



# Prévision des volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse

Rapport final

BRGM/RP-55087-FR  
Décembre 2006



Direction Régionale de l'Environnement  
CHAMPAGNE-ARDENNE



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# Prévision des volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en Champagne crayeuse

Rapport final

**BRGM/RP-55087-FR**  
Décembre 2006

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2006-EAU-F43

**J.L. Pinault**  
**D. Allier**  
**M. Chabart**

Avec la collaboration de P. Pannet et W. Perceval

**Vérificateur :**

Nom : Jean-Jacques SEGUIN

Date :

Signature :

(ou original signé par :)

**Approbateur :**

Nom : Pascal MARTEAU

Date :

Signature :

(ou original signé par :)

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



Mots clés : Nappe, Prévion, Analyse Fréquentielle, Champagne-Ardenne, Marne, Aube, Ardennes

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

PINAULT J.L., ALLIER D., CHABART M., PANNET P., PERCEVAL W. (2006) - Prévion des volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse. Rapport final. Rapport BRGM/RP-55087-FR. 110 pages, 55 figures, 4 tableaux, 4 annexes.

© BRGM, 2006, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

L'étude a pour objectif la mise en œuvre d'un outil d'aide à la décision développé par le BRGM Service EAU (logiciel TEMPO) pour la DIREN Champagne-Ardenne. L'application a porté sur une dizaine de bassins versants de la Champagne crayeuse disposant des données nécessaires et suffisantes : chroniques de débits ou couples de chroniques débit/niveau piézométrique.

La sélection des piézomètres les plus représentatifs a été effectuée parmi ceux :

- dont le fonctionnement hydrodynamique était bien compris,
- qui étaient le moins influencés,
- qui permettaient une modélisation pluie - niveau avec un degré de précision compatible avec les exigences de la prévision.

L'outil d'aide à la gestion mis en œuvre fonctionne dans un environnement EXCEL™ et permet pour l'ensemble des piézomètres et des stations hydrométriques retenus d'effectuer des prévisions de volumes d'eau disponibles, sur chacun des dix sous bassins, en générant quelques centaines de séries climatiques (pluie - ETP).

Pour chaque sous bassin, l'estimation des volumes exploitables repose sur la prévision conjointe du débit du cours d'eau à l'exutoire du sous bassin et d'un niveau piézométrique.

L'outil a donc permis de simuler les volumes de prélèvements optimaux en fonction de l'état des réserves avant la période d'étiage et d'estimer les ordres de grandeurs des volumes susceptibles d'être préconisés dans les « arrêtés sécheresse ».

En parallèle il a été procédé à une détermination cartographique des bassins d'alimentation des ouvrages de référence pour la piézométrie.



# Sommaire

<b>1. Introduction.....</b>	<b>11</b>
<b>2. Données de base et méthodologie.....</b>	<b>13</b>
2.1. DONNEES DE BASE .....	13
2.1.1. Sélection des bassins versants .....	13
2.1.2. Chroniques piézométriques et de débits .....	13
2.2. MODELISATION PLUIE-NIVEAU PIEZOMETRIQUE-DEBIT .....	16
2.2.1. Phase de calage sur les observations.....	16
2.2.2. Phase de prévision.....	18
2.2.3. Données climatologiques .....	21
2.3. REPRESENTATION DU MODE DE FONCTIONNEMENT DES BASSINS VERSANTS .....	22
2.3.1. Exemple du bassin de la Vesle dans la Marne .....	22
2.3.2. Exemple du bassin versant de l'Herbissonne dans l'Aube.....	24
<b>3. Résultats des modélisations par sous-bassins versants crayeux.....</b>	<b>27</b>
3.1. LE BASSIN DE LA SUIPPE.....	27
3.1.1. Piézomètre de Bussy-le-Château (51) .....	28
3.1.2. Station hydrologique en amont de la Suipe à Selles (51) .....	29
3.1.3. Station hydrologique en aval de la Suipe à Orainville (51).....	30
3.2. LE BASSIN DE LA VESLE .....	31
3.2.1. Piézomètre de Fresnes-les-Reims (51).....	33
3.2.2. Station de débit amont de la Vesle à Bouy (51) .....	34
3.2.3. Station de débit aval de la Vesle à Chalons-sur-Vesle (51) .....	35
3.3. LE BASSIN DE L'AUVE.....	36
3.3.1. Station de débit de l'Auve à Dampierre (51) .....	38

3.4. LE BASSIN DE LA RETOURNE .....	39
3.4.1. Station de débit de la Retourne à Saint-Rémy-le-Petit (08).....	41
3.5. LE BASSIN DE L'ARDUSSON.....	42
3.5.1. Piézomètre d'Orvilliers-Saint-Julien (10) .....	44
3.5.2. Station de débit de l'Ardusson à Saint-Aubin (10) .....	45
3.6. LE BASSIN DE LA BARBUISE .....	46
3.6.1. Piézomètre de Vailly (10).....	48
3.6.2. Station de débit de la Barbuise à Pouan-les-Vallées (10) .....	49
3.7. LE BASSIN DE L'HERBISSONNE .....	50
3.7.1. Station de débit de l'Herbissonne à Allibaudières (10) .....	52
3.8. LE BASSIN DE L'HUITRELLE .....	53
3.8.1. Piézomètre de Sompuis (51) .....	55
3.8.2. Station de débit de l'Huitrelle à Lhuître (10) .....	56
3.9. LE BASSIN DE LA SOUDE.....	57
3.9.1. Piézomètre des Grandes Loges (51).....	59
3.9.2. Station de débit de la Soude à Soudron (51).....	60
3.10. LE BASSIN DE LA SUPERBE.....	61
3.10.1. Piézomètre de Linthelles (51) .....	63
3.10.2. Station de débit de la Superbe à Saint Saturnin (51).....	64
<b>4. Estimation des volumes exploitables .....</b>	<b>65</b>
4.1. L'ENVIRONNEMENT EXCEL .....	65
4.2. PREVISION DE LA RESSOURCE EXPLOITABLE A COURT ET A LONG TERME.....	72
4.3. PARAMETRES DE LA PREVISION SUR LES 10 BASSINS VERSANTS CRAYEUX.....	74
4.4. VOLUMES EXPLOITABLES SUR LES 10 BASSINS VERSANTS CRAYEUX	76
4.5. COMPARAISON DES VOLUMES EXPLOITABLES AVEC LES VOLUMES PRELEVES .....	78
4.6. IMPACT DES POMPAGES DANS LE LIT DES COURS D'EAU .....	81

<b>5. Représentativité des piézomètres</b> .....	<b>83</b>
5.1. MODELISATIONS TEMPO DE 2006.....	83
5.2. TRAITEMENT STATISTIQUE DE 1996 .....	83
5.3. QUALIFICATION DU RESEAU EN 2005 .....	85
5.4. CARTOGRAPHIE DES BASSINS VERSANTS SOUTERRAINS THEORIQUES	86
5.5. CONCLUSIONS.....	90
<b>6. Conclusions</b> .....	<b>91</b>
<b>7. Bibliographie</b> .....	<b>93</b>
7.1. ARTICLES SCIENTIFIQUES.....	93
7.2. RAPPORTS .....	93

## Liste des figures

Figure 1 – Carte de localisation des bassins versants crayeux étudiés .....	12
Figure 2 - Principe d'un modèle "pluie-niveau" à réponses impulsionnelles .....	17
Figure 3 - Principe d'un modèle "pluie-niveau-débit" à réponses impulsionnelles .....	18
Figure 4 – a) La fonction de transfert (ou réponse impulsionnelle) entre les variations piézométriques et le débit du cours d'eau représente la variation du débit suite à une variation de courte durée (égale au pas d'échantillonnage, soit 10 jours) du niveau piézométrique.....	20
Figure 5 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Vesle avec le piézomètre Fresnes-les-Reims.....	22
Figure 6 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de l'Herbisonne avec la station de débit de l'Allibaudières .....	24
Figure 7 – Carte de situation du bassin versant de la Suippe avec stations de mesure .....	26
Figure 8 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Suippe avec le piézomètre de Bussy-le-Château.....	28
Figure 9 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Suippe avec la station de débit amont de la Suippe à Selles .....	29

Figure 10 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Suippe avec la station de débit aval d'Orainville .....	30
Figure 11 – Carte de situation du bassin versant de la Vesle avec stations de mesure.....	32
Figure 12 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Vesle avec le piézomètre Fresnes-les-Reims. ....	33
Figure 13 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Vesle avec la station de débit amont de la Vesle à Bouy.....	34
Figure 14 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Vesle avec la station de débit aval de la Vesle à Chalons sur Vesle .....	35
Figure 15 - Carte de situation du bassin versant de l'Auve avec stations de mesure .....	37
Figure 16 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de l'Auve avec la station de débit de l'Auve à Dampierre .....	38
Figure 17 - Carte de situation du bassin versant de la Retourne avec stations de mesure .....	40
Figure 18 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Retourne avec la station de débit de la Retourne à Saint Rémy le petit.....	41
Figure 19 - Carte de situation du bassin versant de l'Ardusson avec stations de mesure .....	43
Figure 20 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de l'Ardusson avec le piézomètre Orvilliers-Saint-Julien (10).....	44
Figure 21 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de l'Ardusson avec la station de débit de l'Ardusson à Saint Aubin .....	45
Figure 22 - Carte de situation du bassin versant de la Barbuise avec stations de mesure .....	47
Figure 23 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Barbuise avec le piézomètre Vailly.....	48
Figure 24 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Barbuise avec la station de débit de la Barbuise à Pouan les vallees .....	49
Figure 25 - Carte de situation du bassin versant de l'Herbissonne avec stations de mesure .....	51
Figure 26 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de l'Herbissonne avec la station de débit de l'Herbissonne à Allibaudieres .....	52
Figure 27 - Carte de situation du bassin versant de l'Huitrelle avec stations de mesure .....	54
Figure 28 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de l'Huitrelle avec le piézomètre de Sompuis.....	55
Figure 29 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de l'Huitrelle avec la station de débit de l'Huitrelle à Lhuître.....	56
Figure 30 - Carte de situation du bassin versant de la Soude avec stations de mesure .....	58
Figure 31 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Soude avec le piézomètre Grandes Loges .....	59
Figure 32 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Soude avec la station de débit de la Soude à Soudron .....	60

Figure 33 - Carte de situation du bassin versant de la Superbe avec stations de mesure .....	62
Figure 34 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Superbe avec le piézomètre Linthelles .....	63
Figure 35 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Superbe avec la station de débit de la Superbe à Saint Saturnin .....	64
Figure 36 – Feuille « Prévision » du classeur EXCEL .....	66
Figure 37 – Les différents paramètres de la prévision.....	67
Figure 38 – Les différents paramètres de la représentation graphique.....	68
Figure 39 – Feuille « Graphiques » : Evolution des niveaux d'eau sur les piézomètres ou des débits aux stations de mesure associés à un modèle prévisionnel .....	69
Figure 40 – Extrait de la feuille « Données » : Base de données au pas journalier des pluies, de l'ETP, des niveaux d'eau et des débits aux différentes stations .....	70
Figure 41 – Extrait d'une des feuilles « Previ_1 » : Données associées aux graphiques .....	70
Figure 42 – Extrait de la feuille « Volume » permettant de calculer les volumes disponibles .....	71
Figure 43 – Extrait de la feuille « Volume » présentant les résultats du calcul des volumes disponibles.....	71
Figure 44 – Modifications des paramètres « prélèvements » pour le calcul des volumes .....	73
Figure 45 - Paramétrage des calculs de prévision. Cas du bassin versant de la Suippe .....	75
Figure 46 – Comparaison des volumes exploitables et des superficies des bassins versants.....	77
Figure 47 - Comparaison des volumes exploitables selon 4 scénarios climatiques.....	77
Figure 48 – Comparaison des volumes exploitables selon 4 scénarios climatiques avec les volumes prélevés par bassin versant (1).....	79
Figure 49 - Comparaison des volumes exploitables selon 4 scénarios climatiques avec les volumes prélevés par bassin versant (2).....	80
Figure 50 –Groupe de piézomètres montrant des comportement similaires ( $r>0.85$ ). Extrait du rapport BRGM/R38921 d'avril 1996.....	84
Figure 51 – Définition de quelques bassins versants souterrains sur la MES 3207.....	87
Figure 52 – Définition de quelques bassins versants souterrains sur la MES 3208.....	87
Figure 53 - Définition de quelques bassins versants souterrains sur les MES 3208 et 3209 .....	88
Figure 54 – Graphique des surfaces des bassins versants souterrains calculés.....	89
Figure 55 – Surface des bassins versants souterrains en fonction de la moyenne du battement annuel .....	90

## Liste des tableaux

Tableau 1 – Liste des stations de jaugeage retenues .....	14
-----------------------------------------------------------	----

Tableau 2 - – Liste des piézomètres retenus .....	15
Tableau 3 – Valeurs de débit critique retenues pour les simulations.....	76
Tableau 4 – Pourcentage des prélèvements agricoles sur les prélèvements totaux par BV (source AESN 2005 et DIREN CA).....	78

## Liste des annexes

Annexe 1 Mode opératoire de l'outil de prévision .....	95
Annexe 2 Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau .....	101
Annexe 3 Barème des notes de qualité et principe du variogramme.....	105
Annexe 4 Cartographie des bassins versants souterrains théoriques pour les piézomètres de la nappe de la craie.....	109

# 1. Introduction

L'outil d'aide à la gestion mis en œuvre dans cette étude comporte des **modèles de transfert "pluie - niveau piézométrique - débit"** qui, pour chaque piézomètre et pour chacune des stations hydrométriques, permettent d'effectuer des prévisions après une phase de calage sur les observations en générant de très nombreuses séries climatiques (pluies-ETP) et en faisant une analyse fréquentielle des niveaux et des débits correspondants. Le logiciel supportant cet outil est le logiciel TEMPO développé par le BRGM.

Parmi les piézomètres disponibles ont été écartés ceux pour lesquels les chroniques sont trop courtes, ceux qui sont trop influencés par des pompages. Certains piézomètres ont également été écartés car leur fonctionnement est mal compris, ce qui signifie que leur comportement ne peut s'expliquer à partir d'un modèle "pluie-niveau" en raison d'éléments perturbateurs importants qu'il n'a pas toujours été possible d'analyser avec certitude dans le cadre de cette étude.

L'objet de cette étude est la modélisation prévisionnelle des niveaux et des débits pour estimer les volumes exploitables avec utilisation d'un « générateur » permettant de produire des séquences stochastiques de pluies et d'ETP à partir de la date d'émission de la prévision. Les simulations sont totalement automatisées et intégrées dans un environnement Excel.

Au total 10 bassins versants crayeux ont été étudiés :

- Retourne
- Suipe
- Vesle
- Auve
- Soude
- Superbe
- Herbissonne
- Huitrelle
- Barbuise
- Ardusson

Ils sont associés à 12 stations hydrologiques (ou stations de jaugeage) et 7 piézomètres.

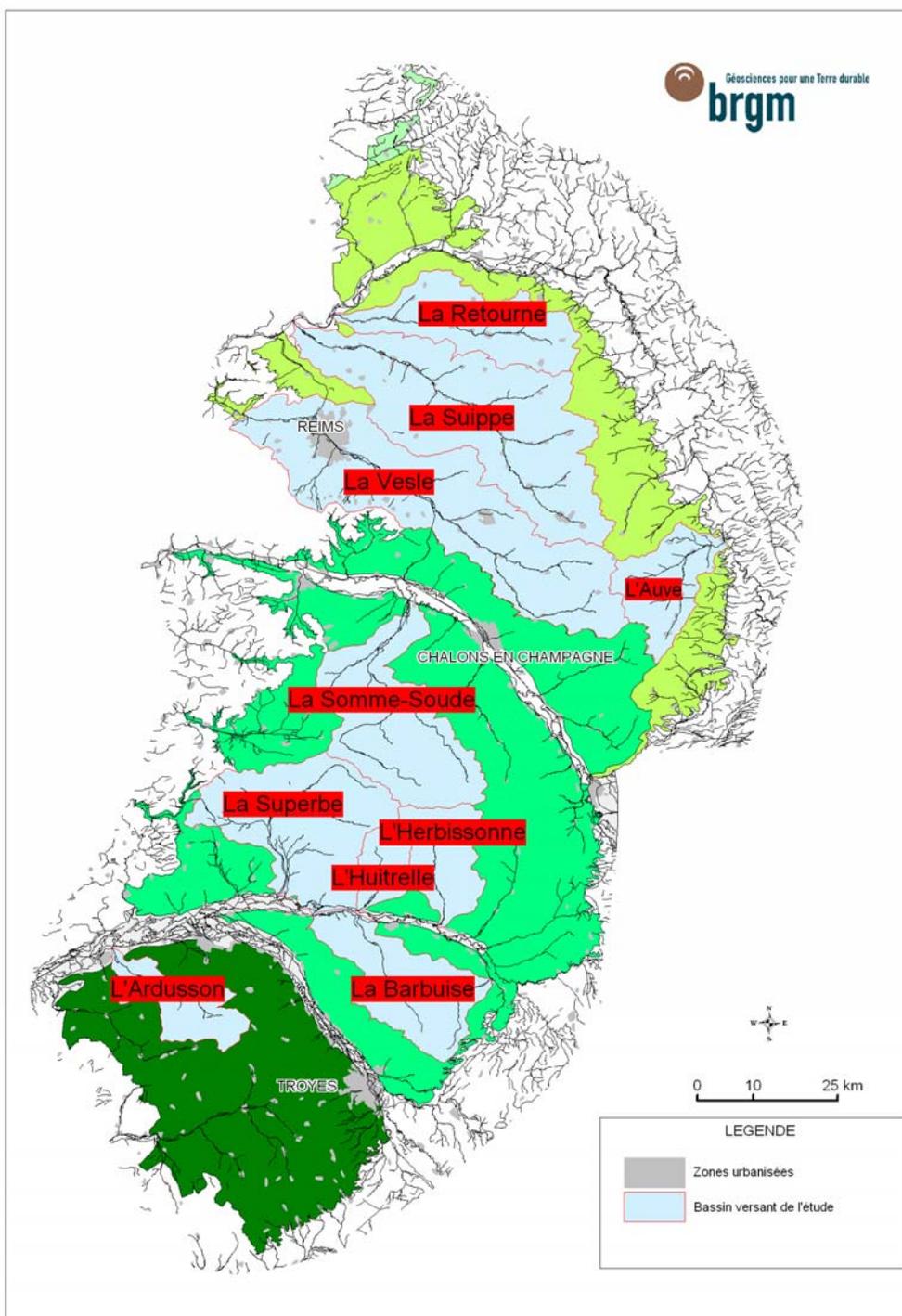


Figure 1 – Carte de localisation des bassins versants crayeux étudiés

## 2. Données de base et méthodologie

### 2.1. DONNEES DE BASE

L'étude a été réalisée en utilisant :

- ◆ Les chroniques piézométriques (source BRGM – réseau de suivi du bassin Seine-Normandie) ;
- ◆ Les chroniques de débit (source DIREN Champagne-Ardenne) ;
- ◆ Des précipitations et évapotranspirations potentielles ;
- ◆ Le référentiel géologique et hydrogéologique (BD RHF V1) ;
- ◆ Le référentiel des masses d'eau souterraine (Version 1 de décembre 2004).

#### 2.1.1. Sélection des bassins versants

Les bassins retenus s'inscrivent majoritairement dans la craie de Champagne et sont contrôlés en aval par une station de jaugeage disposant de suffisamment de données pour réaliser des simulations avec TEMPO (Figure 1). Ils ne disposent pas tous d'un piézomètre à l'intérieur même du bassin versant. Il a donc été nécessaire de faire appel à des chroniques sur les ouvrages jugés représentatifs et situés à proximité.

#### 2.1.2. Chroniques piézométriques et de débits

Les chroniques de niveaux piézométriques et de débits sont parfois influencées par des prélèvements, qui peuvent être variables dans le temps (par exemple saisonniers pour l'irrigation). Il peut s'agir de l'influence d'un pompage voisin du piézomètre d'observation ou bien des influences conjuguées de nombreux pompages se traduisant alors dans la nappe captée par un cône de dépression qui peut s'étendre plus ou moins suivant les caractéristiques de l'aquifère et l'importance de la nappe.

En fonction du régime annuel des prélèvements, de leur évolution dans le temps, cela peut se traduire dans la chronique piézométrique par des cycles courts ou bien par une tendance à la baisse (par exemple une tendance linéaire), qui peut se manifester durablement si les prélèvements sont en croissance régulière ou si la nappe est surexploitée.

Parmi les piézomètres disponibles (Tableau 2) ont été écartés ceux pour lesquels les chroniques sont trop courtes, ceux qui sont trop influencés par des pompages. Certains piézomètres ont également été écartés car leur fonctionnement est mal compris, ce qui signifie que leur comportement ne peut s'expliquer à partir d'un modèle "pluie-niveau" en raison d'éléments perturbateurs importants qu'il n'a pas toujours été possible d'analyser avec certitude dans le cadre de cette étude.

codehydro	Dép	nom	bassin	courdo	XOUILZE	YOUVLE	surf. (km2)	Date mise en service	Abandon	Début chronique TEMPO	Début chronique TEMPO	MES	Piézo de référence
H6313030	51	Selles	Aisne	La suippe amont	742050	2480550	486	01/08/1989		30/08/1989	16/03/2005	3207	01593X00141/V2 BUSY-LE-CHATEAU
H6313020	2	Orainville	Aisne	La suippe aval	722557	2488668	802	15/01/1968		31/12/1970	13/03/2006	3207	01593X00141/V2 BUSY-LE-CHATEAU
H6402010	51	Bouy	Aisne	La vesle amont	747213	2456445	286	01/01/1967		30/12/1984	29/04/2005	3207	01593X00141/V2 BUSY-LE-CHATEAU
H6412020	51	Chalons sur vesle	Aisne	La vesle aval	715475	2476770	828	01/01/1967		13/10/1988	02/03/2006	3207	01086X00111/L S4 FRESNES-LES-REIMS
H6402040	51	Beaumont sur Vesle	Aisne	La vesle amont	735061	2466053	446	01/11/1985	mesure dispo jusqu'en 2002			3207	
H6033210	51	Dommartin-Dampierre	Aisne	L' auve	761789	2455051	199	01/12/1993		01/01/1994	23/11/2005	3207	01593X00141/V2 BUSY-LE-CHATEAU
H6303840	8	Saint Rémy le petit	Aisne	la Retourne aval	738080	2492570	237	20/04/2004		20/04/2004	13/03/2006	3207	
H6303820	8	Houlicourt	Aisne	la Retourne aval	729705	2493278	322	16/01/1991	mesure dispo jusqu'en 2003			3207	
H6303810	8	Poicourt-Sydney	Aisne	la Retourne aval	728119	2492860	322	11/12/1969				3207	
H6303830	8	Mont Saint Rémy	Aisne	la Retourne amont	755827	2490201	51	?				3207	
H1713010	10	Saint Aubin	Aube	L' ardusson	690514	2386813	159	29/07/1970		20/04/1985	10/02/2006	3209	02617X0009/S1 ORVILLIERS-ST-JULIEN
H1513210	10	Pouan les vallées	Aube	La barbuise	727531	2394580	187	28/07/1970		02/01/1982	16/06/2004	3208	02982X0013/S1 VAILLY
H1503910	10	Allibaudieres	Aube	L' herbissonne	730434	2399428	87	30/07/1970		30/07/1970	21/04/2006	3208	02982X0013/S1 VAILLY
H1503510	10	Lhuitre	Aube	L' huitrelle	741420	2398300	160	10/07/1997		10/07/1997	16/04/2004	3208	02255X0003/S1 SOMPIUIS
H1603010	51	Saint Saturnin	Aube	La superbe	715680	2402870	320	28/07/1970		03/01/1984	30/12/2005	3208	02233X0006/FO LINTHELLES 1976-2006
H5213310	51	Soudron	Marne	La soude	737010	2428350	105	01/03/1968		01/01/1982	28/12/2005	3208	01584X0023/L V3 GRANDES-LOGES
H5204210	51	Ecury sur coole	Marne	La coole	746930	2435620	150	01/08/1996		03/12/1996	03/11/2006	3208	01584X0023/L V3 GRANDES-LOGES

Tableau 1 – Liste des stations de jaugeage retenues

Indice national	dép	Commune	Suivi obs. sech.	Problème étiage	Nature	XOUILLE	YOUILLE	Z_SOL	PROF	MES1_norm	MES1_code service	Mise en Abandon	Début chronique TEMPO	Fin chronique TEMPO
00853X0018/S1	8	HANNOGNE-SAINT-REMY	OUI	OUI	PUITS	731711	2913767	130	31.91	CRAIE DE CHAMPAGNE NORD	3207	06/02/1969		
01095X0001/FAEP	8	ALINCOURT			FORAGE	748485	2491361	89	40	CRAIE DE CHAMPAGNE NORD	3207	27/09/2005		
01097X0014/S1	8	SEMIDE			SONDAGE	763384	2484910	119		CRAIE DE CHAMPAGNE NORD	3207	17/01/1969	31/12/1997	
02603X1010/S1	10	SAULSOTTE (LA)	OUI	OUI	PUITS	695998	2394402	74		CRAIE DU SENONNAIS ET PAYS D'OTHE	3209	13/01/1969		
02615X0020/S1	10	SAINT-HILAIRE-SOUS-ROMILLY	OUI		PUITS	694967	2388684	146	33.15	CRAIE DU SENONNAIS ET PAYS D'OTHE	3209	13/01/1969		
02617X0009/S1	10	ORVILLIERS-SAINT-JULIEN	OUI	OUI	PUITS	710718	2383911	101	17.6	CRAIE DU SENONNAIS ET PAYS D'OTHE	3209	13/01/1969	14/01/1970	24/11/2006
02626X0054/FO	10	SAINT-REMY SOUS BARBUISE			FORAGE	730687	2387704			CRAIE DE CHAMPAGNE SUD ET CENTRE	3208	15/09/2005		
02974X0004/S1	10	VILLELOUP	OUI		PUITS	713951	2374426	169	60	CRAIE DU SENONNAIS ET PAYS D'OTHE	3209	13/01/1969		
02982X0013/S1	10	VAILLY	OUI	OUI	PUITS	732105	2376890	138	27.9	CRAIE DE CHAMPAGNE SUD ET CENTRE	3208	14/01/1969	14/01/1970	23/11/2006
03328X0024/S1	10	CHAMOY			PUITS	718450	2350320	276	52	CRAIE DU SENONNAIS ET PAYS D'OTHE	3209	19/01/1971		
04066X0011/L54	51	FRESNES-LES-REIMS	OUI		PUITS	728216	2484078	91.15	29.43	CRAIE DE CHAMPAGNE NORD	3207	18/01/1968	01/01/1970	23/11/2006
01322X0012/PS5	51	WITRY-LES-REIMS			PUITS	729695	2479071	118	29.85	CRAIE DE CHAMPAGNE NORD	3207	04/01/1971	29/02/2002	
04584X0023/LV3	51	GRANDES-LOGES(LES)	OUI		PUITS	743030	2453826	107	31.2	CRAIE DE CHAMPAGNE SUD ET CENTRE	3208	01/01/1969	01/01/1970	21/11/2006
02233X0005/FO	51	LINTHELLES	OUI		FORAGE	709142	2414133	103	15.2	CRAIE DE CHAMPAGNE SUD ET CENTRE	3208	20/05/1976	20/05/1976	18/11/2006
04593X0014/LV2	51	BUSSY-LE-CHATEAU	OUI		PUITS	758164	2455850	161	26.09	CRAIE DE CHAMPAGNE NORD	3207	01/01/1969	01/01/1970	21/11/2006
01885X0002/S1	51	MORAINS	OUI		PUITS	721518	2424928	142	10.4	CRAIE DE CHAMPAGNE SUD ET CENTRE	3208	14/01/1969		
01894X0002/S1	51	VANNAULT-LE-CHATEL	OUI		PUITS	770875	2432749	164	29.7	CRAIE DE CHAMPAGNE SUD ET CENTRE	3208	15/01/1969		
01897X0002/S1	51	SONGY	OUI		FORAGE	759438	2424658	93	12.9	CRAIE DE CHAMPAGNE SUD ET CENTRE	3208	05/03/1969		
02255X0003/S1	51	SOMPIUS	OUI	OUI	PUITS	750568	2410872	154	21	CRAIE DE CHAMPAGNE SUD ET CENTRE	3208	14/01/1969	15/01/1970	24/11/2006

Tableau 2 - - Liste des piézomètres retenus

## 2.2. MODELISATION PLUIE-NIVEAU PIEZOMETRIQUE-DEBIT

Pour chaque bassin versant sélectionné, on a procédé à une **modélisation pluie - niveau piézométrique – débit avec l'outil de modélisation et de prévision « TEMPO »** développé par le BRGM. Il s'agit d'un logiciel dédié au « **traitement du signal** » (séries temporelles de mesures) qui permet donc le traitement numérique des séries de niveaux piézométriques et de débits collectées dans le cadre de l'étude.

En hydrologie/hydrogéologie, le logiciel TEMPO permet, entre autres possibilités :

- de décomposer des hydrogrammes ;
- de faire de la prévision de débits ou de niveaux piézométriques.

Il comporte en entrée la pluie, l'ETP, une ou plusieurs chroniques de niveaux piézométriques observés et les valeurs de débits prélevés ou de rejets, la sortie du modèle étant le débit du cours d'eau sur lequel s'appliquent le DOE (débit objectif d'étiage) et le DC (débit de crise).

Ce modèle de prévision, qui est relié fonctionnellement à un environnement EXCEL, permet d'estimer à tout moment les volumes exploitables.

### 2.2.1. Phase de calage sur les observations

#### ***Modèle de transfert pluie-niveau piézométrique***

Dans le cadre de cette étude, les variations piézométriques sont reconstituées à partir d'un **modèle de transfert pluie-niveau** au moyen de **fonctions de transfert**<sup>1</sup> (Figure 2).

Dans sa formulation la plus générale, un modèle de transfert pluie-niveau est non linéaire de manière à prendre en compte les transferts au travers de la zone non saturée en présence d'une double porosité.

Dans ce cas, deux fonctions de transfert, ou réponses impulsionnelles, sont définies :

- l'une correspond à une **réponse lente** caractérisant la migration de l'eau au travers de la matrice ;
- l'autre correspond à une **réponse rapide** destinée à prendre en compte les écoulements au travers des macropores (ou de fractures).

---

<sup>1</sup> Dans un système physique caractérisé par une "entrée" (par exemple des pluies sur un bassin versant) et une "sortie" (par exemple des débits à l'exutoire du bassin versant ou des niveaux de nappe), une fonction de transfert, ou réponse impulsionnelle, est la sortie mesurée quand l'entrée est une impulsion se produisant pendant un intervalle de temps très court (par exemple une pluie très brève, cf. figure 2). Par définition (conservation des flux), l'aire d'une réponse impulsionnelle est égale à l'unité. Si le modèle comprend plusieurs réponses impulsionnelles, c'est la somme des aires qui vaut 1.

De manière à minimiser le nombre de degrés de liberté du modèle, les réponses impulsionnelles sont définies par un modèle paramétrique : les fonctions de transfert sont des fonctions analytiques obtenues par le produit de convolution d'une gaussienne (recharge de la nappe) par une exponentielle (tarissement).

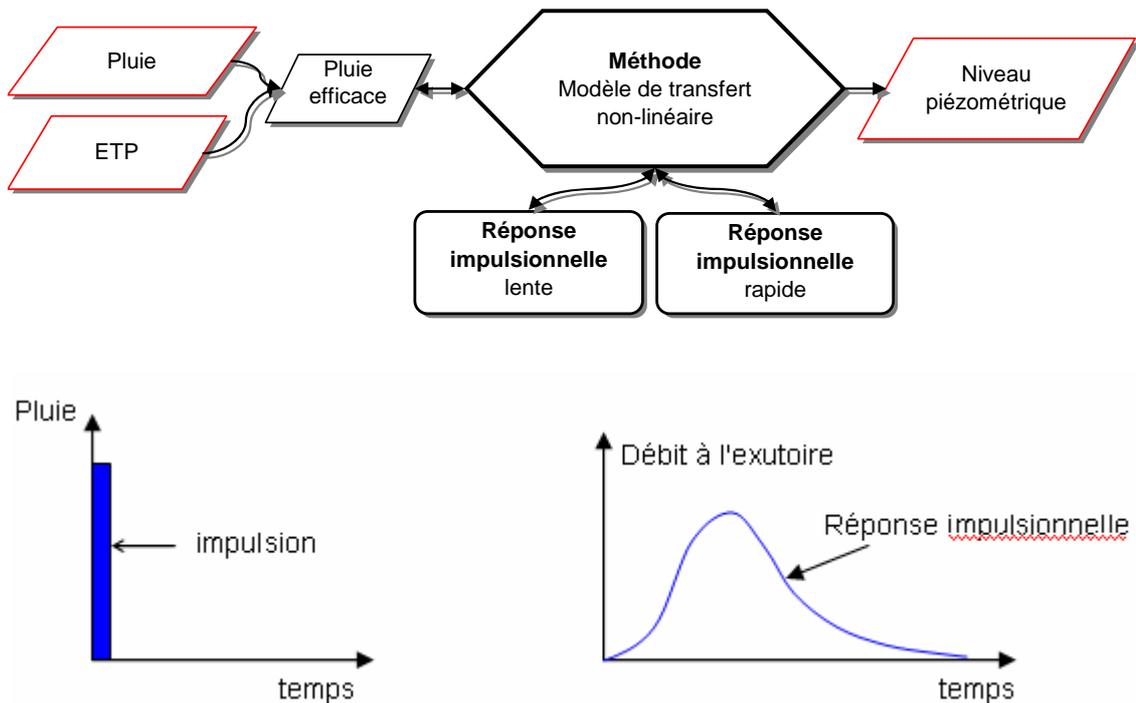


Figure 2 - Principe d'un modèle "pluie-niveau" à réponses impulsionnelles

Le niveau piézométrique en sortie est exprimé par rapport au niveau des basses eaux. Lorsque le temps de régulation du niveau piézométrique est inférieur à une année, le niveau des basses eaux  $Z_{\min}$  est calculé de sorte que :  $Z_{\min} = \bar{Z} - 2.5.S$  où  $\bar{Z}$  est la moyenne du niveau piézométrique calculée sur la période d'observation et  $S$  son écart-type estimé, ce qui correspond à une période de retour de 160 ans (approximation gaussienne).

Lorsque le niveau piézométrique est influencé par des pompages, une tendance doit être éventuellement prise en compte, ce qui revient à faire varier le niveau de base au cours du temps.

Dans certains cas, les variations piézométriques mettent en évidence un **seuil haut** qui ressemble à un **seuil de débordement** mais qui peut résulter de la montée de la nappe d'un niveau aquifère peu transmissif à un niveau supérieur très transmissif. Ceci est particulièrement visible lorsque le niveau supérieur est karstifié. Ce phénomène est pris en compte en faisant apparaître une composante qui s'apparente à un pompage dans la nappe dès que la pluie efficace dépasse un certain seuil.

La pluie efficace est exprimée à partir de la pluie et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) (Figure 2).

### Modèle de transfert pluie-niveau piézométrique-débit

Le modèle de transfert pluie-niveau piézométrique-débit fonctionnent selon le même principe mais comporte cette fois 2 entrées : la pluie efficace et le niveau piézométrique (Figure 3). La **composante rapide** représente cette fois le ruissellement. Elle peut également être associée à la mise en charge rapide d'une nappe alimentant le cours d'eau lors de la mise en continuité hydraulique du réseau de fractures, suite à des épisodes de pluie abondants.

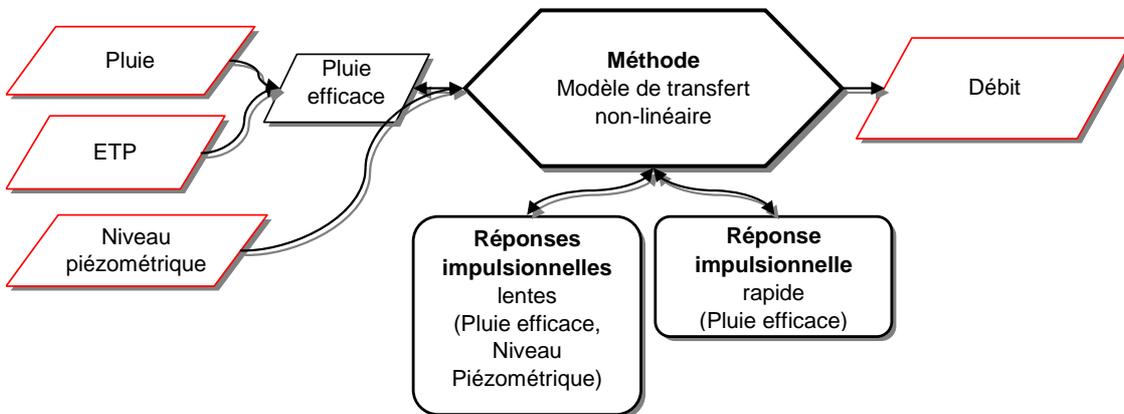


Figure 3 - Principe d'un modèle "pluie-niveau-débit" à réponses impulsionnelles

#### 2.2.2. Phase de prévision

Le modèle de prévision des niveaux piézométriques et des débits fonctionne à partir de pluies et d'ETP simulées, qui constituent les entrées des modèles de transfert (un modèle par bassin versant traité). Le niveau piézométrique ainsi simulé est utilisé en entrée du modèle « Pluie-Niveau-Débit ». De manière à estimer avec précision les périodes de retour des séries simulées, un nombre important de séries de pluie et d'ETP sont simulées (une centaine).

La **fonction de transfert** (ou **réponse impulsionnelle**) établie entre les variations piézométriques et le débit du cours d'eau représente **la variation du débit suite à une variation de courte durée (égale au pas d'échantillonnage, soit ici 10 jours) du niveau piézométrique.**

Une fois la fonction de transfert établie, la prévision des volumes disponibles consiste à simuler des débits correspondant à différentes périodes de retour. L'incidence des pompages sur le débit du cours d'eau est alors simulée en appliquant un **rabattement**

**sur le niveau piézométrique** considéré comme représentatif de l'état de recharge de la nappe, ce qui produit une baisse du débit (Figure 4-b).

Le **volume d'eau prélevé correspondant à ce rabattement**, ramené à l'échelle du bassin, n'est autre que la somme des écarts entre le débit non influencé pour une période de retour donnée et le débit influencé correspondant à cette même période de retour (Figure 4-c).

Le **volume disponible** est la somme des écarts des débits (influencé et non influencé) de telle sorte que le débit influencé atteigne exactement le **DOE (Débit Objectif d'Étiage)** (Figure 4-c). Lorsqu'on se fixe un objectif d'étiage (seuil d'étiage à ne pas dépasser), le rabattement correspondant est calculé par inversion, duquel est déduit le volume disponible à l'échelle du bassin. Ce rabattement peut être modulé mois par mois en fonction d'un plan de gestion fixé a priori.

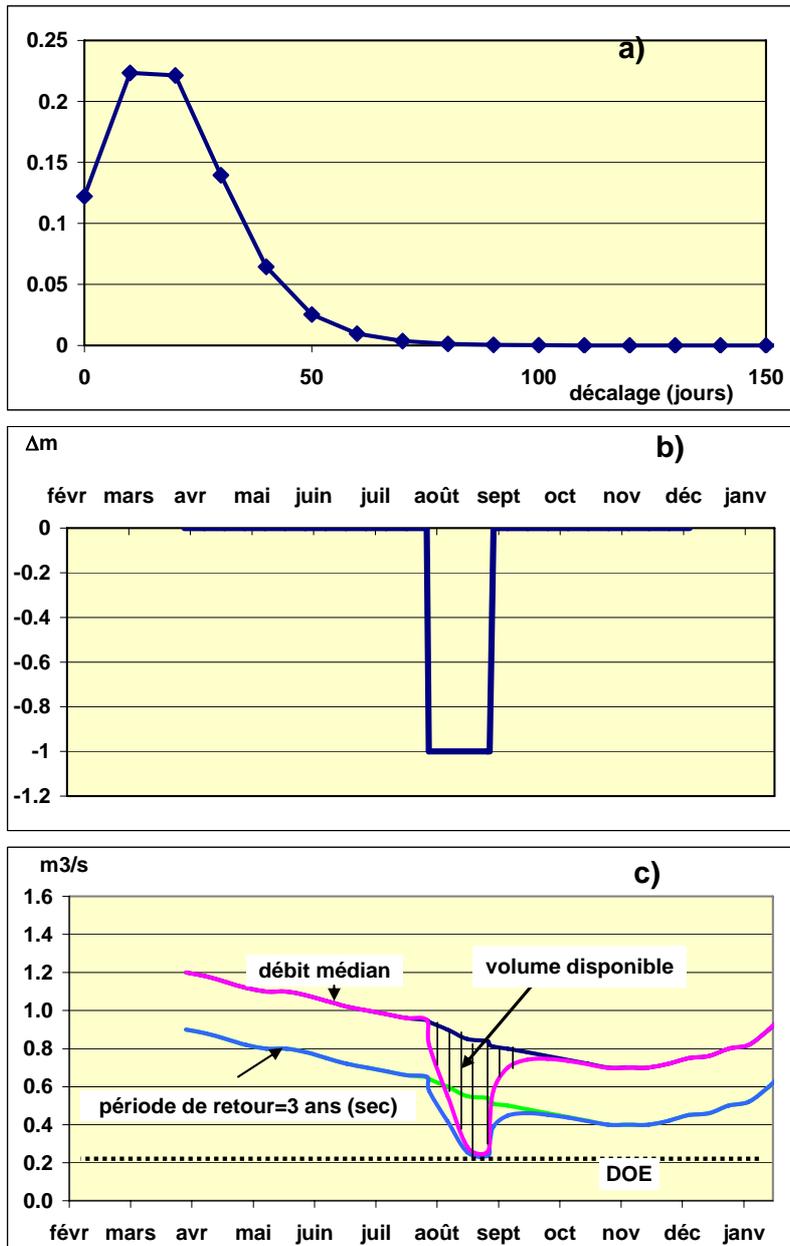


Figure 4 – a) La fonction de transfert (ou réponse impulsionnelle) entre les variations piézométriques et le débit du cours d'eau représente la variation du débit suite à une variation de courte durée (égale au pas d'échantillonnage, soit 10 jours) du niveau piézométrique. b) Rabattement (m) appliqué sur le niveau piézométrique considéré comme représentatif de l'état de recharge de la nappe – c) Le volume disponible est la somme des écarts des débits (influencé et non influencé) de telle sorte que le débit influencé atteigne exactement le DOE (Débit Objectif d'Etiage).

### 2.2.3. Données climatologiques

Les données climatologiques comprennent les données pluviométriques et d'évapotranspiration potentielle. Différentes stations climatologiques sont utilisées au pas décadaire, notamment Melun, Reims et Troyes.

L'optimisation des pluies (régionalisation) à partir du corrélogramme croisé<sup>2</sup> « Pluie efficace/Débit » conduit aux combinaisons linéaires suivantes :

- Pluie optimale pour la Champagne Nord :

Pluie à Reims

- Pluie optimale pour la Champagne Sud :

0.30\*Pluie à Melun+0.70\*Pluie à Reims

La station de Reims est de loin la plus représentative des pluies observées sur les différents bassins. L'éloignement de la station n'a que peu d'influence car les données d'entrée des modèles de transfert sont réduites (divisées par leur moyenne = adimensionnelles). Les pluies sont optimisées à partir des modélisations effectuées pour les débits de l'Auve (nord) et de la Superbe (sud).

L'ETP utilisée est obtenue à la station de Reims. Elle est représentative de l'ensemble des bassins pour les mêmes raisons.

---

<sup>2</sup> Le corrélogramme croisé permet d'apprécier le degré de corrélation qui existe entre deux séries de données temporelles (plus rigoureusement, il s'agit de la corrélation calculée entre une variable aléatoire à une date donnée et une seconde variable aléatoire séparée de la première par  $k$  intervalles de temps et en faisant varier  $k$ ).

## 2.3. REPRESENTATION DU MODE DE FONCTIONNEMENT DES BASSINS VERSANTS

Chaque bassin versant est caractérisé par un débit à l'exutoire et un piézomètre représentatif de l'état de recharge de la nappe qui contribue au soutien du débit d'étiage. Les niveaux piézométriques ainsi que les débits sont représentés à l'aide de 4 graphiques comme le montrent les deux exemples suivants (Figure 5 et Figure 6).

