

Programme ACTA 04-08
« boisements et pollutions diffuses »
Aide à l'interprétation des données
BV de la Fontaine du Theil (35)

Rapport final

BRGM/RP-55628-FR
juin 2007

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2007 EAU A14

B. Mougin

Vérificateur :

Nom : Anne CARN

Date : 29/06/2007

(Original signé)

Approbateur :

Nom : Michel LECLERCQ

Date : 02/07/2007

(Original signé)

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



Mots clés : eau souterraine, piézomètres, analyses chimiques, boiselements et pollutions diffuses, hydrogéologie, Ille-et-Vilaine, Bretagne.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : B. MOUGIN (2007) - Programme ACTA 04-08 « boiselements et pollutions diffuses » - Aide à l'interprétation des données - BV de la Fontaine du Theil (35) - Rapport final - BRGM/RP-55628-FR - 39 p., 21 ill.

Synthèse

L'Institut pour le Développement Forestier (IDF), Service d'Utilité Forestière du CNPPF, pilote depuis février 2004 un programme de recherches inter-instituts, subventionné par l'ACTA (Association de Coordination Technique Agricole), intitulé : « Boisements et Pollutions Diffuses - Rôle protecteur ou épurateur des boisements linéaires ou en plein à l'égard des pollutions diffuses » (ACTA 04-08). Le BRGM a été sollicité par l'IDF pour être sous-traitant dans ce programme subventionné par l'ACTA.

Le travail demandé porte sur différents services associés à la caractérisation géologique et hydrogéologique de deux zones d'étude : le bassin versant de la Fontaine du Theil en Ille-et-Vilaine, et le site de Talmont-Saint-Hilaire en Vendée.

Le site vendéen a fait l'objet de conclusions reportées dans le rapport BRGM/RP-54313-FR. Ce document constitue le rapport final de l'étude du site du bassin versant de la Fontaine du Theil.

Au niveau de ce bassin versant, l'étude hydrogéologique, qui s'est notamment appuyée sur des données existantes du CEMAGREF et de l'IDF (chimie et piézométrie), a montré que :

- la formation géologique (schistes briovérien métamorphiques) est assez favorable aux écoulements souterrains ;
- les altérites sont très présentes sur tout le bassin versant (au moins 6 m d'épaisseur près de la vallée) ;
- des coupes piézométriques ont été réalisées au droit de deux transects (Centre et Sud du bassin) en représentant les niveaux les plus hauts et les plus bas. Ces coupes ont mis en évidence que la rivière draine la nappe car les écoulements souterrains se font des plateaux vers la vallée ;
- les teneurs en nitrates des eaux souterraines ont tendance à augmenter en hiver et à diminuer en été. Ceci s'explique par deux aquifères superposés en relation :
 - ❖ en hiver, par une recharge de la nappe des altérites par les pluies d'hiver laissant s'infiltrer un polluant nitraté jusqu'à la nappe (les teneurs sont d'environ 80 mg/l) ;
 - ❖ en été, par une alimentation de la nappe via l'aquifère du milieu fissuré sous-jacent qui apporte des teneurs plus faibles (une dénitrification naturelle possible entraînerait des teneurs plus faibles : 0-20 mg/l).

Des phénomènes de dénitrification autotrophe sont supposés (diminution des nitrates et augmentation des sulfates) au niveau de plusieurs piézomètres situés principalement à proximité de la rivière (1 à 10 m) mais également sur la pente du versant Est du bassin versant (à 115 m de la rivière).

La participation prépondérante en étiage des eaux souterraines, dénitrifiées par endroit sur le bassin versant, expliquerait l'abatement de 30 mg/l des teneurs en nitrates dans la rivière du Theil entre l'hiver et l'été (passage de 80 à 50 mg/l).

A la suite de cette étude, il serait intéressant de mieux comprendre le phénomène de dénitrification (influence des berges du cours d'eau ou du sous-sol pyriteux), d'apprécier l'importance du phénomène sur le bassin versant, et enfin d'examiner son poids sur la qualité de l'eau de la rivière.

Sommaire

1. Contexte et objectifs	7
1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE	7
1.2. OBJECTIFS	7
2. Rappel des conclusions des années 2004 et 2005, sur le site de la Fontaine du Theil	9
2.1. LOCALISATION ET GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT	9
2.1.1. Localisation du bassin versant	9
2.1.2. Contexte géologique	9
2.2. EQUIPEMENTS EN PLACE SUR LE SITE	12
2.2.1. Piézomètres anciennement suivis par le Cemagref	12
2.2.2. Piézomètres réalisés par l'IDF	14
2.3. RESULTATS OBTENUS LORS DES ANNEES 2004 ET 2005.....	16
3. Récupération puis analyse des chroniques piézométriques	17
3.1. DONNEES RECUPEREES LORS DES ANNEES 2005-2005.....	17
3.2. CAMPAGNES DE RECUPERATION DES DONNEES PIEZOMETRIQUES EN 2006-2007	17
3.2.1. Mission de terrain d'avril 2006	17
3.2.2. Mission de terrain de février 2007	18
3.2.3. Données piézométriques de l'IDF.....	21
3.3. INTERPRETATION DES CHRONIQUES PIEZOMETRIQUES	23
3.3.1. Données du CEMAGREF	23
3.3.2. Données de l'IDF	26
4. Interprétation des analyses chimiques sur les eaux souterraines	29
4.1. DONNEES CHIMIQUES DU CEMAGREF	29
4.2. DONNEES CHIMIQUES DE L'IDF	33
5. Conclusion	37
6. Bibliographie	39

Liste des illustrations

Illustration 1 - Localisation du bassin versant de la Fontaine du Theil.....	10
Illustration 2 - Contexte géologique du bassin versant de la Fontaine du Theil.....	11
Illustration 3 - Caractéristiques des piézomètres suivis par le CEMAGREF.....	12
Illustration 4 - Localisation des piézomètres anciennement suivis par le Cemagref.....	13
Illustration 5 - Plans de localisation des 16 sondages d'IDF.....	15
Illustration 6 - Informations et relevés de la campagne piézométrique du 14 avril 2006.....	18
Illustration 7 - Informations et relevés de la campagne piézométrique du 20 février 2007.....	19
Illustration 8 - Suivi piézométrique sur le bassin versant de la Fontaine du Theil (piézomètres anciennement suivis par le Cemagref).....	20
Illustration 9 - Suivi piézométrique sur le bassin versant de la Fontaine du Theil (piézomètres suivis par l'IDF).....	21
Illustration 10 - Suivi piézométrique mensuel sur le bassin versant de la Fontaine du Theil (piézomètres suivis par l'IDF).....	22
Illustration 11 - Battement de la nappe au niveau des 9 piézomètres du CEMAGREF.....	23
Illustration 12 - Coupe piézométrique des 2 transects de piézomètres du CEMAGREF.....	25
Illustration 13 - Battement de la nappe au niveau des 12 piézomètres de l'IDF.....	26
Illustration 14 - Suivi des teneurs en nitrates du CEMAGREF à St-Léger.....	30
Illustration 15 - Teneurs moyennes en nitrates des eaux souterraines.....	30
Illustration 16 - Concentrations en nitrates à l'exutoire et aux sources du bassin versant de la Fontaine du Theil (données CEMAGREF).....	31
Illustration 17 - Localisation des secteurs dénitrifiés sur les piézomètres du CEMAGREF.....	33
Illustration 18 - Suivi des teneurs en nitrates de l'IDF à St-Léger.....	34
Illustration 19 - Teneurs moyennes en nitrates des eaux souterraines (site IDF).....	34
Illustration 20 - Suivi des teneurs en sulfates de l'IDF à St-Léger.....	35
Illustration 21 - Localisation des secteurs dénitrifiés sur le site IDF.....	36

1. Contexte et objectifs

1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE

L'Institut pour le Développement Forestier (IDF), Service d'Utilité Forestière du CNPPF, pilote depuis février 2004 un programme de recherches inter-instituts, subventionné par l'ACTA (Association de Coordination Technique Agricole), et nommé : « Boisements et Pollutions Diffuses - Rôle protecteur ou épurateur des boisements linéaires ou en plein à l'égard des pollutions diffuses » (ACTA 04-08).

Dans le cadre de ce programme, l'IDF sollicite le Service Géologique Régional Bretagne du BRGM dans ses domaines de compétences.

Les prestations envisagées se déroulent sur deux secteurs :

- bassin versant de la Fontaine du Theil en Ille-et-Vilaine (Bretagne),
- le site de Talmont-Saint-Hilaire en Vendée (Pays de Loire).

Le travail a porté sur différents services associés à la caractérisation géologique et hydrogéologique des deux zones d'étude.

Les missions se sont déroulées de 2004 à 2007.

1.2. OBJECTIFS

Un contrat d'entreprise a été signé le 30 avril 2004 entre l'IDF et le BRGM afin de formaliser les termes et conditions par lesquels le BRGM s'engageait à réaliser le travail suivant sur le secteur du bassin versant de la Fontaine du Theil (35) :

- recherches dans la banque des données du sous-sol des sondages et piézomètres existants dans le bassin versant ou à proximité ; analyse des données existantes pour la même formation géologique ;
- aide à l'implantation de 36 piézomètres (6 forages prévus sur 6 sites) ,
- interprétation géologique des terrains traversés par ces forages (2 à 4 m de profondeur) ;
- analyse des chroniques piézométriques et chimiques de l'étude ;
- participation aux réunions d'avancement du projet.

Le site de Talmont-Saint-Hilaire en Vendée ne figurait pas sur cette 1^{ère} demande.

Suite à des changements d'organisation territoriale survenus à l'IDF en 2004, le BRGM et l'IDF ont été amenés, lors d'une réunion le lundi 14 mars 2005 à Orléans, à redéfinir le contenu technique de la prestation, pour l'adapter à la nouvelle situation.

En conséquence, la prestation demandée au BRGM a été décrite de la façon suivante dans un courrier en date du 31 mars 2005 :

- BV de la Fontaine du Theil (35) : récupération des dernières données du Cemagref (piézométrie et chimie), interprétation et mise à jour d'une note technique ;
- Site de Talmont (85) : aide à l'interprétation des données ;
- Participation aux réunions d'avancement du projet ACTA et présentation des résultats BRGM ;
- Rapport d'avancement de l'étude à fin 2005.

Sur ce dernier point, le rapport d'avancement BRGM/RP-54313-FR a été envoyé à l'IDF en décembre 2005.

Une réunion entre le BRGM et l'IDF s'est tenue à Rennes le 11 janvier 2006 pour programmer le contenu technique de la mission 2006-2007. A l'issue de cette réunion, il a été convenu que le BRGM devait travailler sur les points suivants :

- sur le BV de la Fontaine du Theil (35) : campagnes de relevé et rapatriement des données stockées dans les 9 piézomètres du CEMAGREF, puis dépouillement (avril 2006 et février 2007),
- participation aux réunions d'avancement du projet ACTA,
- aide à l'interprétation des données piézométriques et chimiques (BV de la Fontaine du Theil),
- rapport final de l'étude BRGM sur ce BV.

Ce document, qui vient compléter le rapport BRGM/RP-54313-FR, est donc le rapport final de l'étude et traite uniquement du site du BV de la Fontaine du Theil (35).

2. Rappel des conclusions des années 2004 et 2005, sur le site de la Fontaine du Theil

Les rappels et conclusions sont issus du rapport d'avancement BRGM/RP-54313-FR de décembre 2005.

2.1. LOCALISATION ET GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT

2.1.1. Localisation du bassin versant

Le bassin versant de la Fontaine du Theil est situé au Nord de l'Ille-et-Vilaine, à l'Est de la ville de Combourg.

Ce bassin, d'une superficie de 1.28 km² (cf. illustration 1 page suivante), s'étend sur les communes de Saint-Léger-des-Prés (à l'Ouest), Marcillé-Raoul (à l'Est), Noyal-sous-Bazouges (au Nord).

La zone d'étude fait partie du bassin versant du Couesnon (J013) de la Tamout (incluse) à Loisançe (exclue).

