitesses de transfert et le temps de renouvellement des nappes sont d'autant de facteurs explicatifs de la détection de ces substances après l'arrêt d'usage.

Les teneurs en atrazine mais surtout en DEA sont variables d'un point de mesure à l'autre. Cette variabilité (tant spatiale que temporelle) a été observée sur d'autres sites (Baran et al., 2007). Elle peut être liée aux hétérogénéités d'apport (pratiques culturales différentes) mais aussi aux hétérogénéités de transfert via la zone non saturée. Dans le cas présent, il est difficile d'en déterminer la principale cause.

Le glyphosate et son produit de dégradation, l'AMPA (acide aminométhylphosphonique) ont été quantifiés dans 20 et 5 cas sur 22 échantillons, respectivement. Les teneurs maximales de 5,59 et 2,53 $\mu\text{g.l}^{-1}$ ont été observées pour les points PZSSa37 et PZSa21, respectivement. Nous ne disposons pas d'information spécifique relative aux usages du glyphosate dans le secteur d'étude. On retiendra que le glyphosate est un herbicide largement utilisé en agriculture que ce soit pour l'entretien des jachères, le désherbage post-récolte ou pré-semis des cultures annuelles, la vigne ou encore pour l'entretien des arbustes et arbres d'ornementation.

Vereecken (2005), dans une synthèse bibliographique, rappelle que le glyphosate est l'un des pesticides les plus employés au monde depuis qu'il est apparu sur le marché en 1974 à la fois en milieu agricole ou non agricole. Il est formulé sous forme de sel (acide déprotoné) et de cation (isopropylamine ou triméthylsulfonium). Le principal métabolite est l'AMPA (acide aminométhylphosphonique). Les demi-vies déterminées en laboratoire ou in situ dans différents types de sol varient de quelques jours à plusieurs mois voire plusieurs années. La dissipation in situ est également largement liée à la forte sorption de ce pesticide sur la matrice des sols. De ce fait, le glyphosate est souvent considéré comme presque immobile sur la base de ces propriétés de sorption (fort K_{oc}).

Vereecken (2005) synthétise également les données de la littérature sur l'étude du lessivage du glyphosate du laboratoire aux expérimentations in situ. Au laboratoire, il a été démontré que la mobilité du glyphosate est dépendante du délai entre l'application

et la première pluie, de l'importance des flux préférentiels et que le transport facilité sous forme colloïdal peut atteindre 52 % pour un sol sableux. Les expérimentations sur lysimètres montrent que 2 ans après l'application de glyphosate des concentrations supérieures à $0,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ sont toujours mesurées dans les percolats soulignant à la fois la mobilité et la persistance du glyphosate. Peu d'études in situ ont été réalisées et elles l'ont souvent été dans des zones forestières. Les danois ont été les premiers à initié un suivi dans des eaux de drainage de 4 sites. Ce suivi a permis de montrer que les concentrations moyennes de glyphosate dans les eaux de drainage sur 2 ans dans 2 des sites ont été de $0,13$ et $0,54 \mu\text{g.l}^{-1}$.

En ce qui concerne l'AMPA, le principal produit de dégradation du glyphosate, il n'existe pas à notre connaissance d'études spécifiques destinées à estimer la DT_{50} (la vitesse de dégradation des pesticides exprimée en termes de demi-vie) et/ou le coefficient de sorption de cette molécule. La connaissance du comportement de l'AMPA repose sur quelques études de laboratoire ou de terrain visant à suivre son apparition et sa migration. Les données de base (DT_{50} , K_{oc}) sont donc manquantes. Quelques études de terrain montrent que dans certains cas (notamment de sols structurés) l'AMPA peut être lessivé et quantifié dans les eaux de drainage agricole (drains situés à environ 1 m de profondeur) pendant 2 années, de manière continue, après l'application de glyphosate (Kjaer et al., 2005). Tortensson et al. (2005) ont montré en travaillant sur des usages de glyphosate le long de voies ferrées pour la période 1984-2003 que le glyphosate et l'AMPA sont lessivés et retrouvés dans les eaux souterraines (sans que leur profondeur soit précisée) notamment lorsque les doses d'application sont élevées. Landry et al., (2005) en travaillant sur des colonnes de sol non remanié placées en conditions extérieures ont montré que le glyphosate et dans une moindre mesure l'AMPA étaient lessivés et qu'ils constituent ainsi des contaminants potentiels des eaux souterraines. L'AMPA a par exemple été détecté dans 41 et 90 % des échantillons d'eau collectés sur une année pour un même sol (calcosol) sous couvert végétal ou nu.

L'occurrence du glyphosate dans les eaux souterraines d'une manière générale semble faible mais cette information doit être relativisée par le peu de données existantes. Dans le secteur de la Bassée, la détection du glyphosate est presque systématique.

Les teneurs maximales en produits phytosanitaires ou produit de dégradation ne sont donc pas nécessairement observées en rivière. En ce qui concerne les prélèvements effectués au niveau de la Seine Amont et de la Seine Aval, on retiendra que les concentrations sont équivalentes pour ces 2 points, aux incertitudes analytiques près qui peuvent être d'au moins 20% selon les substances recherchées. Il n'y a donc pas d'évolution notable de la qualité entre ces 2 points. La Voulzie présente des teneurs en triazines et AMPA supérieures à celles observées dans la Seine mais inférieures en glyphosate.

6.2.3. Les OHV

Parmi les OHV analysés, aucun n'a été retrouvé dans les eaux prélevées en juin 2007 au-dessus des seuils de quantification de $2 \mu\text{g.l}^{-1}$.

7. Caractérisation des échanges nappes-rivières

Dans un premier temps il est nécessaire de connaître les conditions actuelles de transfert de solutés. Pour cela il est nécessaire de comprendre le fonctionnement hydrogéologique, et principalement les échanges entre les diverses masses d'eau, de déterminer la qualité chimique des masses d'eau souterraine (nappe alluviale et de la craie) et d'évaluer les variations du fonctionnement hydrodynamique et hydrogéochimique entre hautes (mars) et basses (octobre) eaux. Les conditions hydrogéologiques entre hautes et basses eaux pourraient être peu différentes du fait de la faible amplitude des variations piézométriques annuelles.

L'objectif de la tâche 1 sera d'améliorer les connaissances sur les relations entre la nappe de la craie, la nappe alluviale et les eaux superficielles au niveau de la Bassée, estimer les vitesses d'écoulement dans la nappe alluviale en période de basses eaux et de hautes eaux, dans la nappe de la craie et identifier les éléments dissous susceptibles de créer une contamination de la zone d'inondation de la Bassée.

7.1. CONDITIONS D'APPLICATION DES METHODES

L'origine de l'eau et des composantes anciennes ou récentes peut être approchée par l'analyse des isotopes stables de la molécule d'eau et par analyse des CFC et tritium. Ces traceurs permettent également d'approcher l'origine de la recharge de l'aquifère (par les coteaux ou par drainage) et les relations nappe-rivière (drainage de la nappe par la rivière ?). Les isotopes du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) permettent également une bonne compréhension des relations nappes-rivières.

Une datation des eaux permettra l'estimation des vitesses de circulation des eaux et l'intensité des échanges. Etant donné que des eaux d'âge relativement récent sont attendues les CFC seront utilisés pour la nappe alluviale et les CFC et le tritium seront analysés dans les eaux de l'aquifère de la craie.

7.2. CHIMIE ELEMENTAIRE

7.2.1. Validité des analyses chimiques réalisées

L'analyse complète des éléments inorganiques majeurs et traces dissous avait pour but la détermination de l'état initial du système étudié et incluait donc les principaux éléments susceptibles d'être mesurés dans les eaux souterraines et de surface. Les éléments étudiés lors de la première campagne de mesure sont : Ca, Mg, K, Na, HCO_3 , NO_3 , Cl, SO_4 , NO_2 , NH_4 , PO_4 , F, SiO_2 , Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr et Zn. Le TDS (pour Total Dissolved Solids) est la somme des concentrations en mg.l^{-1} des cations et des anions mesurés en laboratoire. La conductivité électrique, mesurée sur le terrain est fonction de la charge dissoute de l'eau ; il existe donc généralement une relation quasi-linéaire entre la conductivité

électrique et le TDS calculé à partir des analyses chimiques de laboratoire. L'illustration 82a présente le TDS en fonction de la conductivité électrique. On observe ici une bonne corrélation entre ces paramètres ; aucun problème majeur lors du déroulement des analyses chimiques ou des mesures de conductivité ne semble donc devoir être suspecté. L'illustration 82b, représentant la somme des anions (Σ^-) en fonction de la somme des canions (Σ^+) en mEq/L, montre un équilibre entre charges positives et charges négatives mesurées dans les eaux. Les analyses ont donc semble-t-il pris en compte l'essentiel des éléments majeurs présents dans l'eau. Ceci doit cependant être confirmé par l'étude de la balance électrique. Le NICB (pour Normalized Inorganic Charge Balance) donne la balance des analyses chimiques selon la formule :

$$NICB = \frac{\Sigma^+ - \Sigma^-}{\Sigma^+ + \Sigma^-}$$

Le NICB correspond au pourcentage de charges positives excédentaires ou manquantes pour avoir un bilan des charges nul. Une eau ayant toujours un bilan de charges nul à l'équilibre, un excès de cations ou d'anions dénote d'une analyse chimique incomplète ou de mauvaise qualité. On considère que les analyses sont correctes pour un NICB compris entre -5% et +5%. Toutes les analyses présentent un NICB acceptable, hormis le point PzSc09 qui montre une valeur anormale (+8,3%) correspondant à excès de cations (Illustration 82c). Nous considérerons donc les résultats obtenus pour ce point avec prudence.

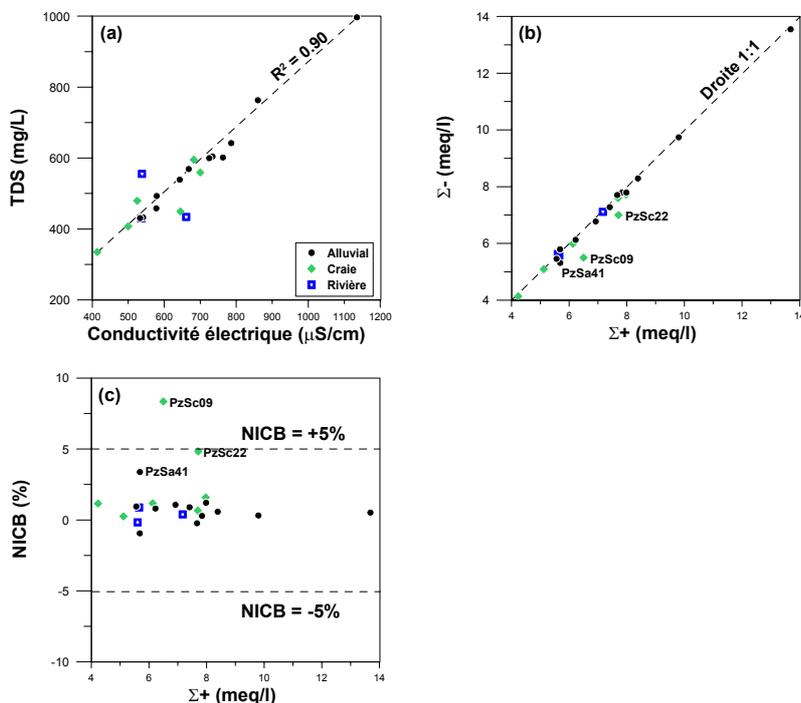


Illustration 82 : TDS vs. conductivité électrique de l'eau (a), somme des anions (Σ^-) vs. somme des cations (Σ^+) (b), balance ionique (NICB) vs. somme des cations (Σ^+).

7.2.2. Diagramme de Piper : faciès chimique des eaux

Le diagramme de Piper (Illustration 83) indique que la majorité des eaux présentent un faciès bicarbonaté-calcique. Cependant concernant l'aquifère des alluvions le point PzSa26 s'individualise avec un faciès sulfaté calcique.

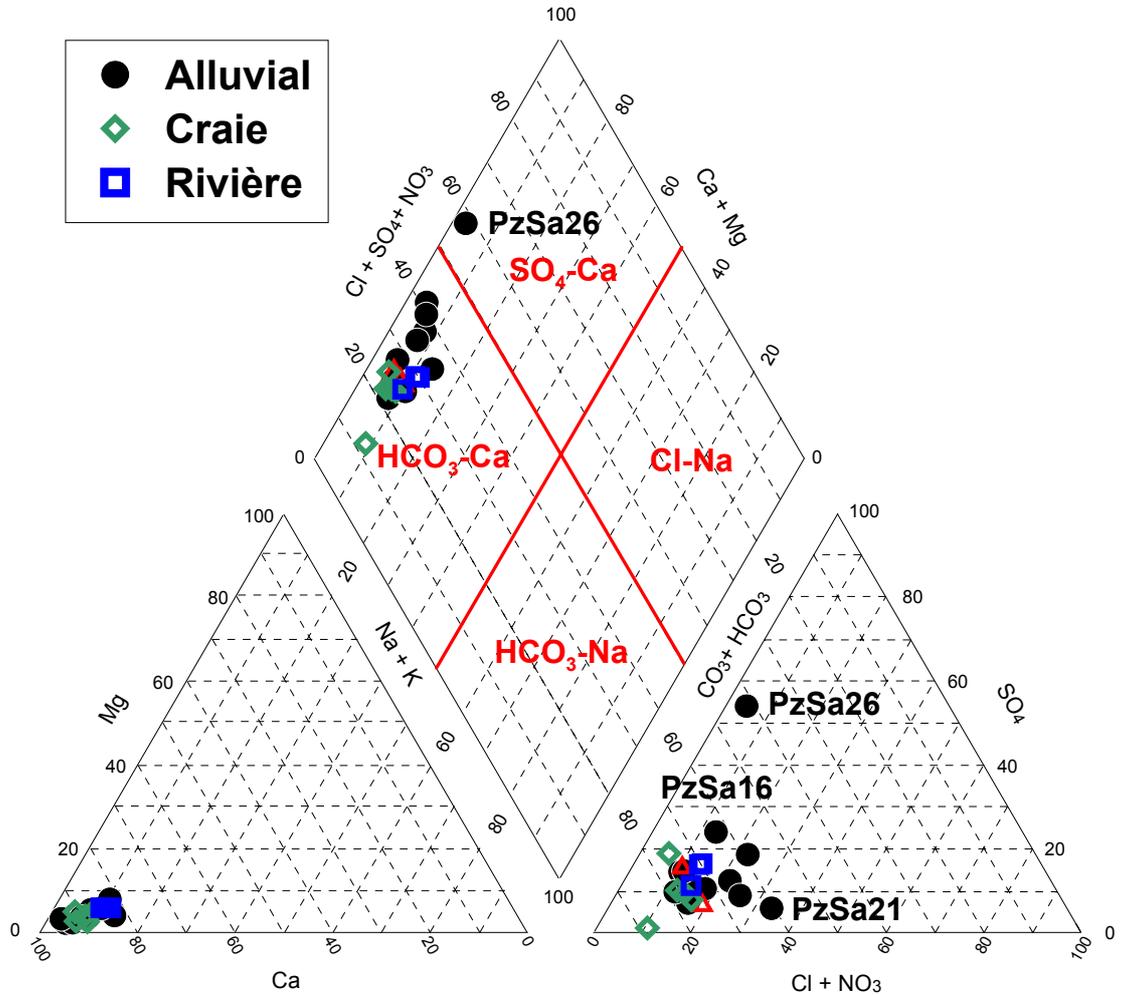


Illustration 83 : diagramme de Piper pour les points de prélèvement de la mission juin 2007

7.2.3. Relation inter-éléments

Les deux sources naturelles principales de chlorures dans les eaux naturelles sont les aérosols marins et la halite. La proportion d'aérosols marins contenus dans les eaux de pluies augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche de la mer. En l'absence de dépôts évaporitiques dans les niveaux lithologiques drainés, les eaux souterraines et les eaux de surface intègrent uniquement des chlorures provenant de l'eau de pluie qui les alimente (Meybeck, 1986, Berner et Berner, 1987). Ainsi les chlorures sont souvent utilisés comme élément de référence.

Dans l'illustration 84 sont présentés sous la forme de diagrammes binaires élément majeur versus chlorures, les résultats d'analyses chimiques de la mission juin 2007 en distinguant les eaux de surface des eaux souterraines et le type d'aquifère drainé. La droite de dilution de l'eau de mer est représentée comme référence, à partir des données synthétisées par Berner et Berner (1987). Les concentrations en chlorures varient entre 0,36 et 1,27 mmol.l⁻¹ pour l'aquifère des alluvions et entre 0,35 et 0,85 mmol.l⁻¹ pour l'aquifère de la Craie. Les eaux de rivières ont des concentrations comprises entre 0,72 et 0,95 mmol.l⁻¹.