### 2.3.1. Exemple du bassin de la Vesle dans la Marne

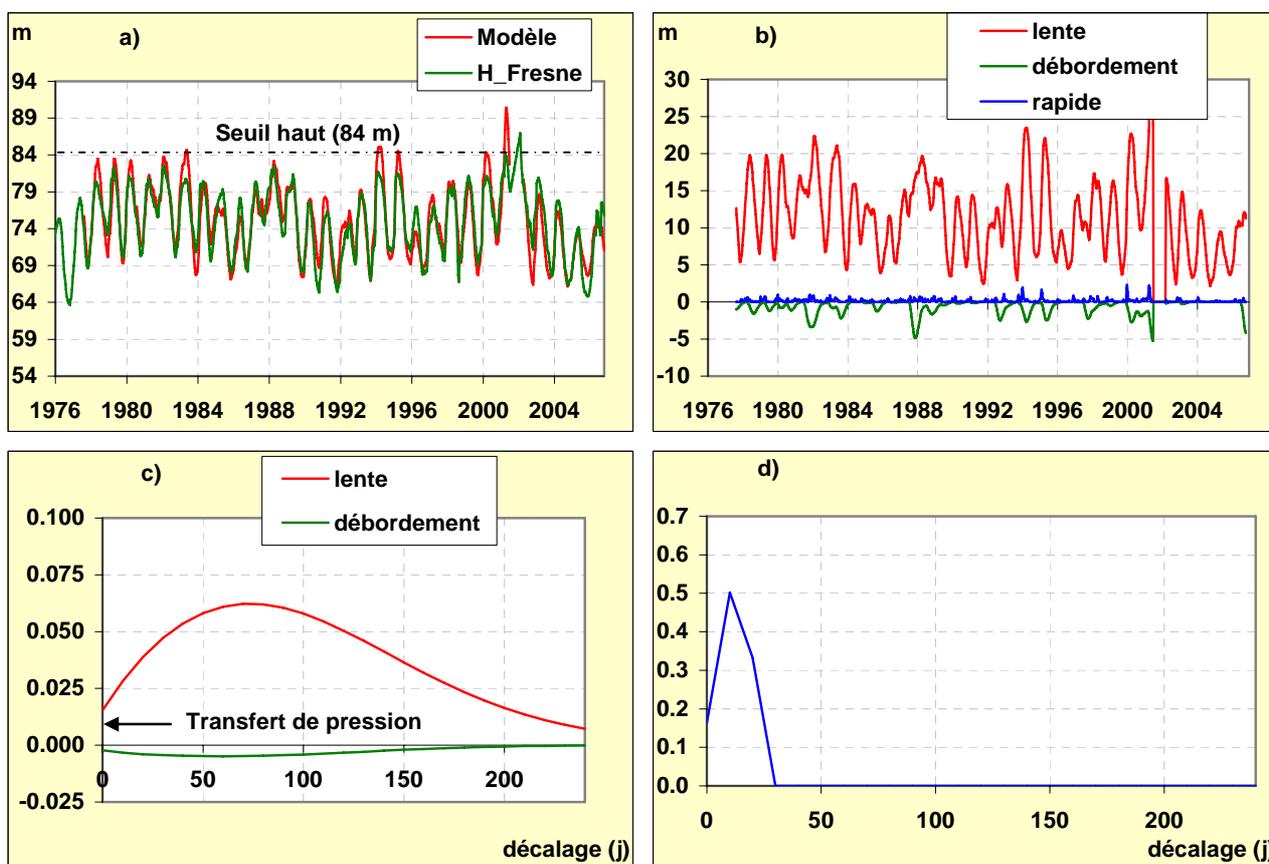


Figure 5 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Vesle avec le piézomètre Fresnes-les-Reims

L'analyse du mode de fonctionnement du bassin versant de la Vesle s'effectue sur la base des résultats de la modélisation portant sur le piézomètre Fresnes-les-Reims. Quatre graphiques sont issus de la modélisation (Figure 5-a, b, c, d) ; leur interprétation est précisée ci-après.

### **Figure 5-a) Comparaison du modèle au niveau piézométrique observé**

Lors de la comparaison des niveaux piézométriques modélisés aux niveaux piézométriques observés, des désaccords peuvent mettre en évidence l'**effet des pompages** sur le niveau des basses eaux (les pompages ne sont pas pris en compte explicitement dans les différents modèles) ou tout dysfonctionnement qui doit être interprété. Un seuil haut est mis en évidence à la côte 84 m ; il s'agit d'un seuil de débordement (cf. § 2.2.1. p. 17) dans un aquifère transmissif.

### **Figure 5-b) Les différentes composantes des variations piézométriques**

Parmi les différentes composantes des variations piézométriques, la composante rapide qui est dans le cas présent très faible se réfère aux processus d'infiltration au travers du réseau de fractures de la zone non saturée. En effet la craie champenoise ne présente pas de perméabilité à grande échelle et l'infiltration au travers de la zone non saturée est régie par une seule réponse impulsionnelle dite « lente ».

### **Figure 5-c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente**

Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente sont la réponse impulsionnelle du niveau piézométrique à la pluie efficace et la réponse impulsionnelle caractérisant le débordement. L'une et l'autre de ces fonctions de transfert s'appliquent sur la pluie efficace.

- La réponse « lente » qui est positive représente la réponse du niveau piézométrique suite à un événement de pluie isolé.
- La réponse « débordement » est négative car elle équivaut à un pompage dans la nappe lorsque la pluie dépasse un certain seuil, ce qui a pour effet de limiter la montée de la nappe lorsque celle-ci franchit la zone de contact entre l'aquifère inférieur peu transmissif et l'aquifère supérieur plus transmissif.

La figure 5c montre que le temps de réaction de la nappe suite à une recharge est relativement rapide, de 50 à 100 jours. Un **transfert de pression** au travers de la zone non saturée est aussi mis en évidence (effet piston) car la réponse impulsionnelle à la pluie prend une valeur non nulle à l'origine pour un décalage 0.

### **Figure 5-d) La réponse impulsionnelle rapide**

La réponse impulsionnelle rapide résulte généralement d'un transfert de pression au travers du réseau de fractures après des pluies abondantes et prolongées. Par convention l'aire de la réponse impulsionnelle rapide vaut 1 ; c'est la raison pour laquelle elle n'est pas représentée sur le même graphique que les réponses lentes dont la somme des aires vaut 1 (cf § 2.2.1.), ceci pour éviter toute confusion dans l'interprétation.

### 2.3.2. Exemple du bassin versant de l'Herbissonne dans l'Aube

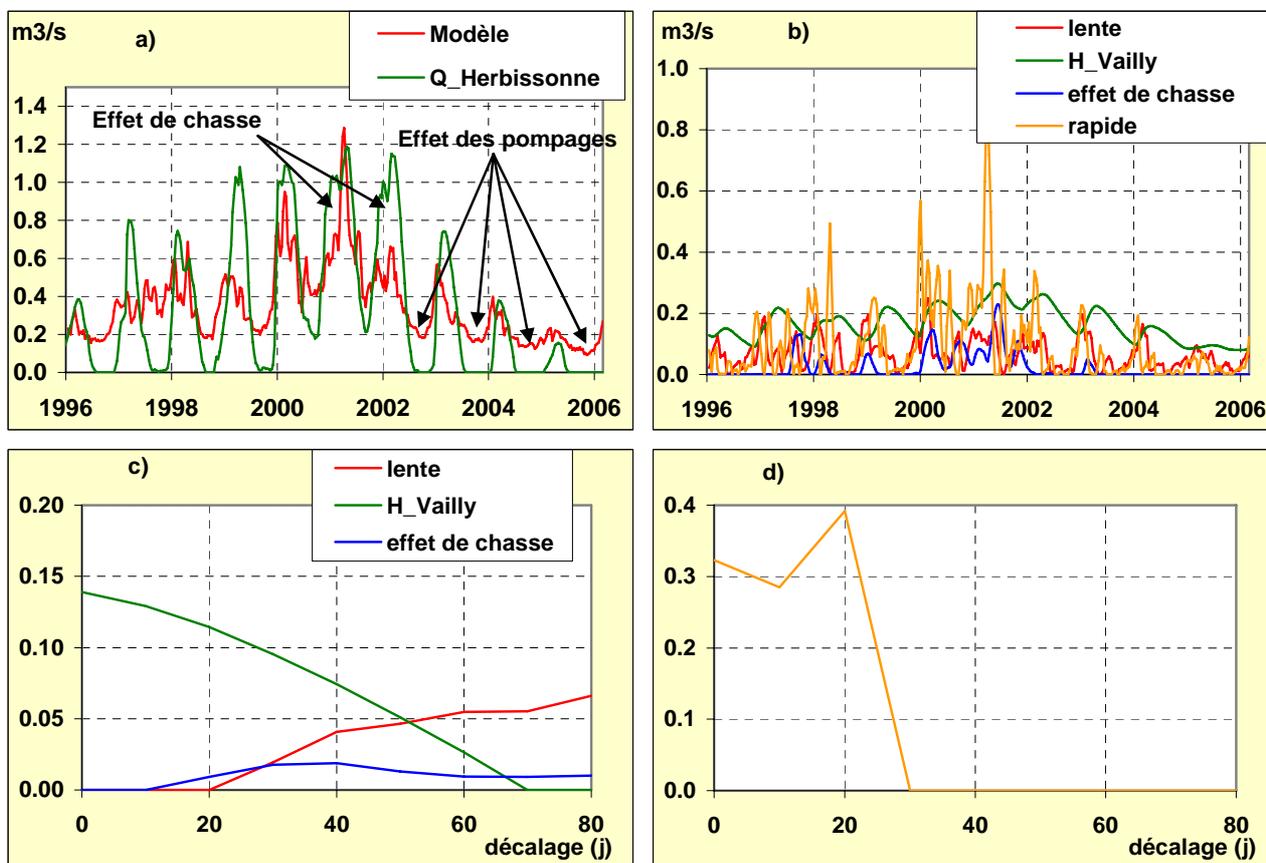


Figure 6 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de l'Herbissonne avec la station de débit de l'Allibaudières

L'analyse du mode de fonctionnement du bassin versant de l'Herbissonne s'effectue sur la base des résultats de la modélisation portant sur la station de mesure du débit à Allibaudières. Quatre graphiques, interprétés ci-après, sont issus de la modélisation (6-a, b, c, d) :

#### Figure 6-a) Comparaison du modèle au débit observé

La comparaison des débits modélisés et des débits observés montre l'**effet des pompages** sur le niveau des basses eaux. Le débit réellement observé est très influencé par les prélèvements saisonniers. Le modèle, quant à lui, n'est pas ou peu influencé par les pompages car il est contraint par le niveau piézométrique en entrée.

Un **effet de chasse**<sup>3</sup> est perceptible, qui résulte de la circulation rapide des eaux souterraines dans l'aquifère transmissif suite à des épisodes de pluie efficace importants.

#### **Figure 6-b) Les différentes composantes du débit**

Le piézomètre Vailly (composante H Vailly) permet d'expliquer de manière satisfaisante le soutien des étiages par la nappe de la craie. La composante « lente » qui représente généralement une contribution des eaux souterraines non prise en compte par le piézomètre et la composante rapide qui représente le ruissellement sont faibles en périodes de basses eaux. Bien qu'il soit reproduit de façon imparfaite par le modèle, l'effet de chasse contribue principalement aux crues et n'intervient donc que très peu dans le soutien des étiages. Cette difficulté à prendre en compte l'effet de chasse montre que la pluie n'est pas le seul élément déclencheur, l'état de la nappe au début de la période de recharge (état initial) jouant un rôle prépondérant ; c'est pourquoi l'effet de chasse apparaît si important en 2002 qui fait suite à l'année 2001 exceptionnellement humide.

#### **Figure 6-c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente**

Alors que la réponse impulsionnelle « lente » et l'« effet de chasse » sont relatifs à la pluie efficace, la réponse impulsionnelle H Vailly s'applique aux variations piézométriques. Les aires des réponses impulsionnelles sont proportionnelles à la contribution des différentes composantes qui leur sont associées (b).

#### **Figure 6-d) La réponse impulsionnelle rapide**

La réponse impulsionnelle rapide représente le ruissellement. Là encore, l'aire de la réponse rapide vaut 1, c'est la raison pour laquelle elle est représentée sur un graphe différent des réponses lentes dont la somme des aires vaut 1.

**Remarque importante : Les modèles des différents débits sont calibrés de telle sorte qu'ils ne soient pas influencés par les pompages saisonniers. De cette manière, les volumes estimés doivent être considérés comme des volumes saisonniers exploitables nets (hors prélèvements permanents tels que AEP et industries).**

---

<sup>3</sup> L'effet de chasse (terme emprunté au karst) résulte d'un transfert de pression lorsqu'une continuité hydraulique est établie dans un réseau de drains. En champagne, les crues subites de certains cours d'eau suggèrent qu'il s'agit bien de tels effets: la nappe franchit un milieu à forte transmissivité, ce qui génère un court-circuit au niveau du cours d'eau. Par corollaire, certains piézomètres mettent en évidence un seuil haut pour les mêmes raisons.

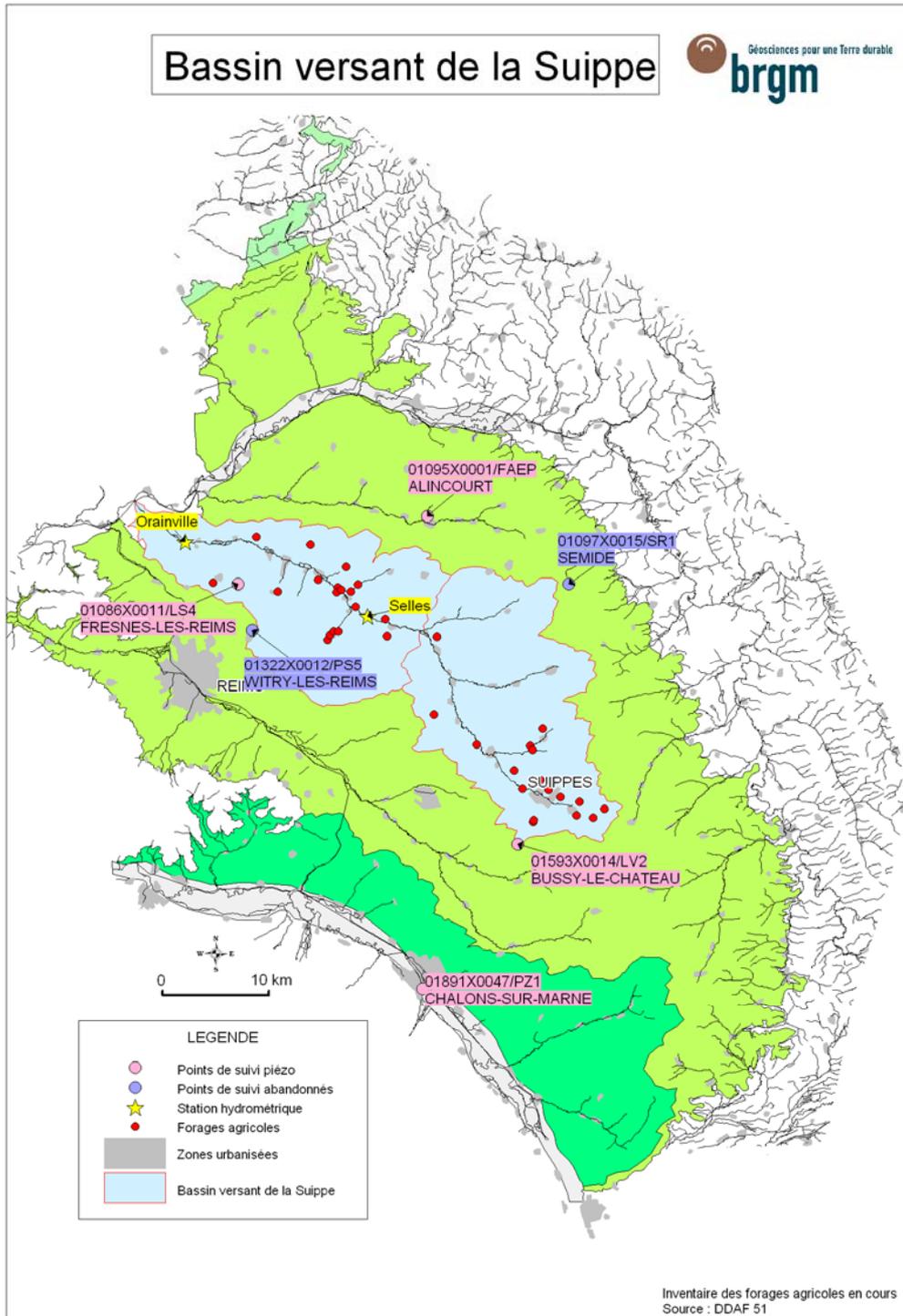


Figure 7 – Carte de situation du bassin versant de la Suiippe avec stations de mesure

## 3. Résultats des modélisations par sous-bassins versants crayeux

### 3.1. LE BASSIN DE LA SUIPPE

Le **bassin versant de la Suippe** (Figure 7), situé au Nord du bassin versant de la Vesle connaît le même développement géologique que ce dernier avec la traversée du plateau d'Ile de France dans sa partie aval pour une surface sur substrat crayeux de 836 km<sup>2</sup>. Il est comme la plupart des bassins versants de la craie dédié aux exploitations agricoles de grande culture. Toutefois sa partie amont est occupée en bonne partie par les camps militaires de Suippe et de Mourmelon, qui font partie des plus grands camps français. Quant à sa partie aval, elle connaît, tout comme la Vesle, une pression foncière liée à la proximité de Reims et une pression sur la ressource en eau avec le champ captant d'Auménancourt, dédié à l'alimentation en eau potable de la ville de Reims.

Les stations de jaugeage retenues sont celles de Selles pour la Suippe amont et Orainville pour la Suippe aval. Dans les deux cas le piézomètre qui convient le mieux pour les simulations est celui de Bussy-Le-Château, situé très en amont à la limite des bassins versants de la Suippe et de la Vesle.

### 3.1.1. Piézomètre de Bussy-le-Château (51)

a) Comparaison du modèle au niveau piézométrique observé : bonne restitution des chroniques de piézométrie.

b) Les différentes composantes des variations piézométriques : le graphique fait apparaître la prise en compte d'un seuil haut.

c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente : ce piézomètre est caractérisé par une recharge rapide (50 jours), recharge qui se fait en partie par effet piston car la réponse impulsionnelle à la pluie n'est pas nulle à l'origine pour un décalage 0.

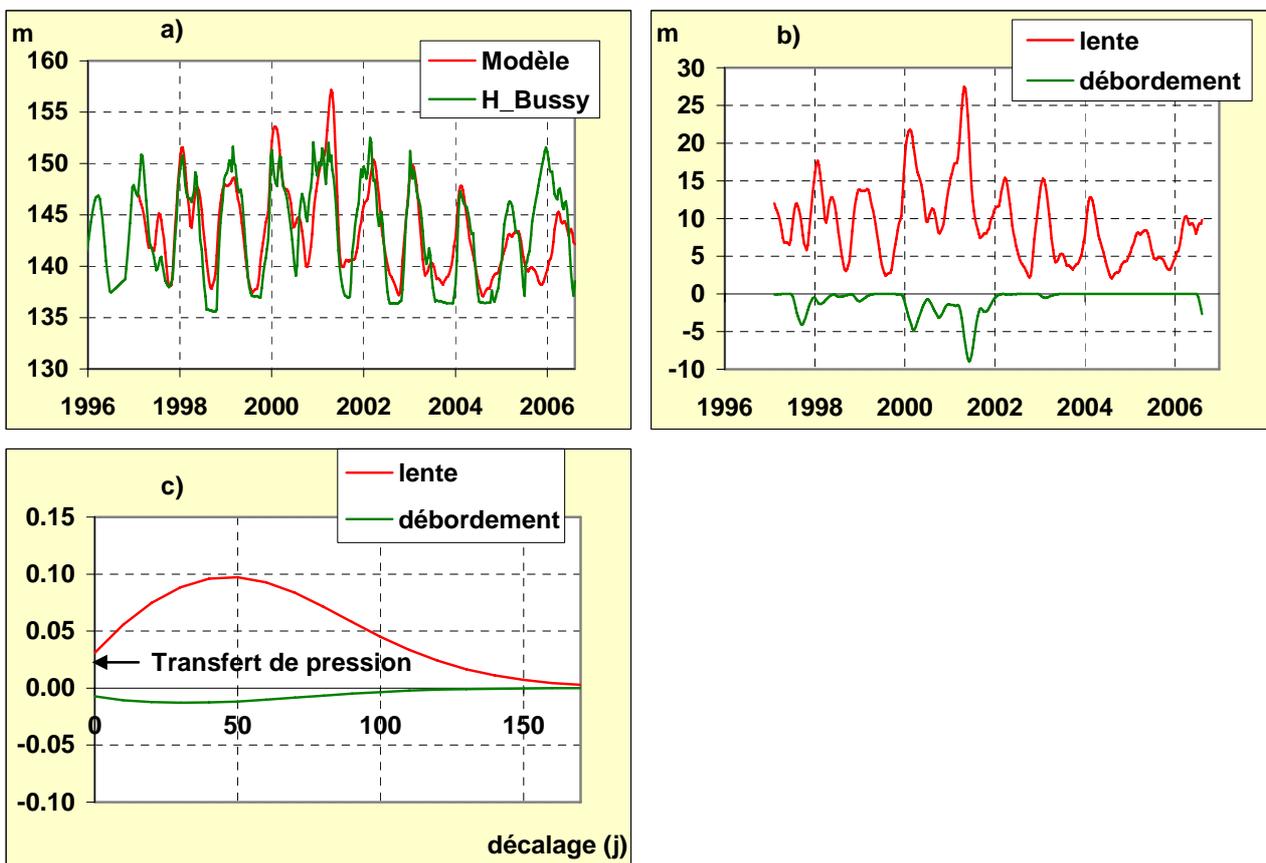


Figure 8 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Suipe avec le piézomètre de Bussy-le-Château

### 3.1.2. Station hydrologique en amont de la Suipe à Selles (51)

a) Comparaison du modèle au débit observé : bonne restitution des chroniques de débits.

b) Les différentes composantes du débit : le piézomètre Bussy est bien représentatif de l'état de recharge de la nappe et permet d'expliquer le soutien des étiages. Les débits de crue en 2000 et 2001 sont amplifiés par l'effet de chasse résultant du débordement de la nappe de la craie dans un niveau très transmissif.

c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente.

d) La réponse impulsionnelle rapide.

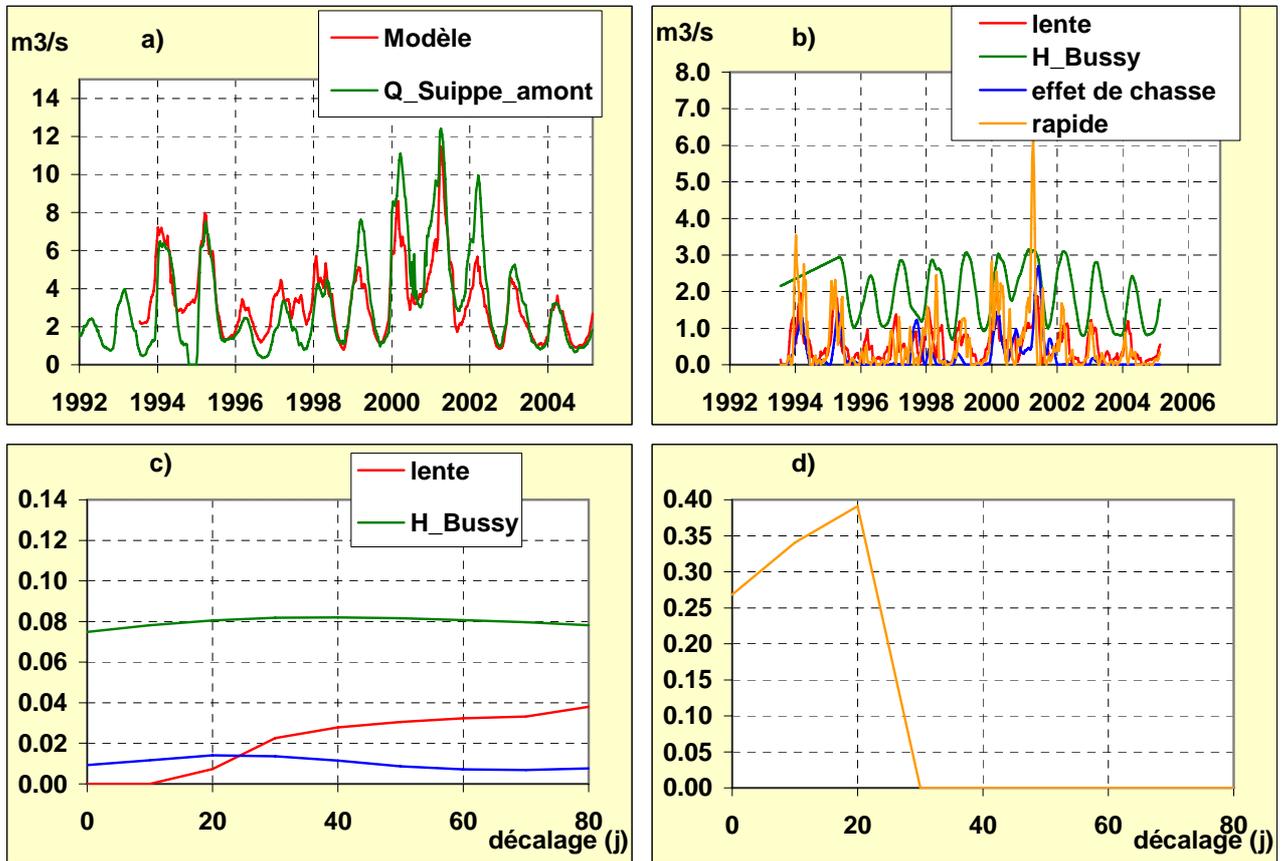


Figure 9 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Suipe avec la station de débit amont de la Suipe à Selles

### 3.1.3. Station hydrologique en aval de la Suipe à Orainville (51)

a) Comparaison du modèle au débit observé.

b) Les différentes composantes du débit. Les crues de 2001 et 2002 sont amplifiées, là encore, par l'effet de chasse. Le modèle n'explique que partiellement la crue de 2002 car il semble qu'elle soit davantage due à l'état de recharge de la nappe restée très haute après 2001 qu'aux pluies exceptionnelles de 2002. Le piézomètre Bussy explique les étiages de manière satisfaisante.

c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente.

d) La réponse impulsionnelle rapide.

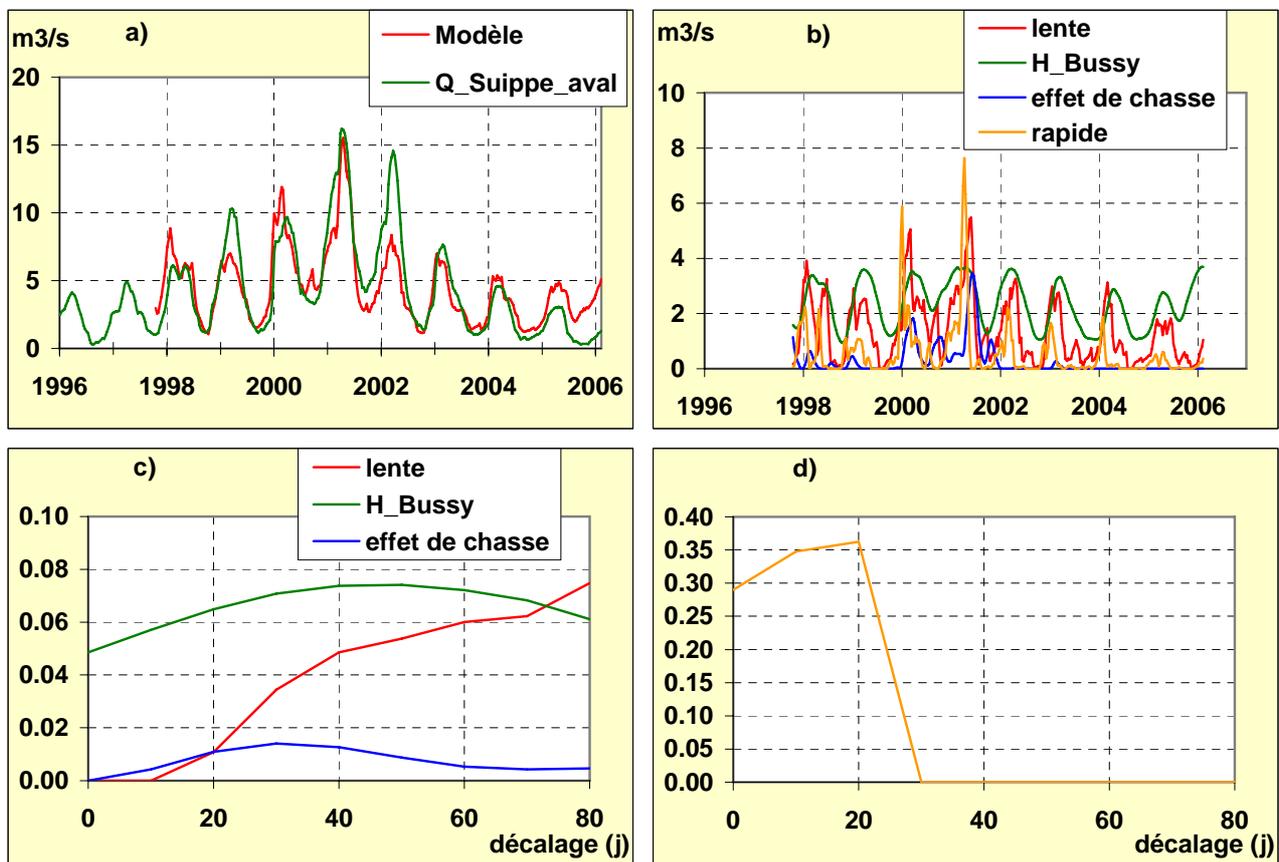


Figure 10 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Suipe avec la station de débit aval d'Orainville

### 3.2. LE BASSIN DE LA VESLE

Le **bassin versant de la Vesle** (Figure 11) s'étend sur une superficie de 875 km<sup>2</sup>. La partie amont du bassin versant qui se développe dans la craie se trouve entre Châlons-en-Champagne et Reims tandis qu'en aval de Reims il pénètre dans l'entonnoir de percée cataclinale de la Cuesta d'Ile de France. C'est un bassin très anthropisé non seulement par la grande culture qui s'y développe, mais également par la forte pression foncière qui s'exerce autour de l'agglomération rémoise et à proximité de la préfecture de région, Châlons-en-Champagne. On note en conséquence sur le bassin versant de la Vesle une forte demande en eau potable avec les champs captant de Couraux et Fléchambaux qui alimentent la ville de Reims. Les infrastructures sont aussi extrêmement présentes avec pas moins de trois autoroutes (A4, A26, A34) et la ligne de TGV EST.

Les stations de jaugeage retenues sont celles de Bouy pour la Vesle amont et Chalons-sur-Vesle pour la Vesle aval. Dans le cas de la Vesle amont le piézomètre qui convient le mieux pour les simulations est celui de Bussy-Le-Château et pour la Vesle aval il s'agit de celui de Fresnes-les-Reims.

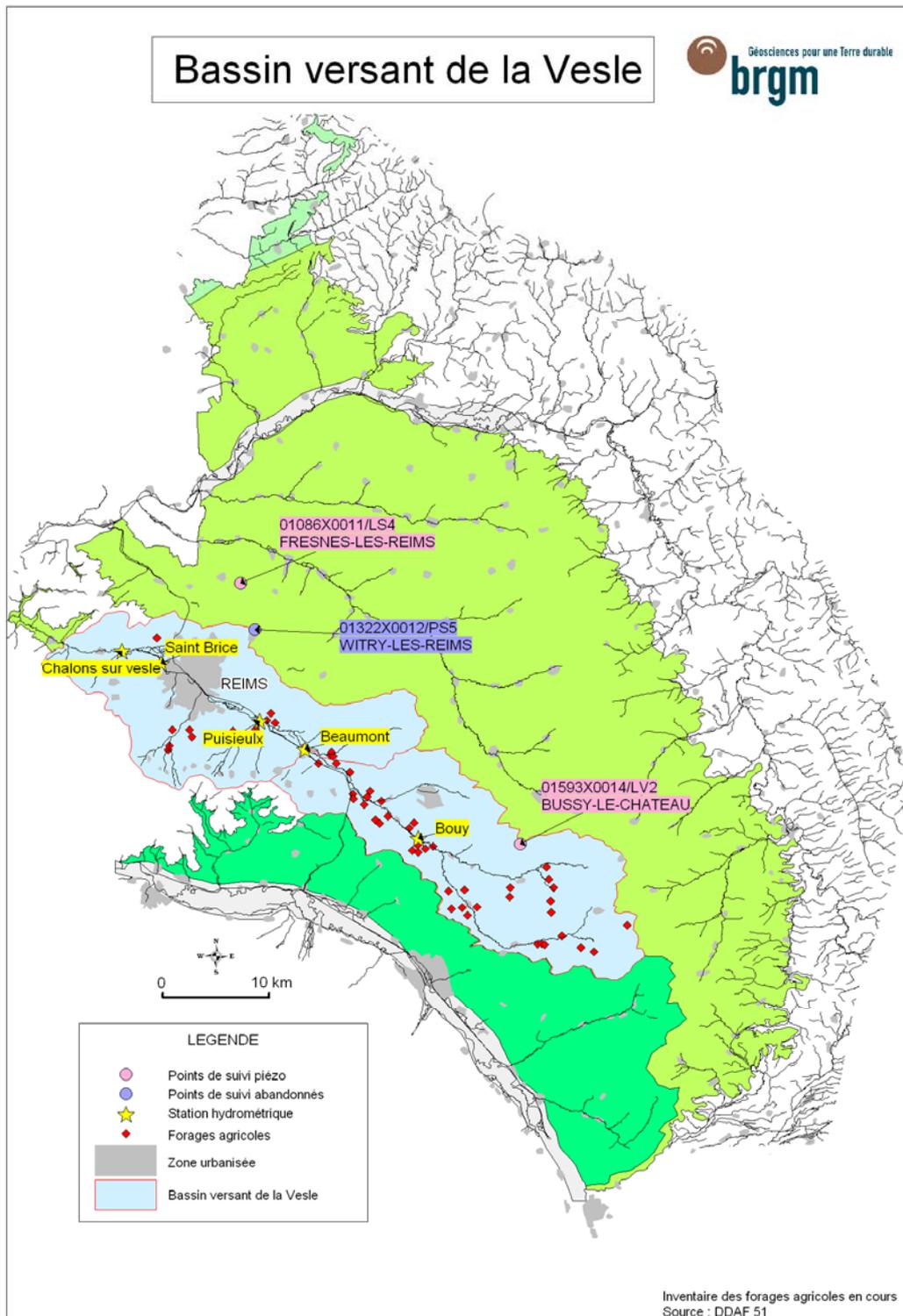


Figure 11 – Carte de situation du bassin versant de la Vesle avec stations de mesure

### 3.2.1. Piézomètre de Fresnes-les-Reims (51)

a) Comparaison du modèle au niveau piézométrique observé.

b) Les différentes composantes des variations piézométriques : la composante rapide est très faible. Un seuil haut est mis en évidence ; il s'agit d'un seuil de débordement dans un aquifère très transmissif.

c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente. Le temps de recharge est rapide (50 à 100 jours). Un transfert de pression au travers de la zone non saturée est mis en évidence (effet piston) car la réponse impulsionnelle à la pluie prend une valeur non nulle à l'origine pour un décalage 0.

d) La réponse impulsionnelle rapide.

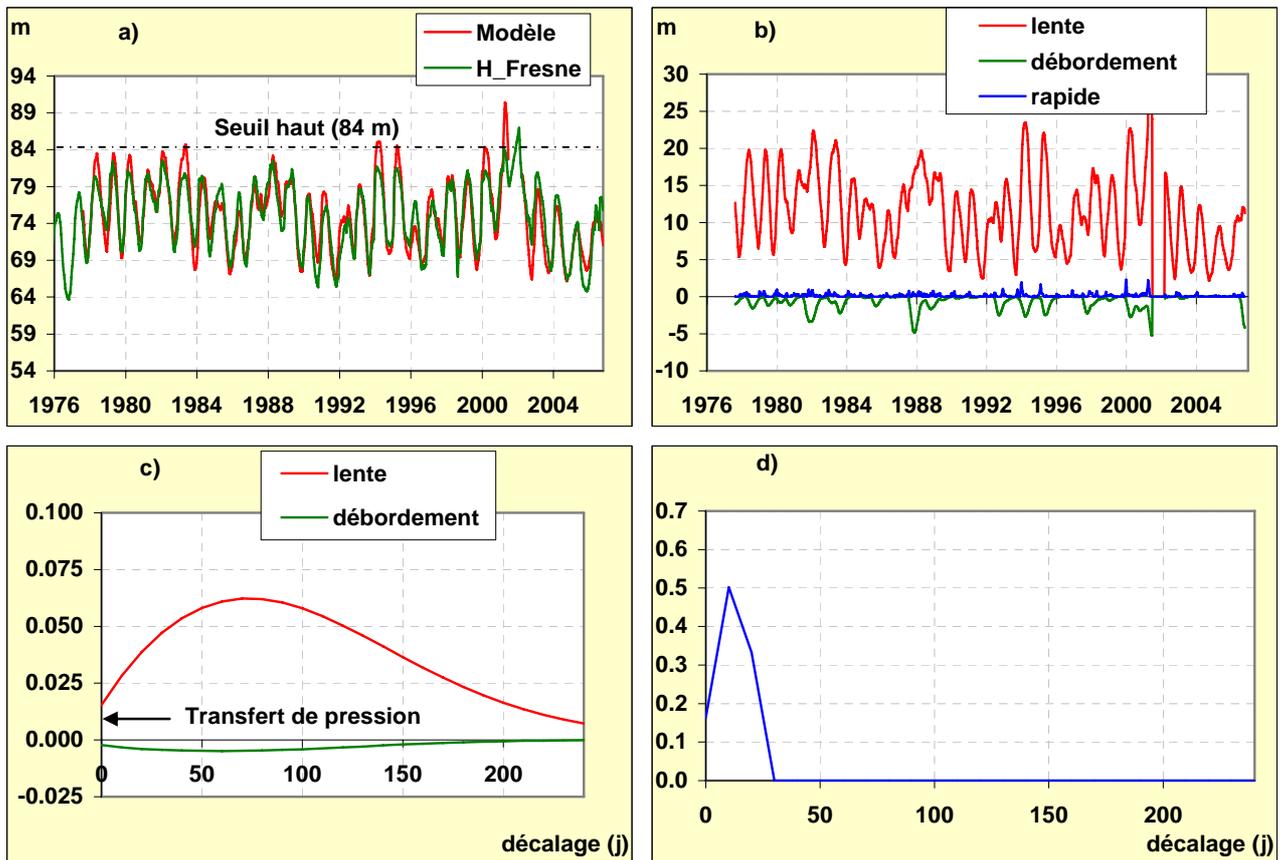


Figure 12 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Vesle avec le piézomètre Fresnes-les-Reims.

### 3.2.2. Station de débit amont de la Vesle à Bouy (51)

a) Comparaison du modèle au débit observé : un effet de chasse important est observé les années humides, effet que le modèle ne peut prendre en compte en raison des interruptions des chroniques du débit et du niveau piézométrique à Bussy qui altèrent le calage. Les effets des pompages sur les niveaux d'étiage sont bien visibles.

b) Les différentes composantes du débit : le piézomètre Bussy permet d'expliquer les étiages de manière satisfaisante.

c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente.

d) La réponse impulsionnelle rapide.

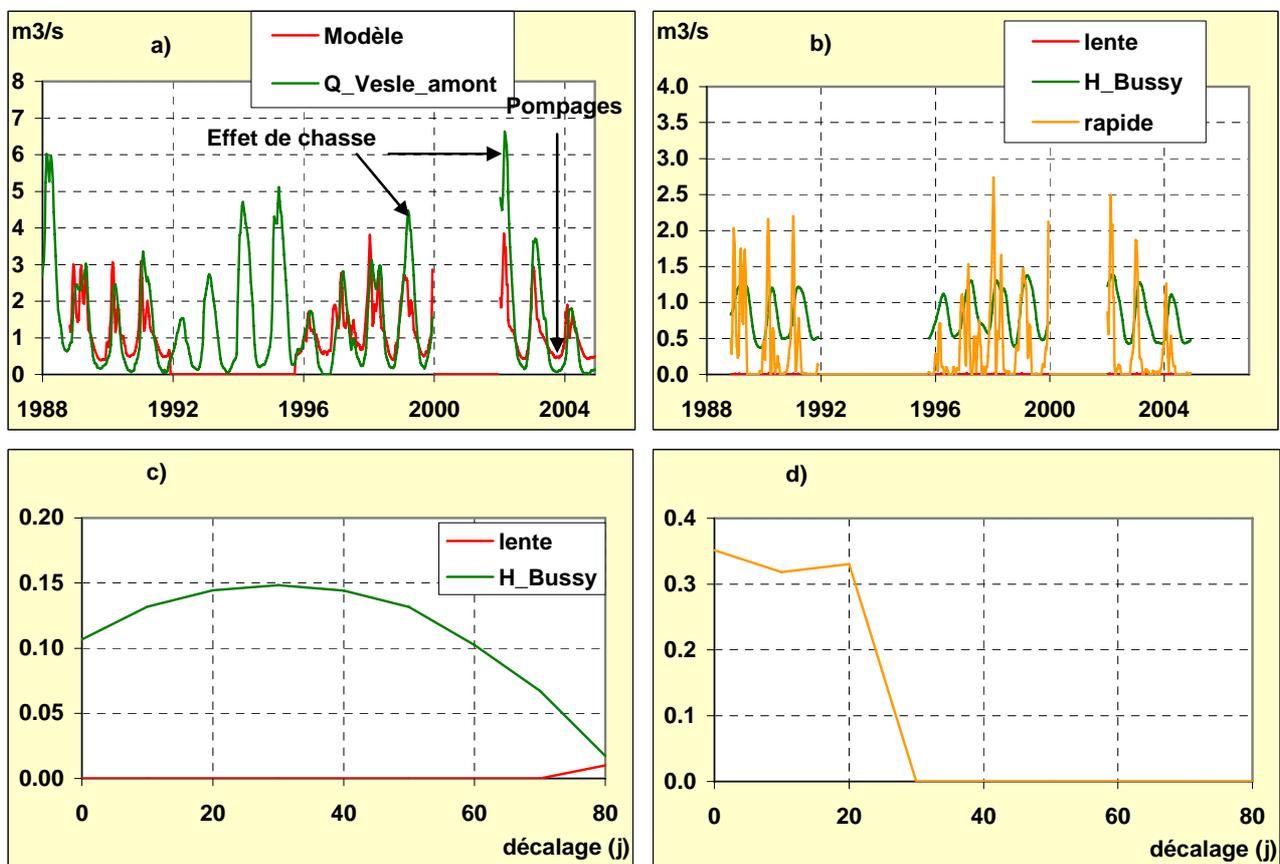


Figure 13 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Vesle avec la station de débit amont de la Vesle à Bouy

### 3.2.3. Station de débit aval de la Vesle à Chalons-sur-Vesle (51)

- a) Comparaison du modèle au débit observé : ici, l'effet de chasse est mieux pris en compte par le modèle
- b) Les différentes composantes du débit : le piézomètre est représentatif de l'état de recharge de la nappe.
- c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente.
- d) La réponse impulsionnelle rapide.

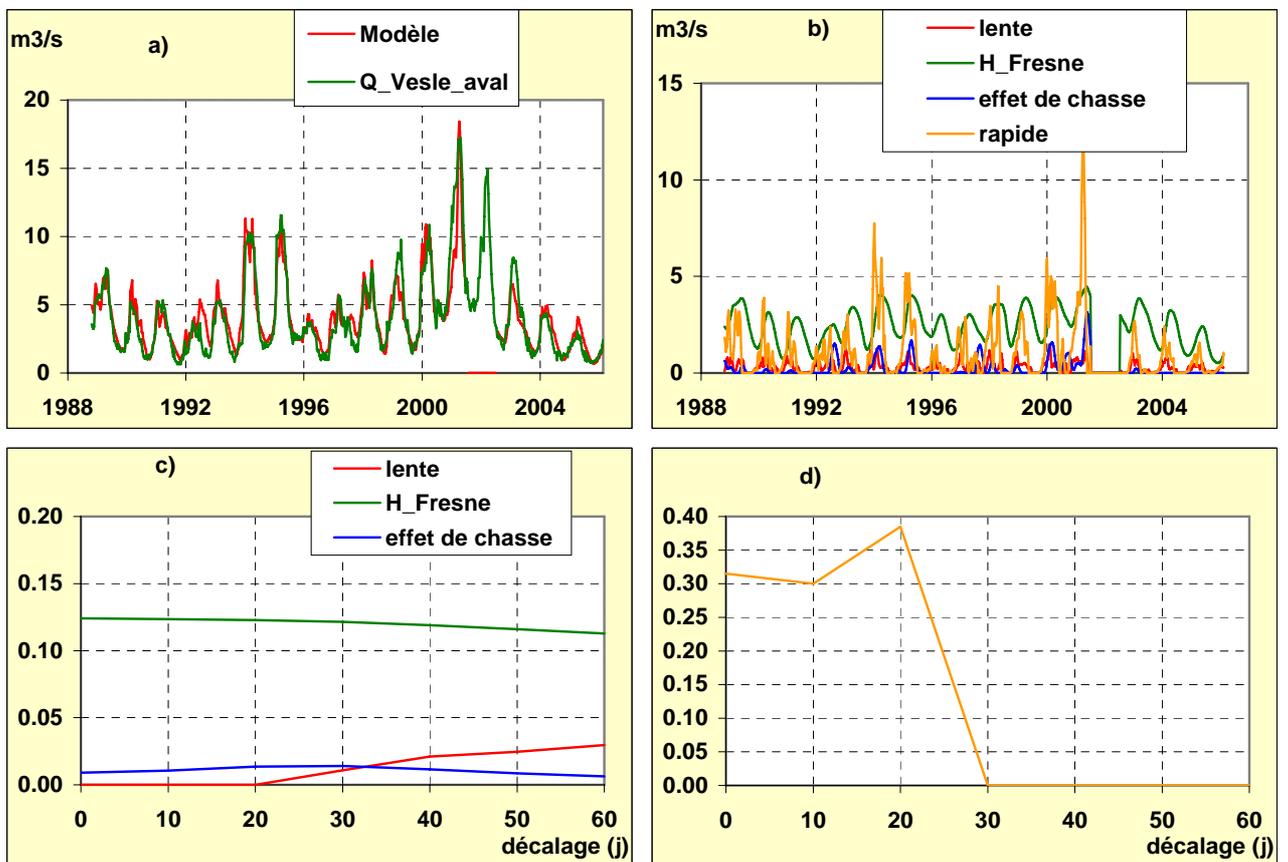


Figure 14 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Vesle avec la station de débit aval de la Vesle à Chalons sur Vesle

### 3.3. LE BASSIN DE L'AUVE

Le **bassin versant de l'Auve** (Figure 15) se situe en limite Est du plateau de la craie champenoise. Son écoulement ne se fait pas vers l'Ouest comme la plupart des cours d'eau de la craie au Nord de la Marne, mais vers l'Est en incisant la Cuesta de Champagne. Ce bassin versant de 210 km<sup>2</sup> marque la limite entre la grande culture de champagne et la polyculture du bocage de la champagne humide.