Elle bénéficie d'infrastructures existantes (station limnimétrique, station météorologique, piézomètres) et de 5 années de mesures.

2.1.2. Contexte géologique

Le contexte géologique du bassin versant est précisé sur l'illustration 2.

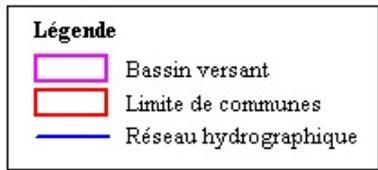
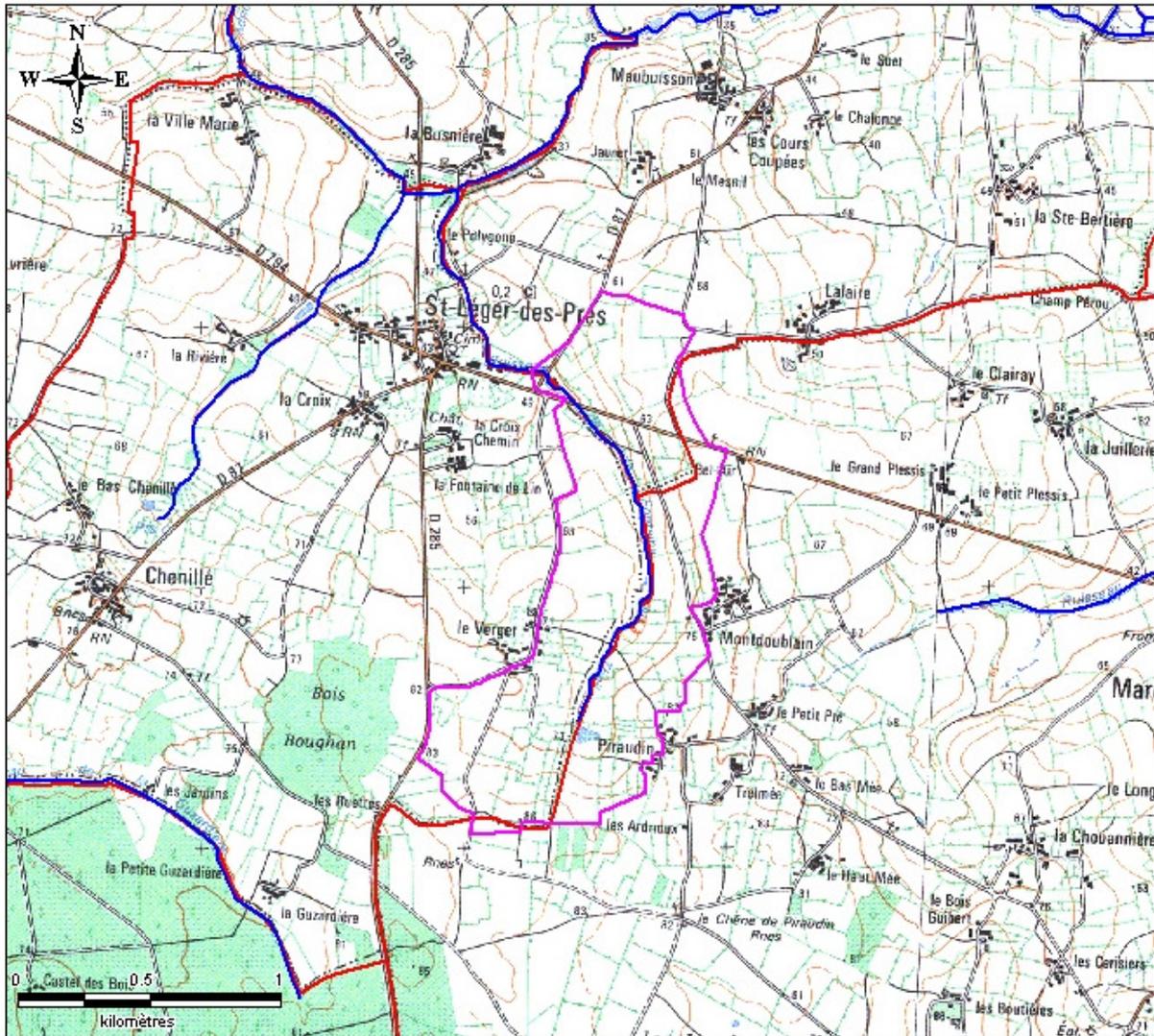


Illustration 1 - Localisation du bassin versant de la Fontaine du Theil

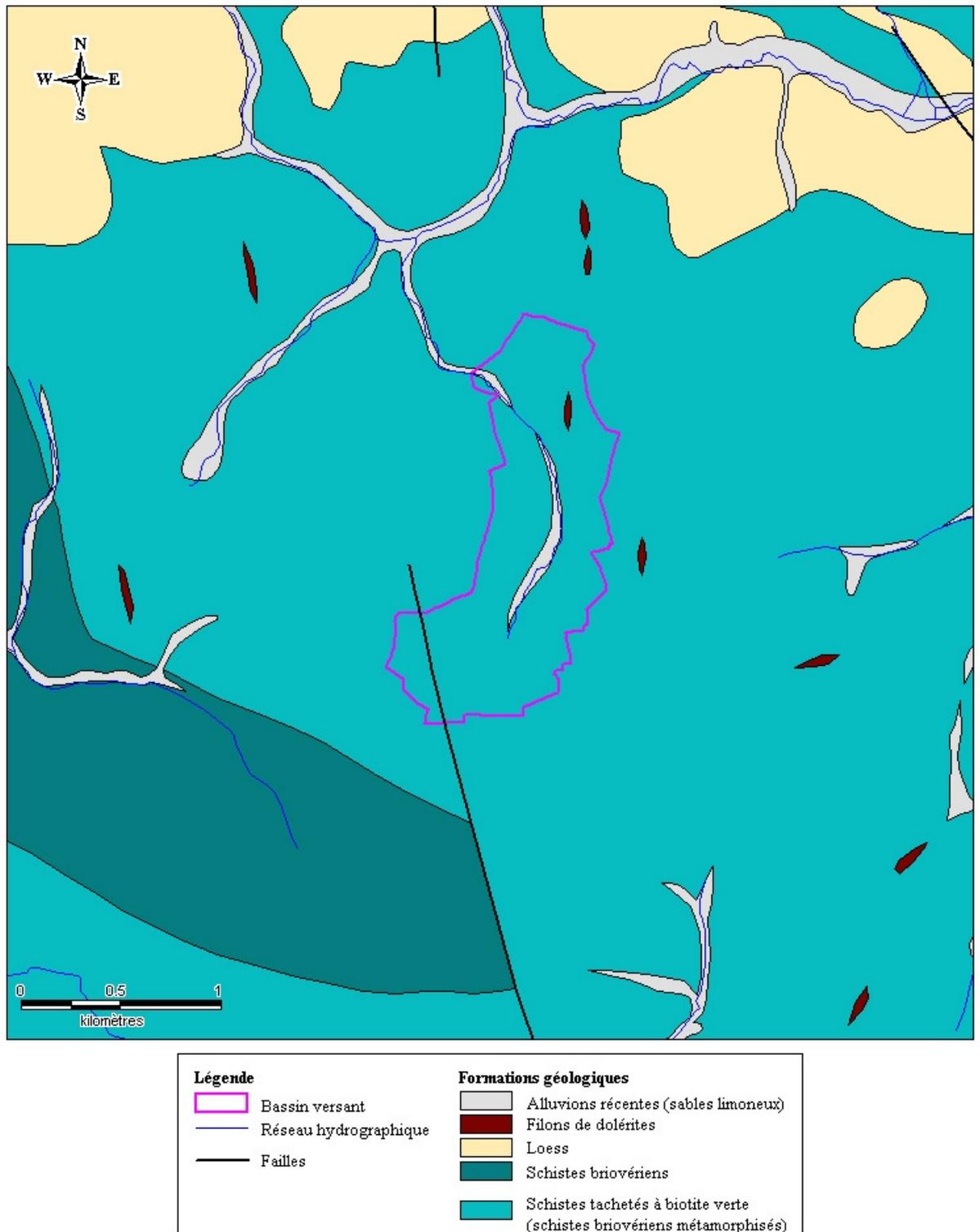


Illustration 2 - Contexte géologique du bassin versant de la Fontaine du Theil

Les informations suivantes sont extraites de la notice géologique de la carte au 1/50 000 de Combours (n°282)

- Roche saine : (Formation de type Normand) alternances argilites, siltites et wackes (dépend de la grosseur des grains et des proportions grain/matrice). Les argilites sont tendres, gris sombre, parfois massives, et beiges à l'altération. Les siltites sont plus claires et peuvent être aussi massives. Les wackes sont rugueuses et massives, gris clair à verdâtre ou brunâtre.
- Roche métamorphique : schistes tachetés à biotite verte, cordiérite ; thermométamorphisme : briovérien métamorphisé au contact des granitoïdes cadomiens
- Loess (limons des plateaux)
- filons de dolérites (lieux-dits : Jaunel, La Croix Chemin, Montdoublain)
- alluvions récentes : sables limoneux en fond de vallée
- zone faillée au Sud-Ouest du bassin versant

2.2. EQUIPEMENTS EN PLACE SUR LE SITE

Ce chapitre ne décrit que les équipements en place permettant un suivi du niveau de la nappe (piézomètres) et des prélèvements pour analyses d'eau souterraine.

2.2.1. Piézomètres anciennement suivis par le Cemagref

Le CEMAGREF a suivi la réalisation de 6 piézomètres en février 2001, puis de 3 ouvrages supplémentaires en octobre 2003. Leurs caractéristiques sont rassemblées dans l'illustration 3 ci-dessous :

Nom	X (m)	Y (m)	Profondeur (m)	Diam foration (mm)	Diam tubage (mm)	Diam pré-tubage (mm)
PZ1	305839	2384051	13	100	63	200 PVC
PZ2	305740	2384029	12	100	63	200 PVC
PZ3	305627	2384009	7	100	63	200 PVC
PZ4	305619	2384010	6	100	63	200 PVC
PZ5	305492	2384001	12	100	63	200 PVC
PZ6	305371	2383998	7	100	63	200 PVC
PZ7	305318	2383298	15	115	90	200 acier
PZ8	305285	2383169	10	115	90	200 acier
PZ9	305262	2383058	4	115	90	200 acier

Illustration 3 - Caractéristiques des piézomètres suivis par le CEMAGREF

L'illustration 4 montre la localisation de ces 9 piézomètres.

