

Numéro de l'affaire ou du projet : 11DRE013

Intitulé de l'affaire ou du projet : Étude de détermination des volumes maximum prélevables de la nappe alluviale du confluent Breuchin-Lanterne – Délimitation de la ressource stratégique pour l'eau potable

Nom du document	Rapport de Phase 3 : Impact des prélèvements et quantification des ressources existantes – Rapport final
------------------------	---

ELEMENTS VERIFIES	NOM	DATE	VISA (Signature)
Rédacteur principal			
Rédacteur secondaire interne (si existant)			
Vérificateur (Contrôle du fond) <input type="checkbox"/> Validation du plan / chapitrage <input type="checkbox"/> Relecture des pièces <input type="checkbox"/> Corrections éventuelles			
Vérificateur (Contrôle de la forme) <input type="checkbox"/> Respect charte graphique <input type="checkbox"/> Reproductible complet (figures, plans, annexes, résumé en-tête)			
Contrôle de la reprographie <input type="checkbox"/> Rapport complet (n° page / figures et plans en N&B et couleurs / annexes) <input type="checkbox"/> Photocopies de bonne qualité <input type="checkbox"/> Reliure conforme			

Nombre d'exemplaires édités	
Date d'envoi au Client	

Classement et archivage du document : La présente fiche dûment complétée est classée :

- Original papier avec l'exemplaire reproductible du dossier
- Format pdf dans le répertoire informatique du projet (sous le nom « Imp411_titre du rapport »)



Étude de détermination des volumes maximum prélevables de la nappe alluviale du confluent Breuchin-Lanterne

Rapport de Phase 3 : Impact des
prélèvements et quantification des
ressources existantes

Version 6 : Mai 2013

TABLE DES MATIERES

1 Préambule	1
1.1 Contexte général concernant les études de détermination des volumes maximum prélevables	1
1.1.1 Contexte général des études de détermination des volumes maximum prélevables	1
1.1.2 Objectifs généraux des études de détermination des volumes maximum prélevables	1
1.2 Contexte particulier de la présente étude	2
1.2.1 Contexte particulier de la nappe du confluent Breuchin / Lanterne	2
1.2.2 Objectifs de l'étude	3
1.2.3 Rappels des phases précédentes	4
2 Caractérisation des étiages au niveau des cours d'eau	5
2.1 Eaux superficielles : Stations hydrométriques de la Banque Hydro	5
2.1.1 Généralités	5
2.1.2 Corrélation entre les stations hydrométriques	6
2.2 Eaux superficielles : Investigations complémentaires	10
2.2.1 Station limnimétrique sur la Lanterne	10
2.2.2 Jaugeages en rivière – Campagnes de l'automne 2011	12
2.2.3 Jaugeages sur le canal du Morbief – Campagnes d'août 2012	18
2.3 Détermination des volumes prélevés et des besoins sur le canal du Morbief	20
2.3.1 Préambule sur la gestion du canal du Morbief	20
2.3.2 Besoins identifiés sur le Morbief	21
2.3.3 Chronique de prélèvement dans le Breuchin pour l'alimentation du canal du Morbief	25
2.3.4 Chronique de restitution du Morbief dans le Breuchin à l'aval de Luxeuil	27
2.4 Reconstitution des chroniques de débit	27
2.4.1 Objectifs	27
2.4.2 Méthode	28
2.4.3 Débits caractéristiques	29
2.5 Investigations complémentaires sur les plans d'eau	29
2.5.1 Localisation des plans d'eau	30
2.5.2 Impact des plans d'eau sur le bilan hydrique	31
3 Reconstitution de l'hydrologie désinfluencée	35
3.1 Objectifs et principes	35
3.2 Méthodologie	36
3.2.1 Description du modèle hydrologique	36
3.2.2 Données d'entrée du modèle	37
3.3 Limites de la reconstitution de l'hydrologie désinfluencée	41
3.4 Calage du modèle hydrologique	42
3.4.1 Principe du calage	42

3.4.2	Hypothèses analysées quant à l'impact de l'évaporation des plans d'eau	43
3.4.3	Résultats du calage – Simulations considérant l'évaporation des plans d'eau comme un prélèvement	43
3.4.4	Résultats du calage – Simulations ne considérant pas l'évaporation des plans d'eau comme un prélèvement	48
3.4.5	Critiques relatives au calage des modèles pluie-débit	54
3.5	Résultats de l'hydrologie désinfluencée et comparaison avec l'état actuel	55
3.5.1	Bilan des prélèvements / rejets à l'échelle des sous-bassins versants	55
3.5.2	Méthodologie	62
3.5.3	Présentation des résultats par sous-bassin	62
3.5.4	Synthèse des résultats de l'hydrologie désinfluencée	77
4	Modélisation hydrogéologique	81
4.1	Rappel du contexte	81
4.1.1	Modèle de nappe 2007	81
4.1.2	Modèle de nappe 2012	81
4.2	Construction du modèle	82
4.2.1	Extension et limites du modèle de nappe	82
4.2.2	Structure du modèle – discrétisation	83
4.2.3	Caractérisation de l'aquifère : Paramètres hydrodynamiques	86
4.2.4	Données de flux	86
4.2.5	Rivières en cours d'eau	87
4.2.6	Gravières	88
4.2.7	Prélèvements	89
4.3	Données de contrôle	91
4.4	Calage du modèle de nappe	93
4.4.1	Calage en régime permanent	94
4.4.2	Calage en régime transitoire	96
4.5	Premiers résultats après calage du modèle	102
4.5.1	Bilan de nappe	102
4.5.2	Approche par Bassin	103
4.5.3	Approche par champ captant	106
4.6	Piézométrie désinfluencée	106
4.6.1	Approche par bassin	109
4.6.2	Approche par champs captants	109
4.6.3	Bilan	110
5	Proposition de Niveaux Piézométriques d'Alerte NPA	113
5.1	Objectifs, définitions	113
5.2	Contexte local, piézomètres utilisables	113
5.3	Relations entre le débit des cours d'eau et les niveaux de nappe	116
5.4	Définition du seuil d'alerte	117
5.4.1	Seuil d'alerte actuel	117
5.4.2	Méthodologie proposée	118
5.5	Simulation de l'implantation de nouveaux piézomètres	119
5.6	Conclusions du volet NPA	120
6	Conclusions	121

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1 : Corrélation des débits moyens journaliers entre les stations hydrométriques du bassin versant de la Lanterne	7
Figure 2-2 : Corrélation des débits d'étiage journaliers entre les stations hydrométriques du bassin versant de la Lanterne	8
Figure 2-3 : Comparaison des chroniques de débits journaliers sur le Breuchin à Breuches et de débit instantané à station limnimétrique sur la Lanterne à la Chapelle-les-Luxeuil	11
Figure 2-4 : Localisation des points de jaugeages ponctuels	12
Figure 2-5 : État hydrique pendant les campagnes de jaugeages sur le bassin versant du Breuchin-Lanterne	13
Figure 2-6 : Pluviométrie pendant les campagnes de jaugeages sur le bassin versant du Breuchin-Lanterne	15
Figure 2-7 : Évolution des débits en fonction de la surface drainée sur le Breuchin	16
Figure 2-8 : Évolution des débits en fonction de la surface drainée sur la Lanterne	16
Figure 2-9 : État hydrologique de l'année 2011	17
Figure 2-10 : Localisation des points de jaugeages réalisés en août 2012	19
Figure 2-11 : Localisation des entreprises recensées dans l'étude de la CCI à proximité du canal du Morbief	23
Figure 2-12 : Présentation des résultats des campagnes de jaugeages pour détermination des débits du Morbief	26
Figure 2-13 : Points de référence pour la reconstitution des chroniques de débits	28
Figure 2-14 : Carte de localisation des plans d'eau sur les bassins versants de la Lanterne et du Breuchin	31
Figure 2-15 : Chroniques des volumes évaporés sur les plans d'eau du bassin versant et des volumes évapotranspirés sur une surface équivalente en prairie	32
Figure 2-16 : Comparaison des débits moyens mensuels du Breuchin à Breuches et de la différence entre volume évaporé par les plans d'eau et une surface équivalente en prairie	33
Figure 3-1 : Schéma conceptuel des processus hydrologiques modélisés dans NAM	37
Figure 3-2 : Cartes des bassins versants considérés pour la modélisation pluie-débit	38
Figure 3-3 : Répartition spatiale de la pluviométrie sur le bassin versant	39
Figure 3-4 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et reconstitués pour le bassin versant du Breuchin amont au point A	44
Figure 3-5 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et mesurés pour le bassin versant du Breuchin à Breuches	46
Figure 3-6 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et reconstitués pour le bassin versant de la Lanterne amont au point L	47
Figure 3-7 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et reconstitués pour le bassin versant de la lanterne au point H	48
Figure 3-8 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et reconstitués pour le bassin versant du Breuchin amont au point A	50
Figure 3-9 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et mesurés pour le bassin versant du Breuchin à Breuches	51
Figure 3-10 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et reconstitués pour le bassin versant de la Lanterne amont au point L	52
Figure 3-11 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et reconstitués pour le bassin versant de la lanterne au point H	53
Figure 3-12 : Chronique des prélèvements cumulés à l'amont du Point A (Breuchin amont)	56
Figure 3-13 : Chronique des rejets cumulés à l'amont du Point A (Breuchin amont)	56
Figure 3-14 : Chronique des prélèvements cumulés à l'amont du Point L (Lanterne amont)	57
Figure 3-15 : Chronique des rejets cumulés à l'amont du Point L (Lanterne amont)	57
Figure 3-16 : Chronique des prélèvements cumulés à l'amont du Point G (Breuchin à l'amont de Breuches)	58
Figure 3-17 : Chronique des rejets cumulés à l'amont du Point G (Breuchin à l'amont de Breuches)	58
Figure 3-18 : Chronique des prélèvements cumulés à l'amont du Point H (totalité de la zone d'étude)	59

Figure 3-19 : Chronique des rejets cumulés à l'amont du Point H (totalité de la zone d'étude)	59
Figure 3-20 : Bilan des prélèvements et des rejets par sous-bassin versant pour 2009	61
Figure 3-21 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point A (évaporation des plans d'eau = prélèvements)	63
Figure 3-22 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point A (évaporation des plans d'eau = « naturel »)	64
Figure 3-23 : Différence débits mensuels influencés/désinfluencés sur le Breuchin au point A pour les hypothèses de prise en compte de l'évaporation des étangs étudiées	64
Figure 3-24 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point G (évaporation des plans d'eau = prélèvements)	67
Figure 3-25 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point G (évaporation des plans d'eau = « naturel »)	67
Figure 3-26 : Différence débits mensuels influencés/désinfluencés sur le Breuchin au point G pour les hypothèses de prise en compte de l'évaporation des étangs étudiées	68
Figure 3-27 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point L (évaporation des plans d'eau = prélèvements)	71
Figure 3-28 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point L (évaporation des plans d'eau = « naturel »)	71
Figure 3-29 : Différence débits mensuels influencés/désinfluencés sur la Lanterne au point L pour les hypothèses de prise en compte de l'évaporation des étangs étudiées	72
Figure 3-30 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point H (évaporation des plans d'eau = prélèvements)	74
Figure 3-31 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point H (évaporation des plans d'eau = « naturel »)	74
Figure 3-32 : Différence débits mensuels influencés/désinfluencés sur la Lanterne au point H pour les hypothèses de prise en compte de l'évaporation des étangs étudiées	75
Figure 4-1 : Extensions et conditions aux limites du modèle	83
Figure 4-2 : Maillages affectés sur le secteur d'étude	85
Figure 4-3 : Variation de la recharge utilisée pour le modèle en régime transitoire	87
Figure 4-4 : Variations mensuelles du niveau d'eau à la station Breuchin U0415030	88
Figure 4-5 : Évolution des volumes prélevés par les captages du secteur d'étude	90
Figure 4-6 : Localisation des prélèvements AEP	91
Figure 4-7 : Localisation des points de suivi piézométrique en continu	93
Figure 4-8 : Calage du modèle en régime permanent (septembre 2011)	94
Figure 4-9 : Piézométries calculée et mesurée	95
Figure 4-10 : Carte du champ de perméabilités (m/s) de l'aquifère	97
Figure 4-11 : Comparaison des niveaux calculés et mesurés en régime transitoire	98
Figure 4-12 : Carte piézométrique de basses eaux calculées (décembre 2011)	101
Figure 4-13 : Bilan de nappe	102
Figure 4-14 : Flux échangés nappe - Breuchin	104
Figure 4-15 : Flux échangés nappe - Lanterne	104
Figure 4-16 : Schéma des échanges Breuchin - Lanterne	105
Figure 4-19 : Bilan Breuchin désinfluencé : impact des prélèvements AEP actuels	111
Figure 4-20 : Bilan Lanterne désinfluencé : impact des prélèvements AEP actuels	111
Figure 5-1 : Suivi du piézomètre ADES de Breuches	114
Figure 5-2 : Évolution des débits mesurés à la station de Breuches (Breuchin)	115
Figure 5-3 : Calcul des rabattements à proximité du piézomètre de Breuches	116
Figure 5-4 : Comparaison des débits de la station hydrométrique de Breuches (Breuchin) avec le suivi piézométrique du piézomètre de Breuches	117
Figure 5-5 : Suivi du piézomètre ADES de Breuches : proposition de NPA	119
Figure 5-6 : Évolution de la piézométrie attendue au droit des différents piézomètres.	120

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 :	Liste des stations de la Banque HYDRO sur le bassin versant de la Lanterne	5
Tableau 2-2 :	Débits caractéristiques d'étiage pour les stations hydrométriques du bassin versant	6
Tableau 2-3 :	Coefficients α retenus pour la transposition des débits sur le Breuchin et la Lanterne amont	10
Tableau 2-4 :	Coefficients α retenus pour la transposition des débits sur la Lanterne aval	10
Tableau 2-5 :	Description et résultats des campagnes de jaugeages réalisées	14
Tableau 2-6 :	Points ayant fait l'objet de jaugeages pendant les 2 campagnes d'août 2012	18
Tableau 2-7 :	Présentation des résultats des jaugeages le long du canal du Morbief	20
Tableau 2-8 :	Entreprises recensées à proximité du canal du Morbief dans l'étude de la CCI	22
Tableau 2-9 :	Volumes prélevés / rejetés dans le canal du Morbief par les entreprises recensées dans l'étude de la CCI	22
Tableau 2-10 :	Jaugeages le long du canal du Morbief	24
Tableau 2-11 :	Jaugeages amont / aval de la prise d'eau du Morbief	25
Tableau 2-12 :	Débits caractéristiques d'étiage	29
Tableau 3-1 :	Caractéristiques des bassins versants considérés pour la modélisation pluie-débit	38
Tableau 3-2 :	Débits caractéristiques sur la période 2001-2010	40
Tableau 3-3 :	Liste descriptive des paramètres utilisés pour le calage des modèles pluie-débit sous NAM	41
Tableau 3-4 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage reconstituées au point A et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010	45
Tableau 3-5 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Breuches et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010	46
Tableau 3-6 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage reconstituées au point L et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010	47
Tableau 3-7 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage reconstituées au point H et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010	48
Tableau 3-8 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage reconstituées au point A et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010	50
Tableau 3-9 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Breuches et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010	51
Tableau 3-10 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage reconstituées au point L et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010	53
Tableau 3-11 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage reconstituées au point H et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010	54
Tableau 3-12 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point A (évaporation des plans d'eau = prélèvement)	65
Tableau 3-13 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point A (évaporation des plans d'eau = « naturel »)	65
Tableau 3-14 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point G (évaporation des plans d'eau = prélèvement)	68
Tableau 3-15 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point G (évaporation des plans d'eau = « naturel »)	69
Tableau 3-16 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point L (évaporation des plans d'eau = prélèvement)	72
Tableau 3-17 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point L (évaporation des plans d'eau = « naturel »)	73
Tableau 3-18 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point H (évaporation des plans d'eau = prélèvement)	75
Tableau 3-19 :	Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point H (évaporation des plans d'eau = « naturel »)	76
Tableau 4-1 :	Liste des captages AEP du secteur d'étude	89

1

Préambule

1.1 Contexte général concernant les études de détermination des volumes maximum prélevables

1.1.1 Contexte général des études de détermination des volumes maximum prélevables

Lors des dix dernières années, les restrictions d'utilisation de la ressource en eau en France se sont multipliées à la suite d'épisodes de sécheresse particulièrement marqués. Les arrêtés sécheresse, censés limiter l'utilisation de la ressource lors d'épisodes climatiques exceptionnels, sont devenus des outils de gestion courante des ressources en déficits chroniques.

Les études de détermination des volumes maximums prélevables à l'échelle d'un bassin versant s'inscrivent comme action de connaissance de l'objectif du retour à l'équilibre entre l'offre et la demande en eau, objectif souligné par ailleurs par le plan national de gestion de la rareté de la ressource. La connaissance des volumes prélevables est également nécessaire à la gestion collective de l'irrigation promue par la Loi sur l'Eau de décembre 2006.

1.1.2 Objectifs généraux des études de détermination des volumes maximum prélevables

Les objectifs généraux visés pour la résorption des déficits quantitatifs et la gestion collective de l'irrigation sont fixés par la circulaire 17-2008 du 30 juin 2008. Ils consistent à :

- ✓ Mettre en cohérence les autorisations de prélèvements et les volumes prélevables (au plus tard fin 2014) ;
- ✓ Constituer des organismes uniques regroupant les irrigants sur un périmètre adapté et répartissant les volumes d'eau d'irrigation, dans les bassins où le déficit est particulièrement lié à l'agriculture.

Les grandes étapes pour atteindre ces objectifs sont :

1. La détermination des volumes maximums prélevables et des débits minimum biologiques;
2. La concertation entre les usagers pour établir la répartition des volumes ;
3. La mise en place de la gestion collective de l'irrigation, à partir des données des études volumes prélevables : définition des bassins nécessitant un organisme unique, leur périmètre, la désignation de l'organisme et enfin la révision des autorisations de prélèvement : la gestion collective de l'irrigation n'a cependant pas d'objet dans le cas du Breuchin.

La présente étude porte uniquement sur la première étape : la détermination des volumes maximum prélevables et des débits minimum biologiques.

Les volumes prélevables doivent être compatibles avec le maintien :

- ✓ En cours d'eau, d'un débit d'objectif : le **Débit d'Objectif d'Étiage** (DOE). Les DOE sont définis dans le projet de SDAGE Rhône Méditerranée comme « débits pour lesquels sont simultanément satisfaits le bon état des eaux, et en moyenne huit années sur dix, l'ensemble des usages ». La définition des DOE sera donc basée sur les Débits Minimums Biologiques (DMB) déterminés dans le cadre de la présente étude ;
- ✓ En nappe, d'un **Niveau Piézométrique d'Alerte** (NPA). Les NPA sont ainsi définis dans le projet de SDAGE Rhône Méditerranée comme les « niveaux piézométriques de début de conflits d'usages et de premières limitations de pompages ». Dans le cadre de la présente étude, on considérera également que ce niveau doit garantir le bon fonctionnement quantitatif ou qualitatif de la ressource souterraine et des cours d'eau qu'elle alimente dans le respect des DOE des cours d'eau.

Les **volumes maximum prélevables** sont déclinés par saison, avec un point spécifique sur la saison d'étiage.

1.2 Contexte particulier de la présente étude

1.2.1 Contexte particulier de la nappe du confluent Breuchin / Lanterne

La nappe du Breuchin est identifiée comme une ressource patrimoniale fortement sollicitée (déséquilibre quantitatif) et recelant des ressources majeures pour l'AEP.

Les problèmes relevés dans le SDAGE RM&C (approuvé par arrêté du Préfet Coordonnateur de bassin le 20 novembre 2009) sont suivants :

- ✓ Pollutions diffuses agricoles et urbaines
- ✓ Pesticides (hors secteur agricole)
- ✓ Substances dangereuses
- ✓ Déséquilibre quantitatif

La nappe alluviale du Breuchin fait partie du bassin versant de la Lanterne qui fait l'objet d'un contrat de rivière signé depuis novembre 2008.

Le Contrat de rivière de la Lanterne est coordonné par l'EPTB Saône et Doubs. C'est dans le but de fournir aux acteurs locaux tous les éléments de réflexion nécessaires à une bonne gestion de la nappe que l'EPTB porte cette étude spécifique.

Les études préalables à la rédaction du Contrat de rivière ont permis d'étudier très finement la nappe, de la modéliser et de poser les bases d'un futur plan de gestion de la ressource. Ce programme composé de 8 fiches d'actions a pour but de :

- ✓ Mettre en place un réseau de suivi quantitatif et qualitatif de la ressource ;
- ✓ Définir un plan d'alerte et de gestion de crise ;
- ✓ Recenser des prélèvements dans la nappe du Breuchin ;
- ✓ Réaliser des diagnostics sur les réseaux AEP et programmer des travaux de réhabilitation
- ✓ Mettre en place des mesures préventives visant à réduire les risques de pollutions de la nappe du Breuchin ;
- ✓ Améliorer la protection des captages ;
- ✓ Mettre en place une gouvernance locale visant à gérer la ressource au quotidien et en période de crise.

Ce programme présente des liens très étroits avec l'objet de la présente étude. L'étude volumes prélevables et ressource stratégique est l'occasion d'acquérir des données indispensables à la réalisation du programme et d'en préciser certaines opérations.

A ce jour, certaines actions du contrat de rivière visant la nappe du Breuchin ont été engagées comme la réalisation de diagnostics des réseaux AEP ou la mise en place d'un comité de suivi de la nappe du Breuchin par exemple.

1.2.2 Objectifs de l'étude

Dans le cadre de la mise en œuvre de cette étude, les phases suivantes ont été définies par le CCTP :

- ✓ Phase 1 : caractérisation de l'hydrosystème du Breuchin (nappe et rivières) et recueil de données ;
- ✓ Phase 2 : bilan des prélèvements et analyse de l'évolution ;
- ✓ Phase 3 : impact des prélèvements et quantification des ressources existantes ;
- ✓ Phase 3 bis (ressources stratégiques) : Identification des ressources à préserver pour l'usage eau potable ;
- ✓ Phase 4 : détermination des débits biologiques et des niveaux de nappes ;
- ✓ Phase 5 : détermination des volumes prélevables et des DOE ;
- ✓ Phase 6 : proposition de répartition des volumes.

Le présent rapport présente la méthodologie et les résultats de la Phase 3 de l'étude « Impact des prélèvements et quantification de la ressource ».

1.2.3 Rappels des phases précédentes

Les phases 1 & 2 de l'étude ont concerné la collecte des données sur l'ensemble du secteur d'étude. Il s'agissait d'établir un état des lieux permettant :

- ✓ D'identifier les déséquilibres existants sur la zone d'étude ;
- ✓ D'améliorer les connaissances relatives à la ressource (notamment souterraine avec le lancement de campagnes de terrain) ;
- ✓ De constituer un inventaire exhaustif des prélèvements et rejets sur la zone d'étude, ceci pour une période d'une dizaine d'années.

Ces données sont valorisées dans le cadre de la présente phase, afin de définir la piézométrie et l'hydrologie désinfluencées des prélèvements et rejets.

2

Caractérisation des étiages au niveau des cours d'eau

2.1 Eaux superficielles : Stations hydrométriques de la Banque Hydro

2.1.1 Généralités

L'hydrométrie du bassin versant de la Lanterne jusqu'au point nodal du SDAGE à Fleurey-lès-Favernay est suivie par six stations hydrométriques gérées par la DREAL Franche-Comté dont les données sont consultables sur le site de la Banque Hydro. Les caractéristiques des stations hydrométriques sont présentées dans le Tableau 2-1. Une station ancienne située sur la Lanterne à Briaucourt a également été utilisée dans le cadre de notre analyse.

Les stations hydrométriques de Fleurey-lès-Favernay, Saint-Loup-sur-Semouse, d'Anjeux et du Val d'Ajol ne sont pas situées dans la zone d'étude, mais seront utilisées pour reconstituer les chroniques de débits en différents points stratégiques du bassin versant d'étude.

Tableau 2-1 : Liste des stations de la Banque HYDRO sur le bassin versant de la Lanterne

Code de la station	Libellé de la station	Données dispo	Taille du bassin versant (km ²)
U0415010	Le Breuchin à Proiselière-et-Langle	1967-2012	123
U0415030	Le Breuchin à Breuches	2000-2012	220
U0424010	La Lanterne à Briaucourt	1968-1975	391
U0474010	La Lanterne à Fleurey-lès-Favernay	1963-2012	1020
U0444310	La Semouse à Saint-Loup-sur-Semouse	1974-2012	222
U0460510	Le Planey à Anjeux	1998-2012	30
U0455010	La Combeauté au Val d'Ajol	1988-2012	63

Les débits caractéristiques mesurés aux droits des stations hydrométriques toujours en activité sont présentés dans le Tableau 2-2. Les valeurs indiquées sont extraites des données de la Banque Hydro et calculées sur l'ensemble de la période disponible pour chacune des stations. A noter que les débits caractéristiques sur la Semouse, la Combeauté et le Planey ne sont pas présentés dans la mesure où seules les chroniques brutes de débit journalier à ces stations ont été utilisées pour reconstituer des chroniques sur la zone d'étude.

Tableau 2-2 : Débits caractéristiques d'étiage pour les stations hydrométriques du bassin versant

Cours d'eau	Breuchin	Breuchin	Lanterne
Station	U0415010	U0415030	U0474010
Nom station	Proiselière-et-Langle	Breuches	Fleurey-lès-Faverney
Taille BV (km ²)	123	220	1020
Période considérée	1967-2012	2000-2012	1963-2012
Débits caractéristiques			
Module	4.39	6.48	21.9
1/10e module	0.438	0.648	2.19
1/20e module	0.219	0.324	1.095
QMNA2	0.87	0.99	4
QMNA5	0.58	0.65	2.6
VCN3 2	0.54	0.64	2.8
VCN3 5	0.36	0.41	2
VCN10 2	0.6	0.73	3.1
VCN10 5	0.4	0.47	2.2

Les données sont cohérentes d'amont en aval du bassin versant. Le module augmente en fonction de la surface drainée.

Néanmoins, il est à noter que la qualité des ajustements conduisant à la détermination des débits caractéristiques sur le Breuchin à Breuches est peu robuste compte tenu du faible échantillon d'années disponibles. De plus, la DREAL Franche-Comté souligne également des incertitudes météorologiques sur les débits mesurés à Breuches (estimation d'une incertitude de l'ordre de 10% en basses eaux, cette constatation découlant d'environ 30 jaugeages effectués en basses eaux et incluant une éventuelle erreur de 1 à 2 cm au capteur).

Si les données provenant de cette station de mesure serviront de base à l'analyse dans les étapes décrites plus loin, il reste important de souligner qu'elles peuvent être sujettes à des incertitudes, notamment dans les gammes de débits qui intéressent la présente étude.

2.1.2 Corrélation entre les stations hydrométriques

L'analyse des corrélations entre stations hydrométriques permet de s'assurer de la progressivité amont-aval des données et de mettre en évidence les éventuelles zones de pertes ou de prélèvements importants. Elle permettra également d'établir des liens entre les sites où la série de débit désinfluencée sera reconstituée et où les Débits Minimum Biologiques (DMB) seront déterminés.

L'analyse porte sur la comparaison des débits journaliers moyens enregistrés aux stations hydrométriques sur une période de données commune (2000-2010).

Les résultats de l'analyse sont présentés sur la figure ci-dessous :

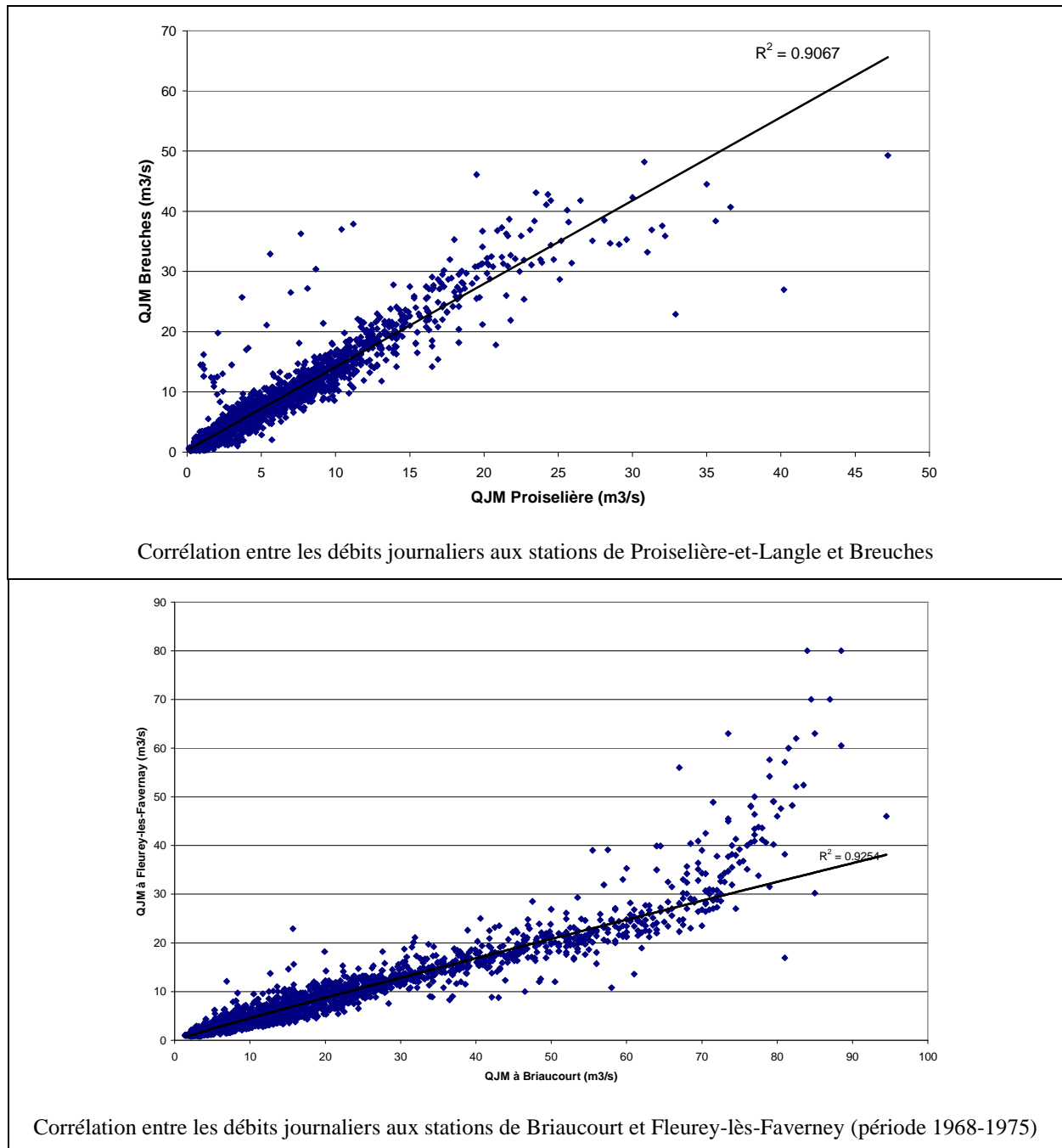


Figure 2-1 : Corrélation des débits moyens journaliers entre les stations hydrométriques du bassin versant de la Lanterne

A partir de ces graphiques, il est intéressant de retenir que :

- La cohérence entre les différentes stations hydrométriques du bassin versant est bonne avec des coefficients de régression $R^2 > 90$.
- Les débits moyens journaliers enregistrés à chaque station hydrométrique augmentent de l'amont vers l'aval.

Un focus sur les débits d'étiage est présenté sur la Figure 2-2 suivante pour s'assurer de la stabilité des données en basses eaux. Il permet d'apprécier la corrélation entre les stations hydrométriques pour des faibles gammes de débits.