Sur le diagramme sodium versus chlorures (Illustration 84a), les points sont majoritairement enrichis en chlorures par rapport à la droite de dilution de l'eau de mer représentant les apports de chlorures et de sodium amenés par les aérosols marins via les eaux de pluie. En l'absence de dépôts évaporitiques sur la zone d'étude, seule une origine anthropique des chlorures peut expliquer cet enrichissement par rapport au sodium. Cette interprétation est compatible avec l'occupation des sols, majoritairement agricole, impliquant l'utilisation d'engrais riches en chlorures. Le point PzSa37 dans l'aquifère des alluvions présente les concentrations les plus élevées en chlorures (1,27 mmol.l⁻¹) et en sodium (0,98 mmol.l⁻¹).

Les concentrations en sulfates varient entre 0,17 et 3,65 mmol.l⁻¹ pour l'aquifère des alluvions et entre 0,02 et 0,71 mmol.l⁻¹ pour l'aquifère de la Craie. Les eaux de rivières ont des concentrations comprises entre 0,36 et 0,43 mmol.l⁻¹. Sur le diagramme sulfates versus chlorures (Illustration 84b), tous les points sont enrichis en sulfates par rapport à la droite de dilution de l'eau de mer. La présence de sulfates dans les lithologies locales n'est pas documentée mais reste possible sous la forme de minéraux évaporitiques (gypse, anhydrite) au sein des formations carbonatées. Cependant il est également possible, comme pour les chlorures, que les sulfates proviennent du lessivage d'engrais amendés sur les surfaces agricoles. Le point PzSa26 dans l'aquifère des alluvions présente les concentrations les plus élevées en sulfates avec 3,65 mmol.l⁻¹.

Les concentrations en nitrates atteignent jusqu'à 1,33 mmol.l⁻¹ pour l'aquifère des alluvions et 0,63 mmol.l⁻¹ pour l'aquifère de la Craie. Les eaux de rivières ont des concentrations comprises entre 0,36 et 0,60 mmol.l⁻¹ (Illustration 84c). Les points PzSa21, PzSa02 et PzSa65 présentent des concentrations élevées en nitrates (0,97 à 1,33 mmol.l⁻¹) compatibles avec le fort enrichissement en chlorures, précédemment observé pour ces points (Illustration 84a). Plusieurs points d'eaux souterraines (PzSa16, PzSa26) présentent des concentrations en nitrates faibles ou inférieures aux seuils de détection bien que ces points soient significativement enrichis en chlorures par rapport à la droite de dilution de l'eau de mer (Illustration 84a). Ce résultat suggère l'intervention possible du processus de dénitrification aboutissant à des concentrations faibles en nitrates bien que ces points soient fortement influencés par les apports anthropiques.

Les concentrations en calcium varient entre 2,35 et 6,43 mmol.l⁻¹ pour l'aquifère des alluvions et entre 1,79 et 3,52 mmol.l⁻¹ pour l'aquifère de la Craie. Les eaux de rivières ont des concentrations comprises entre 2,33 et 3,03 mmol.l⁻¹. Tous les points se trouvent fortement enrichis en calcium par rapport à la droite de dilution de l'eau de

mer traduisant directement le lessivage de carbonates présents à la fois dans les alluvions, majoritairement constitué de graviers durs du Jurassique, et dans la Craie (Crétacé) (Illustration 84d). Une tendance positive vers des concentrations en calcium et chlorures plus élevées s'observe pour l'ensemble des points hormis pour PzSa26 et PzSa37.

Les concentrations en magnésium varient entre 0,07 et 0,39 mmol.l⁻¹ pour l'aquifère des alluvions et entre 0,08 et 0,19 mmol.l⁻¹ pour l'aquifère de la Craie. Les eaux de rivières ont des concentrations comprises entre 0,16 et 0,21 mmol.l⁻¹. Tous les points se trouvent enrichis en magnésium par rapport à la droite de dilution de l'eau de mer traduisant, comme pour le calcium, le lessivage des formations sédimentaires locales (alluvions et Craie) (Illustration 84e). Le point PzSa61 se distingue significativement des autres points par une concentration en magnésium de 0.39 mmol.l⁻¹.

Les concentrations en strontium varient entre 2,67 et 7,51 µmol.l⁻¹ pour l'aquifère des alluvions et entre 2,47 et 3,81 µmol.l⁻¹ pour l'aquifère de la Craie. Les eaux de rivières ont des concentrations comprises entre 2,24 et 3,25 µmol.l⁻¹. Le point PzSa26 présente la concentration la plus élevée en strontium (7,51 µmol.l⁻¹). Sur le diagramme strontium versus chlorure (Illustration 85a) il n'existe pas de corrélation franche, ce qui suggère que les concentrations en strontium dissous dans les eaux ne sont pas significativement contrôlées par les apports anthropiques (engrais). En revanche il existe clairement une corrélation positive entre les concentrations en strontium et en calcium (Illustration 85b). Ce résultat suggère que les concentrations en strontium dans les eaux sont majoritairement contrôlées par les interactions eau-roche.

De manière générale, l'aquifère des alluvions et l'aquifère de la Craie ne présentent pas des concentrations élémentaires contrastées. La Seine prélevée en amont et en aval de la zone d'étude ainsi que la Voulzie avant sa confluence avec la Seine présentent également des concentrations incluses dans la gamme de variabilité de composition chimique des eaux souterraines. Ainsi la variabilité de concentration observée ne peut être reliée clairement à des différences de lithologie drainée (alluvions ou Craie). Dans l'illustration 87 sont présentés l'évolution des concentrations en chlorures, calcium et strontium pour la campagne de prélèvement de juin 2007 suivant 4 profils spatiaux (2 Nord-sud et 2 Est-ouest). Ces profils ont été choisis de telle manière à être globalement perpendiculaires (profils Nord-sud) ou parallèles au cours de la Seine (profils Est-ouest). Le profil Nord-sud 1 comprend PzSa37, PzScH4, PzSa38, PzSa16, PzSa48, PzSa41 et PzSc09 ; le profil Nord-sud 2 comprend PzSc22, PzSc16, PzSa26, PzScH3, PzSa21 et PzSa20. Le profil Est-ouest 1 comprend PzSc11, PzSa02, PzSa05, PzSc16, PzSa37 et PzSa61. Le profil Est-ouest 2 comprend PzSc11, PzSa02, PzSa05, PzSa21, PzScH3, PzSa20, PzSc09 et PzSa65. Suivant ces profils (Illustration 86), aucune tendance liée à la répartition spatiale des points ne se dégage clairement. Seule l'évolution des concentrations en calcium, perpendiculairement à la Seine (profil Nord-sud 1 et 2) montre une baisse des concentrations pour les eaux souterraines prélevées dans le compartiment sud par rapport à la Seine (Illustration 87c).

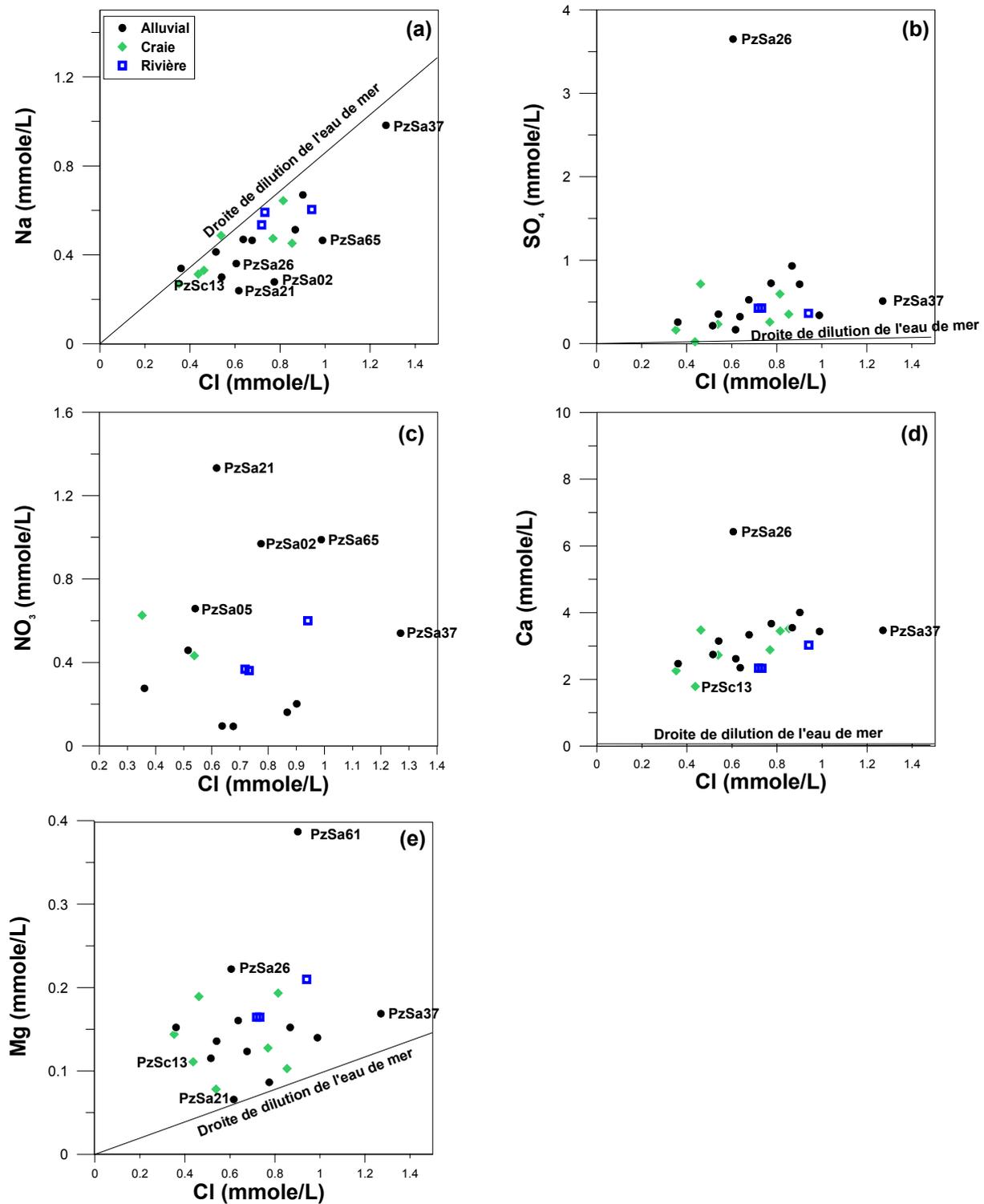


Illustration 84 : Na vs. Cl (a), SO₄ vs. Cl (b), NO₃ vs. Cl (c), Ca vs. Cl (d), Mg vs. Cl (e) pour les eaux de rivières et les souterraines.

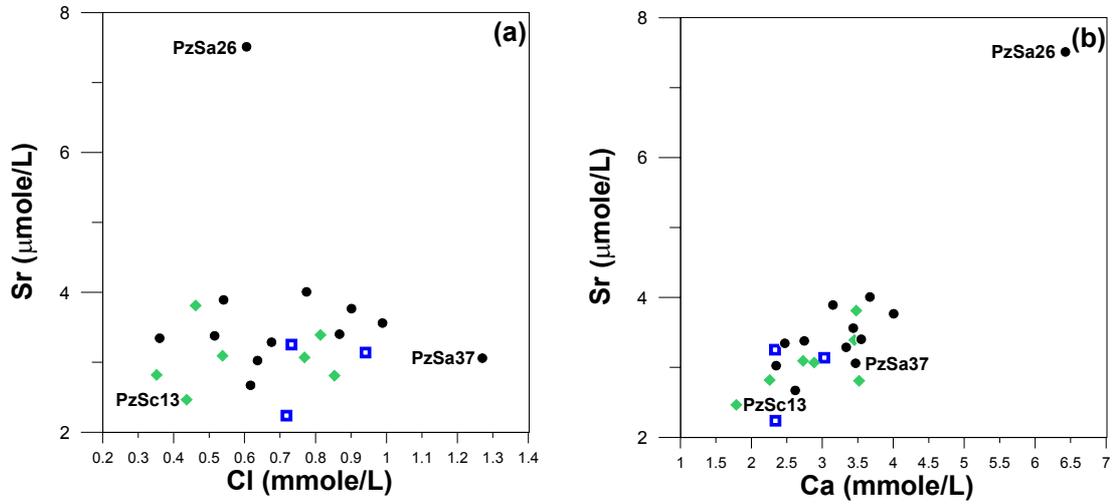


Illustration 85 : Sr vs. Cl (a), Sr vs. Ca (b) pour les eaux de rivières et les souterraines.

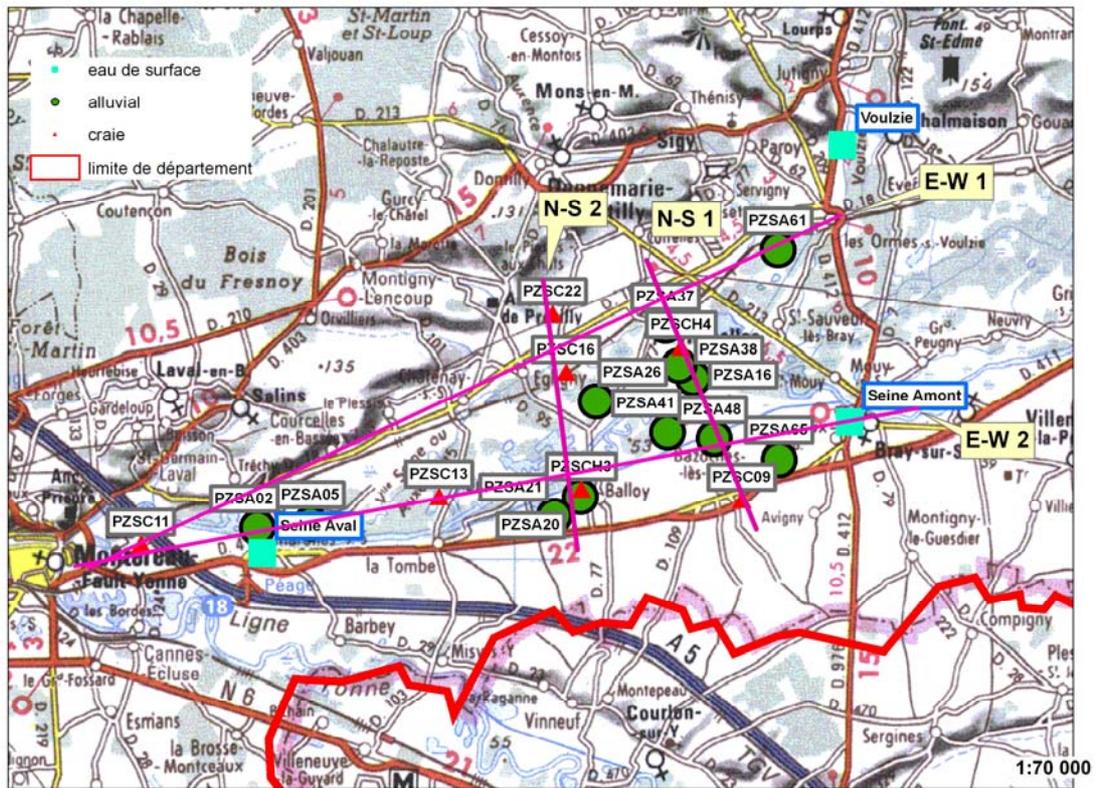


Illustration 86 : Localisation des points de prélèvements de la campagne de juin 2007 et des profils d'étude