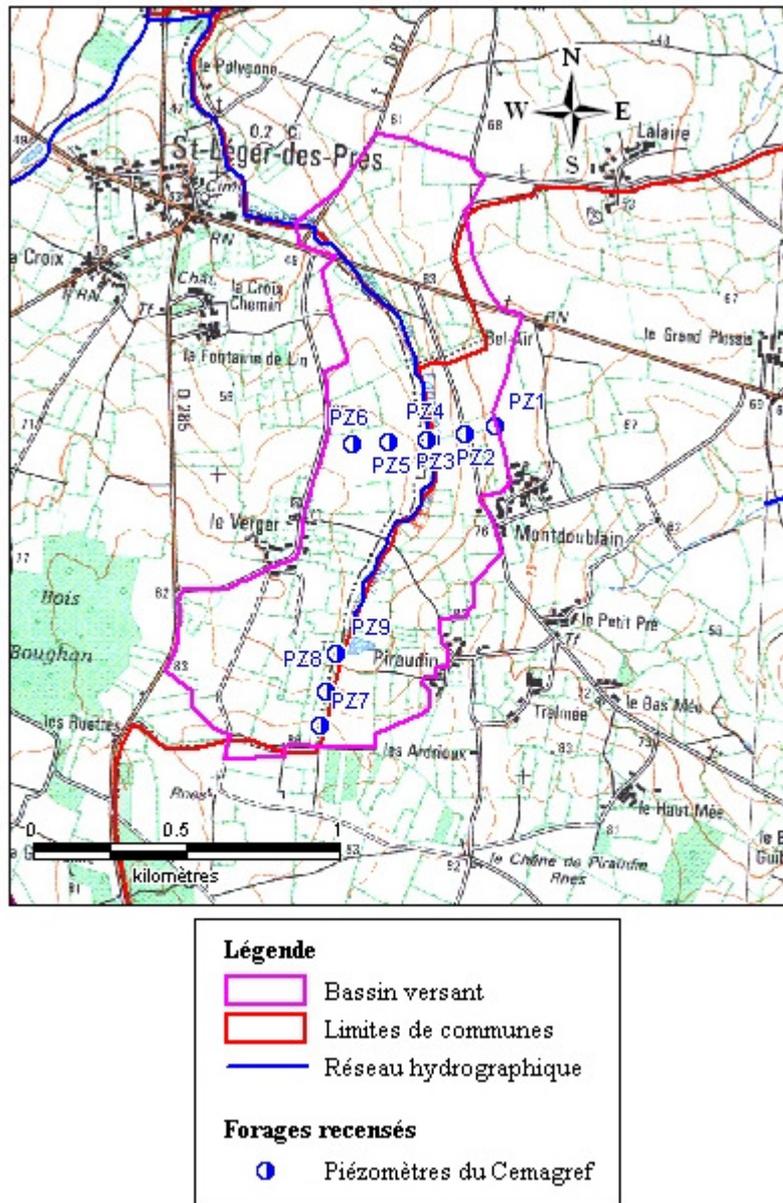


Illustration 4 - Localisation des piézomètres anciennement suivis par le Cemagref

Ces ouvrages sont isolés hydrauliquement en surface : par un bouchon de bentonite et par une plaque de PVC de 0,5 x 0,5 mètres, à 5 cm sous la surface du sol. Par ailleurs, ils sont crépinés sur les 2/3 de leur hauteur et équipés d'un massif filtrant en silice. En surface, un tubage PVC ou acier est posé ou fixé sur le sol et recouvre ainsi le tubage du piézomètre proprement dit.

Dans ce bassin et dans le cadre du programme européen AGRI BMP Water et du Contrat de Plan Etat Région, le CEMAGREF a installé des centrales de mesures sur les 9 piézomètres propriété d'ARVALIS-Institut du végétal.

En janvier 2002, le CEMAGREF a équipé les 6 premiers piézomètres avec un capteur de pression (et température) et une centrale d'acquisition pour l'enregistrement en continu du niveau piézométrique (sondes de pression MADOFIL V2.0 de chez IRIS Instrument). Les 3 derniers piézomètres ont été équipés en janvier 2004.

Ces ouvrages ne sont plus relevés depuis novembre 2004, suite à la restructuration de l'unité GERE du CEMAGREF.

Une convention, signée entre l'IDF, le CEMAGREF et le BRGM, intitulée « Convention pour une mise à disposition de matériel technique sur le bassin versant de la Fontaine du Theil à Saint-Léger-des-Près (35) » a été rédigée en novembre 2005. Elle a permis d'assurer le suivi des relevés et mesures sur les 9 piézomètres.

Cette convention a pour objet de fixer les règles d'une mise à disposition par le CEMAGREF et ARVALIS-Institut du végétal (propriétaire des forages) à l'IDF, de ces 9 piézomètres, des centrales de mesures et du matériel afférent, ainsi que les modalités de leur exploitation par le BRGM, pour le compte de l'IDF. Cette mise à disposition n'a fait l'objet d'aucune contrepartie financière.

2.2.2. Piézomètres réalisés par l'IDF

La réalisation de 16 sondages de reconnaissance s'est déroulée en juin 2005 avec une sondeuse à la tarière de diamètre 63 mm de l'entreprise SACATRA. 15 de ces sondages ont été équipés et transformés en piézomètres (le piézomètre I a été rebouché).

L'objectif de ces piézomètres, disposés au niveau de la bande enherbée en bordure de rivière (cf. illustration 5), est le suivi du pouvoir épurateur des saules (nitrates notamment). Ces saules constituent une haie en face des piézomètres 1-2-3-4-5-6-15.

Les piézomètres ont tous une profondeur de 6 m et ils ont été tubés avec du PVC plein et crépiné en diamètre 51-60 mm (intérieur-extérieur) (crépines sur le dernier mètre).

Les piézomètres 1-2-3 et 7-8-9 ont été équipés de sondes automatiques BaroDiver.

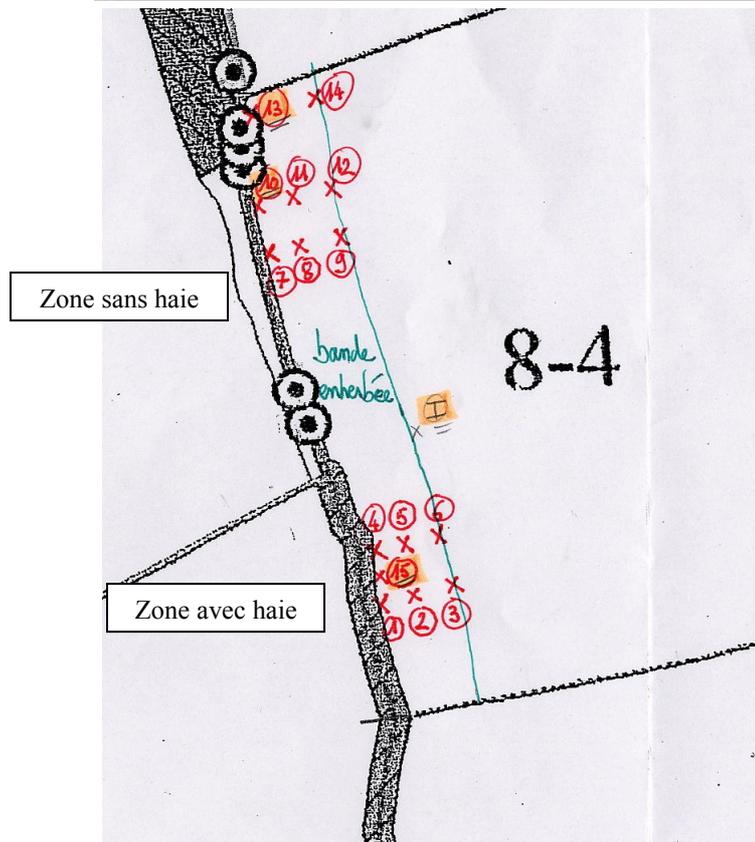
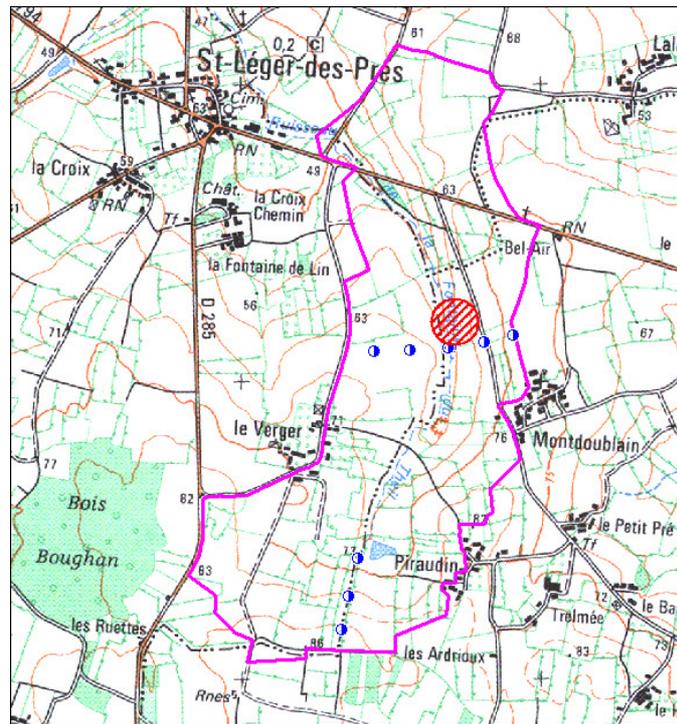


Illustration 5 - Plans de localisation des 16 sondages d'IDF

2.3. RESULTATS OBTENUS LORS DES ANNEES 2004 ET 2005

L'étude hydrogéologique, qui s'est notamment appuyée sur des données existantes du CEMAGREF (chimie et piézométrie), a montré que :

- la formation géologique (schistes briovérien métamorphiques) est assez favorable aux écoulements souterrains ;
- les altérites sont très présentes sur tout le bassin versant (au moins 6 m d'épaisseur près de la vallée, épaisseurs plus importantes au niveau des plateaux en limite de BV) ;
- des coupes piézométriques ont été réalisées au droit de deux transects de piézomètres anciennement suivis par le CEMAGREF (Centre et Sud du bassin) en représentant les niveaux les plus hauts et les plus bas. Ces coupes ont mis en évidence que la rivière draine la nappe car les écoulements souterrains se font des plateaux vers la vallée ;
- les teneurs en nitrates des eaux souterraines ont tendance à augmenter en hiver et à diminuer en été. Ceci s'explique par deux aquifères superposés en relation : en hiver la nappe des altérites chargée en nitrates se remplit (environ 80 mg/l), tandis qu'à l'étiage l'influence du milieu fissuré sous-jacent devient prépondérante (une dénitrification supposée entraînerait des teneurs plus faibles : 10-30 mg/l).

Ces conclusions devaient être étoffées et précisées au cours des années 2006-2007.

3. Récupération puis analyse des chroniques piézométriques

3.1. DONNEES RECUPEREES LORS DES ANNEES 2005-2005

Le BRGM avait obtenu auprès du CEMAGREF en mai-juin 2004 puis en mai-juin 2005, les données suivantes concernant les 9 piézomètres existants :

- chroniques piézométriques hebdomadaires du 21/02/2001 au 18/11/2004 (Pz1 à 6, années 2001-2002-2003-2004),
- chroniques piézométriques hebdomadaires du 28/01/2004 au 18/11/2004 (Pz7 à 9, année 2004).

Par ailleurs, en juillet et en octobre 2005, le BRGM a récupéré les données enregistrées (suivi de la profondeur de la nappe) au niveau des sondes MADOFIL équipant les 9 ouvrages anciennement suivis par le CEMAGREF : chroniques horaires du 13/01/2005 au 19/10/2005.

3.2. CAMPAGNES DE RECUPERATION DES DONNEES PIEZOMETRIQUES EN 2006-2007

3.2.1. Mission de terrain d'avril 2006

Le 14 avril 2006, le BRGM a mené une campagne de vidange des données et re-paramétrage de toutes les stations MADOFIL. Les informations recueillies sont précisées dans l'illustration 6. Le pas de temps d'acquisition a été confirmé à 1 mesure par heure.

Un relevé manuel des niveaux piézométriques des 9 ouvrages a été effectué à la sonde lumineuse.

Nom	Matériel	Tension piles (V)	N° de la station	N° dernières données	Date dernière mesure	Pas de temps
PZ1	MADOFIL	4.3	482	Data 1	19/10/2005 10h03	1h00
PZ2	MADOFIL	4.2	481	Data 2	19/10/2005 10h16	1h00
PZ3	MADOFIL	2.9	484	pas de données enregistrées	19/10/2005 10h26	1h00
PZ4	MADOFIL	2.5 / 4.7 (après chgt)	485	Data 3	19/10/2005 10h36	1h00
PZ5	MADOFIL	4.2	480	Data 2	19/10/2005 10h48	1h00
PZ6	MADOFIL	4.2	483	Data 2	19/10/2005 11h06	1h00
PZ7	MADOFIL	3.8	529	Data 2	19/10/2005 9h05	1h00
PZ8	MADOFIL	4.3	658	Data 3	19/10/2005 9h22	1h00
PZ9	MADOFIL		526	connexion impossible		

Nom	Profondeur (m)	NP/repère (m)	MADOFIL (m)	Dérive (m)	Date 1ère mesure	Pas de temps
PZ1	13	11.68	11.55	0.13	14/04/2006 9h02	1h00
PZ2	12	9.49	9.47	0.02	14/04/2006 9h20	1h00
PZ3	7	3.11	3.10	0.01	14/04/2006 9h36	1h00
PZ4	6	1.09	1.07	0.02	14/04/2006 10h12	1h00
PZ5	12	5.44	5.45	-0.01	14/04/2006 10h28	1h00
PZ6	7	4.44	4.35	0.09	14/04/2006 10h43	1h00
PZ7	15	8.32	12.36	-4.04	14/04/2006 11h16	1h00
PZ8	10	4.33	4.34	-0.01	14/04/2006 11h28	1h00
PZ9	4	1.30		?		