La station de jaugeage de l'Auve à Dommartin-Dampierre est associée au piézomètre de Bussy-le-Château. Il n'existe pas de piézomètre dans le bassin versant même et bien qu'assez éloigné cet ouvrage rend néanmoins parfaitement compte du comportement hydrologique du bassin.

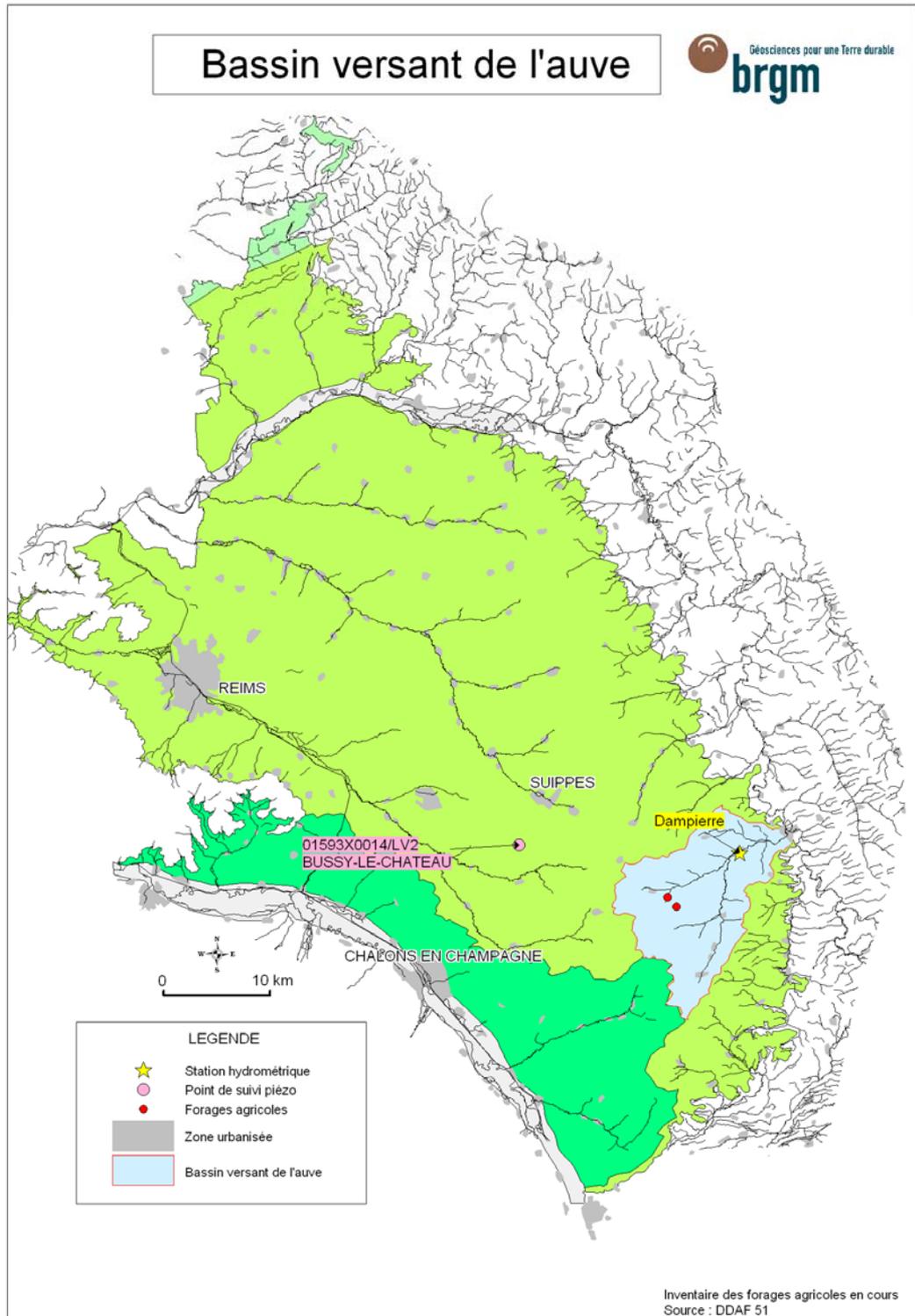


Figure 15 - Carte de situation du bassin versant de l'Aube avec stations de mesure

### 3.3.1. Station de débit de l'Auve à Dampierre (51)

- a) Comparaison du modèle au débit observé.
- b) Les différentes composantes du débit : le piézomètre ne permet de représenter que partiellement la contribution des eaux souterraines au débit car la composante lente contribue de manière significative aux étiages les années humides.
- c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente.
- d) La réponse impulsionnelle rapide.

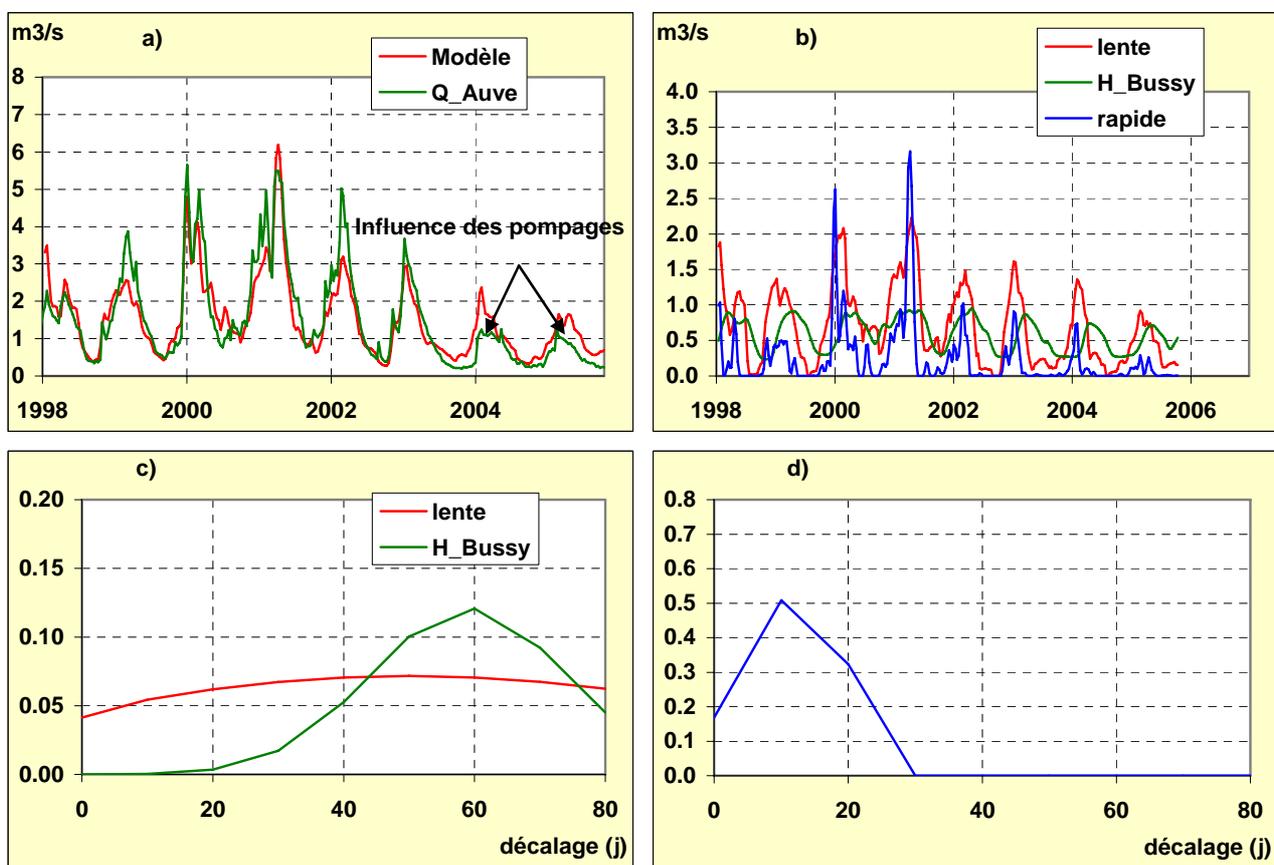


Figure 16 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de l'Auve avec la station de débit de l'Auve à Dampierre

### 3.4. LE BASSIN DE LA RETOURNE

Le **bassin versant de la Retourne** (Figure 17), situé au Nord du bassin versant de la Suippe, est le bassin le plus au Sud du département des Ardennes et le seul en milieu crayeux. Sa partie amont se trouve très proche de la Cuesta de Champagne, et bien qu'il soit comme les autres bassins de la craie utilisé pour la grande culture, l'élevage se fait plus présent en amont. La pression humaine est assez faible sur ce bassin versant de 334 km<sup>2</sup> qui est tout de même traversé par l'A34. A noter que sa confluence avec l'Aisne correspond exactement à la limite ouest d'affleurement du substrat crayeux.

Les chroniques de débits à Saint-Rémy-le-Petit ont été traitées sans avoir recours aux chroniques de piézométrie. Les données disponibles sur le bassin versant de la Retourne sont soit trop anciennes (antérieures à 1981) soit trop récentes (mise en service d'Alincourt fin 2005).

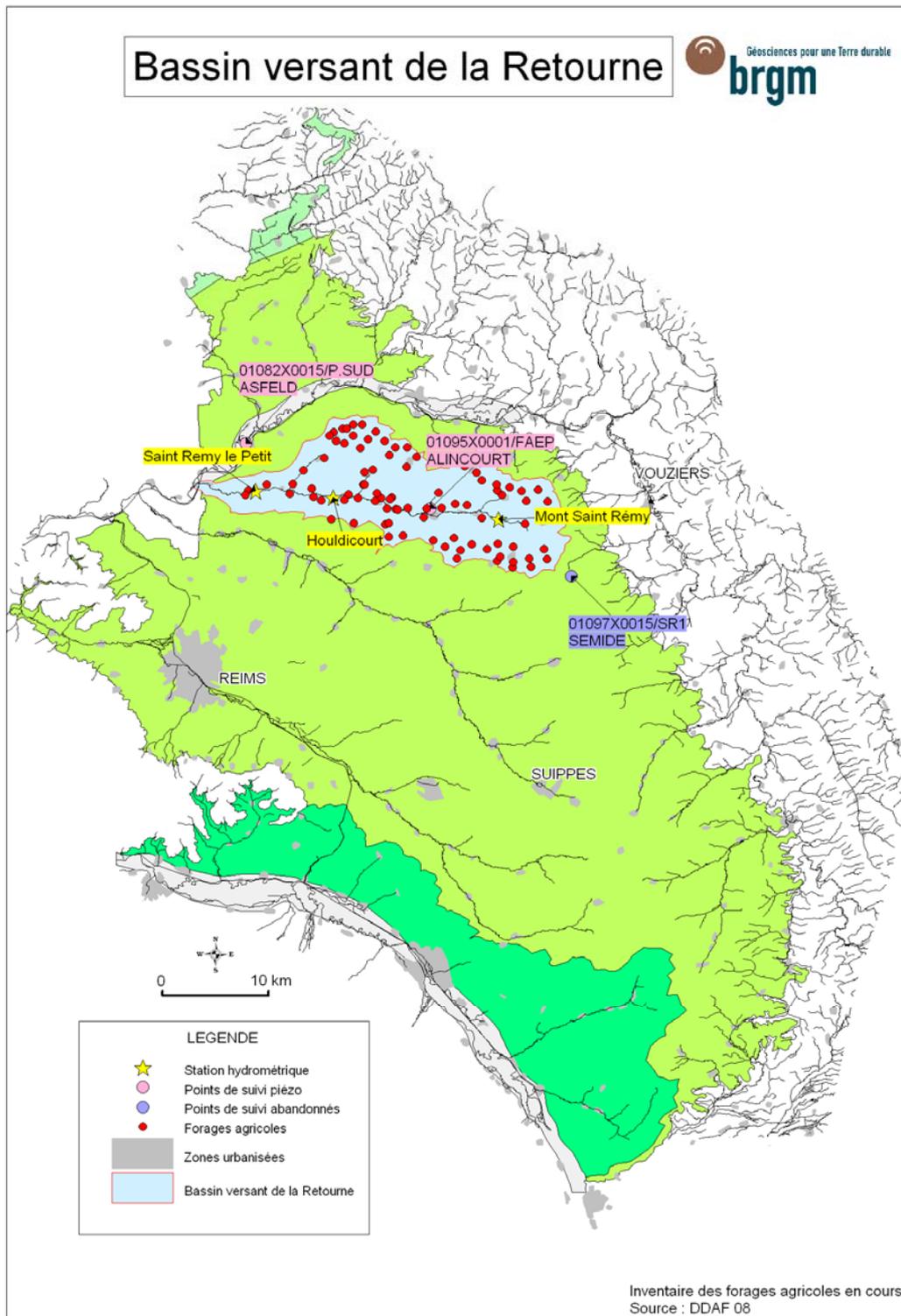


Figure 17 - Carte de situation du bassin versant de la Retourne avec stations de mesure

### 3.4.1. Station de débit de la Retourne à Saint-Rémy-le-Petit (08)

a) Comparaison du modèle au débit observé.

b) Les différentes composantes du débit.

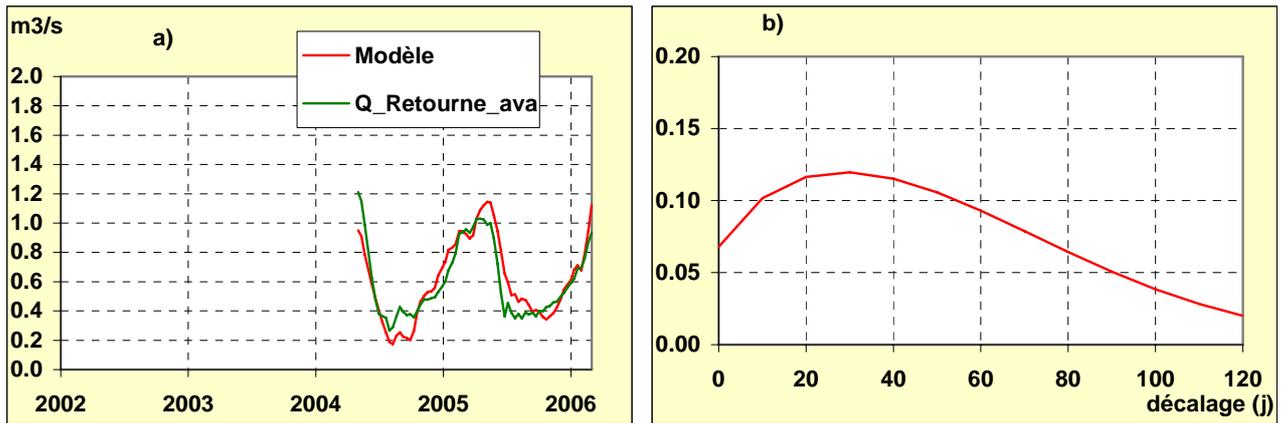


Figure 18 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Retourne avec la station de débit de la Retourne à Saint Rémy le petit

### 3.5. LE BASSIN DE L'ARDUSSON

**Le bassin versant de l'Ardusson** (Figure 19) est le plus au Sud des bassins concernés par cette étude. Ce bassin de 170 km<sup>2</sup> vient confluer à l'Ouest avec la Seine, au niveau de Romilly-sur-Seine. Cette confluence correspond aussi à la limite Ouest de l'auréole crayeuse.

La station de jaugeage de l'Ardusson à Saint-Aubin a été associée au piézomètre d'Orvilliers-Saint-Julien, situé à l'extérieur du bassin versant mais à proximité immédiate.

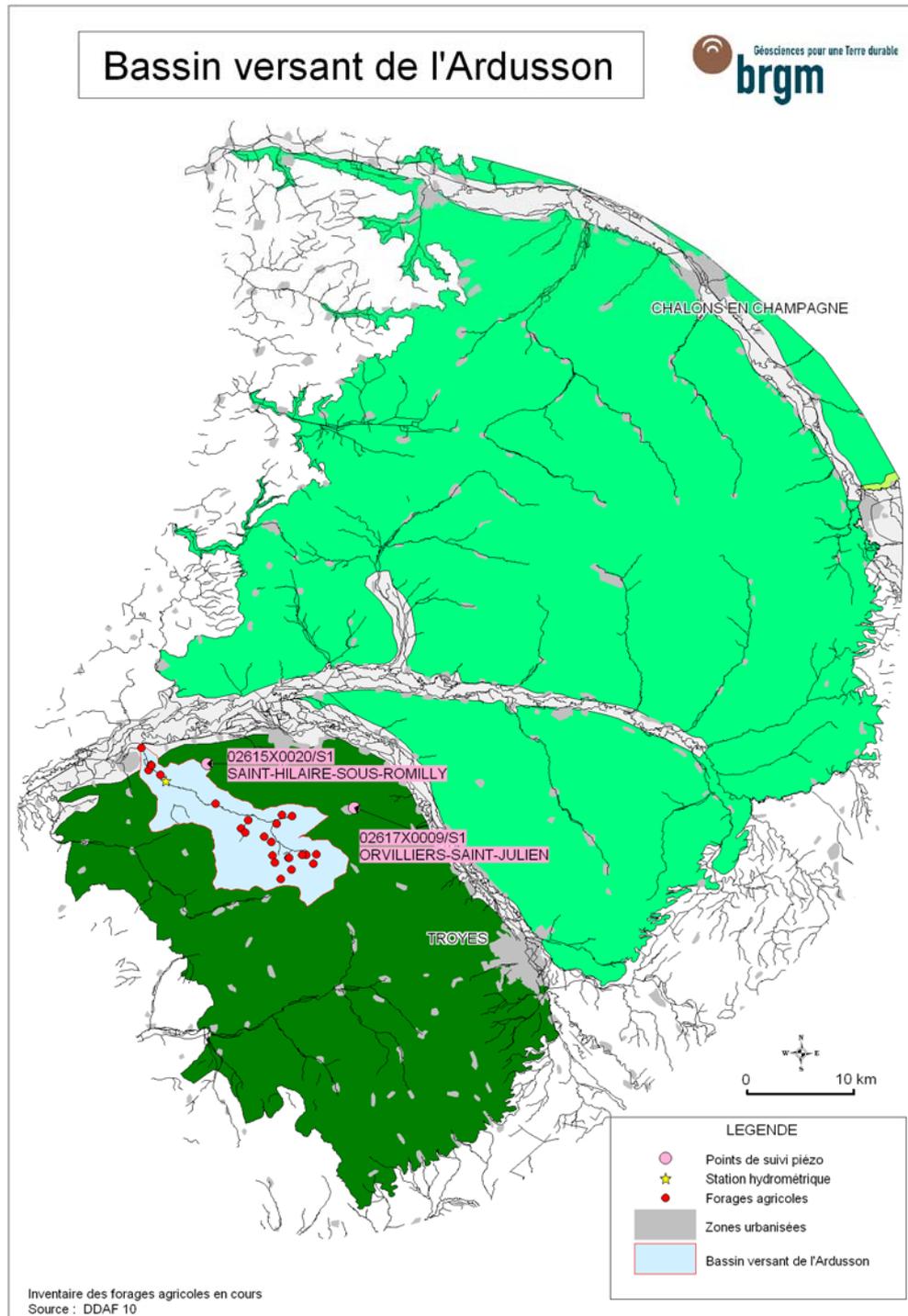


Figure 19 - Carte de situation du bassin versant de l'Ardusson avec stations de mesure

### 3.5.1. Piézomètre d'Orvilliers-Saint-Julien (10)

- a) Comparaison du modèle au niveau piézométrique observé.
- b) Les différentes composantes des variations piézométriques.
- c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente.
- d) La réponse impulsionnelle rapide.

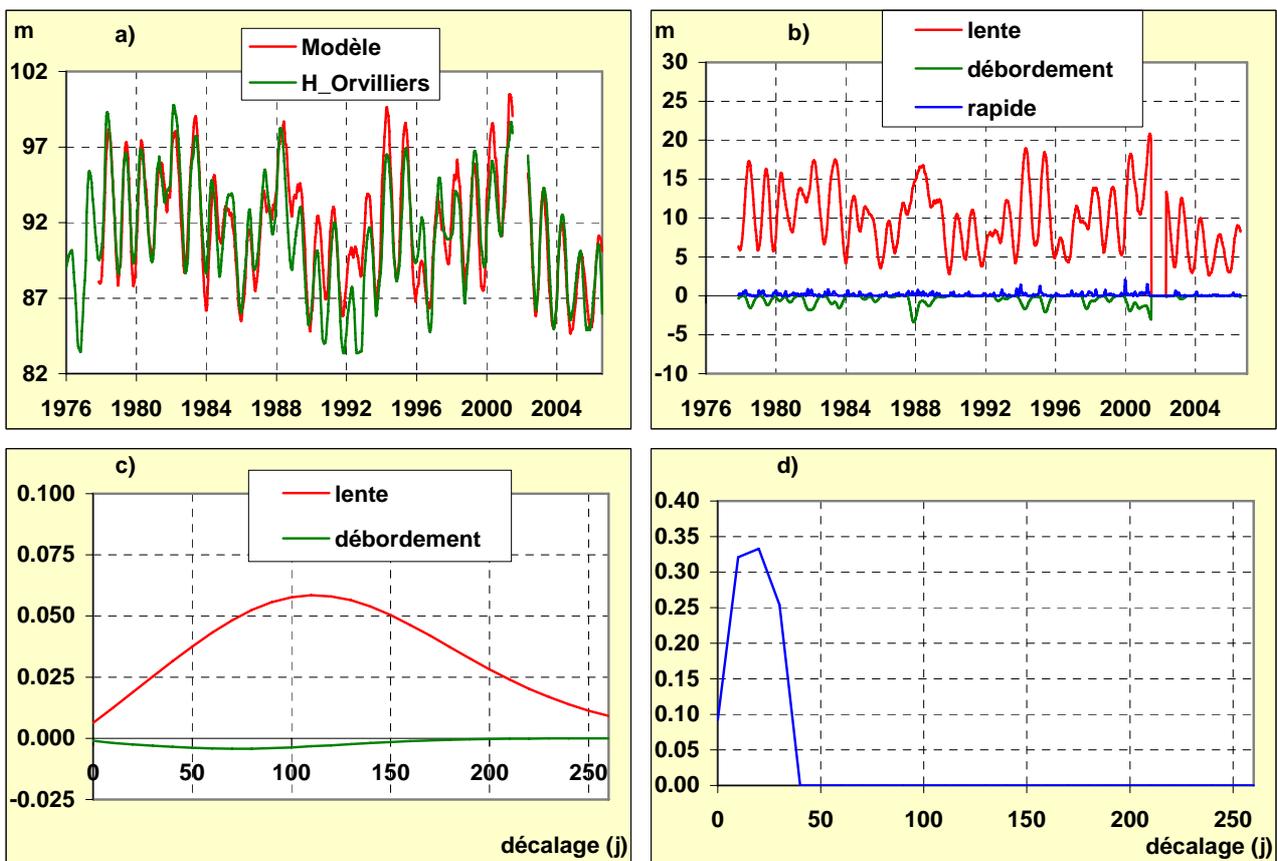


Figure 20 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de l'Ardusson avec le piézomètre Orvilliers-Saint-Julien (10).

### 3.5.2. Station de débit de l'Ardusson à Saint-Aubin (10)

a) Comparaison du modèle au débit observé

b) Les différentes composantes du débit. Le piézomètre ne permet pas d'expliquer à lui seul la contribution des eaux souterraines au soutien des débits d'étiage, la composante lente intervient également.

c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente.

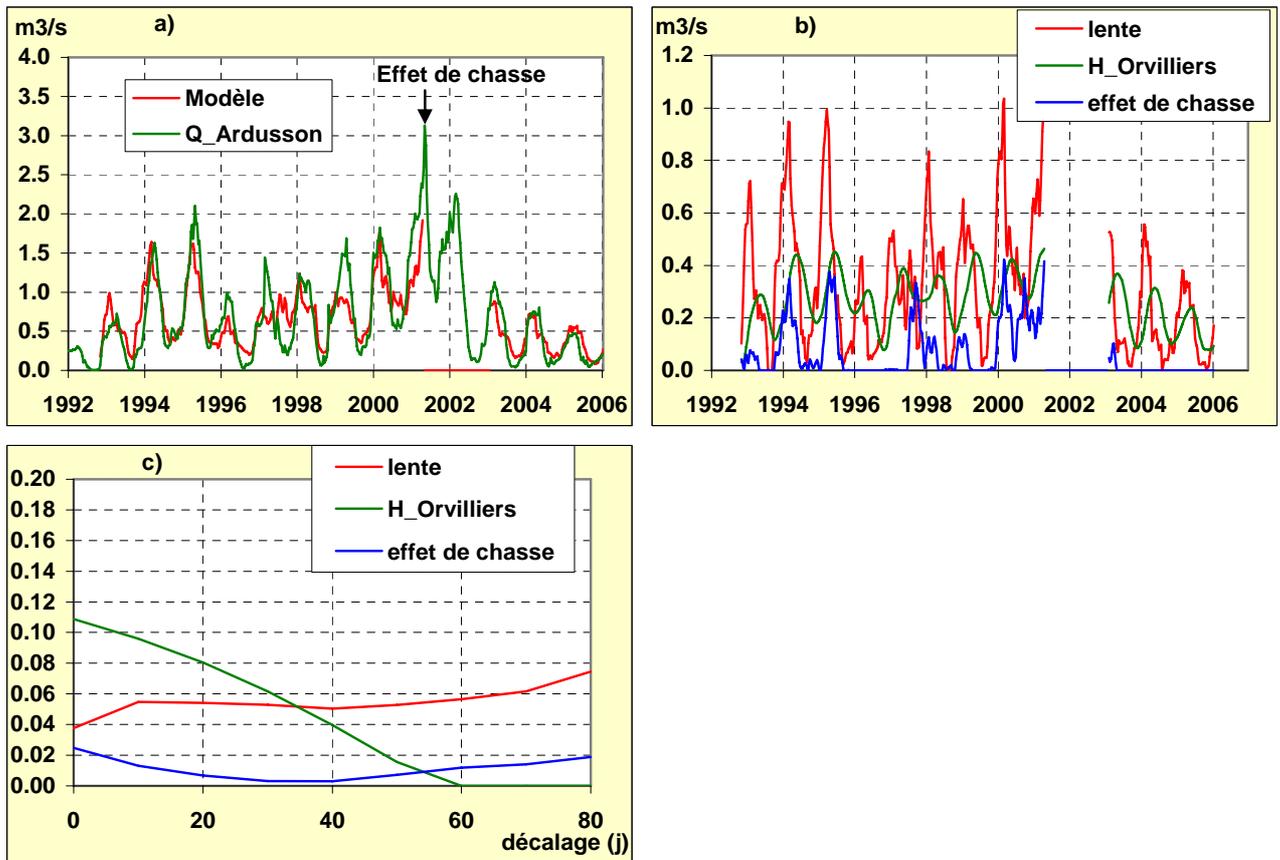


Figure 21 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de l'Ardusson avec la station de débit de l'Ardusson à Saint Aubin

### 3.6. LE BASSIN DE LA BARBUISE

Le **bassin versant de la Barbuise** (Figure 22), qui mesure 330 km<sup>2</sup> prend sa source aux environs du parc naturel régional des Lacs de la forêt d'orient. Il constitue l'interfluve Seine-Aube directement en aval de la confluence. Il conflue avec l'Aube en rive gauche au niveau d'Arcis-sur-Aube. Bien que principalement destiné à la grande culture, ce bassin subit une pression due à la proximité des villes de Troyes et d'Arcis-sur-Aube, respectivement au Nord et au Sud du bassin.

La station de jaugeage de la Barbuise à Pouan-les-Vallées a été associée au piézomètre de Vailly, situé à l'extérieur du bassin versant mais à proximité immédiate. Les piézomètres situés dans le bassin versant même n'ont pas été retenus : Rhèges-Bessy capte les alluvions sur craie et le suivi de Saint-Rémy-sous-Barbuise est trop récent (sept-2005).

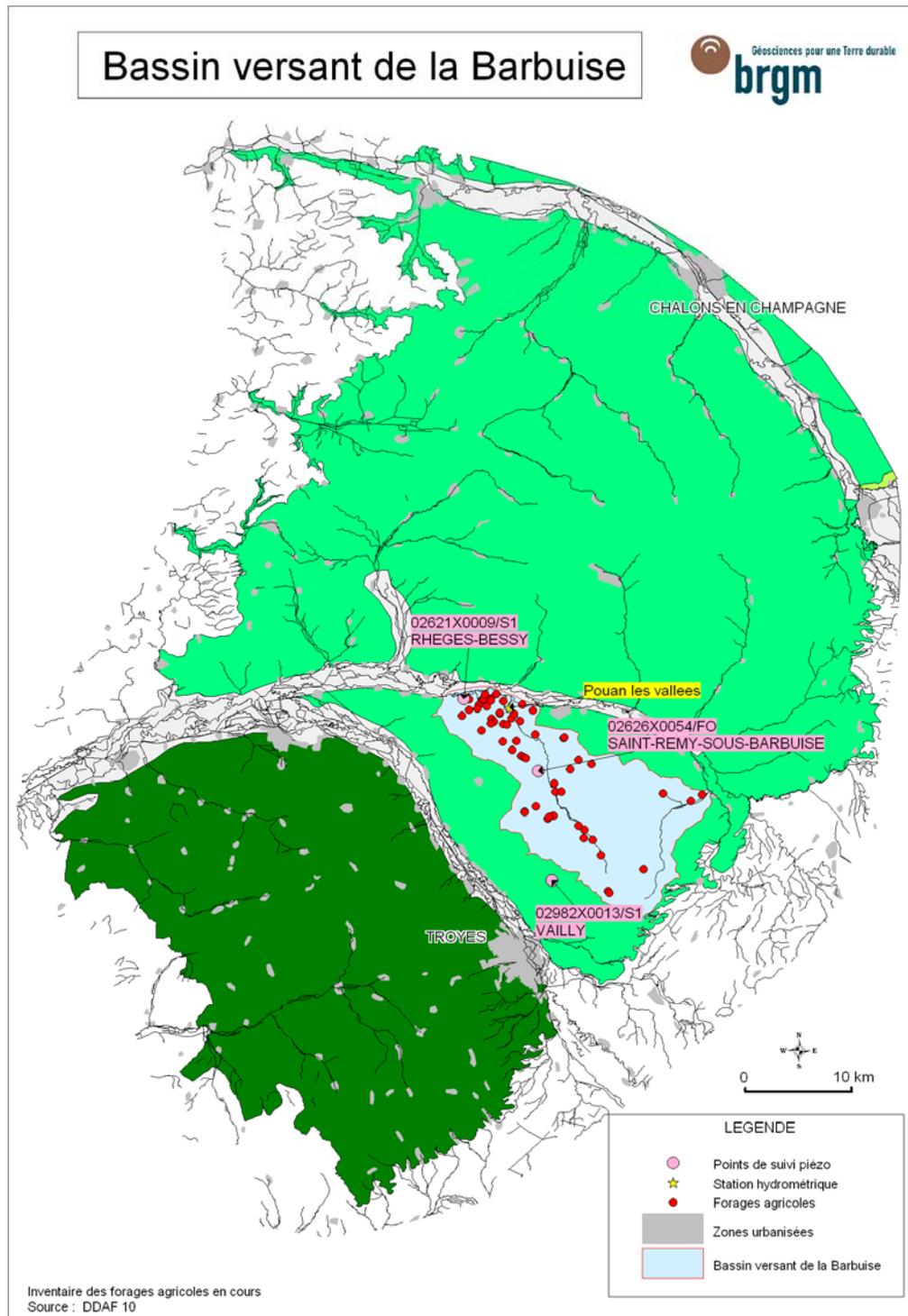


Figure 22 - Carte de situation du bassin versant de la Barbuise avec stations de mesure

### 3.6.1. Piézomètre de Vailly (10)

- a) Comparaison du modèle au niveau piézométrique observé.
- b) Les différentes composantes des variations piézométriques.
- c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente : Le temps de recharge est de l'ordre de 100 jours, le temps de vidange est supérieur à une année.

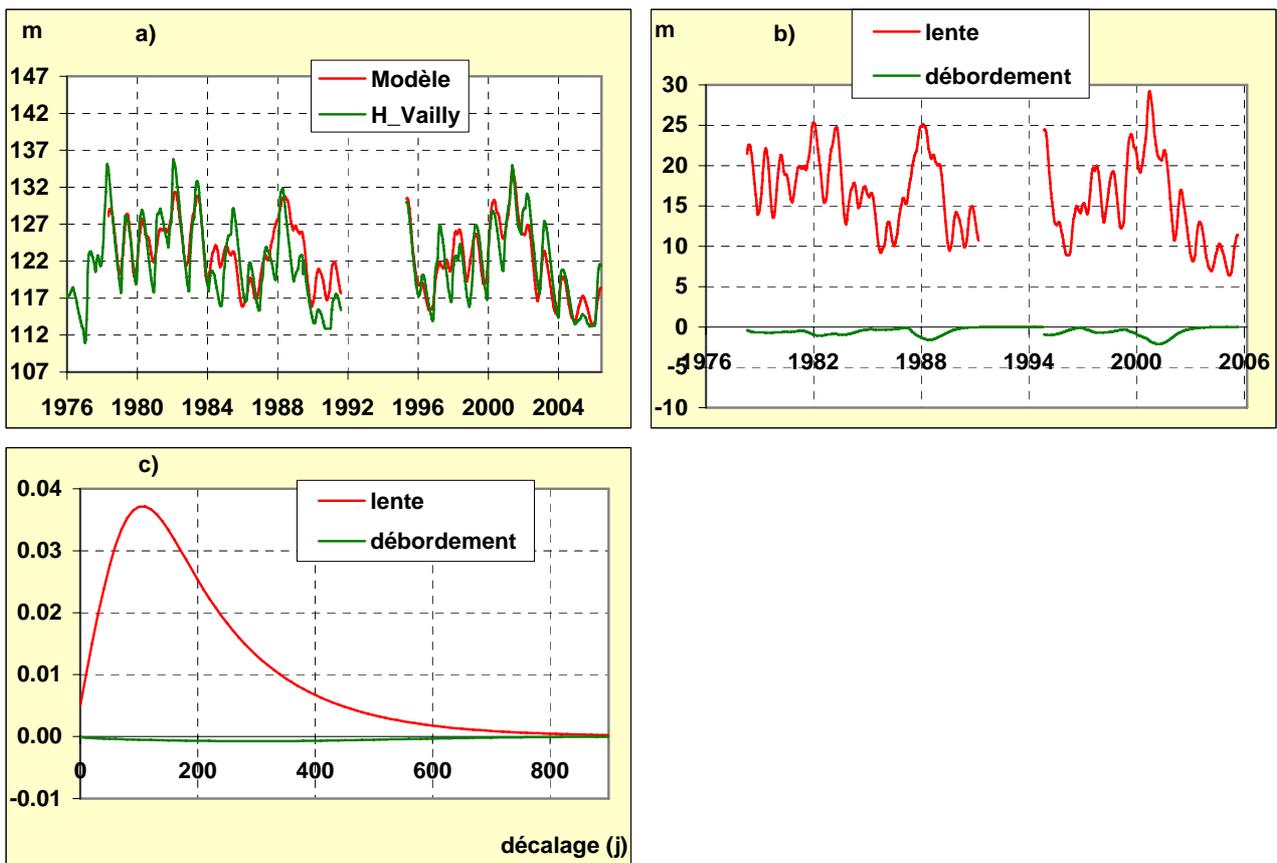


Figure 23 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Barbuise avec le piézomètre Vailly

### 3.6.2. Station de débit de la Barbuise à Pouan-les-Vallées (10)

a) Comparaison du modèle au débit observé : l'effet des pompages sur le débit d'étiage est très important.

b) Les différentes composantes du débit : le piézomètre de Vailly permet d'expliquer de manière satisfaisante le soutien des étiages par la nappe de la craie.

c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente.

d) La réponse impulsionnelle rapide.

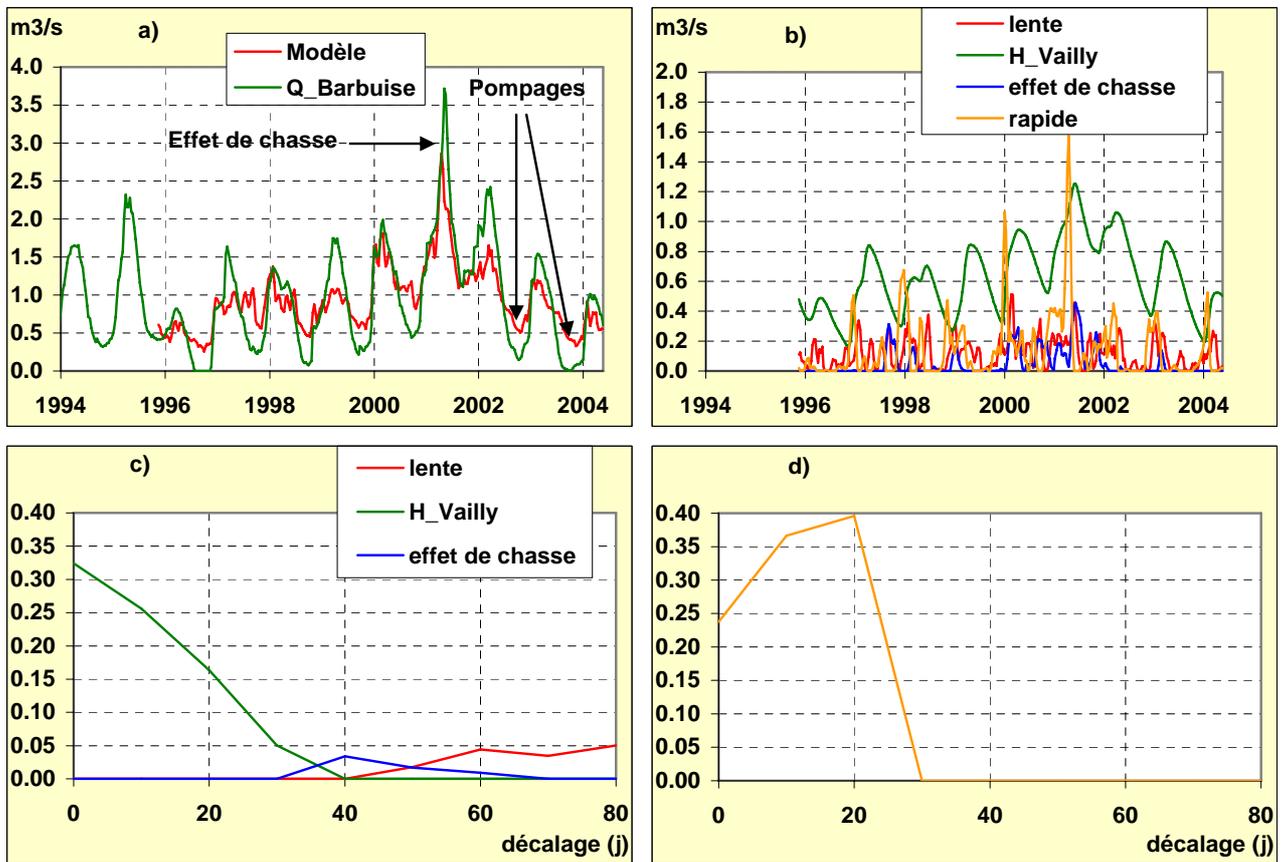


Figure 24 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Barbuise avec la station de débit de la Barbuise à Pouan les vallées

### 3.7. LE BASSIN DE L'HERBISSONNE

Le **bassin versant de l'Herbissonne** (Figure 25) est le plus petit bassin versant concerné par cette étude avec une surface de 95 km<sup>2</sup>. Le cours d'eau totalement perpendiculaire à l'Aube montre qu'il subit pleinement l'impact du niveau de base avec qui il conflue légèrement en aval d'Arcis-sur-Aube. On observe peu de pression foncière sur ce bassin versant, qui comme beaucoup d'autres bassins versants situés dans la craie, est entièrement dédié à la grande culture.

Le débit de l'Herbissonne est contrôlé à Allibaudières et la nappe de la craie au piézomètre de Vailly. Il s'agit de l'ouvrage qui rend le mieux compte du comportement hydraulique du bassin.

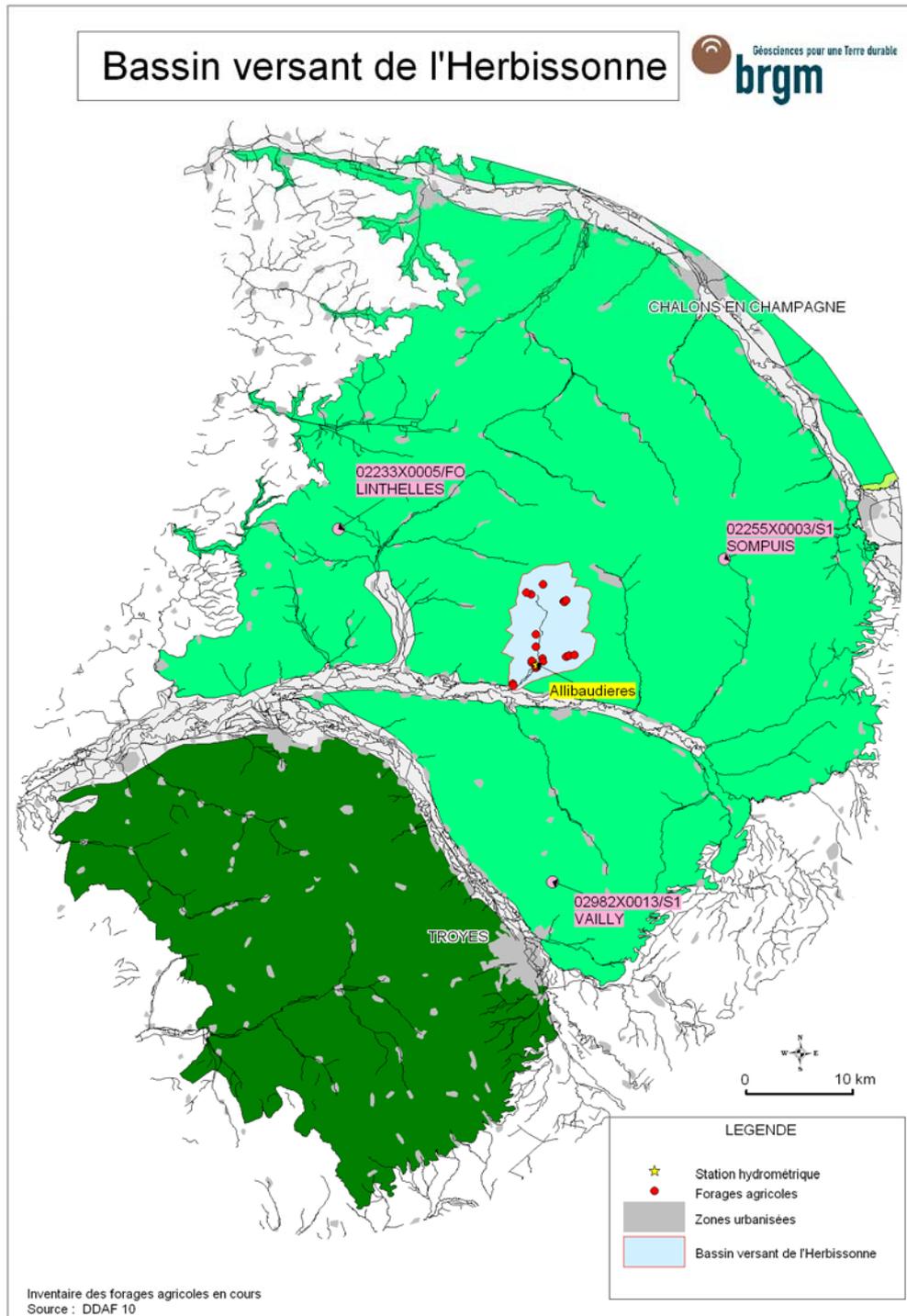


Figure 25 - Carte de situation du bassin versant de l'Herbissonne avec stations de mesure

### 3.7.1. Station de débit de l'Herbissonne à Allibaudières (10)

a) Comparaison du modèle au débit observé : le débit est très influencé par les prélèvements saisonniers.

b) Les différentes composantes du débit : le piézomètre Vailly permet d'expliquer de manière satisfaisante le soutien des étiages par la nappe de la craie.

c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente.

d) La réponse impulsionnelle rapide.