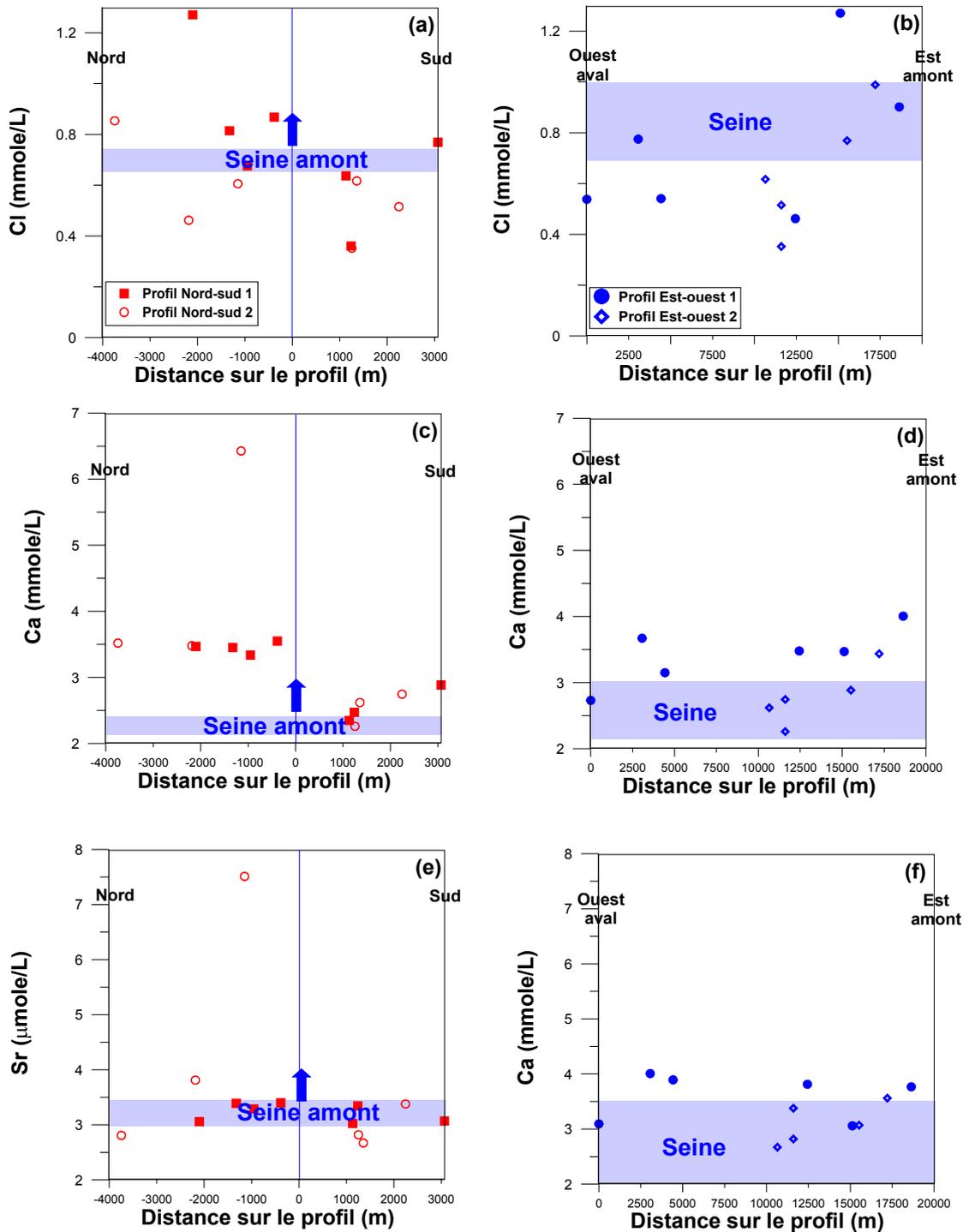


Illustration 87 : Na vs. Cl (a), SO₄ vs. Cl (b), NO₃ vs. Cl (c), Ca vs. Cl (d), Mg vs. Cl (e), Sr vs. Ca (f) pour les eaux souterraines en fonction des profils étudiés.

7.2.4. Rapports élémentaires

Nous avons précédemment mis en évidence l'influence importante de la lithologie sur la composition chimique des eaux de surface et des eaux souterraines. Or pour une même lithologie, en fonction du temps de transit qui conditionne le temps d'interaction eau-roche, du volume d'eau au contact des roches, et de l'évaporation éventuelle, un effet dilution-concentration peut aboutir à des compositions chimiques très différentes. Afin de s'affranchir de ces effets, de nombreux auteurs proposent de normaliser les différents éléments chimiques par rapport au sodium (Négrel et al., 1993 ; Gaillardet et al., 1997 et 1999). Ainsi sur un diagramme binaire, la droite de dilution correspondant à une lithologie donnée se rapporte à un point. Le sodium, couramment utilisé comme élément de référence, provient essentiellement de la dissolution d'aluminosilicates sodiques et avec un degré moindre de la dissolution d'évaporites. Le ratio Mg/Na est reporté en fonction du ratio Ca/Na sur l'illustration 88. Sur un tel diagramme, le mélange entre 2 pôles source d'éléments dissous est représenté par une droite car le même élément (Na) est utilisé pour la normalisation. Sur la base d'une compilation des compositions disponibles dans la littérature pour 60 des plus grandes rivières mondiales, Gaillardet et al. (1999) attribue les rapports molaires moyens suivant : $Ca/Na=0.35\pm 0.15$, $Mg/Na=0.24\pm 0.12$, $Sr/Na*1000=3\pm 1$ pour le pôle correspondant à l'altération des roches silicatées et $Ca/Na=50$, $Mg/Na=10$, $Sr/Na*1000=35$ pour le pôle correspondant à l'altération des roches carbonatées. Sur l'illustration 88, les points présentent une composition intermédiaire entre le pôle silicates et le pôle carbonates définis précédemment. Cette répartition des points est donc compatible avec un mélange d'éléments dissous provenant de ces 2 pôles. Pour les eaux de rivières, l'interprétation de cette tendance positive vers des ratios Ca/Na et Mg/Na plus élevés est immédiate en effet la Seine draine dans sa partie amont des roches silicatées et le mélange d'éléments dissous provenant à la fois des roches silicatées et des roches carbonatées a été clairement mis en évidence pour la Seine (Roy, 1996). Ainsi les ratios Ca/Na et Mg/Na plus élevés pour la Seine en aval qu'en amont rend compte d'une contribution croissante d'éléments dissous provenant des carbonates mis en solution localement. Pour les eaux souterraines, compte tenu de la lithologie des niveaux aquifères étudiés (alluvions carbonatés et craie), le pôle silicate intervenant dans ce mélange correspond vraisemblablement à la fraction argileuse (silicates) des roches carbonatées locales. Sur l'illustration 88, il n'existe pas de différence significative de ratio Ca/Na et Mg/Na entre les eaux de l'aquifère des alluvions et celles de l'aquifère de la craie.

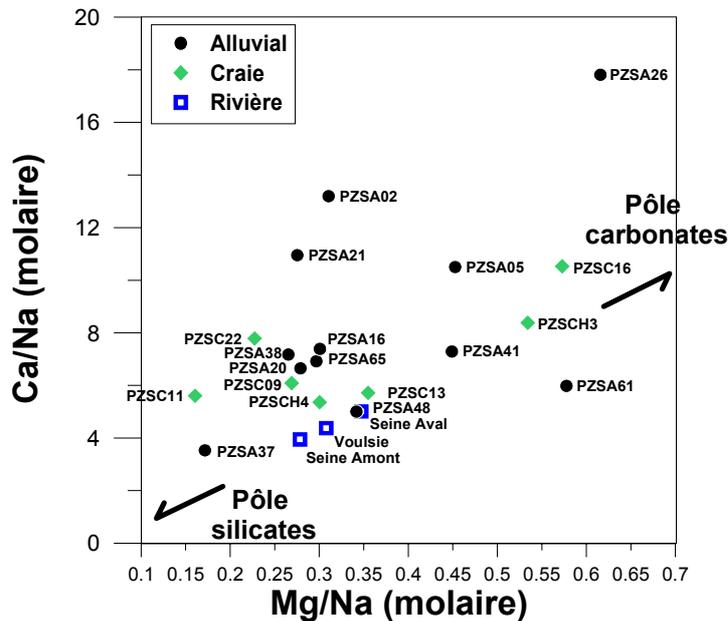


Illustration 88 : Ca/Na vs. Mg/Na.

7.3. APPROCHE ISOTOPIQUE

7.3.1. Isotopes stables de la molécule d'eau

Les compositions isotopiques $\delta^2\text{H}$ et $\delta^{18}\text{O}$ dans les eaux souterraines, mesurées pour la campagne de prélèvement de juin 2007, sont comprises dans la gamme -45 à -35‰ et -6,8 à -4,8‰ respectivement pour l'aquifère des alluvions et -47 à -22,5‰ et -7,0 à -2,4‰ respectivement pour l'aquifère de la Craie. Pour les eaux de rivières les compositions isotopiques $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ sont comprises respectivement entre -44 et -42‰ et entre -6,6 à -6,2‰. Sur le diagramme représentant $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ (Illustration 89), la majorité des points se répartissent suivant la droite météorique locale (LMWL) pour les précipitations collectée à Orléans (120 km au Sud-ouest de la zone d'étude, données IAEA/WMO, 2003). Ce qui traduit une origine majoritairement météorique pour ces eaux en l'absence d'évaporation significative. Cependant quelques points dans l'aquifère des alluvions (PzSa26 et PzSa38) et dans l'aquifère de la craie (PzSc13 et PzSc16) se trouvent répartis sur une droite de pente inférieure à la droite des eaux météoriques. Ce résultat témoigne clairement de l'évaporation de ces eaux, processus induisant un fractionnement des isotopes de l'hydrogène et de l'oxygène de ces eaux. Vis-à-vis des concentrations en éléments dissous, les points PzSa26 et PzSc13, ont d'ores et déjà été individualisés : PzSa26 présentant des concentrations en sulfates et strontium significativement plus élevées que pour les autres points (Illustration 84) et PzSc13 présentant parmi les concentrations les plus faibles pour tous les éléments dissous.

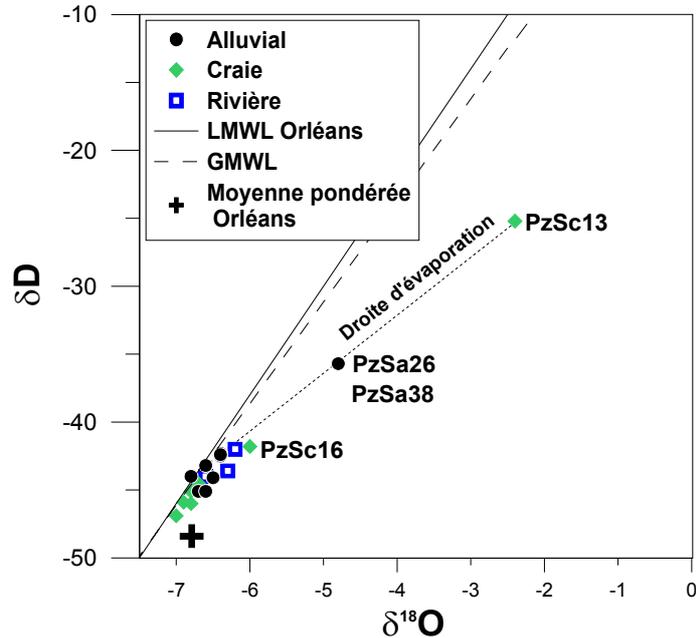


Illustration 89 : δD vs. $\delta^{18}O$, LMWL Orléans : droite météorologique locale calculée pour la station de suivi d'Orléans ; GMWL : droite météorologique mondiale.

La faible variabilité isotopique et chimique entre les eaux de l'aquifère alluvial et aquifère de la craie indique un mélange relativement homogène des eaux de ces aquifères sur l'ensemble de la zone d'étude avec quelques exceptions locales.

7.3.2. Isotopes du strontium

Les compositions isotopiques mesurées présentent une variabilité significative : le rapport $^{87}Sr/^{86}Sr$ varie de 0,707777 à 0,708325 pour l'aquifère des alluvions, de 0,708063 à 0,708582 pour l'aquifère de la Craie et de 0,707728 à 0,707749 pour les eaux de rivières. Ces gammes de compositions isotopiques sont compatibles avec la gamme attendue pour les alluvions majoritairement carbonatés d'âge jurassique ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0.7067$ à 0.7078) et pour la craie d'âge crétacé ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0.7072$ à 0.7080) (Koepnick et al., 1985, 1990). Par ailleurs les valeurs mesurées pour l'aquifère de la craie dans cette étude sont également compatibles avec la gamme de valeurs obtenues pour cet aquifère dans la Somme (Négrelet et Petelet-Giraud, 2005) et reportée sur l'illustration 90. Néanmoins il est important de noter que les valeurs mesurées dans cette étude restent globalement plus élevées que celles décrites dans la littérature (Koepnick et al., 1985, 1990 ; Négrelet et Petelet-Giraud, 2005). Ce résultat implique la contribution d'une autre source de strontium que celle des carbonates et appuie encore davantage l'hypothèse d'une contribution d'un pôle silicate, précédemment discutée au regard des rapports élémentaires Ca/Na et Mg/Na (Illustration 88). Sur le diagramme $^{87}Sr/^{86}Sr$ vs. $1/Sr$ (Illustration 90a), les points se répartissent globalement au sein d'un triangle dont les pôles sont caractérisés par (1) $^{87}Sr/^{86}Sr$ intermédiaire et teneur en Sr élevée, (2) $^{87}Sr/^{86}Sr$ élevé et teneur en Sr faible et (3) $^{87}Sr/^{86}Sr$ faible et teneur en Sr intermédiaire. Le pôle (1) est représenté par le

globalement équivalente mais avec peut être une contribution des eaux de surface légèrement plus importante pour l'aquifère des alluvions. Pour les profils Est-ouest, suivant le cours de la Seine, on observe une décroissance significative des rapports Ca/Sr (Illustration 91c) et des compositions isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Illustration 91d) d'amont en aval. Pour les eaux de la Seine on observe une variabilité significative du rapport Ca/Sr entre l'amont (Ca/Sr = 717) et l'aval (Ca/Sr = 964) contrairement à la composition isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ qui varie très peu (0.707728 à 0.707749). La répartition spatiale des points sur les profils aboutit au suivi de l'évolution amont/aval mais implique également un rapprochement des points de prélèvement d'eaux souterraines par rapport au lit de la Seine. Les points situés les plus en amont et éloignés du lit de la Seine (PzSa61, PzSa37, PzSc09 et PzSa65) ont les rapports Ca/Sr (940 à 1134) et les compositions isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.708168 à 0.708325) les plus élevés par rapport à la composition de la Seine. Au contraire les points situés les plus en aval et proche de la Seine (PzSc11 et PzSa02) ont des rapports Ca/Sr (882 à 916) proches de la composition de la Seine en aval. Par ailleurs la composition isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mesurée pour PzSa02 (0.708001) est également proche de celle de la Seine. Ainsi, là encore, les rapports Ca/Sr et les compositions isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ suggèrent une contribution plus importante des eaux de surface aux eaux souterraines au fur et à mesure que l'on se rapproche du lit de la Seine.

Entre la Seine amont et la Seine aval, les concentrations en Sr (3,25 à 3,14 $\mu\text{mol.l}^{-1}$) et les compositions isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.707728 à 0.707749) varient peu. Ainsi l'augmentation du rapport Ca/Sr entre l'amont et l'aval est imputable majoritairement à des apports de calcium, se traduisant par une augmentation des concentrations de 2,33 à 3,02 mmol.l^{-1} . Ce point fera l'objet d'une attention particulière car il est possible qu'il traduise une contribution des eaux souterraines aux eaux de surface. En effet les aquifères des alluvions et de la craie présentent des rapports Ca/Sr beaucoup plus élevés (>1100) que celui de la Seine amont (≈ 700), ceci à rapport isotopique du strontium constant.

eaux des bassins d'inondation. La connaissance de la composition géochimique de l'ensemble de ces points permettra de quantifier la contribution des eaux de la Seine à l'alimentation des aquifères et d'évaluer les possibles variations saisonnières sur la zone d'étude. Cette étape étant primordiale avant de pouvoir envisager l'impact du surstockage, prévu dans le cadre du projet d'aménagement de la Bassée, sur la qualité des eaux des aquifères des alluvions et de la Craie.

7.4. DATATION ET DETERMINATION DES ECHANGES

Dans un premier temps, étant donnée l'absence d'information sur l'impact de l'activité de la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine sur les teneurs moyennes en tritium des eaux de surface et souterraines, seuls les concentrations en CFC et SF6 ont été évalués dans tous les échantillons d'eau souterraine. Pour les eaux de surface, il y a rapidement mise en équilibre des gaz entre l'atmosphère et l'eau et l'information obtenue par la mesure de CFC et SF6 ne serait donc pas pertinente.

Un échantillon (PZSc13) n'a pas été analysé du fait de présomption de contamination lors de l'échantillonnage. Deux échantillons (PZSa21 et PZSc16) présentent un doute de contamination du fait de problèmes au prélèvement. Ils sont signalés par un astérisque dans le tableau récapitulatif des résultats (Illustration 92).