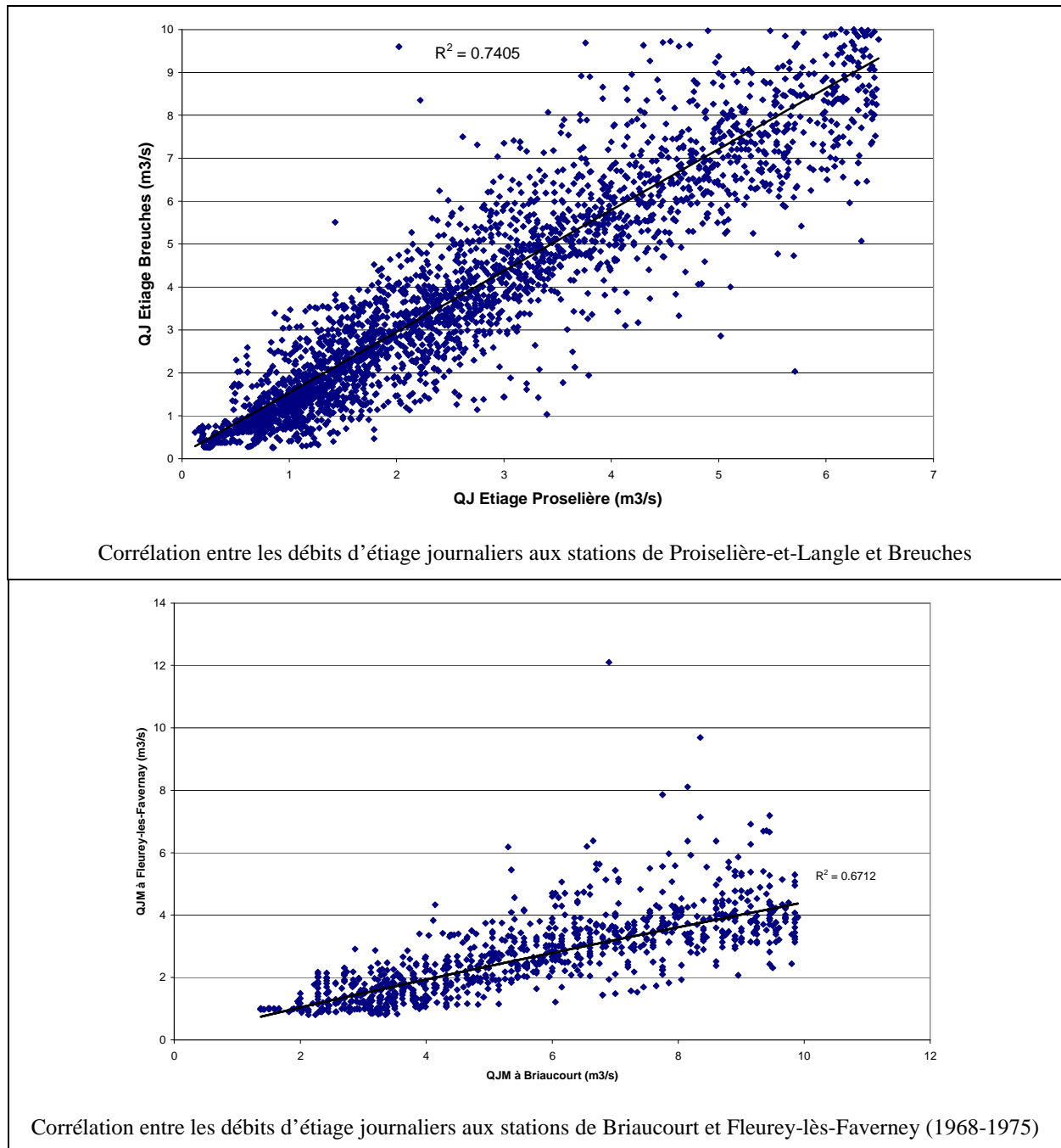


Figure 2-2 : Corrélation des débits d'étiage journaliers entre les stations hydrométriques du bassin versant de la Lanterne

A partir de ces graphiques, il est intéressant de retenir que :

- La cohérence entre les différentes stations hydrométriques du bassin versant est relativement bonne pour les débits d'étiage avec des coefficients de régression $R^2 > 70$. Ce coefficient est légèrement plus faible sur la Lanterne aval, mais la valeur du coefficient de corrélation reste très satisfaisante (93%).
- Les débits d'étiage journaliers enregistrés à chaque station hydrométrique augmentent de l'amont vers l'aval.
- La méthode de transposition des débits est a priori adaptée au secteur d'étude.

La transposition des débits d'un point à un autre du bassin versant est réalisable selon la formule suivante :

$$Q_1 = \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^\alpha Q_2$$

Où Q_1 : débit d'étiage du site où le débit est connu

Q_2 : débit d'étiage du site où le débit est transposé

A_1 et A_2 : Superficies des bassins versants respectivement aux sites considérés

α : Exposant régional

L'analyse des chroniques de débits enregistrées aux stations hydrométriques du Breuchin et de la Lanterne a permis de dégager des valeurs du coefficient α variables selon les gammes de débits étudiées et les spécificités hydrologiques du bassin versant concerné.

Sur le Breuchin, le coefficient α a été déterminé pour chaque mois de la période d'étude à partir des chroniques de débits enregistrées à la Proiselière-et-Langle et à Breuches. La valeur du débit mensuel moyen, représentative de l'hydrologie du bassin versant, a été retenue pour la transposition des chroniques de débits.

Sur le même principe, le coefficient α sur la Lanterne aval (à l'aval de la confluence Breuchin-Lanterne) a été déterminé à partir des chroniques de débits enregistrées aux stations de Briaucourt et de Fleurey-les-Favernay sur la période 1968-1975. La transposition des débits mesurés à la station de Fleurey-les-Favernay à l'aval de la confluence Breuchin-Lanterne s'est faite en retenant un coefficient α spécifique pour chaque mois de la période d'étude (2001-2010), par analogie avec les années hydrologiques observées sur la période 1968-1975. Les coefficients ont été localement ajustés de manière à éviter d'avoir un terme « Débit sur la Lanterne à l'aval de la confluence avec le Breuchin » - « Débit sur le Breuchin à Breuches » négatif.

Pour la Lanterne amont, un coefficient α constant sur l'année a été retenu : ce coefficient a été calculé sur la base des jaugeages réalisés dans le cadre de l'étude en différents points de la Lanterne entre la Chapelle-les-Luxeuil et la confluence avec le Breuchin (voir plus loin pour les résultats des jaugeages). Il est égal à 0,70.

Les valeurs mensuelles obtenues pour le coefficient α sur le Breuchin et la Lanterne amont sont présentées dans Tableau 2-3. Les coefficients de transposition utilisés pour la Lanterne aval sont présentés dans le Tableau ci dessous :

Tableau 2-3 : Coefficients α retenus pour la transposition des débits sur le Breuchin et la Lanterne amont

Mois	Coefficient α sur le Breuchin	Coefficient α sur la Lanterne amont
Janvier	0.65	0.70
Février	0.68	0.70
Mars	0.61	0.70
Avril	0.69	0.70
Mai	0.63	0.70
Juin	0.63	0.70
Juillet	0.60	0.70
Août	0.66	0.70
Septembre	0.45	0.70
Octobre	0.32	0.70
Novembre	0.44	0.70
Décembre	0.70	0.70

Tableau 2-4 : Coefficients α retenus pour la transposition des débits sur la Lanterne aval

Mois	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Janvier	0.94	0.84	0.82	0.94	0.84	0.69	0.94	0.94	0.82	0.94
Février	0.86	0.88	0.90	0.86	0.88	0.81	0.86	0.86	0.90	0.86
Mars	0.78	0.93	0.90	0.78	0.93	0.76	0.78	0.78	0.90	0.78
Avril	0.68	0.69	0.95	0.68	0.69	0.76	0.68	0.68	0.95	0.68
Mai	0.85	0.61	0.90	0.85	0.61	0.67	0.85	0.85	0.90	0.85
Juin	0.84	0.50	0.69	0.84	0.65	0.30	0.84	0.84	0.69	0.84
Juillet	0.66	0.78	0.92	0.66	0.78	0.25	0.66	0.66	0.92	0.66
Août	0.70	0.66	1.07	0.70	0.66	0.46	0.70	0.70	1.07	0.70
Septembre	0.77	0.57	0.78	0.77	0.57	0.89	0.77	0.77	0.78	0.77
Octobre	0.93	0.62	0.39	0.93	0.62	0.80	0.93	0.93	0.39	0.93
Novembre	0.77	0.86	0.45	0.77	0.86	0.71	0.77	0.77	0.45	0.77
Décembre	0.87	0.78	0.67	0.77	0.78	0.83	0.87	0.87	0.67	0.77

2.2 Eaux superficielles : Investigations complémentaires

2.2.1 Station limnimétrique sur la Lanterne

Dans le cadre de la présente étude, et afin de compléter les données d'entrée pour l'analyse hydrologique et piézométrique, une station limnimétrique (équipée d'une échelle limnimétrique et d'un capteur de pression) a été mise en place. Après discussion avec les membres du Comité de Pilotage, il a été arrêté de positionner la station limnimétrique sur la Lanterne à la limite amont de la nappe du confluent Breuchin-Lanterne. Une visite de terrain a été réalisée le 3 Septembre 2011 avec l'EPTB Saône-Doubs et la DREAL pour, entre autres, identifier un site approprié pour positionner la station limnimétrique.

La station limnimétrique a donc été installée le 13/09/2011 à l'amont immédiat d'un seuil en enrochement, quelques centaines de mètres à l'amont de la RN57 à la Chapelle-les-Luxeuil.

Les enregistrements du capteur de pression ont fait l'objet d'un relevé mensuel par les techniciens SAFEGE. Cependant, la station a été vandalisée (capteur de pression subtilisé) au cours du mois de Novembre 2011. Les dernières données enregistrées remontent donc au 17/11/2011.

Deux jaugeages ont pu être réalisés pour l'étalonnage de la station hydrométrique : le premier à la mise en place de la station (13/09/2011), et le second dans le courant du mois d'octobre (19/10/2011). La disponibilité de seulement deux jaugeages pour l'étalonnage de la station est clairement insuffisante pour transposer les hauteurs d'eau mesurées à la station en débits. La Figure 2-3 présente cependant la chronique des débits instantanés à la station limnimétrique transposés sur la base des deux jaugeages réalisés et d'une relation strictement proportionnelle entre hauteurs d'eau et débits. La comparaison avec la chronique hydrométrique à la station du Breuchin à Breuches permet de voir que la station limnimétrique a réagi correctement aux épisodes pluvieux. Il n'est cependant pas pertinent de vouloir valoriser les données collectées sur la période de mesure sur la base de deux jaugeages.

Les données issues de la station limnimétrique n'ont donc pas été plus valorisées dans l'analyse hydrologique dans le cadre de la présente étude. En l'état des choses, il n'est pas envisageable d'améliorer la connaissance de la relation hauteur/débit pour plus valoriser la chronique limnimétrique mesurée.

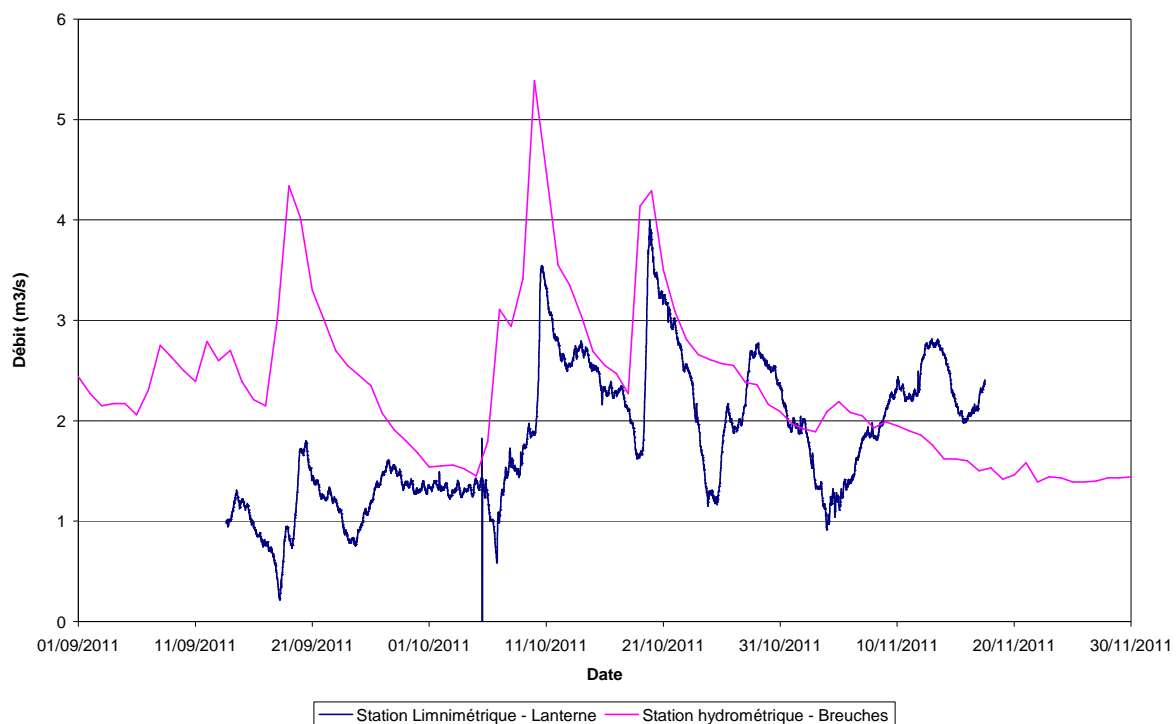


Figure 2-3 : Comparaison des chroniques de débits journaliers sur le Breuchin à Breuches et de débit instantanée à station limnimétrique sur la Lanterne à la Chapelle-les-Luxeuil

2.2.2 Jaugeages en rivière – Campagnes de l’automne 2011

La zone d’étude comprend peu de stations hydrométriques puisque seulement deux stations sont disponibles à Breuches et à la Proiselière-et-Langle (toutes les deux sur le Breuchin). Aucune donnée hydrométrique n’est disponible sur la Lanterne sur le secteur d’étude.

Pour tenter d’y remédier des campagnes de jaugeages ponctuels ont été mises en œuvre afin de fournir plus d’éléments sur la caractérisation de l’hydrologie et des phénomènes d’étiage sur le secteur de la confluence Breuchin-Lanterne.

Trois campagnes de mesures de débits ont été réalisées en septembre, octobre et novembre 2011. Les points stratégiques retenus pour le suivi du débit des cours d’eau en concertation avec le Maître d’Ouvrage sont présentés sur la Figure 2-4.

Figure 2-4 : Localisation des points de jaugeages ponctuels



Au total, 27 jaugeages ont été réalisés sur les trois campagnes de mesures répartis selon :

- ✓ 6 mesures de débits en septembre ;
- ✓ 12 mesures de débits en octobre ;
- ✓ 9 mesures de débits en novembre.

Selon la proposition remise au Maître d'Ouvrage, deux campagnes de mesures de 12 jaugeages chacune (soit 24 jaugeages) étaient initialement prévues. Néanmoins, il a été jugé plus pertinent de réaliser trois campagnes de mesures pour s'assurer de cerner correctement la période d'étiage sur la zone d'étude. Le nombre de points de mesures de la campagne de septembre a ainsi été limité et ont été reportés pour la campagne de novembre, mois particulièrement sec et représentatif du phénomène d'étiage. Trois points de jaugeages supplémentaires ont été réalisés de façon à compléter ponctuellement les données sur l'hydrologie du secteur.

La Figure 2-5 situe les trois campagnes de jaugeages de l'automne 2011 sur le cycle hydrologique complet de l'année 2011 (comparaison de la pluviométrie mensuelle mesurée à Luxeuil) de façon à visualiser l'état hydrique de la zone d'étude propre à chaque campagne de mesures.

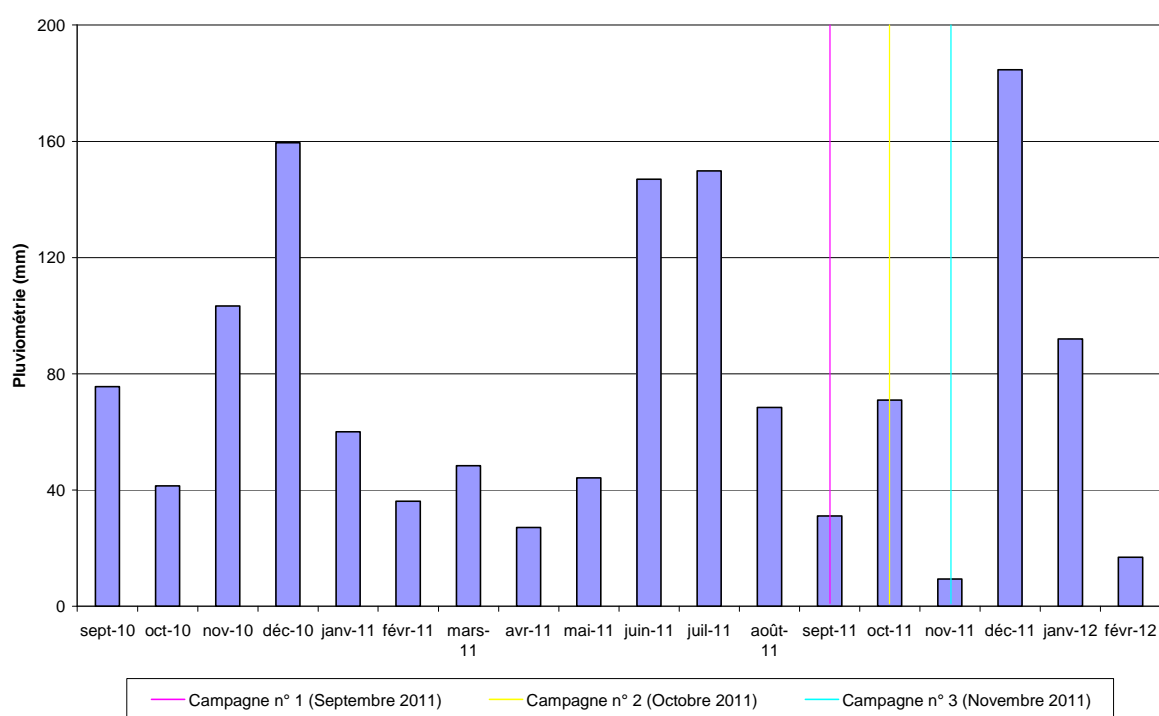


Figure 2-5 : État hydrique pendant les campagnes de jaugeages sur le bassin versant du Breuchin-Lanterne

Globalement les campagnes de mesures ont été réalisées pendant des mois secs à l'exception du mois d'octobre, et sont donc représentatives de l'hydrologie de la zone d'étude pendant les périodes d'étiage (cette constatation est à relativiser dans la mesure où les jaugeages de septembre se sont tenus quelques jours après un événement pluvieux relativement conséquent (7mm mesurés à Luxeuil)). Le mois de novembre 2011 apparaît donc comme le mois le plus sec sur l'année hydrologique représentée.

Les caractéristiques des points de jaugeage et les résultats obtenus pour les trois campagnes de mesures réalisées sont présentés dans le Tableau 2-5.

Tableau 2-5 : Description et résultats des campagnes de jaugeages réalisées

N° point	Localisation	X (LII ét.) (m)	Y (LII ét.) (m)	Campagne n°1 (Septembre 2011)		Campagne n°2 (Octobre 2011)		Campagne n°3 (Novembre 2011)	
				Date / Heure	Q (m ³ /s)	Date / Heure	Q (m ³ /s)	Date / Heure	Q (m ³ /s)
A	Breuchin à Bouhay d'Amont	907450	2323260	11/09/2011 13h30	1.92	20/10/2011 9h00	3.26	25/11/2011 12h00	0.91
B	Canal du Morbief à l'aval immédiat de la prise d'eau	906605	2322870	/	/	18/10/2011 12h00	0.39	/	/
C	Breuchin à l'amont de la station de pompage des Longeues	906554	2322030	11/09/2011 11h00	1.54	18/10/2011 14h45	1.49	25/11/2011 10h00	0.89
D	Breuchin à l'amont de la N57 à Saint-Sauveur	903268	2320040	/	/	18/10/2011 16h30	0.97	27/11/2011 17h00	0.64
E	Breuchin à l'aval de la voie ferrée à Saint-Sauveur	902378	2319370	12/09/2011 09h15	2.51	20/10/2011 10h20	3.83	26/11/2011 15h00	1.06
F	Canal du Morbief à l'aval de la rue Louis Pergaud (Luxeuil)	902140	2320130	/	/	18/10/2011 18h00	0.12	/	/
G	Breuchin entre Breuches et Ormoiche	898034	2318900	12/09/2011 14h00	3.46	/	/	26/11/2011 09h00	1.10
H	Lanterne à l'aval de la confluence avec le Breuchin	896575	2319520	/	/	20/10/2011 14h40	5.68	/	/
I	Lanterne à l'amont de la confluence avec le Breuchin	896550	2318940	12/09/2011 17h00	1.57	19/10/2011 18h00	3.34	27/11/2011 8h30	0.58
J	Lanterne au pont de la D6 à Sainte-Marie-en-Chaux	897429	2317290	/	/	19/10/2011 13h15	2.00	/	/
K	Lanterne au gué à l'aval de Baudoncourt	899462	2316310	/	/	19/10/2011 15h15	3.48	27/11/2011 15h00	0.47
L	Lanterne à l'amont du pont de la N57 à la Chapelle-les-Luxeuil	901288	2315560	12/09/2011 18h30	0.94	19/10/2011 16h40	3.63	27/11/2011 11h00	0.44
M	Breuchin à l'aval des gravières de la Charbonnière	900627	2318780	/	/	20/10/2011 14h00	2.75	26/11/2011 13h00	1.15

Les campagnes de jaugeages réalisées permettent de disposer d'une bonne densité d'informations au niveau de la zone de confluence du Breuchin et de la Lanterne. Cependant, ces informations doivent être comparées localement avec précaution dans la mesure où les conditions climatiques (et notamment la pluviométrie) ont pu sensiblement varier durant une même campagne. La réactivité importante des bassins versants (et notamment celui de la Lanterne) peut conduire à constater des incohérences notables dans les corrélations de débits entre sites jaugeés.

Les débits mesurés aux différents points stratégiques du bassin versant sont mis en relation avec la pluviométrie journalière enregistrée à la station de Luxeuil-les-Bains sur la Figure 2-6.

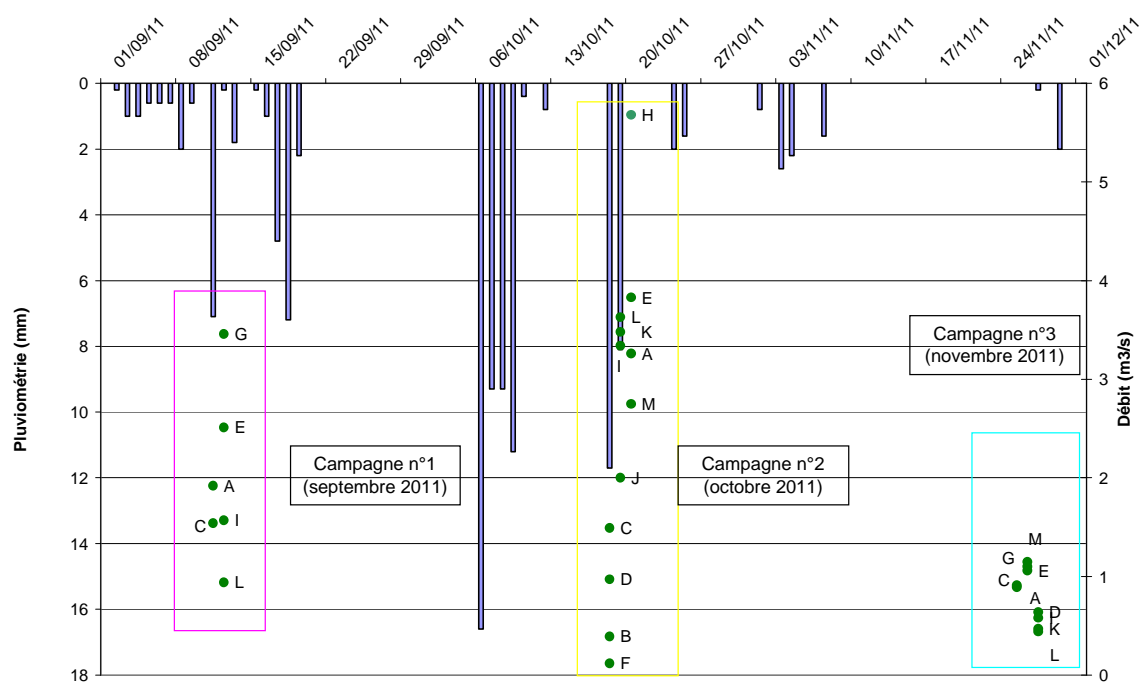


Figure 2-6 : Pluviométrie pendant les campagnes de jaugeages sur le bassin versant du Breuchin-Lanterne

La Figure 2-7 présente les valeurs de débits mesurés en fonction de la superficie drainée sur le Breuchin, la Figure 2-8 présentant la même évolution sur la Lanterne.

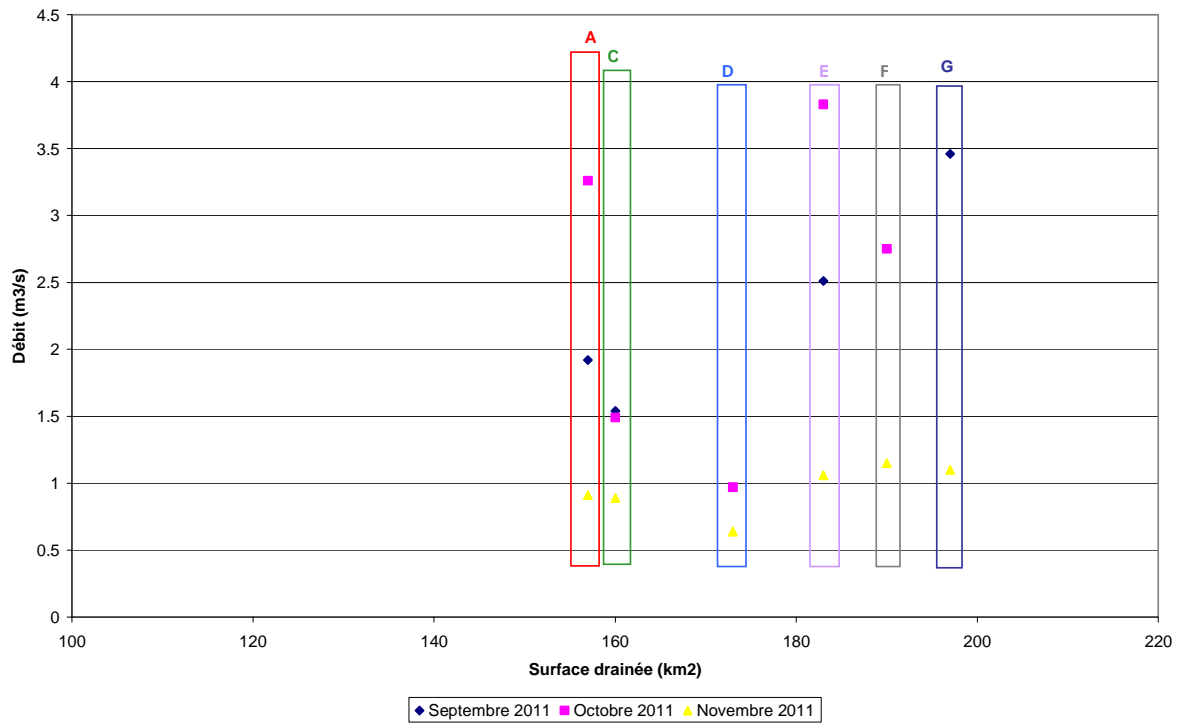


Figure 2-7 : Évolution des débits en fonction de la surface drainée sur le Breuchin

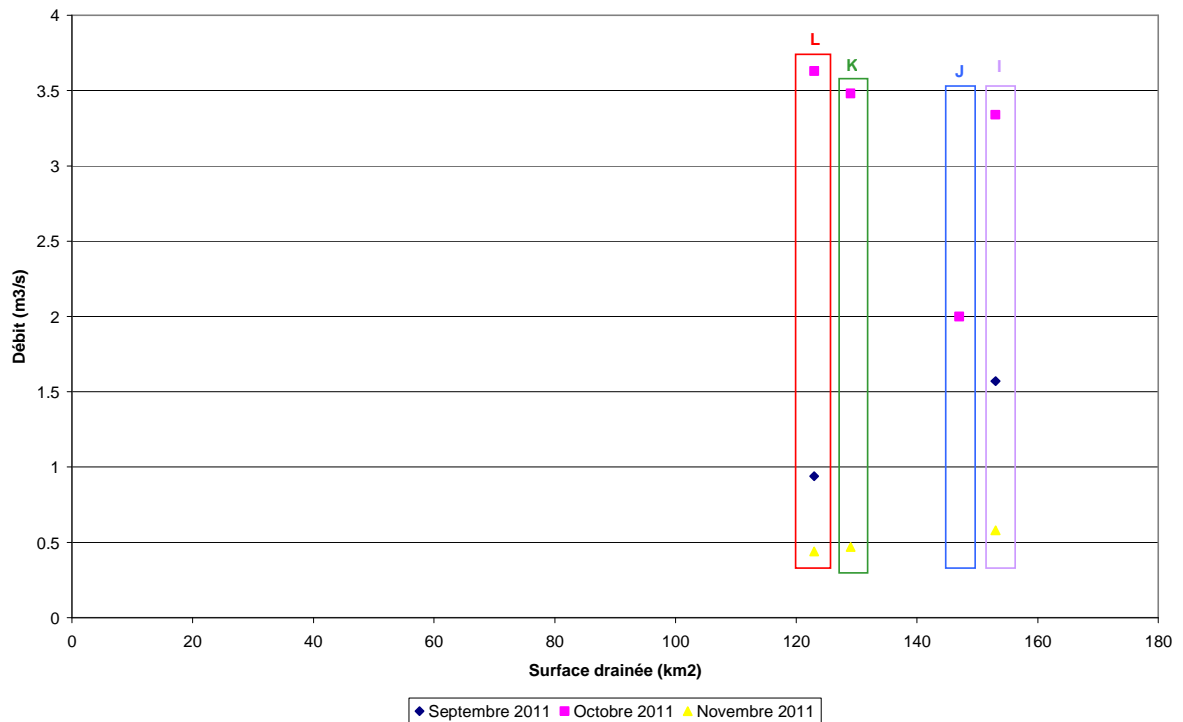


Figure 2-8 : Évolution des débits en fonction de la surface drainée sur la Lanterne

Il ressort de l'analyse des trois graphiques ci-dessus les éléments suivants :

- Les débits mesurés lors de la campagne d'octobre 2011 offrent peu de cohérence du fait des conditions climatiques lors de la campagne de mesure. Les observations faites sur ces séries de mesure doivent donc être considérées avec précaution.
- On constate globalement une bonne cohérence des débits pour chacune des rivières, hormis au niveau de quelques points, notamment sur le Breuchin. On constate notamment une baisse entre A et C du à la présence de la prise d'eau du Morbief, le débit prélevé augmentant avec le débit en rivière à l'amont de la prise d'eau. Entre C et D, on constate une baisse générale du débit pertes liées entre autres à la recharge de la nappe par la rivière sur ce secteur
- Les débits spécifiques sont quasiment constants pour les deux rivières en basses eaux (campagne de novembre), et augmentent de plus en plus vers l'aval quand les gammes de débits sont plus importantes ;
- Les débits spécifiques sont plus importants sur le Breuchin que sur la Lanterne.

Enfin, la Figure 2-9 présente l'état hydrologique de l'année 2011 au regard des années antérieures. Les données pluviométriques ont été collectées à la station de Luxeuil-les-Bains sur une période de 10 ans de 2001 à 2011. L'année 2011 est ainsi caractérisée par un été relativement pluvieux et un hiver sec. Il est donc acquis que, hormis pour la campagne de novembre 2011 pour laquelle une situation d'étiage s'était installée, les campagnes de jaugeages ne représentent pas forcément les phénomènes d'étiage du bassin versant.