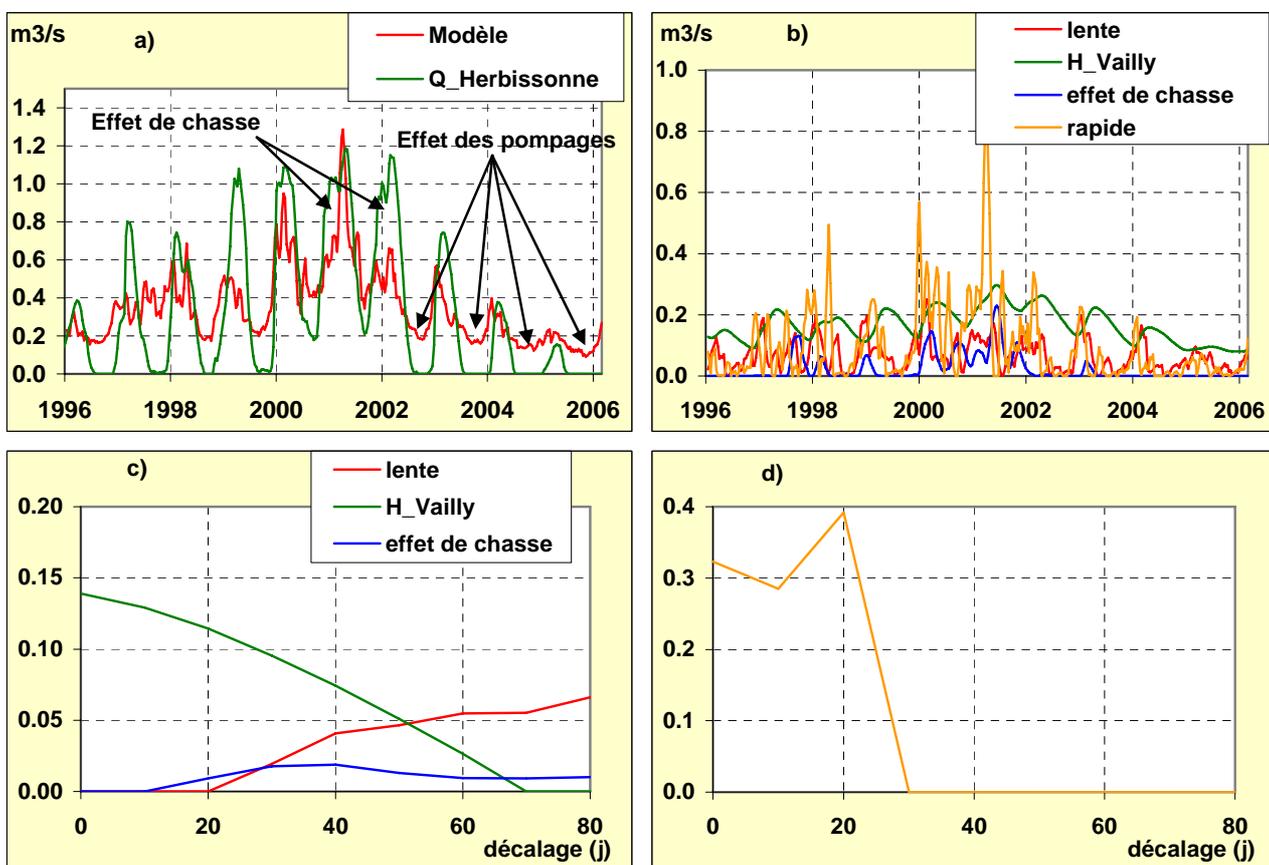


Figure 26 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de l'Herbissonne avec la station de débit de l'Herbissonne à Allibaudières

### **3.8. LE BASSIN DE L'HUITRELLE**

Le **bassin versant de l'Huitrelle** (Figure 27), situé à l'est du bassin versant de l'Herbissonne se jette dans l'Aube et prend sa source au niveau de l'interfluve Aube-Marne, comme la Superbe, la Somme et la Soude, la Coole et Lhuître. Cela s'explique en partie par le dôme pluviométrique que constitue cet interfluve. Ce bassin de 190 km<sup>2</sup> est assez peu densément peuplé, et est occupé principalement par la céréaliculture.

La station de jaugeage de l'Huitrelle à Lhuître a été associée au piézomètre de Sompuis qui donne les meilleurs résultats pour la modélisation Tempo.

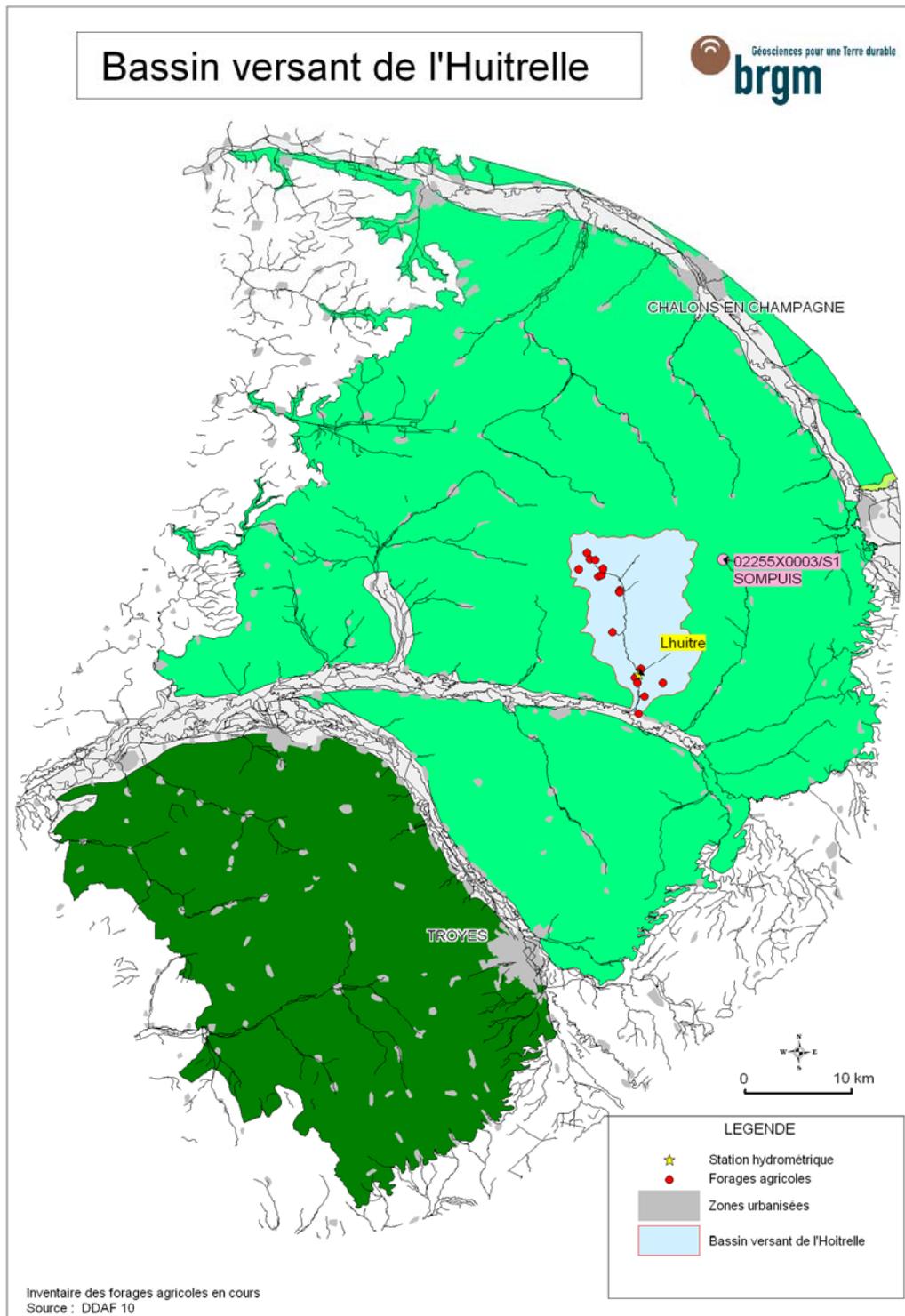


Figure 27 - Carte de situation du bassin versant de l'Huitrelle avec stations de mesure

### 3.8.1. Piézomètre de Sompuis (51)

- a) Comparaison du modèle au niveau piézométrique observé.
- b) Les différentes composantes des variations piézométriques : un seuil haut est pris en compte (145 m).
- c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente.

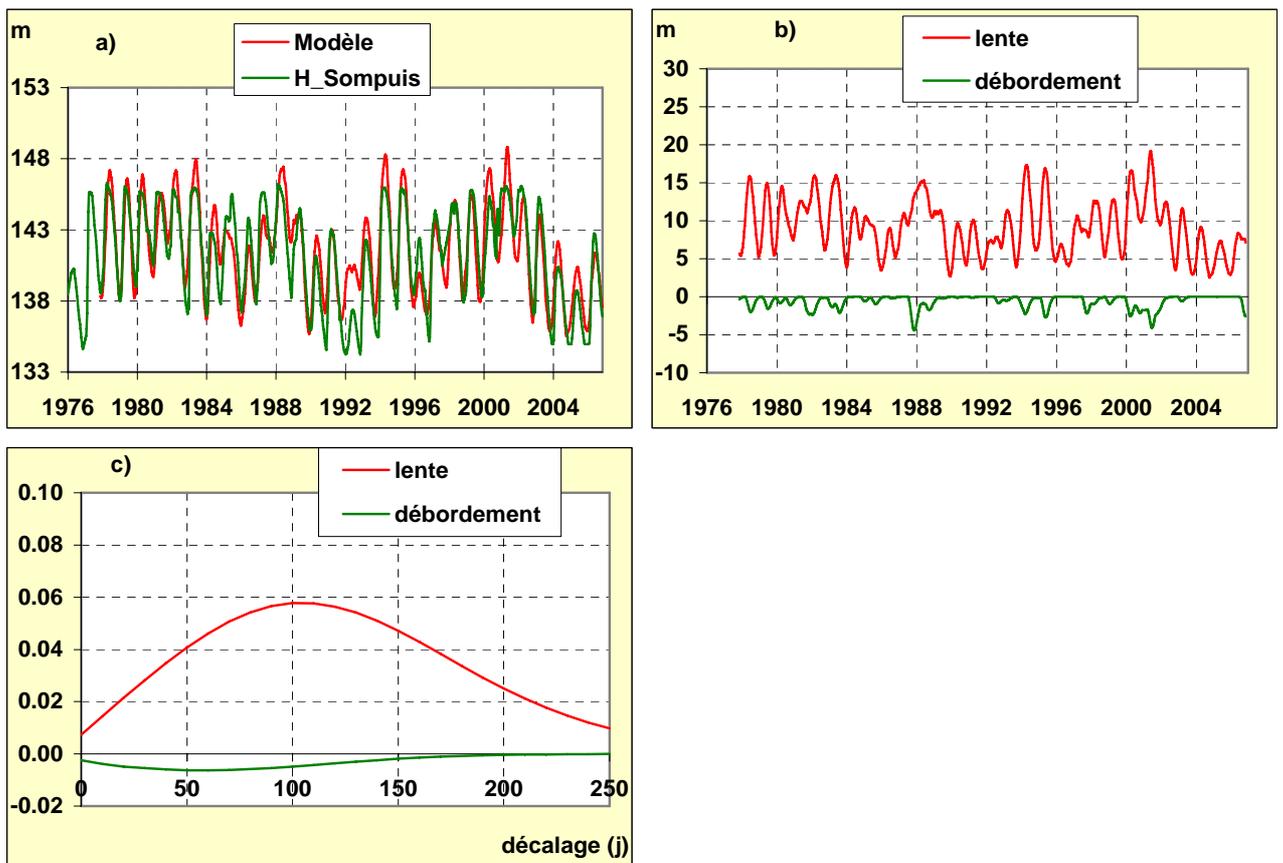


Figure 28 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de l'Huitrelle avec le piézomètre de Sompuis

### 3.8.2. Station de débit de l'Huitrelle à Lhuître (10)

- a) Comparaison du modèle au débit observé.
- b) Les différentes composantes du débit : le piézomètre Sompuis ne permet pas d'expliquer à lui seul le soutien des étiages par la nappe de la craie.
- c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente.
- d) La réponse impulsionnelle rapide.

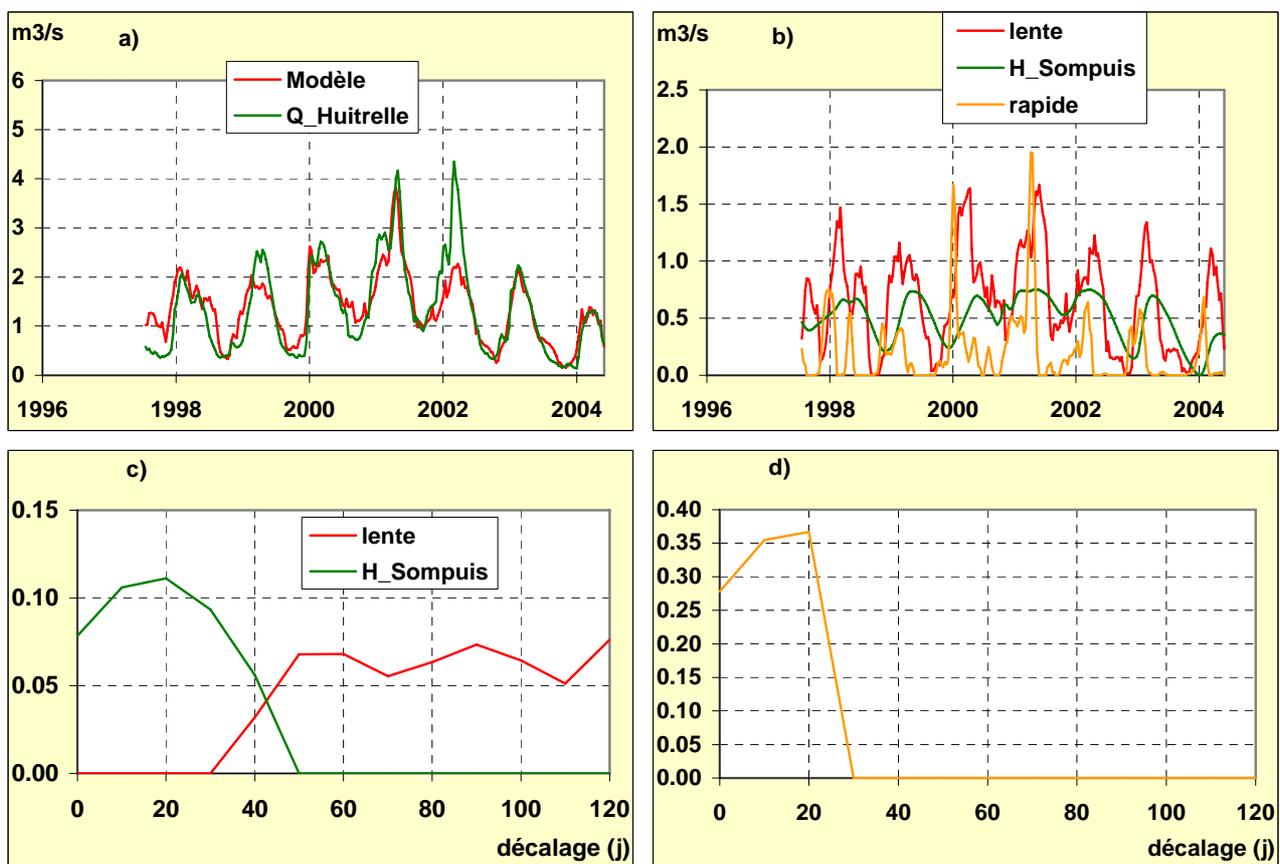


Figure 29 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de l'Huitrelle avec la station de débit de l'Huitrelle à Lhuître

### 3.9. LE BASSIN DE LA SOUDE

Le **bassin versant de la Somme-Soude** (Figure 30) est situé directement au Sud de la Marne avec laquelle il conflue une dizaine de kilomètres à l'Est d'Épernay. Son occupation est principalement destinée à la grande culture et il subit une forte pression par l'irrigation. Toutefois, la partie Ouest du bassin est bordée par la Cuesta d'Île de France, occupée par la viticulture. On trouve aussi sur ce bassin de 485 km<sup>2</sup> l'aéroport de Vatry.

La Soude est jaugée à Soudron. Le bassin versant de la Soude ne dispose pas de piézomètre de surveillance ; celui qui donne les meilleurs résultats est situé aux Grandes-Loges.

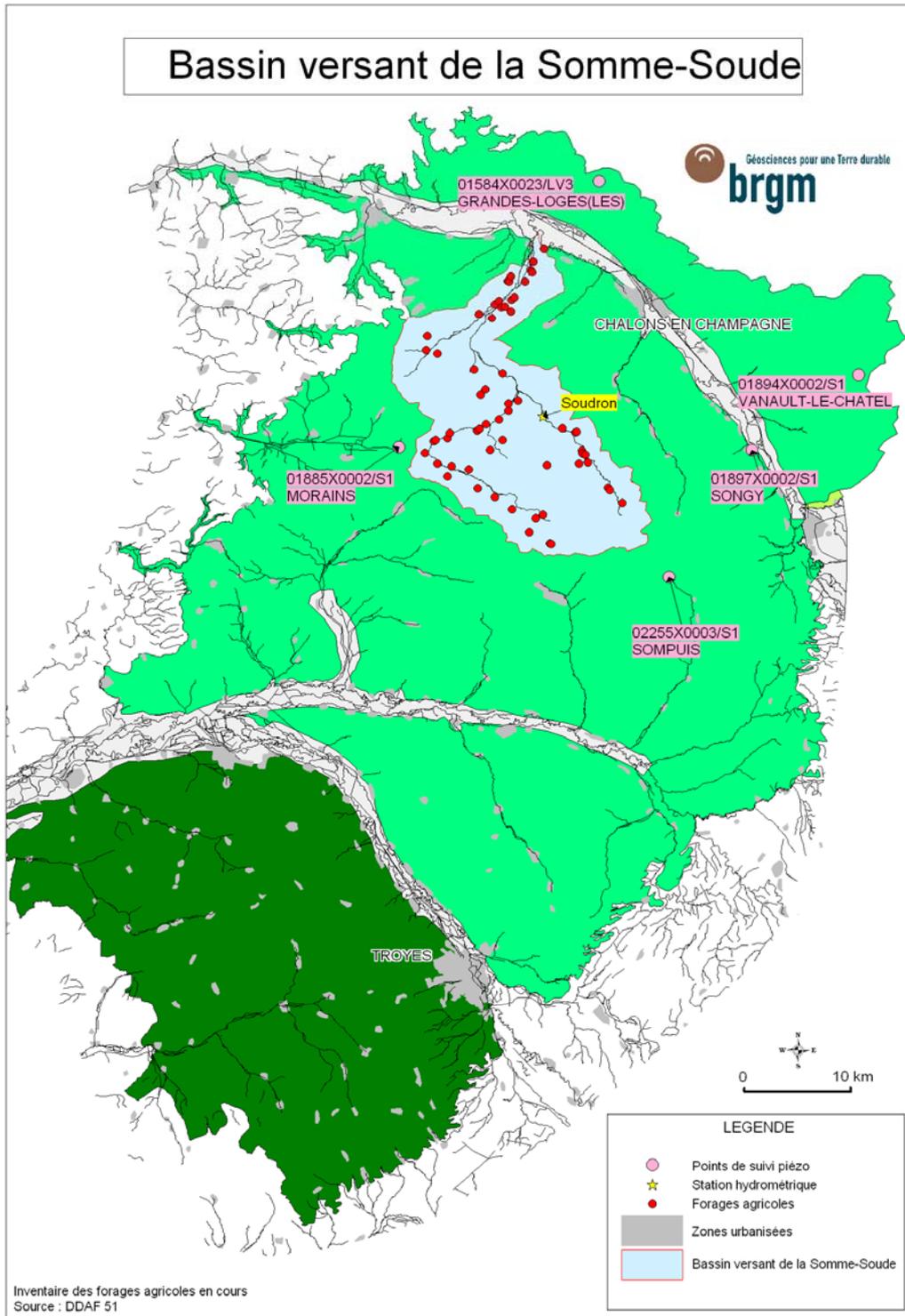


Figure 30 - Carte de situation du bassin versant de la Soude avec stations de mesure

### 3.9.1. Piézomètre des Grandes Loges (51)

- a) Comparaison du modèle au niveau piézométrique observé.
- b) Les différentes composantes des variations piézométriques : un seuil haut est pris en compte (98 m).
- c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente.
- d) La réponse impulsionnelle rapide.

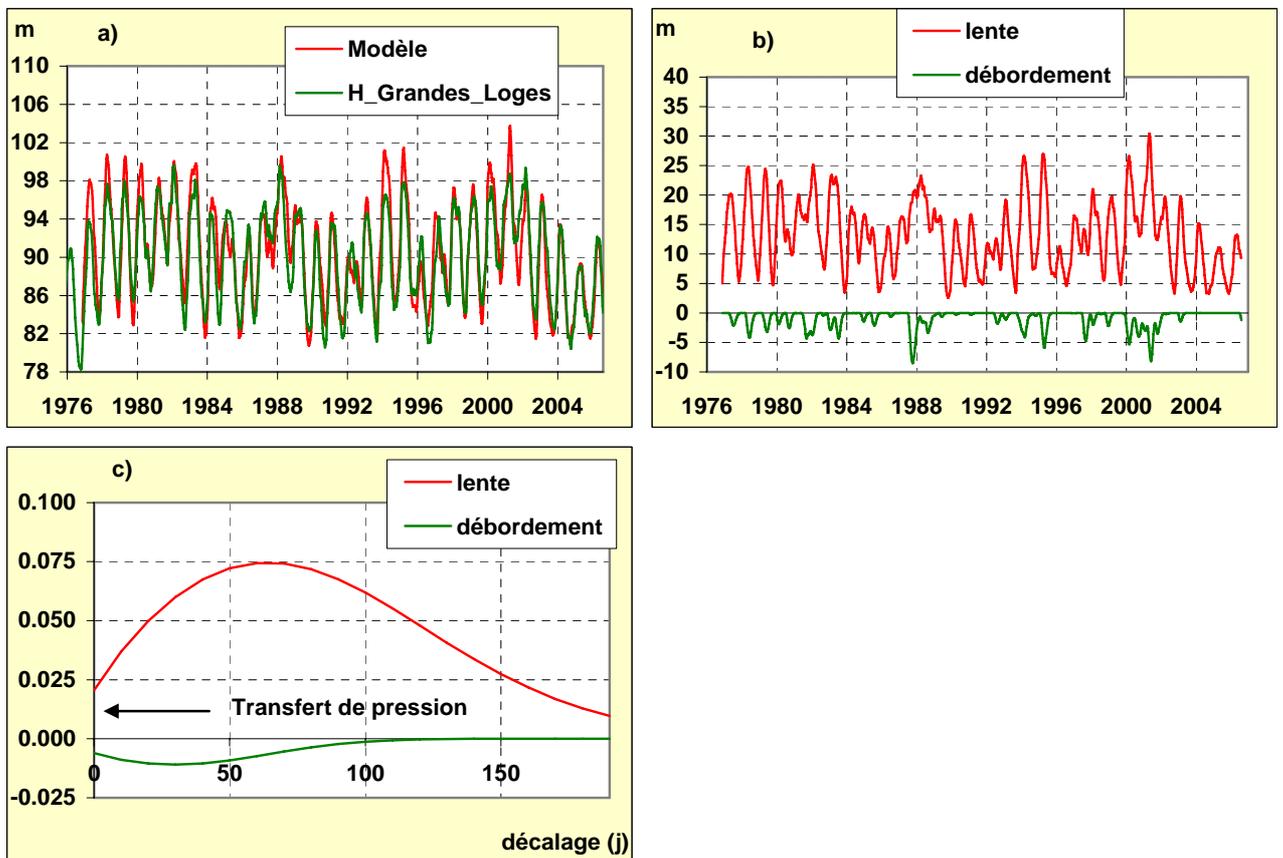


Figure 31 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Soude avec le piézomètre Grandes Loges

### 3.9.2. Station de débit de la Soude à Soudron (51)

- a) Comparaison du modèle au débit observé.
- b) Les différentes composantes du débit : le piézomètre Grandes Loges ne permet pas d'expliquer à lui seul le soutien des étiages par la nappe de la craie.
- c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente.
- d) La réponse impulsionnelle rapide.

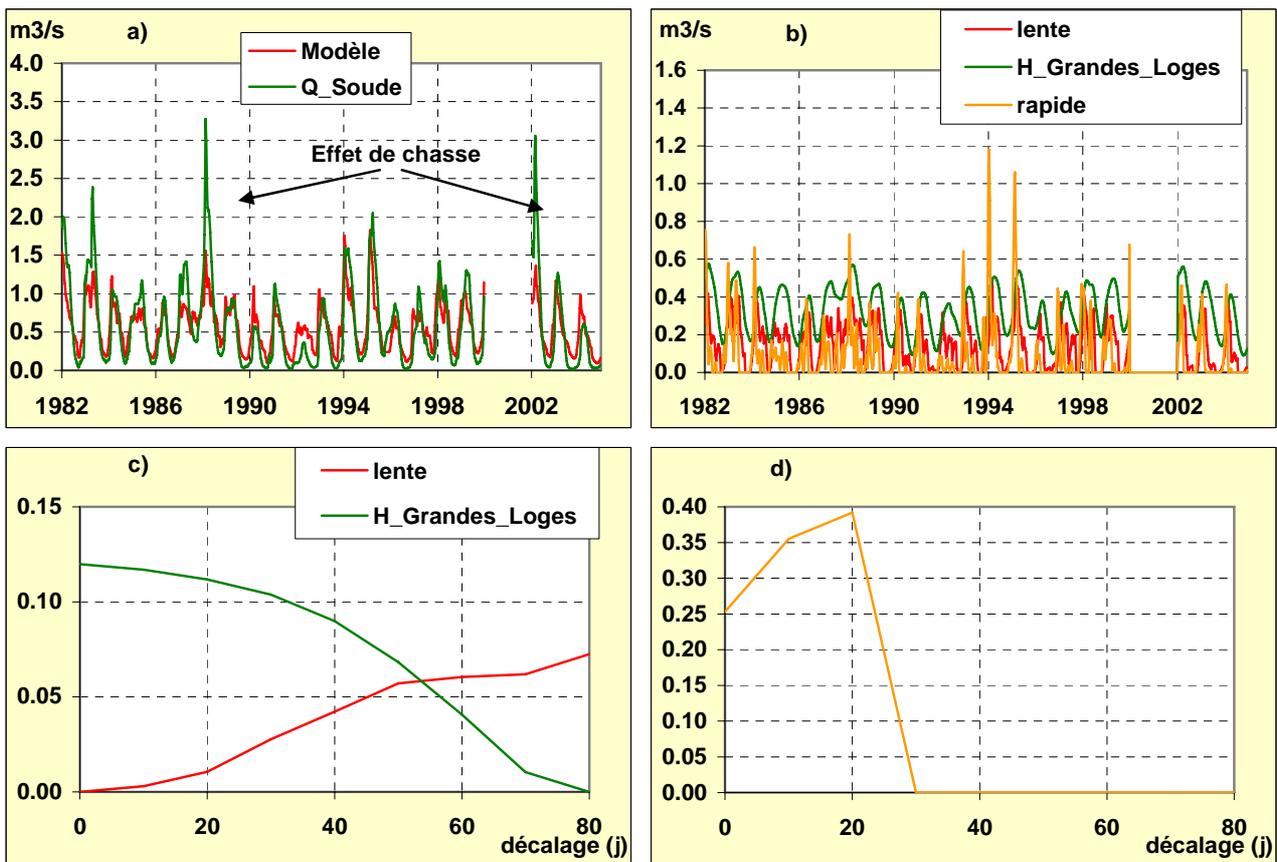


Figure 32 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Soude avec la station de débit de la Soude à Soudron

### 3.10. LE BASSIN DE LA SUPERBE

Le **bassin versant de la Superbe** (Figure 33) qui prend sa source au niveau de l'interfluve Aube-Marne, conflue avec l'Aube une dizaine de kilomètres en amont de la confluence Seine-Aube. Il constitue le deuxième plus grand bassin versant (après la Vesle) des 10 modélisés dans le cadre de cette étude avec près de 510 km<sup>2</sup>. Comme beaucoup d'autres bassins de la craie, il est entièrement dédié à la grande culture betteravière et céréalière, mais il a pour particularité de subir une pression très importante pour l'irrigation des betteraves et des pommes de terre.

La Superbe est jaugée à Saint-Saturnin. On dispose d'un piézomètre sur le bassin versant ; il se trouve à Linthelles.

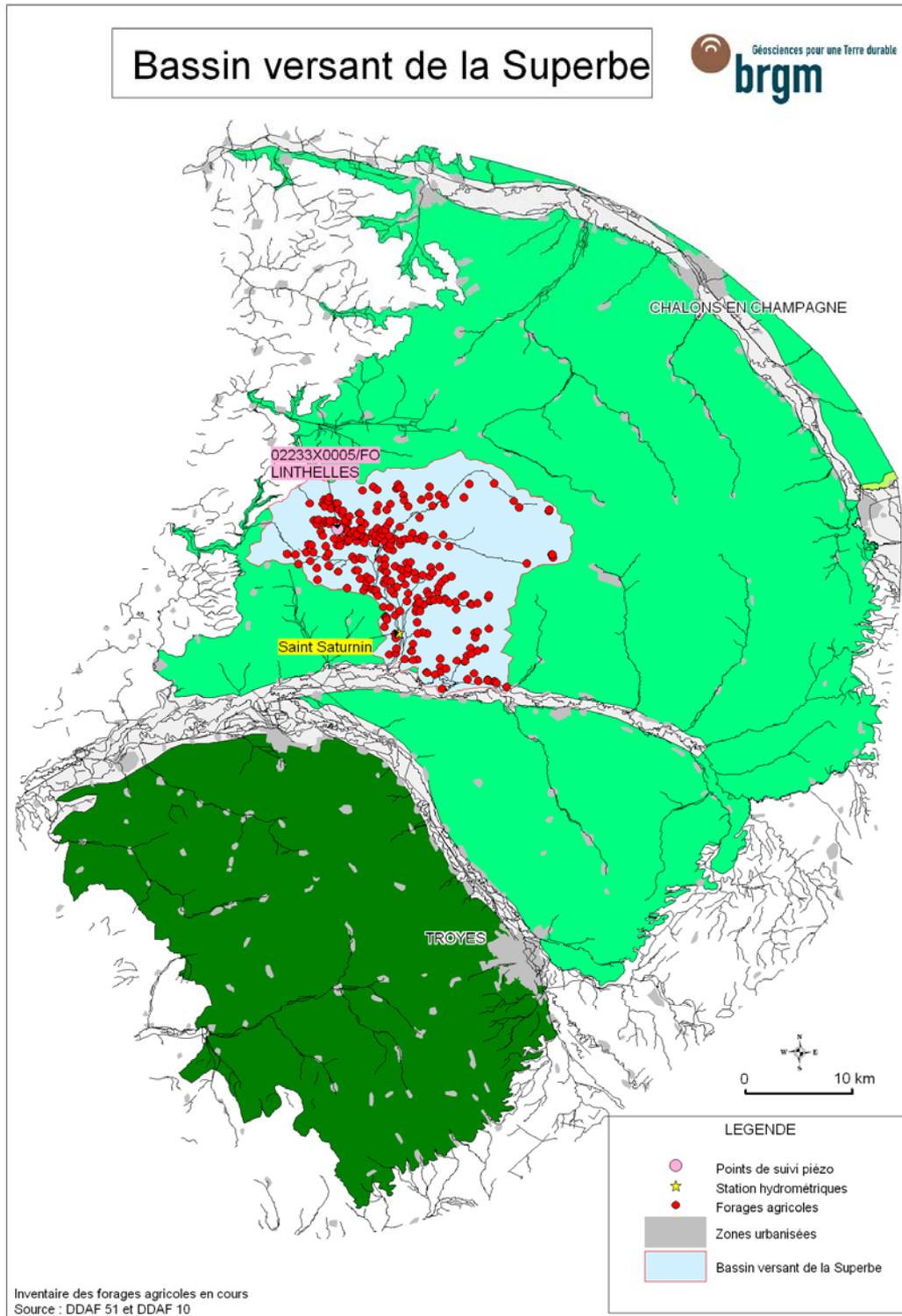


Figure 33 - Carte de situation du bassin versant de la Superbe avec stations de mesure

### 3.10.1. Piézomètre de Linthelles (51)

- a) Comparaison du modèle au niveau piézométrique observé.
- b) Les différentes composantes des variations piézométriques.
- c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente : le temps de recharge est de l'ordre de 100 jours, le temps de vidange atteint deux années.

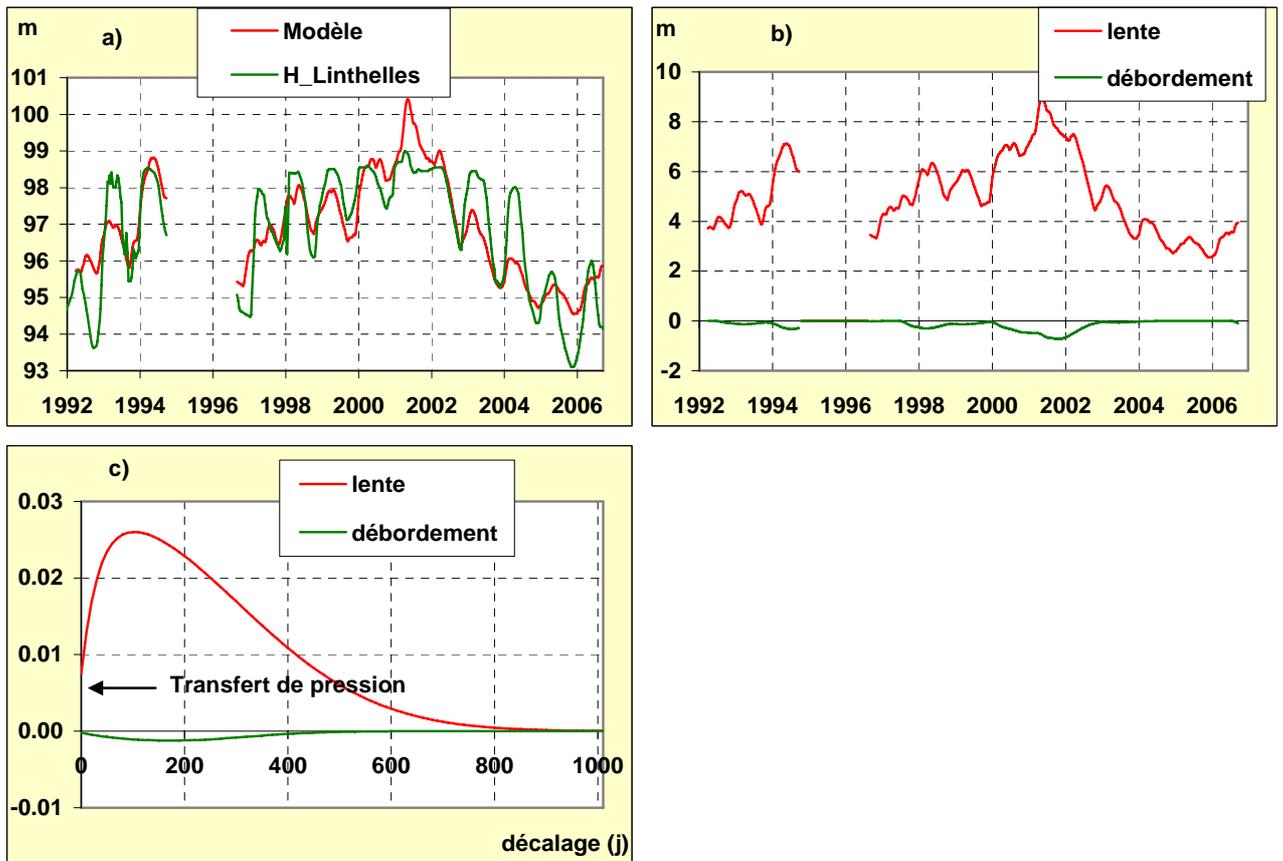


Figure 34 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Superbe avec le piézomètre Linthelles

### 3.10.2. Station de débit de la Superbe à Saint Saturnin (51)

- a) Comparaison du modèle au débit observé : on note une très nette influence par les pompages saisonniers.
- b) Les différentes composantes du débit : le piézomètre Linthelles ne permet pas d'expliquer à lui seul le soutien des étiages par la nappe de la craie.
- c) Les différentes composantes de la réponse impulsionnelle lente.

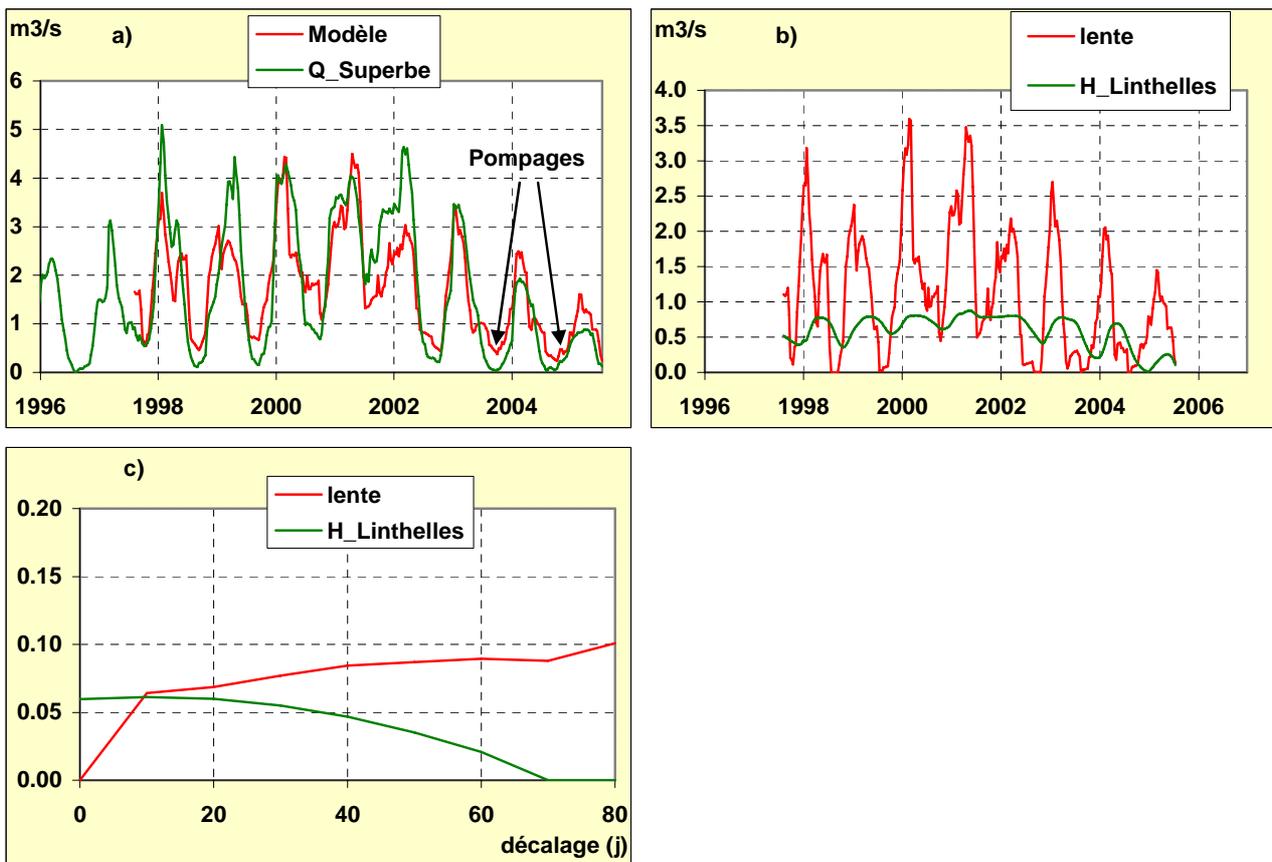


Figure 35 – Restitution des résultats de la modélisation sur le bassin versant de la Superbe avec la station de débit de la Superbe à Saint Saturnin

## 4. Estimation des volumes exploitables

### 4.1. L'ENVIRONNEMENT EXCEL

L'outil de prévision se présente sous la forme d'un classeur EXCEL (Annexe 1) qui comporte plusieurs feuilles ayant chacune une fonction bien définie :



- La feuille « **Prévision** » (Figure 36) est destinée aux mises à jour de la base de données et à l'exécution de la prévision selon les différents paramètres affichés (Figure 37 ; Figure 38) ;
- La feuille « **Alias** » donne la liste des fichiers nécessaires à la modélisation ;
- La feuille « **Graphiques** » (Figure 39) présente les graphiques d'évolution des niveaux d'eau pour chacun des piézomètres (cotes en m NGF) et les débits des stations de mesure en rivière (en m<sup>3</sup>/s) : il s'agit d'une comparaison des valeurs « modèle », des valeurs « observées » et des « prévisions » sous la forme de quantiles (périodes de retour définies sur la feuille « Prévision ») :

durée retour	fréquence
20 ans sec	5%
10 ans sec	10%
5 ans sec	20%
2 ans (médiane)	50%
5 ans humide	80%
10 ans humide	90%
20 ans humide	95%

- La feuille « **Données** » (Figure 40) constitue la base de données **au pas journalier** (pluie, ETP, niveaux piézométriques, débits aux différentes stations) ;
- Les liens associés aux différents graphiques se trouvent sur les feuilles « **Previ\_1** », « **Previ\_2** »,... (Légendes, séries) (Figure 41).
- Les feuilles « **Volumes** » (Figure 42 et Figure 43) permettent de calculer les volumes disponibles correspondant aux différentes périodes de retour.

Active la validation : consiste à lancer la simulation pour visualiser les observations piézométriques et les débits ainsi que leurs modèles.

Active l'enchaînement des tâches validation et prévision. La prévision aboutit à la représentation des différents quantiles.

Initialisation, importation et exportation des données et résultats sous la forme d'un classeur EXCEL (à utiliser en cas de modification de la macro par exemple)

**Champagne Nord**

Validation

Validation + Prévision

Exportation \*.xls

Importation \*.xls

Exportation des volumes

Initialisation

Etat 20/04/2007 16:36

Visibilité fenêtre TEMPO **VRAI**

Graphiques

Date début, fin 01/01/1997 31/12/2007

Echelle arondie

Nombre de graphiques 9 N=9

Cellules (coin supérieur gauche) A1,A17,A33,A49,A65,G1,G17,

Temps maximum entre 2 mesures (j) 45 45 i

Continuité Observations/Prévisions FAUX

100 — H\_Fresne — Modèle — 20 ans hum. (5%)

95 — 10 ans hum. (10%) — 5 ans hum. (20%) — médiane (50%)

90 — 5 ans sec. (80%) — 10 ans sec. (90%) — 20 ans sec. (95%)

85

80

75

70

65

60

1997 2001 2005

Importation des données

Paramètres d'entrée

Fichier Tempo d:\travail\AA\_MUCV\CHAMPAGNE

Modèle prévisionnel Champagne\_Nord

Début, fin validation 1/1/1990 31/12/2007

Début, fin prévision 18/1/2006 31/12/2012

Transfert Proc. Autoreg. 128

Nombre de réalisations

Quantile 1	0.05	20 ans hum. (5%)
Quantile 2	0.1	10 ans hum. (10%)
Quantile 3	0.2	5 ans hum. (20%)
Quantile 4	0.5	médiane (50%)
Quantile 5	0.8	5 ans sec. (80%)
Quantile 6	0.9	10 ans sec. (90%)
Quantile 7	0.95	20 ans sec. (95%)

Variables simulées

H_Fresne	H_Bussy	Q_Suipe_aval	Q_Suipe_amor	Q_Vesle_amor
Q_Vesle_aval	Q_Auve	Q_Retourne_ava	M_Auve90	

Paramètres de la représentation graphique (Fig. 38)

Figure 36 – Feuille « Prévision » du classeur EXCEL

**Nom du modèle prévisionnel défini dans TEMPO**

**Nom du fichier Tempo (champagne.špa)**

**Importation des données** (pluie, ETP, niveaux piézométriques, débits) à partir d'un fichier TEXTE (.txt) : format colonnes, la 1ère ligne contenant le nom des variables et la 1ère colonne la date jj/mm/aaaa.

**Dates de validation**  
La date de début peut être postérieure à la date affichée en raison de l'inertie des transferts (plusieurs années de pluie et d'ETP sont parfois nécessaires à l'initialisation du système)  
La date de fin correspond généralement au dernier jour pour lequel la pluie (ETP) est connue

**Date de prévision**  
La date de début suit généralement immédiatement la fin de la validation mais peut lui être antérieure  
La date de fin ne correspond pas nécessairement à celle utilisée par les calculs. Lorsque des pluies sont observées après la date d'émission de la prévision, elles sont considérées dans la prévision.

**Chaque réalisation correspond à la simulation d'une cascade d'événements: génération d'une chronique de pluie, d'ETP, de niveaux piézométriques,...**  
La détermination des quantiles nécessite la réalisation d'un grand nombre de réalisations, nombre d'autant plus grand que les probabilités associées sont proches de 0 ou 1.