	CFC11 conc. pmol/l	CFC12 conc. pmol/l	CFC113 conc. pmol/l	SF6 conc. fmol/l
PZSC11	1.9	0.57	0.08	1.2
PZSA02	3.3	1.6	0.24	0.9
PZSA05	2.1	1.3	2.1	1.3
PZSA21 (*)	4.3	2.2	0.4	1.6
PZSCH3	1.7	1.9	0.11	0.3
PZSA20	1.3	2	0.08	0.8
PZSA16	0.35	1.3	0.02	1.3
PZSC22	2.2	1.2	0.18	0.5
PZSA61	2.7	2	0.22	2.3
PZSA37	1.7	1.2	0.15	1.2
PZSCH4	0.02	0.54	<0.01	0.5
PZSC16 (*)	0.12	1.1	0.03	1
PZSA38	1.1	1.1	0.09	1.6
PZSC09	4.8	2.3	0.41	1.3
PZSA48	0.9	1.1	0.03	1.6
PZSA41	2.7	2	0.11	1.4
PZSA65	3.2	2	0.28	1.1
PZASA26	0.04	0.32	0.03	1.6

Illustration 92 : Concentrations (pmol.l⁻¹) en CFC et SF6 des échantillons de la Bassée – juin 2007

Plusieurs facteurs peuvent affecter la détermination des âges « apparents » de l'eau à partir des données de concentrations en CFC et SF6. Le plus commun est une contamination par l'air ambiant du fait de l'échantillonnage. Toutes les précautions ont été prises pour éviter ce problème mais les conditions de terrain ne permettent pas toujours de se protéger totalement de ce risque.

Le deuxième problème fréquent est celui de la contamination locale de l'atmosphère par un ou plusieurs gaz du fait notamment de la proximité d'une source de ce(s) gaz. C'est le cas dans un milieu urbain ou à proximité des sites de rejets des eaux usées ou décharges (Schultz et al., 1976,).

Dans le cas d'une zone non saturée de forte épaisseur il peut y avoir une surestimation de l'âge des eaux du fait d'une mise à zéro de l'horloge retardée (l'eau des pores de la ZNS a une composition en CFC et SF6 proche de celle de l'air). L'erreur est de 1 à 2 ans pour un ZNS de 10 mètres par exemple (Cook and Salomon, 1995). A une exception près (PZSC09) les niveaux statiques mesurés lors de la campagne de juin sont inférieurs à 6 mètres. Il est raisonnable de penser que pour une ZNS inférieure à 10 mètres la concentration en SF6 reflète celle de l'atmosphère (Busenberg et al., 1993).

La température de la recharge qui correspond à la température d'équilibre air-air au moment où l'échantillon d'eau est isolé de l'atmosphère est importante dans le calcul des âges CFC. Dans ce cas d'étude la température moyenne de recharge est relativement bien connu (suivi qualité obtenu dans ADES) et la faible variation possible n'affecterait pas l'estimation des âges CFC.

Le phénomène d'excès d'air (concentration en gaz dissous dans l'aquifère plus importante que celle attendue, Heaton et Vogel, 1981) peut être important surtout pour le SF6. Il est quasiment négligeable dans le cas du CFC-11 du fait de la haute solubilité de ce gaz.

Les effets de sorption sont surtout fréquents dans les milieux riches en carbone organique. Ceci pourrait être important dans le secteur des marais au nord-ouest de St Sauveur-les-Bray (PZSa61, casier N.1). La dégradation microbienne affecte les concentrations en CFC sous milieu anaérobie. Les données de terrain indiquent que toutes les eaux échantillonnées sont aérobies.

Sur l'ensemble des autres échantillons, il apparaît nettement une fréquente contamination en CFC-12 et SF6 (Illustration 93).

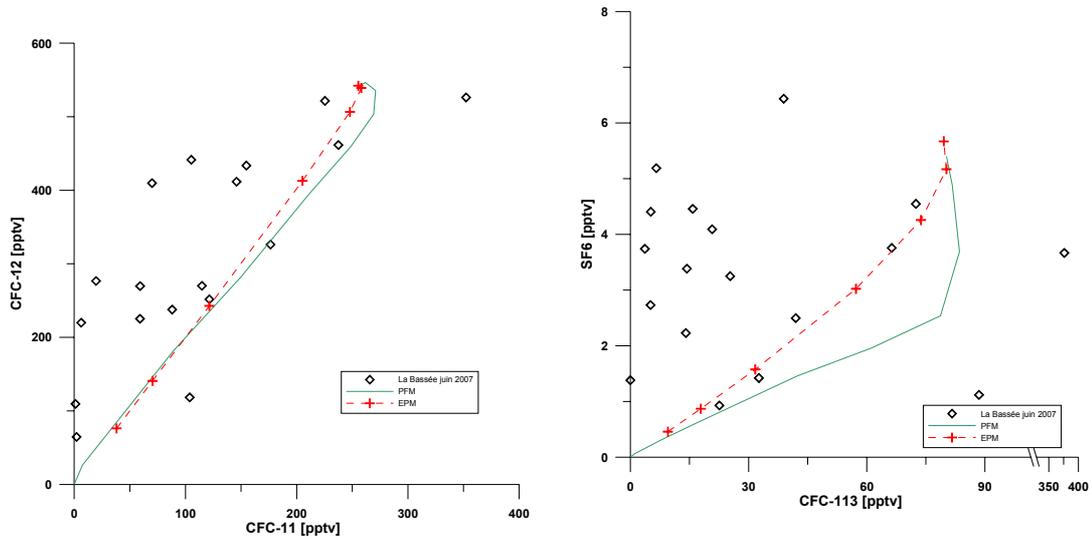


Illustration 93 : Tracé des comparaisons entre les concentrations en CFC-12 et CFC-11 et SF6 et CFC-113 des eaux de la Bassée et modèles piston flow (PFM) et exponentiel (EFM)

Cette contamination peut être due à un problème d'échantillonnage ou une contamination locale de l'atmosphère au niveau de la plaine alluviale. Dans des zones urbaines (ici Montereau-Fault-Yonne, Fontainebleau, Melun, Provins) les contaminations de CFC-12 sont courantes. Pour le SF6, une contamination est plus inattendue car la présence de décharge et rejets de STEP ne semble pas en cause. La présence d'un certain nombre d'équipement utilisant le SF6 dans la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine est l'hypothèse la plus semblable pour cette contamination ne permettant que dans de rares cas l'utilisation de ce traceur pour la détermination de l'âge de l'eau.

Deux points, PZSc09 et PZSa05 montrent également une contamination en CFC-11 et CFC-113 (Illustration 94).

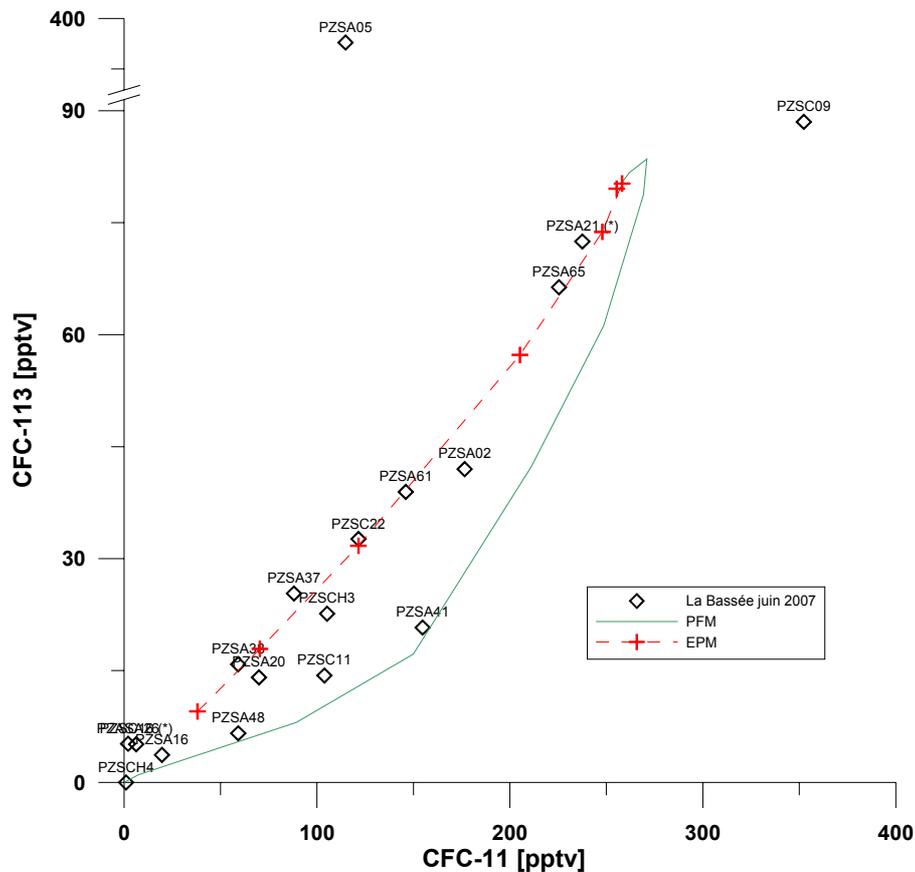


Illustration 94 : Tracé des comparaisons entre les concentrations en CFC-113 et CFC-11 des eaux de la Bassée et modèles piston flow (PFM) et exponentiel (EPM)

L'eau extraite au point PZSc09 était de couleur laiteuse et le renouvellement de l'eau dans le piézomètre n'a pas pu être effectué complètement. Le niveau de l'eau se trouvait à plus de 19 mètres. Ce point est le seul contaminé pour tous les CFC et dont la détermination d'un âge ou temps de transit n'a donc pas été possible.

Divers modèles empiriques ont été utilisés pour estimer les temps de séjour moyens des eaux dans l'alluvial et la craie. Le modèle piston (considérant qu'il n'y a pas de mélange et aucune modification des activités par dispersion, diffusion ou échange direct, Maloszewski et Zuber, 1982) pourrait s'appliquer à l'aquifère de la craie ou les niveaux alluviaux surmontés d'un niveau argileux limitant les échanges. Le modèle exponentiel (une eau récente se mélange parfaitement à une eau ancienne, il y a échange et écoulement) pouvant correspondre à un aquifère homogène d'épaisseur négligeable pour lequel la recharge se fait sur toute la surface (Etcheverry, 2002) est possible dans le cas de l'aquifère alluvial. Un modèle de type mélange est également attendu si on considère qu'il y a une recharge de l'aquifère l'alluvial par l'aquifère de la craie. Les trois modèles ont été systématiquement testés pour les eaux collectées en juin 2007 sur la Bassée. L'utilisation de plusieurs traceurs (trois CFC et le SF6) permet en général de sélectionner le modèle de circulation le mieux adapté au cas d'étude.

Seules trois eaux montrent un âge inférieur à celui qu'il est permis de définir en utilisant les outils tels que le tritium, les CFC et le SF6 (considéré ici comme 1960). Deux points sont localisés dans l'aquifère de la craie (PZScH4 et PZSc16) et un dans l'aquifère alluvial (PZSa26).

Les autres eaux ont pu être datées car au minimum deux CFC et/ou SF6 ne montraient pas d'indices de contamination ou sorption/dégradation. Les trois modèles, piston, exponentiel et/ou le modèle de mélange sont bien adaptés à la détermination des âges CFC/SF6. Sur l'illustration 95 est indiqué en gras le modèle qui semble le mieux correspondre aux données. Il est également important de tenir compte des réalités de terrain et notamment le fonctionnement hydrodynamique décrit dans la littérature (Vernoux, 2004).

échantillons	Traceurs utilisés	PFM	EPM	BMM		% eau jeune
			Temps de résidence	âge 1	âge 2	
PZSC11	CFC12, CFC-113		125	1990	1960	20
PZSA02	CFC11, CFC12, CFC-113		30	1988	1960	72
PZSA05	CFC11, CFC12	1976				
PZSA21 (*)	CFC11, CFC12, CFC-113		12	1993	1960	87
PZSCH3	CFC11, CFC-113			1986	1960	45
PZSA20	CFC11, CFC-113			1986	1960	30
PZSA16	CFC11, CFC-113	1964				
PZSC22	CFC11, CFC12, CFC-113, SF6			1996	1967	36
PZSA61	CFC11, CFC-113		38	1991	1967	47
PZSA37	CFC11, CFC-113		70	1993	1960	30
PZSCH4	CFC11, CFC-113	<1955	<1955	<1955	<1955	
PZSC16 (*)	CFC11, CFC-113	<1955	<1955	<1955	<1955	
PZSA38	CFC11, CFC-113		120	1993	1960	19
PZSC09						
PZSA48	CFC11, CFC-113	1970		1975	1960	50
PZSA41	CFC11, CFC-113	1979		1980	1960	91
PZSA65	CFC11, CFC-113		16	1991	1960	84
PZASA26	CFC11, CFC-113	<1955	<1955	<1955	<1955	

Illustration 95 : Résumé des âges CFC calculés et des modèles et traceurs utilisés (en gras le résultat le plus favorable)

Sans surprise les eaux les plus anciennes (temps de résidence élevé et/ou pourcentage d'eau jeune le plus faible) correspondent aux eaux de l'aquifère de la craie. Toutefois des eaux de l'aquifère alluvial montrent également un temps de résidence moyen de plus de 70 ans et/ou un pourcentage d'eau jeune relativement faible (< à 40%). Ces points, PZSa37, PZSa38, PZSa26, PZSa20, PZSa16, à l'exception du point PZSa20 sont tous dans un secteur de faible extension entre Egligny et Vimpelles en rive droite de la Seine. A ce niveau il y aurait un apport plus important d'eau de la nappe de la craie vers l'aquifère alluvial.

Les eaux les plus jeunes (20-25 ans) ou ayant un pourcentage d'eau jeune important PZSa65, PZSa 41, PZSa21, PZSa05 et PZSa02 se retrouvent soit sur la partie aval de la plaine (Marolles) soit en rive gauche relativement proche de la limite d'affleurement de l'aquifère de la craie (Illustration 96).

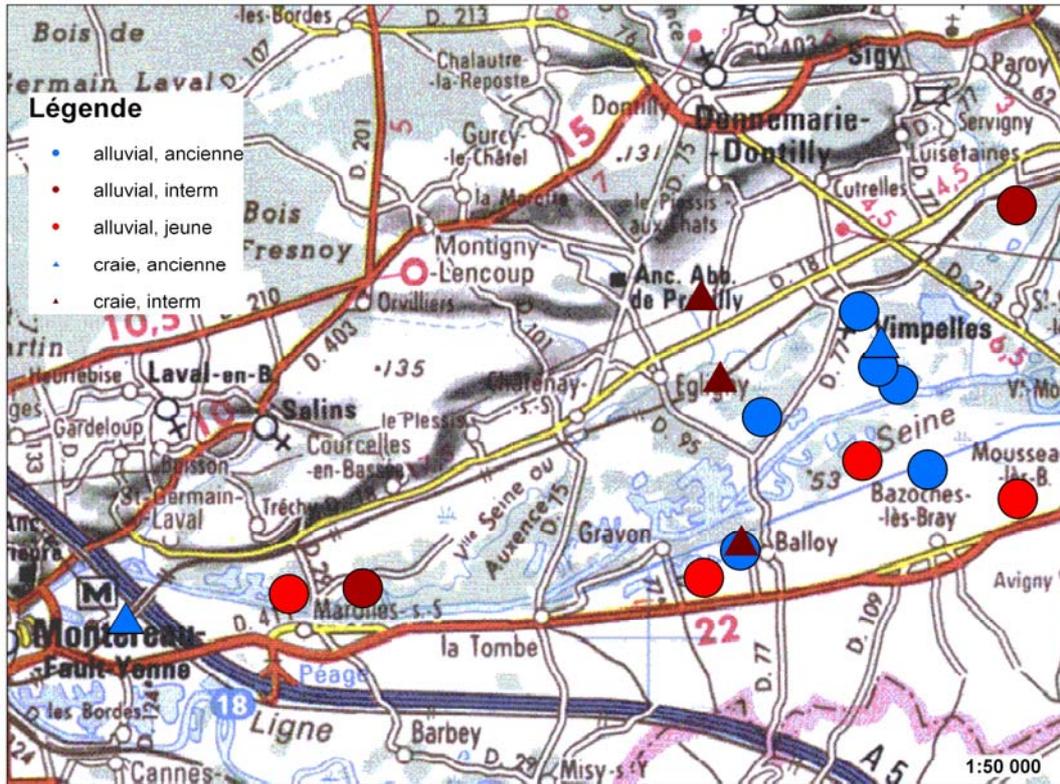


Illustration 96 : Distribution des catégories d'âge CFC des eaux selon le type d'aquifère sur la plaine de la Bassée

8. Etude des vitesses de transfert et stocks de polluants dans la ZNS

Une meilleure connaissance des transferts au sein de la zone non saturée est indispensable. En effet, son rôle dans le transfert des polluants vers la nappe est important. Il apparaît nécessaire de prendre en compte la pédologie et toutes les informations existantes sur la zone non saturée plus profonde que le sol dans ce secteur. Une étude du transfert des polluants dans les sols et plus profondément permettra de mieux connaître les mécanismes de contamination (dans la ZNS). Ce suivi permettra de caractériser les évolutions temporelles en termes d'hydrodynamique et de transfert de solutés. Il est également nécessaire de connaître l'état chimique actuel de la ZNS qui peut contenir d'importants stocks de polluants.