Illustration 6 - Informations et relevés de la campagne piézométrique du 14 avril 2006

Le dernier paramétrage avait eu lieu le 19 octobre 2005. Au niveau du Pz3, aucune mesure n'a pu être récupérée en raison d'un problème d'alimentation.

Une dérive a été observée au niveau du Pz7 (environ 4 m de décalage).

Les piles du matériel du piézomètre Pz4 ont été changées (3 piles 1.5V LR14) en raison d'un déchargement rapide inexplicable des piles (arrêt des mesures le 7 mars).

Malgré plusieurs tentatives, il était devenu impossible de communiquer avec le Pz9 (pas de récupération des données). La sonde de pression semblait endommagée, après contrôle elle comportait un peu de rouille et l'embout noir était cassé.

La rivière n'était pas à sec au droit du transect des Pz1 à 6.

Les données enregistrées ont ensuite été traitées et regroupées sur un même graphique (cf. chapitre 3.2.2.). Les niveaux mesurés par rapport aux repères (haut des tubages) ont été ramenés par rapport au sol, puis en cote NGF.

3.2.2. Mission de terrain de février 2007

Le 20 février 2007, le BRGM a mené une dernière campagne de vidange des données. Les informations recueillies sont précisées dans l'illustration 7. A cette occasion et comme convenu dans la convention Arvalis-CEMAGREF-IDF-BRGM, le matériel de suivi des niveaux de nappe a été retiré puis restitué au CEMAGREF.

Un relevé manuel des niveaux piézométriques des 9 ouvrages a été effectué à la sonde lumineuse.

Nom	Matériel	Tension piles (V)	N° de la station	N° dernières données	Date dernière mesure	Pas de temps
PZ1	MADOFIL	4.2	482	Data 2	14/04/2006 9h02	1h00
PZ2	MADOFIL	4.1	481	Data 4	14/04/2006 9h20	1h00
PZ3	MADOFIL	?	484	connexion impossible	-	1h00
PZ4	MADOFIL	4.1	485	pas de données enregistrées	14/04/2006 10h12	1h00
PZ5	MADOFIL	4.3	480	Data 3	14/04/2006 10h32	1h00
PZ6	MADOFIL	4.3	483	Data 3	14/04/2006 10h43	1h00
PZ7	MADOFIL	3.8	529	pas de données enregistrées	14/04/2006 11h16	1h00
PZ8	MADOFIL	3.9	658	Data 4	14/04/2006 11h28	1h00
PZ9	MADOFIL	?	526	connexion impossible	-	1h00

Nom	Profondeur (m)	NP/repère (m)	MADOFIL (m)	Dérive (m)	Date 1ère mesure	Pas de temps
PZ1	13	9.52	9.51	0.01	20/02/2007 9h29	1h00
PZ2	12	8.58	8.60	-0.02	20/02/2007 9h48	1h00
PZ3	7	2.56		?		1h00
PZ4	6	0.94	0.95	-0.01	20/02/2007 10h19	1h00
PZ5	12	5.05	5.06	-0.01	20/02/2007 10h43	1h00
PZ6	7	3.67	3.71	-0.04	20/02/2007 11h04	1h00
PZ7	15	7.77	7.78	-0.01	20/02/2007 11h38	1h00
PZ8	10	3.81	3.82	-0.01	20/02/2007 11h54	1h00
PZ9	4	1.09		?		1h00

Illustration 7 - Informations et relevés de la campagne piézométrique du 20 février 2007

Le précédent paramétrage avait eu lieu le 14 avril 2006. Au niveau du Pz3 aucune mesure n'a pu être récupérée en raison d'un problème d'alimentation. Au niveau des piézomètres Pz4 et Pz7 aucune mesure n'a pu être récupérée en raison d'un problème d'enregistrement.

Lors de la campagne de février 2007, la dérive observée précédemment au niveau du Pz7 ne s'est pas reproduite.

Au cours de cette campagne, il était impossible de communiquer avec le Pz9 (pas de récupération des données car sonde de pression endommagée). La communication était également impossible avec le Pz3 en raison du problème d'alimentation.

En février 2007, la rivière n'était pas à sec au droit du transect des Pz1 à 6.

Les données enregistrées ont ensuite été traitées et regroupées sur un même graphique (cf. illustration 8). Les niveaux mesurés par rapport aux repères (haut des tubages) ont été ramenés par rapport au sol, puis en cote NGF.

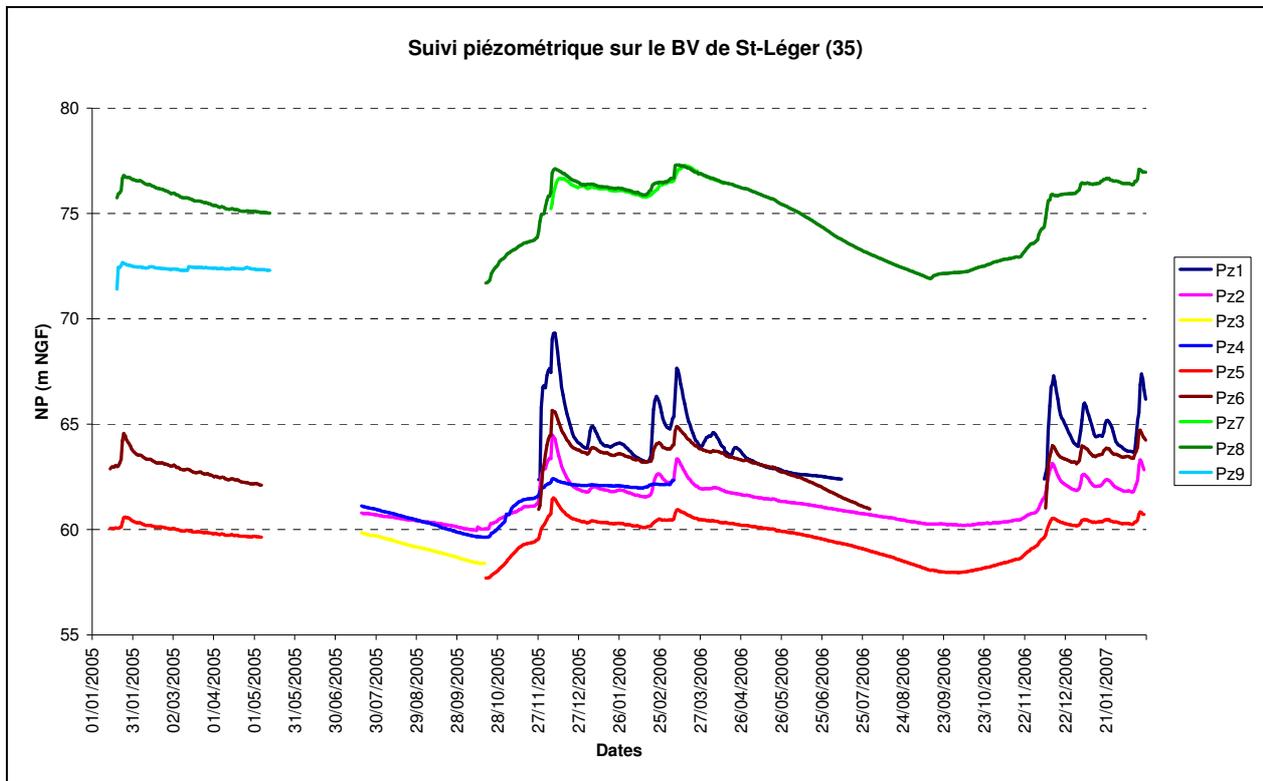


Illustration 8 - Suivi piézométrique sur le bassin versant de la Fontaine du Theil (piézomètres anciennement suivis par le Cemagref)

Les piézomètres Pz1 et Pz6, situés en limite de BV sur les plateaux, sont des ouvrages insuffisamment profonds pour mesurer un niveau de nappe en étiage car ils sont secs (ceci explique les interruptions des chroniques sur l'illustration 8).

Le piézomètre Pz9 n'enregistre plus de mesure depuis mai 2005 et le Pz3 depuis octobre 2005. Le Pz4 n'enregistre plus depuis mars 2006. Les données du Pz7 ont été recalées en raison de nombreuses dérives, les mesures ont stoppées depuis avril 2006. Les autres ouvrages (Pz2-5-8) ont des chroniques complètes d'octobre 2005 à février 2007.

L'illustration 8 montre 2 cycles de vidange et de recharge des nappes :

- le premier cycle de février 2005 à mars 2006 : tarissement régulier de la nappe entre février et octobre 2005, puis remontée des niveaux de novembre à mars,
- le second cycle se déroule d'avril 2006 à février 2007 : tarissement régulier de la nappe entre avril et septembre 2006, puis remontée des niveaux d'octobre à février.

3.2.3. Données piézométriques de l'IDF

Le BRGM a récupéré auprès de l'IDF en mai 2007 les chroniques piézométriques suivantes :

- chroniques piézométriques quasi-mensuelles du 06/07/2005 au 04/07/2006 (PZ1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15^(*)),
- chroniques piézométriques horaires du 19/10/2005 au 20/02/2007 (PZ1-2-3 et PZ7-8-9).

Les données enregistrées sur les deux transects PZ1-2-3 et PZ7-8-9 ont ensuite été traitées et regroupées sur un même graphique (cf. illustration 9). Les niveaux mesurés par rapport au sol ont été ramenés à une cote relative dépendant du niveau du sol au droit du piézomètre PZ1.

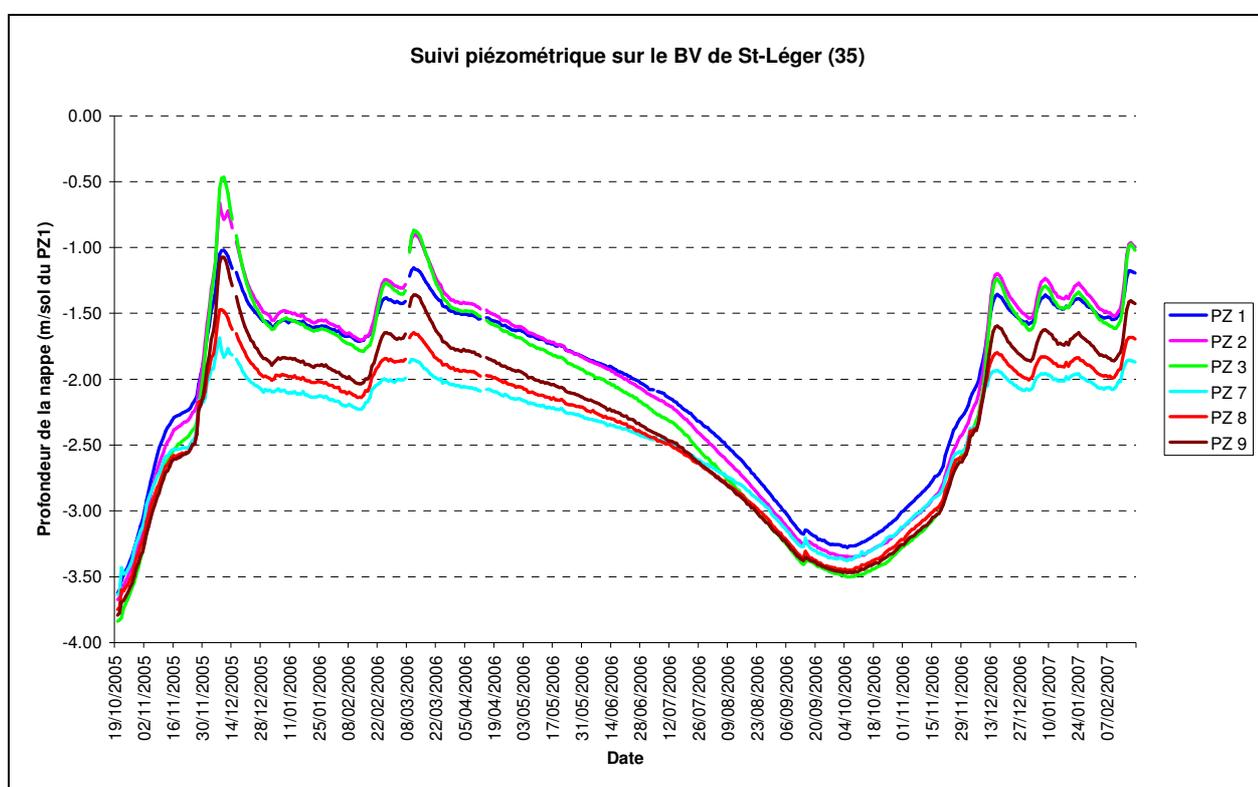


Illustration 9 - Suivi piézométrique sur le bassin versant de la Fontaine du Theil (piézomètres suivis par l'IDF)

(*) De façon à ne pas confondre les différents piézomètres situés sur le site du BV de la Fontaine du Theil, les ouvrages anciennement suivis par le CEMAGREF seront appelés Pz1 (lettre « z » en minuscule) et ceux de l'IDF PZ1 (lettre « z » en majuscule).