**La probabilité de dépassement "P" associée à chaque quantile détermine la période de retour "R" de l'événement considéré :  $R \text{ (années)} = 1/P$**

**Ce sont les noms des variables de sortie du modèle prévisionnel du code TEMPO. Les noms des variables ne doivent pas contenir de caractères de coupure (espace).**

Paramètres d'entrée		Fichier Tempo		Modèle prévisionnel		Début, fin validation		Début, fin prévision	
d:\travail\AA_MUC\CHAMPAGNE		Champagne_Nord		1/1/1990		31/12/2007		18/11/2006	

Transfert		Proc. Autoreg.		Légende...	
128		Quantile 1		0.05	
Quantile 2		0.1		20 ans hum. (5%)	
Quantile 3		0.2		10 ans hum. (10%)	
Quantile 4		0.5		5 ans hum. (20%)	
Quantile 5		0.8		médiane (50%)	
Quantile 6		0.9		5 ans sec. (80%)	
Quantile 7		0.95		10 ans sec. (90%)	
				20 ans sec. (95%)	

Variables simulées			
H_Pesne	H_Bussy	Q_Suipe_aval	Q_Suipe_amont
Q_Vesle_aval	Q_Auve	Q_Retourne_ave	M_Auve90

Figure 37 – Les différents paramètres de la prévision

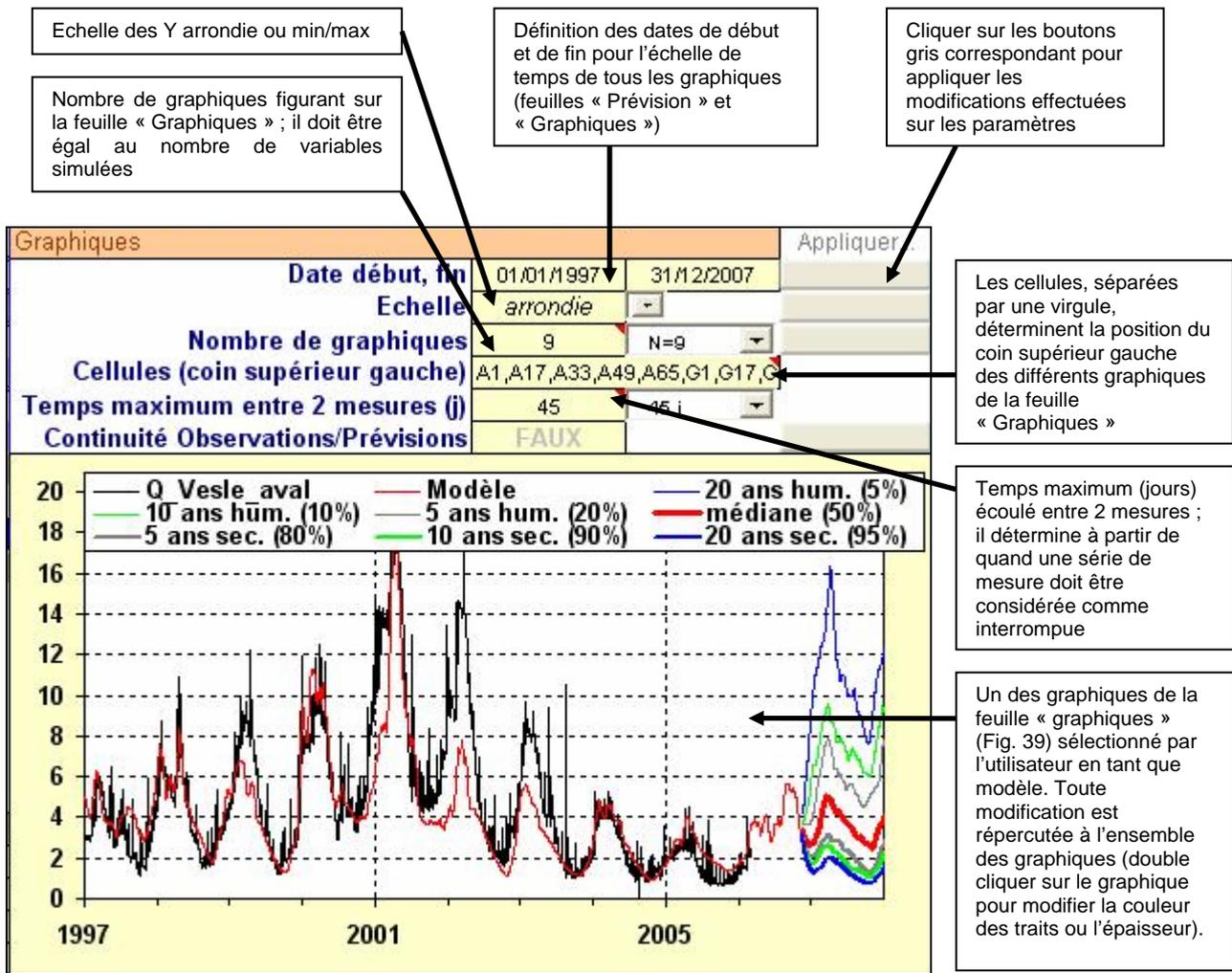


Figure 38 – Les différents paramètres de la représentation graphique.

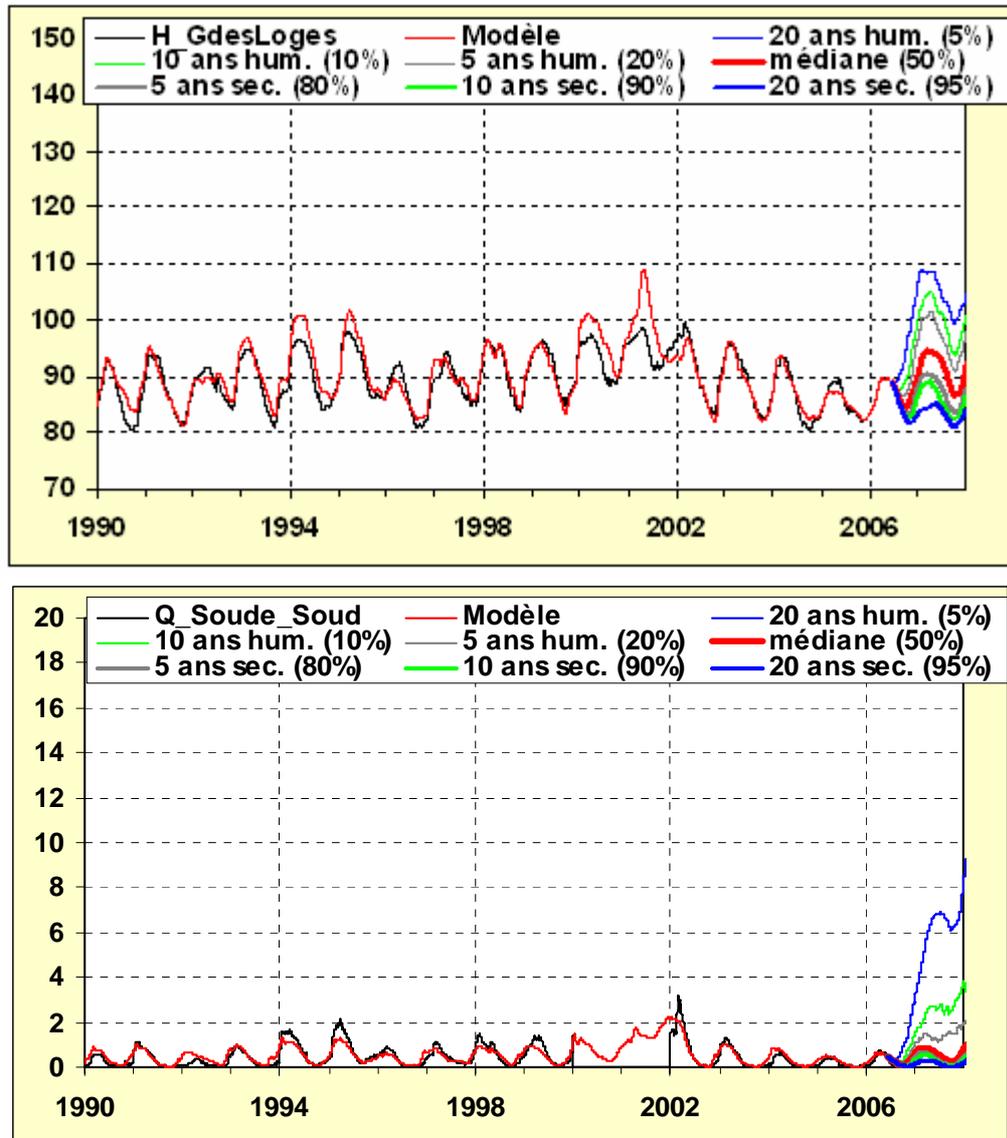


Figure 39 – Feuille « Graphiques » : Evolution des niveaux d'eau sur les piézomètres ou des débits aux stations de mesure associés à un modèle prévisionnel

	A	M	N	O	P	Q	
1	Date	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	S
2		H_Chalons	H_Mecringes	H_Sompuis	H_StHilaire	Q_Ardusson_STA	Q_Gd
3483	13/7/1979	79.21	186.56	144.06	128.28	0.79	
3484	14/7/1979	79.20	186.55	144.03	128.19	0.70	
3485	15/7/1979	79.29	186.54	144.00	128.11	0.62	
3486	16/7/1979	79.20	186.54	143.99	128.02	0.55	
3487	17/7/1979	79.20	186.53	143.97	127.98	0.56	
3488	18/7/1979	79.22	186.52	143.96	127.93	0.52	
3489	19/7/1979	79.24	186.51	143.94	127.89	0.50	
3490	20/7/1979	79.14	186.51	143.93	127.85	0.50	
3491	21/7/1979	79.17	186.50	143.91	127.81	0.47	
3492	22/7/1979	79.19	186.48	143.90	127.76	0.44	
3493	23/7/1979	79.13	186.46	143.89	127.72	0.47	
3494	24/7/1979	79.11	186.44	143.87	127.65	0.43	
3495	25/7/1979	79.12	186.41	143.86	127.58	0.42	
3496	26/7/1979	79.09	186.39	143.84	127.51	0.41	
3497	27/7/1979	79.08	186.37	143.83	127.43	0.40	
3498	28/7/1979	79.10	186.35	143.81	127.36	0.36	
3499	29/7/1979	79.12	186.34	143.80	127.29	0.35	
3500	30/7/1979	79.06	186.32	143.75	127.22	0.33	
3501	31/7/1979	79.04	186.31	143.70	127.15	0.32	
3502	1/8/1979	79.02	186.29	143.65	127.08	0.31	

Figure 40 – Extrait de la feuille « Données » : Base de données au pas journalier des pluies, de l'ETP, des niveaux d'eau et des débits aux différentes stations

	A	B	C	D	E	F	G	
1	Date	Observations	Modèle	Quantile 1	Quantile 2	Quantile 3	Quantile 4	Q
2		H_Chalons	Modèle	20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	médiane (50%)	5 ans
13299	28/5/2006		79.4344					
13300	29/5/2006		79.4288					
13301	30/5/2006		79.4232					
13302	31/5/2006		79.4176					
13303	1/6/2006		7.94E+01					
13304	2/6/2006		79.4055					
13305	3/6/2006		79.399					
13306	4/6/2006		79.3925					
13307	5/6/2006		79.386					
13308	6/6/2006		79.3795					
13309	7/6/2006		79.373					
13310	8/6/2006		79.3665					
13311	9/6/2006		79.36					
13312	10/6/2006		79.3535					
13313	11/6/2006		7.93E+01	7.93E+01	7.93E+01	7.93E+01	7.93E+01	
13314	12/6/2006			79.3505	79.3449	79.3403	79.3403	
13315	13/6/2006			79.354	79.3428	79.3336	79.3336	
13316	14/6/2006			79.3575	79.3407	79.3269	79.3269	
13317	15/6/2006			79.361	79.3386	79.3302	79.3302	

Figure 41 – Extrait d'une des feuilles « Previ\_1 » : Données associées aux graphiques

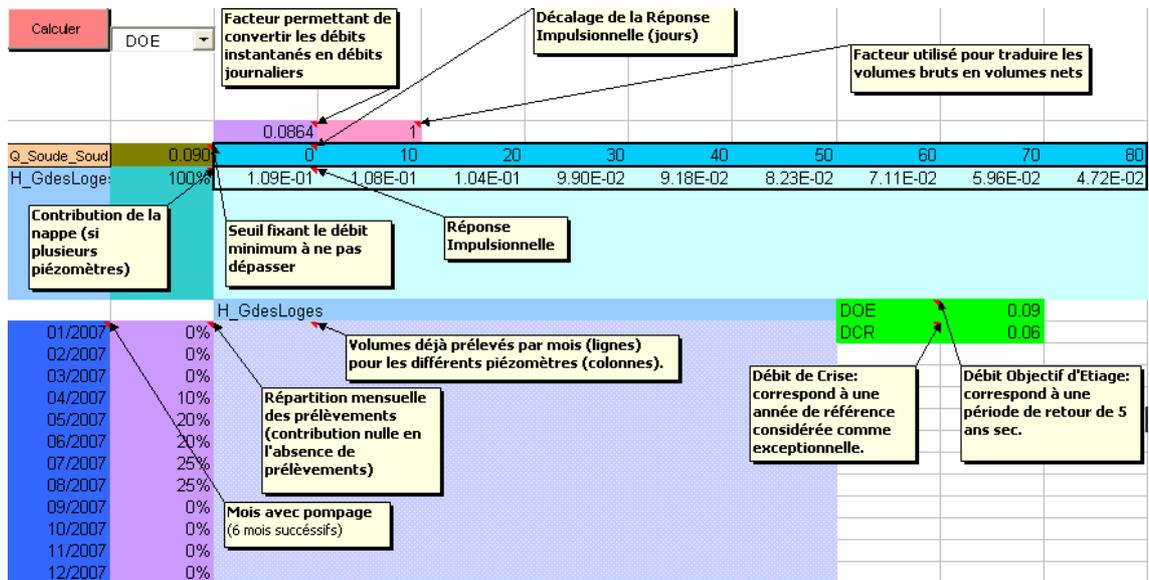


Figure 42 – Extrait de la feuille « Volume » permettant de calculer les volumes disponibles

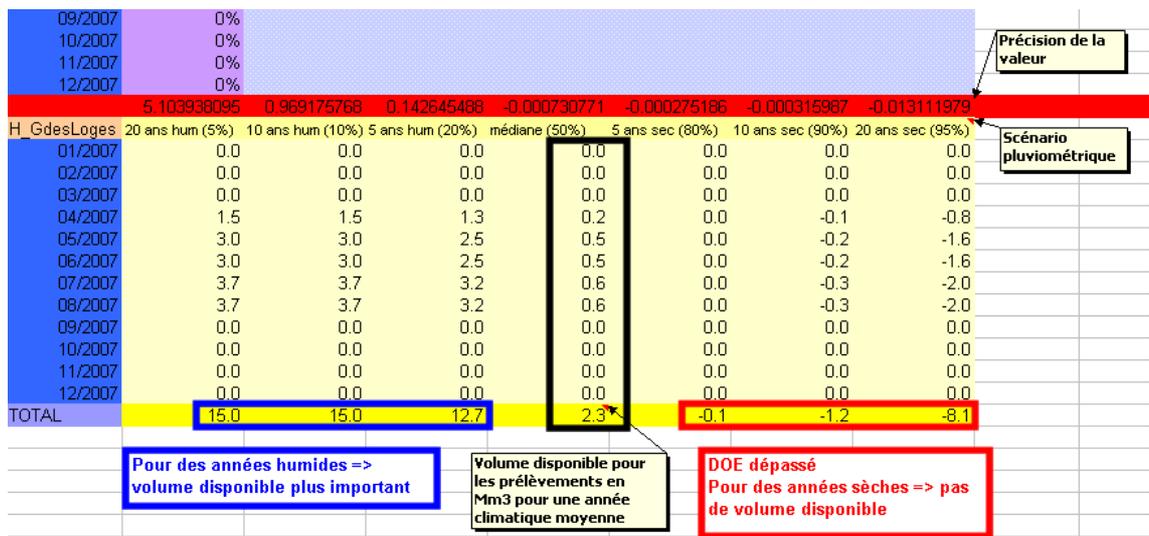


Figure 43 – Extrait de la feuille « Volume » présentant les résultats du calcul des volumes disponibles

## 4.2. PREVISION DE LA RESSOURCE EXPLOITABLE A COURT ET A LONG TERME

La prévision de la ressource exploitable par bassin versant se fait directement à partir des prévisions de niveaux piézométriques, de débit et de précipitations, sans faire appel explicitement aux notions d'emménagement et de transmissivité des aquifères.

Généralement, deux modèles sont utilisés selon que la prévision est à long terme (modèle de transfert) ou à court terme (processus autorégressif) :

- La **prévision à court terme est conditionnelle (partant de la dernière observation)** et requière la continuité des niveaux/débits observés juste avant la date du début de la prévision. La prévision fait suite aux observations de manière continue. C'est la prévision des niveaux d'eau à partir d'un état donné observé (date d'émission de la prévision) pour une période donnée (durée de la prévision). La durée de prévision ne doit pas excéder 10 à 15 fois le pas d'échantillonnage. **La prévision à court terme dépend des conditions initiales au moment de l'émission de la prévision.**
- La continuité des séries et le calage du modèle étant difficile à obtenir, l'option « **prévision à court terme** » proposée initialement dans la macro EXCEL a été supprimée. La **prévision proposée dans la nouvelle version est par défaut « à long terme »**.
- La **prévision à long terme est non conditionnelle (analyse des périodes de retour)** et établie sur une période qui suit généralement la période de prévision à court terme. La prévision à long terme ne nécessite pas la continuité des niveaux/débits observés avant la date du début de la prévision. La période de prévision doit débuter plusieurs années après la date d'émission de la prévision de manière à rendre la prévision indépendante de l'état initial du système. **La prévision à long terme représente les niveaux d'étiage en fonction du temps pour différentes périodes de retour.**
- L'utilisateur garde la possibilité de modifier les dates de fin de prévision et les dates de début et de fin de l'échelle graphique dans la page d'accueil (Figure 37 et Figure 38).
- La date de fin de prévision pour le calcul des volumes est modifiable soit directement dans les feuilles « volumes », soit par le menu accessible en activant le bouton « exportation des volumes » sur la page d'accueil (Figure 44). Les modifications de la date ou du plan de gestion (agriculture, AEP ou industrie) se répercutent ensuite dans chaque feuille « volumes ».

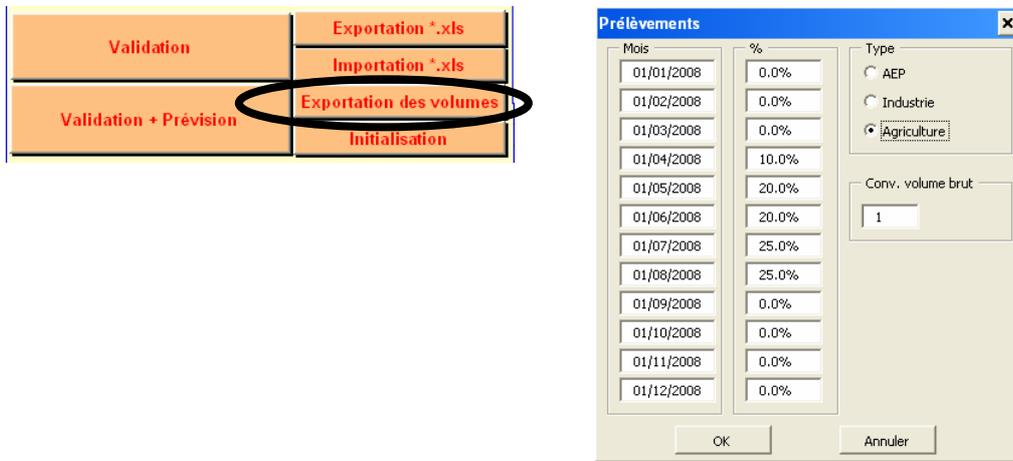


Figure 44 – Modifications des paramètres « prélèvements » pour le calcul des volumes

### 4.3. PARAMETRES DE LA PREVISION SUR LES 10 BASSINS VERSANTS CRAYEUX

L'environnement EXCEL, détaillé précédemment, permet d'automatiser la mise à jour de la prévision à tout instant, de manière à affiner l'estimation du volume disponible en fonction des conditions météorologiques réellement observées. Différentes influences du niveau piézométrique peuvent être prises en compte dans la simulation, telles que les pompages, les relations nappe/rivière,... La prévision porte sur des volumes disponibles et exploitables sur l'ensemble du bassin pour des pompages saisonniers (AEP et industrie non compris)

On se propose de prévoir pour chacun des 10 bassins versants crayeux le volume disponible pour les pompages saisonniers (usage agricole). Les paramètres pour chacun des bassins versants sont mis à jour dans chacune des feuilles « volumes » (Figure 45).

- La date de fin de prévision des volumes est prise au 01/01/2008 (validation des paramètres par le bouton « exportation des volumes »).
- Les prélèvements se font suivant un **plan de gestion** qui prédétermine le pourcentage du volume à prélever chaque mois. Le scénario retenu pour tous les bassins versants est le suivant : 10% en avril, 20% en mai, 20% en juin, 25% en juillet et 25% en août (validation des paramètres par le bouton « exportation des volumes »).
- La ressource dépend de la **pluviométrie** qui sera observée au cours des mois qui suivent la date d'émission de la prévision et, de ce fait, peut être exprimée en fonction de la période de retour correspondant aux différents scénarios de pluie (résultat des simulations TEMPO).
- Le volume est estimé de manière à ce que le **Débit Objectif d'Etiage (DOE)** ou le **Débit de Crise (DC)** ne soit pas dépassé.

Les Débit Objectif d'Etiage (DOE) et Débit de Crise (DC) sont définis par l'arrêté du 17 mars 2006 relatif au contenu des schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (article 6) :

*« Les objectifs de quantité en période d'étiage sont définis aux principaux points de confluence du bassin et autres points stratégiques pour la gestion de la ressource en eau appelés **points nodaux**. Ils sont constitués, d'une part, de **débits de crise en dessous desquels seuls les besoins d'alimentation en eau potable et les besoins des milieux naturels peuvent être satisfaits**, d'autre part, dans les zones du bassin où un déficit chronique est constaté, de **débits objectifs d'étiage permettant de satisfaire l'ensemble des usages en moyenne huit années sur dix** et d'atteindre le bon état des eaux. »*

En première estimation, le **débit de crise** correspond au dixième du module multiplié par 1.25 (méthode utilisée dans les arrêtés préfectoraux sécheresse).

Le **débit objectif d'étiage** est calculé en ajoutant le volume prélevé en étiage ramené à un débit au 1/10<sup>ème</sup> du module interannuel à la station de mesure.

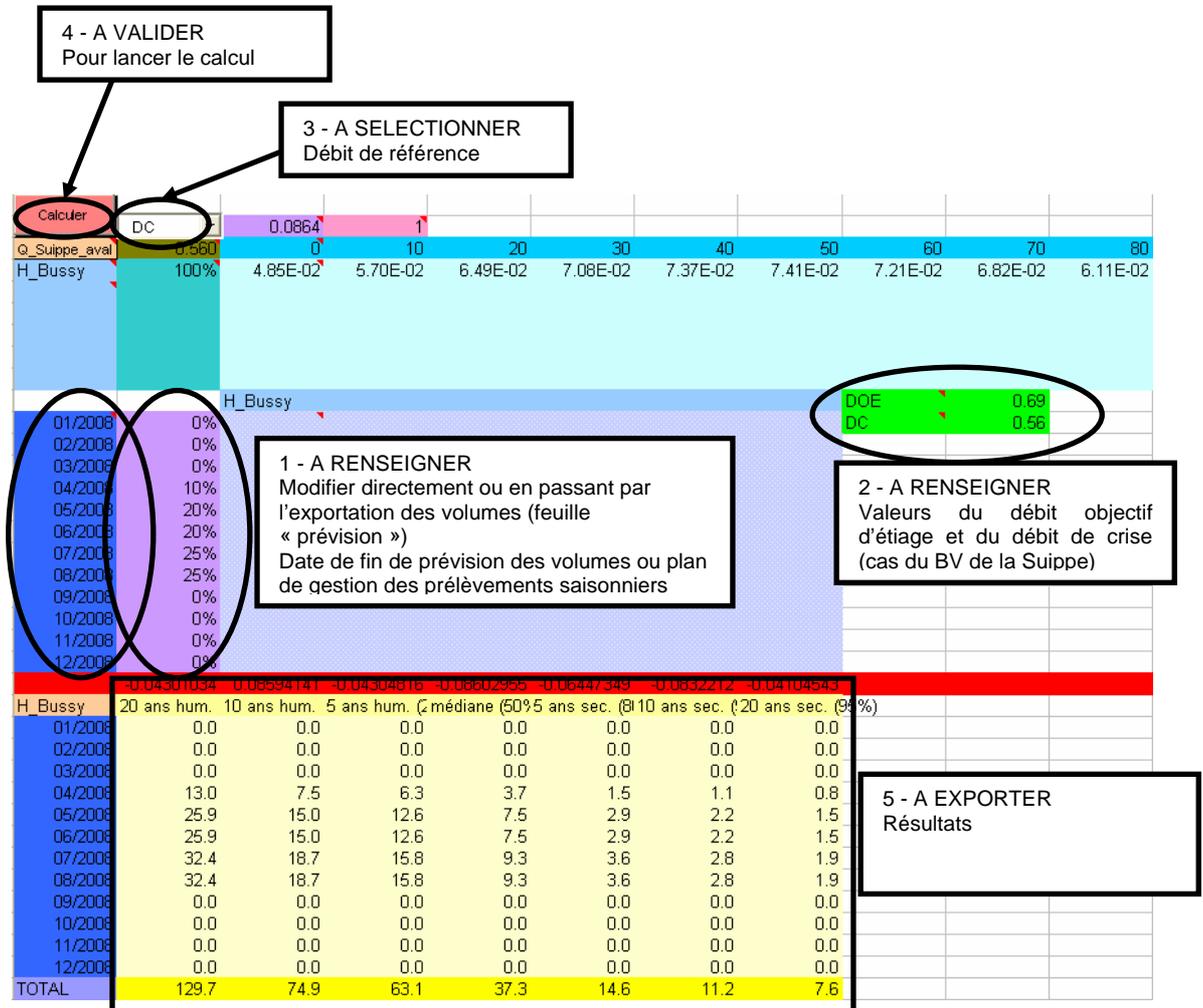


Figure 45 - Paramétrage des calculs de prévision. Cas du bassin versant de la Suipe

Les résultats exprimés en millions de m<sup>3</sup> sont disponibles (après calcul) sur la deuxième moitié des feuilles de calcul (plage jaune) en fonction de la période de retour de la pluie à compter de la date d'émission de la prévision. Cette prévision porte sur des volumes disponibles sur l'ensemble du bassin pour des pompages saisonniers (AEP et industries non compris). Des valeurs négatives expriment que l'objectif d'étiage ne peut être atteint.

Les résultats sont exportables sous formes de fichiers EXCEL en activant le bouton « exportation des volumes » dans la page d'accueil. Deux fichiers sont créés par bassins versants par exemple : DOE\_Q\_Suipe\_aval.xls et DC\_Q\_Suipe\_aval.xls.

#### 4.4. VOLUMES EXPLOITABLES SUR LES 10 BASSINS VERSANTS CRAYEUX

Les prévisions ont été effectuées en prenant comme référence le **débit critique** (Tableau 3).

Station	Rivière	DC
Allibaudieres	l'herbissonne	0.05
Bouy	Vesle	0.20
Chalons sur Vesle	Vesle	0.55
Dampierre Dommartin	Auve	0.21
l'huitre	l'huitrelle	0.17
Orainville	Suippe	0.56
Pouan les vallées	la barbuise	0.10
Saint Saturnin	Superbe	0.21
Selles sur suippe	Suippe	0.35
Soudron	Soude	0.07
St Aubin	l'ardusson	0.09
St Rémy le petit	retourne	0.12

Tableau 3 – Valeurs de débit critique retenues pour les simulations

L'unité de gestion prise en compte est la **superficie du bassin versant superficiel calculé à la station de mesure hydrométrique**.

La Figure 46 permet de comparer les résultats obtenus en année médiane avec la superficie des bassins versants concernés. La logique est globalement respectée : plus la superficie du bassin versant est grande, plus le volume des ressources en eau exploitables est important.

La Figure 47 permet de comparer les résultats obtenus selon quatre scénarios climatiques : 5 ans humide (20%), année médiane (50%), 5 ans sec (80%) et 10 ans sec (90%). On constate que le rapport des valeurs les plus favorables sur les valeurs les moins favorables est de 2 à 13 : les écarts les plus importants sont observés pour les bassins de L'Huitrelle et de la Superbe et le plus petit écart sur le bassin de la Vesle amont. Les résultats les plus pénalisants sont obtenus pour le bassin de la Retourne : en année décennale sèche il n'y a pas de volumes disponibles.

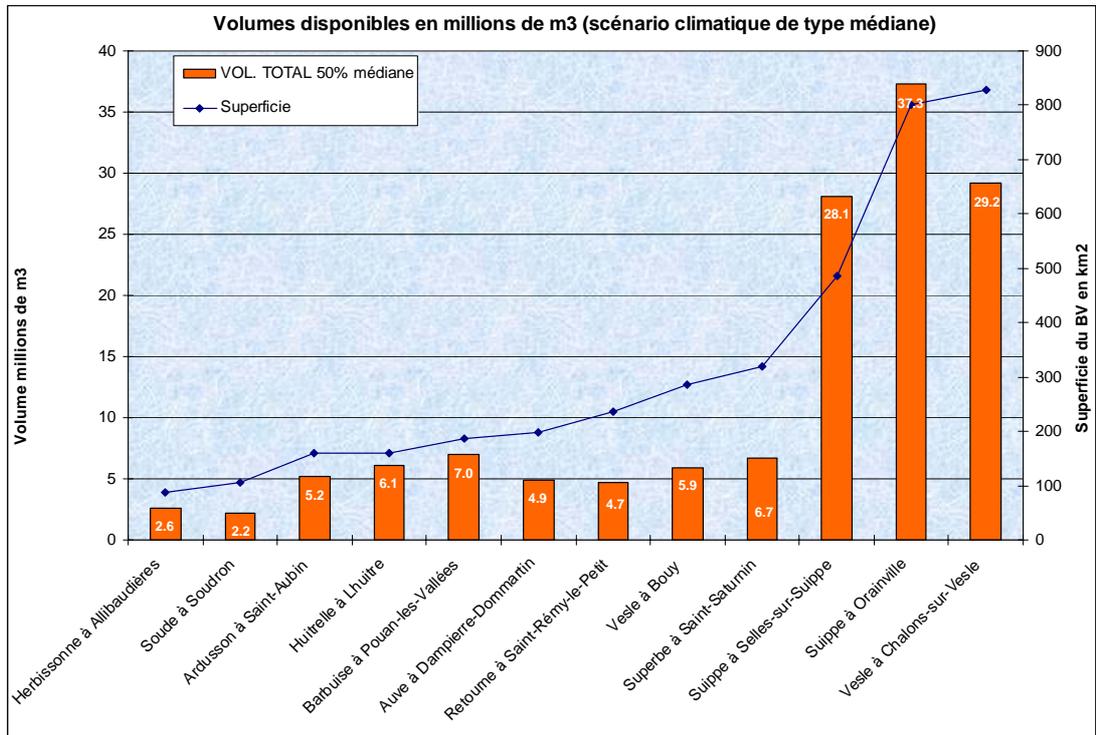


Figure 46 – Comparaison des volumes exploitables et des superficies des bassins versants

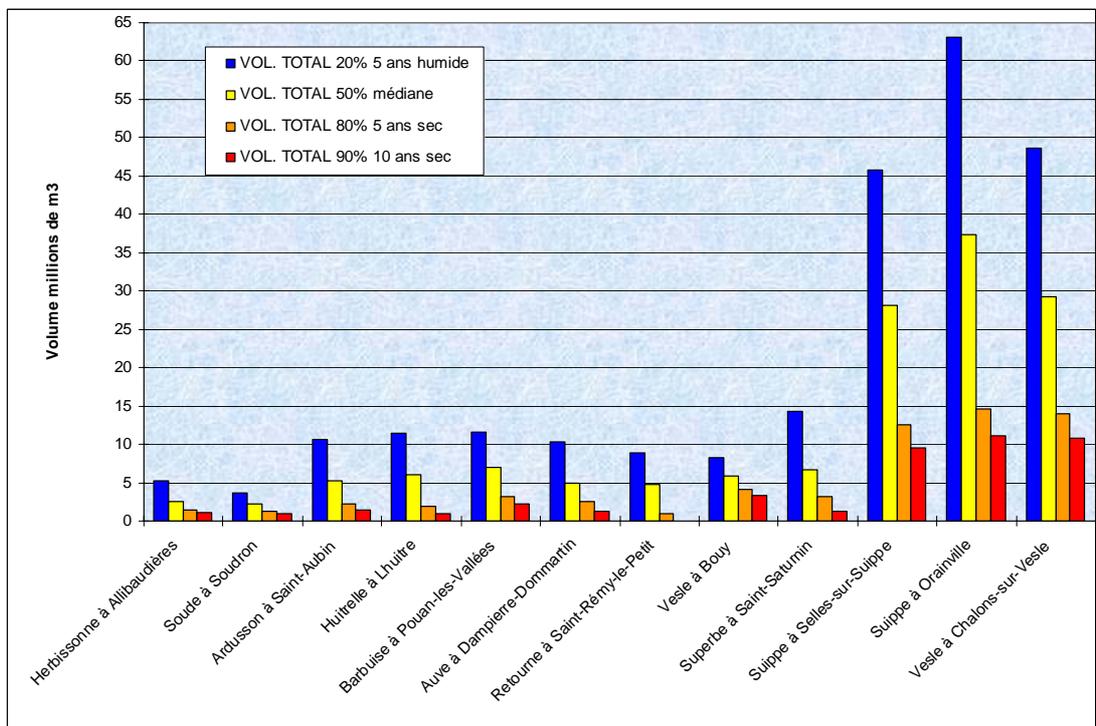


Figure 47 - Comparaison des volumes exploitables selon 4 scénarios climatiques

#### 4.5. COMPARAISON DES VOLUMES EXPLOITABLES AVEC LES VOLUMES PRELEVES

La DIREN Champagne-Ardenne a réalisé une étude concernant la comparaison des pressions sur les bassins versants crayeux. Les volumes prélevés prennent en compte dans la mesure du possible la localisation des forages ; il s'agit des volumes prélevés en considérant le BV à la station. Les graphiques suivants (Figure 48, Figure 49) montrent une comparaison des volumes (en millions de m<sup>3</sup>) :

##### Données DIREN

- Volume total prélevé en étiage
- Prélèvement Irrigation en étiage

Volumes Agence de l'eau 2005 sur les mois de juin, juillet, août et septembre (collectivité, industrie, irrigation)

Volumes Agence de l'eau 2005 sur les mois de juin, juillet, août et septembre (irrigation)

##### Données BRGM

- Volume total exploitable selon 4 scénarios climatiques

Résultat des simulations TEMPO

Les prélèvements agricoles représentent généralement entre 70% et 100% des prélèvements totaux en étiage par bassin versant sauf pour la Vesle, la Suipe et l'Auve (Tableau 4).

Auve à Dampierre-Dommartin	9%
Suipe à Orainville	15%
Vesle à Chalons-sur-Vesle	18%
Suipe à Selles-sur-Suipe	19%
Vesle à Bouy	51%
Retourne à Saint-Rémy-le-Petit	71%
Huitrelle à Lhuitre	74%
Superbe à Saint-Saturnin	79%
Ardusson à Saint-Aubin	83%
Soude à Soudron	95%
Barbuisse à Pouan-les-Vallées	96%
Herbissonne à Allibaudières	100%

Tableau 4 – Pourcentage des prélèvements agricoles sur les prélèvements totaux par BV (source AESN 2005 et DIREN CA)

Pour les **bassins de l'Auve, de la Suipe, de la Vesle** et dans une moindre mesure pour les **bassins de l'Ardusson, l'Huitrelle et la Soude**, les volumes prélevés sont inférieurs au volume total exploitable par bassin en année décennale sèche. La couverture des besoins en eau devrait donc être assurée.

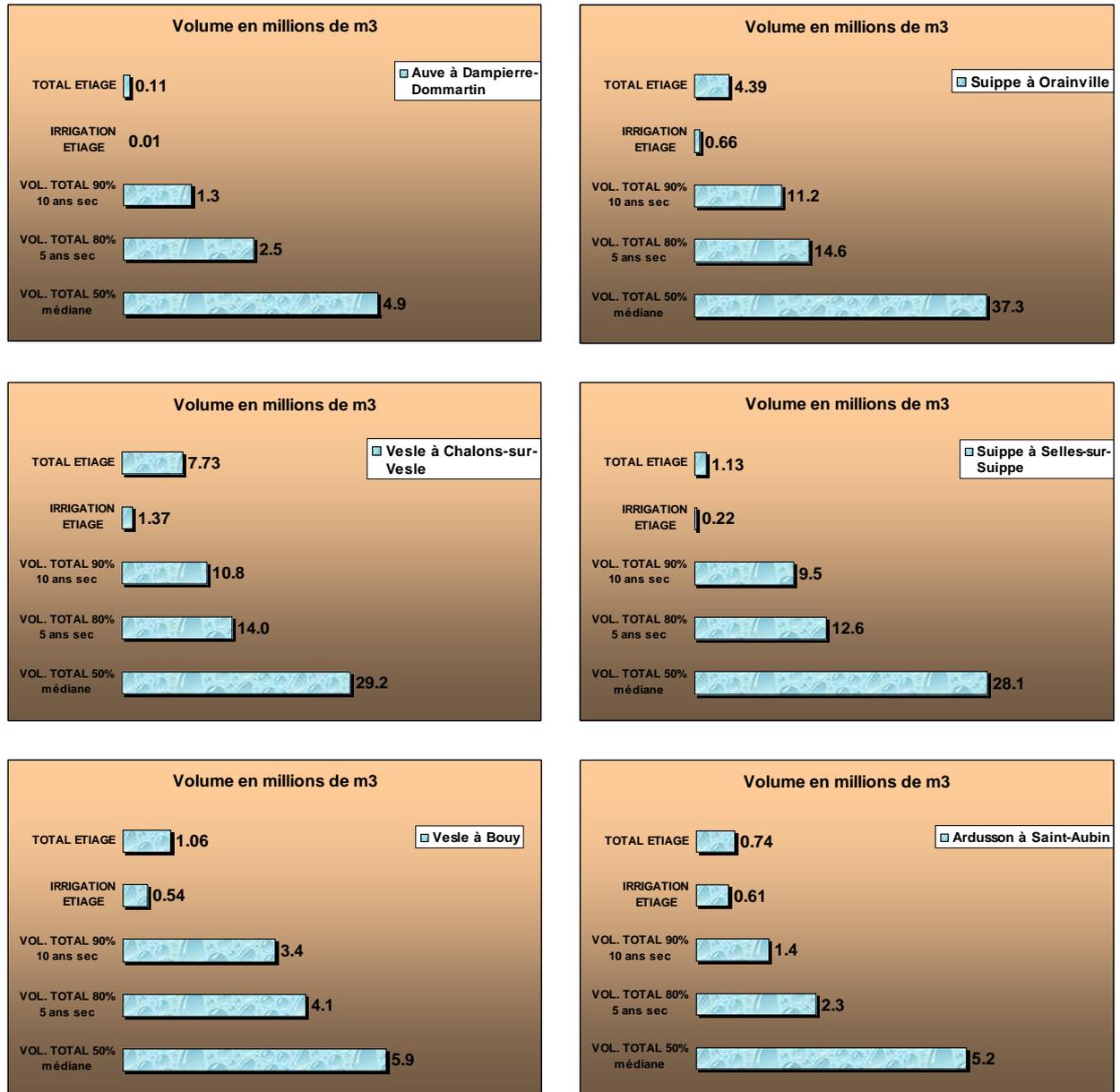


Figure 48 – Comparaison des volumes exploitables selon 4 scénarios climatiques avec les volumes prélevés par bassin versant (1)

Par contre les **bassins de la Retourne, de la Superbe, de la Barbuise et de l'Herbissonne** ont des volumes prélevés par l'irrigation en période d'étiage supérieurs aux volumes exploitables calculés par le modèle TEMPO (P = 0.9, 10 ans sec). La couverture des besoins ne pourra pas être assurée en année décennale sèche.

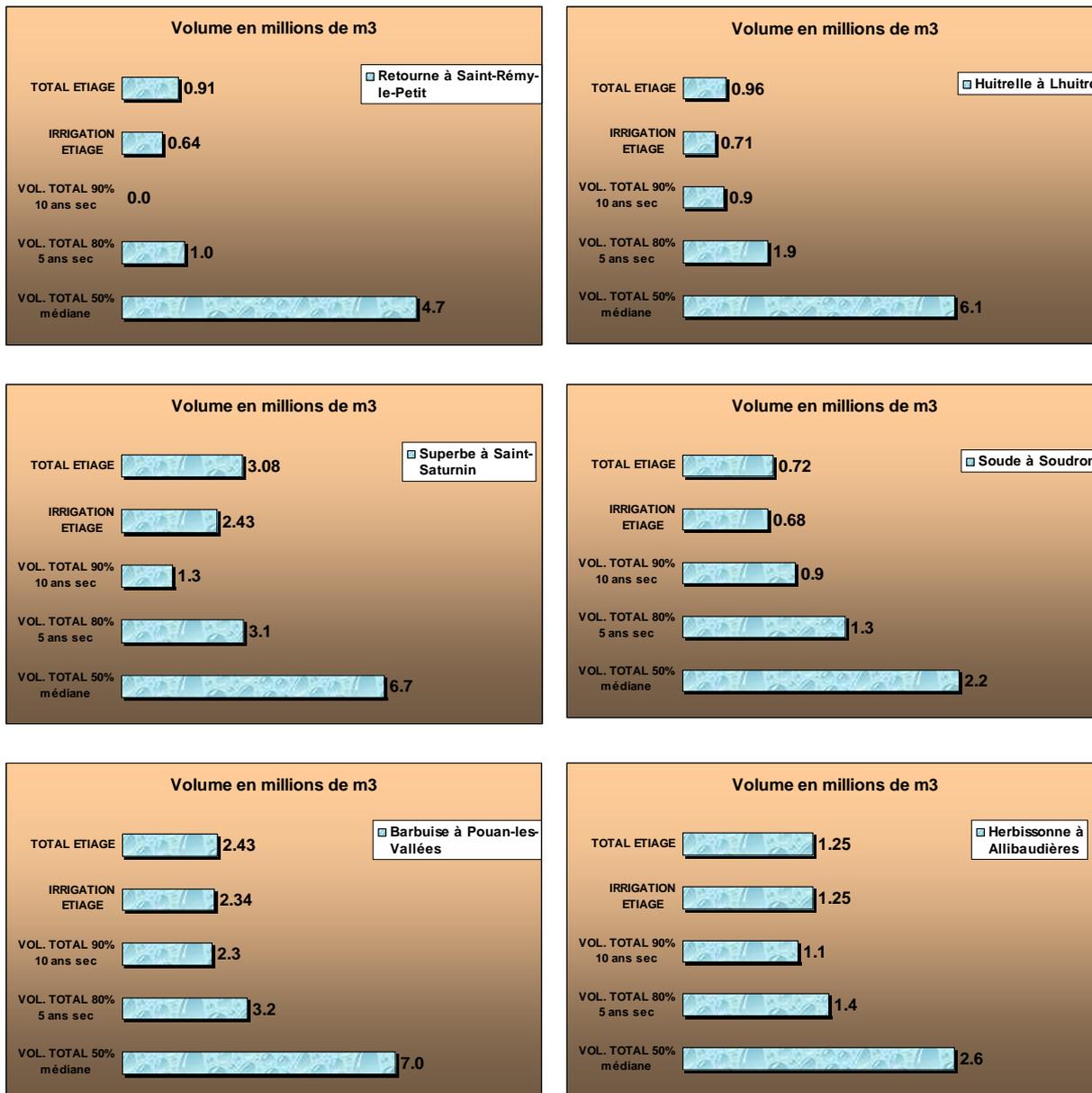


Figure 49 - Comparaison des volumes exploitables selon 4 scénarios climatiques avec les volumes prélevés par bassin versant (2)

#### 4.6. IMPACT DES POMPAGES DANS LE LIT DES COURS D'EAU

L'impact des pompages dans le lit des cours d'eau a été simulé sur 4 cours d'eau en considérant des prélèvements estivaux (avril à août) ou printaniers (avril à juin).

- Débit de la Vesle en aval du bassin avec le piézomètre de Fresnes-les-Reims
- Débit de l'Auve avec le piézomètre de Bussy-le-Château
- Débit de l'Ardusson avec le piézomètre d'Orvilliers-Saint-Julien
- Débit de la Superbe avec le piézomètre de Linthelles

L'impact sur la bande des 50 m est obtenu en modifiant la fonction de transfert piézomètre -> débit : Lorsque le prélèvement a lieu dans le bassin, on prend la fonction de transfert calculée qui est représentative du bassin. Lorsque l'on prélève dans la bande des 50 m (ou dans le cours d'eau), on modifie la fonction de transfert de sorte qu'elle soit nulle partout sauf au décalage 0, ce qui revient à simuler un impact immédiat.

Les résultats des calculs sont très variables et peuvent paraître surprenant en fonction des cours d'eau ainsi que des dates de prélèvements (Annexe 2).

- 1) Pour la **Vesle aval**, il semble qu'il faille favoriser les prélèvements directs.
- 2) Pour l'**Auve**, mêmes observations.
- 3) Pour l'**Ardusson**: l'impact sur le cours d'eau ne dépend pas du lieu de prélèvement (bassin ou cours d'eau) ; quelque soit le scénario, les volumes disponibles sont les mêmes.
- 4) Pour la **Superbe** l'impact s'inverse en fonction des dates de prélèvements; il vaut mieux prélever dans le cours d'eau si les prélèvements sont précoces.

Ces résultats peuvent paraître contradictoires mais s'expliquent de la manière suivante :

- Le volume exploitable estimé est un volume dynamique qui dépend étroitement des dates de prélèvement. L'impact des prélèvements sur le débit du cours d'eau dépend de 2 phénomènes:
  - le temps de transfert de l'impact du pompage sur le débit qui est de l'ordre de 1 à 2 mois lorsque le prélèvement a lieu dans le bassin,
  - la période de l'étiage.

- Bien que les prélèvements dans le bassin retardent et émoussent (élargissement de la fonction de transfert) l'effet du pompage sur le débit, cet effet peut être négatif lorsque l'étiage est tardif (novembre) car alors l'impact des pompes se fait sentir pendant la période des basses eaux alors qu'un prélèvement direct dans le lit du cours d'eau eût impacté pendant la récession et l'effet aurait été moins visible. Lorsque la période des basses eaux est plus précoce, l'effet peut être inversé et les prélèvements estivaux peuvent coïncider avec l'étiage, auquel cas les prélèvements dans le cours d'eau ont un effet amplificateur mais là encore, tout dépend de la date de prélèvement, donc du type de culture.

## 5. Représentativité des piézomètres

### 5.1. MODELISATIONS TEMPO DE 2006

Chaque bassin versant est caractérisé par un **débit à l'exutoire** et un **piézomètre représentatif** de l'état de recharge de la nappe qui contribue au soutien du débit d'étiage.

Les simulations effectuées avec TEMPO ont permis de déterminer le piézomètre le plus représentatif parmi ceux testés par masses d'eau. En effet les chroniques retenues sont celles qui traduisent le mieux le comportement hydrodynamique du bassin versant (il s'agit souvent d'ailleurs des plus longues) : Bonne restitution des chroniques de piézométrie ou de débit, décomposition satisfaisante de l'hydrogramme en trois composantes d'écoulement (rapide, retardée et lente) et mise en évidence de la contribution des eaux souterraines aux écoulements superficiels.