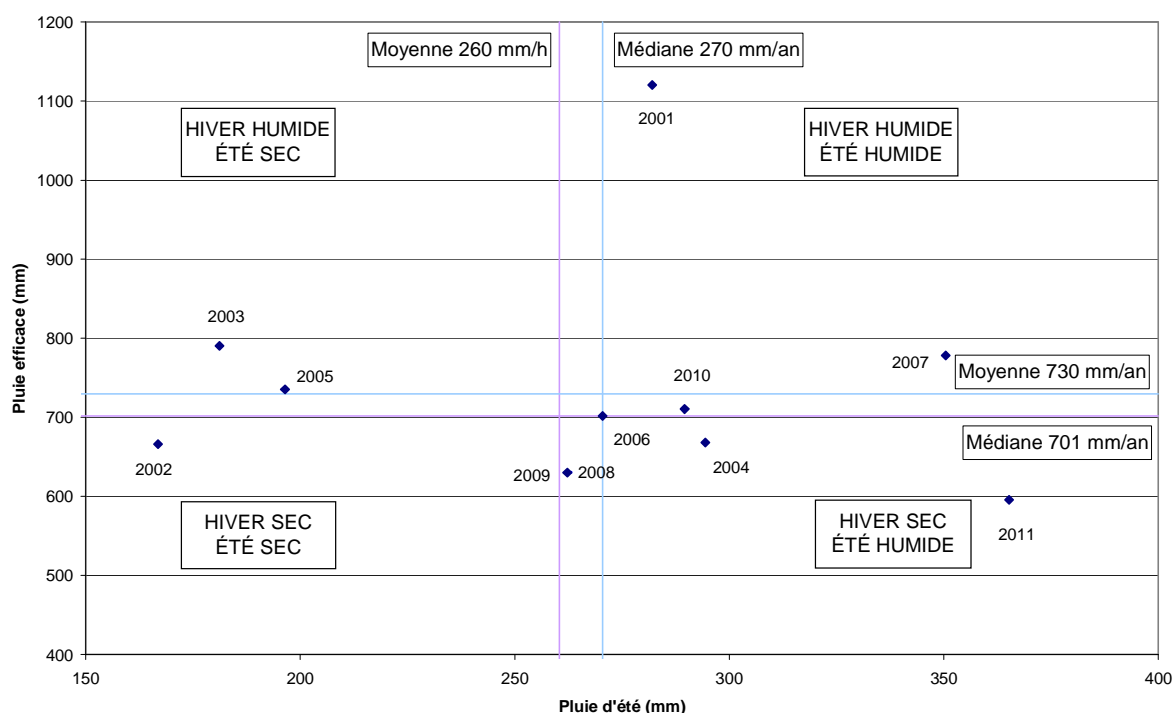


Figure 2-9 : État hydrologique de l'année 2011

2.2.3 Jaugeages sur le canal du Morbief – Campagnes d’août 2012

Le canal du Morbief est alimenté par une prise d’eau constituée d’un seuil en V au lieu-dit de la Lie aux Moines. Le volume soustrait au Breuchin pour alimenter ce canal est particulièrement difficile à estimer compte tenu de l’absence de dispositif de suivi et de règles de gestion claires. La méconnaissance de l’impact de la prise d’eau du Morbief sur les écoulements du Breuchin n’est pas nouvelle, puisque dans un rapport de 1979 relatif aux fluctuations de la nappe alluviale du Breuchin à Froideconche, le BRGM concluait ainsi : « Il est nécessaire de poursuivre d’une part l’enregistrement limnigraphique de la Lie aux Moines pour mesurer le débit du Breuchin sur une série de 3 à 5 cycles hydrologiques et d’autre part les jaugeages jusqu’à la construction de la courbe d’étalonnage niveau-débit. **Des jaugeages seront à effectuer simultanément sur le canal du Syndicat du Morbief pour préciser les débits dérivés** ».

Or, il n’a pu être trouvé trace des débits enregistrés sur le Breuchin à la Lie aux Moines, ni de jaugeages réalisés sur le Morbief. Le syndicat du Morbief cité dans le rapport n’existe d’ailleurs plus.

Afin de consolider la définition d’une relation permettant d’estimer les débits prélevés dans le Breuchin pour l’alimentation du Morbief, des investigations complémentaires (jaugeages) ont été réalisés pendant le mois d’août 2012. En parallèle de la consolidation de la relation débit du Breuchin / débit du Morbief, il s’agissait également d’estimer les potentiels prélèvements sur le canal et les volumes restitués au Breuchin à l’aval de Luxeuil.

Deux campagnes de mesures ont été réalisées en août 2012 (le 2/08/2012, puis le 16/08/2012). Elles viennent compléter les informations collectées lors des campagnes de jaugeages réalisées en 2011. Les points jaugés en août 2012 sont listés ci-dessous et leur localisation est présentée sur la Figure 2-10 ci-après.

Tableau 2-6 : Points ayant fait l’objet de jaugeages pendant les 2 campagnes d’août 2012

Numéro du point	Localisation du point
1	Breuchin - Amont prise eau Morbief
2	Morbief - Aval immédiat prise d'eau
3	Morbief - Lieu-dit Les Noies
4	Miredondaine – Amont immédiat confluence avec Morbief
5	Morbief - aval Luxeuil

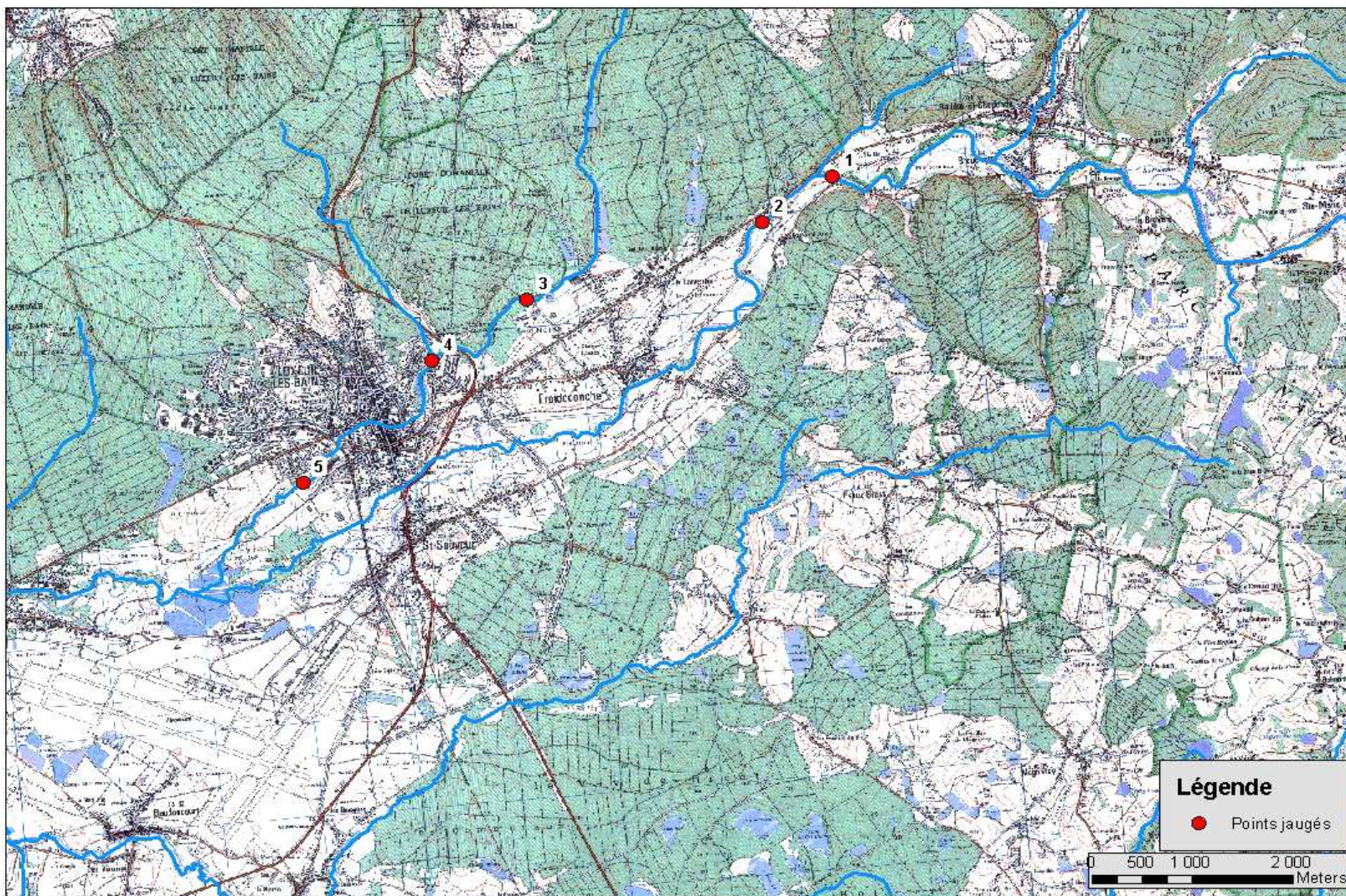


Figure 2-10 : Localisation des points de jaugeages réalisés en août 2012

Au total, 8 jaugeages ont été réalisés sur les deux campagnes de mesures. En effet, lors des deux campagnes, aucun écoulement n'a été constaté sur la Miredondaine.

Les débits mesurés d'amont en aval du Morbief sont présentés dans le Tableau 2-7. Pour comparaison, les débits mesurés sur le Breuchin au mois d'octobre 2011 ont également été reportés.

Tableau 2-7 : Présentation des résultats des jaugeages le long du canal du Morbief

Site	2 Août 2012		16 Août 2012		Octobre 2011	
	Date	Q (m ³ /s)	Date	Q (m ³ /s)	Date	Q (m ³ /s)
Breuchin - amont prise eau Morbief	2/8/12 12:00	2.13	16/8/12 12:30	1.054	-	-
Morbief - aval immédiat prise d'eau	2/8/12 13:45	0.241	16/8/12 13:10	0.19	18/10/2011 12h00	0.309
Morbief - lieu-dit Les Noies	2/8/12 15:15	0.233	16/8/12 14:00	0.173	-	-
Morbief - aval Luxeuil	2/8/12 16:00	0.187	16/8/12 15:00	0.081	18/10/2011 18h00	0.12

La valorisation de ces données dans le cadre de notre étude est présentée au paragraphe suivant.

2.3 Détermination des volumes prélevés et des besoins sur le canal du Morbief

2.3.1 Préambule sur la gestion du canal du Morbief

Le canal du Morbief est un ouvrage historique, réalisé à main d'homme au XIII^{ème} siècle. Comme déjà évoqué plus haut le canal est alimenté par une prise d'eau constitué d'un seuil en V sur le Breuchin au lieu-dit de la Lie-aux-Moines. Il traverse successivement les communes de Froideconche, Luxeuil et Ormoiche, où il conflue avec le Breuchin. Au niveau de la prise d'eau, le débit peut être régulé par trois vannes batardeau, dont seulement deux sont encore fonctionnelles (la troisième est condamnée, mais avec une revanche de fond de quelques centimètres). Le canal a été historiquement utilisé pour fournir de l'eau aux artisans/entreprises installées le long du canal. A l'heure actuelle, il permet notamment l'alimentation en eau de l'étang de la Poche dans Luxeuil-les-Bains, ainsi que la satisfaction des besoins du séminaire de Luxeuil et d'utilisateurs industriels et le long de son linéaire. Il faut noter qu'hormis l'alimentation à partir de la prise d'eau de la Lie-aux-Moines sur le Breuchin, le canal reçoit les eaux de quelques affluents rive droite du canal, notamment la Miredondaine, mais aussi de plusieurs étangs dont les modalités de gestion sont inconnues (étang de Labbé, étang Monsieur et étang Leclerc).

Très peu d'informations sont disponibles sur les modalités de gestion de la prise d'eau du canal et sur les usages de l'eau dérivée dans le canal. Dans les années 1980, il existait un syndicat de gestion du canal, mais qui n'existe plus. Aujourd'hui, l'ouvrage est géré et entretenu par les communes de Froideconche et Luxeuil, mais sans règle de gestion précise. Des manipulations de vannes sont réalisées de manière régulière, notamment par les services techniques de la ville de Luxeuil, mais celles-ci ne sont pas consignées, et il n'existe pas de repère fixe quant à l'ouverture des vannes en fonction du débit du Breuchin ou des saisons.

D'après les informations fournies par l'EPTB Saône-Doubs après entretien avec les services techniques de la ville de Luxeuil, les vannes sont plutôt ouvertes en période estivale et refermées en période hivernale (notamment pour éviter des dégradations de l'ouvrage lors de crues). Des manipulations de vannes peuvent également être effectuées sur demande d'usagers industriels de l'eau du canal : les services techniques de Luxeuil ont notamment cité la société Cobra (spécialisée dans la fabrication et la distribution de composants de convoyeurs pour la manutention continue) comme usager sur la commune de Luxeuil (pour le refroidissement de ses installations).

En complément, des dégradations sur le canal ou sur le barrage de la prise d'eau peuvent conduire à des variations sur le débit entrant dans le canal : ainsi, une brèche sur l'ouvrage quelques dizaines de mètres à l'aval de la prise d'eau de la Lie-aux-Moines a été réparée début 2012. Aucune information n'est disponible quant à la formation de cette brèche et son influence sur les débits effectivement prélevés.

Sur la base de ces informations, il est très délicat de définir une véritable relation entre le débit s'écoulant dans le Breuchin et le débit dérivé vers le canal du Morbief. Deux facteurs sont susceptibles d'influencer largement cette relation :

- ✓ De manière prépondérante, l'ouverture des vannes, sachant que leurs modalités de manipulation ne sont pas fixées ;
- ✓ De manière secondaire, les dégradations sur l'ouvrage de prise d'eau ou sur le canal.

Sachant le manque d'informations sur ces éléments, la définition d'une relation entre débit s'écoulant dans le Breuchin et débit prélevé dans le Morbief sera nécessairement établie sur des hypothèses qui sont décrites plus loin dans le rapport.

2.3.2 Besoins identifiés sur le Morbief

A- Bibliographie disponible

Comme sur les modalités de gestion du canal, très peu d'informations sont disponibles sur les prélèvements effectués sur le Morbief. En effet, les usages sur ce canal ne sont pas soumis à la redevance des usages de l'eau : il n'existe donc aucun listing exhaustif des préleveurs sur le canal.

Un inventaire des préleveurs a toutefois été débuté sur la base des informations disponibles : celles-ci consistent en :

- ✓ Une étude menée en 2007 par la Chambre de Commerce et d'Industrie (CCI) de Haute-Saône sur l'ensemble des usages industriels du bassin versant de la Lanterne : cette étude était menée sur la base du volontariat. 84 entreprises ont été diagnostiquées (sur la base du volontariat) sur les 326 que compte le bassin versant de la Lanterne.
- ✓ Des éléments fournis par le maître d'ouvrage et recueillis lors d'un entretien avec la commune de Luxeuil-les-Bains.

Les données collectées par l'étude de la CCI sont très partielles et ne permettent pas d'appréhender précisément l'activité industrielle sur le bassin versant et, en particulier sur le canal du Morbief. Les entreprises recensées à proximité du canal du Morbief (et effectuant donc potentiellement des prélèvements dans le canal) sont présentées dans le Tableau 2-8. Il faut noter que l'ensemble des entreprises recensées à proximité du canal sont ici listées, même si elles avaient déclaré à l'époque ne s'approvisionner qu'à partir du réseau AEP.

Tableau 2-8 : Entreprises recensées à proximité du canal du Morbief dans l'étude de la CCI

Entreprise	Commune	Principale type de ressource	Prélèvements directs au milieu	Rejets directs au milieu
Rotofer et Roussel	Luxeuil-les-Bains	Réseau AEP	Non	Non
Sonobat	Luxeuil-les-Bains	Réseau AEP	Non	Non
Chauffage Sanitaire Luxovien	Luxeuil-les-Bains	Réseau AEP	Non	Non
Menuiserie Coulin	Froideconche	Réseau AEP	Non	Non
Menigoz	Froideconche	Réseau AEP	Non	Non
Weisse	Froideconche	Réseau AEP	Non	Par infiltration lors du lavage des camions
HBS	Froideconche	Réseau AEP	Pompage dans le Morbief	Non

Les entreprises listées précédemment sont localisées sur la Figure 2-11. Sur les sept entreprises inventoriées ci-dessus, deux avaient déclaré prélever ou rejeter directement dans le Morbief. Les volumes déclarés sont présentés dans le Tableau 2-9.

Tableau 2-9 : Volumes prélevés / rejetés dans le canal du Morbief par les entreprises recensées dans l'étude de la CCI

Entreprise	Commune	Volume prélevé / rejeté	Observation
Weisse	Froideconche	-	Lavage des camions rares
HBS	Froideconche	10 à 15 m ³ /mois	-

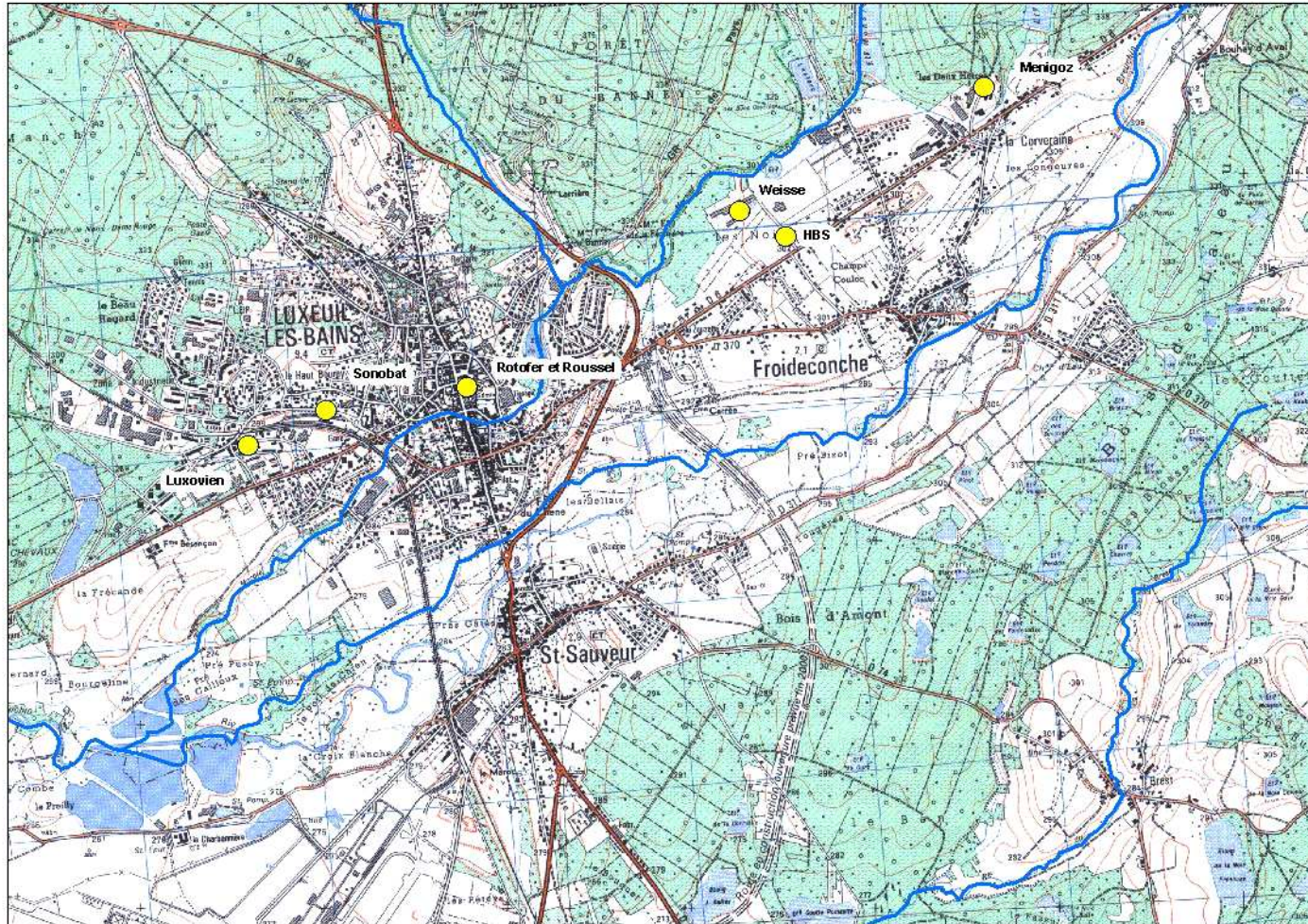


Figure 2-11 : Localisation des entreprises recensées dans l'étude de la CCI à proximité du canal du Morbief

En complément des besoins identifiés dans l'étude de la CCI, l'entretien mené par l'EPTB Saône-Doubs avec la commune de la Luxeuil a permis d'identifier les autres usages suivants :

- ✓ La société Cobra Europe (Depreux), dont le besoin est estimé à environ 150m³/jr : comme déjà évoqué plus haut, des manipulations des vannes d'alimentation du canal sont réalisées en été par les services techniques de la commune de Luxeuil sur demande de la société pour satisfaire ce besoin ;
- ✓ L'alimentation de l'étang de la Poche (besoin non connu) ;
- ✓ Le Séminaire de Luxeuil (besoin non connu).

Une autre entreprise potentiellement préleveuse est la société Delagrave (fabrication de mobilier scolaire) à Froideconche, mais ce prélèvement n'est pas confirmé. Les services techniques de Luxeuil ont également déclaré qu'il existe de nombreuses prises d'eau secondaire tout au long du canal, mais celles-ci ne sont pas recensées.

B- Evaluation des besoins par analyse des débits jaugés lors de la campagne d'août 2012

Les résultats des campagnes de jaugeages réalisées en août 2012, complétées par les jaugeages synchrones réalisés le 18/10/2011 à l'entrée du Morbief et à l'aval immédiat de Luxeuil sont rappelés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2-10 : Jaugeages le long du canal du Morbief

Site	2 Août 2012		16 Août 2012		18 Octobre 2011	
	Date	Q	Date	Q	Date	Q
Breuchin - amont prise eau Morbief	2/8/12 12:00	2.13	16/8/12 12:30	1.054	-	-
Morbief - aval immédiat prise d'eau	2/8/12 13:45	0.241	16/8/12 13:10	0.19	18/10/2011 12h00	0.309
Morbief - lieu-dit Les Noies	2/8/12 15:15	0.233	16/8/12 14:00	0.173		
Morbief - aval Luxeuil	2/8/12 16:00	0.187	16/8/12 15:00	0.081	18/10/2011 18h00	0.12
Total consommé		0.054		0.109		0.189

La ligne « total consommé » dans le tableau ci-dessous correspond à la différence entre le débit du Morbief à l'aval immédiat de la prise d'eau et le débit du Morbief à l'aval de Luxeuil. La différence de débit est très variable lors des trois campagnes, s'établissant à 50l/s le 2/08/2012, à 110l/s le 16/08/2012 et à 190l/s le 18/10/2011.

Ces différences sont difficiles à expliquer, hormis par le fait que l'activité industrielle potentiellement moins importante en août peut expliquer la relative faible différence entre débit entrant et sortant du Morbief. Il faut noter que d'éventuels prélèvements plus importants pourraient être compensés par une réalimentation du Morbief par les étangs Labbé, Monsieur et Leclerc, voir d'autres affluents mineurs du canal. Cette hypothèse est cependant tempérée par le fait que sur le principal affluent du canal, la Miredondaine, aucun écoulement n'a été constaté pour les campagnes de jaugeages d'août 2012.

En regardant de plus près les valeurs des débits jaugés, il ressort que la majorité du débit est « consommé » à l'aval du lieu-dit Les Noies. Cela limite sous tend l'hypothèse que la majorité des prélèvements dans le canal se font sur la commune de Luxeuil.

Dans tous les cas, il apparaît que malgré les éléments disponibles, trop d'incertitudes existent sur les besoins recensés sur le canal du Morbief. En effet, le seul besoin réellement quantifié à l'heure actuelle (pour la société Cobra Europe à hauteur de 150m³/jr, soit environ 2l/s) est loin de couvrir les débits réellement « consommés » sur le linéaire du canal. Sur cette base, il est clair que les besoins sur le canal devront être affinés dans l'optique éventuelle d'une modification du débit réservé à l'ouvrage de la Lie aux Moines.

Des investigations complémentaires doivent d'abord être envisagées pour affiner la connaissance des besoins sur le Morbief : celle-ci pourrait être complétée par un parcours pédestre systématique du canal afin de localiser précisément les prélèvements (sauvages ou non), mais aussi les dysfonctionnements (fuites, brèches,...). Par la suite, il sera nécessaire de prévoir des travaux permettant d'assurer des pertes minimum sur le canal, et ainsi de limiter les débits prélevés dans le Breuchin au strict besoin des différents usagers le long de l'ouvrage.

2.3.3 Chronique de prélèvement dans le Breuchin pour l'alimentation du canal du Morbief

Comme il a été vu précédemment, l'information sur les débits prélevés dans le Breuchin pour l'alimentation du Morbief est très parcellaire. Ceux-ci sont en effet très fortement influencés par le degré d'ouverture des vannes de la prise d'eau de la Lie aux Moines, sur lesquelles il n'existe aucun historique, ni aucune règle de gestion claire.

Il a donc été retenu, dans le cadre de la présente étude, d'utiliser préférentiellement les estimations du débit prélevé basée sur les jaugeages réalisées en août 2012 pour établir la relation entre débit s'écoulant dans le Breuchin et débit dérivé vers le Morbief, ce dernier étant borné par la capacité maximale estimée du canal à l'aval de l'ouvrage de la Lie aux Moines.

Les résultats des jaugeages réalisés à l'automne 2011 sont également présentés, même s'ils n'ont pas été réalisés de manière synchrone, et que pour les campagnes de septembre et novembre, le débit dans le Morbief a été estimé par soustraction du débit jaugé à l'aval de la prise d'eau à celui jaugé à l'amont. Les résultats obtenus lors de différentes campagnes de jaugeages sont présentés dans le Tableau 2-11 suivant.

Tableau 2-11 : Jaugeages amont / aval de la prise d'eau du Morbief

Campagne	Sept. 2011 (1)	Oct.2011 (2)	Nov. 2011 (1)	2 août 2012	16 août 2012
Amont prise d'eau	1.921	3.26	0.91	2.13	1.054
Aval prise d'eau	0.383	0.309	0.019	0.241	0.19

(1) : Débit sur Morbief estimé par soustraction des débits mesurés à l'amont et à l'aval de la prise d'eau

(2) : Mesures de débit non synchrones

Les résultats des jaugeages sont présentés sur le graphique ci-dessous.

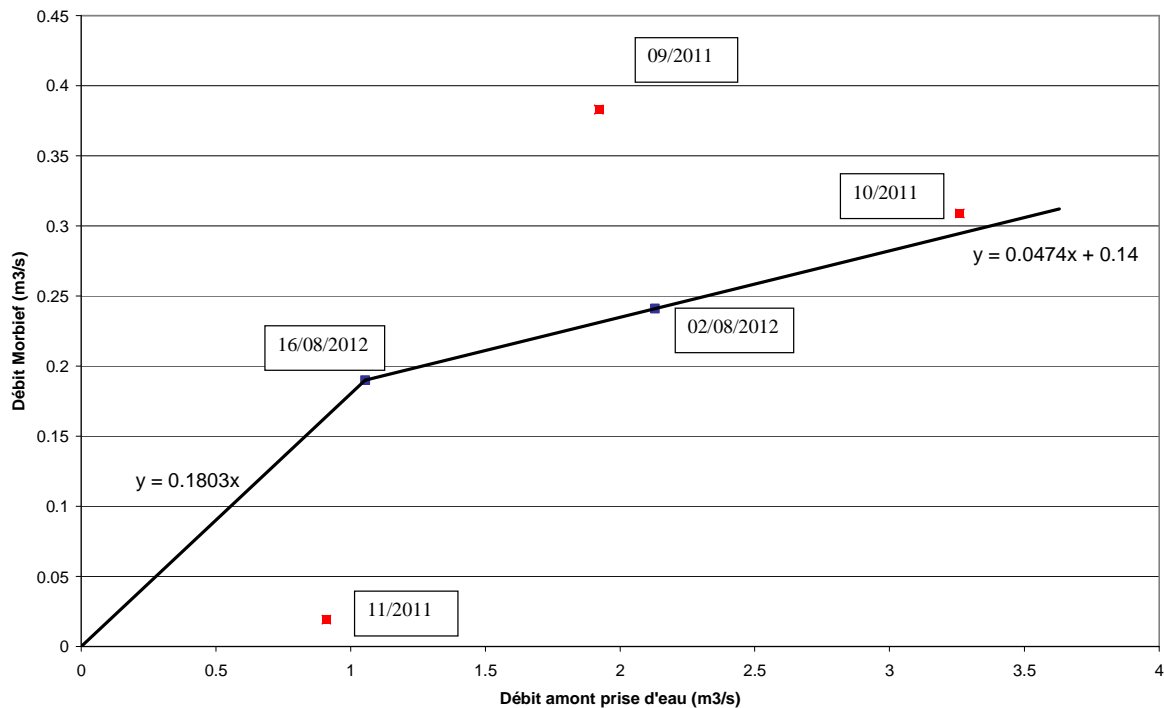


Figure 2-12 : Présentation des résultats des campagnes de jaugeages pour détermination des débits du Morbief

Sur la base de ces informations, il apparaît clairement qu'on ne retrouve aucune cohérence dans une éventuelle relation entre débits dans le Morbief et débits dans le Breuchin. Cela est certainement dû au fait que les vannes ont été manipulées entre les différentes campagnes. On imagine ainsi des vannes pleinement ouvertes pour la campagne de septembre 2011, et au contraire plutôt fermées en novembre 2011 (en prévision d'éventuelles crues à cette période, même si l'année 2011 a été marqué par un mois de novembre plutôt sec).

Il a donc été décidé que, dans le cadre de la présente analyse, le débit prélevé par le Morbief serait défini à partir des débits reconstitués à l'amont de la prise d'eau de la Lie aux Moines sur la base de la relation présentée sur le graphique ci-dessous, à savoir :

- ✓ Pour $Q_{\text{Breuchin}} < 1 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{Morbief}} = 0,1803 \cdot Q_{\text{Breuchin}}$
- ✓ Pour $Q_{\text{Breuchin}} > 1 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{Morbief}} = 0,047 \cdot Q_{\text{Breuchin}} + 0,14$

Cette dernière relation est ensuite étendue jusqu'à la capacité maximale du Morbief, dont la détermination est présentée ci-dessous.

La capacité maximale du Morbief a été déterminée par la formule de Strickler sur la base de la géométrie du canal à l'aval immédiat de la prise d'eau. Cette géométrie a été déterminée à partir d'un plan de masse topographique de la prise d'eau fourni par le Maître d'Ouvrage.

Le débit maximal de plein bord a été estimé à 700 l/s.

En considérant, une revanche de sécurité de 10cm, le débit maximal pouvant transiter dans le Morbief est de 400 l/s environ. Cette valeur constitue donc la limite supérieure retenue du débit pouvant être prélevé dans le Breuchin pour l'alimentation du canal.

2.3.4 Chronique de restitution du Morbief dans le Breuchin à l'aval de Luxeuil

La chronique de restitution du Morbief vers le Breuchin repose sur deux hypothèses de base :

- ✓ Pas d'assèchement du canal. Le débit minimal garanti est de 50 l/s.
- ✓ Le volume de prélèvements maximum par les industriels est de 250 l/s, sur la base des éléments présentés dans le paragraphe précédent.

Le débit restitué est modulé en fonction du débit d'entrée et des prélèvements effectués dans le canal.

- ✓ Pour un débit entrant compris entre 300 l/s et 400 l/s, les prélèvements sont de 250 l/s ;
- ✓ Pour un débit entrant compris entre 200 l/s et 300 l/s, les prélèvements sont de 150 l/s ;
- ✓ Pour un débit entrant compris entre 50 l/s et 200 l/s, les prélèvements sont de 50 l/s ;
- ✓ Pour un débit entrant inférieur à 50 l/s, aucun prélèvement n'est effectué dans le canal et la totalité du débit est restitué au Breuchin.

La chronique de restitution du Morbief a donc été construite sur cette base.

2.4 Reconstitution des chroniques de débit

2.4.1 Objectifs

L'objectif de la reconstitution de l'hydrologie désinfluencée est de pouvoir disposer des débits désinfluencés au droit de différentes stations hydrométriques ou points d'intérêt du bassin versant. Une telle reconstitution permet d'estimer le régime hydrologique du bassin versant en l'absence d'action anthropique sur les milieux aquatiques de surface et souterrain. Or sur le bassin versant, la seule station hydrométrique présente est celle de Breuches sur le Breuchin (identifiée plus loin comme le point G).

Il a donc été nécessaire de reconstituer des chroniques de débits fictives au droit de différents points de référence sur le bassin versant. Au total, trois points supplémentaires ont été retenus. Il s'agit des points A, L et H, qui correspondent respectivement au Breuchin à l'amont du barrage de la Lie aux Moines, de la Lanterne à la Chapelle-les-Luxeuil et à la Lanterne à l'aval de la confluence Breuchin/Lanterne. Ces points sont localisés sur la Figure 2-13 .