Aucune dérive n'a été observée au niveau des sondes automatiques BaroDiver.

Les variations piézométriques sont semblables à celles observées sur les ouvrages du CEMAGREF (cf. illustration 8). L'illustration 9 montre :

- la fin d'un cycle de vidange et de recharge des nappes : remontée des niveaux de novembre 2005 à mars 2006,
- un cycle complet qui se déroule d'avril 2006 à février 2007 : tarissement régulier de la nappe entre avril et septembre 2006, puis remontée des niveaux d'octobre à février.

Les données quasi-mensuelles des PZ13-14-15 n'ont pas été valorisées car on ne disposait pas de référence topographique. Les niveaux mesurés sur les autres piézomètres par rapport au sol ont été ramenés à une cote relative dépendant du niveau du sol au droit du piézomètre PZ1. Les données mesurées ont ensuite été regroupées sur un même graphique (cf. illustration 10).

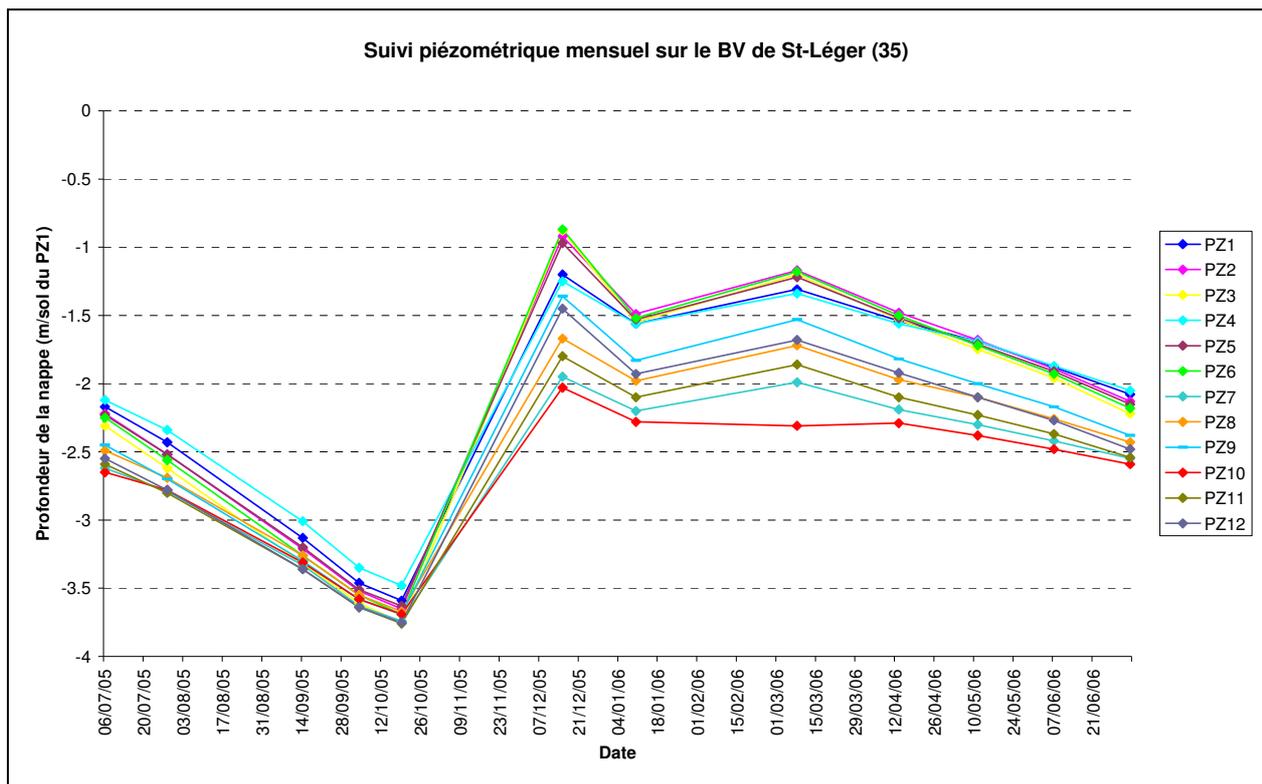


Illustration 10 - Suivi piézométrique mensuel sur le bassin versant de la Fontaine du Theil (piézomètres suivis par l'IDF)

A pas de temps plus large que les illustrations précédentes, l'illustration 10 montre :

- le tarissement régulier de la nappe entre juillet et octobre 2005, puis remontée des niveaux de novembre 2005 à mars 2006 (une partie du cycle appelé précédemment « premier cycle »),
- le tarissement régulier de la nappe entre avril et juillet 2006 (début du cycle appelé précédemment « second cycle »).

3.3. INTERPRETATION DES CHRONIQUES PIEZOMETRIQUES

3.3.1. Données du CEMAGREF

Les niveaux piézométriques mesurés et enregistrés par le CEMAGREF (2001 à 2007) ont permis de calculer le battement maximal de la nappe et son altitude moyenne au droit de chaque ouvrage. Ces résultats sont rassemblés dans l'illustration 11 ci-dessous (Pz7-8-9, années 2004 à 2007 uniquement).

Profondeur (m)	13	12	7	6	12	7	15	10	4
Piezomètres	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6	Pz7	Pz8	Pz9
NP mini (m/sol)	6.1	6.8	1.4	0.6	3.4	1.1	7.5	2.9	1.1
NP maxi (m/sol)	> 13 (sec)	11.7	6.1	4.1	8.7	> 7 (sec)	13.5	9.2	3.5
Battement maxi (m)	> 6.9	4.9	4.7	3.5	5.3	> 5.9	6	6.3	2.4
Altitude sol (m)	74.9	71	63.6	63	65.6	67.4	84.4	80.5	73.3
NP moyen (m/repère)	11	10	4.9	1.6	6.1	4.6	9.9	5.8	1.7
Repère (m/sol)	0.48	0.29	0.49	0.15	0.16	0.55	0.32	0.27	0.41
Altitude NP moyen (m)	64.4	61.3	59.2	61.6	59.7	63.4	74.8	75.0	72.0

Illustration 11 - Battement de la nappe au niveau des 9 piézomètres du CEMAGREF

Au niveau de chaque piézomètre, les altitudes du sol sont fournies par le MNT au pas de 5 m du CEMAGREF.

Les piézomètres apportent les informations suivantes :

- les piézomètres, profonds de 4 à 15 m, caractérisent surtout l'aquifère des altérites et sont toujours en eau (à l'exception des piézomètres Pz1 et Pz6 parfois secs en étiage car insuffisamment profonds) ;
- sur les plateaux (Pz1 et 6), le battement de la nappe est d'environ 6-7 m ;

- sur les pentes (Pz2 et 5), le battement de la nappe est en moyenne égal à 5 m ;
- au niveau de la vallée (Pz3 et 4), ce battement diminue à une moyenne de 4 m.

Au niveau de chacun des 2 transects, une coupe piézométrique a été réalisée (cf. illustration 12) en représentant les niveaux piézométriques les plus hauts (HE : hautes eaux) et les plus bas (BE : basses eaux).

Cette illustration permet de visualiser la profondeur et les sens d'écoulement de la nappe.

Profondeur de la nappe

Sur le transect Pz1 à 6, la nappe reste profonde (cf. NP mini du tableau) sur le versant Est (6-7 m) par rapport au versant Ouest (1 à 3 m). Au niveau de la vallée, les ouvrages proches de la rivière montrent un niveau de nappe proche du sol (1 m).

Le transect Pz7 à 9 montre de la même façon un niveau de nappe profond sur le plateau (7.5 m) et proche du sol dans la vallée (environ 1 m).

L'illustration 12 montre également qu'en période de basses eaux, les niveaux piézométriques descendent en dessous du fond de la rivière du Theil qui se retrouve ainsi à sec.

Sens d'écoulement

Sur le versant Est du transect Pz1 à 6, les écoulements se font systématiquement du plateau vers la vallée (l'altitude de la surface piézométrique étant plus élevée au niveau du plateau par rapport à la vallée). Sur le versant Ouest, on retrouve des écoulements du plateau vers la vallée mais entre les piézomètres Pz4 et Pz5, l'altitude de la nappe est proche de l'horizontale (les écoulements sont plus lents). En basses eaux, l'écoulement semble s'inverser et aller du Pz4 vers le Pz5. Il faut relativiser cette dernière remarque en raison de l'absence d'un nivellement exact du sol au droit des ouvrages (utilisation du MNT au pas de 5 mètres).

L'illustration 8 (page 20) montre le battement des niveaux de nappe en hautes et basses eaux, elle confirme le sens d'écoulement du Pz1 vers le Pz2 puis vers le Pz3 (différences d'altitude). Il en est de même pour le sens d'écoulement du Pz6 vers le Pz5. La chronique du Pz4 est trop courte pour donner des conclusions satisfaisantes.

Au niveau du transect Pz7 à 9, l'altitude du toit de la nappe est plus haute sur le plateau qu'au niveau de la vallée. Néanmoins, entre les piézomètres Pz7 et Pz8, l'altitude de la nappe est proche de l'horizontale (les écoulements sont plus lents).

L'illustration 8 confirme que les niveaux des piézomètres Pz7 et Pz8 sont très proches (superposition des courbes) et qu'ils sont supérieurs au Pz9.

Malgré ces différences locales de pente du niveau de nappe, les écoulements souterrains se font donc systématiquement des plateaux vers la vallée.