Ainsi on retiendra pour les 3 masses d'eau crayeuse de Champagne-Ardenne et les 10 bassins versants étudiés les piézomètres suivants :

<b>MES 3207</b>	<b>BV Suippe</b>	<b>Bussy-le-Château</b>
	<b>BV Vesle amont</b>	<b>Bussy-le-Château</b>
	<b>BV Vesle aval</b>	<b>Fresnes-les-Reims</b>
	<b>BV Auve</b>	<b>Bussy-le-Château</b>
	<b>BV Retourne</b>	<i>Manque de données Alincourt (trop récent)</i>
<b>MES 3208</b>	<b>BV Barbuisse</b>	<b>Vailly</b>
	<b>BV Herbissonne</b>	<b>Vailly</b>
	<b>BV Huitrelle</b>	<b>Sompuis</b>
	<b>BV Somme-Soude-Cooles</b>	<b>Grandes-Loges</b>
	<b>BV Superbe</b>	<b>Linthelles</b>
<b>MES 3209</b>	<b>BV Ardusson</b>	<b>Orvilliers-Saint-Julien</b>

### 5.2. TRAITEMENT STATISTIQUE DE 1996

En 1996, une étude avait été réalisée par le BRGM sur 17 piézomètres de la nappe de la craie afin d'identifier les **comportements similaires**. La méthodologie consistait en un **traitement statistique** des historiques au moyen d'une **matrice de corrélation**. Les matrices de corrélation ont confirmé le regroupement des piézomètres selon 5 groupes pour lesquels le coefficient de corrélation était supérieur à 0.85 (Figure 50) :

- Reims : Bonne corrélation entre **Fresnes-les-Reims, Saint-Etienne-sur-Suipe, Witry-les-Reims** ; le piézomètre de **Reims** montrant un comportement spécifique.
- Châlons-en-Champagne : Bonne corrélation entre **les Grandes-Loges, Tours-sur-Marne, Chépy et Vanault-le-Châtel** ; **Bussy-le-Château** montrant un comportement spécifique (les connaissances acquises ultérieurement montrent qu'il est à rattacher au groupe de Reims).
- Craie Marne-Aube : Les trois piézomètres **Morains, Euvy, Sompuis** montrent une forte corrélation ( $r > 0.88$ ).
- Craie Aube-Yonne : **Saint-Hilaire-sous-Romilly** et **Villeloup** sont corrélés entre eux mais pas avec Orvilliers-Saint-Julien
- Aisne - rive droite : Bonne corrélation entre **Hannogne-Saint-Rémy et Ecly**.

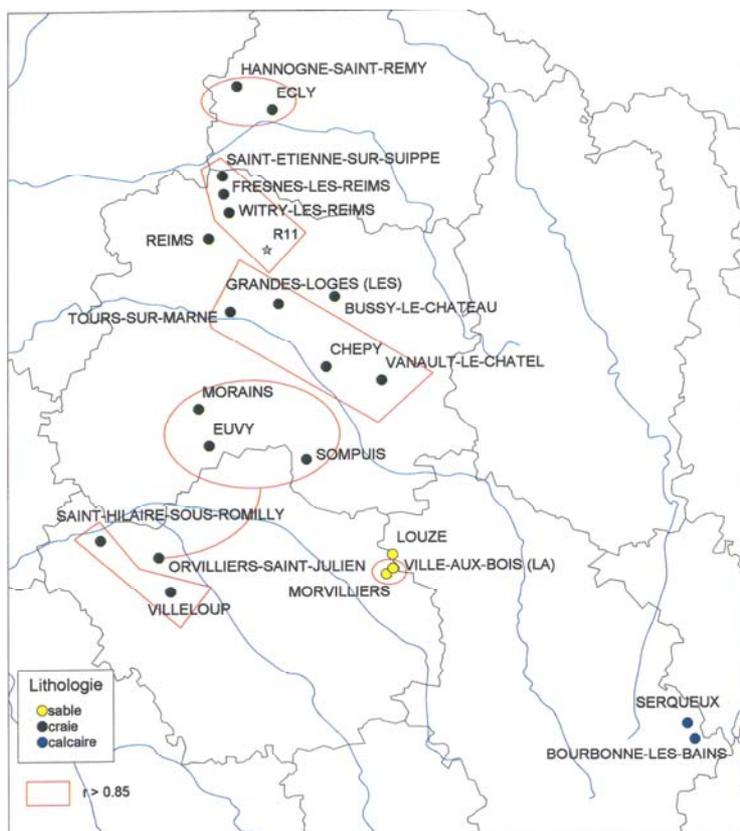


Figure 50 –Groupe de piézomètres montrant des comportements similaires ( $r > 0.85$ ). Extrait du rapport BRGM/R38921 d'avril 1996.

### 5.3. QUALIFICATION DU RESEAU EN 2005

En 2005, une étude portant sur l'ensemble du réseau piézométrique du bassin Seine Normandie a été réalisée par le BRGM, suite à une demande de la DIREN Ile-de-France. Il s'agissait de définir les points utilisables pour la qualification du bon état qualitatif des masses d'eau souterraines dans le cadre du schéma directeur des données sur l'eau. Regroupés par masse d'eau, les piézomètres ont été analysés et comparés afin d'attribuer une note de qualité (Annexe 3) qui prend en compte à la fois l'état du piézomètre, la qualité de sa chronique, le fait qu'il soit ou non influencé et sa représentativité vis-à-vis de la masse d'eau à laquelle il est associé.

#### ***Pour la craie de Champagne nord (MES n°3207) :***

L'étude des variogrammes (Annexe 3) a permis de trouver des corrélations entre piézomètres. Deux familles de courbes ont été identifiées avec deux ordres de grandeur de fluctuations : les piézomètres à grandes variations situés en plateau avec 6 mètres de battement (**Fresnes les Reims et Bussy-le-Château**), les piézomètres à faibles variations situés en vallée avec 2 mètres de battement (**Hannogne-Saint-Remy et Semide**).

- 00853X0018/S1 à HANNOGNE-SAINT-REMY : Assecs fréquents. Note de 4/5.
- 01086X0011/LS4 à FRESNES-LES-REIMS. Note de 5/5.
- 01593X0014/LV2 à BUSSY-LE-CHATEAU. Assecs très fréquents. Note de 2/5.

#### ***Pour la craie de Champagne sud et centre (MES n°3208) :***

L'étude comparative des variogrammes a permis de déceler les piézomètres influencés par le réseau de surface qui ne sont donc pas représentatifs de la masse d'eau (**Songy, Morains**). Les cycles saisonniers sont très peu marqués et les fluctuations très faibles en général en comparaison avec les autres piézomètres.

Le comportement « normal » de la craie de Champagne Sud est fidèlement représenté par les piézomètres des **Grandes Loges, de Vailly, de Sompuis et de Vanault-le-Chatel** qui présentent des cycles saisonniers marqués et des fluctuations interannuelles de l'ordre de six mètres.

- 02982X0013/S1 VAILLY. Assecs (2005 et 2006). Note de 4/5.
- 02255X0003/S1 SOMPUIS. Assecs (1976, 1990, 1992, 2004 à 2006). Note de 3/5.
- 01885X0002/S1 MORAINS-LE-PETIT. Influence par le réseau de surface. Note de 3/5.
- 01897X0002/S1 SONGY. Influence par le réseau de surface. Note de 3/5.
- 01894X0002/S1 VANAULT-LE-CHATEL. Note de 4/5.
- 01584X0023/LV3GRANDES-LOGES (LES). Note de 5/5.

**Pour la craie du Sénonais et Pays d'Othe (MES n°3209) :**

- 03328X0024/S1 CHAMOY. Niveau de base très marqué (milieu karstique très conducteur ?). Note de 3/5.
- 02617X0009/S1 ORVILLIERS-SAINT-JULIEN. Assecs (1976, 1991, 1992). Note de 4/5.
- 02615X0020/S1 SAINT-HILAIRE-SOUS-ROMILLY. Note de 5/5.
- 02974X0004/S1 VILLELOUP. Note de 5/5.
- 02603X1010/S1 SAULSOTTE (LA). Assecs (1991, 1992, 2005). Note de 3/5.

#### **5.4. CARTOGRAPHIE DES BASSINS VERSANTS SOUTERRAINS THEORIQUES**

Une nouvelle approche permet de délimiter une enveloppe correspondant grosso modo à son **bassin versant souterrain** dit « bassin d'alimentation ». Elle est basée sur l'analyse croisée des paramètres prenant en compte le bassin versant superficiel (réseau hydrographique calculé numériquement à partir de la morphologie du MNT - modèle numérique de terrain), la surface piézométrique de la nappe de la craie en hautes eaux (données de 2002) et l'épaisseur de zone non saturée. La procédure de calcul a été développée avec le logiciel ARCSIG et son extension « spatial analyst ».

L'objectif visé par ce calcul est de savoir si cette superficie peut-être significative de la représentativité de l'ouvrage. Pour cela des cartes et des graphiques ont été réalisés.

Les figures 50 à 52 montrent le réseau de drainage, les piézomètres considérés, les surfaces des bassins versants souterrains calculés, les limites de masses d'eau et de département.

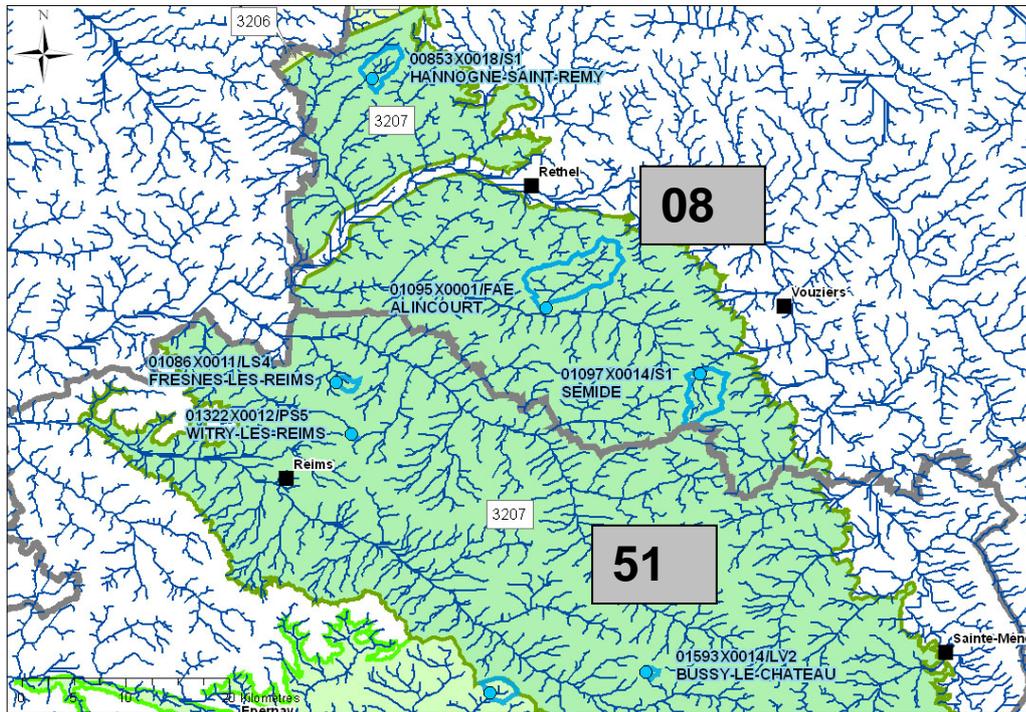


Figure 51 – Définition de quelques bassins versants souterrains sur la MES 3207

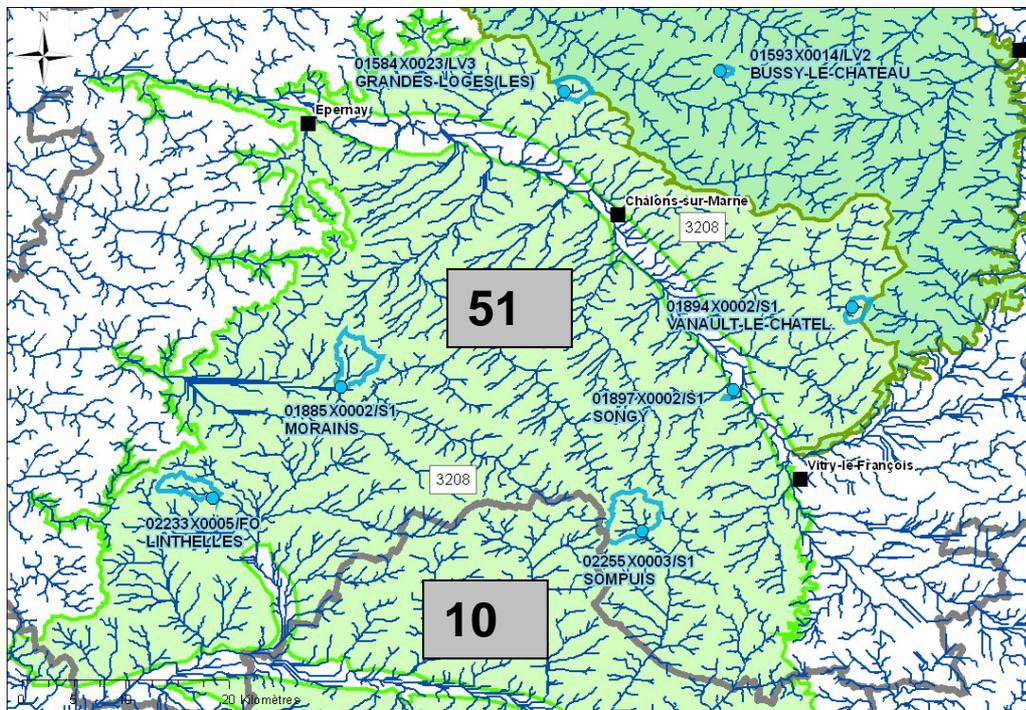


Figure 52 – Définition de quelques bassins versants souterrains sur la MES 3208

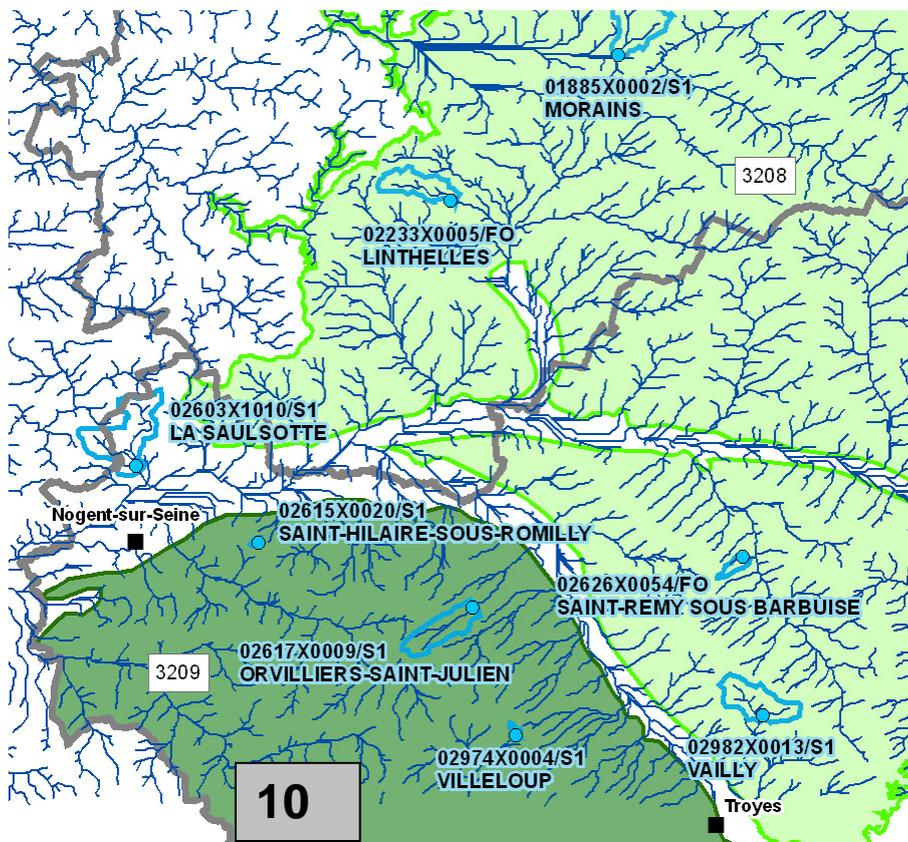


Figure 53 - Définition de quelques bassins versants souterrains sur les MES 3208 et 3209

Les superficies des bassins versants souterrains calculées sont très variables d'un ouvrage à l'autre, compris entre 0.2 km<sup>2</sup> pour Songy et 32 km<sup>2</sup> pour Alincourt (Figure 54). La méthode de calcul ne tient pas compte des échanges nappes rivières (comme à Songy ou Morains) ou des possibilités d'alimentation par une craie plus fissurée ou karstifiée, ce qui pourrait expliquer que certaines superficies soient sous-estimées.

Les assecs observés régulièrement sur 6 des ouvrages de suivi piézométrique ne s'expliquent pas forcément par la dimension de la surface du BV souterrain, comme le montre le graphique suivant.

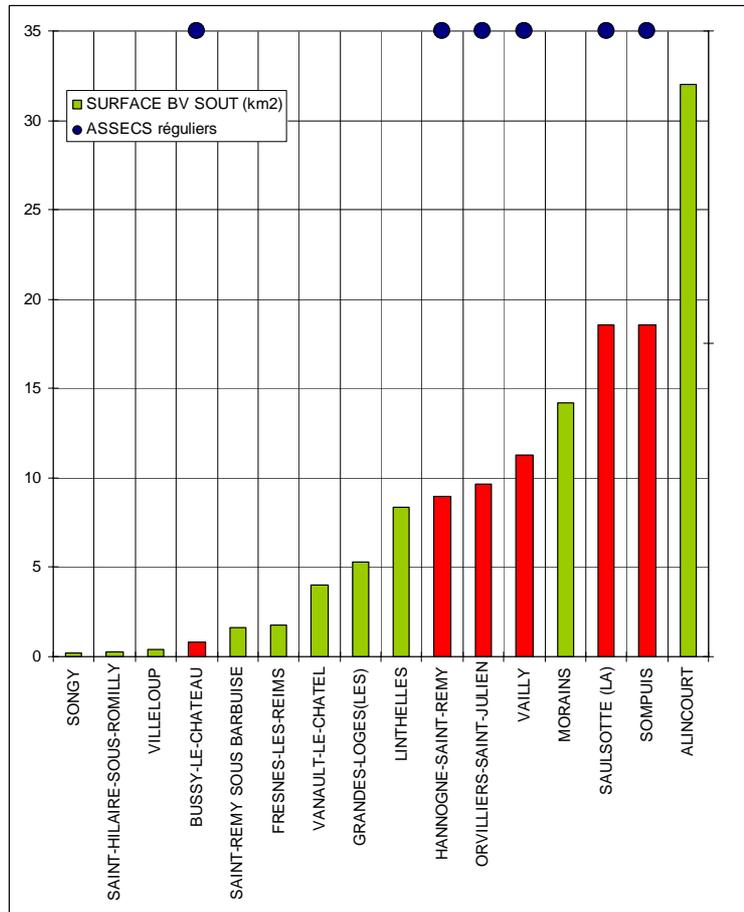


Figure 54 – Graphique des surfaces des bassins versants souterrains calculés

La comparaison entre la superficie des bassins versant souterrains et l'amplitude moyenne des battements enregistrés par année montre une certaine corrélation linéaire (Figure 55) : plus le bassin versant souterrain est grand plus l'amplitude des variations est petite. C'est en quelque sorte une traduction de la règle énoncée précédemment : les ouvrages situés en vallée (grand BV souterrain) ont des variations beaucoup plus faibles que les ouvrages situés en plateau (petit BV souterrain). On note cependant 4 exceptions à cette règle : Songy et Morains dont on a vu qu'ils sont influencés par les eaux de surface (superficie du BV souterrain sous-estimée) ; Saint-Rémy dont la chronique est trop courte pour estimer correctement une amplitude moyenne des variations annuelles et Linthelles pour lequel nous n'avons pas trouvé d'explication cohérente.

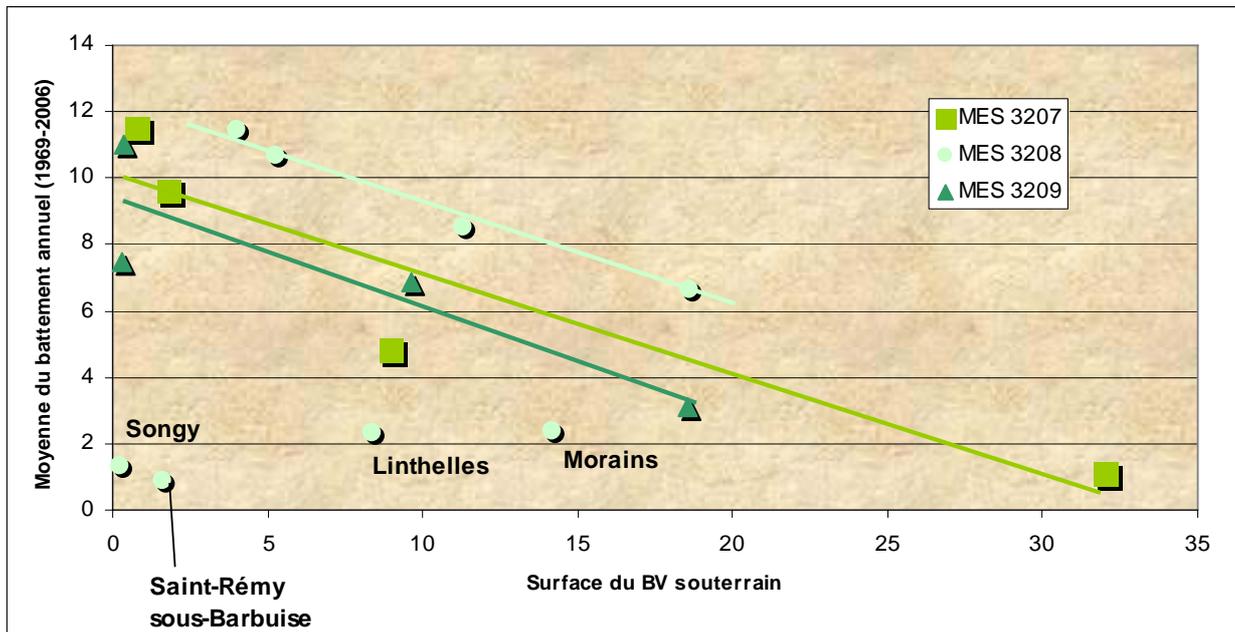


Figure 55 – Surface des bassins versants souterrains en fonction de la moyenne du battement annuel

## 5.5. CONCLUSIONS

Les méthodes mises en œuvre pour étudier la représentativité des piézomètres apportent chacune des éléments intéressants sans pour cela établir précisément une aire de représentativité. La tentative de délimitation des bassins versants souterrains n'apporte pas les résultats escomptés mais la méthodologie pourrait cependant être adaptée dans le cadre d'une étude « qualitative ».

## 6. Conclusions

Cette étude a permis de mettre en évidence les critères applicables aux différents bassins pour la prévision de l'état de recharge de la nappe de la craie et les volumes disponibles.

La prévision « TEMPO » s'appuie sur une méthode stochastique générant des séries de pluie, d'ETP et de niveaux piézométriques en nombre suffisant pour représenter les différents quantiles de manière fiable. L'outil permet en outre d'automatiser la procédure de prévision en fonction des besoins concrets.

La méthode stochastique est également utilisée pour la prévision à long terme (prévision non conditionnelle) indépendamment des conditions initiales, de manière à représenter les niveaux piézométriques et les débits en fonction de la période de retour. Cette méthode est générale et s'applique quel que soit le temps de régulation de la nappe, contrairement aux méthodes statistiques classiques basées sur l'analyse des niveaux observés à condition que ceux-ci ne soient pas autocorrélés au pas de temps choisi pour l'analyse.

L'outil de prévision développé avec TEMPO fonctionne sous un environnement EXCEL. Pour être opérationnel, tout modèle prévisionnel doit au préalable faire l'objet d'un calage, ce qui sous entend une critique des données, puis une validation.

Pour chaque sous bassin, l'estimation des volumes exploitables repose sur la prévision conjointe du débit du cours d'eau à l'exutoire du sous bassin et d'un niveau piézométrique. L'outil a donc permis de simuler les volumes de prélèvements optimaux en fonction de l'état des réserves avant la période d'étiage et d'estimer les ordres de grandeurs des volumes susceptibles d'être préconisés dans les « arrêts sécheresse ».

Les méthodes mises en œuvre pour étudier la représentativité des piézomètres apportent chacune des éléments intéressants sans pour cela établir précisément une aire de représentativité.

- La méthodologie « TEMPO » a conduit à sélectionner les piézomètres les plus représentatifs et les moins influencés. Il s'agissait d'obtenir à chaque simulation une restitution satisfaisante des chroniques de débit et de niveaux piézométrique, preuve que le comportement hydrodynamique du bassin était bien pris en compte.
- Le traitement statistique des historiques au moyen d'une matrice de corrélation a permis de déterminer des groupes de piézomètres présentant des similitudes de comportement.

- La cartographie des bassins versants souterrains n'apporte pas les résultats escomptés mais la méthodologie pourrait cependant être adaptée dans le cadre d'une étude « qualitative ».

## 7. Bibliographie

### 7.1. ARTICLES SCIENTIFIQUES

- 1) Pinault, J.-L., N. Amraoui, and C. Golaz (2005), Groundwater-induced flooding in macropore-dominated hydrological system in the context of climate changes, *Water Resour. Res.*, 41, W05001, doi:10.1029/2004WR003169
- 2) Pinault, J.-L., N. Doerfliger, B. Ladouche, and M. Bakalowicz (2004), Characterizing a coastal karst aquifer using an inverse modeling approach: The saline springs of Thau, southern France, *Water Resour. Res.*, 40, W08501, doi:10.1029/2003WR002553.
- 3) Pinault J-L, Pauwels H. and Cann Ch., Inverse modeling of the hydrological and the hydrochemical behavior of hydrosystems: Application to nitrate transport and denitrification, *Water Res. Research*, 37 (8), pp 2179-2190, 2001.
- 4) Pinault J-L, Plagnes V, Aquilina L. and Bakalowicz M., Inverse modeling of the hydrological and the hydrochemical behavior of hydrosystems: Characterization of karst system functioning, *Water Res. Research*, 37 (8), pp 2191-2204, 2001.
- 5) Lachassagne P, Pinault J-L, Laporte P, Radon 222 emanometry: a relevant methodology for water well siting in hard rock aquifers, *Water Res. Research*, 37 (12), pp 3131-3148, 2001.
- 6) Pinault J-L, Baubron J-C, Signal processing of diurnal and semidiurnal variations in radon and atmospheric pressure: A new tool for accurate in situ measurement of soil gas velocity, pressure gradient, and tortuosity, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, N° B8, pp 18,101-18,120, 1997
- 7) Pinault J-L, Baubron J-C, Signal processing of soil gas radon, atmospheric pressure, moisture and soil temperature data: A new approach for radon concentration modelling, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, N° B2, pp 3157-3171, 1996

### 7.2. RAPPORTS

Normand M. , Pinault J.L. , Seguin J.J., Vernoux J.F. (2005) – Assistance au plan sécheresse en Ile de France. Analyse critique des données piézométriques et prévision de niveaux non influencés. Rapport BRGM/RP-54221-FR, 101 pages, 132 figures, 13 tableaux, 6 annexes

BRGM (1996) – Réseau piézométrique de la Région Champagne-Ardenne : étude comparée. Rapport BRGM R38921 SGR/IDF 96, 23 pages, 10 figures.

Putot E., Verjus P. (DIREN) et J.F Vernoux J.F. avec la collaboration de Arnaud L., Chabart M., Chrétien P. (2005) – Qualification du réseau piézométrique du bassin Seine-Normandie en 2005. Rapport BRGM//RP-54481-FR, 96 pages, 43 figures, 3 annexes.



## Annexe 1

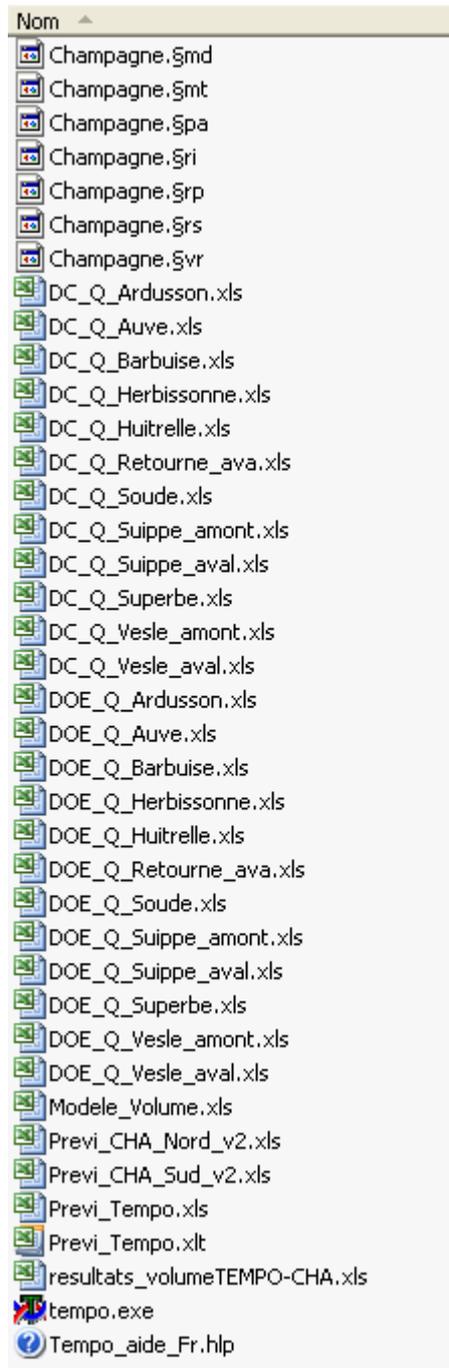
### Mode opératoire de l'outil de prévision

La prévision de débits de crue ou d'étiage ainsi que la prévision des niveaux piézométriques se fait dans un environnement EXCEL. Les modèles de transfert ainsi que les générateurs de pluie et d'ETP étant calibrés, l'utilisateur final dispose ainsi d'un outil simple et puissant (le moteur de calcul TEMPO fonctionne en tâche de fond).

Le répertoire « OUTIL\_TEMPO-CHA » contient :

- l'application : TEMPO.EXE ;
- le fichier associé au logiciel : « Champagne.špa » ;
- 2 fichiers de prévision pour les 10 bassins versants étudiés : « Previ\_CHA\_Nord\_v2.XLS » et « Previ\_CHA\_Sud\_v2.XLS » ;
- un fichier d'aide : « Tempo\_aide\_Fr.hlp » ;
- le fichier nécessaire à l'exportation des volumes « Modele\_Volume.xls » ;
- les fichiers d'export des volumes : par exemple pour le bassin versant de la Vesle « DOE\_Q\_Vesle\_aval.xls » ou « DC\_Q\_Vesle\_aval.xls » ;
- les fichiers originaux de la macro EXCEL : « Previ\_Tempo.xls » ou « Previ\_Tempo.xlt ».

Chaque fichier de prévision permet de mettre à jour la prévision d'une dizaine de débits ou niveaux simultanément. Différents formats de fichiers d'entrée permettent de lire directement les fichiers Météo France, les données piézométriques ainsi que les données de débits. L'utilisateur fixe les périodes de retour correspondant aux différents quantiles qui s'affichent automatiquement à la fin de la simulation et personnalise son application (édition d'un rapport,...).



## Première utilisation

Copier le répertoire correspondant depuis le CD ROM. Déverrouiller en écriture : le répertoire étant sélectionné depuis l'explorateur Windows, agir sur le bouton droit de la souris et modifier les propriétés.

EXCEL étant activé, ouvrir l'un des fichiers EXCEL : « Previ\_CHA\_Nord\_v2.XLS » ou « Previ\_CHA\_Sud\_v2.XLS ». Le chemin du fichier associé au logiciel Tempo « champagne.špa » doit être défini explicitement. Le chemin peut être redéfini à tout moment. En particulier ce chemin devra être redéfini à chaque fois que les répertoires sont déplacés ou que leur nom est modifié. Cette procédure qui peut paraître contraignante permet d'appeler différents fichiers TEMPO correspondant à diverses applications depuis un seul et même environnement EXCEL.

**Prévision des niveaux piézométriques et des débits**

The screenshot displays the Excel interface for the 'Champagne Nord' project. It is divided into several functional areas:

- Navigation and Settings:** Buttons for 'Validation', 'Exportation \*.xls', 'Importation \*.xls', 'Exportation des volumes', and 'Initialisation'.
- Project Information:** 'Intitulé' (Champagne Nord), 'Etat' (20/04/2007 18:45), and 'Copie terminée'.
- Data Entry:** Fields for 'Importation des données', 'Paramètres d'entrée', 'Fichier Tempo' (d:\travail\AA\_MUC\CHAMPAGNE), 'Modèle prévisionnel' (Champagne\_Nord), and 'Début, fin validation' (1/1/1990 to 31/12/2007).
- Forecast Parameters:** 'Début, fin prévision' (18/11/2006 to 31/12/2012), 'Transfert' (Proc. Autoreg.), 'Nombre de réalisations' (128), and a list of 'Variables simulées' (H\_Fresne, H\_Bussy, Q\_Suppe\_aval, Q\_Suppe\_amont, Q\_Vesle\_amont, Q\_Vesle\_aval, Q\_Auve, Q\_Retourne\_ave, M\_Auve90).
- Chart Configuration:** 'Date début, fin' (01/01/1997 to 31/12/2007), 'Echelle' (arrondie), 'Nombre de graphiques' (9), 'Cellules (coin supérieur gauche)' (A1, A17, A33, A49, A65, G1, G17), 'Temps maximum entre 2 mesures (j)' (45), and 'Continuité Observations/Prévisions' (FAUX).
- Hydrograph:** A line chart showing water level (H\_Fresne) and discharge (Q\_Vesle) from 1997 to 2007. The chart includes a 'Modèle' (black line) and various hydrological series: '20 ans hum. (5%)', '10 ans hum. (10%)', '5 ans hum. (20%)', 'médiane (50%)', '5 ans sec. (80%)', '10 ans sec. (90%)', and '20 ans sec. (95%)'.

L'environnement EXCEL utilisé pour la prévision des niveaux piézométriques et des débits

## Mettre à jour un projet existant

### Ajouter de nouvelles chroniques

La mise à jour d'un projet avec de nouvelles chroniques (nouvelles stations hydrométriques, nouveaux piézomètres, nouvelles stations climatiques) nécessite de

réaliser de nouvelles simulations et un nouveau calage avec le logiciel TEMPO (s'adresser au BRGM).

Il convient ensuite dans l'outil EXCEL de définir les **noms des variables** tels qu'ils apparaissent dans TEMPO ainsi que la **première date** (le pas d'échantillonnage est journalier). Agir sur le bouton « Variables simulées » de la feuille « Prévision » et éventuellement remettre à jour le nombre de graphiques qui doit être égal au nombre de variables simulées. Mettre à jour les noms des stations dans la feuille « Alias » pour pouvoir importer des fichiers de variables (données climatiques, niveaux piézométriques, débits).

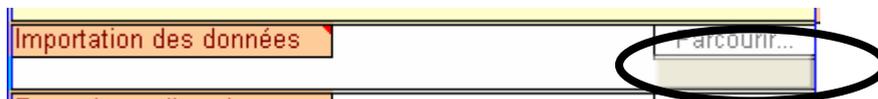
Variables simulées				
H_Grandes_Loge	H_Linthelles	H_Orvilliers	H_Sompuis	H_Vailly
Q_Ardusson	Q_Barbuise	Q_Herbissonne	Q_Huitrelle	Q_Soude
Q_Superbe	M_Superbe90			

Mise à jour des variables simulées.

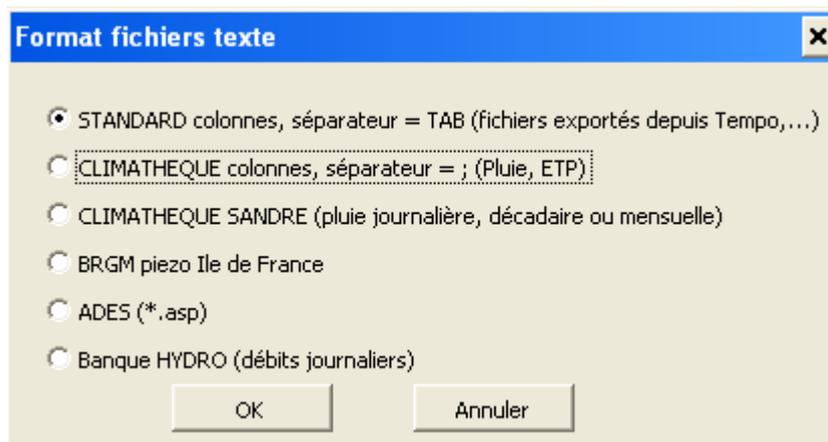
Dans le cas où des volumes exploitables doivent être prévus, mettre à jour le nom de la variable associée à la station hydrologique, le nom du piézomètre et la fonction de transfert qui lui est associée (résultats de la modélisation TEMPO).

### Compléter les chroniques existantes

Les valeurs complémentaires sont importées depuis les fichiers au format TEXTE (.txt) en agissant sur le bouton « Importation des données ».



Importation des données sous forme de fichier TEXTE \*.txt



Importation des données (choix du format)

La feuille « Données » peut également être mise à jour en copiant les données depuis un fichier EXCEL et en les collant mais en prenant soin d'opérer un collage spécial 'Valeurs'. **Ne jamais opérer d'insertion qui conduirait à modifier la macro.**

### Mise à jour de la macro EXCEL

Ouvrir le fichier EXCEL contenant la macro et servant de modèle (Previ\_Tempo.xls). Importer les données du projet pré-existant (Previ\_CHA\_xxx.xls).

Validation	Exportation *.xls
	Importation *.xls
Validation + Prévision	Exportation des volumes
	Initialisation

Exportation et importation des données sous la forme d'un classeur EXCEL.

Etablir le lien avec le fichier de données TEMPO (Champagne.špa) et écrire le nom du modèle prévisionnel.

Paramètres d'entrée	
Fichier Tempo	D:\Travail\A.A_MUC\CHAMPAGNE
Modèle prévisionnel	Champagne_Sud

Lien avec le fichier Tempo et nom du modèle prévisionnel

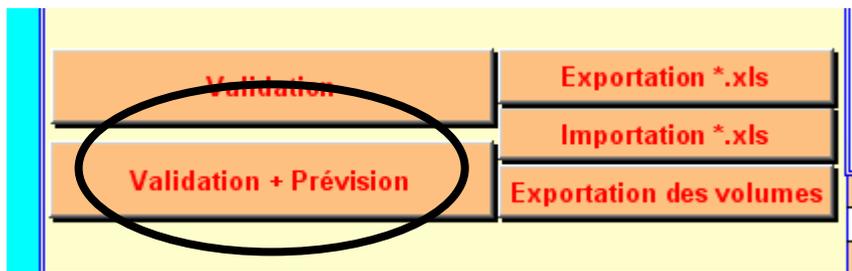
### Validation ou simulation

La base de données de la feuille « Données » étant à jour, il ne reste plus qu'à définir les références temporelles.

Début, fin validation	1/1/1990	31/12/2006	
Début, fin prévision	28/6/2006	31/3/2012	
Durée prévision (j)	1826	5 ans	
Prévision à	Court terme		Légende

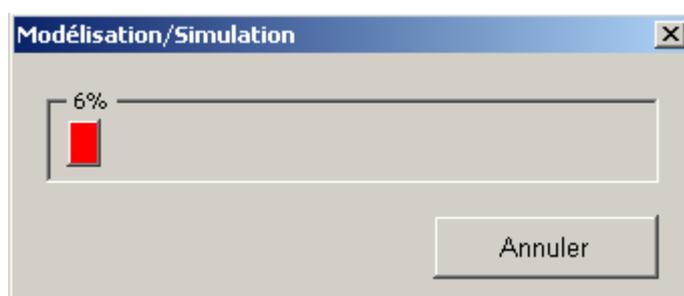
Références temporelles de la prévision: date de la fin de la validation et du début de la prévision.

Activer la validation ou bien l'enchaînement des tâches validation et prévision. La validation consiste lancer la simulation pour visualiser les observations piézométriques et les débits ainsi que leurs modèles. La prévision aboutit à la représentation des différents quantiles.



Validation, simulation.

L'avancement des calculs qui apparaît lors de la simulation quand l'option visualisation est mise à « VRAI ») peut être interrompu à tout moment. Cette boîte de dialogue apparaît d'abord sur la fenêtre EXCEL puis disparaît pour ne réapparaître qu'en tâche de fond.



Simulation: avancement des calculs

Le changement de date de l'échelle graphique s'applique à tous les graphiques dès lors que le bouton *Appliquer...* est activé. L'échelle des ordonnées peut être arrondie ou ajustée aux valeurs minimales et maximales. La modification du nombre de graphiques revient à dupliquer le graphique modèle, ce qui permet de modifier et d'homogénéiser rapidement l'apparence des graphiques. Le changement d'échelle re-affecte la feuille de calcul propre à chaque graphique. La prise en compte de la continuité entre observations et prévision est obtenue en translatant verticalement le faisceau des quantiles.