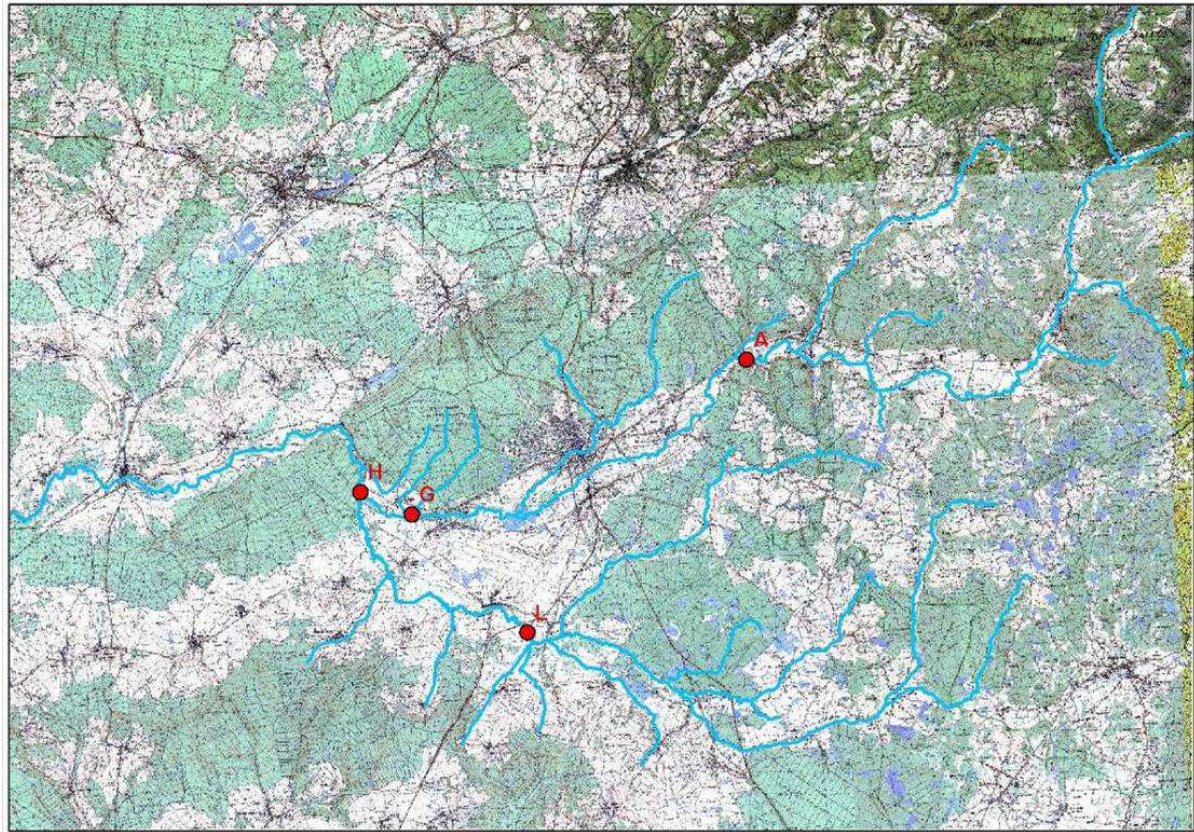


Figure 2-13 : Points de référence pour la reconstitution des chroniques de débits

2.4.2 Méthode

A- Reconstitution de la chronique de débits fictive au point A

La chronique de débit au point A a été construite à partir des valeurs de débits enregistrées au niveau de Proiselière-et-Langle. La formule de transposition décrite précédemment a été appliquée, en utilisant un exposant régional α égal à ceux indiqués dans le Tableau 2-3.

B- Reconstitution de la chronique fictive au point H

La chronique fictive de débit au point H a été construite sur le même principe que celle du point A. La station hydrométrique de référence est celle située à Fleurey-les-Faverney loin à l'aval de la confluence Breuchin – Lanterne.

Dans le cas du point H, la transposition directe des débits en fonction des surfaces des bassins versants a été réalisée sur la base des coefficients de transposition mensuels établis sur la base de la comparaison des débits entre les stations des Fleurey-les-Favernay et Briaucourt sur la période 1968-1975. Les coefficients de transposition utilisés sont ceux listés dans le Tableau 2-4.

C- Reconstitution de la chronique fictive au point L

La chronique de débit fictive au point L a été obtenue en soustrayant l'apport du Breuchin mesuré à la station hydrométrique de Breuches à la chronique de débit fictive reconstituée au point H. Ensuite la formule de transposition classique des débits d'étiage en fonction de la taille des bassins versant a été appliquée. Le coefficient α est une nouvelle fois égal à ceux indiqués dans le Tableau 2-3.

2.4.3 Débits caractéristiques

Les débits caractéristiques obtenus à partir des chroniques de débits reconstituées sur dix ans sont présentées dans le Sur les stations de la Lanterne, les incertitudes pesant sur la méthode de reconstitution/transposition des chroniques ne permettent d'envisager le traitement des valeurs infra-mensuelles (VCN3, VCN10) : les valeurs caractéristiques correspondantes ne sont donc pas présentées sur les points L et H.

Tableau 2-12. Sur les stations de la Lanterne, les incertitudes pesant sur la méthode de reconstitution/transposition des chroniques ne permettent d'envisager le traitement des valeurs infra-mensuelles (VCN3, VCN10) : les valeurs caractéristiques correspondantes ne sont donc pas présentées sur les points L et H.

Tableau 2-12 : Débits caractéristiques d'étiage

Nom du bassin versant	Module (m3/s)	QMNA5 (m3/s)	VCN3 (5 ans) (m3/s)	VCN10 (5 ans) (m3/s)
Breuchin amont Point A	5.186	0.566	0.299	0.339
Lanterne amont Point L	2.683	0.217	/	/
Breuchin Point G (mesurés à la station hydrométrique de Breuches)	6.434	0.590	0.376	0.434
Lanterne aval confluence Point H	9.473	1.088	/	/

2.5 Investigations complémentaires sur les plans d'eau

Les têtes de bassins versants du Breuchin et de la Lanterne sont occupées par de nombreux étangs et plans d'eau (Plateau des milles étangs). Parmi ces plans d'eau, certains sont naturels mais d'autres ont été aménagés par l'homme depuis le XIII^{ème} siècle jusqu'à des époques plus récentes.

La présence de ces plans d'eau en têtes de bassins a un impact certain sur les écoulements. En effet les plans d'eau vont agir sur les écoulements sur les points suivants :

- ✓ Pertes par évaporation ;
- ✓ Interception du ruissellement si les plans d'eau ne sont pas by-passés.

Si l'impact des plans d'eau sur l'interception du ruissellement est difficile à mener sans disposer d'une connaissance fine de chaque plan d'eau, il est possible d'évaluer les pertes des plans d'eau par évaporation. L'impact direct de l'évaporation due aux plans d'eau sur les écoulements peut alors être déterminé en soustrayant aux volumes évaporés les volumes qui auraient été évapotranspirés si les superficies en eau avaient été végétalisées (par exemple en herbe).

Les éléments présentés ci-après visent à estimer l'impact de l'évaporation des plans d'eau sur les écoulements selon cette logique.

2.5.1 Localisation des plans d'eau

La carte ci-dessous présente la localisation des plans d'eau sur les bassins versants de la Lanterne et du Breuchin à l'amont de la confluence Breuchin-Lanterne. Le fichier SIG des plans d'eau a été fourni par l'EPTB Saône et Doubs.

Sur cette base, les surfaces de plan d'eau pour les sous bassin versant sont de :

- ✓ 498 hectares pour le bassin versant de la Lanterne (de sa source à la confluence avec le Breuchin) ;
- ✓ 458 hectares pour le bassin versant du Breuchin (de sa source à la confluence avec la Lanterne).

La chronique des volumes mensuels évaporés sur l'ensemble de la zone d'étude (bassin versant de la Lanterne jusqu'à l'aval immédiat de la confluence avec le Breuchin) est comparée au volume évapotranspiré sur une surface de prairie équivalente calculée. Les résultats sont présentés en m^3/s , afin de pouvoir être aisément comparés aux débits écoulés en rivière.

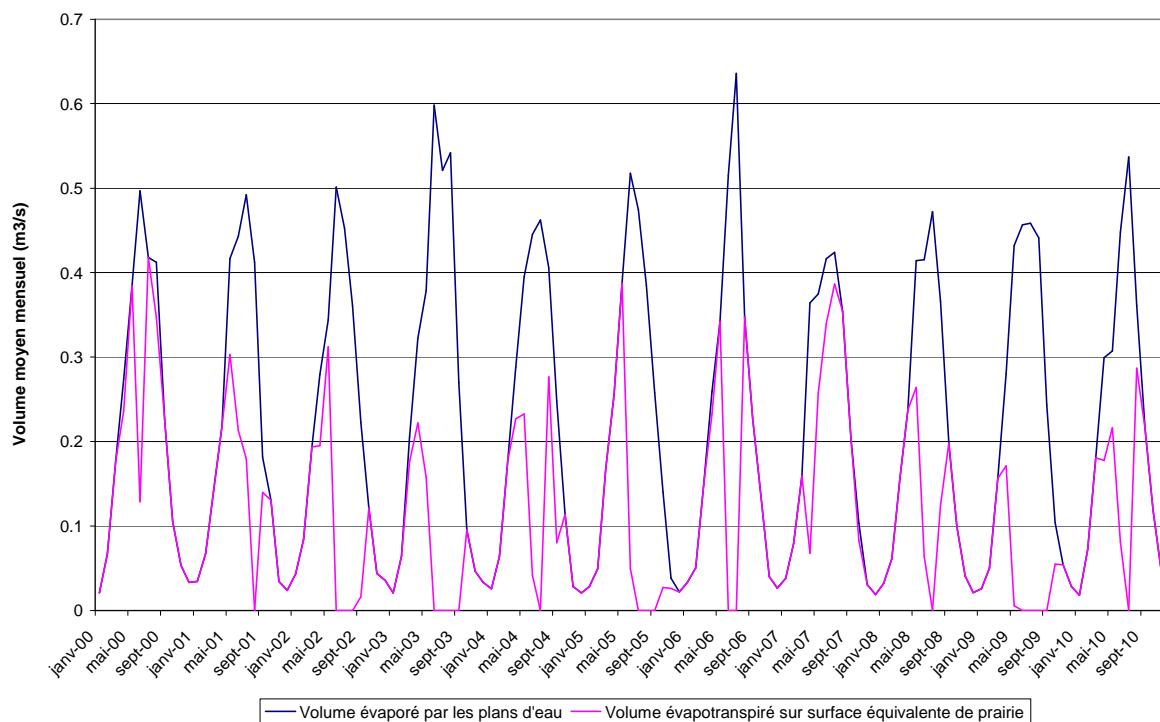


Figure 2-15 : Chroniques des volumes évaporés sur les plans d'eau du bassin versant et des volumes évapotranspirés sur une surface équivalente en prairie

Le graphique ci-dessus fournit les enseignements suivants :

- ✓ La différence entre volumes évaporés et évapotranspirés est nulle hors des périodes les plus sèches de l'année (globalement d'octobre à avril) ;
- ✓ Pour les années pour lesquels les étés ont été relativement humides (2000, 2007), il y a peu de différence entre le volume évaporé pour des surfaces en plan d'eau ou en prairie ;
- ✓ En revanche, pour les années avec des étés très secs (2002, 2003, 2009), on observe des différences très importantes entre les deux chroniques, pouvant s'élever à plus de 500l/s. Cela peut donc représenter une part non négligeable du débit écoulé.

Afin de mieux visualiser l'impact du débit évaporé dû à la présence des plans d'eau, la figure suivante présente, pour la période 2001-2010, une comparaison des débits mensuels moyens écoulés à la station du Breuchin à Breuches et la différence de volume entre volume évaporé avec les plans d'eau existants et avec une surface équivalente en prairie, ceci sur le seul bassin versant du Breuchin.

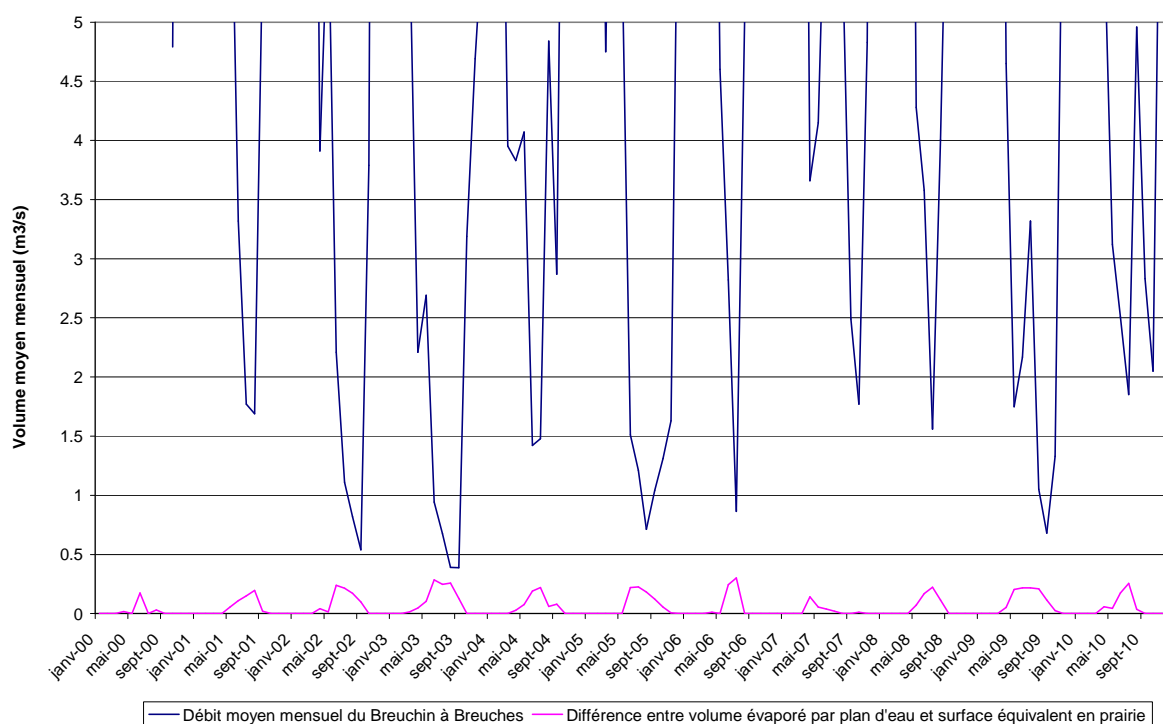


Figure 2-16 : Comparaison des débits moyens mensuels du Breuchin à Breuches et de la différence entre volume évaporé par les plans d'eau et une surface équivalente en prairie

La figure ci-dessus montre que la différence entre volumes évaporé par les plans d'eau et des prairies est généralement très inférieure au débit écoulé en rivière sur le bassin versant du Breuchin. On constate cependant que, pendant certains étés très secs (2002, 2003), l'impact estimé de l'évaporation des plans d'eau (courbe rose) peut représenter plus de 50% du débit mesuré en rivière (cas de l'été 2003). Cela montre que les plans d'eau peuvent avoir un impact non négligeable sur les volumes écoulés, d'autant plus que l'analyse réalisée ici ne retient que l'évaporation comme paramètre potentiellement impactant des plans d'eau sur les écoulements. Hors, comme il a été évoqué plus haut, la présence de plans d'eau peut impacter les débits écoulés au delà des simples pertes par évaporation.

Si la présence de plans d'eau induit des impacts sur les débits écoulés qui sont directement imputables à l'action anthropique (dans la mesure où ces plans d'eau ne sont pas naturels), la résorption/diminution de ces pertes dans un contexte de gestion est plus délicat (notamment pour les pertes par évaporation des plans d'eau).

Dans le cadre de la reconstitution de l'hydrologie désinfluencée, deux scénarios seront cependant modélisés afin de tenir compte de cette possibilité :

- ✓ Reconstitution de l'hydrologie désinfluencée en considérant les pertes par évaporation des plans d'eau comme immuables (c'est-à-dire en ne les prenant pas en compte comme prélèvement dans la modélisation) ;
- ✓ Reconstitution de l'hydrologie désinfluencée en considérant ces pertes comme un prélèvement dans la modélisation.

3

Reconstitution de l'hydrologie désinfluencée

3.1 Objectifs et principes

L'objectif de la reconstitution de l'hydrologie désinfluencée est de pouvoir disposer des débits désinfluencés des prélèvements et rejets au milieu au droit de différentes stations hydrométriques ou points de référence du bassin versant. Une telle reconstitution permet d'estimer le régime hydrologique du bassin versant en l'absence d'action anthropique sur les milieux aquatiques de surface et souterrain. Ces données serviront par la suite de base à la détermination des Débits d'Objectif d'Étiage.

La reconstitution de l'hydrologie désinfluencée permettra de disposer, à toutes les stations hydrométriques considérées :

- ✓ D'une série temporelle de débits désinfluencés des prélèvements et rejets liés à l'activité humaine sur la période 2000-2010.
- ✓ Des valeurs caractéristiques d'étiage (QMNA5, VCN3 (5 ans) et VCN10 (5 ans)) sur la période 2000-2010.

La reconstitution de l'hydrologie désinfluencée est basée sur la reconstitution des séries temporelles de débits par une modélisation pluie-débit. Cette approche est privilégiée pour la totalité des sous-bassins versants du Breuchin-Lanterne.

L'utilisation de la modélisation pluie-débit pour la reconstitution de l'hydrologie désinfluencée repose sur les étapes suivantes :

- ✓ Étape 1 : Construction de modèles pluie-débit pour chaque sous-bassin versant analysé en intégrant leur superficie, les données de pluviométrie, d'évapotranspiration et les prélèvements et rejets tels que caractérisés lors des Phases 1, 2 et 3 de la présente étude.
- ✓ Étape 2 : Calage des paramètres des modèles hydrologiques pour reproduire correctement les chroniques mesurées ou reconstituées.
- ✓ Étape 3 : Une fois les modèles calés de manière satisfaisante, nouvelle simulation du cycle hydrologique sur la période 2000-2010 sur les bassins versants étudiés, **en ne prenant plus en compte les prélèvements et rejets.**
- ✓ Étape 4 : Comparaison des séries temporelles et des valeurs caractéristiques d'étiage issues des simulations avec et sans intégration des prélèvements et rejets.

3.2 Méthodologie

3.2.1 Description du modèle hydrologique

La modélisation hydrologique sur le bassin versant du Breuchin-Lanterne a été réalisée avec le modèle hydrologique NAM, module du code de calcul MIKE11, développé par le Danish Hydraulic Institute (DHI).

NAM est un modèle conceptuel du volet terrestre du cycle hydrologique. Il permet de simuler les processus pluie-ruissellement à l'échelle d'un bassin versant, en intégrant la problématique des écoulements souterrains. NAM est un modèle du type conceptuel, déterministe, exigeant peu de données en entrée.

NAM simule le processus pluie-débit pour les bassins versants. Il fonctionne en tenant compte simultanément du niveau d'eau de quatre différents réservoirs interconnectés qui caractérisent les éléments du bassin versant :

- ✓ La surface du sol ;
- ✓ La zone racinaire ;
- ✓ Un premier niveau de réservoir d'eaux souterraines ;
- ✓ Un deuxième niveau de réservoir d'eaux souterraines.

Les données d'entrée du modèle sont les suivantes :

- ✓ Précipitation ;
- ✓ Évapotranspiration potentielle ;
- ✓ Enregistrements hydrométriques pour caler le modèle.

A partir des données introduites, le modèle permet d'accéder à divers résultats :

- ✓ Les débits de ruissellement ;
- ✓ La hauteur d'eau disponible dans les divers réservoirs ;
- ✓ Certaines informations sur le cycle hydrologique, notamment la recharge des eaux souterraines.

La figure 2.1 suivante présente de manière conceptuelle les processus hydrologiques intégrés au module NAM de MIKE11.

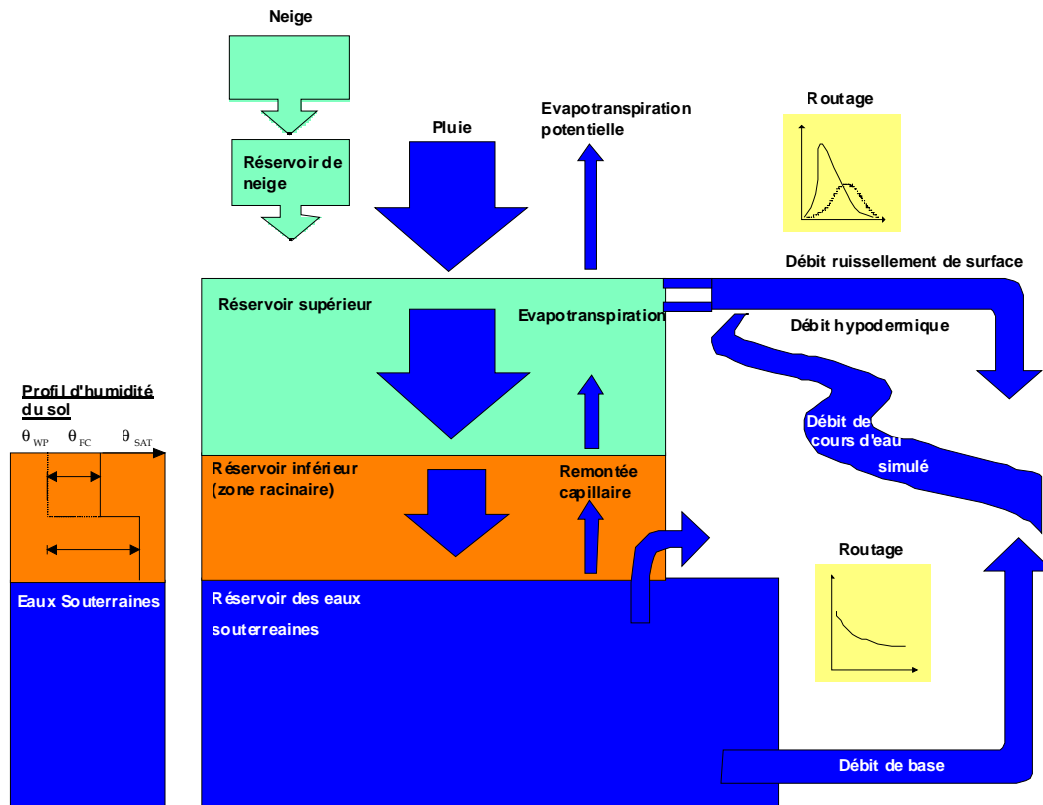


Figure 3-1 : Schéma conceptuel des processus hydrologiques modélisés dans NAM

3.2.2 Données d'entrée du modèle

3.2.2.1 Bassin versant considéré

L'approche retenue pour la modélisation pluie-débit est de considérer chaque bassin versant de manière globale, c'est-à-dire de sa source jusqu'à l'exutoire constitué par une station hydrométrique. Les bassins versants sont donc imbriqués les uns dans les autres à mesure que l'on s'approche de l'aval.

Rappelons, que seule la station hydrométrique de Breuches est présente sur la zone d'étude. Des chroniques de débits ont donc été reconstituées au droit de différents points stratégiques qui constituent les exutoires des autres bassins-versants.

Les bassins versants retenus pour l'analyse sont présentés dans le Tableau 3-1 ci-dessous.

Tableau 3-1 : Caractéristiques des bassins versants considérés pour la modélisation pluie-débit

Nom du bassin versant	Superficie (km ²)	Exutoire
Le Breuchin amont	160	Point A : à l'aval de Breuchotte
Le Breuchin à Breuches	220	Station hydrométrique Breuchin à Breuches
La Lanterne amont	123	Point L : à l'aval de Chapelle-lès-Luxeuil
La lanterne à l'aval de la confluence avec le Breuchin	380	Point H

La Figure 3-2 permet de localiser les bassins versants considérés pour la modélisation pluie-débit ainsi que les exutoires auxquels ils sont rattachés.

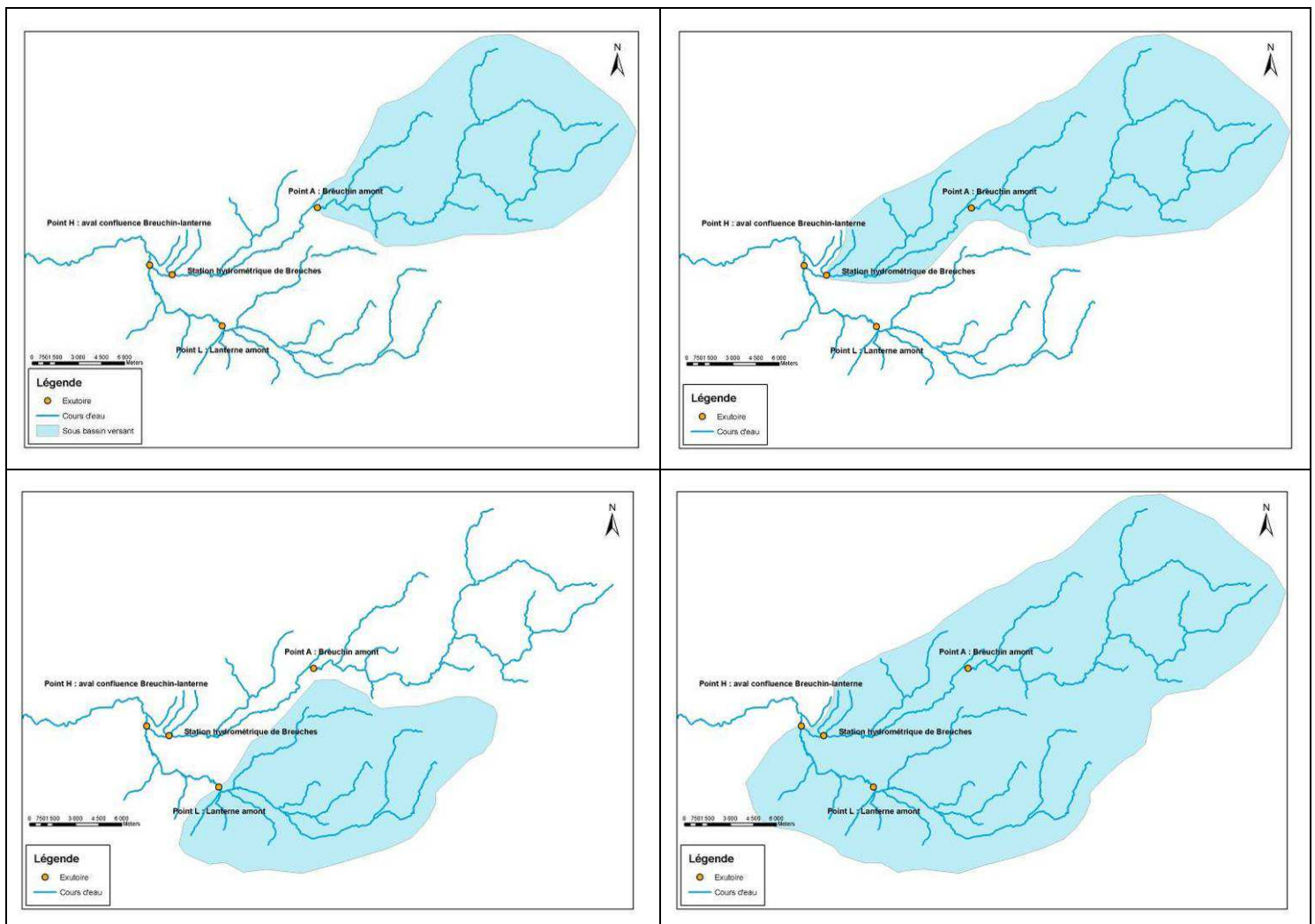
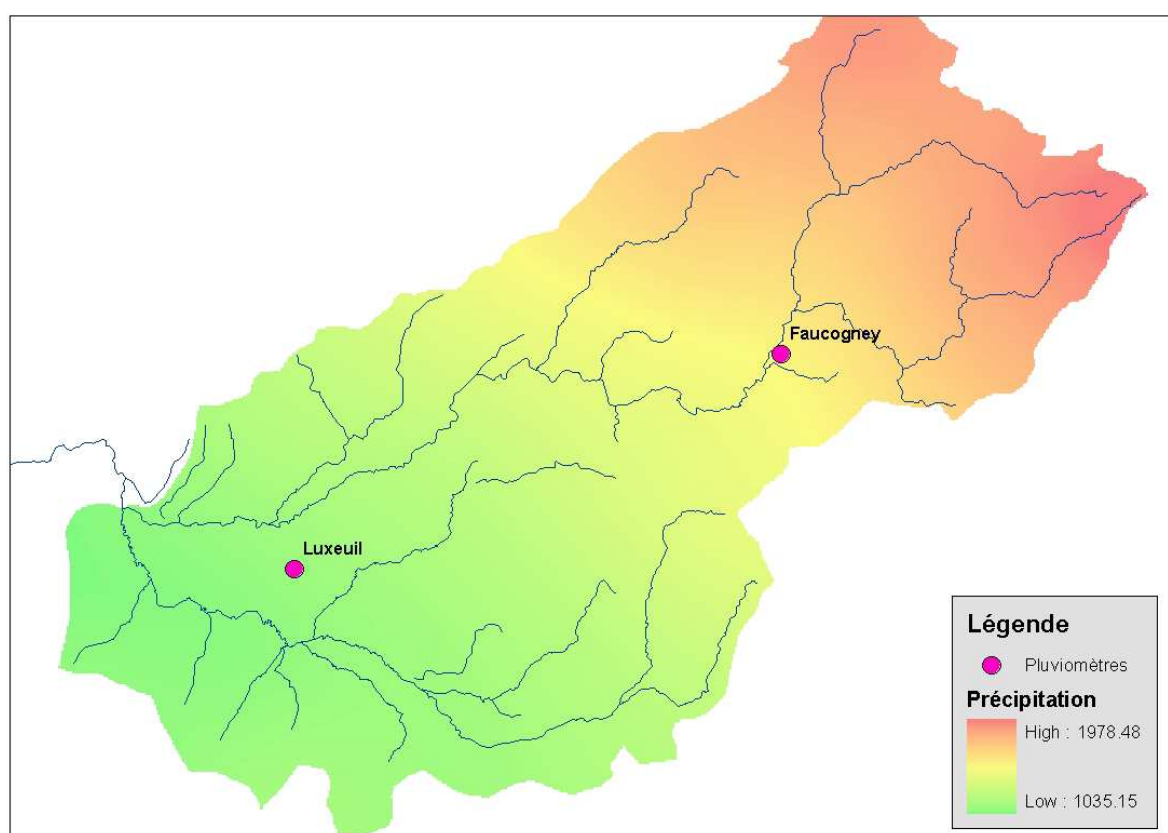


Figure 3-2 : Cartes des bassins versants considérés pour la modélisation pluie-débit

3.2.2.2 Données pluviométriques

Les données pluviométriques utilisées pour alimenter le modèle pluie-débit ont été acquises auprès de Météo France au pas de temps journalier sur la période 2000-2010 pour les stations pluviométriques de Luxeuil-les-Bains et Facogney-et-la-Mer (les deux seules stations pluviométriques ouvertes sur la zone d'étude pour la période analysée). La répartition des pluies sur les différents bassins versants peut être estimée sur la base des données AURELHY de MétéoFrance qui donnent, à l'échelle de la France, les précipitations normales sur la période 1971-2000 à la maille du km². Les données AURELHY sur la zone d'étude sont présentées sur la carte ci-dessous. La répartition des pluies s'est appuyée sur la meilleure répartition des données mesurées aux pluviomètres aux valeurs des normales sur 1971-2000.



3.2.2.3 Données d'évapotranspiration potentielle

NAM nécessite l'introduction de données d'évapotranspiration potentielle (ETP) afin de calculer la part des précipitations et du stockage surfacique soustrait au complexe eaux de surface / eaux souterraines pour retourner à l'atmosphère. Les données d'ETP Penman mesurées à Luxeuil-les-Bains ont également été acquises auprès de Météo France au pas de temps décadaire sur la période 2000-2010.

3.2.2.4 Données hydrométriques

Les chroniques de débits reconstituées ou extraites du site de la Banque Hydro seront intégrées au modèle pluie-débit et serviront de base au calage du modèle. Le calage s'attachera à reproduire le plus fidèlement possible la forme des chroniques et les débits caractéristiques d'étiage enregistrés (reconstitués).

Pour s'assurer de la pertinence des résultats obtenus et de la cohérence entre les débits comparés, il a été nécessaire de recalculer les débits caractéristiques d'étiage (Module, QMNA5, VCN3 (5 ans) et VCN10 (5 ans)) sur une période commune.

Les débits enregistrés à la station hydrométrique de Breuches ont été collectés sur toute la période disponible, de 2000 à 2012. Les chroniques de débits pour les autres exutoires ont, quant à elles, été reconstituées sur la période 2000-2010.

Le modèle pluie-débit requiert une période initiale critique pour converger, période sur laquelle les résultats ne sont pas exploitables. La comparaison des débits a donc été faite sur la période **2001 à 2010**.

Les valeurs caractéristiques d'étiage calculées sur la période considérée sont présentées dans le Tableau 3-2.

Tableau 3-2 : Débits caractéristiques sur la période 2001-2010

Nom du bassin versant	Module (m3/s)	QMNA5 (m3/s)	VCN3 (5 ans) (m3/s)	VCN10 (5 ans) (m3/s)
Le Breuchin amont	5.186	0.566	0.299	0.339
La Lanterne amont	2.683	0.217	/	/
Le Breuchin à Breuches	6.434	0.590	0.376	0.434
La lanterne à l'aval de la confluence avec le Breuchin	9.473	1.088	/	/

3.2.2.5 Données sur les prélèvements / rejets

Les données de prélèvements et de rejets intégrées dans le modèle pluie-débit sont issues des investigations menées lors des phases 1 et 2 et synthétisées dans le premier rapport rendu. Les données relatives au prélèvement de la prise d'eau du Morbief et aux plans d'eau sont tirées de la première partie du présent rapport. Comme décrit précédemment, les données ont généralement été acquises au pas de temps annuel, parfois mensuel (pour certains prélèvements AEP). Elles ont ensuite été désagrégées au pas de temps journalier sur la période 2000-2010. Par le biais de requêtes spatiales sous logiciel SIG, tous les prélèvements et rejets sont identifiés à l'échelle des différents sous-bassins versants.