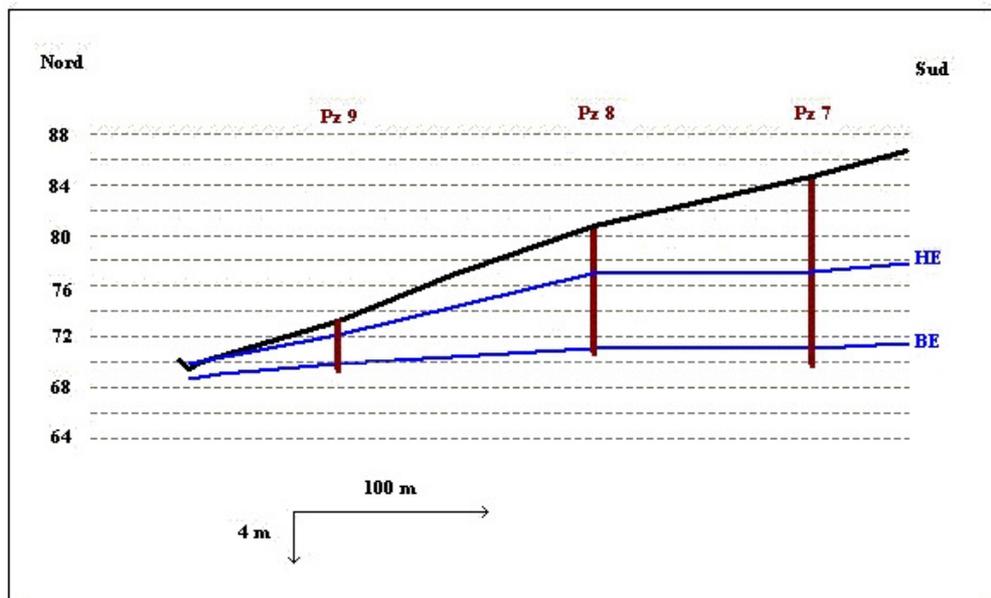
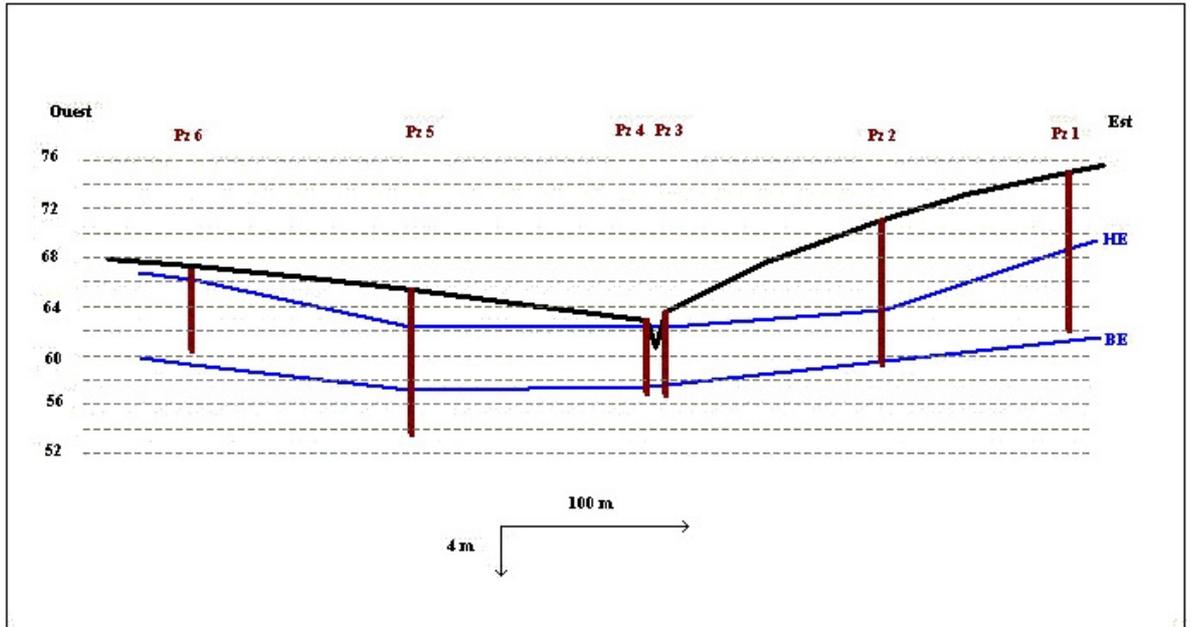


Illustration 12 - Coupe piézométrique des 2 transects de piézomètres du CEMAGREF

3.3.2. Données de l'IDF

Les niveaux piézométriques mesurés et enregistrés par l'IDF (2005 à 2007) ont permis de calculer l'altitude moyenne de la nappe au droit de chaque ouvrage. Ces résultats sont rassemblés dans l'illustration 13 ci-dessous (résultats nettement plus précis pour PZ1-2-3 et PZ7-8-9 en raison des données horaires ; données mensuelles pour les autres piézomètres).

Profondeur (m)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Repère (m/sol)	0.13	0.15	0.15	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Piézomètres	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ5	PZ6	PZ7	PZ8	PZ9	PZ10	PZ11	PZ12
Altitude sol (m/alti 0 PZ1)	0.00	0.30	0.79	0.00	0.23	0.71	-0.69	-0.37	0.20	-0.86	-0.62	0.01
NP moyen (m/sol)	-2.04	-2.34	-2.93	-2.14	-2.41	-2.89	-1.74	-2.02	-2.52	-1.84	-1.98	-2.50
Altitude NP moyen (m/alti 0 PZ1)	-2.04	-2.04	-2.14	-2.14	-2.18	-2.18	-2.43	-2.39	-2.32	-2.70	-2.60	-2.49

Illustration 13 - Battement de la nappe au niveau des 12 piézomètres de l'IDF

Au niveau de chaque piézomètre, les altitudes du sol ont été recalées par rapport à une altitude fictive au droit du PZ1 fixée à 0. Les altitudes ont été calculées à partir d'un plan topographique fourni par l'IDF.

Les illustrations 9 et 13 permettent d'approcher les sens d'écoulement de la nappe au droit des 4 transects : PZ1-2-3, PZ4-5-6, PZ7-8-9 et PZ10-11-12 (cf. illustration 5). On rappelle que les piézomètres sont disposés au niveau de la bande enherbée en bordure de rivière (en position proche du Pz3 du CEMAGREF), et que des saules constituent une haie en face des piézomètres PZ1-2-3-4-5-6.

Sur les deux transects situés en bordure de rivière sans haie (PZ7-8-9 et PZ10-11-12), les différences d'altitude des niveaux piézométriques moyens (cf. illustration 13) montrent que les écoulements souterrains se font vers la rivière : sens d'écoulement du PZ9 vers le PZ8 puis vers le PZ7, et PZ12-11-10.

Sur les deux transects situés en bordure de rivière avec haie (PZ1-2-3 et PZ4-5-6), les écoulements se font plus lentement et l'altitude de la nappe est proche de l'horizontale (altitudes très proches).

L'illustration 9 (page 21) montre des différences de sens d'écoulement en fonction de la période de l'année :

- en hautes eaux (hiver 2005-2006 et 2006-2007) les écoulements souterrains se font systématiquement vers la rivière : l'altitude du niveau piézométrique de PZ3 est supérieure à celle de PZ2 qui est supérieure à celle de PZ1, il en est de même dans le sens PZ9-8-7 ;
- en basses eaux l'écoulement semble s'inverser : les altitudes se resserrent en octobre 2005 et 2006.

Il faut relativiser cette dernière remarque en raison de l'absence d'un nivellement exact du sol au droit des ouvrages.

On peut donc retenir la conclusion que les écoulements souterrains se font vers la rivière du Theil.

4. Interprétation des analyses chimiques sur les eaux souterraines

4.1. DONNEES CHIMIQUES DU CEMAGREF

Le BRGM avait récupéré auprès du CEMAGREF en mai-juin 2004 puis en mai-juin 2005 les données suivantes concernant les 9 piézomètres existants :

- analyses chimiques hebdomadaires réalisées sur les prélèvements eaux souterraines (NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-}) du 29/01/2001 au 18/11/2004 (Pz1 à 6, années 2001-2002-2003-2004),
- analyses chimiques hebdomadaires réalisées sur les prélèvements eaux souterraines (NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-}) du 21/01/2004 au 18/11/2004 (Pz7 à 9, année 2004),
- analyses chimiques réalisées sur les prélèvements eaux souterraines (Cl^- , SO_4^{2-}) du 16/01/2003 au 28/08/2004 (Pz1 à 9, années 2003-2004),
- analyses chimiques hebdomadaires réalisées sur la rivière du Theil de janvier 1999 à mai 2003 (source et exutoire).

L'évolution des teneurs en nitrates mesurées de 2001 à 2004 sur l'eau souterraine des piézomètres Pz1 à 6 (et sur l'eau de surface de la rivière) sont représentées en illustration 14.

Les valeurs moyennes et extrêmes (minimum et maximum) sont rassemblées dans l'illustration 15 (l'historique des piézomètres Pz7-8-9 n'est pas suffisamment long).

L'évolution des teneurs en nitrates dans la rivière du Theil (source et exutoire) est représentée sur l'illustration 16. Le positionnement des points de prélèvements est situé sur l'illustration 17.

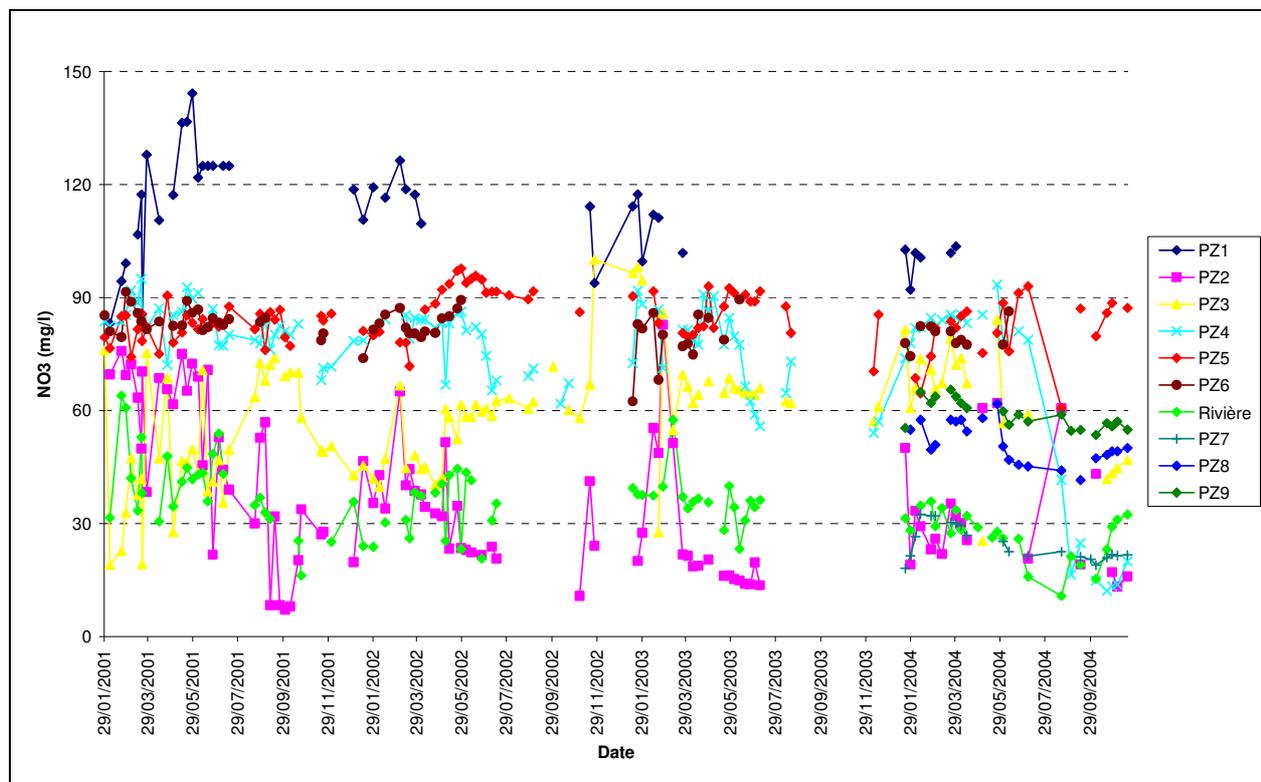


Illustration 14 - Suivi des teneurs en nitrates du CEMAGREF à St-Léger

NO3 (mg/l)	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
Moyenne	113	37	58	75	84	82
Minimum	83	7	19	12	61	62
Maximum	144	83	100	95	98	91.5