Graphiques			Appliquer...
Date début, fin	01/01/2011	31/12/2011	
Echelle	arrondie		
Nombre de graphiques	8	N=8	
Cellules (coin supérieur gauche)	A1,A17,A33,A49,A65,G1,G17,G		
Temps maximum entre 2 mesures (j)	100	100 i	
Continuité Observations/Prévisions	FAUX		

Options concernant la représentation graphique

## **Annexe 2**

# **Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

<b>Vesle aval</b>
-------------------

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

		0,0864							1
Q_Vesle_aval	1,540	0	10	20	30	40	50	60	
H_Fresne	100%	1,24E-01	1,24E-01	1,23E-01	1,21E-01	1,19E-01	1,16E-01	1,13E-01	
<b>Réponse impulsionnelle du bassin versant</b>									
		H_Fresne							DOE 1,54
									DCR 1,2
01/2011	0%								
02/2011	0%								
03/2011	0%								
04/2011	10%								
05/2011	20%								
06/2011	20%								
07/2011	25%								
08/2011	25%								
09/2011	0%								
10/2011	0%								
11/2011	0%								
12/2011	0%								
		0,078540444	-6,00417E-06	-0,078726737	-8,60792E-05	-2,32802E-05	-0,000969055	-0,000969271	
H_Fresne	20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	<b>médiane (50%)</b>	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)		
01/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	
02/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	
03/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	
04/2011	10,0	5,1	3,5	<b>1,5</b>	0,0	-27,3	-48,6		
05/2011	20,1	10,3	7,0	<b>2,9</b>	0,0	-54,7	-97,1		
06/2011	20,1	10,3	7,0	<b>2,9</b>	0,0	-54,7	-97,1		
07/2011	25,1	12,9	8,7	<b>3,6</b>	0,0	-68,3	-121,4		
08/2011	25,1	12,9	8,7	<b>3,6</b>	0,0	-68,3	-121,4		
09/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0		
10/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0		
11/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0		
12/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0		
<b>TOTAL</b>	<b>100,5</b>	<b>51,5</b>	<b>34,8</b>	<b>14,5</b>	<b>-0,2</b>	<b>-273,3</b>	<b>-485,7</b>		

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

		0,0864		1						
Q_Vesle_aval	<b>1,540</b>	0	10	20	30	40	50	60		
H_Fresne	<b>100%</b>	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Réponse impulsionnelle correspondant à un prélèvement dans le cours d'eau										
		H_Fresne								<b>DOE 1,54</b>
		H_Fresne								<b>DCR 1,2</b>
01/2011	0%									
02/2011	0%									
03/2011	0%									
04/2011	<b>10%</b>									
05/2011	<b>20%</b>									
06/2011	<b>20%</b>									
07/2011	<b>25%</b>									
08/2011	<b>25%</b>									
09/2011	0%									
10/2011	0%									
11/2011	0%									
12/2011	0%									
		Prélèvements en période estivale								
		-0,137453364	0,137352699	-0,137397516	0,137161761	0,137289298	0,007221215	0,007217056		
H_Fresne		20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	<b>médiane (50%)</b>	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)		
01/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0		
02/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0		
03/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0		
04/2011		10,0	4,9	3,5	<b>1,3</b>	0,3	-1,9	-7,7		
05/2011		20,0	9,8	7,0	<b>2,6</b>	0,6	-3,8	-15,4		
06/2011		20,0	9,8	7,0	<b>2,6</b>	0,6	-3,8	-15,4		
07/2011		25,0	12,2	8,7	<b>3,2</b>	0,7	-4,7	-19,3		
08/2011		25,0	12,2	8,7	<b>3,2</b>	0,7	-4,7	-19,3		
09/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0		
10/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0		
11/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0		
12/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0		
<b>TOTAL</b>		<b>99,9</b>	<b>48,8</b>	<b>34,8</b>	<b>12,8</b>	<b>3,0</b>	<b>-18,8</b>	<b>-77,2</b>		

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

Q_Vesle_aval	1,540	0,0864	1	0	10	20	30	40	50	60
H_Fresne	100%	1,24E-01	1,24E-01	1,23E-01	1,21E-01	1,19E-01	1,19E-01	1,16E-01	1,13E-01	
Réponse impulsionnelle du bassin versant										
H_Fresne										DOE 1,54 DCR 1,2
01/2011	0%									
02/2011	0%									
03/2011	0%									
04/2011	33%									
05/2011	33%									
06/2011	33%									
07/2011	0%									
08/2011	0%									
09/2011	0%									
10/2011	0%									
11/2011	0%									
12/2011	0%									
		0,106832069	-0,106853846	-0,106914717	0,106956994	-0,107017417	-0,001285256	0,001295721		
H_Fresne		20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	médiane (50%)	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)		
01/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
02/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
03/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
04/2011		27,1	16,4	12,7	6,4	3,1	-12,7	-76,9		
05/2011		27,1	16,4	12,7	6,4	3,1	-12,7	-76,9		
06/2011		27,1	16,4	12,7	6,4	3,1	-12,7	-76,9		
07/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
08/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
09/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
10/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
11/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
12/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
TOTAL		81,3	49,1	38,2	19,1	9,3	-38,0	-230,8		

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

Q_Vesle_aval	1,540	0,0864	0	10	20	30	40	50	60	
H_Fresne	100%	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Réponse impulsionnelle correspondant à un prélèvement dans le cours d'eau										
H_Fresne										
01/2011	0%									DOE 1,54
02/2011	0%									DCR 1,2
03/2011	0%									
04/2011	33%									
05/2011	33%									
06/2011	33%									
07/2011	0%									
08/2011	0%									
09/2011	0%									
10/2011	0%									
11/2011	0%									
12/2011	0%									
		-0,000164792	0,183112749	-0,18287829	0,182871596	-0,1825198	-0,000116909	-0,182867167		
H_Fresne		20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	médiane (50%)	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)		
01/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
02/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
03/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
04/2011		27,4	15,6	12,9	6,2	3,3	1,8	1,3		
05/2011		27,4	15,6	12,9	6,2	3,3	1,8	1,3		
06/2011		27,4	15,6	12,9	6,2	3,3	1,8	1,3		
07/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
08/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
09/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
10/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
11/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
12/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
TOTAL		82,1	46,8	38,8	18,5	9,9	5,4	3,8		

**Auve**

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

Q_Auve	0,450	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
H_Bussy	100%	3,82E-05	4,69E-04	3,60E-03	1,74E-02	5,26E-02	1,00E-01	1,21E-01	9,23E-02	4,51E-02	
H_Bussy											
01/2011	0%									DOE	0,45
02/2011	0%									DCR	0,38
03/2011	0%										
04/2011	10%										
05/2011	20%										
06/2011	20%										
07/2011	25%										
08/2011	25%										
09/2011	0%										
10/2011	0%										
11/2011	0%										
12/2011	0%										
		-0,031968473	-0,031277795	0,031955425	-9,88556E-07	-6,08208E-06	-0,032026412	-0,000338074			
H_Bussy	20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	<b>médiane (50%)</b>	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)				
01/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0			
02/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0			
03/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0			
04/2011	2,2	1,2	0,6	<b>0,2</b>	0,0	0,0	-0,1	-6,4			
05/2011	4,5	2,3	1,1	<b>0,4</b>	0,0	0,0	-0,1	-12,8			
06/2011	4,5	2,3	1,1	<b>0,4</b>	0,0	0,0	-0,1	-12,8			
07/2011	5,6	2,9	1,4	<b>0,5</b>	0,0	0,0	-0,1	-16,0			
08/2011	5,6	2,9	1,4	<b>0,5</b>	0,0	0,0	-0,1	-16,0			
09/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0			
10/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0			
11/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0			
12/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0			
TOTAL	22,5	11,7	5,6	<b>2,0</b>	0,0	-0,6	-63,9				

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

Q_Auve	0,450	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
H_Bussy	100%	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
H_Bussy											
01/2011	0%									DOE	0,45
02/2011	0%									DCR	0,38
03/2011	0%										
04/2011	10%										
05/2011	20%										
06/2011	20%										
07/2011	25%										
08/2011	25%										
09/2011	0%										
10/2011	0%										
11/2011	0%										
12/2011	0%										
		0,061984369	-0,061928962	-0,06212877	-4,45739E-06	-0,028471561	0,003266044	-0,001637749			
H_Bussy	20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	<b>médiane (50%)</b>	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)				
01/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0			
02/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0			
03/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0			
04/2011	2,5	1,3	0,7	<b>0,3</b>	0,1	-0,8	-2,4				
05/2011	5,1	2,6	1,5	<b>0,5</b>	0,1	-1,6	-4,8				
06/2011	5,1	2,6	1,5	<b>0,5</b>	0,1	-1,6	-4,8				
07/2011	6,3	3,2	1,9	<b>0,7</b>	0,2	-2,0	-6,0				
08/2011	6,3	3,2	1,9	<b>0,7</b>	0,2	-2,0	-6,0				
09/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
10/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
11/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
12/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
TOTAL	25,3	12,8	7,5	<b>2,7</b>	0,7	-8,1	-23,9				

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

Q_Auve	0,380	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
H_Bussy	100%	3,82E-05	4,69E-04	3,60E-03	1,74E-02	5,26E-02	1,00E-01	1,21E-01	9,23E-02	4,51E-02	
H_Bussy											
01/2011	0%									DOE	0,45
02/2011	0%									DCR	0,38
03/2011	0%										
04/2011	33%										
05/2011	33%										
06/2011	33%										
07/2011	0%										
08/2011	0%										
09/2011	0%										
10/2011	0%										
11/2011	0%										
12/2011	0%										
		-0,043605291	-0,042231698	-0,035983649	-0,038762905	0,005278618	0,000453352	-0,000454192			
H_Bussy	20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	<b>médiane (50%)</b>	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)				
01/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
02/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
03/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
04/2011	7,5	3,4	2,6	<b>1,2</b>	0,5	-2,1	-18,1				
05/2011	7,5	3,4	2,6	<b>1,2</b>	0,5	-2,1	-18,1				
06/2011	7,5	3,4	2,6	<b>1,2</b>	0,5	-2,1	-18,1				
07/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
08/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
09/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
10/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
11/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
12/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
TOTAL	22,4	10,2	7,8	<b>3,7</b>	1,4	-6,3	-54,2				

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

Q_Auve	0,380	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
H_Bussy	100%	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
H_Bussy											
01/2011	0%									DOE	0,45
02/2011	0%									DCR	0,38
03/2011	0%										
04/2011	33%										
05/2011	33%										
06/2011	33%										
07/2011	0%										
08/2011	0%										
09/2011	0%										
10/2011	0%										
11/2011	0%										
12/2011	0%										
		-0,082825934	-0,000140084	0,082640343	-0,000142891	-0,082921729	-0,082611059	0,075812885			
H_Bussy	20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	<b>médiane (50%)</b>	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)				
01/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0			
02/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0			
03/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,0			
04/2011	8,3	4,3	3,2	<b>2,0</b>	1,2	0,8	0,1				
05/2011	8,3	4,3	3,2	<b>2,0</b>	1,2	0,8	0,1				
06/2011	8,3	4,3	3,2	<b>2,0</b>	1,2	0,8	0,1				
07/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
08/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
09/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
10/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
11/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
12/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
<b>TOTAL</b>	<b>24,9</b>	<b>12,9</b>	<b>9,6</b>	<b>6,0</b>	<b>3,6</b>	<b>2,5</b>	<b>0,2</b>				

**Ardusson**

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

Q_Ardusson	0,250	0,0864	1	0	10	20	30	40	50	60	70	80
H_Orvilliers	100%	1,09E-01	9,60E-02	8,05E-02	6,17E-02	3,97E-02	1,56E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
H_Orvilliers											DOE	0,25
											DCR	0,15
01/2011	0%											
02/2011	0%											
03/2011	0%											
04/2011	10%											
05/2011	20%											
06/2011	20%											
07/2011	25%											
08/2011	25%											
09/2011	0%											
10/2011	0%											
11/2011	0%											
12/2011	0%											
		-1,07849E-05	-0,010578945	-0,010072803	-0,010625322	-0,000264971	-3,76484E-05	-0,004128118				
H_Orvilliers	20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	<b>médiane (50%)</b>	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)					
01/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0					
02/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0					
03/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0					
04/2011	1,7	1,1	0,9	<b>0,3</b>	0,0	0,0	-19,0					-35,2
05/2011	3,3	2,2	1,7	<b>0,6</b>	0,0	0,0	-38,0					-70,4
06/2011	3,3	2,2	1,7	<b>0,6</b>	0,0	0,0	-38,0					-70,4
07/2011	4,2	2,8	2,1	<b>0,7</b>	0,0	0,0	-47,5					-88,0
08/2011	4,2	2,8	2,1	<b>0,7</b>	0,0	0,0	-47,5					-88,0
09/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0					0,0
10/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0					0,0
11/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0					0,0
12/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0					0,0
TOTAL	16,7	11,2	8,5	<b>2,9</b>	-0,2	-190,1	-352,0					

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

Q_Ardusson	0,250	0,0864	1	0	10	20	30	40	50	60	70	80
H_Orvilliers	100%	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
H_Orvilliers												
												DOE 0,25
												DCR 0,15
01/2011	0%											
02/2011	0%											
03/2011	0%											
04/2011	10%											
05/2011	20%											
06/2011	20%											
07/2011	25%											
08/2011	25%											
09/2011	0%											
10/2011	0%											
11/2011	0%											
12/2011	0%											
		0,018609684	0,018605599	-0,018591904	-8,50112E-06	-0,015266384	-0,000981431	-0,000981065				
H_Orvilliers	20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	<b>médiane (50%)</b>	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)					
01/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0					
02/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0					
03/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0					
04/2011	1,6	1,1	0,9	<b>0,3</b>	0,0	0,0	-1,4					-2,7
05/2011	3,3	2,2	1,7	<b>0,6</b>	0,1	0,1	-2,8					-5,4
06/2011	3,3	2,2	1,7	<b>0,6</b>	0,1	0,1	-2,8					-5,4
07/2011	4,1	2,7	2,2	<b>0,7</b>	0,1	0,1	-3,5					-6,7
08/2011	4,1	2,7	2,2	<b>0,7</b>	0,1	0,1	-3,5					-6,7
09/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0					0,0
10/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0					0,0
11/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0					0,0
12/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0					0,0
TOTAL	16,3	10,9	8,6	<b>2,8</b>	0,4	-14,0	-26,9					

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

		0,0864	1								
Q_Ardusson	0,250	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
H_Orvilliers	100%	1,09E-01	9,60E-02	8,05E-02	6,17E-02	3,97E-02	1,56E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
H_Orvilliers											
										DOE	0,25
										DCR	0,15
01/2011	0%										
02/2011	0%										
03/2011	0%										
04/2011	33%										
05/2011	33%										
06/2011	33%										
07/2011	0%										
08/2011	0%										
09/2011	0%										
10/2011	0%										
11/2011	0%										
12/2011	0%										
		-0,013974704	-0,014007446	-1,68192E-05	-0,014109687	-0,014164933	-5,04455E-05	-0,000205192			
H_Orvilliers		20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	<b>médiane (50%)</b>	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)			
01/2011	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0			
02/2011	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0			
03/2011	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0			
04/2011	5,0	3,4	2,4	<b>1,0</b>	0,3	-45,8	-94,3				
05/2011	5,0	3,4	2,4	<b>1,0</b>	0,3	-45,8	-94,3				
06/2011	5,0	3,4	2,4	<b>1,0</b>	0,3	-45,8	-94,3				
07/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
08/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
09/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
10/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
11/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
12/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
<b>TOTAL</b>	<b>15,1</b>	<b>10,2</b>	<b>7,3</b>	<b>2,9</b>	<b>0,8</b>	<b>-137,3</b>	<b>-282,8</b>				

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

		0,0864	1								
Q_Ardusson	0,250	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
H_Orvilliers	100%	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
H_Orvilliers											
										DOE	0,25
										DCR	0,15
01/2011	0%										
02/2011	0%										
03/2011	0%										
04/2011	33%										
05/2011	33%										
06/2011	33%										
07/2011	0%										
08/2011	0%										
09/2011	0%										
10/2011	0%										
11/2011	0%										
12/2011	0%										
		-0,02457022	-2,54261E-05	-0,024853542	-0,012456394	-0,024775955	-0,008867589	-0,001303389			
H_Orvilliers		20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	<b>médiane (50%)</b>	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)			
01/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0			
02/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0			
03/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0			
04/2011		5,1	3,4	2,5	<b>1,0</b>	0,3	0,1	-3,8			
05/2011		5,1	3,4	2,5	<b>1,0</b>	0,3	0,1	-3,8			
06/2011		5,1	3,4	2,5	<b>1,0</b>	0,3	0,1	-3,8			
07/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0			
08/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0			
09/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0			
10/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0			
11/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0			
12/2011		0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0			
TOTAL		15,2	10,1	7,5	<b>2,9</b>	0,9	0,2	-11,5			

**Superbe**

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

		0,0864	1										
Q_Superbe	0,500	0	10	20	30	40	50	60	70	80			
H_Linthelles	100%	5,98E-02	6,12E-02	5,99E-02	5,51E-02	4,67E-02	3,51E-02	2,07E-02	0,00E+00	0,00E+00			
		H_Linthelles										DOE	0,5
												DCR	0,34
01/2011	0%												
02/2011	0%												
03/2011	0%												
04/2011	10%												
05/2011	20%												
06/2011	20%												
07/2011	25%												
08/2011	25%												
09/2011	0%												
10/2011	0%												
11/2011	0%												
12/2011	0%												
		-1,56556E-05	-0,030697284	-3,66095E-05	0,027615614	-0,021202784	-0,001689681	-0,000231738					
H_Linthelles		20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	médiane (50%)	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)					
01/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
02/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
03/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
04/2011		2,7	1,6	1,1	0,4	0,0	-1,5	-51,0					
05/2011		5,3	3,2	2,2	0,7	0,0	-3,0	-102,0					
06/2011		5,3	3,2	2,2	0,7	0,0	-3,0	-102,0					
07/2011		6,7	4,0	2,8	0,9	0,0	-3,7	-127,6					
08/2011		6,7	4,0	2,8	0,9	0,0	-3,7	-127,6					
09/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
10/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
11/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
12/2011		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
TOTAL		26,7	16,1	11,2	3,5	-0,2	-14,9	-510,2					

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

		0,0864	1								
Q_Superbe	0,500	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
H_Linthelles	100%	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
H_Linthelles											
01/2011	0%									DOE	0,5
02/2011	0%									DCR	0,34
03/2011	0%										
04/2011	10%										
05/2011	20%										
06/2011	20%										
07/2011	25%										
08/2011	25%										
09/2011	0%										
10/2011	0%										
11/2011	0%										
12/2011	0%										
		-0,057590321	-0,058021271	-1,90498E-05	-0,057998449	0,00304714	-0,003048016	0,00304853			
H_Linthelles	20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	<b>médiane (50%)</b>	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)				
01/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
02/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
03/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
04/2011	2,7	1,6	1,1	<b>0,4</b>	-0,4	-3,0	-6,9				
05/2011	5,4	3,3	2,1	<b>0,9</b>	-0,8	-6,1	-13,9				
06/2011	5,4	3,3	2,1	<b>0,9</b>	-0,8	-6,1	-13,9				
07/2011	6,7	4,1	2,7	<b>1,1</b>	-1,0	-7,6	-17,3				
08/2011	6,7	4,1	2,7	<b>1,1</b>	-1,0	-7,6	-17,3				
09/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
10/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
11/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
12/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
<b>TOTAL</b>	<b>26,9</b>	<b>16,3</b>	<b>10,7</b>	<b>4,4</b>	<b>-4,0</b>	<b>-30,5</b>	<b>-69,3</b>				

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

Q_Superbe	0,500	0,0864	1	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
H_Linthelles	100%	5,98E-02	6,12E-02	5,99E-02	5,51E-02	4,67E-02	3,51E-02	2,07E-02	0,00E+00	0,00E+00			
H_Linthelles											<b>DOE</b>	<b>0,5</b>	
01/2011	0%											<b>DCR</b>	<b>0,34</b>
02/2011	0%												
03/2011	0%												
04/2011	<b>33%</b>												
05/2011	<b>33%</b>												
06/2011	<b>33%</b>												
07/2011	0%												
08/2011	0%												
09/2011	0%												
10/2011	0%												
11/2011	0%												
12/2011	0%												
		-0,042389029	-0,042439256	0,042376835	-0,042476787	-0,000249221	-0,000237144	-0,000233837					
H_Linthelles	20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	<b>médiane (50%)</b>	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)						
01/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0						
02/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0						
03/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0						
04/2011	7,6	5,5	3,6	<b>1,7</b>	-3,7	-70,5	-148,4						
05/2011	7,6	5,5	3,6	<b>1,7</b>	-3,7	-70,5	-148,4						
06/2011	7,6	5,5	3,6	<b>1,7</b>	-3,7	-70,5	-148,4						
07/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0						
08/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0						
09/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0						
10/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0						
11/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0						
12/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0						
<b>TOTAL</b>	<b>22,9</b>	<b>16,5</b>	<b>10,8</b>	<b>5,1</b>	<b>-11,1</b>	<b>-211,5</b>	<b>-445,1</b>						

**Prévision de volumes d'eau exploitables de 10 bassins versants en champagne crayeuse**  
**Annexe 2 - Résultats des simulations de l'impact des pompages dans le lit des cours d'eau**

		0,0864	1								
Q_Superbe	0,500	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
H_Linthelles	100%	1,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
H_Linthelles											
01/2011	0%									DOE	0,5
02/2011	0%									DCR	0,34
03/2011	0%										
04/2011	33%										
05/2011	33%										
06/2011	33%										
07/2011	0%										
08/2011	0%										
09/2011	0%										
10/2011	0%										
11/2011	0%										
12/2011	0%										
		-4,62662E-05	0,077258244	0,077277521	0,077262297	-0,076075413	-0,004043913	-0,004068551			
H_Linthelles	20 ans hum. (5%)	10 ans hum. (10%)	5 ans hum. (20%)	<b>médiane (50%)</b>	5 ans sec. (80%)	10 ans sec. (90%)	20 ans sec. (95%)				
01/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
02/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
03/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
04/2011	7,5	5,2	3,5	<b>1,4</b>	0,4	-4,9	-12,6				
05/2011	7,5	5,2	3,5	<b>1,4</b>	0,4	-4,9	-12,6				
06/2011	7,5	5,2	3,5	<b>1,4</b>	0,4	-4,9	-12,6				
07/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
08/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
09/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
10/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
11/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
12/2011	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0				
<b>TOTAL</b>	<b>22,5</b>	<b>15,5</b>	<b>10,6</b>	<b>4,2</b>	<b>1,3</b>	<b>-14,6</b>	<b>-37,7</b>				

## Annexe 3

### Barème des notes de qualité et principe du variogramme

#### **Barème des notes de qualité (D'après rapport BRGM - Putot E. et al. 2005)**

Pour caractériser l'état des piézomètres et leur conférer une note de qualité, plusieurs critères ont été pris en compte :

- ⇒ La durée de la chronique,
- ⇒ Les niveaux de référence (très basses eaux / très hautes eaux),
- ⇒ La bonne corrélation des chroniques avec une modélisation (quand elle existe),
- ⇒ La bonne compréhension du comportement du piézomètre (à partir de modélisations, de corrélation avec des points voisins ou dans les mêmes conditions...),
- ⇒ Le type de fluctuation (pluriannuel, mixte, saisonnier),
- ⇒ Les influences (pompages, réseau de surface),
- ⇒ Les principaux aquifères captés (unique ou non),
- ⇒ L'état de la nappe (libre ou captive),
- ⇒ La profondeur du piézomètre,
- ⇒ L'état de l'ouvrage (« à sec », ensablé, bouché...).

L'attribution de la note résulte de la prise en considération de tous les critères cités précédemment. Malgré l'inévitable part de subjectivité que comporte le fait de noter un piézomètre, une grande attention a été donnée pour que la notation repose au maximum sur les données répertoriées.

Il faut garder en mémoire que cette note **n'est pas uniquement** :

- Une note sur la qualité de la chronique du piézomètre,
- Une note sur la représentativité du piézomètre vis-à-vis de sa masse d'eau.

Elle repose principalement sur :

- La durée la qualité et la cohérence de la chronique ;
- L'influence ou non des activités anthropiques et du réseau de surface ;
- La représentativité du point vis-à-vis de la masse d'eau ;
- Le bon état du point et sa pérennité dans le temps.

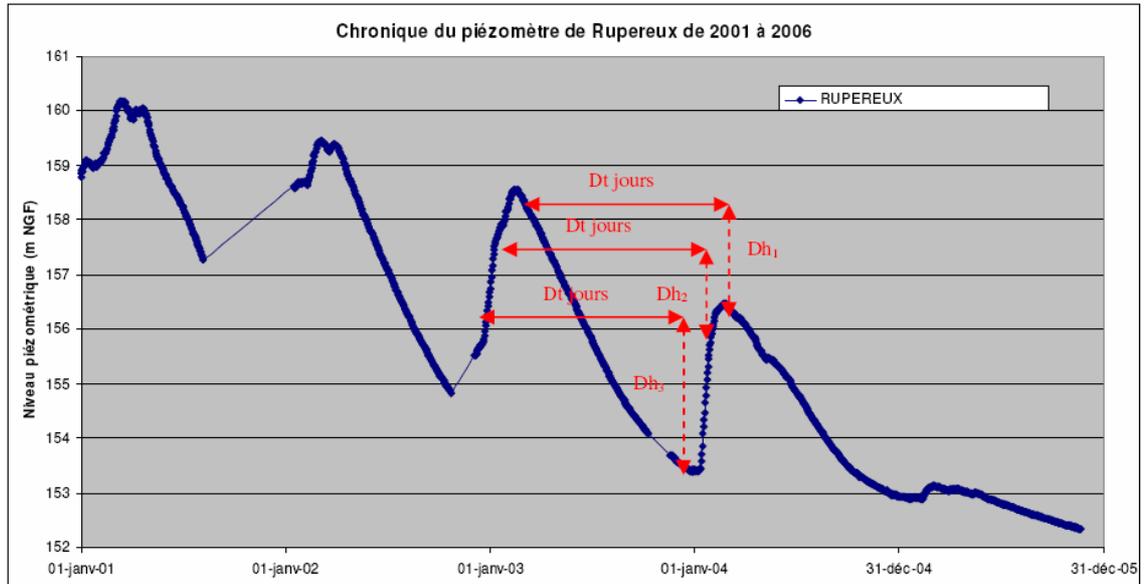
Note Attribuée	Signification
5	<b>Très bonne qualité :</b> Piézomètres représentatifs, en bon état, non influencés...
4	<b>Bonne qualité :</b> Bon état malgré quelques faiblesses.
3	<b>Qualité moyenne :</b> Représentatif de la nappe mais comportant plusieurs faiblesses (nombreux pompages, à secs fréquents,...)
2	<b>Qualité médiocre :</b> - Non représentatif de la nappe (capte dans les alluvions...) - En mauvais état (réaménagement nécessaires pour assurer sa pérennité) - Plus de mesures ces derniers mois ou ces dernières années : note faible pour attirer l'attention sur cet arrêt. Dans certains cas, un réaménagement ou un abandon du piézomètre sont à envisager.
1	<b>Mauvaise qualité :</b> Le piézomètre doit être réaménagé ou abandonné

*Signification des notes attribuées aux piézomètres du bassin SN*

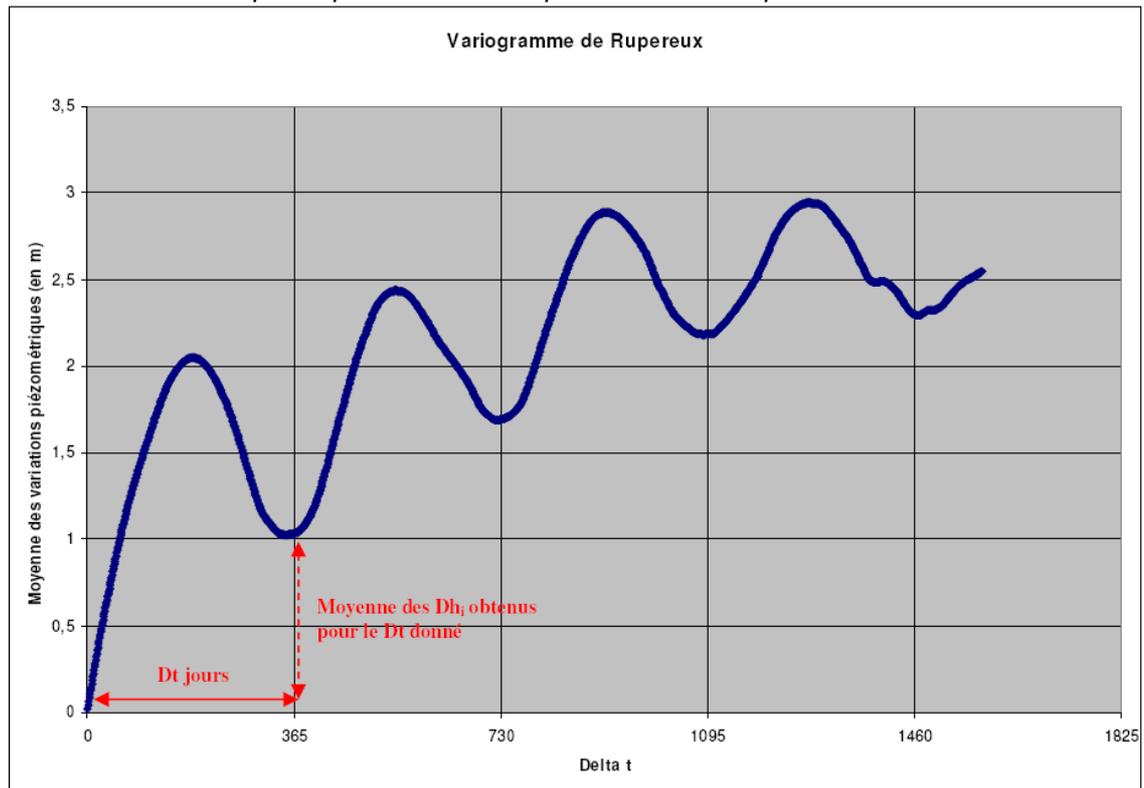
### **Principe du variogramme (D'après rapport BRGM - Putot E. et al. 2005)**

Les variogrammes sont réalisés à partir des chroniques piézométriques de la manière suivante :

- Pour un écart  $Dt$  de jours fixé, on relève toutes les variations de niveaux piézométriques obtenus entre deux points écartés de  $Dt$  sur la chronique (Figure 2).
- La moyenne de ces variations  $Dhi$  donne l'ordonnée du point du variogramme situé à l'abscisse  $Dt$ .
- En faisant varier  $Dt$  de 0 à la durée de la chronique, on obtient le variogramme du piézomètre (Figure 3).



Chronique du piézomètre de Rupereux sur les cinq dernières années



Variogramme obtenu à partir de la chronique complète de Rupereux (MES n°3103 : Tertiaire - Champigny - en Brie et Soissonnais)



## **Annexe 4**

# **Cartographie des bassins versants souterrains théoriques pour les piézomètres de la nappe de la craie**

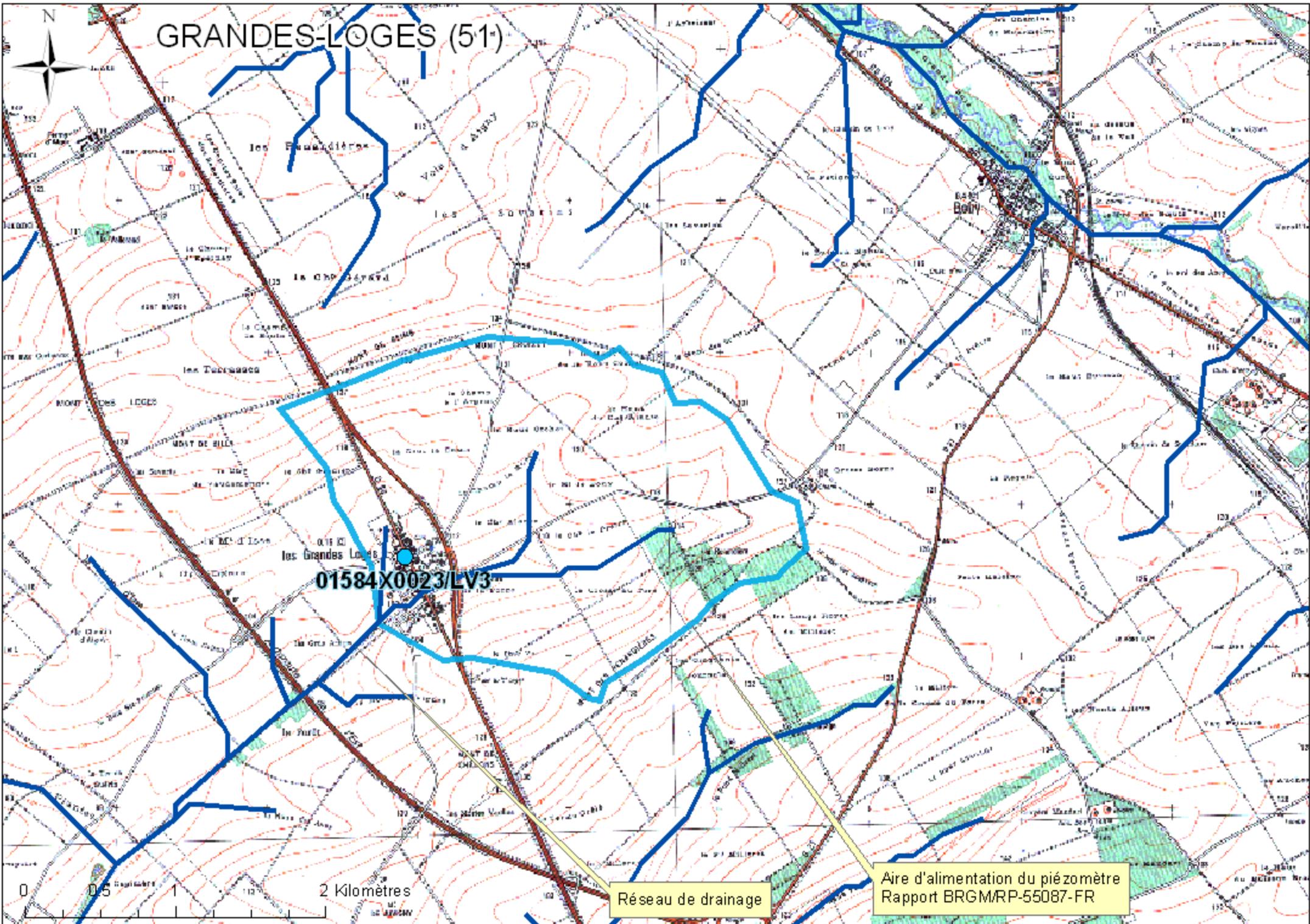


# GRANDES-LOGES (51<sup>e</sup>)

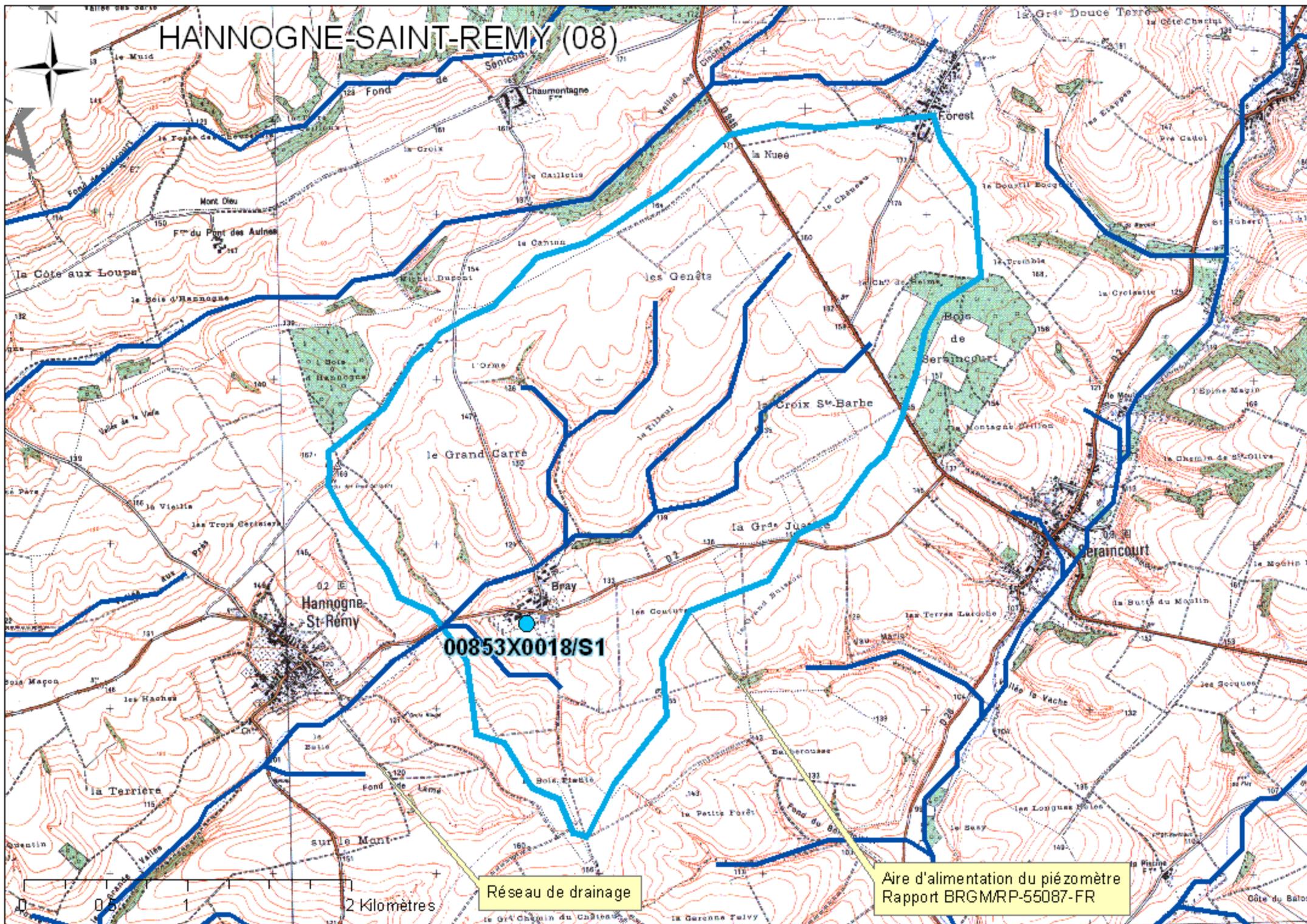
01584X0023/LV3

Réseau de drainage

Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/RP-55087-FR



# HANNOGNE-SAINT-REMY (08)



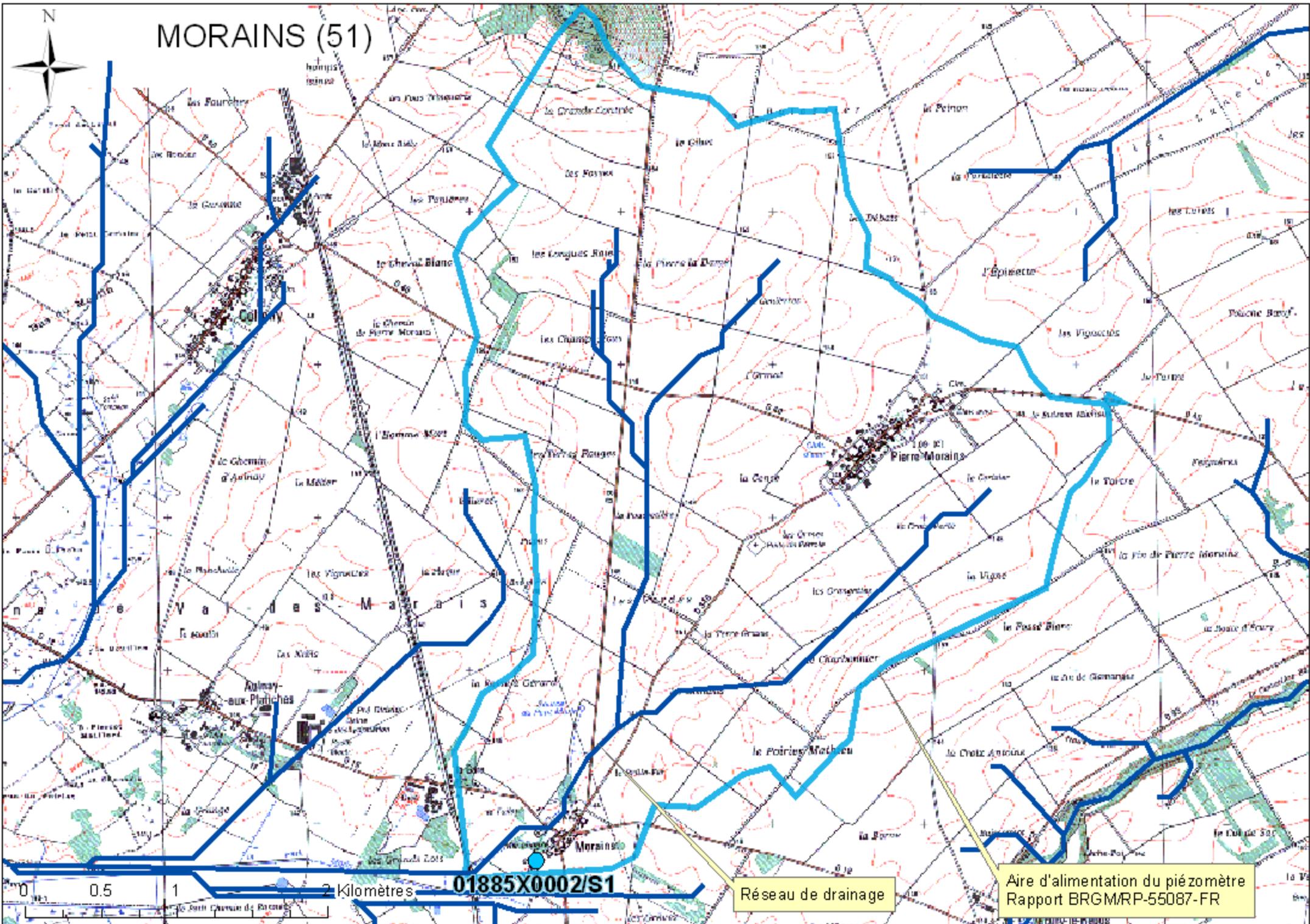
00853X0018/S1

Réseau de drainage

Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/RP-55087-FR



# MORAINS (51)

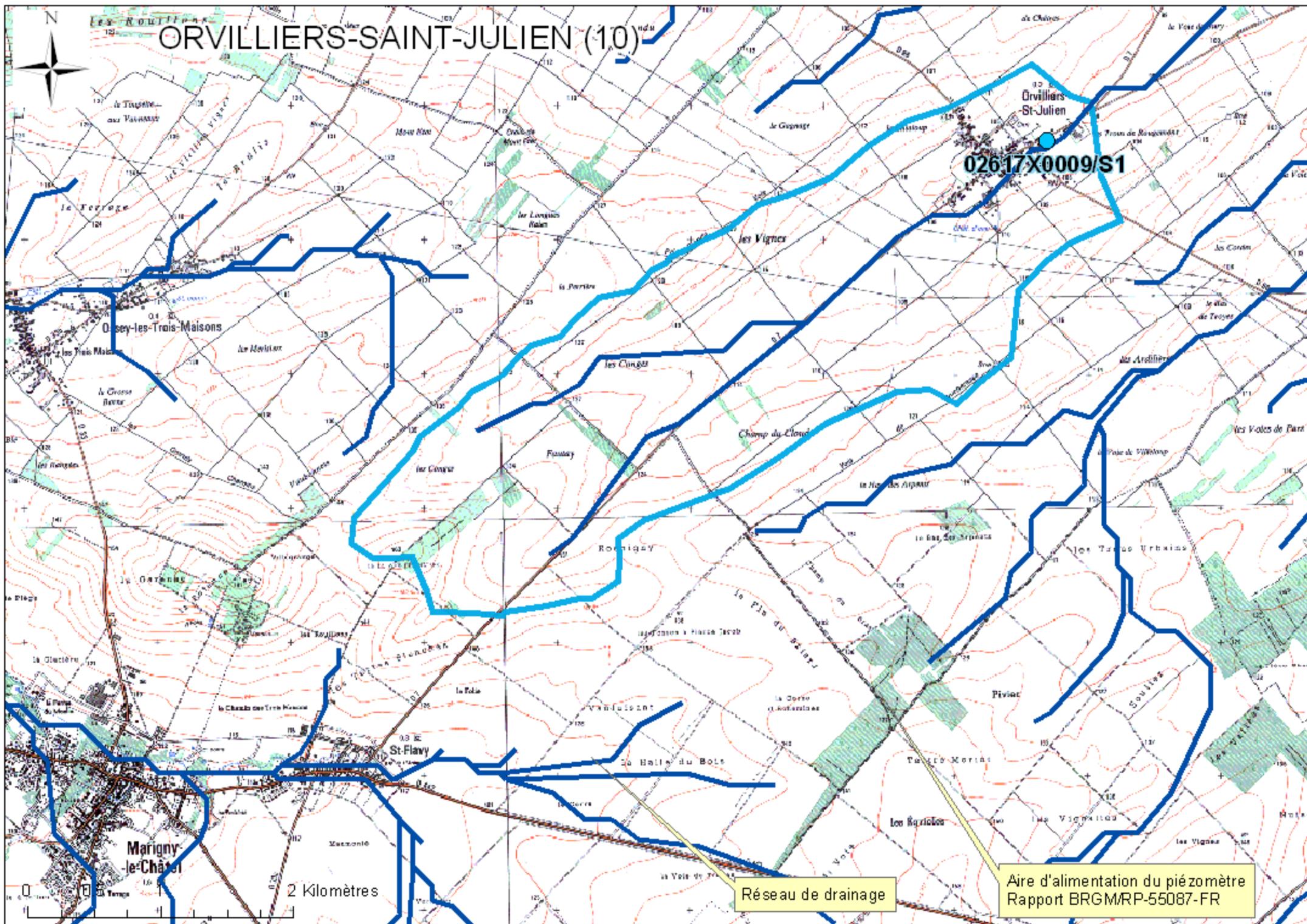


01885X0002/S1

Réseau de drainage

Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/RP-55087-FR

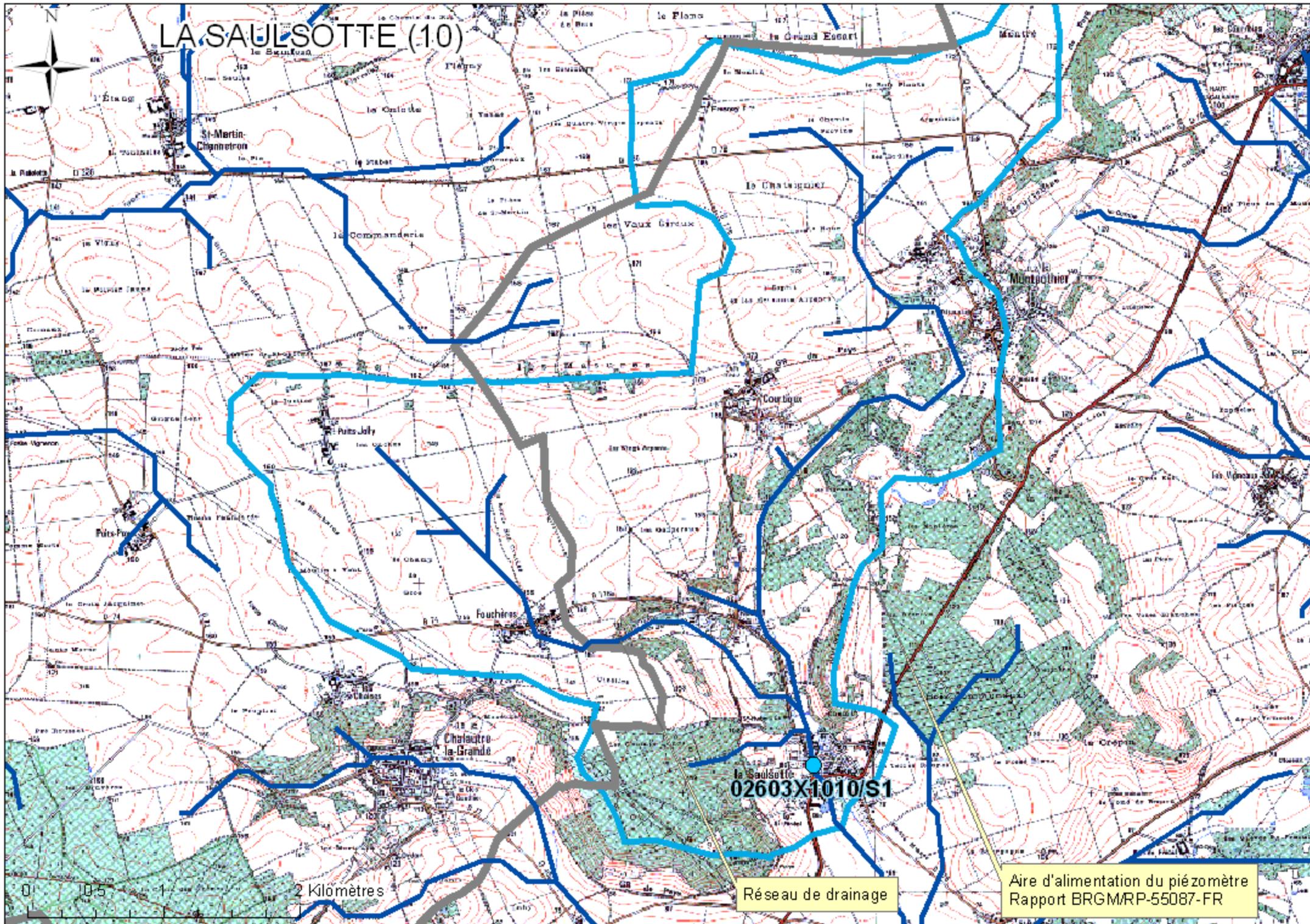
# ORVILLIERS-SAINT-JULIEN (10)