8.1. TRAITEMENT DES CAROTTES

Les prélèvements ont été effectués début novembre. La description du prélèvement des carottes est donnée au paragraphe 3.4.

De retour au laboratoire du BRGM les carottes ont été découpées en un total de 30 tranches suivant les critères de qualité des sols, couleurs, granulométrie et perméabilité observables à l'œil.

Pour chaque site, les échantillons de la carotte A ont été pesés et séchés à 40 degrés. Les échantillons de la carotte B ont été pesés et séchés à 105 degrés. Les carottes C ont été conservés intacts au frais et à l'obscurité.

Pour les analyses d'OHV, un échantillon brut (non séché, non tamisé) a été prélevé. Les échantillons séchés à 40 degrés seront utilisés pour la mesure des pesticides et la détermination minéralogique. Les échantillons séchés à 105 degrés ont été broyés et amenés au laboratoire SAS (Olivet) pour détermination de la granulométrie, détermination de la CEC (capacité d'échange cationique) et de la chimie.

L'évaluation de la teneur en eau pondérale (Annexe 1) indique une variation entre 5 et 33%.

Les résultats complets de ces analyses sont attendus pour début janvier 2008.

9. Conclusions

Comme prévu dans le cahier des charges, les trois premières phases du projet ont été initiées lors des six premiers mois du projet de recherche. Les deux campagnes de prélèvement pour la caractérisation des échanges nappes – rivière, la détermination des entrants potentiels sur le bassin versant et la collecte des échantillons de sols sur trois sites afin de permettre l'étude de la zone non saturée ont été réalisés.

Il y a vraisemblablement continuité hydraulique entre la craie et les alluvions sur l'ensemble du secteur d'étude. La craie représenterait donc un pôle important de la recharge des alluvions. Ces relations ont été démontrées également à l'aide de l'étude des CFC. Les premières analyses isotopiques ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) montrent qu'il existe également une recharge locale de la nappe de la craie et de la nappe alluviale par les eaux de surface (zones inondées et cours d'eau).

L'analyse de l'état des lieux du SDAGE a fait par ailleurs ressortir un risque important de pollution par les nitrates et les phytosanitaires. Il existe également un certain nombre d'installation classée sur et en amont de la plaine de la Bassée.

Les suivis de la qualité des eaux de la Seine et de deux de ses affluents (la Voulzie et l'Auxence) montrent que le risque principal de contamination des eaux souterraines par les eaux superficielles est lié aux produits phytosanitaires. Parmi ceux-ci, les triazines sont les plus fréquents, en particulier l'atrazine et ses métabolites : déséthylatrazine et 2-hydroxy-atrazine.

Les trois masses d'eau considérées dans cette étude, la nappe alluviale, la nappe de la craie et les calcaires du tertiaire présentent des concentrations en nitrates élevées et une contamination par l'atrazine et ses dérivés. Les mesures faites en 2007 indiquent également la présence en fortes concentrations de glyphosate et AMPA. Ceci n'a pas été observé historiquement car les valeurs disponibles remontent à 2005, période où la recherche de ces pesticides n'était pas systématique et avec des niveaux de quantification élevés. Les apports anthropiques de type agricole se confirment par les données de la chimie des éléments majeurs et traces dissous. La présence de conditions réductrices peut localement entraîner une dénitrification et donc une forte diminution des concentrations en nitrates.

Du point de vue chimique, aucune tendance liée à la répartition spatiale des points ne se dégage clairement. La faible variabilité isotopique et chimique entre les eaux de l'aquifère alluvial et aquifère de la craie indique un mélange relativement homogène des eaux de ces aquifères sur l'ensemble de la zone d'étude avec quelques exceptions locales.

Sans surprise les eaux les plus anciennes (temps de résidence élevé et/ou pourcentage d'eau jeune le plus faible) correspondent aux eaux de l'aquifère de la craie. Toutefois des eaux de l'aquifère alluvial montrent également un temps de

résidence moyen de plus de 70 ans et/ou un pourcentage d'eau jeune relativement faible (< à 40%), ce qui indiquerait que les apports superficiels à la nappe sont limités en volume.

Des informations complémentaires sont attendues de la deuxième campagne de prélèvement effectuée en période de basses eaux ainsi que des analyses des sols de la zone non saturée. Du fait que les résultats présentés dans ce rapport sont partiels aucune synthèse n'a été réalisée à partir de cette information.

10. Bibliographie

ADES (2007) – Portail national d'accès aux données sur les eaux souterraines. Accessible sur ades.eaufrance.fr.

Leon P. (2004) – Campagnes de mesures de perméabilité verticale des alluvions modernes de la Bassée. Rapport AH₂D environnement, 9p.

AQUASCOP-CALLIGEE (2004) – Etude de la qualité des eaux du gîte aquifère de la Bassée. Rapport 02-77266A.

Baran N., Mouvet C., Négrel P. (2005) - Variabilités spatio-temporelles des teneurs en phytosanitaires dans les eaux souterraines d'un petit bassin hydrogéologique. Dans Actes des XIIèmes journées techniques du Comité Français de l'Association Internationale des Hydrogéologues « l'eau souterraine et les produits phytosanitaires ». Orléans 24-25 novembre 2005. ISBN 2-7159-0975-6.

Baran N., Mouvet C., Négrel Ph. (2007) - Hydrodynamic and geochemical constraints on pesticide concentrations in the groundwater of an agricultural catchment (Brévilles, France). *Environmental Pollution* 148:729-738.

Berner E.K., Berner R.A. (1987).- The Global water cycle. *Geochemistry and environment*.- Prentice-Hall. 397 p.

Beyerle U., Aeschbach-Hertig W., Hofer M. et al. (1999) - Infiltration of river water to a shallow aquifer investigated with ³H/³He, noble gases and CFCs, *Journal of Hydrology* 220, 169-185.

Böhlke J.K., Denver J.M. (1995) - Combined use of groundwater dating, chemical and isotopic analyses to resolve the history and fate of nitrate contamination in two agricultural watersheds, Atlantic coastal plain, Maryland, *Water Resour. Res.*, Vol. 31, No. 9, 2319-2339.

Böhlke J.K., Wanty R., Tuttle M. et al. (2002) - Denitrification in the recharge area and discharge area of a transient agricultural nitrate plume in a glacial outwash sand aquifer, Minnesota, *Water Resour. Res.*, Vol. 38, No. 7, p. 10-1-26.

Böhlke J.K. (2002) - Groundwater recharge and agricultural contamination. *Hydrogeology. Jour.*, v. 10, 153-179, (and Erratum, *Hydrogeology Jour.*, v. 10, 438-439).

Busenberg E., Plummer L.N. (1992) - Use of Chlorofluoromethanes (CCl₃F and CCl₂F₂) as hydrologic tracers and age-dating tools: Example- The alluvium and terrace system of Central Oklahoma, *Water Resour. Res.* 28, 2257-2283.

Busenberg E., Plummer L.N. (2000) - Dating young groundwater with sulphurhexafluoride – Natural and anthropogenic sources of sulphurhexafluoride, *Water Resour. Res.* Vol. 36, 3011-3030.

Busenberg E., Weeks E.P., Plummer L.N. et al. (1993) - Age dating groundwater by use of chlorofluorocarbons (CCl₃F and CCl₂F₂) and distribution of chlorofluorocarbons in the unsaturated zone, Snake River Plain aquifer, Idaho National Engineering

Laboratory, Idaho. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations 93-4054, 47 p.

Clark J.F., Stute M., Schlosser P. et al. (1997) - A tracer study of the Floridan aquifer in southeastern Georgia: Implications for groundwater flow and paleoclimate, *Water Resour. Res.*, Vol. 33, No. 2, 281-289.

Cook P.G., Solomon D.K. (1997) - Recent advances in dating young groundwater: chlorofluorocarbons, $^3\text{H}/^3\text{He}$ and ^{85}Kr , *J. Hydrol.* 191, 245-265.

Cook P.G., Solomon D.K. (1995) - The transport of atmospheric trace gases to the water table: Implications for groundwater dating with chlorofluorocarbons and Krypton-85, *Water Resour. Res.*, Vol. 31, 263-270.

Cook P.G., Böhlke J.K. (2000) - Determining timescales for groundwater flow and solute transport. In: *Environmental Tracers in Subsurface Hydrology* (P.G. Cook and A. Herzog, editors), Chapter 1, Kluwer Academic Press, 1-30.

Cook P.G., Solomon D.K., Plummer L.N., et al. (1995) - Chlorofluorocarbons as tracers of groundwater transport processes in a shallow, silty sand aquifer, *Water Resour. Res.*, Vol. 31, No. 3, 425-434.

DIREN Champagne-Ardenne (2003a) - Les produits phytosanitaires dans les rivières de Champagne-Ardenne : état des lieux. Programme national d'actions en faveur de la réduction de la pollution par les produits phytosanitaires. Décembre 2003, 23 p.

DIREN Champagne-Ardenne (2003b) - Programme national de lutte contre la pollution par les produits phytosanitaires - Réseau de suivi des résidus de produits phytosanitaires dans les eaux superficielles de la région Champagne-Ardenne. Campagne 2002. Septembre 2003, 19 p.

DIREN Ile-de-France (2006-2007) - Plan Seine - version validée dans son contenu par le comité de bassin du 30 novembre. Annexes financières et document mis à jour au 28 mars 2007. 123 p.

Fustec E. et al. (2001) - Rapport de synthèse 1998-2001. Fonctionnement du territoire 'Bassée'. UMR Sysiphe, UPMC, 58 p.

Gaillardet J., Dupre B., Allegre C.J. (1997).- Chemical and physical denudation in the Amazon river basin. *Chemical Geology* 142, 141-173.

Gaillardet J., Dupre B., Louvat P. et al. (1999).- Global silicate weathering and CO_2 consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. *Chemical Geology* 159, 3-30.

Goddy D.C., Darling W.G., Abesser C. et al. (2006) - Using chlorofluorocarbons (CFCs) and sulphur hexafluoride (SF_6) to characterise groundwater movement and residence time in a lowland Chalk catchment. *Journal of Hydrology, Volume 330, Issues 1-2, 30 October 2006, Pages 44-52.*

Heaton T.H.E., Vogel, J.C. (1981) - "Excess air" in groundwater, *J. Hydrol.*, Vol. 50, 201-216.

Ho D.T., Schlosser P., Smethie W.M., Jr. et al. (1998) - Variability in atmospheric chlorofluorocarbons (CCl_3F and CCl_2F_2) near a large urban area: Implications for groundwater dating, *Environ. Sci. and Technol.*, Vol. 32, No. 16, 2377-2382.

IAEA/WMO (2003) - Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. Accessible at: <http://isohis.iaea.org>.

Ifen (2004) - Les pesticides dans les eaux. Sixième bilan annuel. Données 2002. Etudes et travaux n° 42, ISBN 2-911089-70-7, 32 p.

Ifen (2006) - Les pesticides dans les eaux. Données 2003 et 2004. 40p. (disponible sur <http://www.ifen.fr/publications/2pub.htm>).

Koepnick R.B., Burke W.H., Denison R.E. et al. (1985).- Construction of the seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ curve for the Cenozoic and Cretaceous: Supporting data. *Chemical Geology* 58, 55-81.

Koepnick R.B., Denison R.E., Burke W.H. et al. (1990) - Construction of the Triassic and Jurassic portion of the Phanerozoic curve of seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. *Chemical Geology* 80, 327-349.

Landry D., Dousset S., Fournier J.C. et al. (2005) - Leaching of glyphosate and AMPA under two soil management practices in Burgundy vineyards (Vosne-Romanée, 21-France). *Environmental Pollution* 138: 191-200.

Megnien C. (1979) – Hydrogéologie du centre du bassin de Paris. Mém. BRGM n°98, 456 p

Megnien C. (1965) - Possibilités aquifères des alluvions du val de Seine entre Nogent-sur-Seine et Montereau, incluant Carte géologique et géomorphologique de la Bassée, Rapport BRGM DSGR 65A76

Meybeck M. (1986).- Composition chimique des ruisseaux non pollués de France. *Sciences Géologiques Bulletin* 39, 3-77.

Négrel P., Petelet-Giraud E. (2005) - Strontium isotopes as tracers of groundwater-induced floods: the Somme case study (France). *Journal of Hydrology* 305, 99-119.

Négrel P., Allegre C.J., Dupre B. et al. (1993) - Erosion sources determined by inversion of major and trace element ratios in river water: The Congo case. *Earth Planetary Science Letters* 120, 59-76.

Oster H., Sonntag C., Munnich K.O. (1996) - Groundwater age dating with chlorofluorocarbons, *Water Resour. Res.*, Vol. 32, No. 10, 2989-3001.

Paput M.C, Creuzot G., Gravier M.H. et al. (2005) - Action de reconquête de la qualité de l'eau du captage de Vosne-Romanée (Côte d'Or). Dans Actes des XIIèmes journées techniques du Comité Français de l'Association Internationale des Hydrogéologues « l'eau souterraine et les produits phytosanitaires ». Orléans 24-25 novembre 2005. ISBN 2-7159-0975-6.

Plummer L.N., Busenberg E. (2000) - Chlorofluorocarbons: Tools for dating and tracing young groundwater. In: *Environmental Tracers in Subsurface Hydrology* (P. Cook and A. Herczeg, eds.), Kluwer Academic Publishers, Boston, Chapter 15, 441-478.

Plummer L.N., Rupert M. G., Busenberg E., et al. (2000) - Age of irrigation water in groundwater from the Snake River Plain aquifer, South-Central Idaho, *Groundwater*, Vol. 38, 264-283.

Plummer L.N., Busenberg E., Drenkard S., et al. (1998) - Flow of river water into a karstic limestone aquifer—2. Dating the young fraction in groundwater mixtures in the Upper Floridan aquifer near Valdosta, Georgia, *Applied Geochemistry*, Vol. 13 (8), 1017-1043.

Plummer L.N., McConnell J.B., Busenberg E., et al. (1998) - Flow of river water into a karstic limestone aquifer — 1. Tracing the young fraction in groundwater mixtures in the Upper Floridan aquifer near Valdosta, Georgia, *Applied Geochemistry*, Vol. 13 (8), 995-1015.

Plummer L.N., Dunkle S.A., Busenberg E. (1993) - Chlorofluorocarbons (CCl₃F and CCl₂F₂) as Dating Tools and Hydrologic Tracers in Shallow Groundwater of the Delmarva Peninsula--Data Tabulation, U.S. Geol. Survey Open File Report 93-484, 56 p.

Plummer L. N., Bexfield L.M., Anderholm S.K., et al. (2004) - Geochemical characterization of ground-water flow in the Santa Fe Group aquifer system, Middle Rio Grande Basin, New Mexico. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 03-4131 395p.

Plummer L.N. (2003) - Dating of young groundwater. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, *In International Symposium on Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management*, May 19-23, 2003, IAEA-CN-104/154 (in press).

Roy S. (1996). Utilisation des isotopes du Pb et du Sr comme traceurs des apports anthropiques et naturels dans les précipitations et les rivières du Bassin de Paris. Thèse, Université de Paris 7, 320 p.

Maloszewski P., Zuber A. (1982) - Determining the turnover time of groundwater systems with the aid of environmental tracers. 1. Models and their applicability, *J. Hydrol.*, Vol. 57, 207-231.

SAGE Environnement (2005) – Bassin versant de la Seine de sa source à sa confluence avec l'Yonne – Suivi de la qualité des eaux superficielles en 2004 – Evolution de la qualité entre 2000 et 2004. Avril 2005, 166 p.

Santella N., Ho D.T., Schlosser P., et al. (2003) - Distribution of atmospheric SF₆ near a large urban area as recorded in the vadose zone. *Environ. Sci. Technol.* 37, 1069-1074.

Schultz T.R., Randall J.H., Wilson L.G. et al. (1976) – Tracing sewage effluent recharge – Tucson, Arizona. *Groundwater*, 14, pp.463-470.

SOBESOL (2003) – Travaux de sondages et mesures piézométriques; campagne de reconnaissance des sols géologique-hydrogéologique-géotechnique. CD-ROM.

SOGREAH (2003) – Compatibilité de l'aménagement de la Bassée avec les ressources en eau. Rapport n°02 730228.

SOGREAH (2004) – Etude de compatibilité de l'aménagement de la Bassée avec les ressources en eau. Juillet 2004, 61 p

TERRASOL (2002) – Synthèse et bilan des connaissances géologiques, hydrogéologiques et géotechniques au 01/12/01. Document n° 17298/01.

TERRASOL (2003) – Etude de faisabilité des ouvrages géotechniques. Document n° 17298/05.