Illustration 15 - Teneurs moyennes en nitrates des eaux souterraines

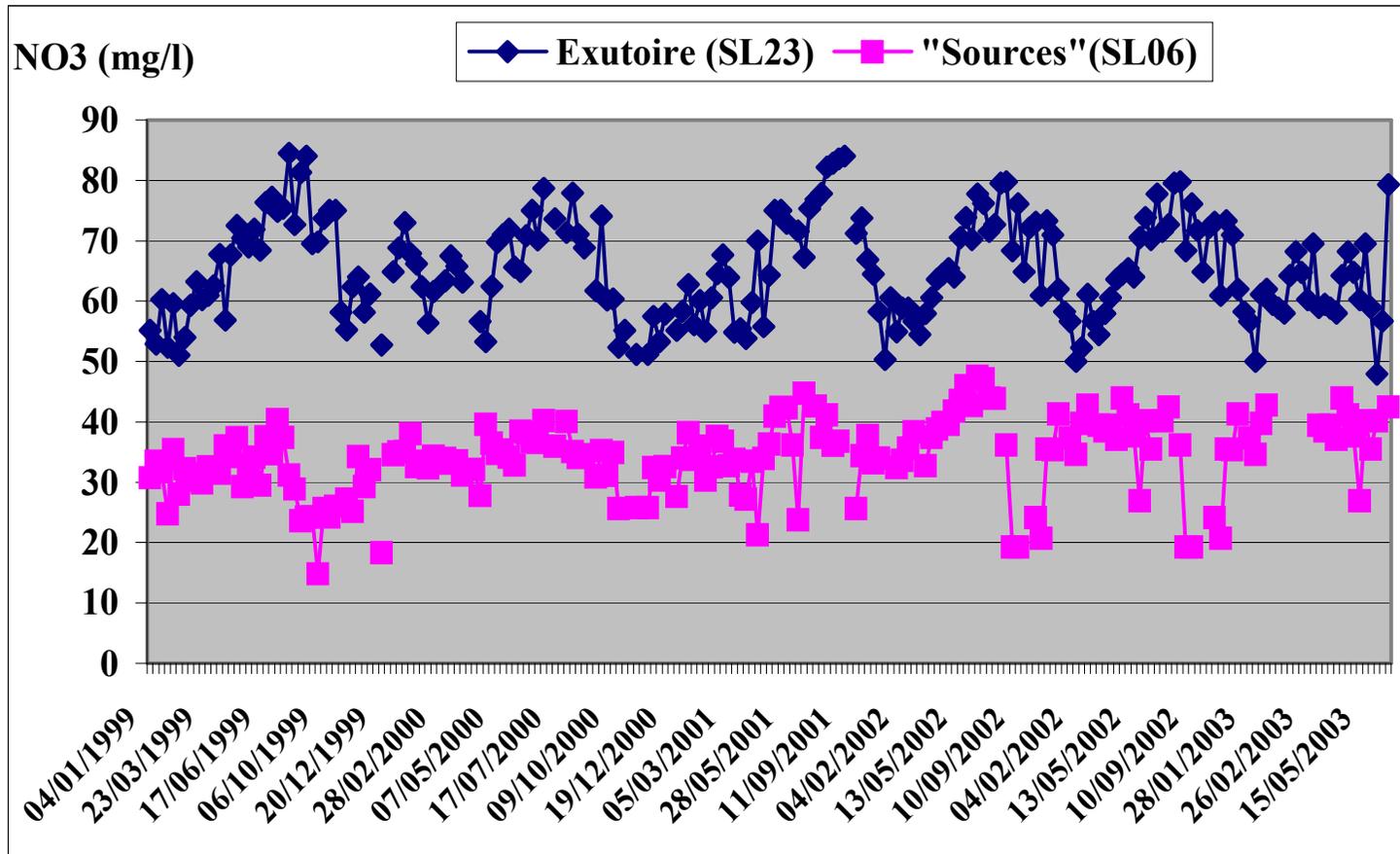


Illustration 16 - Concentrations en nitrates à l'exutoire et aux sources du bassin versant de la Fontaine du Theil (données CEMAGREF)

Les données du suivi chimique hebdomadaire de janvier 1999 à mai 2003 au niveau de la rivière (cf. illustration 16) montrent que les teneurs en nitrates à l'exutoire du bassin versant sont importantes : elles varient entre 50 et 80 mg/l. L'augmentation des teneurs semble se dérouler à chaque fin d'hiver, l'étiage montrant, quant à lui, une diminution des teneurs (visible aux étés 2001 et 2004 sur l'illustration 14).

L'augmentation est liée au ruissellement et aux eaux souterraines les moins profondes (aquifère des altérites) qui entraînent une charge en nitrates d'environ 80 mg/l. En étiage, les eaux souterraines plus profondes de l'horizon fissuré participent de façon prépondérante à l'écoulement de la rivière ; ces eaux semblent moins polluées puisque la teneur en nitrates du Theil descend vers 50 mg/l.

Les teneurs des sources sont plus homogènes et plus faibles : 30 à 40 mg/l. Sur ce point situé à l'amont du cours d'eau on observe une diminution récurrente à chaque étiage (teneurs 15-20 mg/l).

Au niveau du transect des piézomètres Pz1 à Pz6, les teneurs moyennes en nitrates sont :

- très variables (cf. illustration 15) au niveau du versant Est : les eaux recueillies dans le Pz1 sont les plus polluées avec 113 mg/l, viennent ensuite les eaux des Pz2 et Pz3 chargées mais à concentrations plus variables dans le temps : 37 et 58 mg/l en moyenne mais forte amplitude entre les minimas à 10-20 mg/l et les maximas à 80-100 mg/l ;
- et beaucoup plus homogènes au niveau du versant Ouest (Pz4-5-6, autour de 80 mg/l), le Pz4 montrant aussi de fortes amplitudes entre 12 et 95 mg/l.

Les teneurs en nitrates des eaux souterraines ont tendance à augmenter en hiver et à diminuer en été (visible notamment sur le Pz2 lors des étés 2001-2002 et sur le Pz4 en été 2004, cf. illustration 14). Ceci peut s'expliquer :

- en hiver, par une recharge de la nappe des altérites par les pluies d'hiver laissant s'infiltrer un polluant nitraté jusqu'à la nappe ;
- en été, par une alimentation de la nappe par l'aquifère du milieu fissuré sous-jacent qui apporte des teneurs plus faibles (la nappe des altérites se tarit).

Ce contact des deux aquifères (altérites - milieu fissuré) expliquerait également les fortes variations ponctuelles des teneurs en nitrates au niveau des différents ouvrages (cf. pics en illustration 14). En effet, les pompages effectués avant ou pendant les prélèvements entraînent un mélange d'eaux souterraines de qualités différentes en provenance de ces deux aquifères.

Les faibles teneurs en nitrates pourraient s'expliquer par des phénomènes de dénitrification, en provenance des eaux du milieu fissuré, qui toucheraient les ouvrages Pz2-3-4 (cf. illustration 17). La participation prépondérante en étiage des eaux souterraines dénitrifiées (par endroit) expliquerait l'abattement de 30 mg/l des teneurs en nitrates dans la rivière du Theil entre l'hiver et l'été.

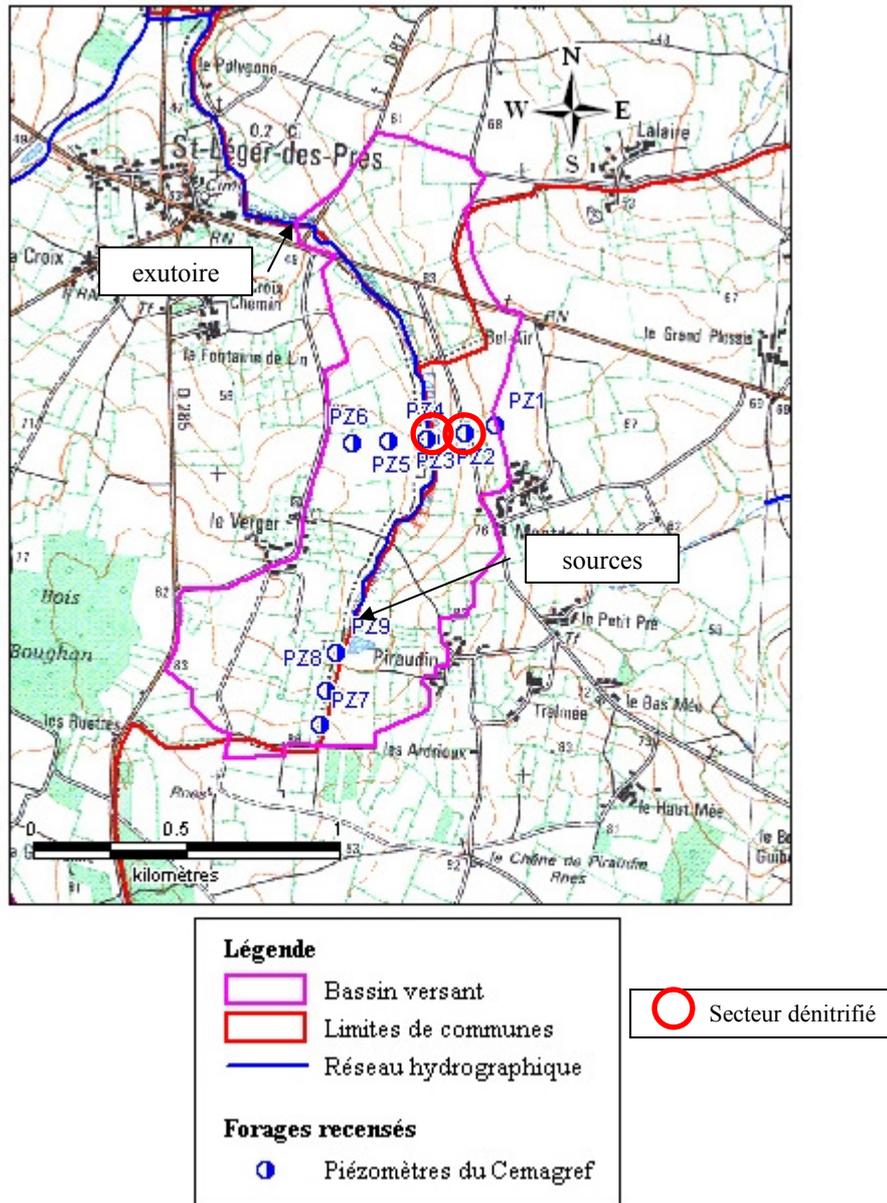


Illustration 17 - Localisation des secteurs dénitrifiés sur les piézomètres du CEMAGREF

4.2. DONNEES CHIMIQUES DE L'IDF

Le BRGM a récupéré auprès de l'IDF en mai 2007 les données suivantes :

- analyses chimiques quasi-mensuelles du 06/07/2005 au 04/07/2006 (PZ1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15),

- analyses chimiques quasi-mensuelles du 06/07/2005 au 04/07/2006 réalisées sur la rivière du Theil au droit des 15 piézomètres.

L'évolution des teneurs en nitrates mesurées de 2005 à 2006 sur l'eau souterraine des piézomètres PZ1 à PZ15 (et sur l'eau de surface de la rivière « Theil ») sont représentées en illustration 18.

Les valeurs moyennes et extrêmes (minimum et maximum) sont rassemblées dans l'illustration 19.