Réseau de drainage

Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/RP-55087-FR

# LA SAULSOTTE (10)



02603X1010/S1

Réseau de drainage

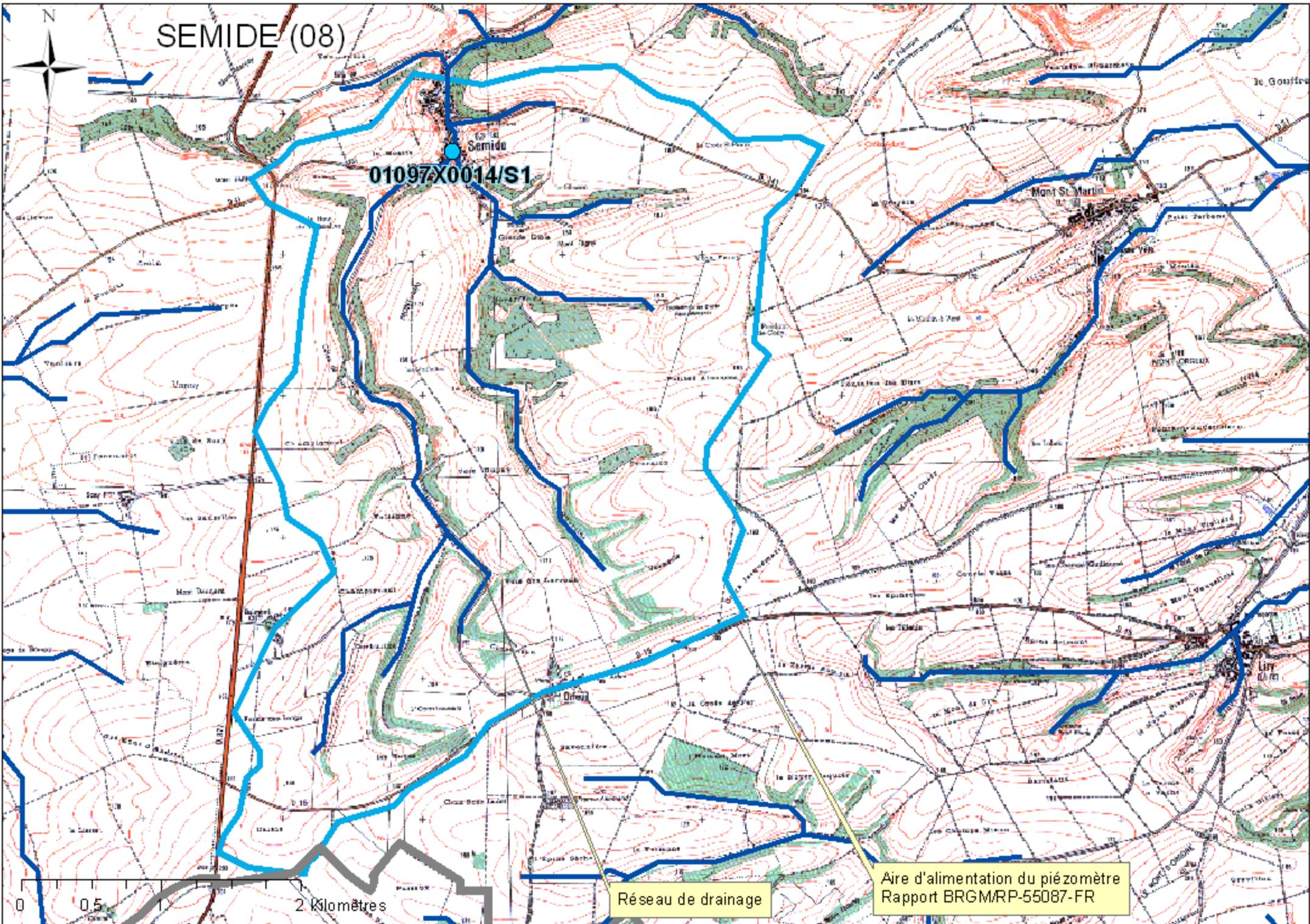
Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/MP-55087-FR

SEMIDE (08)

01097X0014/S1

Semide

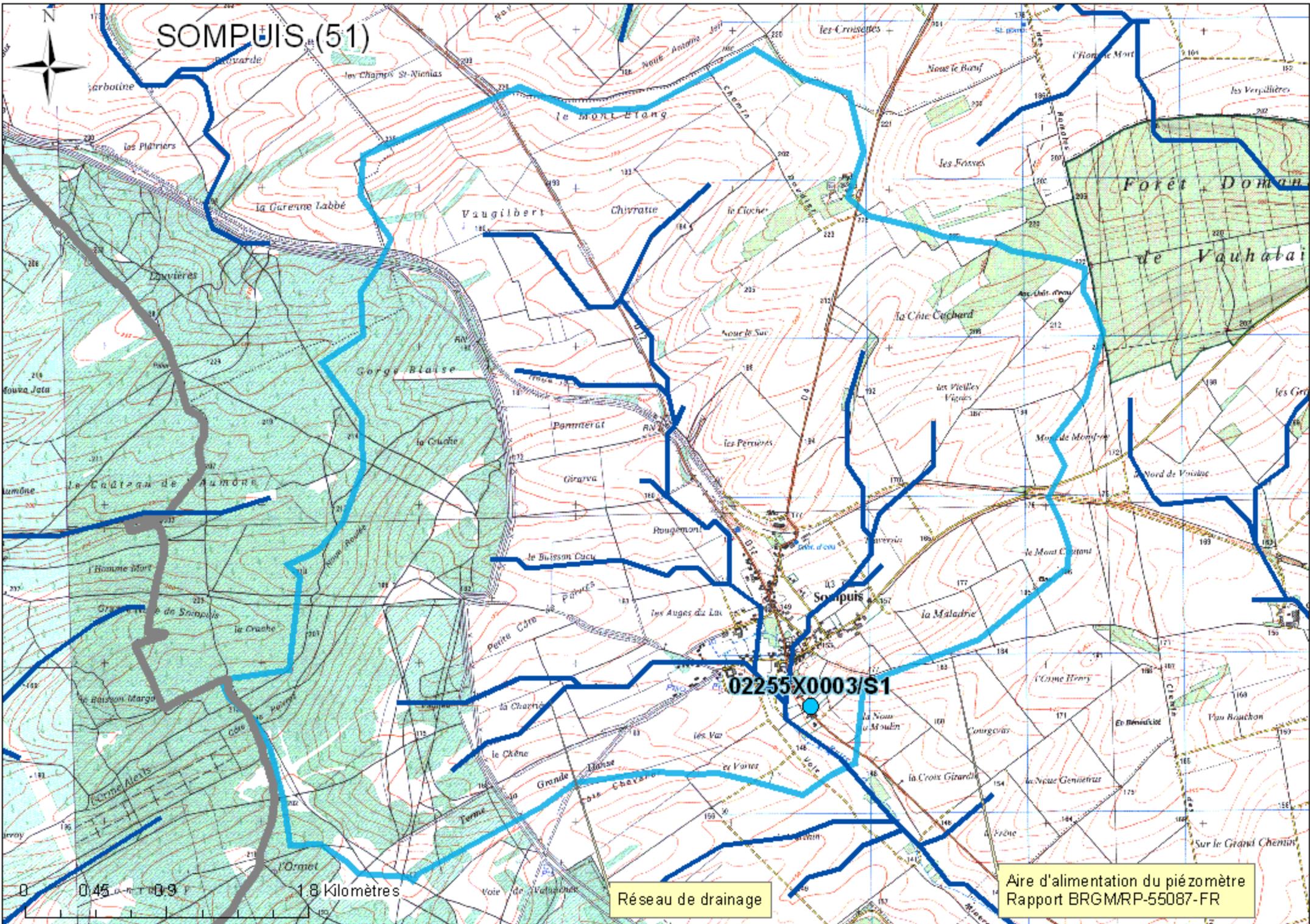
Mont St. Martin



Réseau de drainage

Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/RP-55087-FR

# SOMPUIS (51)

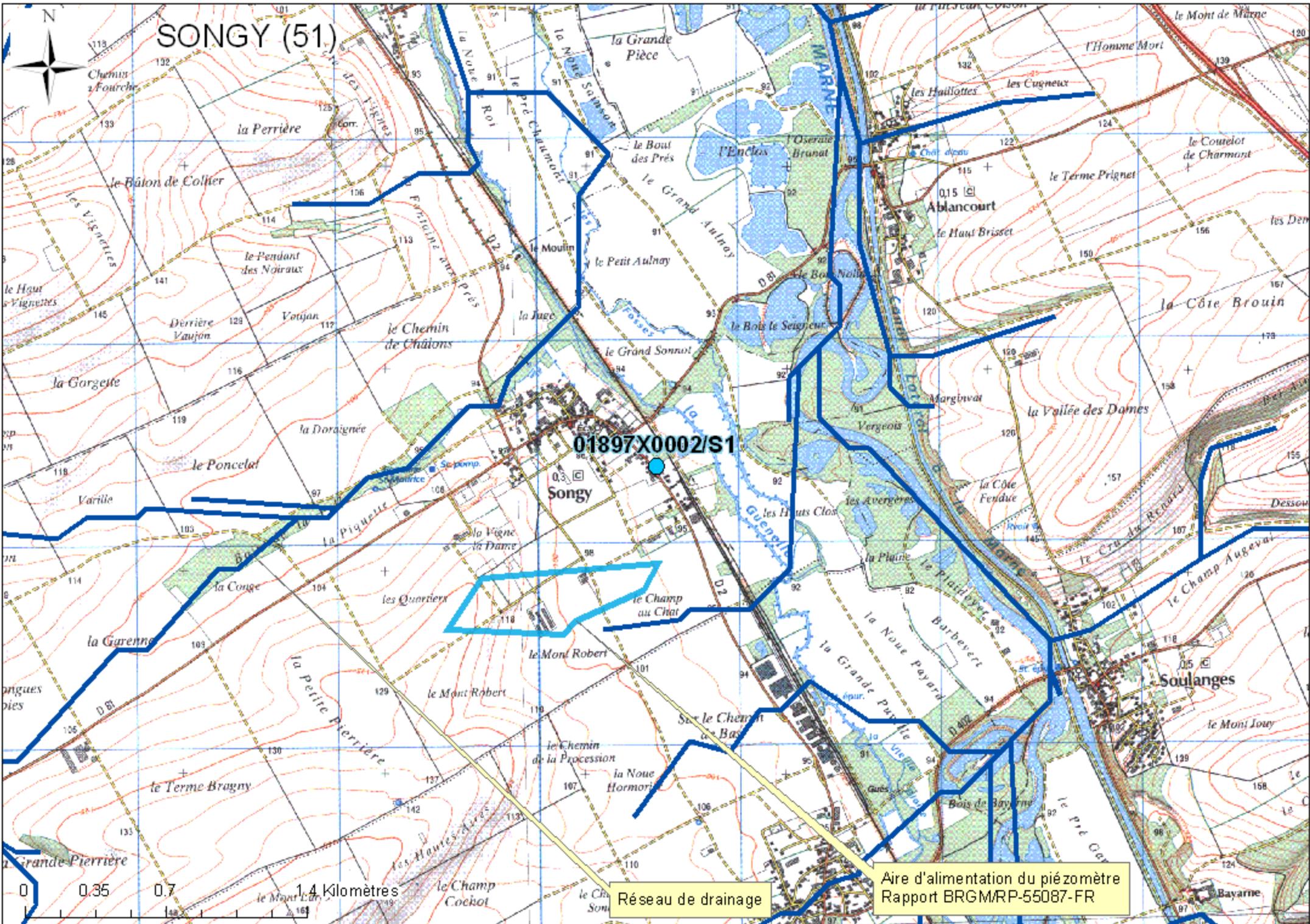


02255X0003/S1

Réseau de drainage

Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/MP-55087-FR

# SONGY (51)

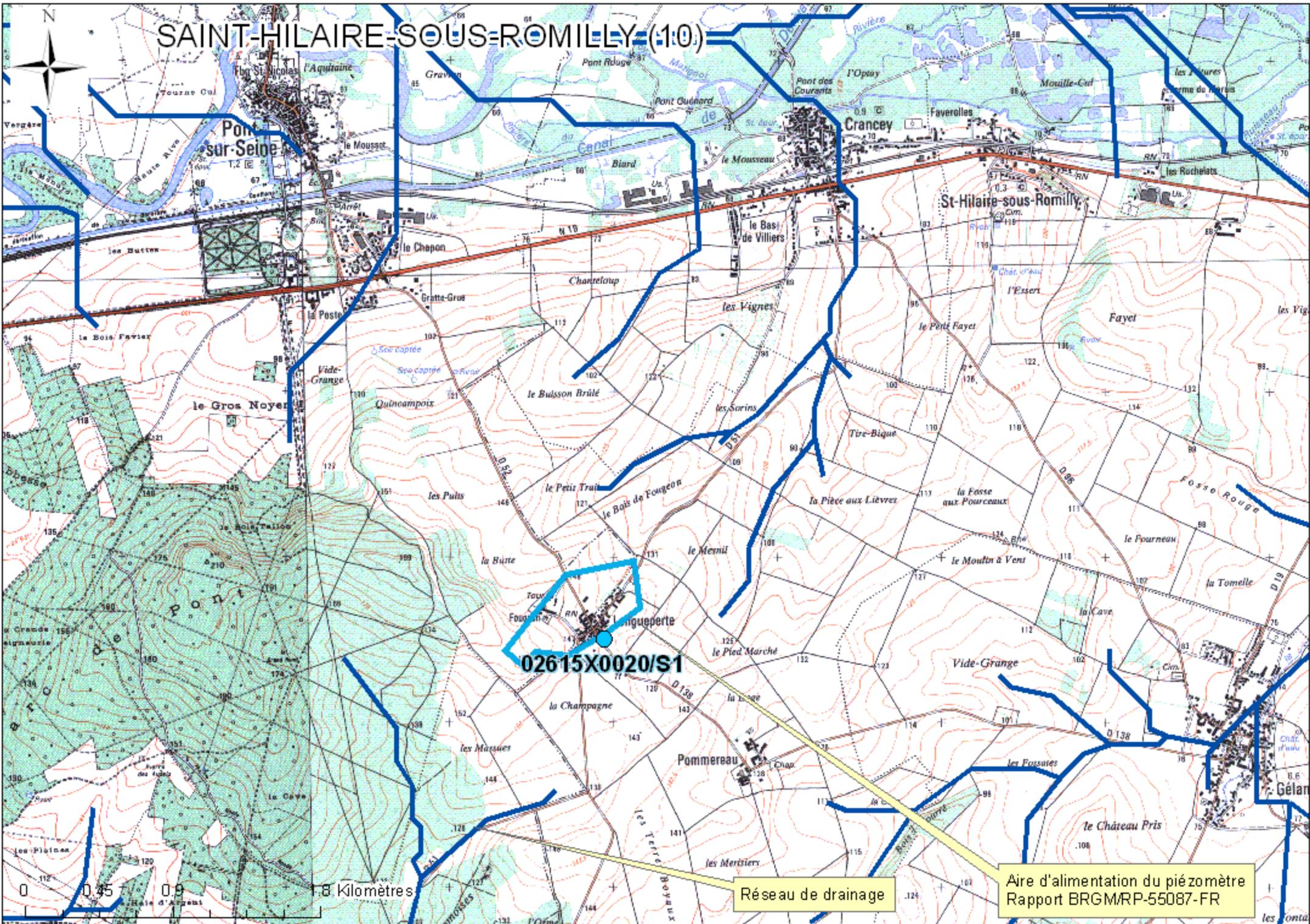


01897X0002/S1

Réseau de drainage

Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/RP-55087-FR

# SAINT-HILAIRE-SOUS-ROMILLY (1:10)

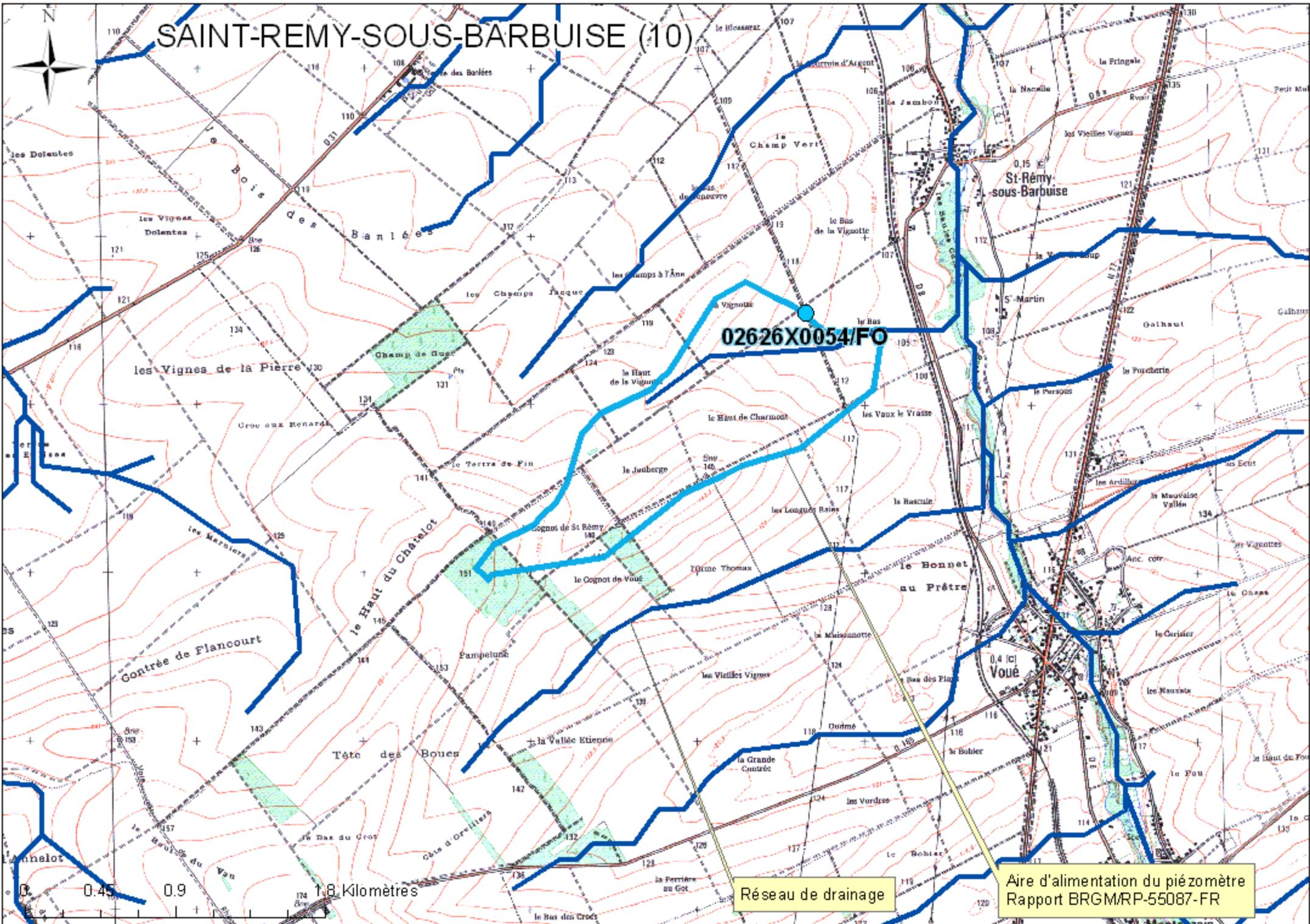


02615X0020/S1

Réseau de drainage

Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/RP-55087-FR

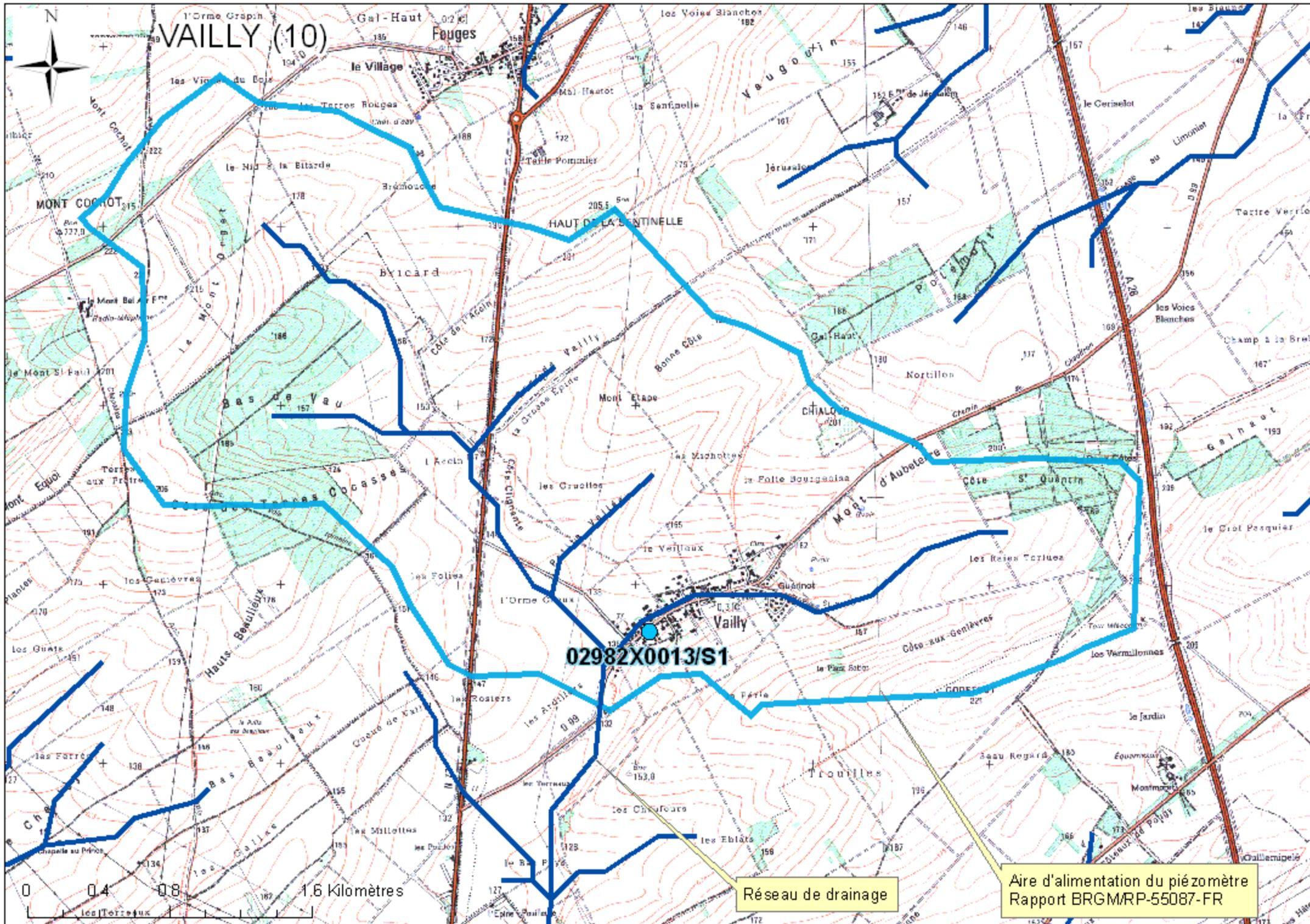
# SAINT-REMY-SOUS-BARBUISE (10)



02626X0054/FO

Réseau de drainage

Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/MP-55087-FR



VAILLY (10)

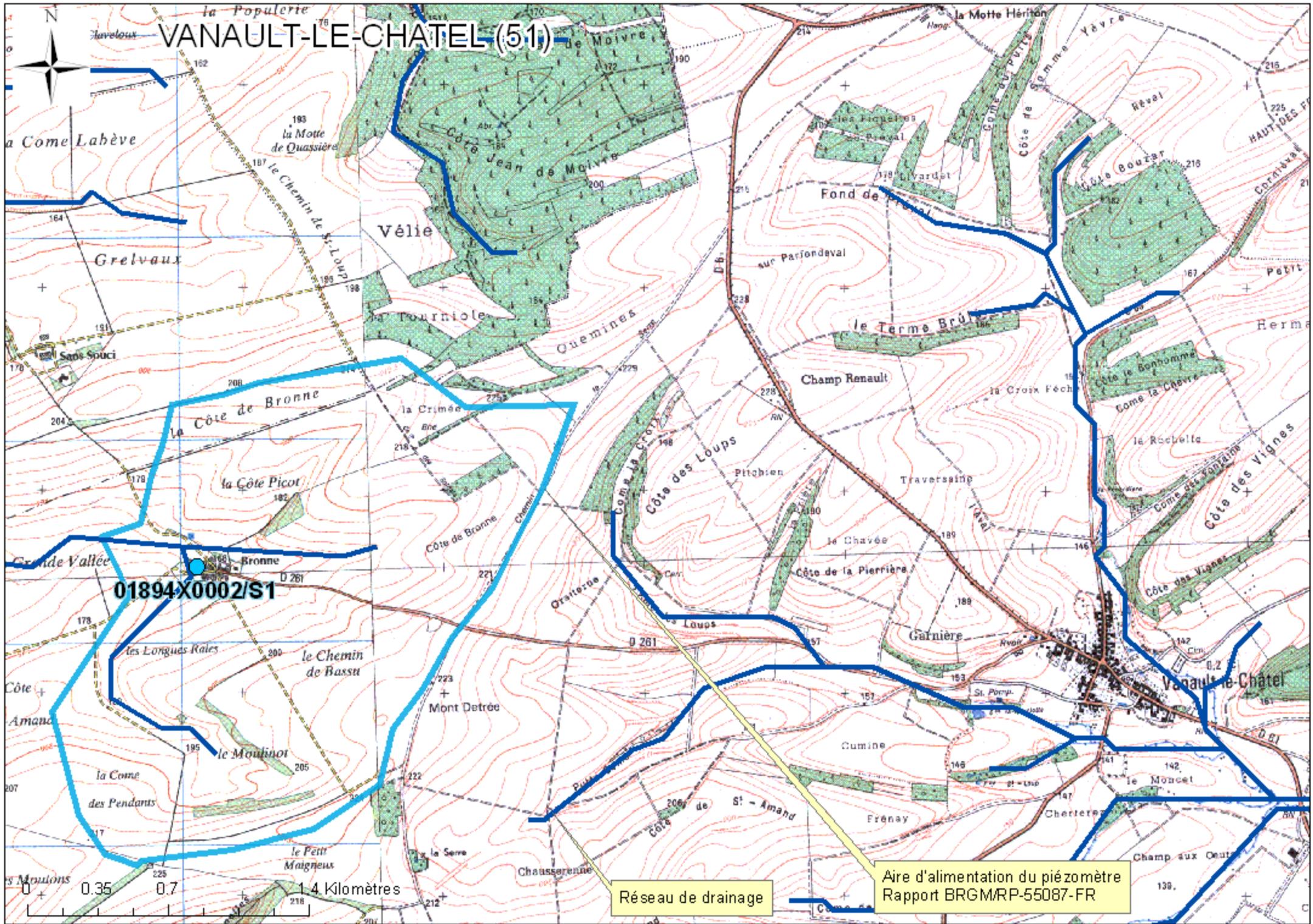
02982X0013/S1

Réseau de drainage

Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/RP-55087-FR

1.6 Kilomètres

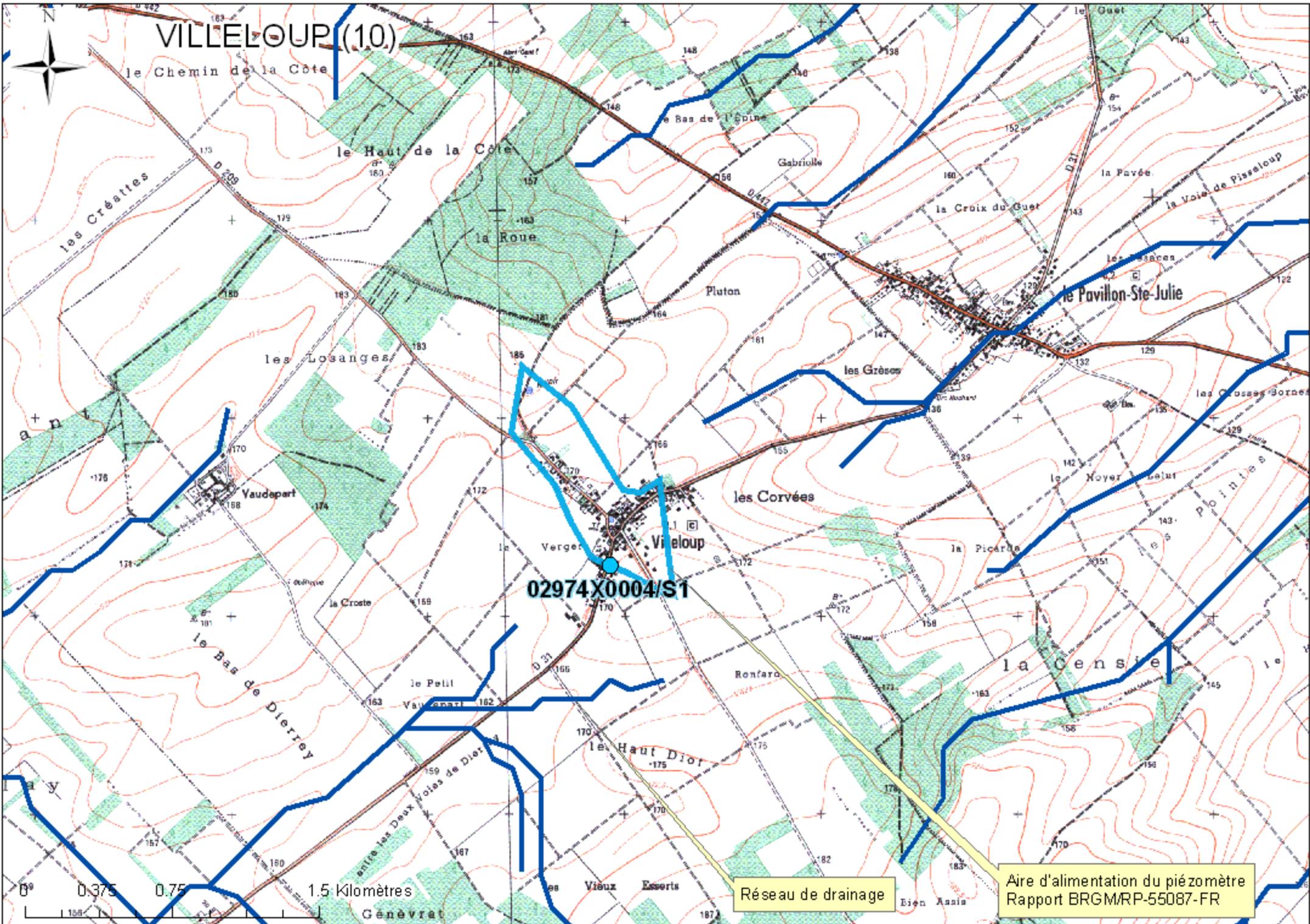
# VANAULT-LE-CHATEL (51)



Réseau de drainage

Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/RP-55087-FR

# VILLELOUP (10)

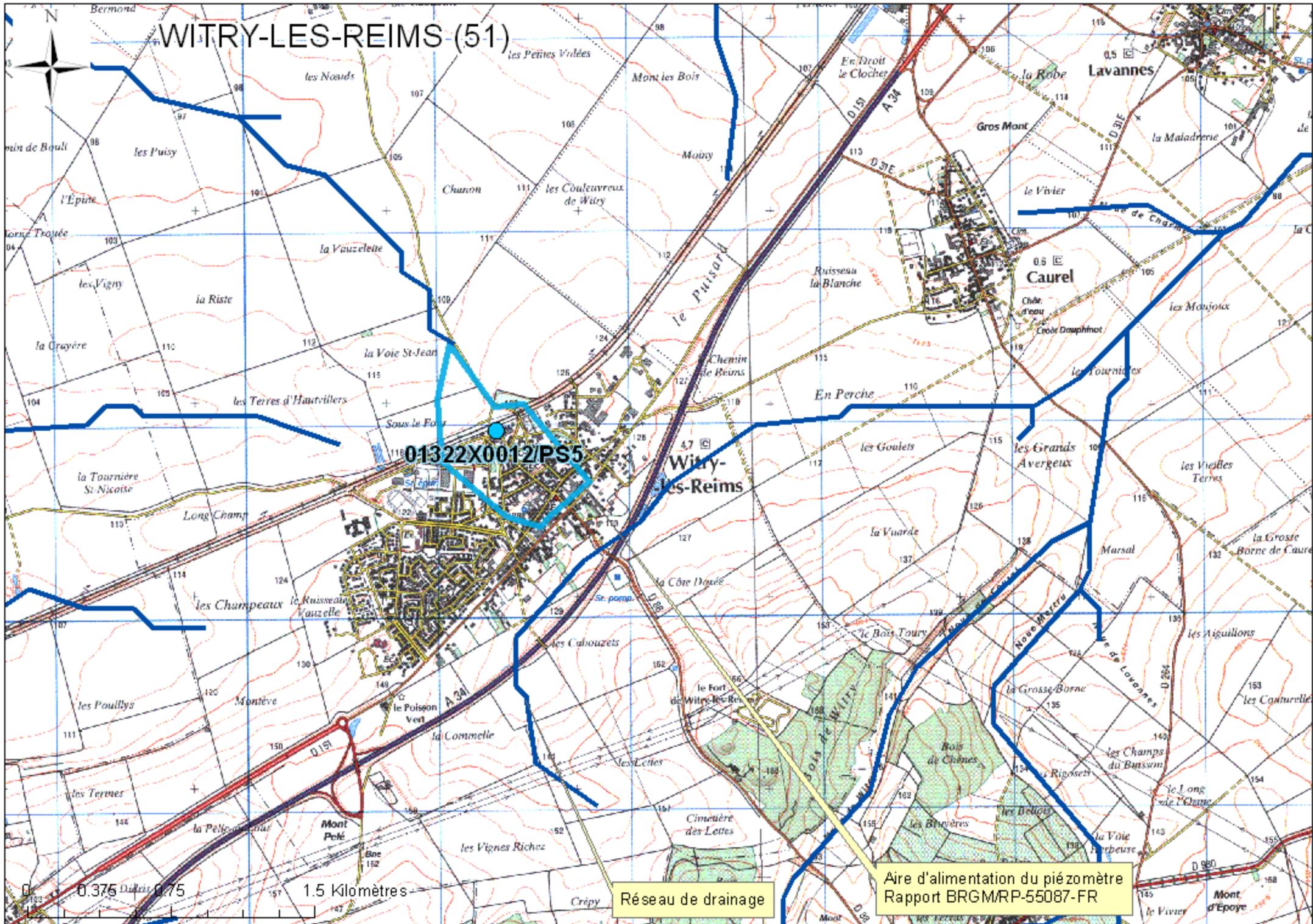


02974X0004/S1

Réseau de drainage

Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/RP-55087-FR

# WITRY-LES-REIMS (51)

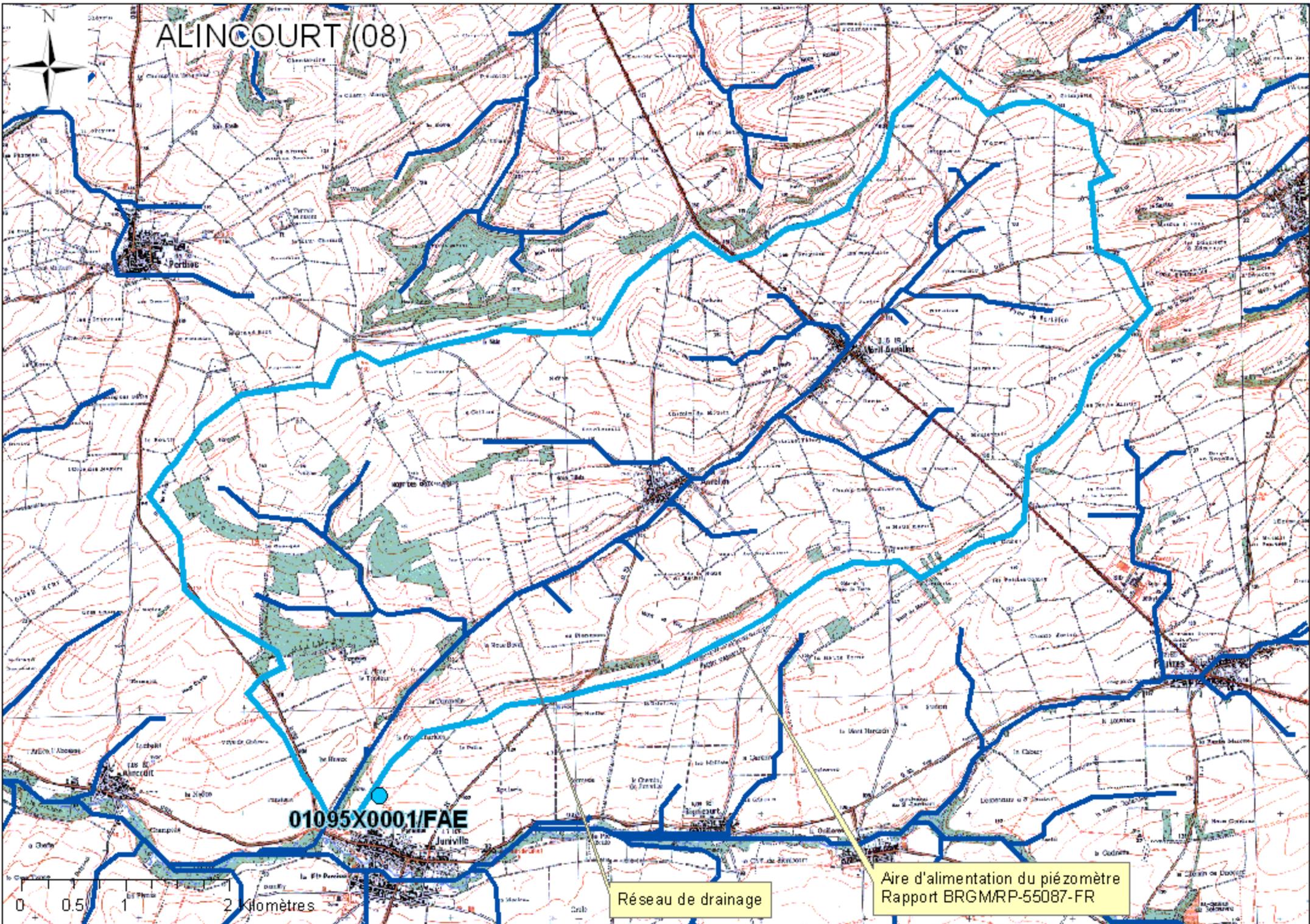


01322X0012/PS5

Réseau de drainage

Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/RP-55087-FR

# ALINCOURT (08)



01095X0001/FAE

Réseau de drainage

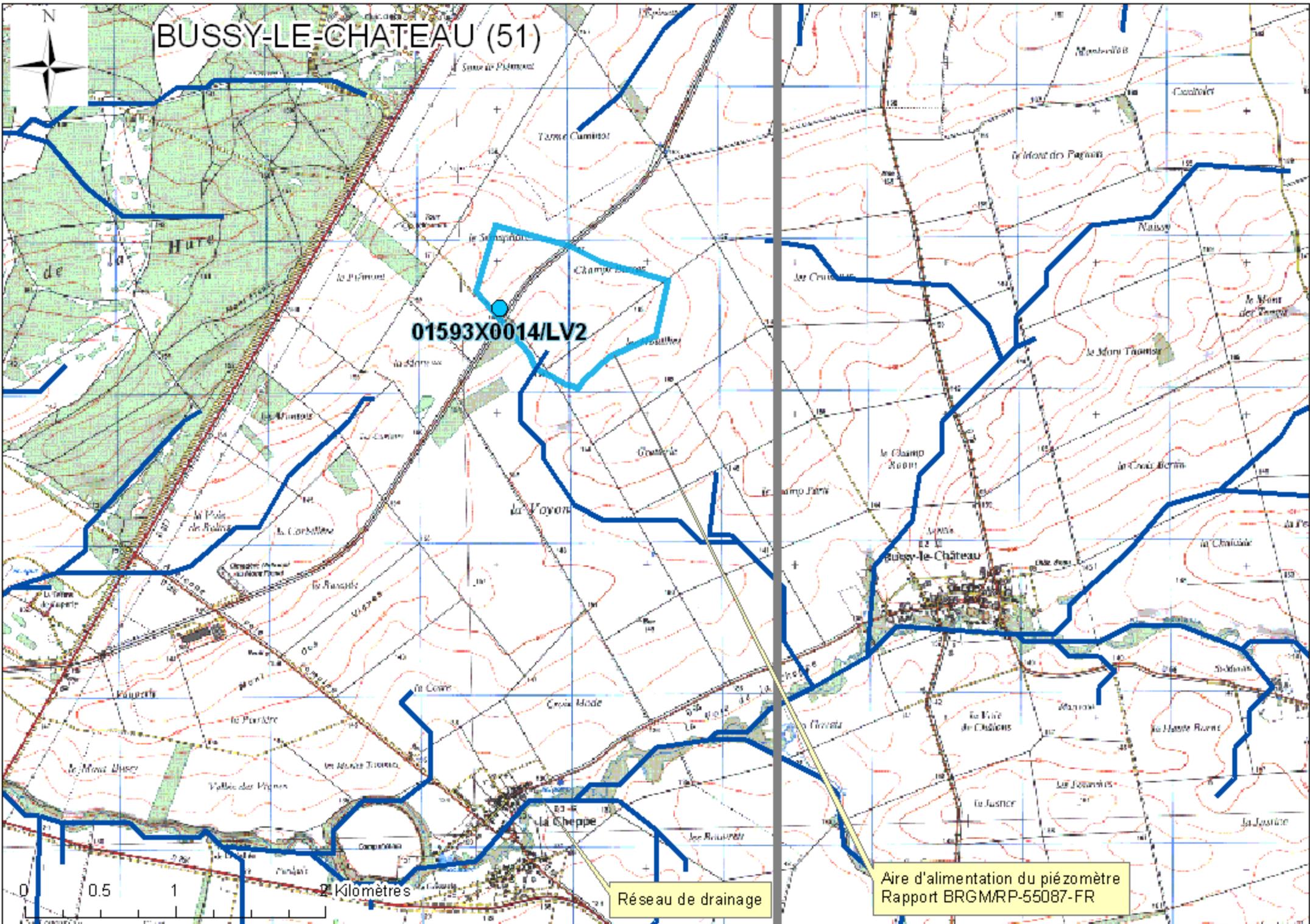
Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/RP-55087-FR

# BUSSY-LE-CHATEAU (51)

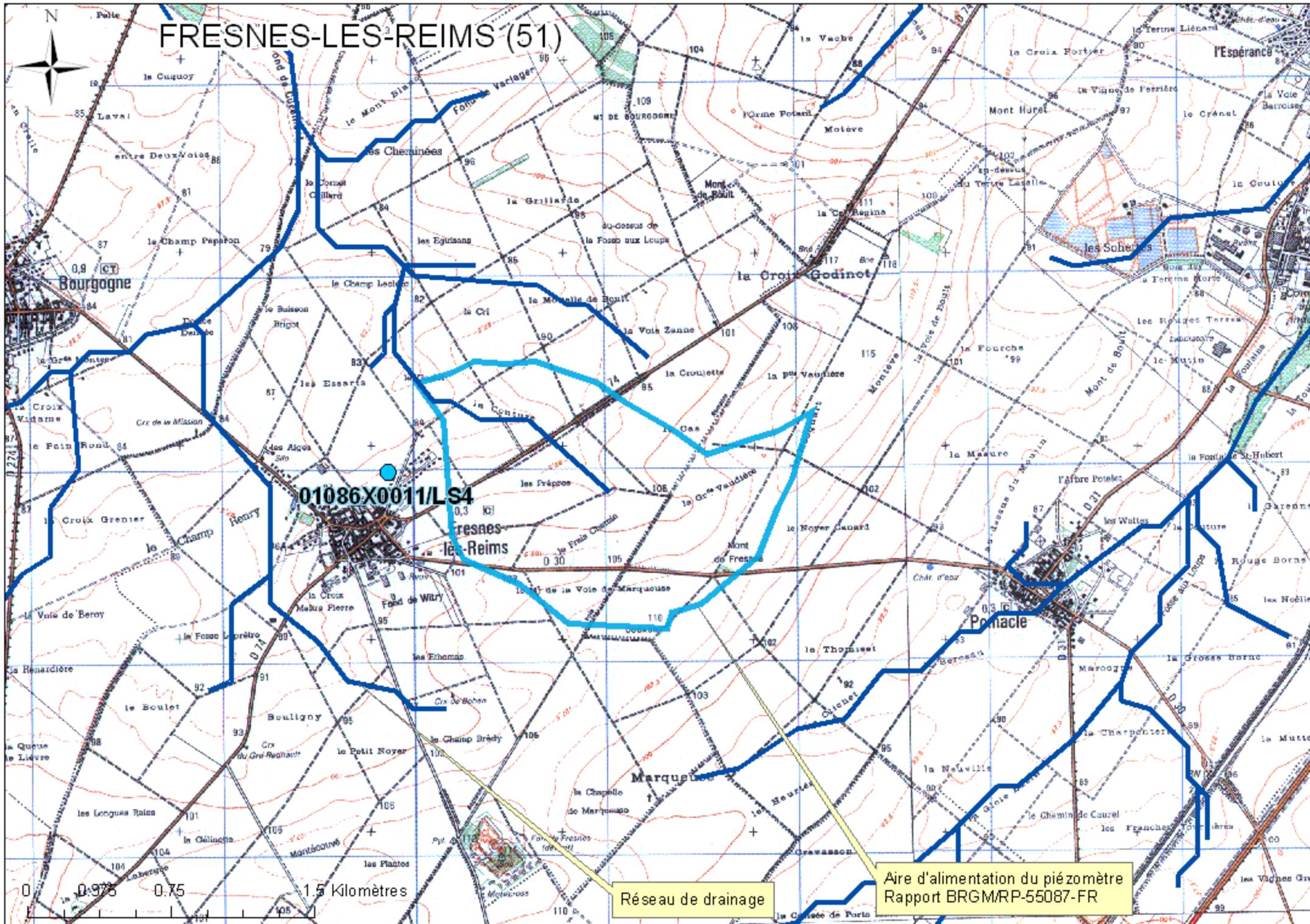
01593X0014/LV2

Réseau de drainage

Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/RP-55087-FR



# FRESNES-LES-REIMS (51)



01086X0011/LS4

Réseau de drainage

Aire d'alimentation du piézomètre  
Rapport BRGM/RP-55087-FR



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

**Service géologique régional Champagne-Ardenne**  
12, rue Clément Ader  
BP137  
51685 – Reims Cedex 2 - France  
Tél. : 03 26 84 47 70