Enfin, les prélèvements sont sommés et les rejets soustraits au pas de temps journaliers de manière à constituer une chronique journalière des prélèvements nets pour chaque bassin versant.

3.2.2.6 Paramètres des modèles

Le calage des modèles hydrologiques a été réalisé en faisant varier un certain nombre de paramètres. Ceux-ci sont présentés dans le Tableau 3-3.

Tableau 3-3 : Liste descriptive des paramètres utilisés pour le calage des modèles pluie-débit sous NAM

Abréviation du paramètre	Nom du paramètre	Unité	Description
Umax	Maximum water content in surface storage	mm	Contenance totale cumulée de la zone d'interception, des dépressions de surface et dans les premiers centimètres du sol
Lmax	Maximum water content in root zone storage	mm	Contenance maximale en eau de la zone racinaire, disponible pour la transpiration des plantes
CQOF	Overland flow runoff coefficient	/	Ratio de la pluie excédentaire ruisselant en surface (le reste étant amené à s'infiltrer)
CKIF	Time constant for interflow	hr	Détermine la quantité d'eau dans la zone intermédiaire, celle-ci diminuant avec l'augmentation de la valeur du paramètre
CK1, 2	Time constant for routing overland flow	hr	Détermine la forme du pic des hydrogrammes
TOF	Root zone threshold value for overland flow	/	Valeur relative d'humectation de la zone racinaire (L/Lmax) à partir de laquelle un ruissellement de surface est généré
TIF	Root zone threshold value for inter flow	/	Valeur relative d'humectation de la zone racinaire (L/Lmax) à partir de laquelle un écoulement est généré dans la zone intermédiaire
CKBF	Time constant for routing baseflow	hr	Détermine la forme de la courbe de tarissement des hydrogrammes
TG	Root zone threshold value for ground water recharge	/	Valeur relative d'humectation de la zone racinaire (L/Lmax) à partir de laquelle la nappe souterraine se recharge

3.3 Limites de la reconstitution de l'hydrologie désinfluencée

Avant de présenter les résultats obtenus pour le calage du modèle et l'hydrologie désinfluencée, il est nécessaire de rappeler les points suivants :

- ✓ Seule la station hydrométrique de Breuches sur le Breuchin a permis de disposer d'un chronique mesurée permettant de caler réellement le modèle hydrologique sur le secteur d'étude. Pour les autres secteurs étudiés, des chroniques fictives de débits ont été reconstituées selon le principe de transposition expliqué précédemment. Ces chroniques ont été reconstituées sur la base des données disponibles sur le secteur, mais restent néanmoins soumises à des incertitudes (incertitudes sur les débits mesurés aux stations, sur les coefficients de transposition,...). Ainsi, les chroniques obtenues sont certainement plus appropriées pour l'analyse des débits mensuels (ou supérieurs) que pour l'analyse sur des épisodes courts (tant en étiage (VCN) qu'en crue) ;
- ✓ Des incertitudes inhérentes aux dispositifs de mesure existent sur les stations hydrométriques. Si celles-ci sont plus facilement quantifiables que les incertitudes liées aux chroniques de débits fictives, elles sont néanmoins à conserver à l'esprit dans le cadre de l'exploitation des résultats (à noter que ces incertitudes se répercutent de facto sur les chroniques de débits reconstituées) ;

- ✓ Des incertitudes existent également quant à la connaissance des volumes prélevés/rejetés au milieu naturel. Cela est particulièrement vrai pour le canal du Morbief. Les hypothèses faites pour considérer les volumes prélevés/rejetés au niveau de la prise d'eau de la Lie aux Moines sont présentées dans la première partie du présent rapport.

A ce stade, il semble important de souligner l'imprécision relative des données exploitées. Les résultats du modèle permettront d'accéder à des tendances mensuelles moyennes pour l'hydrologie désinfluencée.

3.4 Calage du modèle hydrologique

3.4.1 Principe du calage

Le calage des modèles hydrologiques s'est focalisé sur la période 2001-2010, le modèle nécessitant une période initiale pour converger. Les modèles hydrologiques ont été calés pour chaque bassin versant en utilisant tout d'abord la fonction d'autocalage de NAM (recherche itérative de la meilleure solution numérique de l'ensemble des paramètres pour maximiser la vraisemblance entre les débits mesurés et simulés). De manière générale, le calage a été « forcé » pour atteindre la meilleure vraisemblance des débits moyens et des débits d'étiage. Une fois l'autocalage terminé, le calage a été affiné par une modification « manuelle » des paramètres afin de valoriser au mieux les éléments suivants :

- ✓ La meilleure reproduction par le modèle de la forme de la chronique de débits mesurée sur la période 2001-2010 : le calage s'est particulièrement intéressé aux périodes d'étiage, en maximisant la vraisemblance des pentes de tarissement des modèles et la présence/absence d'assecs. La mesure de la qualité du calage du modèle s'est faite en utilisant le critère de Nash (E), en mesurant la vraisemblance des chroniques sur l'ensemble des débits, et ceux inférieurs à la moitié du module. Ce critère adimensionnel a été proposé par Nash et Sutcliffe (1970). Il est défini par :

$$E = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2} \right) \cdot 100$$

Si E = 100%, l'ajustement est parfait, par contre si E < 0, le débit calculé par le modèle est une plus mauvaise estimation que le simple débit moyen.

- ✓ La meilleure reproduction des valeurs caractéristiques hydrologiques d'étiage, notamment le module interannuel (et donc le 1/10^e du module), le débit mensuel minimal de période de retour 5 ans (QMNA5), le débit minimal sur 3 jours consécutifs de période de retour 5 ans (VCN3 (5 ans)) et le débit minimal sur 10 jours consécutifs de période de retour 5 ans (VCN10 (5 ans)).

3.4.2 Hypothèses analysées quant à l'impact de l'évaporation des plans d'eau

Comme il a été évoqué plus haut, il a été discuté en secrétariat technique la possibilité d'approcher l'impact de l'évaporation des plans d'eau de la zone d'étude sur les écoulements. Pour cela, SAFEGE a proposé de réaliser la reconstitution de l'hydrologie désinfluencée pour deux situations :

- ✓ La première exclut l'évaporation des plans d'eau des prélèvements : cette évaporation est ici jugée irréversible, et l'impact des plans d'eau est considéré comme « naturel », c'est-à-dire qu'il ne sera pas exclu du bilan hydrique pour la reconstitution des débits désinfluencés ;
- ✓ La seconde inclut l'évaporation des plans d'eau dans les prélèvements : l'hypothèse est de considérer que, en hydrologie désinfluencée, l'évaporation des plans d'eau sera résorbée. Afin de prendre en compte cette hypothèse, on considérera dans la chroniques de prélèvements globale de chaque sous bassin versant un prélèvement spécifique constitué de la différence entre le débit (ou volume) évaporé par les plans d'eau, celui qui serait évaporé sur une surface équivalente de prairie. Les éléments de détermination de cette chronique sont présentés dans le paragraphe 2.5.2 du présent rapport.

Les résultats du calage du modèle hydrologique et du calcul des débits désinfluencés seront donc présentés pour les deux hypothèses étudiées.

3.4.3 Résultats du calage – Simulations considérant l'évaporation des plans d'eau comme un prélèvement

Les résultats du calage sont présentés ci-dessous pour les différents bassins versants.

3.4.3.1 Bassin versant du Breuchin amont : Exutoire point A

La Figure 3-4 suivante présente une comparaison des débits reconstitués au point A pour le bassin versant du Breuchin amont et les débits simulés par le modèle pluie-débit à l'issue du processus de calage. Le premier graphique présente une vue globale de la chronique hydrologique, alors que le second se focalise sur les débits inférieurs à la moitié du module, soit $2.25 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour les débits observés inférieurs à la moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 94%. La reproduction des débits pendant les périodes de basses eaux est donc fidèle à ceux reconstitués à ce point.

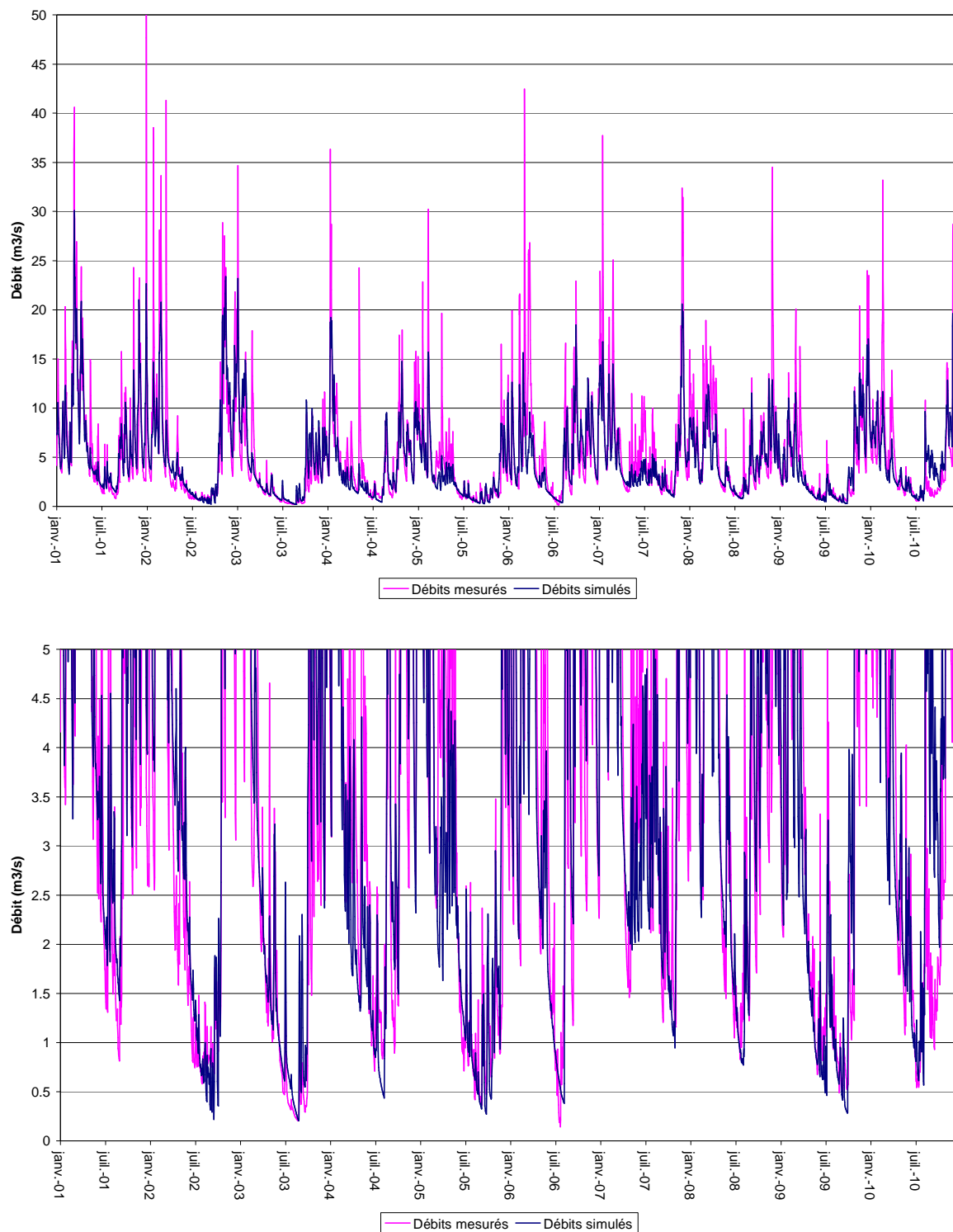


Figure 3-4 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et reconstitués pour le bassin versant du Breuchin amont au point A

La comparaison des débits caractéristiques est présentée dans le Tableau 3-4.

Tableau 3-4 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage reconstituées au point A et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010

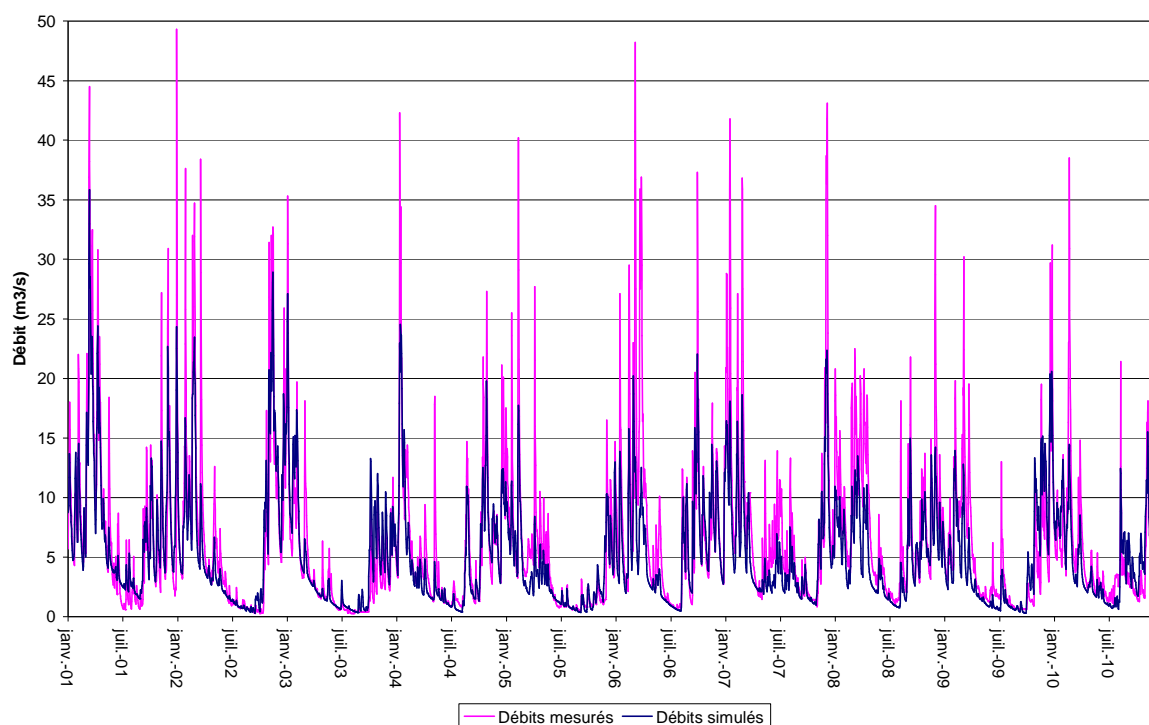
	QMNA5	VCN3(5)	VCN10(5)	Module	1/10e Module	1/20e Module
Valeur reconstituée	0.566	0.299	0.339	5.186	0.519	0.259
Valeur simulée	0.579	0.258	0.313	4.713	0.471	0.236
Erreur absolue (m ³ /s)	0.014	-0.042	-0.026	-0.473	-0.047	-0.024
Écart relatif	2%	-14%	-8%	-9%	-9%	-9%

3.4.3.2 Bassin versant du Breuchin à Breuches : Exutoire point

G

La Figure 3-5 suivante présente une comparaison des débits enregistrés à la station hydrométrique de Breuches et les débits simulés par le modèle pluie-débit à l'issue du processus de calage. Le premier graphique présente une vue globale de la chronique hydrologique, alors que le second se focalise sur les débits inférieurs à la moitié du module, soit 2.54 m³/s.

Pour les débits observés inférieurs à la moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 94%. La reproduction des débits pendant les périodes de basses eaux est donc fidèle à ceux mesurés à la station hydrométrique de Breuches.



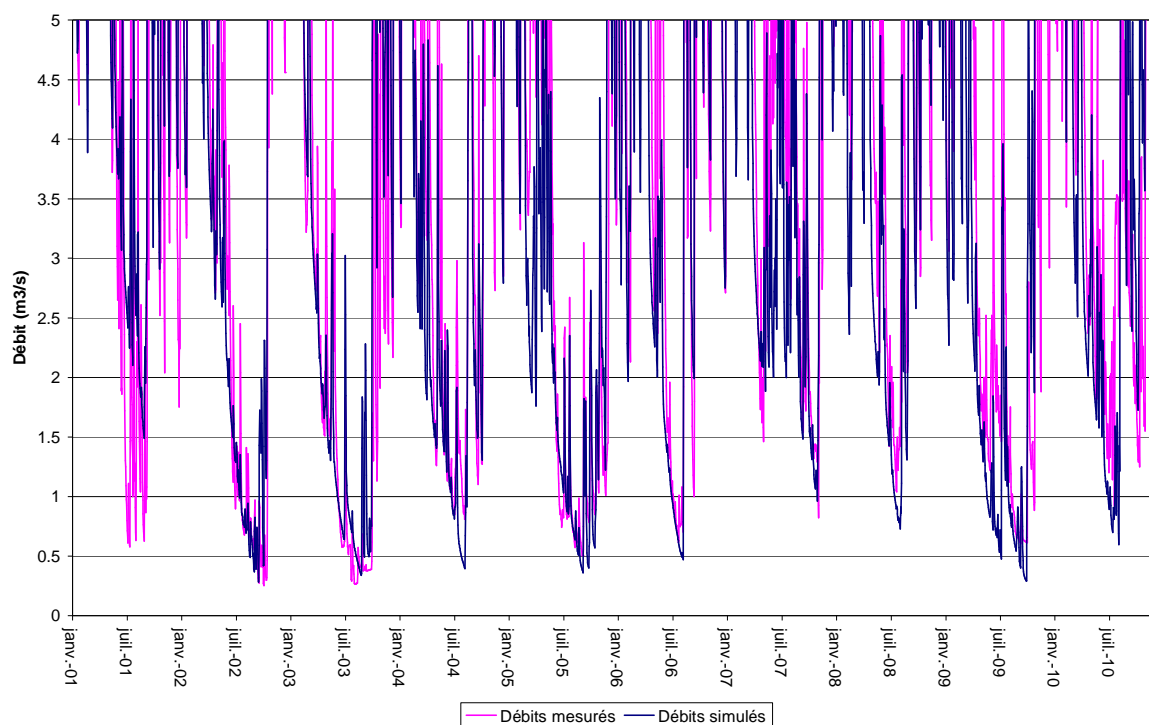


Figure 3-5 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et mesurés pour le bassin versant du Breuchin à Breuches

La comparaison des débits caractéristiques est présentée dans le Tableau 3-5.

Tableau 3-5 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Breuches et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010

	QMNA5	VCN3(5)	VCN10(5)	Module	1/10e Module	1/20e Module
Valeur mesurée	0.590	0.376	0.434	6.434	0.643	0.322
Valeur simulée	0.639	0.339	0.382	5.328	0.533	0.266
Erreur absolue (m3/s)	0.049	-0.037	-0.052	-1.106	-0.111	-0.055
Écart relatif	8%	-10%	-12%	-17%	-17%	-17%

3.4.3.3 Bassin versant de la Lanterne amont : Exutoire point L

La Figure 3-6 suivante présente une comparaison des débits reconstitués au point L pour le bassin versant de la Lanterne amont et les débits simulés par le modèle pluie-débit à l'issue du processus de calage. La comparaison se fait seulement sur les débits mensuels, de nombreuses incertitudes pesant sur les données infra-mensuelles reconstituées sur la Lanterne.

Pour les débits observés inférieurs à la moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 65%. Les résultats ne sont donc pas optimaux, notamment pour certaines années (2007, 2008). Les chroniques reconstituées permettent cependant d'obtenir des résultats satisfaisants en terme de reproduction du module et des débits mensuels d'étiage (QMNA5).

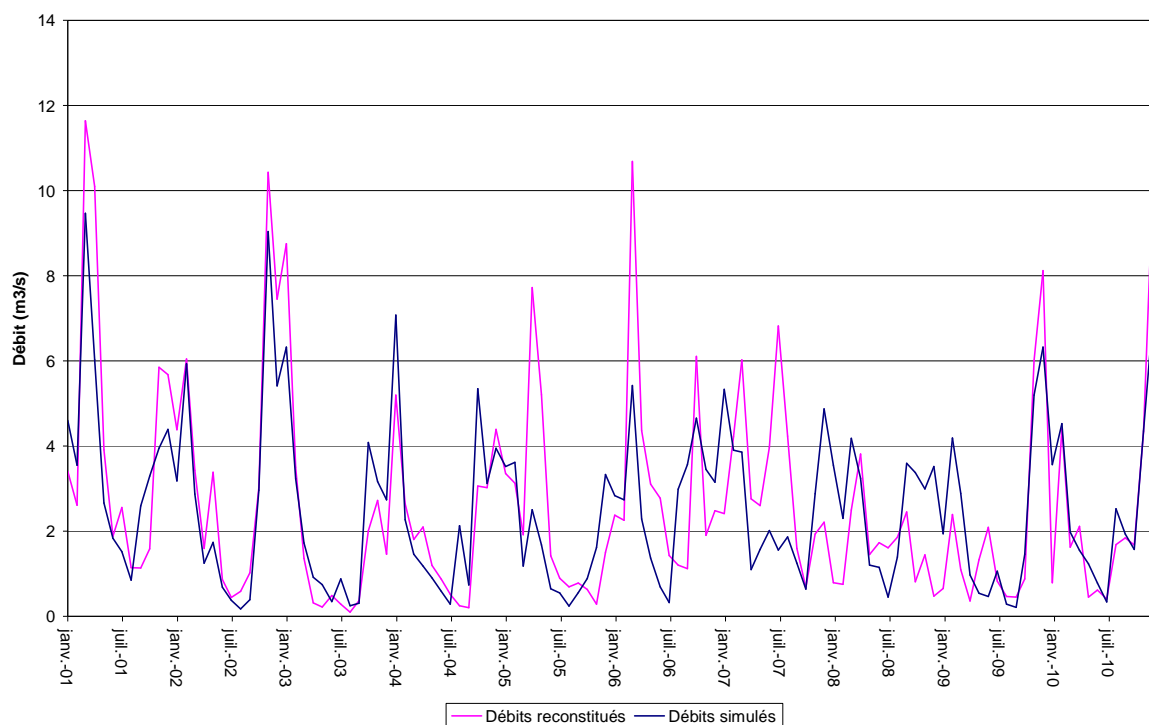


Figure 3-6 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et reconstitués pour le bassin versant de la Lanterne amont au point L

La valeur des débits caractéristiques simulés est proche de celle reconstituée. La comparaison des débits caractéristiques est présentée dans le Tableau 3-6.

Tableau 3-6 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage reconstituées au point L et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010

	QMNA5	Module	1/10e Module	1/20e Module
Valeur reconstituée	0.217	2.683	0.268	0.134
Valeur simulée	0.216	2.538	0.254	0.127
Erreur absolue (m3/s)	-0.001	-0.145	-0.014	-0.007
Écart relatif	0%	-5%	-5%	-5%

3.4.3.4 Bassin versant de la Lanterne à l'aval de la confluence avec le Breuchin : Point H

La Figure 3-7 suivante présente une comparaison des débits reconstitués au point H pour le bassin versant de la Lanterne à l'aval de la confluence Breuchin-Lanterne et les débits simulés par le modèle pluie-débit à l'issue du processus de calage. La comparaison se fait seulement sur les débits mensuels, de nombreuses incertitudes pesant sur les données infra-mensuelles reconstituées sur la Lanterne. Pour les débits observés inférieurs à la moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 96%.

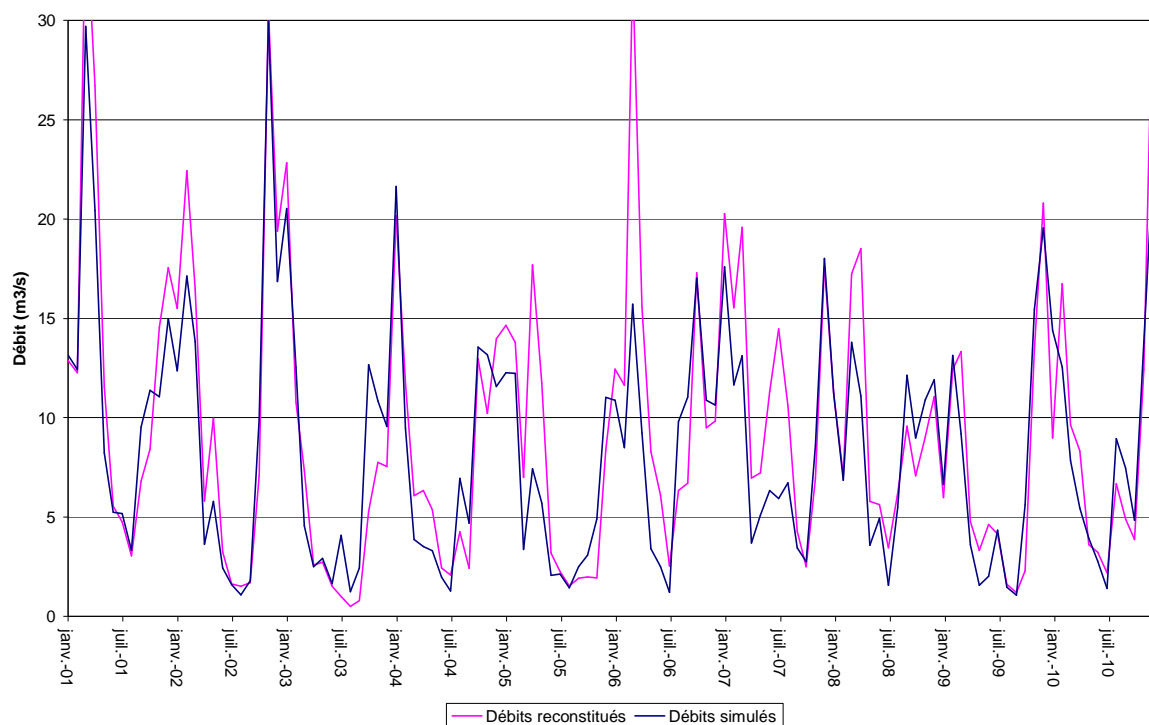


Figure 3-7 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et reconstitués pour le bassin versant de la lanterne au point H

La comparaison des débits caractéristiques est présentée dans le Tableau 3-7.

Tableau 3-7 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage reconstituées au point H et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010

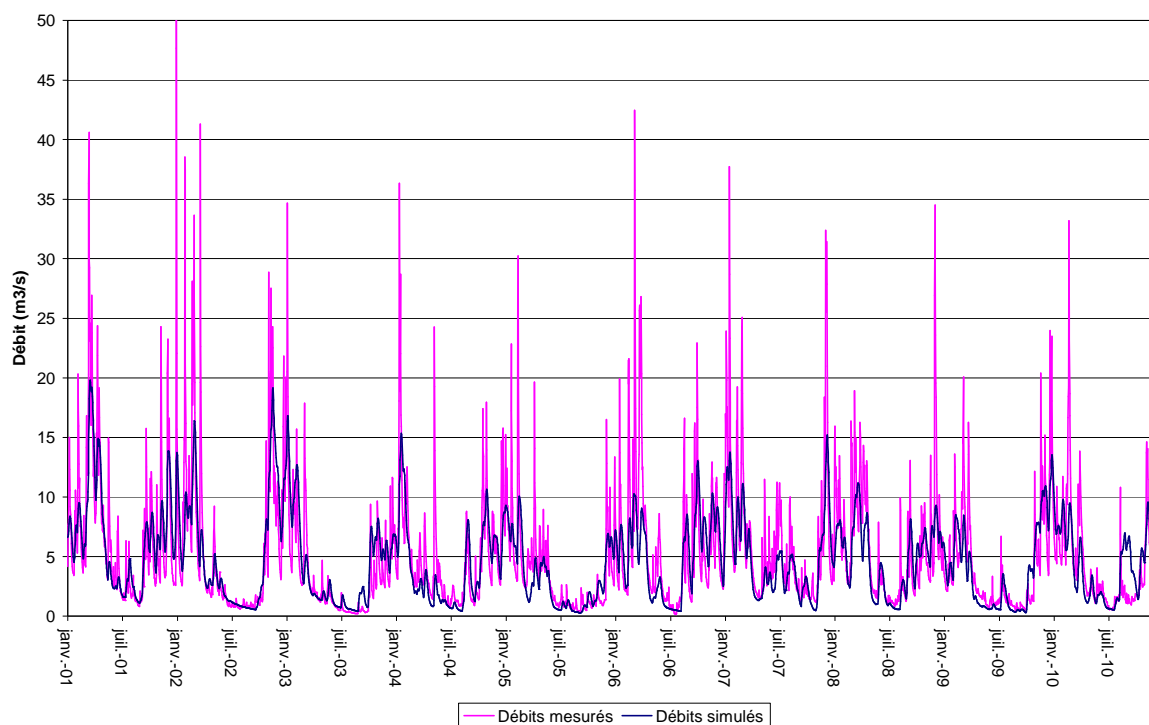
	QMNA5	Module	1/10e Module	1/20e Module
Valeur simulée	1.086	8.451	0.845	0.423
Valeur reconstituée	1.088	9.473	0.947	0.474
Erreur absolue (m3/s)	-0.002	-1.021	-0.102	-0.051
Écart relatif	0%	-11%	-11%	-11%

3.4.4 Résultats du calage – Simulations ne considérant pas l'évaporation des plans d'eau comme un prélèvement

Les résultats du calage sont présentés ci-dessous pour les différents bassins versants.

3.4.4.1 Bassin versant du Breuchin amont : Exutoire point A

La Figure 3-8 suivante présente une comparaison des débits reconstitués au point A pour le bassin versant du Breuchin amont et les débits simulés par le modèle pluie-débit à l'issue du processus de calage. Le premier graphique présente une vue globale de la chronique hydrologique, alors que le second se focalise sur les débits inférieurs à la moitié du module, soit $2.25 \text{ m}^3/\text{s}$. Pour les débits observés inférieurs à la moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 90%. La reproduction des débits pendant les périodes de basses eaux est donc fidèle à ceux reconstitués.



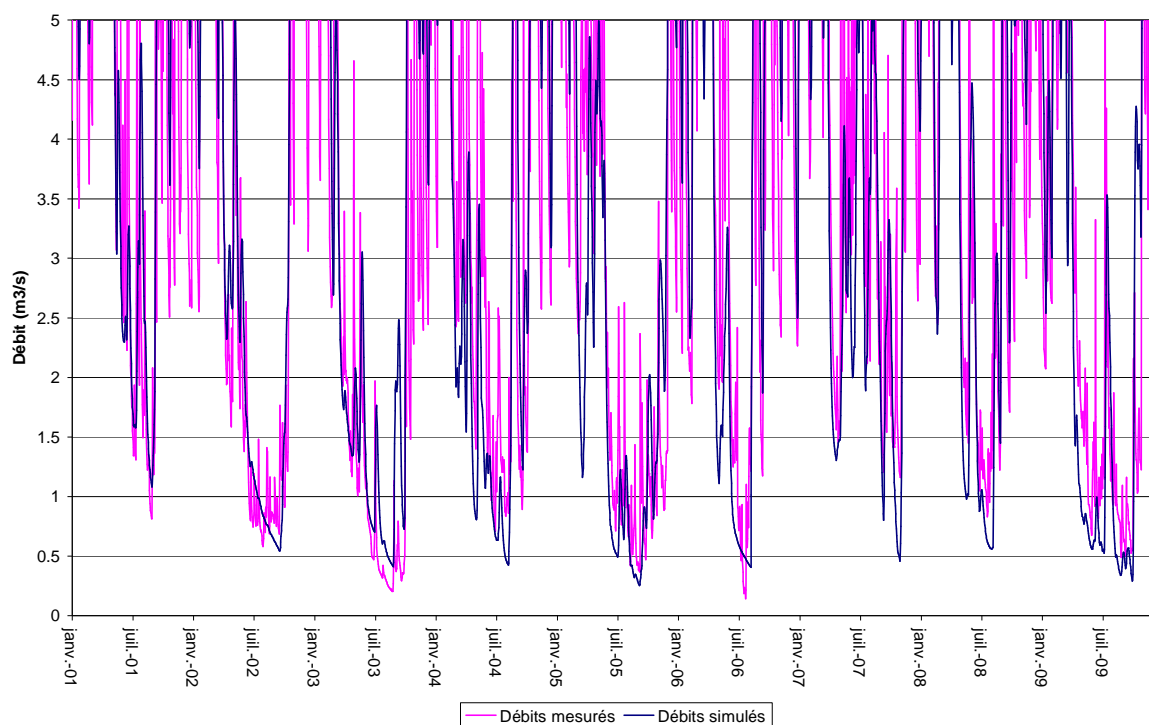


Figure 3-8 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et reconstitués pour le bassin versant du Breuchin amont au point A

La comparaison des débits caractéristiques est présentée dans le Tableau 3-8.