Torstensson L., Börjesson E., Stenström J. (2005) - Efficacy and fate of glyphosate on Swedish railway embankments. *Pest Management Science* 61: 881-886.

Vereecken H. (2005) - Mobility and leaching of glyphosate: a review. *Pest Management Science* 61: 1139-1151.

Vernoux J.F., Schomburgk S., Hanot F., et al. (2004) - Projet d'aménagement du site de la Bassée - analyse des travaux de reconnaissance réalisés en 2002-2003, rapport BRGM/RP-52712-FR, 37 pages, 7 figures, 2 tableaux, 7 annexes

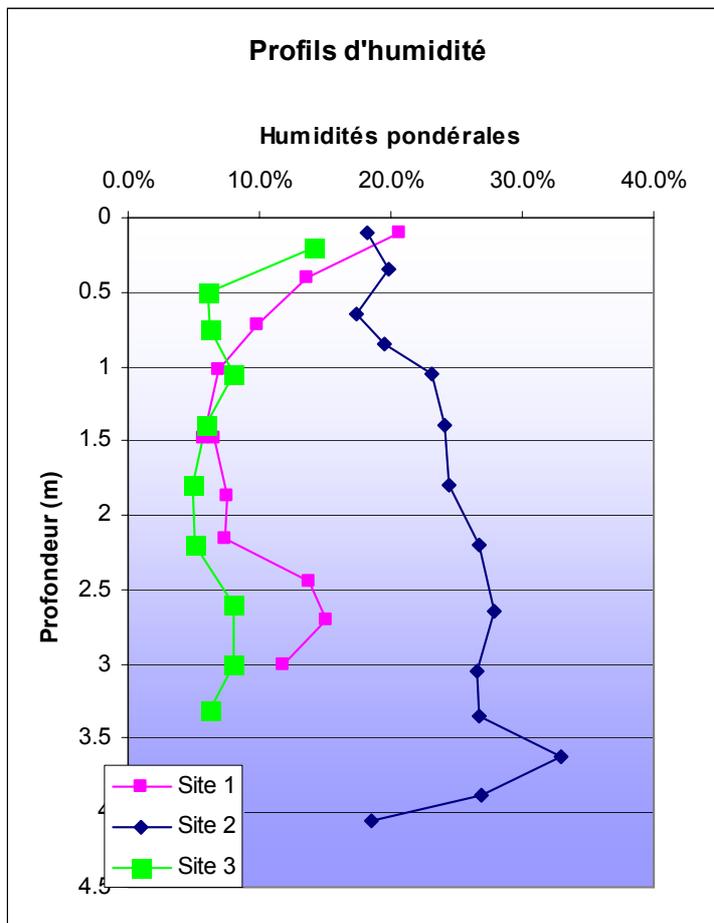
Weissmann G.S., Zhang Y., LaBolle E.M. et al. (2002) - Dispersion of groundwater age in an alluvial aquifer system, *Water Resour. Res.*, Vol. 38, No. 10, p. 1198.

Welté B., Deschamps C., Zakeossian M., 2005. Le bassin du Dragon : exemple de plus de 10 ans d'expérimentations de lutte contre la pollution par les phytosanitaires sur un bassin versant utilisé pour l'alimentation en eau potable de Paris. Dans Actes des XIèmes journées techniques du Comité Français de l'Association Internationale des Hydrogéologues « l'eau souterraine et les produits phytosanitaires ». Orléans 24-25 novembre 2005. ISBN 2-7159-0975-6.

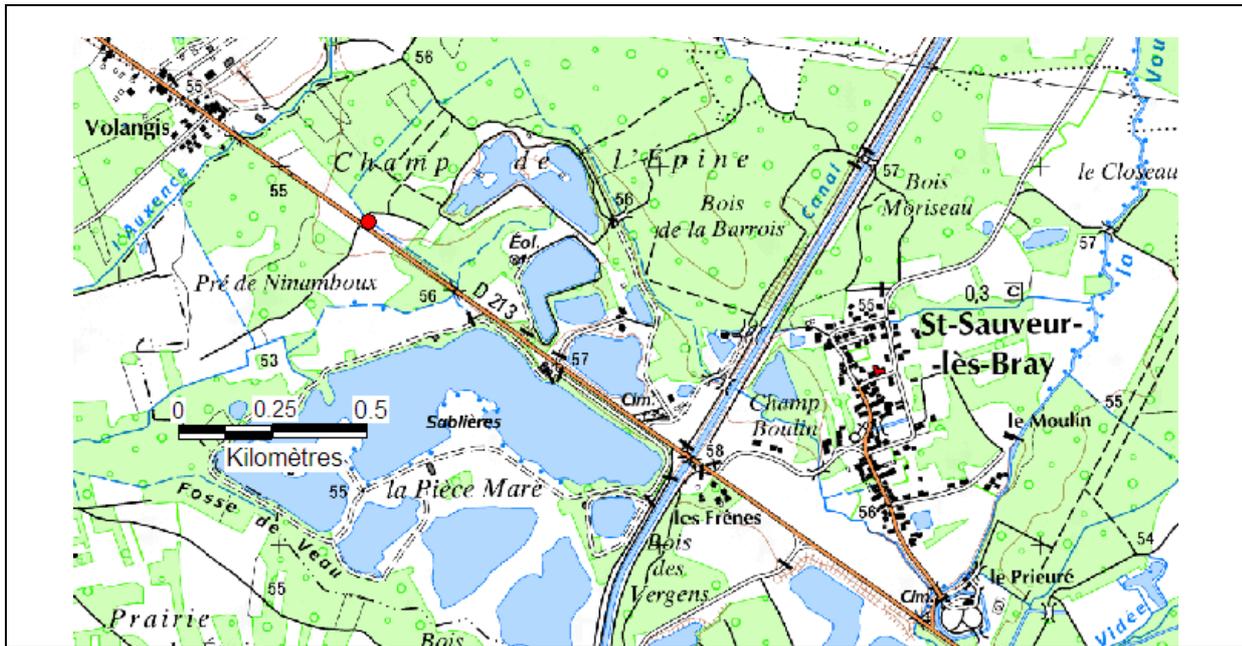
Annexe 1

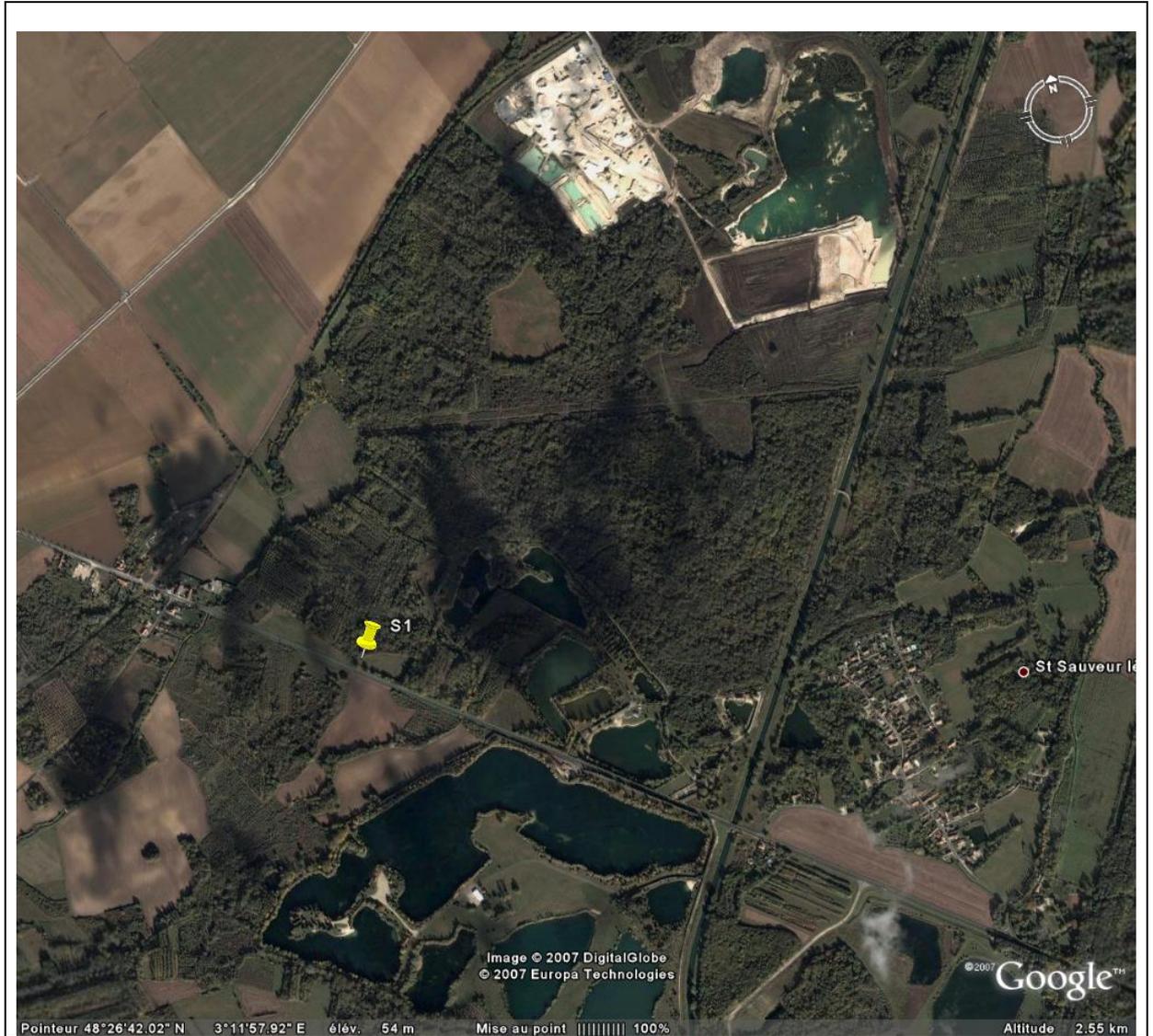
Description des sondages

Site	De	A	Prof moyenne	Echantillons carottes B	Teneur en eau pondérale (après séchage à 105°)
1	0	0.2	0.1	1	20.7%
1	0.2	0.6	0.4	2	13.6%
1	0.6	0.85	0.725	3	9.9%
1	0.85	1.2	1.025	4	6.9%
1	1.2	1.75	1.475	5	5.8%
1	1.2	1.75	1.475	6	6.6%
1	1.75	2	1.875	7	7.5%
1	2	2.3	2.15	8	7.3%
1	2.3	2.6	2.45	9	13.7%
1	2.6	2.8	2.7	10	15.1%
1	2.8	3.2	3	11	11.9%
2	0	0.2	0.1	22	18.2%
2	0.2	0.5	0.35	23	19.8%
2	0.5	0.8	0.65	24	17.4%
2	0.8	0.9	0.85	25	19.6%
2	0.9	1.2	1.05	26	23.1%
2	1.2	1.6	1.4	27	24.1%
2	1.6	2	1.8	28	24.4%
2	2	2.4	2.2	29	26.7%
2	2.4	2.9	2.65	30	27.9%
2	2.9	3.2	3.05	31	26.6%
2	3.2	3.5	3.35	32	26.8%
2	3.5	3.75	3.625	33	33.0%
2	3.75	4	3.875	34	26.9%
2	4	4.1	4.05	35	18.4%
3	0	0.4	0.2	12	14.1%
3	0.4	0.6	0.5	13	6.0%
3	0.6	0.9	0.75	14	6.2%
3	0.9	1.2	1.05	15	8.0%
3	1.2	1.6	1.4	16	5.9%
3	1.6	2	1.8	17	5.0%
3	2	2.4	2.2	18	5.0%
3	2.4	2.8	2.6	19	8.0%
3	2.8	3.2	3	20	8.0%
3	3.2	3.4	3.3	21	6.3%



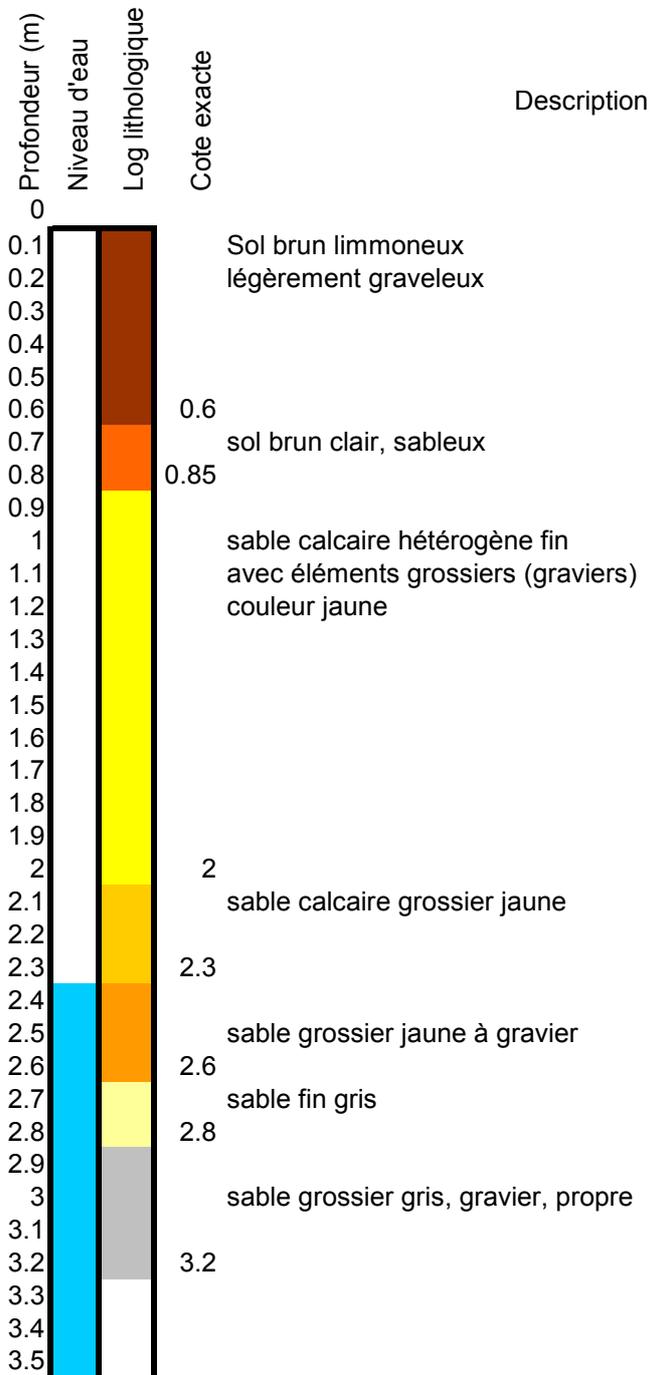
SONDAGE	1		Feuille IGN	2516 E
	COMMUNE	Saint-Sauveur-lès-Bray	Latitude N	48°26'39.2"
	LIEU-DIT	Champ L'Epine	Longitude E	3°11'32.4"
	X Lambert 2E	663241.6	X Lambert 1	663226.
	Y Lambert 2E	2383060.5	Y Lambert 1	1082859
CASIER	1		Alt. Approximative	54 m
Propriétaire :		Exploitant/ personne à contacter :		
Mairie de St Sauveur-lès-Bray		Mairie : Tel : 0164011826		
77480 St-Sauveur-lès-Bray		secrétariat le lundi de 17h30 à 19h00 – le mercredi de 11h30 à 12h30 et le vendredi de 17h30 à 19h00		
Commentaire :				
Bordure de prairie, en lisière du bois du Champ de L'Epine et à 20 m de la D213.				