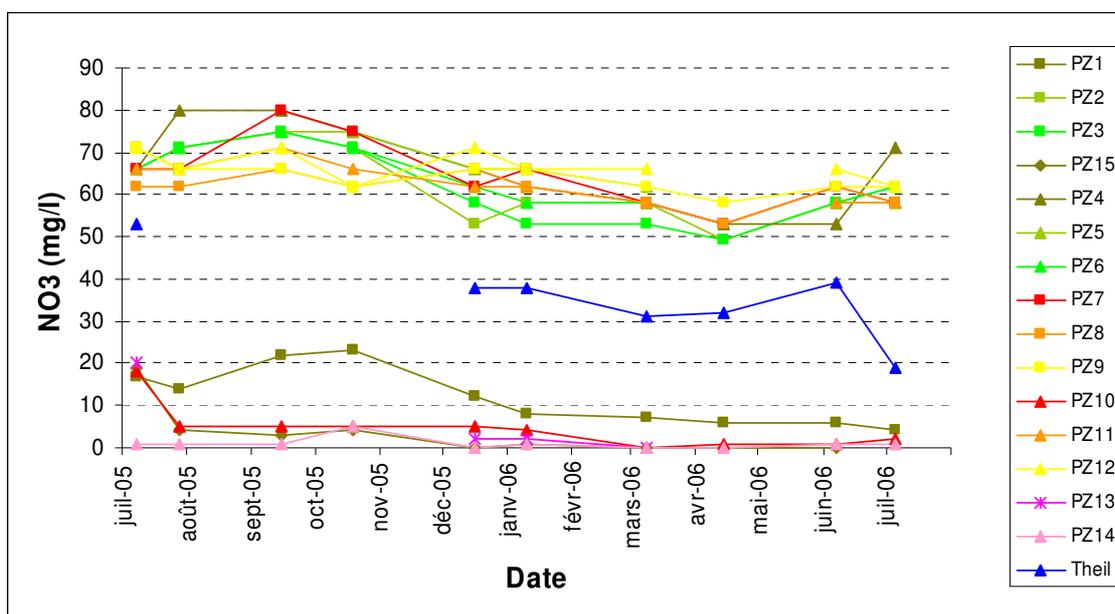


Illustration 18 - Suivi des teneurs en nitrates de l'IDF à St-Léger

NO3 (mg/l)	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ5	PZ6	PZ7	PZ8	PZ9	PZ10	PZ11	PZ12	PZ13	PZ14	PZ15	Theil
Minimum	4	49	49	53	58	58	53	53	58	0	58	62	0	0	0	19
Maximum	23	71	75	80	75	75	80	66	71	18	71	71	20	5	19	53
Moyenne	12	60	62	66	66	65	65	61	64	5	63	67	6	1	3	36

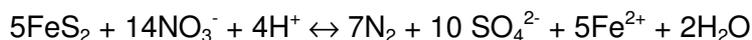
Illustration 19 - Teneurs moyennes en nitrates des eaux souterraines (site IDF)

Au niveau du site restreint de l'IDF (40 m de longueur sur 12 m de largeur), les teneurs en nitrates divisent les ouvrages en deux catégories (cf. illustrations 18 et 19) : les piézomètres PZ1-10-13-14-15 ont des teneurs moyennes de 1 à 12 mg/l tandis que les autres ouvrages ont des teneurs très homogènes de 60 à 66 mg/l.

On peut remarquer que les teneurs moyennes des piézomètres les plus chargés du site de l'IDF (teneurs moyennes de 60 à 66 mg/l) sont tout à fait cohérentes avec celles du piézomètre du CEMAGREF situé près de la rivière à proximité du site IDF (piézomètre Pz3 : teneurs moyennes 58 mg/l).

L'illustration 20 présente les teneurs en sulfates mesurées de 2005 à 2006 sur l'eau souterraine des piézomètres PZ1 à PZ15 (et sur l'eau de surface de la rivière « Theil »).

Cette illustration permet d'envisager l'existence de réaction de dénitrification autotrophe, par oxydation de la pyrite (FeS_2), qui entraîne une augmentation des sulfates corrélée à une diminution des nitrates :



En effet, c'est au niveau des piézomètres PZ1-10-13-14-15, qui ont les teneurs moyennes en nitrates les plus faibles, que l'on trouve les teneurs en sulfates les plus élevées (21 à 33 mg/l de teneurs moyennes).

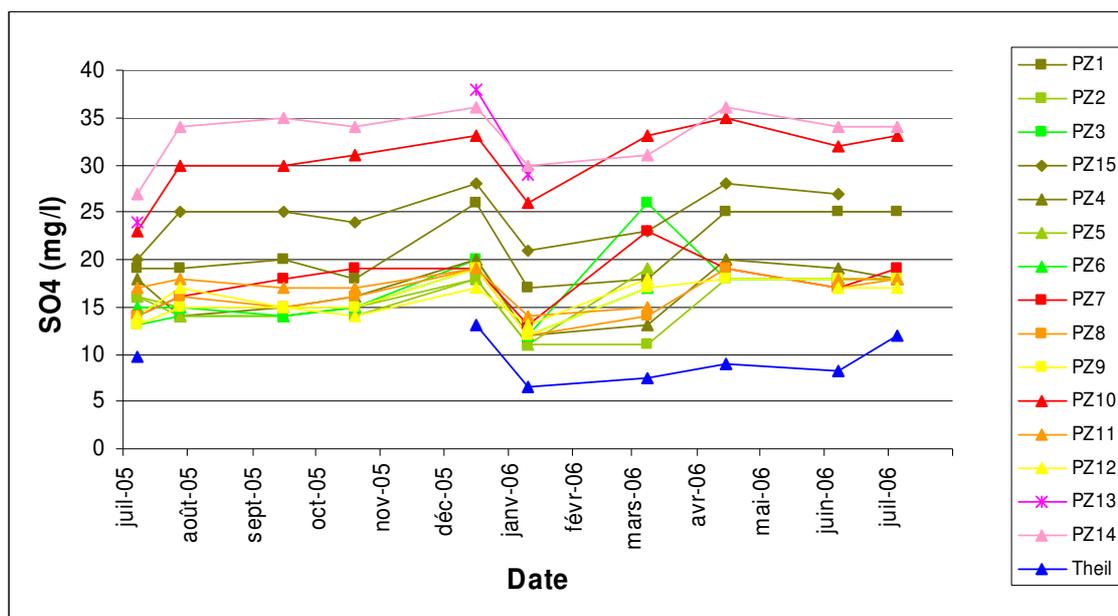


Illustration 20 - Suivi des teneurs en sulfates de l'IDF à St-Léger

Les faibles teneurs en nitrates relevées sur les ouvrages PZ1-10-13-14-15 s'expliqueraient par des phénomènes de dénitrification (cf. illustration 21). Le suivi chimique réalisé entre juillet 2005 et juillet 2006 ne permet pas de voir à quelle saison ce phénomène est le plus visible.

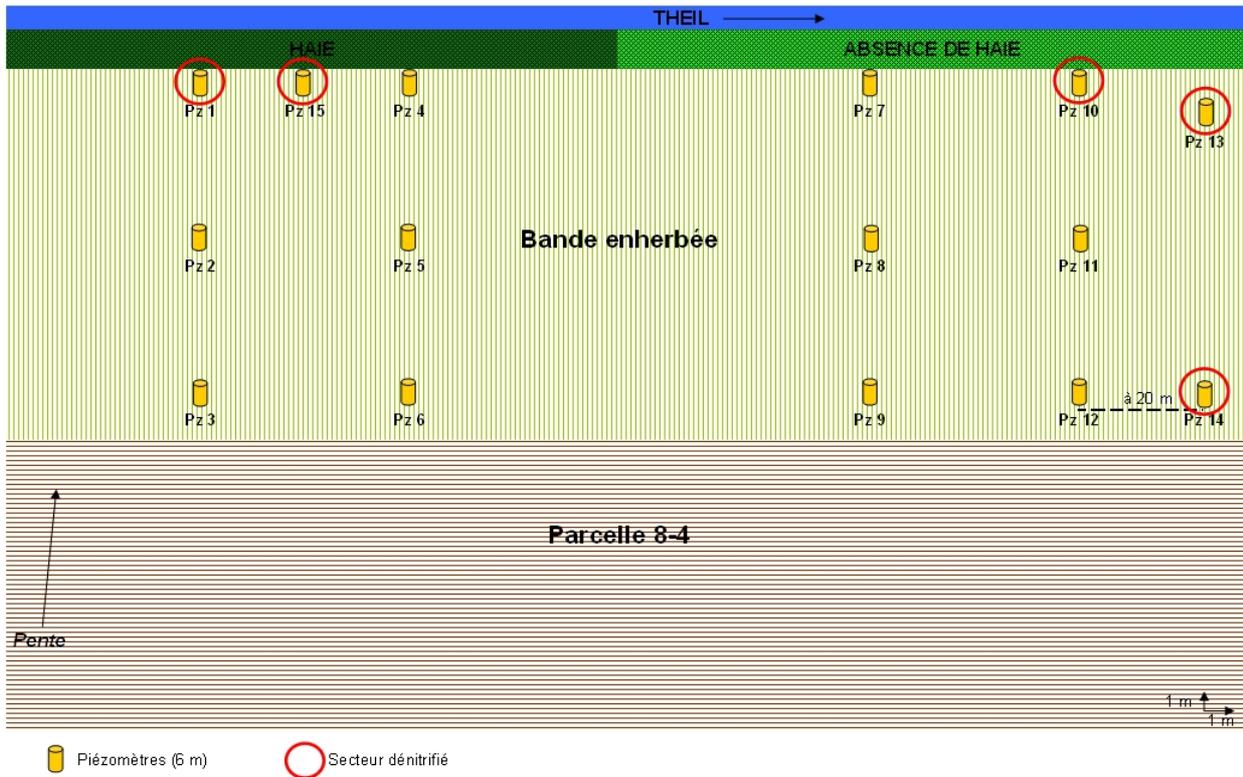


Illustration 21 - Localisation des secteurs dénitrifiés sur le site IDF

Les illustrations 18 et 19 montrent que la rivière du Theil présente des teneurs intermédiaires entre les eaux souterraines deux groupes de piézomètres (moyenne 36 mg/l) ce qui montre qu'elle est alimentée par les deux types d'eaux souterraines de qualité différentes.

Par ailleurs, on ne remarque pas une influence épuratrice majeure de la haie de saules puisque les teneurs en nitrates moyennes au niveau des deux secteurs sont sensiblement les mêmes : 48 mg/l au secteur avec haie (PZ1-2-3-4-5-6-15), et 41 mg/l au secteur sans haie (PZ7-8-9-10-11-12-13-14). La légère différence de moyenne s'explique par un point dénitrifié de plus sur le secteur sans haie PZ10-13-14 (PZ1-15 dans l'autre secteur).

5. Conclusion

Ce rapport final fait état des résultats obtenus en 2006-2007, il s'appuie sur le rapport d'avancement BRGM/RP-54313-FR des deux premières années du projet (2004-2005) tel que décrit dans les chapitres précédents.

Au cours de ces années, les études ont été menées en parallèle sur deux secteurs :

- bassin versant de la Fontaine du Theil en Ille-et-Vilaine (Bretagne),
- le site de Talmont-Saint-Hilaire en Vendée (Pays de Loire).

Le travail sur le site de Talmont a permis d'établir une coupe géologique du site permettant d'appréhender les écoulements souterrains et la profondeur prévisible de la nappe en hautes eaux.

Au niveau du bassin versant de la Fontaine du Theil, l'étude hydrogéologique s'est appuyée sur des données existantes du CEMAGREF et de l'IDF (chimie et piézométrie). Cette étude a notamment mis en évidence : le sens des écoulements souterrains des plateaux vers la rivière, et au niveau de la nappe une superposition de deux aquifères plus ou moins chargés en nitrates.

Des phénomènes de dénitrification autotrophe sont supposés (diminution des nitrates et augmentation des sulfates) au niveau de plusieurs piézomètres situés principalement à proximité de la rivière (1 à 10 m) mais également sur la pente du versant Est du bassin versant (à 115 m de la rivière).

A la suite de cette étude, il serait intéressant de mieux comprendre le phénomène de dénitrification (influence des berges du cours d'eau ou du sous-sol pyriteux), d'apprécier l'importance du phénomène sur le bassin versant, et enfin d'examiner son poids sur la qualité de l'eau de la rivière.

6. Bibliographie

B. MOUGIN avec la collaboration de E. THOMAS (2005) - Programme ACTA 04-08 « boisements et pollutions diffuses » - Aide à l'interprétation des données - BV de la Fontaine du Theil (35) - Site de Talmont (85) - Rapport d'avancement de l'année 2005 - BRGM/RP-54313-FR - 44 p., 7 tabl., 17 fig., 4 ann.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

Service géologique régional Bretagne
Rennes Atalante Beaulieu
2, rue de Jouanet
35700 – Rennes – France
Tél. : 02 99 84 26 70