Tableau 3-8 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage reconstituées au point A et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010

	QMNA5	VCN3(5)	VCN10(5)	Module	1/10e Module	1/20e Module
Valeur simulée	0.499	0.323	0.348	4.644	0.464	0.232
Valeur mesurée	0.566	0.299	0.339	5.186	0.519	0.259
Écart relatif (%)	-12%	8%	3%	-10%	-10%	-10%
Erreur absolue (m ³ /s)	-0.067	0.024	0.010	-0.541	-0.054	-0.027

3.4.4.2 Bassin versant du Breuchin à Breuches : Exutoire point

G

La Figure 3-9 suivante présente une comparaison des débits enregistrés à la station hydrométrique de Breuches et les débits simulés par le modèle pluie-débit à l'issue du processus de calage. Le premier graphique présente une vue globale de la chronique hydrologique, alors que le second se focalise sur les débits inférieurs à la moitié du module, soit 2.54 m³/s.

Pour les débits observés inférieurs à la moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 95%. La reproduction des débits pendant les périodes de basses eaux est donc fidèle à ceux mesurés à la station hydrométrique de Breuches.

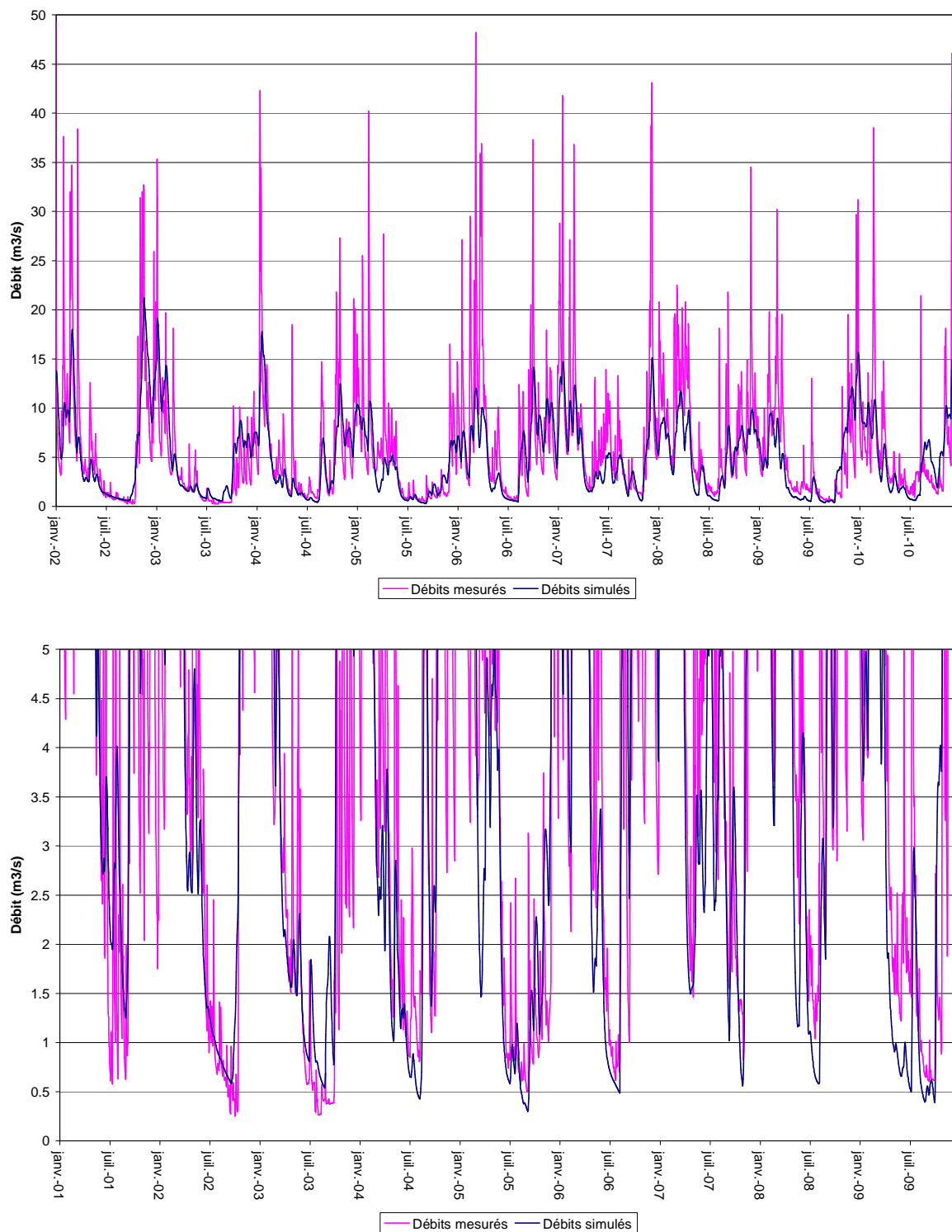


Figure 3-9 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et mesurés pour le bassin versant du Breuchin à Breuches

La comparaison des débits caractéristiques est présentée dans le Tableau 3-9.

Tableau 3-9 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Breuches et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010

	QMNA5	VCN3(5)	VCN10(5)	Module	1/10e Module	1/20e Module
Valeur simulée	0.548	0.383	0.400	5.204	0.520	0.260
Valeur mesurée	0.590	0.376	0.434	6.434	0.643	0.322
Écart relatif (%)	-7%	2%	-8%	-19%	-19%	-19%
Erreur absolue (m3/s)	-0.042	0.007	-0.033	-1.230	-0.123	-0.061

3.4.4.3 Bassin versant de la Lanterne amont : Exutoire point L

La Figure 3-10 suivante présente une comparaison des débits reconstitués au point L pour le bassin versant de la Lanterne amont et les débits simulés par le modèle pluie-débit à l'issue du processus de calage. La comparaison se fait seulement sur les débits mensuels, de nombreuses incertitudes pesant sur les données infra-mensuelles reconstituées sur la Lanterne.

Pour les débits observés inférieurs à la moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 57%. Les résultats ne sont donc pas optimaux, notamment pour certaines années (2007, 2008). Les chroniques reconstituées permettent cependant d'obtenir des résultats satisfaisants en terme de reproduction du module et des débits mensuels d'étiage (QMNA5).

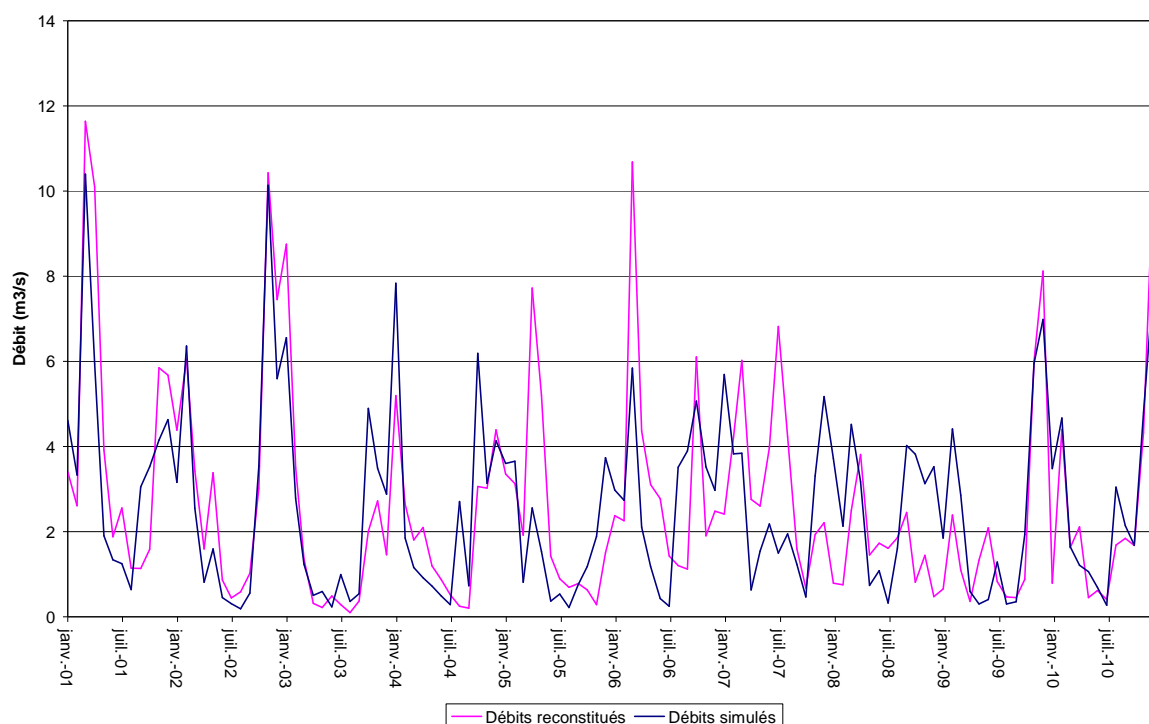


Figure 3-10 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et reconstitués pour le bassin versant de la Lanterne amont au point L

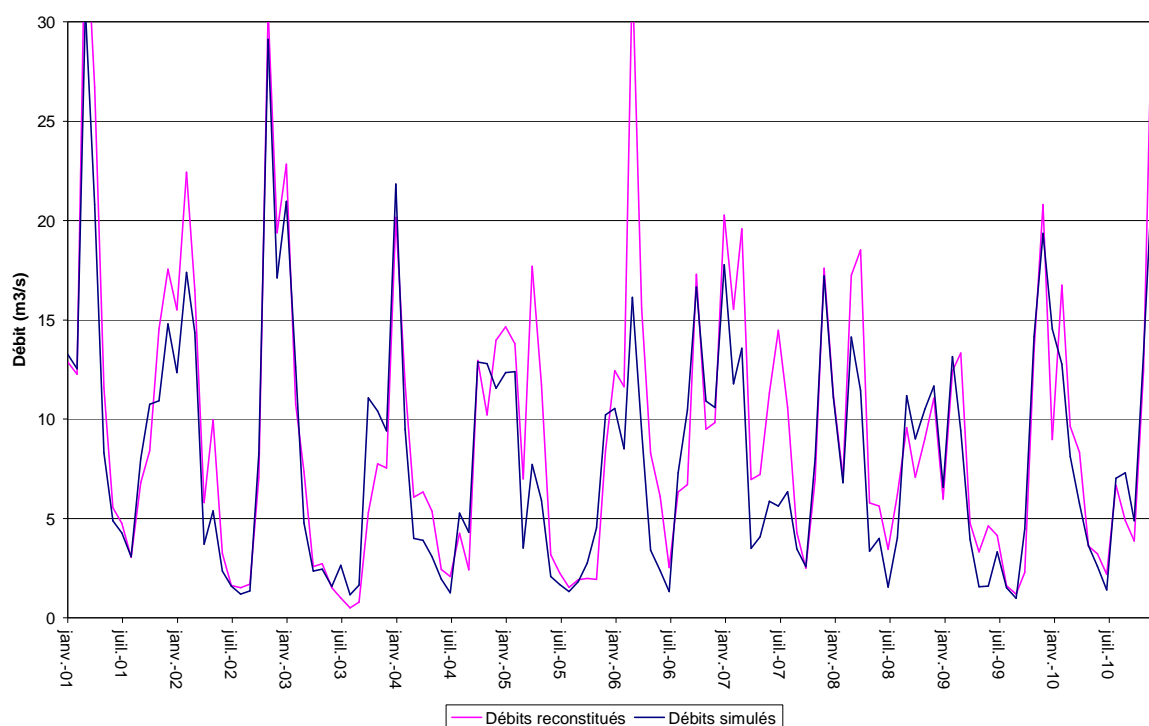
La valeur des débits caractéristiques simulés est proche de celle reconstituée. La comparaison des débits caractéristiques est présentée dans le Tableau 3-10.

Tableau 3-10 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage reconstituées au point L et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010

	QMNA5	VCN3(5)	VCN10(5)	Module	1/10e Module	1/20e Module
Valeur reconstituée	0.217	/	/	2.683	0.268	0.134
Valeur simulée	0.219	/	/	2.609	0.261	0.130
Erreur absolue (m3/s)	0.003	/	/	-0.074	-0.007	-0.004
Écart relatif (%)	1%	/	/	-3%	-3%	-3%

3.4.4.4 Bassin versant de la Lanterne à l'aval de la confluence avec le Breuchin : Point H

La Figure 3-11 suivante présente une comparaison des débits reconstitués au point H pour le bassin versant de la Lanterne à l'aval de la confluence Breuchin-Lanterne et les débits simulés par le modèle pluie-débit à l'issue du processus de calage. La comparaison se fait seulement sur les débits mensuels, de nombreuses incertitudes pesant sur les données infra-mensuelles reconstituées sur la Lanterne. Pour les débits observés inférieurs à la moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 97%.

**Figure 3-11 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et reconstitués pour le bassin versant de la lanterne au point H**

La comparaison des débits caractéristiques est présentée dans le Tableau 3-11.

Tableau 3-11 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage reconstituées au point H et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2010

	QMNA5	VCN3(5)	VCN10(5)	Module	1/10e Module	1/20e Module
Valeur simulée	1.088	/	/	8.205	0.821	0.410
Valeur reconstituée	1.088	/	/	9.473	0.947	0.474
Erreur absolue (m3/s)	0.000	/	/	-1.268	-0.127	-0.063
Écart relatif (%)	0%	/	/	-13%	-13%	-13%

3.4.5 Critiques relatives au calage des modèles pluie-débit

Les résultats obtenus pour le calage des modèles pluie-débit doivent être analysés à la lumière des points suivants :

- ✓ Les stations pluviométriques de Luxeuil-les-Bains et de Faucogney-et-la-Mer ont été utilisées comme donnée d'entrée du modèle. Si ces stations permettent d'appréhender de manière convenable les précipitations à l'échelle du bassin versant en basses eaux, les conditions pluviométriques peuvent varier localement (précipitations plus importantes) dans les parties amont lors de crues importantes. Ainsi, les données utilisées conduisent probablement à sous évaluer les volumes précipités durant les périodes de hautes eaux.
- ✓ Des incertitudes existent sur la répartition temporelle des prélèvements et des rejets. L'utilisation de données volumiques annuelles distribuées sur l'année pour un certain nombre de prélèvements et rejets produit un effet de lissage qui peut s'avérer déterminant, notamment lorsque les débits en rivière sont très faibles. Par ailleurs, aucune information n'était disponible pour quantifier le débit prélevé et restitué au Breuchin via le canal du Morbief. Des hypothèses ont donc été prises sur la base des résultats obtenus lors des campagnes de jaugeage réalisées (cf. partie précédente).
- ✓ Seule la station hydrométrique de Breuches sur le Breuchin est présente sur la zone d'étude. Des chroniques fictives de débits ont donc été reconstituées au droit des autres points de référence selon le principe de transposition. Cette méthode, bien qu'adaptée au bassin versant du Breuchin-Lanterne, ne prend pas en compte les spécificités hydrologiques locales existantes. Ainsi, les chroniques obtenues sont bien représentatives de l'hydrologie locale au pas de temps mensuel mais la réactivité du bassin versant reste difficile à appréhender avec le modèle pluie-débit.
- ✓ Aucune information n'était disponible pour quantifier le débit prélevé et restitué au Breuchin via le canal du Morbief. Des hypothèses ont donc été prises sur la base des résultats obtenus lors des campagnes de jaugeage réalisées.

Le calage des modèles pluie-débit est jugé satisfaisant en terme de représentativité des débits reconstitués pour tous les sous-bassins versants étudiés. Néanmoins, considérant l'imprécision relative des données de calage (notamment les chroniques issues de transposition), il semble important de rappeler que les résultats du modèle ne permettent de dégager que des tendances sur les valeurs mensuelles de débits. Les valeurs produites sur des périodes inférieures à un mois doivent être prises avec précaution. Les critiques suivantes peuvent être faites quant aux résultats du calage des modèles hydrologiques :

- ✓ Les chroniques simulées sur la période d'étude reproduisent généralement bien la forme des chroniques de débits reconstitués aux droits des points de référence en période d'étiage. Cette affirmation reste à relativiser sur le site de la Lanterne amont où les transpositions successives tendent à émettre des réserves sur la validité des chroniques reconstituées utilisées pour le calage des modèles. Pour les autres bassins, et en ne considérant que les débits mesurés inférieurs à la moitié du module interannuel, la valeur du coefficient de Nash est supérieure à 90%.
- ✓ Les débits de pointe des crues sont systématiquement très sous évalués. Ces différences doivent être relativisées dans la mesure où la présente étude se focalise uniquement sur les périodes d'étiage.
- ✓ Un écart important est noté entre les modules enregistrés et simulés pour le Breuchin et la Lanterne amont. Cette différence provient essentiellement du fait que le calage et la méthode de transposition des débits s'est focalisé uniquement sur les débits en période d'étiage. Cette hypothèse est acceptable dans la mesure où les volumes ruisselés en périodes de hautes eaux ne concourent que peu à la recharge des nappes (la grande majorité de ces volumes transitant directement en rivière). Les débits moyens à élevés simulés ne sont pas représentatifs de l'hydrologie des sous-bassins versants. De manière générale, il a été préféré de dégrader les valeurs de module au profit d'une meilleure représentation des débits d'étiage.
- ✓ Globalement les débits caractéristiques d'étiage sont correctement reproduits, avec un écart relatif inférieur à 20%.
- ✓ Le calage des modèles pluie-débit a cherché à optimiser l'un ou l'autre des paramètres, le paramètre dégradé restant dans une fourchette de valeur acceptable. De manière générale, la reproduction du QMNA5 a été recherchée prioritairement.

3.5 Résultats de l'hydrologie désinfluencée et comparaison avec l'état actuel

3.5.1 Bilan des prélèvements / rejets à l'échelle des sous-bassins versants

Le bilan des prélèvements et des rejets existants sur le bassin versant du Breuchin-Lanterne a été réalisé lors des phases 1 & 2 de la présente étude et a fait l'objet de compléments au début de la phase 3. Les chroniques de prélèvements et de rejets considérés pour la reconstitution de l'hydrologie désinfluencée sont présentées pour les quatre sous-bassins versants sur les figures ci-après.

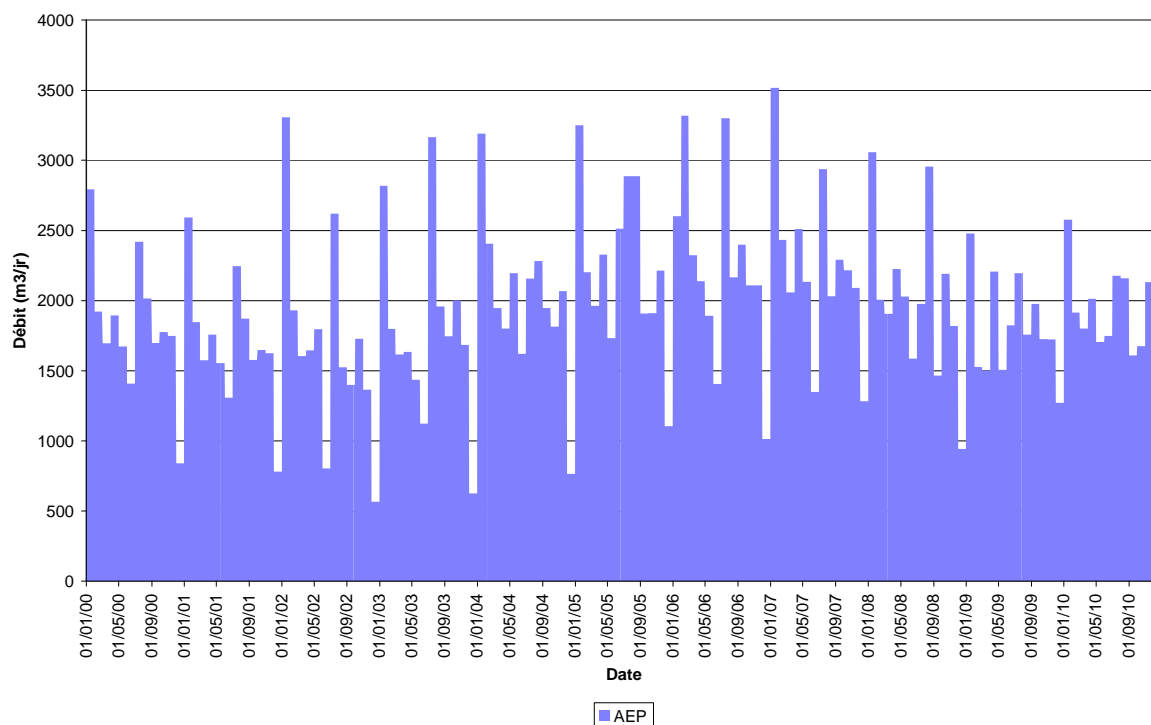


Figure 3-12 : Chronique des prélèvements cumulés à l'amont du Point A (Breuchin amont)

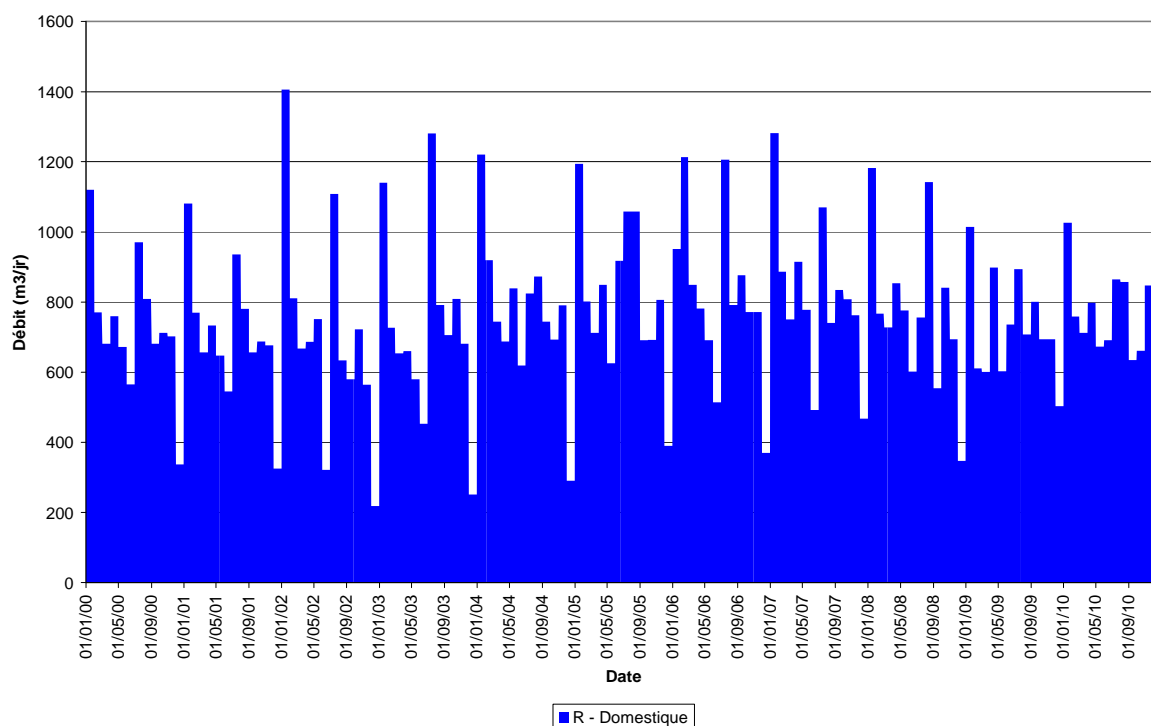


Figure 3-13 : Chronique des rejets cumulés à l'amont du Point A (Breuchin amont)

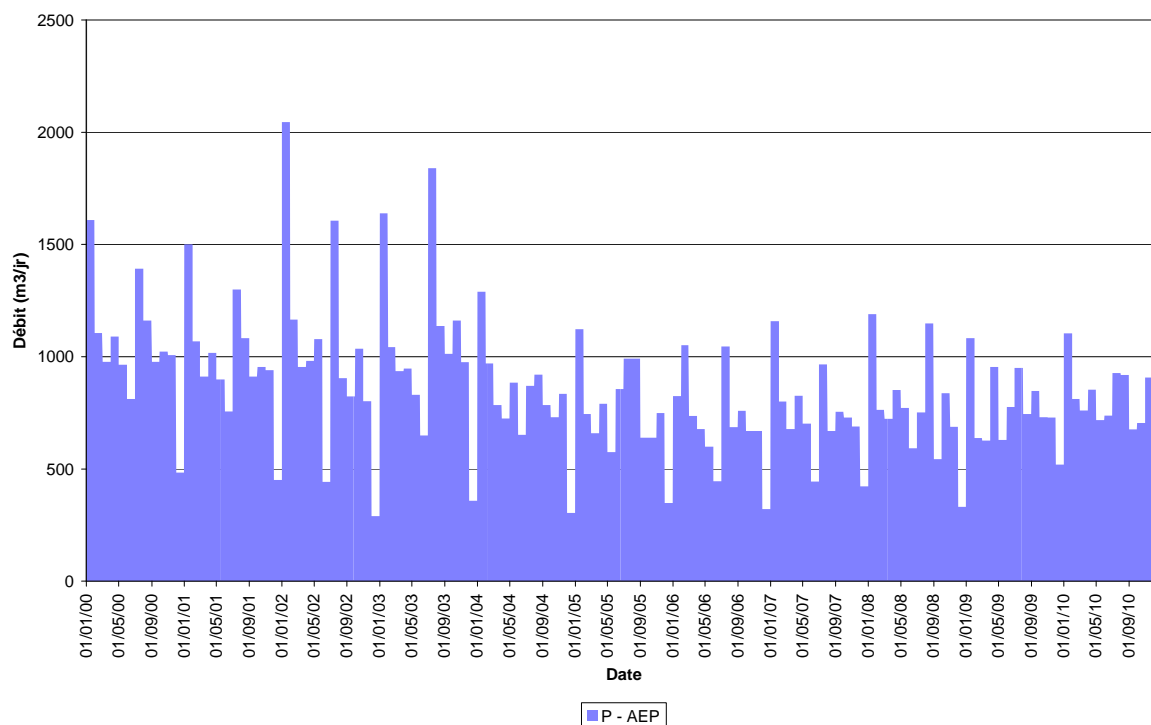


Figure 3-14: Chronique des prélèvements cumulés à l'amont du Point L (Lanterne amont)

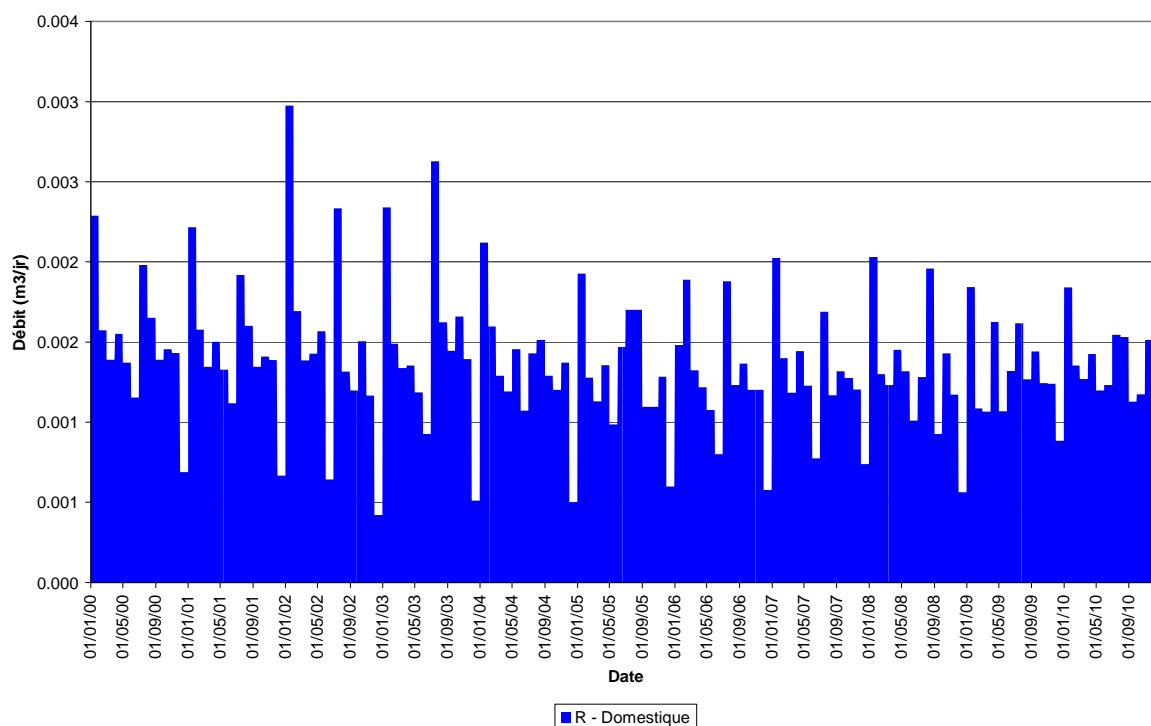


Figure 3-15 : Chronique des rejets cumulés à l'amont du Point L (Lanterne amont)

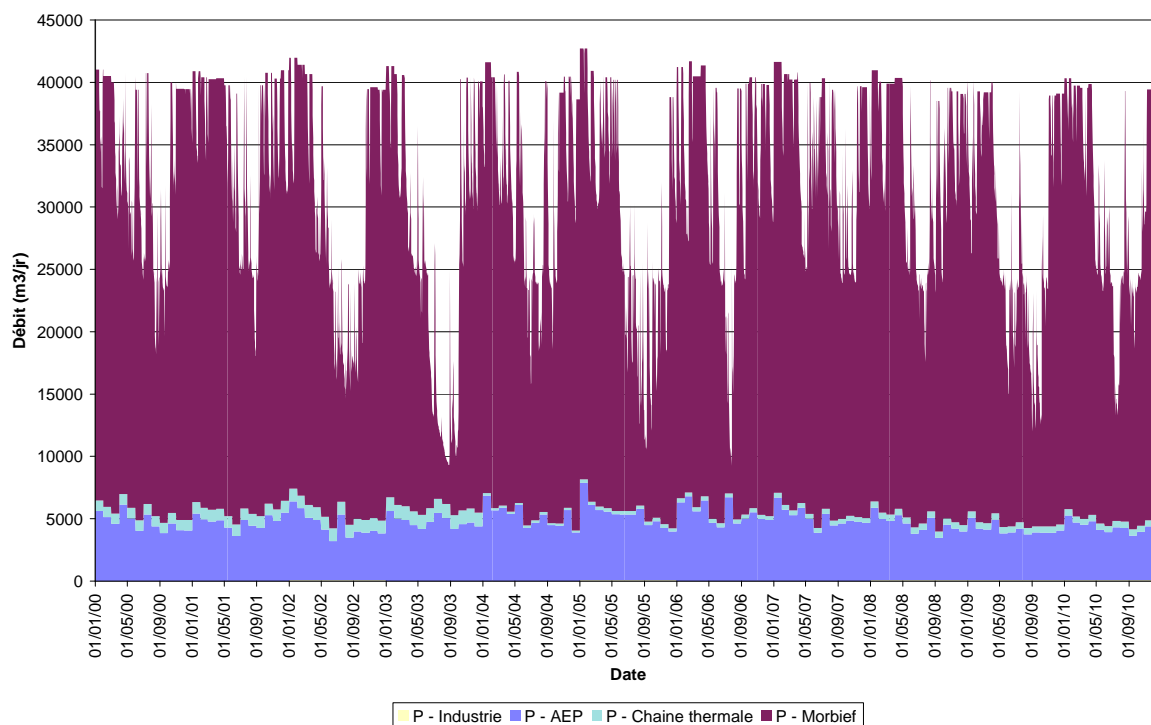


Figure 3-16 : Chronique des prélèvements cumulés à l'amont du Point G (Breuchin à l'amont de Breuches)

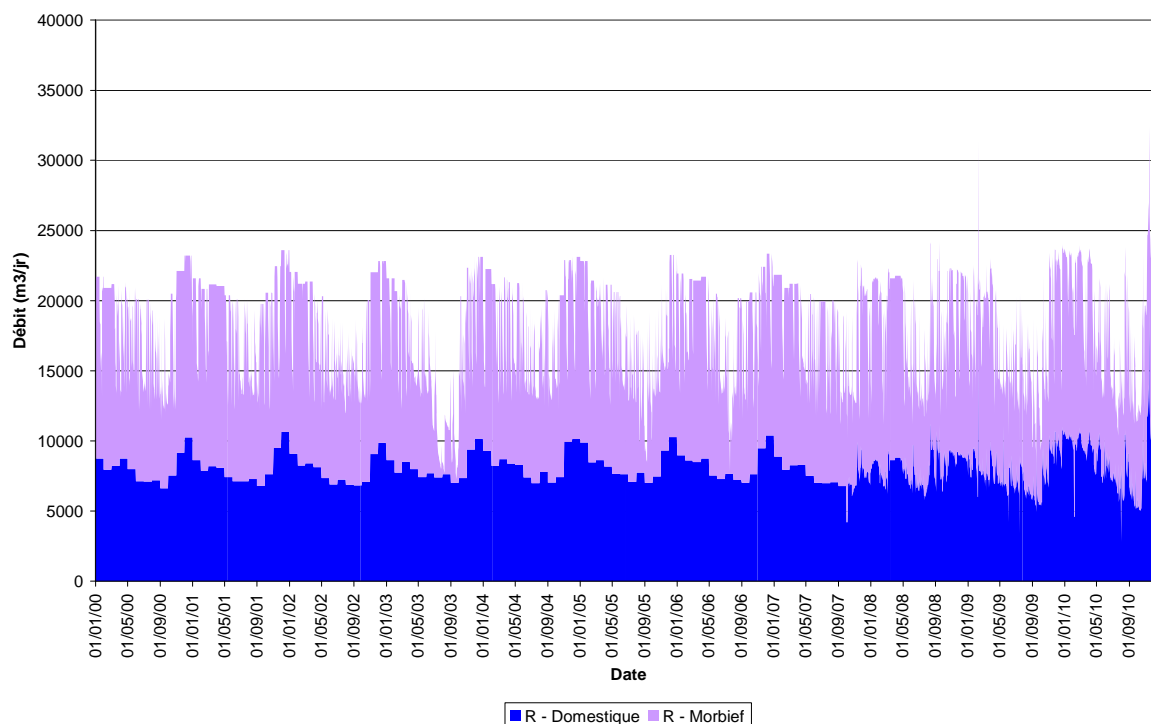


Figure 3-17 : Chronique des rejets cumulés à l'amont du Point G (Breuchin à l'amont de Breuches)