SITE 1

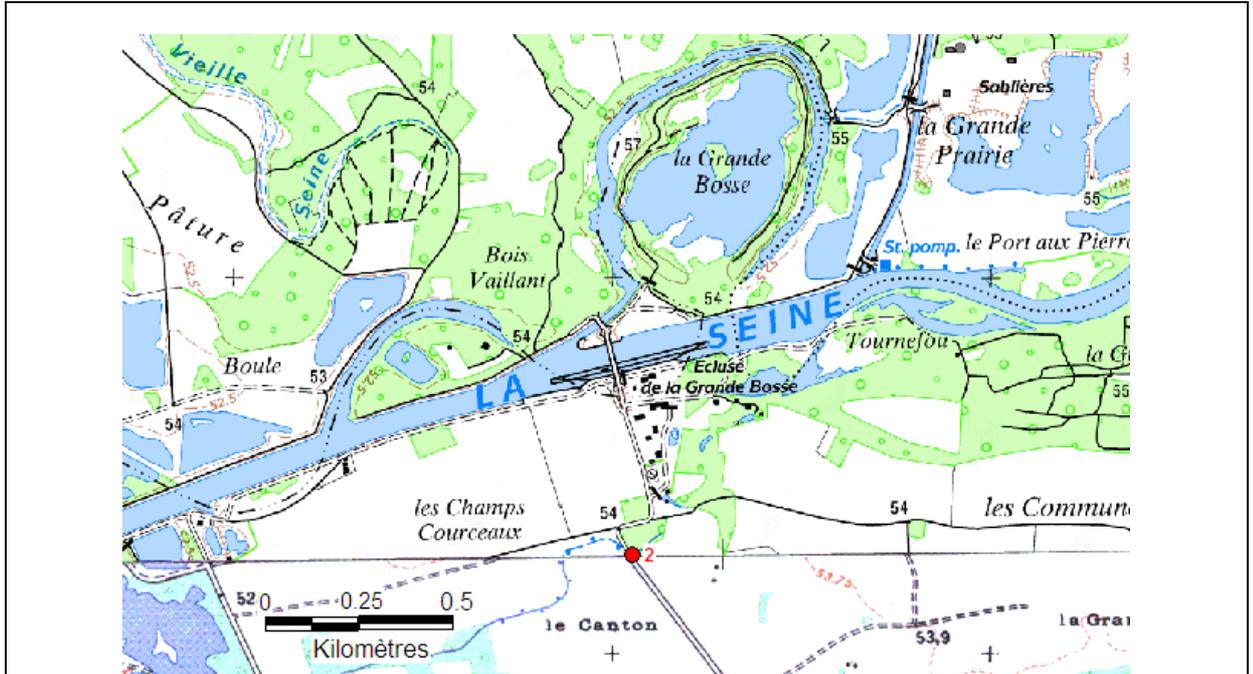


Site 1

<p>0 – 0,6</p> <p>Ech° 1 et 2</p>				
<p>0,6 – 0,85</p> <p>Ech° 3</p>			<p>2,6 – 2,8</p> <p>Ech° 10</p>	
<p>0,85 – 1,2</p> <p>Ech° 4</p>			<p>2,8 – 3,2</p> <p>Ech° 11</p>	
<p>1,2 – 1,75</p> <p>Ech° 5 et 6</p>				

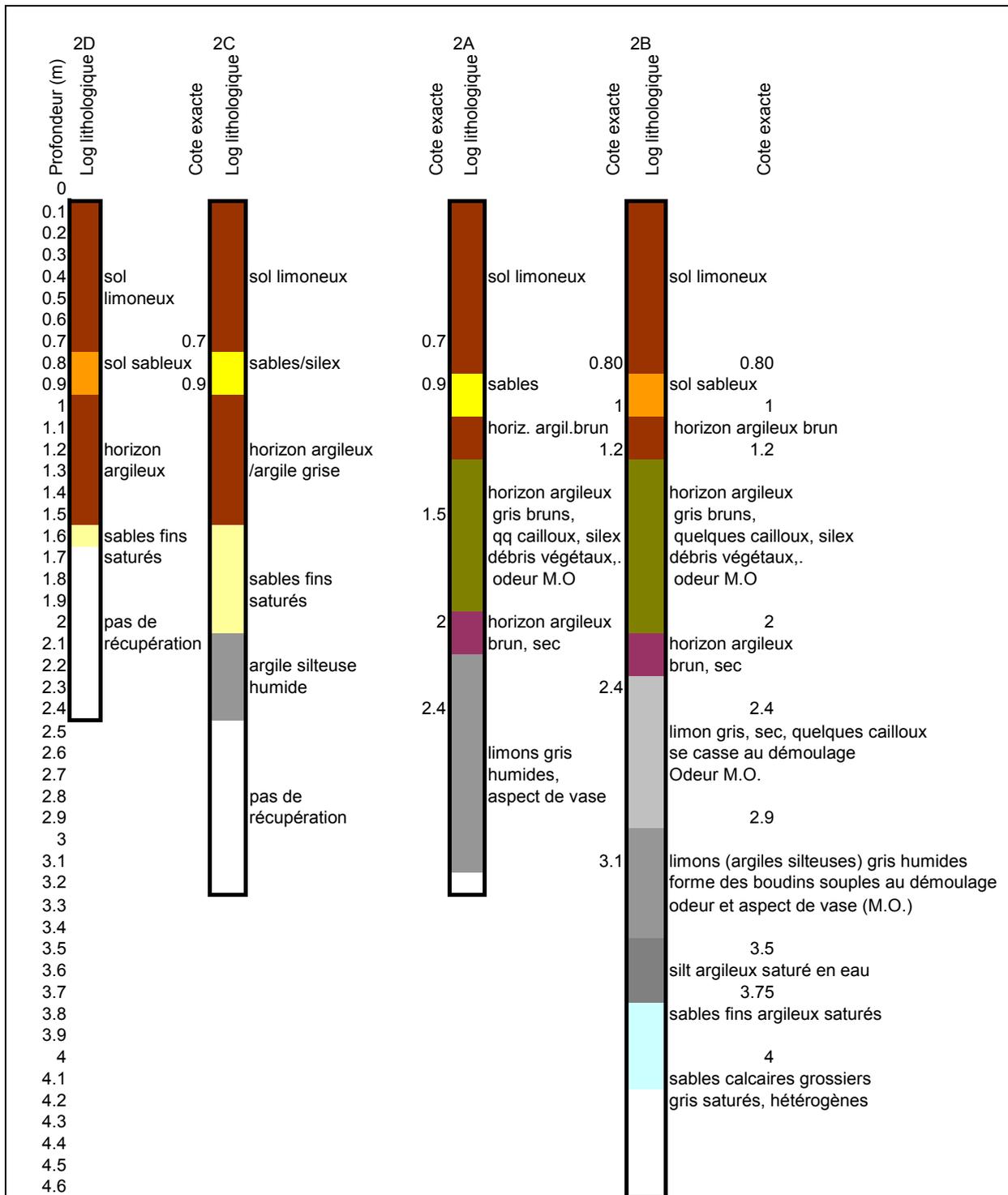
<p>1,75 - 2,3</p> <p>Ech° 7 et 8</p>				
<p>2,3 - 2,6</p> <p>Ech° 9</p>				

SONDAGE	2			Feuille IGN	2516 E
		COMMUNE	Bazoches	Latitude N	48°25'15.1"
		LIEU-DIT	Le Canton	Longitude E	3°11'22.2"
		X Lambert 2E	663060.1	X Lambert 1	663046.
		Y Lambert 2E	2380459.8	Y Lambert 1	1080259
CASIER	7			Alt. Approximative	53 m
Propriétaire :					
M. Gabens – Service Foncier					
GSM Seine Champagne			Exploitant/ personne à contacter :		
49 bis avenue F. Roosevelt			GSM		
77210 Avon Cedex			Mr David RIBOULER, chef de carrière		
Tel : 0160749980			(06 32 23 42 94),		
Commentaire :					
Bordure de champ labouré. Centre du passage entre la route et le champ. Jouxte une gravière en activité.					







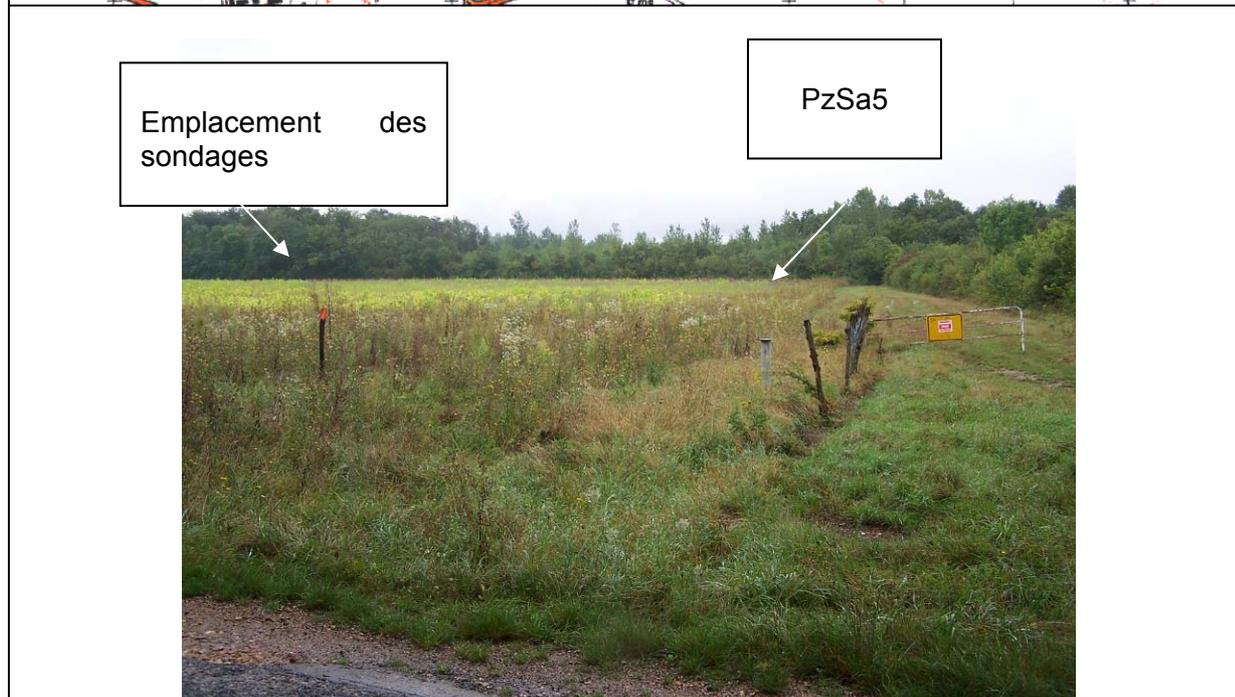
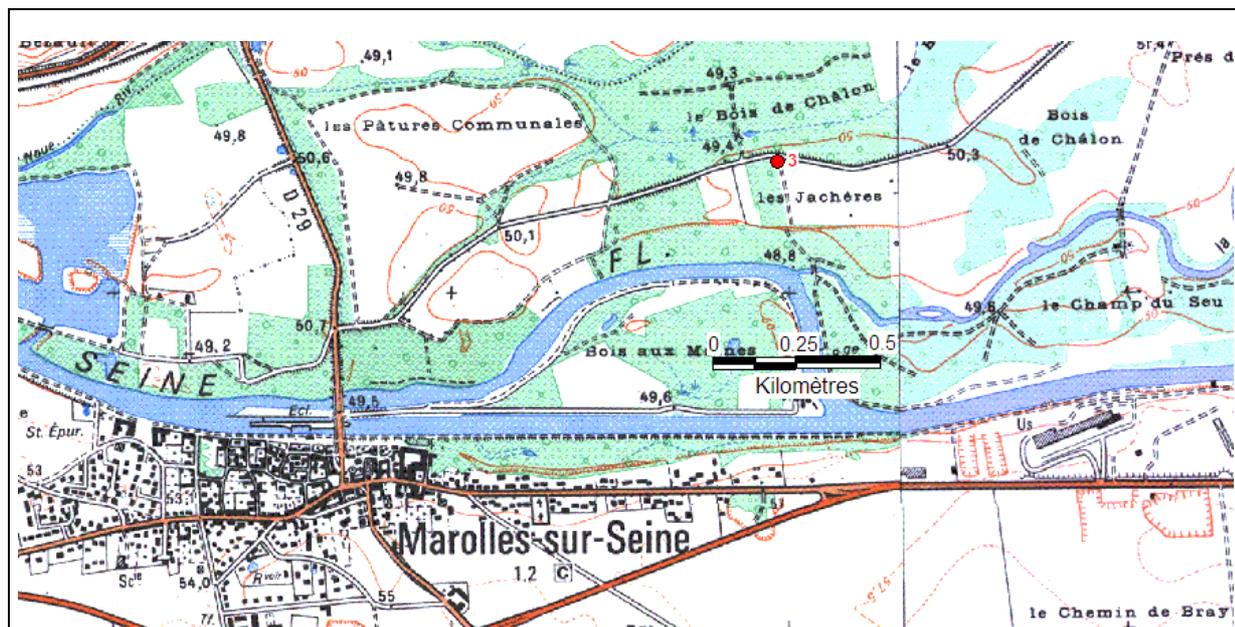


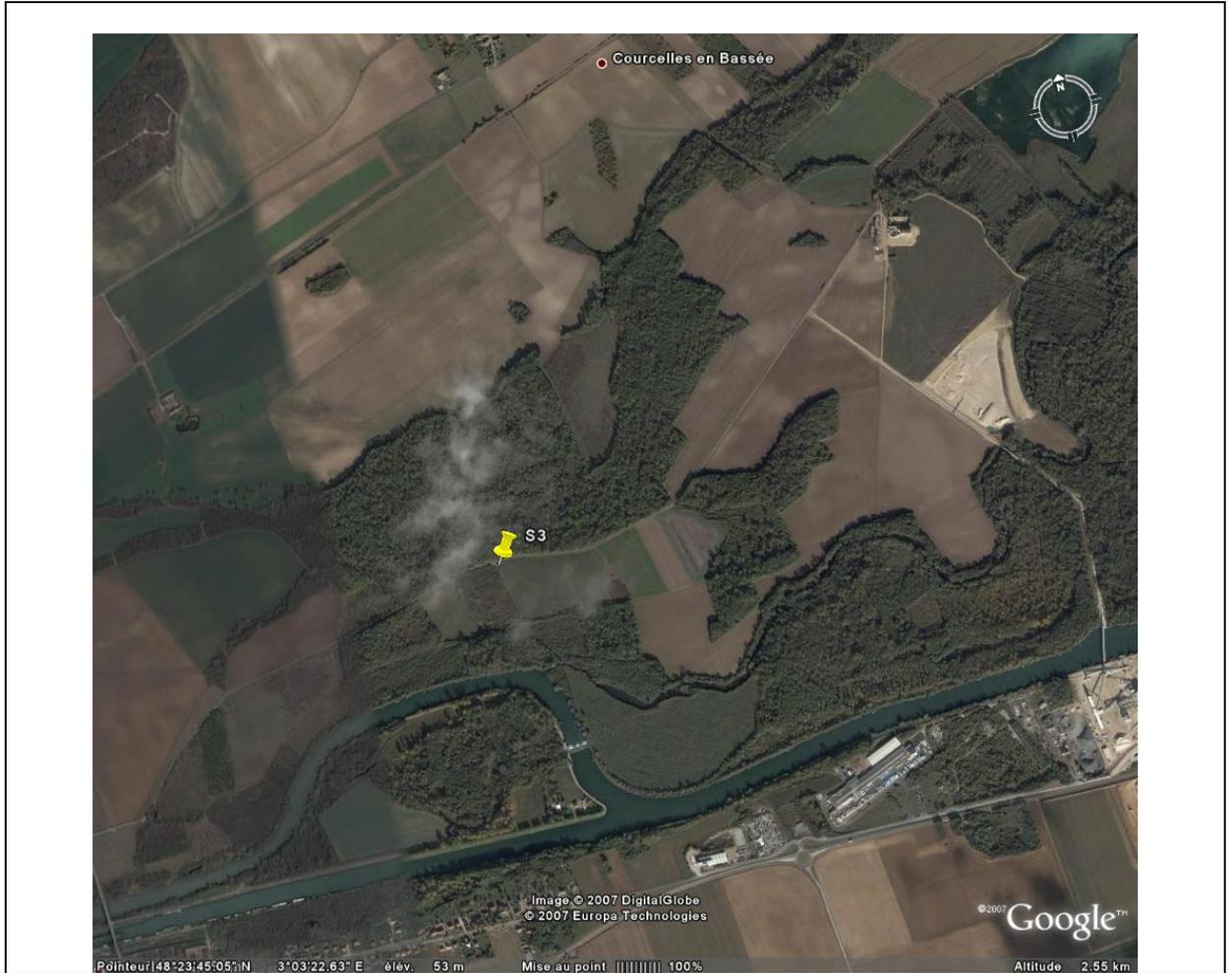
Site 2

<p>0 -0,2 Ech° 22</p>			<p>2,0 – 2,4 Ech° 29</p> 
<p>0,2 – 0,5 Ech° 23</p>			<p>2,4 – 2,9 Ech° 30</p> 
<p>0,5 – 0,8 Ech° 24</p>			<p>2,9 – 3,2 Ech° 31</p> 
<p>0,8 – 0,9 Ech° 25</p>			<p>3,2 – 3,5 Ech° 32</p> 
<p>0,9 – 1,2 Ech° 26</p>			<p>3,5 – 3,75 Ech° 33</p> 