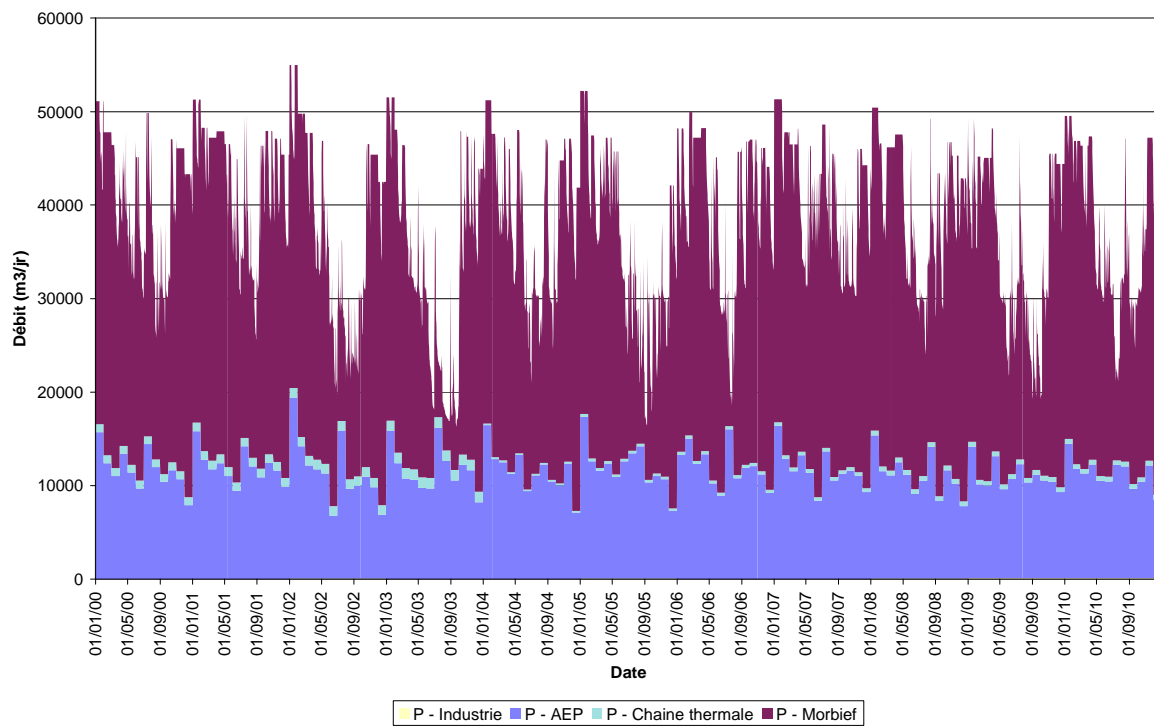


Figure 3-18 : Chronique des prélèvements cumulés à l'amont du Point H (totalité de la zone d'étude)

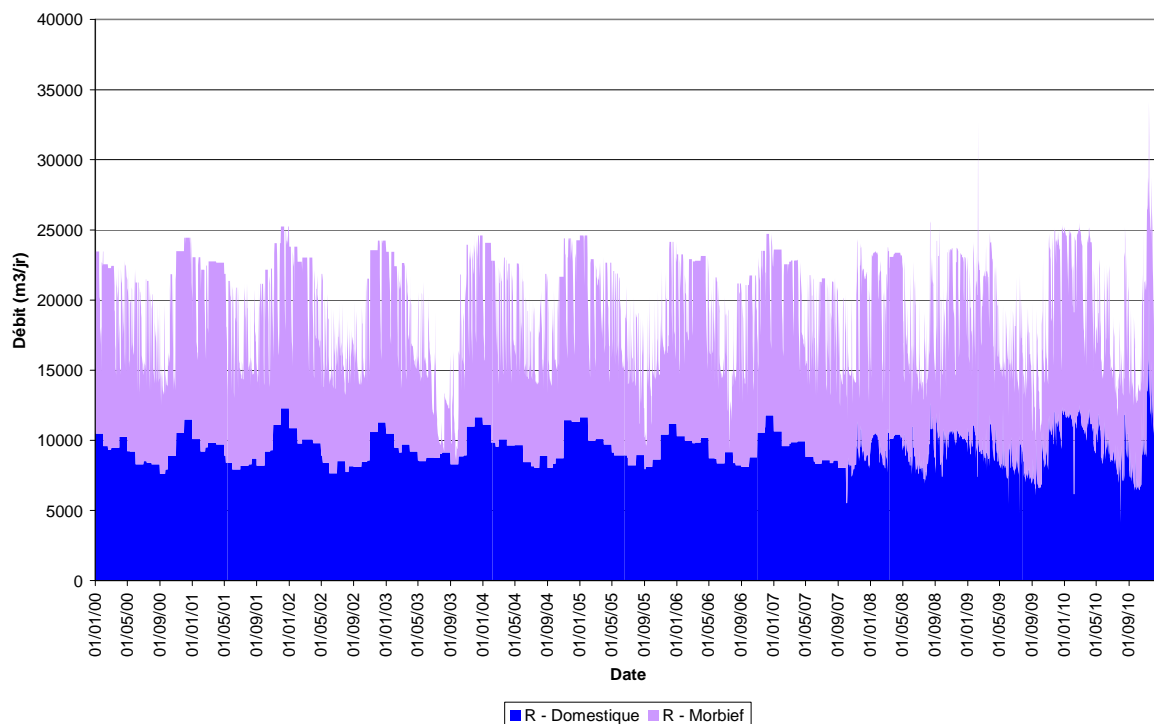


Figure 3-19 : Chronique des rejets cumulés à l'amont du Point H (totalité de la zone d'étude)

La Figure 3-20 présente le bilan des prélèvements et des restitutions au milieu naturel pour les quatre bassins versants considérés. L'année 2009 a été prise pour référence.

Sur les quatre bassins versants, les prélèvements sont supérieurs aux rejets. Rappelons qu'il ne s'agit ici qu'un simple bilan. Les besoins du milieu naturel ne sont pas pris en compte. Les prélèvements les plus importants sur les secteurs en tête de bassins sont liés à la production AEP.

A noter les volumes perdus par évaporation du fait de la présence de plan d'eau n'est pas inclus dans les bilans présentés ici, dans la mesure où ceux-ci sont très largement supérieurs aux volumes prélevés par les autres usages durant les mois secs (pour mémoire, ils sont nuls durant les mois d'hiver).

Pour les bassins versants du Breuchin à Breuches et de la Lanterne à l'aval de la confluence, le canal du Morbief constitue le prélèvement le plus important. De la même manière, les volumes restitués par le canal du Morbief au Breuchin (et donc à la Lanterne en aval de la confluence) représentent la plus grande part des rejets, bien que le rejet de la STEP de Luxeuil restitue au milieu des volumes également très importants.

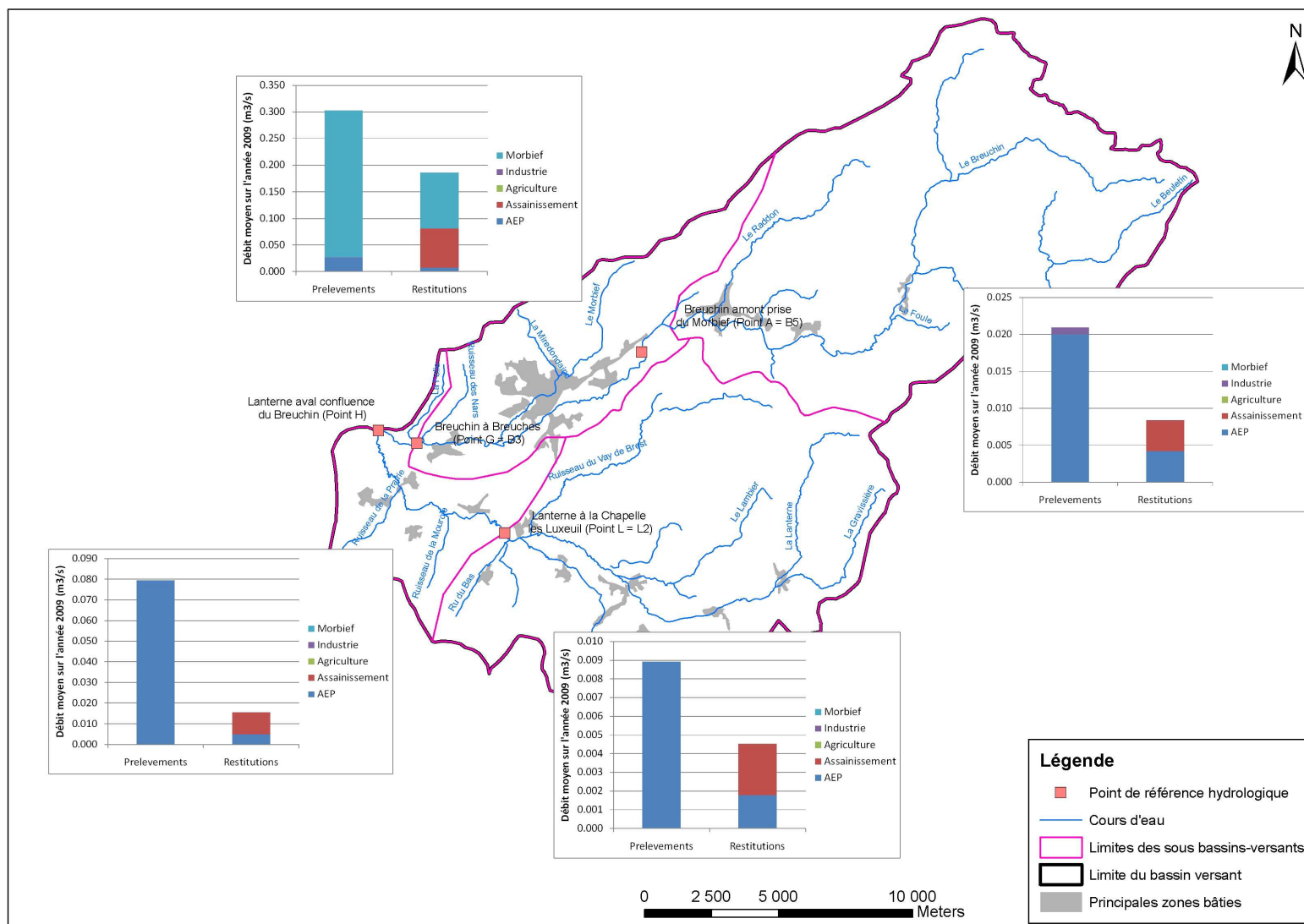


Figure 3-20 : Bilan des prélèvements et des rejets par sous-bassin versant pour 2009

3.5.2 Méthodologie

Les éléments ci-dessous présentent les résultats de la reconstitution de l'hydrologie désinfluencée au droit des différents sous-bassins versants étudiés à l'aide du modèle pluie-débit. Les graphiques présentés pour chaque sous-bassin versant détaillent la série temporelle de l'hydrologie influencée telle que reconstituée avec le modèle pluie-débit et la série temporelle désinfluencée reconstituée avec le même modèle (et les mêmes paramètres de calage). Les valeurs de débit sont présentées en échelle logarithmique pour mieux appréhender les faibles écarts entre hydrologie influencée et désinfluencée. La différence entre les débits moyens mensuels naturels et influencés est également représentée

Pour chaque station sont également présentés dans un tableau les résultats les débits caractéristiques d'étiage (module, QMNA5, VCN3 (5 ans) et VCN10 (5 ans)) réalisées sur les séries temporelles de l'hydrologie désinfluencée. Ces valeurs, si elles permettent de comparer en terme relatif les séries temporelles influencées et désinfluencées obtenues à partir du modèle, ne permettent cependant pas d'appréhender les valeurs absolues des paramètres d'étiage, c'est-à-dire corrigées des biais de modélisation. Par exemple, pour fournir une valeur absolue réaliste, une valeur de module calculée pour une série temporelle désinfluencée devra être corrigée de l'erreur de calage entre la chronique observée et la chronique influencée modélisée.

Deux options permettent d'approcher ce que seraient les valeurs caractéristiques de l'hydrologie désinfluencée corrigées des biais de modélisation :

- ✓ La correction des valeurs de la série désinfluencée par ajout ou soustraction de l'écart absolu (en m^3/s) constaté entre série temporelle observée et série temporelle influencée modélisée ;
- ✓ La correction des valeurs de la série désinfluencée par ajout ou soustraction de l'écart relatif (en %) constaté entre série temporelle observée et série temporelle influencée modélisée.

Les deux types de corrections ont été testés pour l'ensemble des valeurs et des sous-bassins versants. Les valeurs sont généralement très proches, notamment si le calage était très satisfaisant. Pour certaines valeurs, les écarts sont plus significatifs, et nécessitent la mise en œuvre d'un arbitrage pour le choix de la valeur finale. Le postulat de retenir la valeur la plus contraignante pour le milieu naturel (valeur la plus basse) a été retenu dans le cadre de la présente étude.

3.5.3 Présentation des résultats par sous-bassin

L'analyse des résultats de l'hydrologie désinfluencée s'est principalement focalisée sur les écarts obtenus entre les deux chroniques de débits en période d'étiage. L'objectif de ce paragraphe est de mettre en évidence les sous-bassins versants pour lesquels il serait intéressant d'envisager des actions et de mettre en place des stratégies de gestion. Les différences obtenues entre les débits influencés et désinfluencés restent néanmoins à tempérer compte tenu des incertitudes du modèle.

3.5.3.1 Bassin versant du Breuchin amont : Exutoire point A

Les Figure 3-21 et Figure 3-22 présentent la comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée obtenues au point A pour le bassin versant du Breuchin amont, et pour les deux hypothèses d'évaporation des étangs (la première figure présente les résultats en considérant l'évaporation des étangs comme un prélèvement, la seconde comme partie intégrante du bilan hydrique naturel).

La Figure 3-23 montre la différence entre les débits moyens mensuels naturels et influencés pour les deux hypothèses de prise en compte de l'évaporation des étangs étudiées.

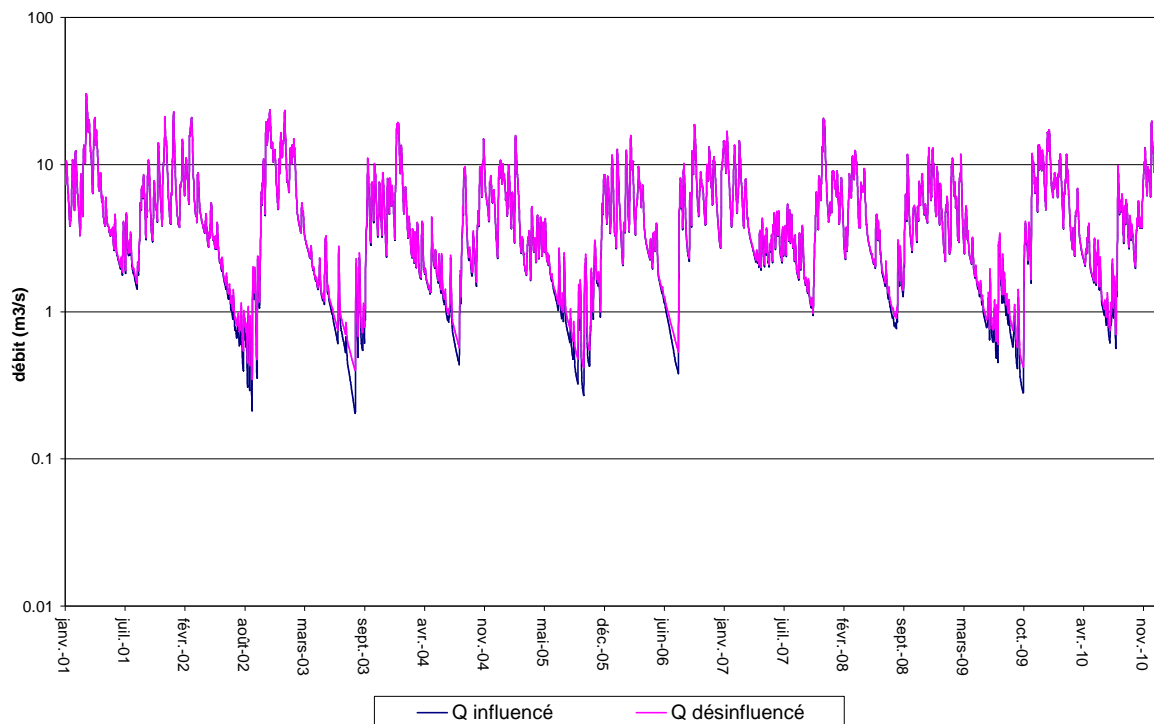


Figure 3-21 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point A (évaporation des plans d'eau = prélèvements)

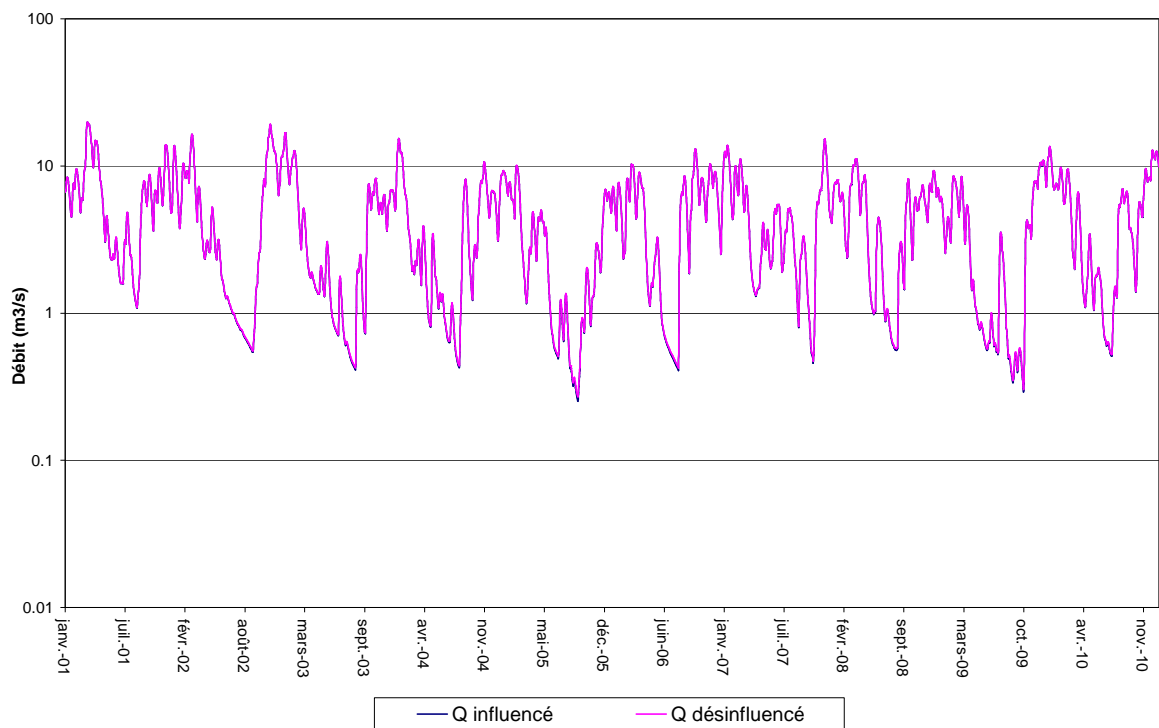


Figure 3-22 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point A (évaporation des plans d'eau = « naturel »)

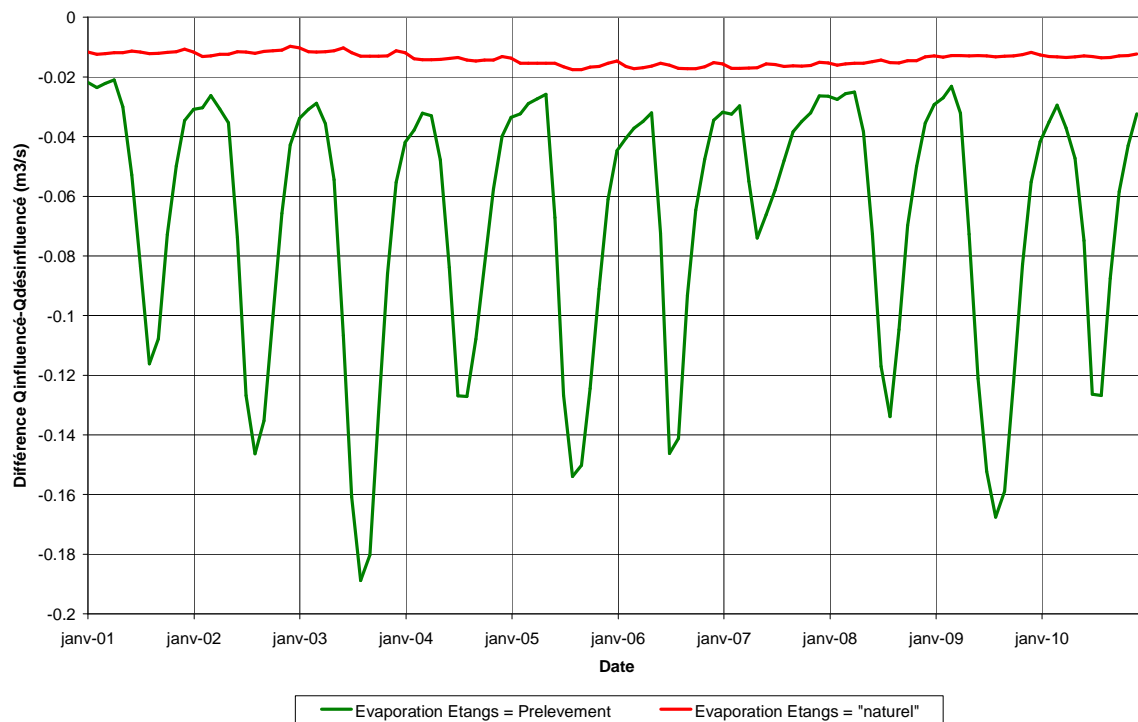


Figure 3-23 : Différence débits mensuels influencés/désinfluencés sur le Breuchin au point A pour les hypothèses de prise en compte de l'évaporation des étangs étudiées

Les Tableaux 3-12 et 3-13 présentent la comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage pour l'hydrologie influencée et désinfluencée obtenues au point A pour le bassin versant du Breuchin amont, et pour les deux hypothèses d'évaporation des étangs (le premier tableau présente les résultats en considérant l'évaporation des étangs comme un prélèvement, le second comme partie intégrante du bilan hydrique naturel).

Tableau 3-12 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point A (évaporation des plans d'eau = prélèvement)

		Module	QMNA 5	VCN3 5	VCN10 5
Hydrologie influencée	Valeur reconstituée (m3/s)	5.186	0.566	0.299	0.339
	Valeur simulée (m3/s)	4.713	0.579	0.258	0.313
	Erreur absolue (m3/s)	-0.473	0.014	-0.042	-0.026
	Erreur relative (%)	-9%	2%	-14%	-8%
Hydrologie désinfluencée	Valeur simulée (m3/s)	4.781	0.736	0.408	0.471
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	5.254	0.723	0.450	0.497
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	5.217	0.719	0.465	0.507
	Valeur retenue (m3/s)	5.217	0.719	0.4497	0.4967
	% d'évolution	1%	27%	50%	47%

Tableau 3-13 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point A (évaporation des plans d'eau = « naturel »)

		Module	QMNA 5	VCN3 5	VCN10 5
Hydrologie influencée	Valeur reconstituée (m3/s)	5.186	0.566	0.299	0.339
	Valeur simulée (m3/s)	4.644	0.498	0.333	0.358
	Erreur absolue (m3/s)	-0.541	-0.068	0.033	0.019
	Erreur relative (%)	-10%	-12%	11%	6%
Hydrologie désinfluencée	Valeur simulée (m3/s)	4.658	0.513	0.338	0.364
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	5.200	0.580	0.305	0.345
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	5.145	0.574	0.301	0.343
	Valeur retenue (m3/s)	5.145	0.574	0.301	0.343
	% d'évolution	-1%	1%	0%	1%

Les figures et tableaux présentés ci-dessus permettent d'aboutir aux conclusions suivantes sur le bassin versant du Breuchin amont :

- ✓ L'impact de l'évaporation des étangs est très largement supérieur à ceux des autres usages : en période estivale, le gain en hydrologie « naturelle » atteint près de 500l/s sur le débit à l'exutoire du bassin versant. Sur la valeur du QMNA5 calculé sur la période 2001-2010, le gain est supérieur à 50% entre hydrologie désinfluencée et influencée. Le gain sur la valeur de module est en revanche moins important, l'impact de l'évaporation des étangs étant seulement important sur quelques mois de l'année en période estivale ;
- ✓ En excluant l'évaporation des étangs dans le bilan des prélèvements sur le bassin versant, le gain entre l'hydrologie influencée et désinfluencée est quasi nul. Les débits caractéristiques d'étiage tout comme le module stagnent. Le gain moyen sur la période considérée est de l'ordre d'une dizaine de litre par seconde. Le faible écart obtenu entre l'hydrologie influencée et désinfluencée s'explique en partie par le fait que les volumes de prélèvements, principalement à usage d'alimentation en eau potable, sont majoritairement rejetés au milieu via les dispositifs d'assainissement domestique.

3.5.3.2 Bassin versant du Breuchin à Breuches : Exutoire point

G

Les Figure 3-24 et Figure 3-25 présentent la comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée obtenues au point G pour le bassin versant du Breuchin, et pour les deux hypothèses d'évaporation des étangs (la première figure présente les résultats en considérant l'évaporation des étangs comme un prélèvement, la seconde comme partie intégrante du bilan hydrique naturel).

La Figure 3-26 montre la différence entre les débits moyens mensuels naturels et influencés pour les deux hypothèses de prise en compte de l'évaporation des étangs étudiées.

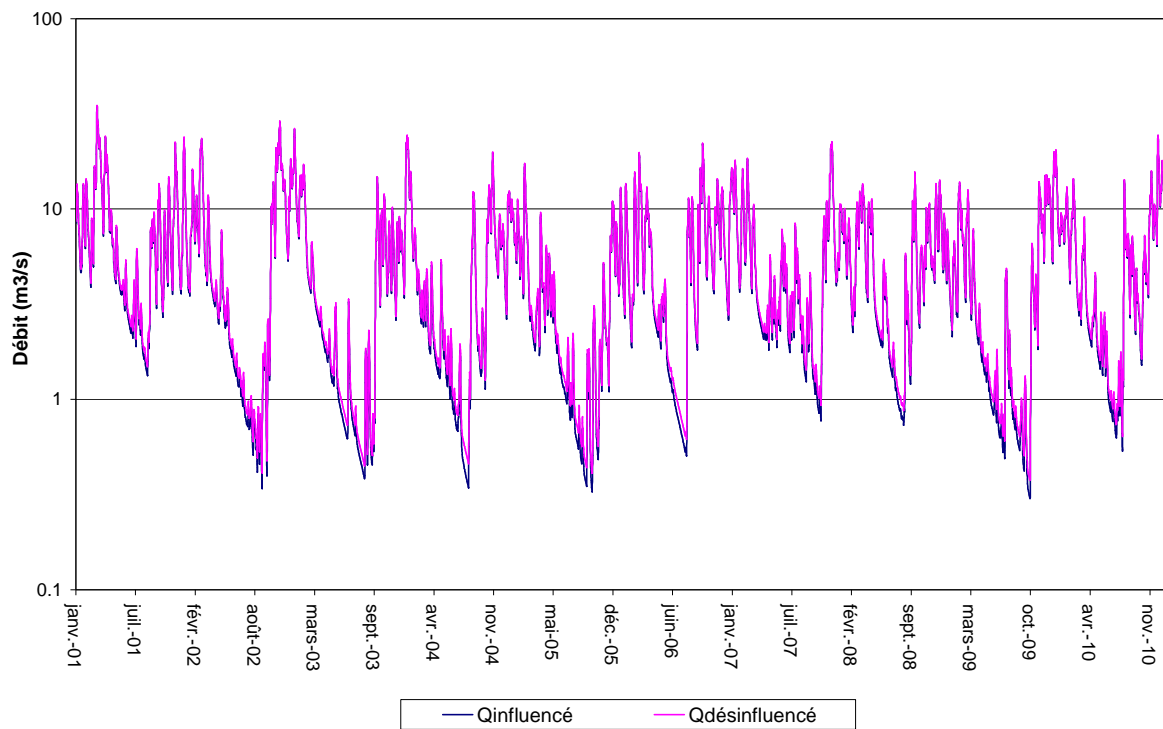


Figure 3-24 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point G (évaporation des plans d'eau = prélèvements)

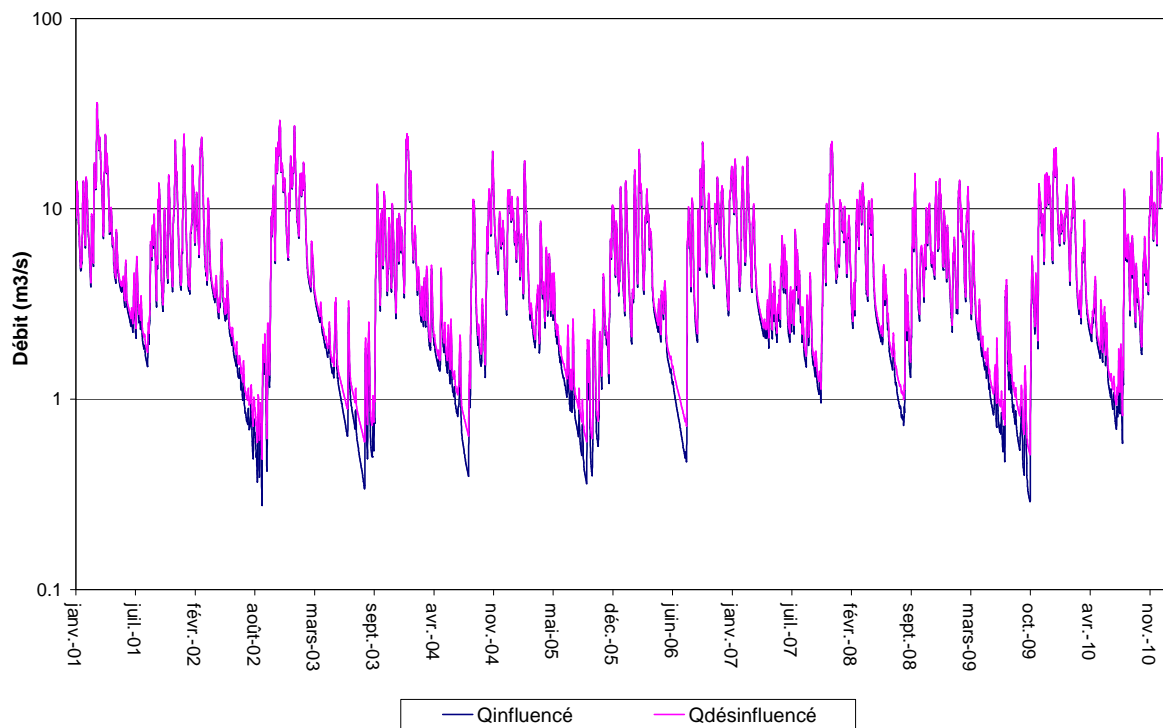


Figure 3-25 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point G (évaporation des plans d'eau = « naturel »)

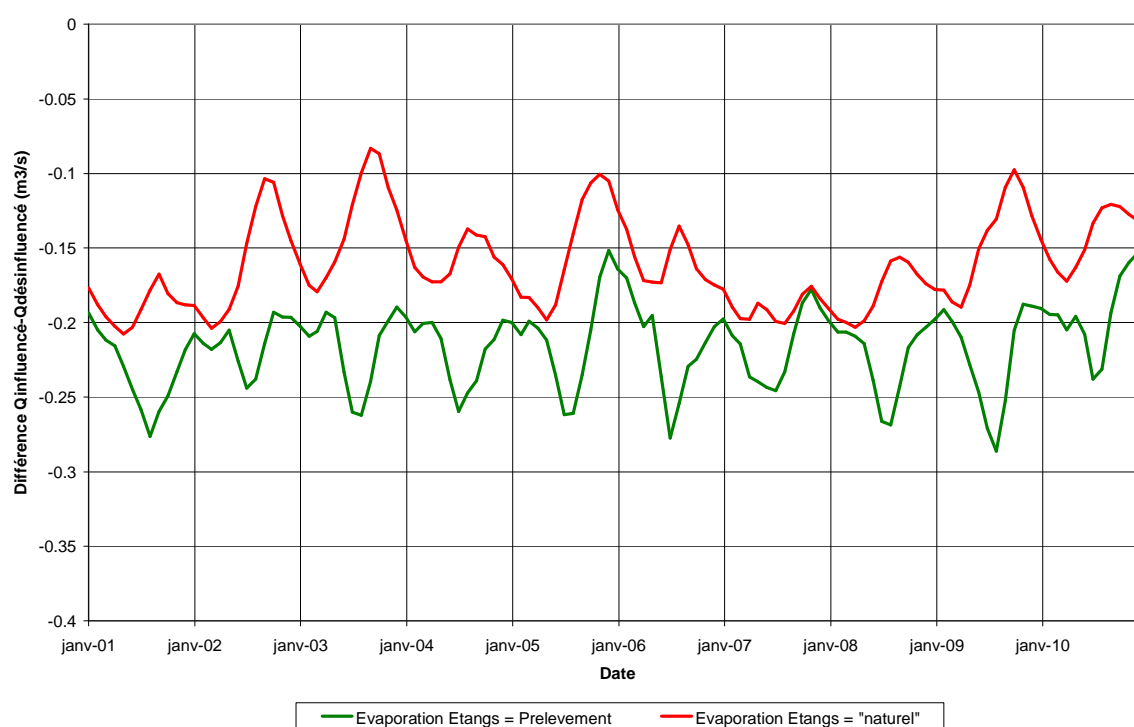


Figure 3-26 : Différence débits mensuels influencés/désinfluencés sur le Breuchin au point G pour les hypothèses de prise en compte de l'évaporation des étangs étudiées

Les Tableau 3-14 et Tableau 3-15 présentent la comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage pour l'hydrologie influencée et désinfluencée obtenues au point G pour le bassin versant du Breuchin à Breuches, et pour les deux hypothèses d'évaporation des étangs (le premier tableau présente les résultats en considérant l'évaporation des étangs comme un prélèvement, le second comme partie intégrante du bilan hydrique naturel).