1,2 – 1,6 Ech° 27			3,75 – 4,0 Ech° 34	
1,6 – 2,0 Ech° 28			4,0 – 4,1 Ech° 35	

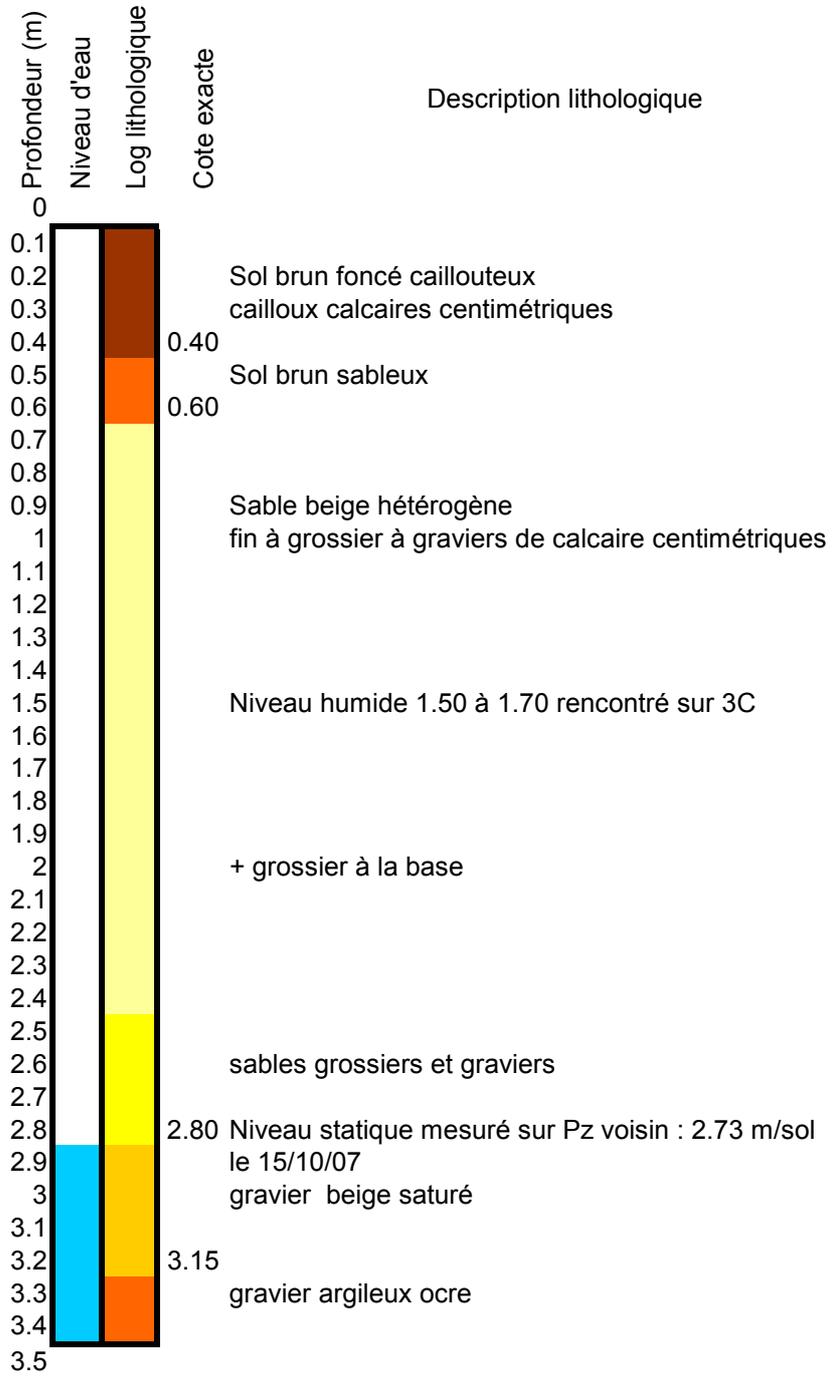
SONDAGE 3		Feuille IGN	2517 O
	COMMUNE	Marolles	Latitude N 48°23'45.7"
	LIEU-DIT	Les Jachères	Longitude E 3°03'10.2"
	X Lambert 2E	652966.8	X Lambert 1 652956
	Y Lambert 2E	2377596.8	Y Lambert 1 1077392
CASIER 9		Alt. Approximative	51 m
Propriétaire : V. Raynaud Morillon Corvol Bat. C, 63, rue d'Emerainville 77435 Marne La Vallée Cedex 2		Exploitant/ personne à contacter : Jeremy Bassaget. CEMEX Granulats 0164118800; 06 23 57 16 79	
Commentaire : Dans une bande de terrain en jachère, à 5 m du PzSa5, entre un champ de maïs non récolté et la route.			



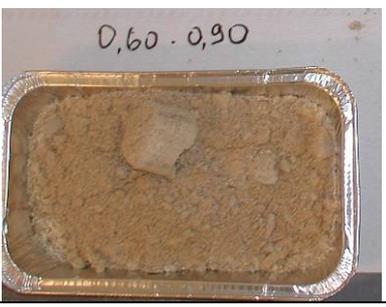
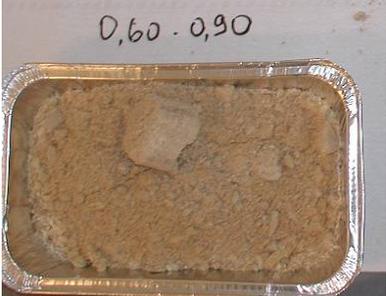




SITE 3



Site 3

<p>0 – 0,4 m</p> <p>Ech° 12</p>	<p>0 - 0,40</p> 		<p>2,0 – 2,4</p> <p>Ech° 18</p>	<p>2,0 – 2,4</p> 
<p>0,4 – 0,6</p> <p>Ech° 13</p>	<p>0 - 0,40</p> 		<p>2,4 – 2,8</p> <p>Ech° 19</p>	<p>2,80 – 3,20</p> 
<p>0,6 - 0,9</p> <p>Ech° 14</p>	<p>0,60 - 0,90</p> 		<p>2,8 – 3,2</p> <p>Ech 20</p>	<p>2,80 – 3,20</p> 
<p>0,9 – 1,2</p> <p>Ech° 15</p>	<p>0,60 - 0,90</p> 		<p>3,2 – 3,4</p> <p>Ech 21</p>	

<p>1,2 – 1,6</p> <p>Ech° 16</p>				
<p>1,6 – 2,0</p> <p>Ech° 17</p>				

Annexe 2

Résultats complets des analyses d'éléments majeurs et traces

Impact sur la qualité de la ressource en eau du surstockage à la Bassée

	*Ag (Argent)	*Al (Aluminium)	*As (Arsenic)	*B (Bore)	*Ba (Baryum)	*Be (Béryllium)	*Ca (Calcium)	*Cd (Cadmium)	*Cl (Chlorures)	*Co (Cobalt)	*Cr (Chrome)	*Cu (Cuivre)	*F (Fluorures)
	5	10	5	10	5	2	0,5	2	0,5	2	5	2	0,1
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
PZSa37 13/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	20	40	< LQ	139	< LQ	45,1	< LQ	< LQ	< LQ	0,1
PZSa16 12/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	15	28	< LQ	142	< LQ	30,8	< LQ	< LQ	< LQ	0,2
PZSa02 12/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	15	32	< LQ	147	< LQ	27,5	< LQ	< LQ	< LQ	0,2
PZSa20 12/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	42	30	< LQ	110	< LQ	18,3	< LQ	< LQ	< LQ	0,1
PZSa21 12/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	13	26	< LQ	105	< LQ	21,9	< LQ	< LQ	< LQ	0,1
PZSa38 13/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	17	28	< LQ	134	< LQ	24	< LQ	< LQ	< LQ	0,2
PZSa41 13/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	19	26	< LQ	99,1	< LQ	12,8	< LQ	< LQ	< LQ	0,1
PZSa48 13/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	36	18	< LQ	94,2	< LQ	22,6	< LQ	< LQ	< LQ	0,1
PZSa61 12/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	51	55	< LQ	161	< LQ	32	< LQ	< LQ	< LQ	0,1
PZSa65 13/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	26	38	< LQ	138	< LQ	35,1	< LQ	< LQ	< LQ	0,1
PZSa05 12/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	11	42	< LQ	126	< LQ	19,2	< LQ	< LQ	< LQ	0,2
PZScH3 12/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	15	22	< LQ	90,6	< LQ	12,5	< LQ	< LQ	< LQ	0,1
PZScH4 13/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	15	41	< LQ	138	< LQ	28,9	< LQ	< LQ	< LQ	0,2
PZSc11 12/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	15	33	< LQ	110	< LQ	19,1	< LQ	< LQ	< LQ	0,1
PZSc13 12/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	19	25	< LQ	71,7	< LQ	15,5	< LQ	< LQ	< LQ	0,2
PZSa26 13/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	59	< LQ	258	< LQ	21,5	< LQ	< LQ	< LQ	0,1
PZSc16 13/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	18	34	< LQ	140	< LQ	16,4	< LQ	< LQ	< LQ	0,2
PZSc22 12/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	10	26	< LQ	141	< LQ	30,3	< LQ	< LQ	< LQ	0,1
PZSc9 13/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	19	30	< LQ	116	< LQ	27,3	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Seine amont 13/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	49	21	< LQ	93,6	< LQ	26	< LQ	< LQ	< LQ	0,1
Seine aval 13/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	46	22	< LQ	93,8	< LQ	25,5	< LQ	< LQ	< LQ	0,1
Voulzie 13/06/07	< LQ	< LQ	< LQ	41	29	< LQ	121	< LQ	33,4	< LQ	< LQ	< LQ	0,1

	*Fe (Fer)	*K (Potassium)	*Li (Lithium)	*Mg (Magnésium)	*Mn (Manganèse)	*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	*Na (Sodium)	*Ni (Nickel)	*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)	*Pb (Plomb)	*SO4 (Sulfates)
	0,02	0,5	2	0,5	2	0,1	0,01	0,5	0,5	2	0,1	2	0,5
	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l
PZSa37 13/06/07	< LQ	5	3	4,1	< LQ	< LQ	< LQ	33,5	22,6	< LQ	< LQ	< LQ	49
PZSa16 12/06/07	0,08	2,7	3	3,7	29	< LQ	< LQ	10	11,8	2	< LQ	< LQ	89,5
PZSa02 12/06/07	< LQ	1,9	3	2,1	< LQ	< LQ	< LQ	60,1	6,5	< LQ	< LQ	< LQ	69,5
PZSa20 12/06/07	< LQ	3,5	< LQ	2,8	< LQ	< LQ	< LQ	0,07	28,4	9,5	< LQ	< LQ	20,6
PZSa21 12/06/07	< LQ	2,9	< LQ	1,6	< LQ	< LQ	< LQ	82,6	5,5	< LQ	< LQ	< LQ	16
PZSa38 13/06/07	0,53	0,9	2	3	63	< LQ	< LQ	5,8	10,7	< LQ	< LQ	< LQ	50,4
PZSa41 13/06/07	< LQ	3,9	< LQ	3,7	< LQ	< LQ	< LQ	17,1	7,8	< LQ	< LQ	< LQ	24,7
PZSa48 13/06/07	< LQ	2,8	3	3,9	7	< LQ	0,35	5,9	10,8	< LQ	0,2	< LQ	31
PZSa61 12/06/07	< LQ	13,6	5	9,4	12	< LQ	< LQ	12,5	15,4	< LQ	< LQ	< LQ	68,4
PZSa65 13/06/07	< LQ	2	3	3,4	< LQ	< LQ	< LQ	61,3	10,7	< LQ	< LQ	< LQ	32,6
PZSa05 12/06/07	< LQ	1,9	3	3,3	< LQ	< LQ	< LQ	40,8	6,9	< LQ	< LQ	< LQ	33,9
PZScH3 12/06/07	< LQ	1,6	< LQ	3,5	< LQ	< LQ	< LQ	38,8	6,2	< LQ	< LQ	< LQ	15,7
PZScH4 13/06/07	3,8	1,3	2	4,7	97	0,1	< LQ	< LQ	14,8	< LQ	< LQ	< LQ	57,1
PZSc11 12/06/07	< LQ	1,1	4	1,9	< LQ	< LQ	< LQ	26,6	11,2	< LQ	< LQ	< LQ	22,3
PZSc13 12/06/07	2,33	1,5	< LQ	2,7	65	1,5	< LQ	< LQ	7,2	< LQ	< LQ	< LQ	2,1
PZSa26 13/06/07	5,68	0,7	3	5,4	410	0,2	0,02	0,6	8,3	3	< LQ	< LQ	350,8
PZSc16 13/06/07	2,39	1,2	2	4,6	100	< LQ	< LQ	< LQ	7,6	3	< LQ	< LQ	68,7
PZSc22 12/06/07	< LQ	0,6	2	2,5	< LQ	< LQ	< LQ	38,6	10,4	20	< LQ	< LQ	33,8
PZSc9 13/06/07	< LQ	< LQ	2	3,1	< LQ	< LQ	< LQ	65,1	10,9	< LQ	< LQ	< LQ	24,8
Seine amont 13/06/07	< LQ	2,6	4	4	3	< LQ	0,09	22,4	13,9	< LQ	0,1	< LQ	40,9
Seine aval 13/06/07	< LQ	2,5	3	4	2	< LQ	0,08	22,8	12,3	< LQ	< LQ	< LQ	40,8
Voulzie 13/06/07	< LQ	3,1	3	5,1	12	0,2	0,21	37,2	13,7	< LQ	0,2	< LQ	34,9

	*SiO2 (Silice)	*Sr (Strontium)	*Zn (Zinc)	CO3 (Carbonates)	HCO3 (Bicarbonate s)	Rubidium
	0,5	10	5	5	5	0,1
	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l
PZSa37 13/06/07	10,6	268	< LQ	< LQ	333	1,15
PZSa16 12/06/07	9,8	298	< LQ	< LQ	299	1,24
PZSa02 12/06/07	8,6	351	< LQ	< LQ	281	0,44
PZSa20 12/06/07	11,6	296	< LQ	< LQ	288	1,37
PZSa21 12/06/07	8,6	234	< LQ	< LQ	214	
PZSa38 13/06/07	7,3	288	< LQ	< LQ	333	0,23
PZSa41 13/06/07	9,5	293	< LQ	< LQ	254	1,76
PZSa48 13/06/07	10,7	265	< LQ	< LQ	248	0,79
PZSa61 12/06/07	11	330	< LQ	< LQ	440	
PZSa65 13/06/07	10,5	312	< LQ	< LQ	308	
PZSa05 12/06/07	9,5	341	< LQ	< LQ	297	
PZScH3 12/06/07	7,3	247	< LQ	< LQ	231	
PZScH4 13/06/07	9,6	297	< LQ	< LQ	349	0,36
PZSc11 12/06/07	9,3	271	< LQ	< LQ	278	
PZSc13 12/06/07	9,6	216	< LQ	< LQ	223	
PZSa26 13/06/07	8	658	< LQ	< LQ	344	
PZSc16 13/06/07	9,2	334	< LQ	< LQ	348	0,64
PZSc22 12/06/07	8,6	246	10	< LQ	332	0,35
PZSc9 13/06/07	10,5	269	< LQ	< LQ	257	0,56
Seine amont 13/06/07	6,9	285	< LQ	< LQ	220	1,42
Seine aval 13/06/07	7	275	< LQ	< LQ	225	0,37
Voulzie 13/06/07	10,6	196	< LQ	< LQ	295	

Annexe 3

Résultats des analyses de micropolluants organiques

Impact sur la qualité de la ressource en eau du surstockage à la Bassée

	Mécoprop	Métamitron e	Métoxuron	Métribuzin e	Métsulfuro n Méthyle	Napropami de	Nicosulfuro n	Néburon	Penconazo le	Pentachlor ophénol	Phosalone	Piperonyl butoxyde	Propazine	Propoxur	Sébutylazi ne
	0,05 µg/l	0,05 µg/l	0,025 µg/l	0,025 µg/l	0,05 µg/l	0,05 µg/l	0,2 µg/l	0,05 µg/l	0,05 µg/l	0,3 µg/l	0,05 µg/l	0,05 µg/l	0,025 µg/l	0,05 µg/l	0,025 µg/l
PZSa37 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa16 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa02 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa20 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa21 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa38 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa41 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa48 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa61 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa65 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa05 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZScH3 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZScH4 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSc11 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSc13 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa26 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSc16 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSc22 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSc9 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Seine amont 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Seine aval 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Voulzie 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ

	Tebuconaz ole	Thiabenda zole	Trichlopyr	Tétraconaz ole
	0,05 µg/l	0,05 µg/l	0,05 µg/l	0,05 µg/l
PZSa37 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa16 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa02 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa20 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa21 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa38 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa41 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa48 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa61 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa65 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa05 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZScH3 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZScH4 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSc11 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSc13 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSa26 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSc16 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSc22 12/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PZSc9 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Seine amont 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Seine aval 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Voulzie 13/06/07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ



**Centre scientifique et technique
Service EAU/GRI**

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34