Tableau 3-14 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point G (évaporation des plans d'eau = prélèvement)

		Module	QMNA 5	VCN3 5	VCN10 5
Hydrologie influencée	Valeur mesurée (m3/s)	6.434	0.590	0.376	0.434
	Valeur simulée (m3/s)	5.328	0.639	0.339	0.382
	Erreur absolue (m3/s)	-1.106	0.049	-0.037	-0.052
	Erreur relative (%)	-17%	8%	-10%	-12%
Hydrologie désinfluencée	Valeur simulée (m3/s)	5.544	0.871	0.549	0.600
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	6.650	0.823	0.586	0.651
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	6.497	0.799	0.603	0.671
	Valeur retenue (m3/s)	6.497	0.799	0.586	0.651
	% d'évolution	1%	36%	56%	50%

Tableau 3-15 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur le Breuchin au point G (évaporation des plans d'eau = « naturel »)

		Module	QMNA 5	VCN3 5	VCN10 5
Hydrologie influencée	Valeur mesurée (m3/s)	6.434	0.590	0.376	0.434
	Valeur simulée (m3/s)	5.204	0.548	0.383	0.400
	Erreur absolue (m3/s)	-1.230	-0.042	0.007	-0.033
	Erreur relative (%)	-19%	-7%	2%	-8%
Hydrologie désinfluencée	Valeur simulée (m3/s)	5.365	0.666	0.499	0.521
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	6.595	0.708	0.491	0.554
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	6.391	0.714	0.489	0.561
	Valeur retenue (m3/s)	6.391	0.708	0.489	0.554
	% d'évolution	-1%	20%	30%	28%

Les résultats obtenus sur le Breuchin au point G montre que le débit « naturel » du cours d'eau est supérieur à celui influencé. Le gain est variable suivant que l'on considère ou non les pertes par évaporation des plans d'eau comme un prélèvement réversible. Ainsi, les observations suivantes peuvent être faites sur les figures et tableaux présentés ci-dessus :

- ✓ Sur les chroniques ne considérant pas les plans d'eau comme un prélèvement, il apparaît que le gain entre hydrologies influencée et désinfluencée tend à diminuer au cours de la période d'étiage. Ceci est principalement dû au fait que le volume prélevé par le Morbief – de loin le principal prélèvement sur le bassin versant – augmente avec le débit de la rivière. Comme les débits du Breuchin sont généralement les plus faibles au mois de septembre, c'est sur ce mois que le gain est le plus faible en terme d'hydrologie désinfluencée (de 100 à 180 l/s suivant les années).
- ✓ Sur les chroniques considérant les plans d'eau comme un prélèvement, la période de gain maximal se déplace vers les périodes où l'évaporation des étangs est a priori la plus forte (juillet-août). L'impact cumulé maximal des prélèvements pour l'alimentation du Morbief et des pertes par évaporation varie alors entre 240 et 280l/s suivant les années. Cela souligne donc que l'impact des étangs est plus important que celui du prélèvement du Morbief sur le régime du cours d'eau.
- ✓ Notons qu'une partie du débit prélevé au Morbief étant rejeté à la rivière, et que le rejet de la STEP de Luxeuil se faisant également à l'amont de Breuches, la différence entre débits influencés et « naturels » est atténuée par rapport aux prélèvements réellement effectués en rivière : cela devra être pris en compte dans le cadre de la réflexion sur les volumes prélevables, une partie importante du linéaire (de la prise d'eau de la Lie aux Moines au rejet de la STEP de Luxeuil, puis à la confluence avec le Morbief) étant soumis à un déficit plus important que celui visualisable sur les figures ci-dessus.
- ✓ Rappelons enfin néanmoins que les résultats présentés ici repose sur des hypothèses de prélèvement du Morbief calées sur les observations faites durant l'été 2012, et qu'à ce titre elles ne sont pas forcément représentatives des conditions réelles de prélèvement observées sur les 12 dernière années.

3.5.3.3 Bassin versant de la Lanterne amont : Exutoire point L

Les Figure 3-27 et Figure 3-28 présentent la comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée obtenues au point L pour le bassin versant de la Lanterne amont, et pour les deux hypothèses d'évaporation des étangs (la première figure présente les résultats en considérant l'évaporation des étangs comme un prélèvement, la seconde comme partie intégrante du bilan hydrique naturel).

La Figure 3-29 montre la différence entre les débits moyens mensuels naturels et influencés pour les deux hypothèses de prise en compte de l'évaporation des étangs étudiées.

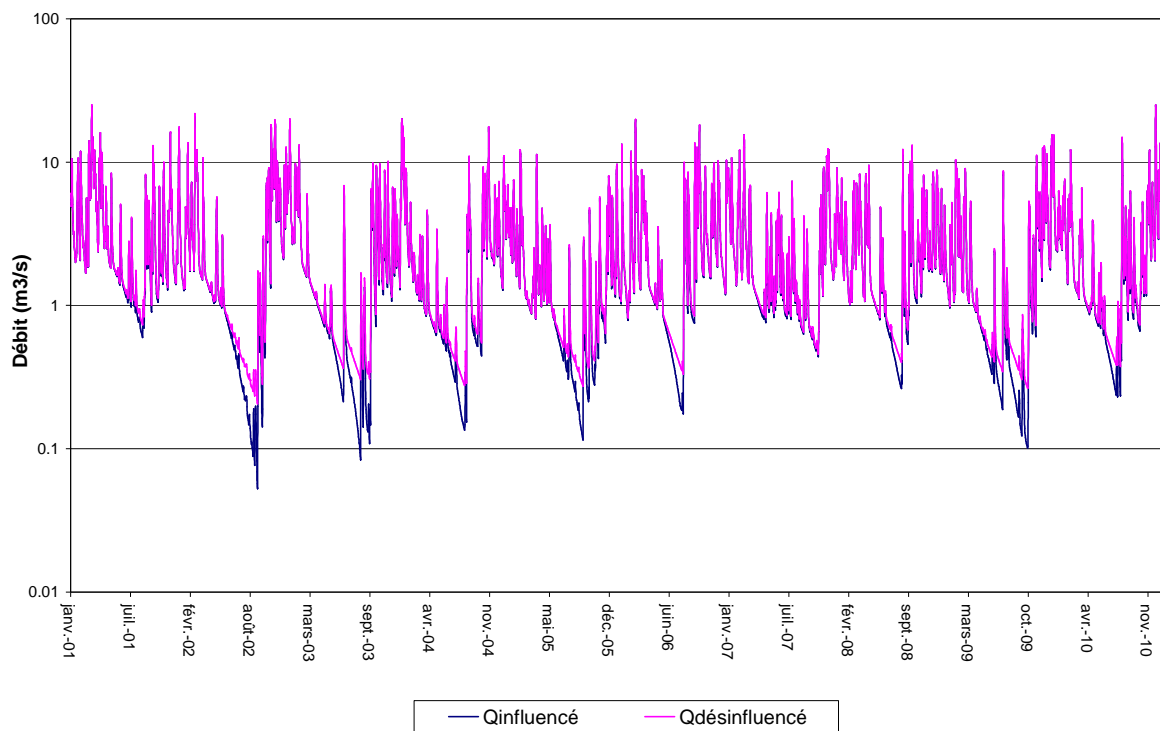


Figure 3-27 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point L (évaporation des plans d'eau = prélèvements)

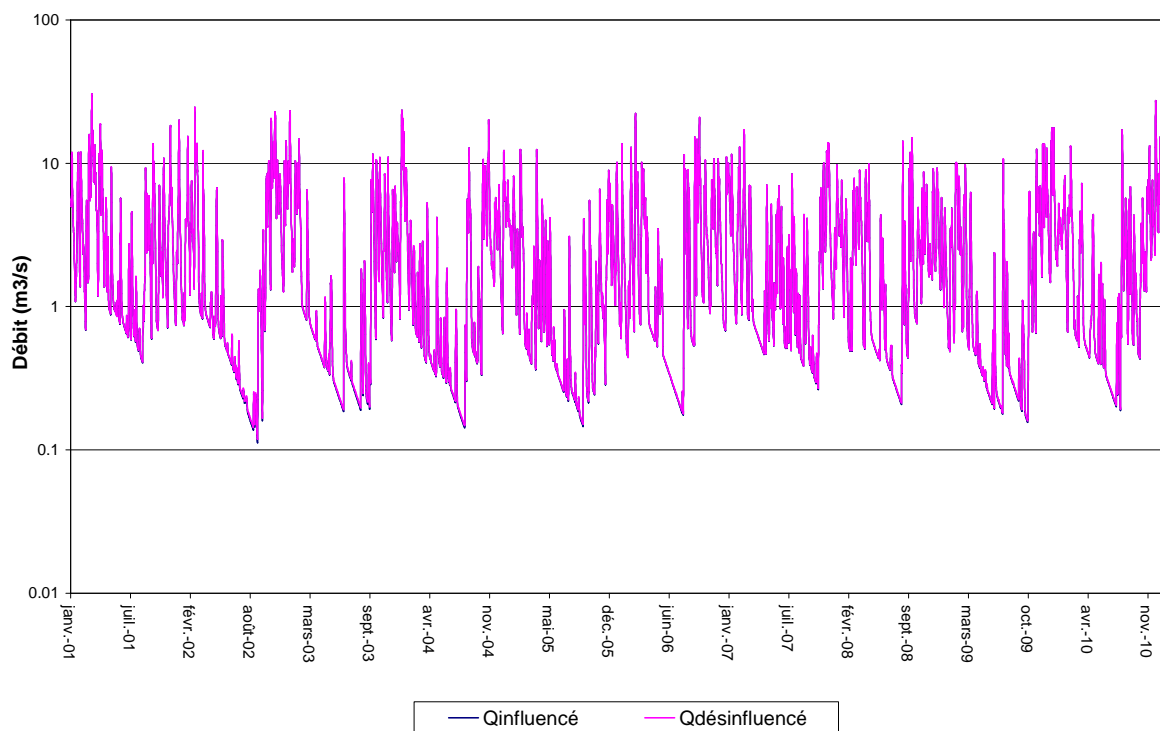


Figure 3-28 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point L (évaporation des plans d'eau = « naturel »)

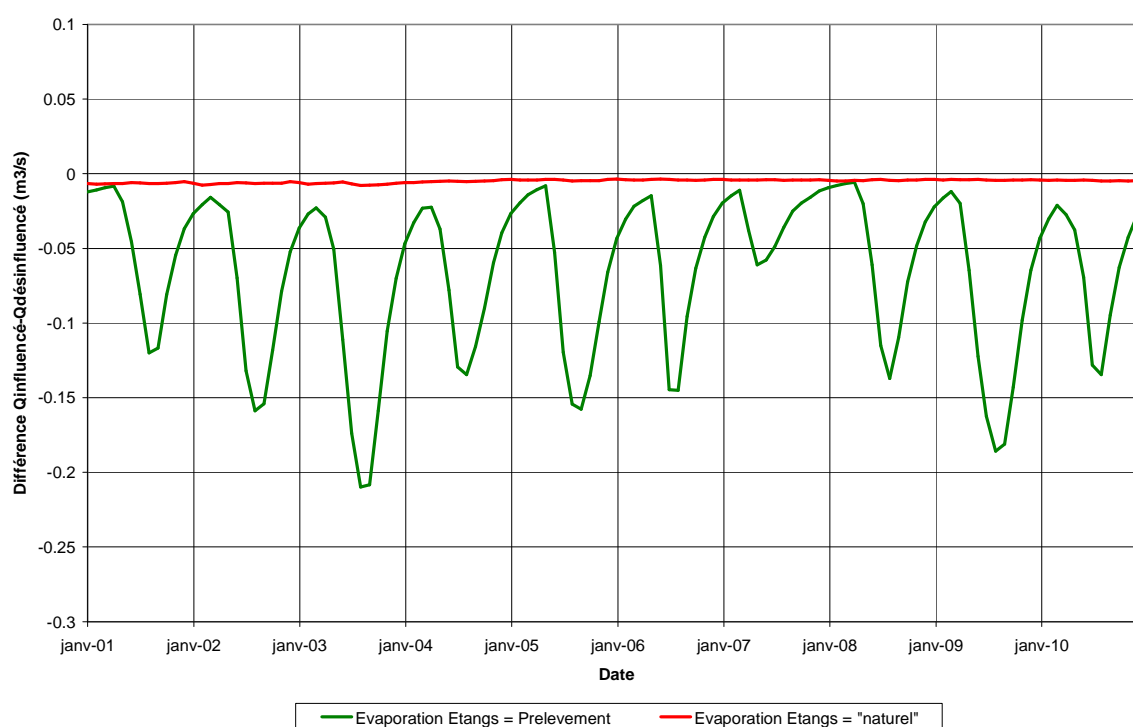


Figure 3-29 : Différence débits mensuels influencés/désinfluencés sur la Lanterne au point L pour les hypothèses de prise en compte de l'évaporation des étangs étudiées

Les Tableau 3-16 et Tableau 3-17 présentent la comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage pour l'hydrologie influencée et désinfluencée obtenues au point L pour le bassin versant de la Lanterne, et pour les deux hypothèses d'évaporation des étangs (le premier tableau présente les résultats en considérant l'évaporation des étangs comme un prélèvement, le second comme partie intégrante du bilan hydrique naturel).

Tableau 3-16 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point L (évaporation des plans d'eau = prélèvement)

		Module	QMNA 5
Hydrologie influencée	Valeur reconstituée (m3/s)	2.683	0.217
	Valeur simulée (m3/s)	2.538	0.216
	Erreur absolue (m3/s)	-0.145	-0.001
	Erreur relative (%)	-5%	0%
Hydrologie désinfluencée	Valeur simulée (m3/s)	2.604	0.375
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	2.748	0.376
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	2.744	0.377
	Valeur retenue (m3/s)	2.744	0.376
	% d'évolution	2%	74%

Tableau 3-17 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point L (évaporation des plans d'eau = « naturel »)

		Module	QMNA 5
Hydrologie influencée	Valeur reconstituée (m3/s)	2.683	0.217
	Valeur simulée (m3/s)	2.609	0.219
	Erreur absolue (m3/s)	-0.074	0.003
	Erreur relative (%)	-3%	1%
Hydrologie désinfluencée	Valeur simulée (m3/s)	2.614	0.224
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	2.688	0.222
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	2.686	0.222
	Valeur retenue (m3/s)	2.688	0.222
	% d'évolution	0%	2%

Les conclusions sur le bassin versant de la Lanterne amont sont similaires à celles obtenues sur le bassin versant du Breuchin amont. On constate ainsi pour la Lanterne amont que :

- ✓ L'impact de l'évaporation des étangs est très largement supérieur à ceux des autres usages : en période estivale, le gain en hydrologie « naturelle » atteint près de 200l/s sur le débit à l'exutoire du bassin versant. Sur la valeur du QMNA5 calculé sur la période 2001-2010, le gain est supérieur à 30% entre hydrologie désinfluencée et influencée. Le gain sur la valeur de module est en revanche moins important, l'impact de l'évaporation des étangs étant seulement important sur quelques mois de l'année en période estivale ;
- ✓ En excluant l'évaporation des étangs dans le bilan des prélèvements sur le bassin versant, le gain entre l'hydrologie influencée et désinfluencée est quasi nul. Les débits caractéristiques d'étiage tout comme le module stagnent. Comme sur le Breuchin amont, le faible écart obtenu entre l'hydrologie influencée et désinfluencée s'explique en partie par le fait que les volumes de prélèvements, principalement à usage d'alimentation en eau potable, sont majoritairement rejetés au milieu via les dispositifs d'assainissement domestique.

3.5.3.4 Bassin versant de la Lanterne à l'aval de la confluence avec le Breuchin : Point H

Les Figure 3-30 et Figure 3-31 présentent la comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée obtenues au point H pour le bassin versant de la Lanterne (aval de la confluence avec le Breuchin), et pour les deux hypothèses d'évaporation des étangs (la première figure présente les résultats en considérant l'évaporation des étangs comme un prélèvement, la seconde comme partie intégrante du bilan hydrique naturel).

La Figure 3-32 montre la différence entre les débits moyens mensuels naturels et influencés pour les deux hypothèses de prise en compte de l'évaporation des étangs étudiées.

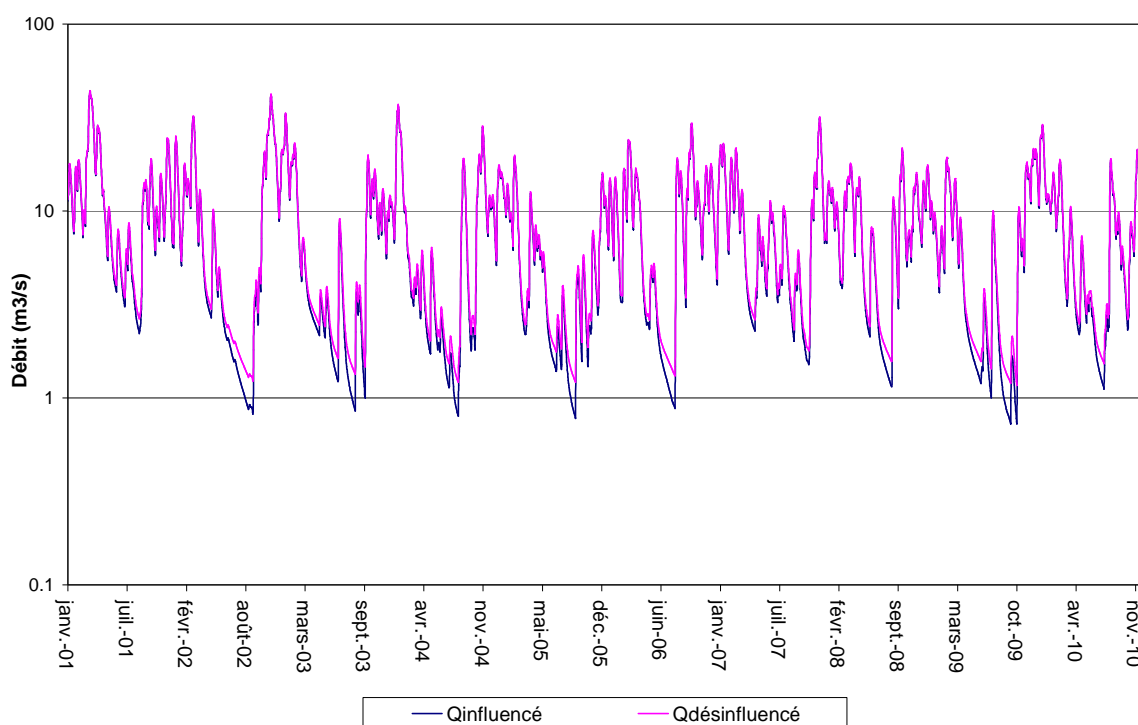


Figure 3-30 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point H (évaporation des plans d'eau = prélèvements)

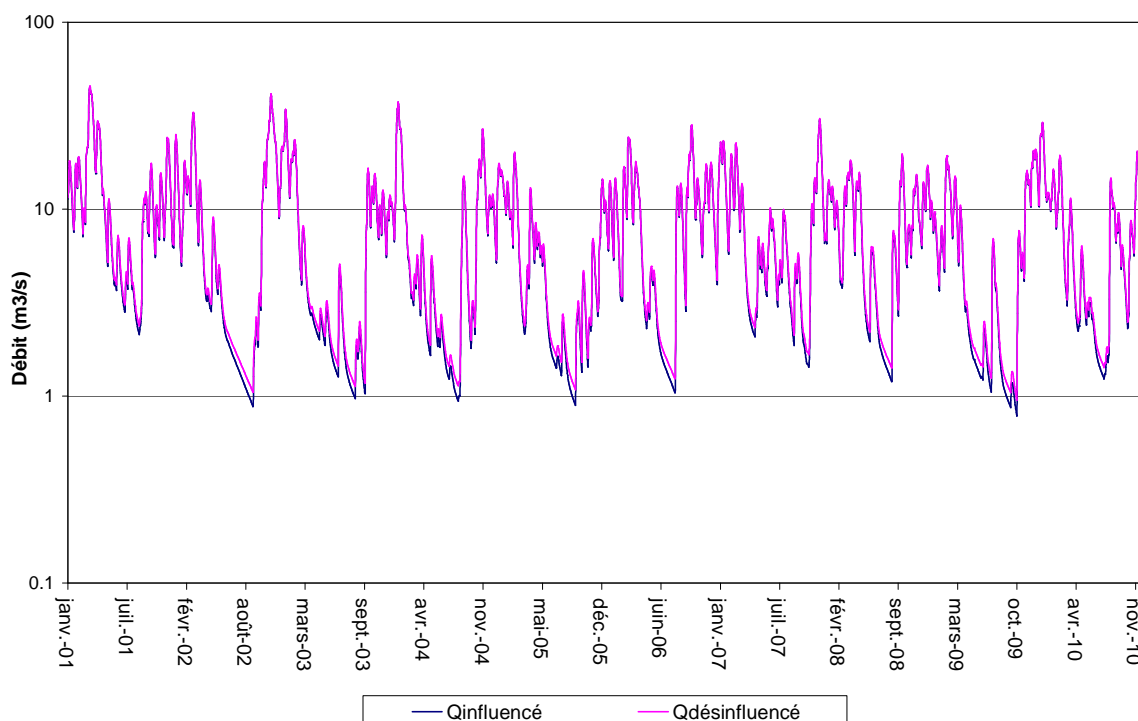


Figure 3-31 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point H (évaporation des plans d'eau = « naturel »)

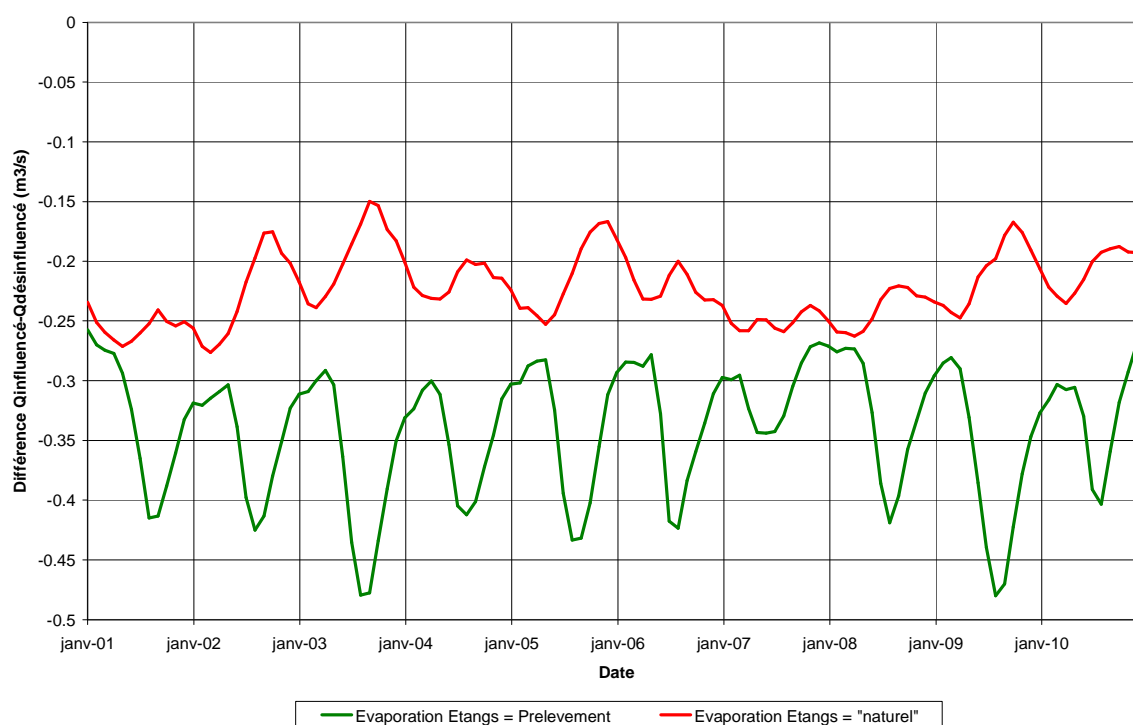


Figure 3-32 : Différence débits mensuels influencés/désinfluencés sur la Lanterne au point H pour les hypothèses de prise en compte de l'évaporation des étangs étudiées

Les Tableau 3-18 et Tableau 3-19 présentent la comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage pour l'hydrologie influencée et désinfluencée obtenues au point H pour le bassin versant de la Lanterne, et pour les deux hypothèses d'évaporation des étangs (le premier tableau présente les résultats en considérant l'évaporation des étangs comme un prélèvement, le second comme partie intégrante du bilan hydrique naturel).

Tableau 3-18 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point H (évaporation des plans d'eau = prélèvement)

		Module	QMNA 5
Hydrologie influencée	Valeur reconstituée (m3/s)	9.473	1.088
	Valeur simulée (m3/s)	8.451	1.086
	Erreur absolue (m3/s)	-1.021	-0.002
	Erreur relative (%)	-11%	0%
Hydrologie désinfluencée	Valeur simulée (m3/s)	8.792	1.510
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	9.813	1.513
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	9.740	1.513
	Valeur retenue (m3/s)	9.740	1.513
	% d'évolution	3%	39%

Tableau 3-19 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Lanterne au point H (évaporation des plans d'eau = « naturel »)

		Module	QMNA 5
Hydrologie influencée	Valeur reconstituée (m3/s)	9.473	1.088
	Valeur simulée (m3/s)	8.205	1.088
	Erreur absolue (m3/s)	-1.268	0.000
	Erreur relative (%)	-13%	0%
Hydrologie désinfluencée	Valeur simulée (m3/s)	8.428	1.273
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	9.696	1.273
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	9.556	1.273
	Valeur retenue (m3/s)	9.696	1.273
	% d'évolution	2%	17%

Les conclusions que l'on peut tirer des figures et tableaux ci-dessus sont assez similaires à celles faites sur le bassin versant du Breuchin à Breuches. En effet, on constate en effet que les différences entre chroniques influencée et désinfluencée sont largement influencées par le prélèvement du Morbief et l'évaporation des étangs si celle-ci est considérée comme un prélèvement. Ainsi, on constate que :

- ✓ Sur les chroniques ne considérant pas les plans d'eau comme un prélèvement, il apparaît que le gain entre hydrologies influencée et désinfluencée tend à diminuer au cours de la période d'étiage (du fait de l'impact du prélèvement du Morbief, qui diminue avec le débit du Breuchin). Le gain oscille ainsi entre 150 et 250l/s suivant les mois considérés entre hydrologie influencée et désinfluencée. Ce gain est plus important que pour le bassin versant du Breuchin à Breuches car le bassin de la Lanterne à l'aval de la confluence Breuchin/Lanterne inclut le prélèvement AEP du Syndicat Mixte du Breuchin
- ✓ Sur les chroniques considérant les plans d'eau comme un prélèvement, la période de gain maximal se déplace vers les périodes où l'évaporation des étangs est a priori la plus forte (juillet-août). L'impact cumulé maximal des prélèvements pour l'alimentation du Morbief et des pertes par évaporation varie alors entre 350 et 500l/s suivant les années. Cela souligne donc que l'impact des étangs est plus important que celui du prélèvement du Morbief sur le régime du cours d'eau (d'autant que les surfaces de plans d'eau sont plus importantes sur le bassin versant de la Lanterne que sur celui du Breuchin).

3.5.4 Synthèse des résultats de l'hydrologie désinfluencée

3.5.4.1 Incertitudes du processus de reconstitution des débits désinfluencés

Le processus de reconstitution des débits désinfluencés a été conduit sur la base des données disponibles, mais aussi d'hypothèses quant à une partie des données d'entrée. Ces hypothèses contribuent à des incertitudes sur les résultats : il est primordial de les conserver à l'esprit dans le cadre de la valorisation des données qui sera faite pour les prochaines étapes de l'étude. Les incertitudes identifiées dans le processus de reconstitution de l'hydrologie désinfluencée sont présentées ci-dessous.

- ✓ **Incertitudes sur les données hydrométriques** : les données hydrométriques, utilisées comme bases pour le calage des modèles hydrologiques, voir pour la transposition de chroniques de débits à des points non jaugés, constitue une source d'incertitude sur les ajustements : à titre d'illustration, la DREAL Franche Comté annonce une potentielle erreur de 10% sur les débits mesurés à la station de Breuches du fait d'incertitudes sur la mesure du niveau du cours d'eau par le capteur de pression (erreur de mesure de quelques millimètres). Cette erreur n'est pas quantifiable au delà des chiffres annoncés ci-dessus, dans la mesure où ces incertitudes vont varier avec les gammes de débits. Dans le cadre de notre analyse, il a été considéré que les débits mesurés aux stations hydrométriques étaient fiables.
- ✓ **Incertitudes sur les modalités de transposition des chroniques de débit** : dans le cadre de notre analyse, des transpositions de débits à certains points de référence de la zone d'étude ont été réalisées en utilisant les rapports des surfaces drainées à une puissance alpha. Le coefficient alpha a été calculé à partir des données hydrométriques disponibles, mais il a été difficile de tirer des valeurs claires (utilisables systématiquement pour chaque mois/année d'analyse sur la période considérée). Une valeur de coefficient a été utilisée pour chaque mois, sur la base des valeurs mensuelles moyennes calculées à partir des données mesurées aux stations hydrométriques : si cette méthode assure une variation infra-annuelle des modalités d'écoulement, elle ne représente pas parfaitement les variations inter-annuelles, et peut être à ce titre source d'incertitudes. Devant le manque de données hydrométriques (faibles densités de points de mesures, chronique de débit à Breuches relativement courte), il est difficile de les vérifier, et plus encore de les quantifier.
- ✓ **Incertitudes sur les ajustements statistiques** : certaines valeurs caractéristiques des débits d'étiage (QMNA, VCN3 et VCN10 de période de retour 5 ans) ont été utilisées pour le calage des modèles hydrologiques, mais aussi comme élément de comparaison entre hydrologie influencée et désinfluencée. Les ajustements statistiques réalisés (selon une loi log-normale) sur ces variables sont également sources d'incertitudes. Ainsi, en considérant par exemple les ajustements de QMNA désinfluencés de l'hypothèse évaporation = « naturel » les bornes de l'intervalle de confiance 80% varient autour de la valeur théorique de respectivement 120l/s, 130l/s, 150l/s et 280l/s pour les points A, L, G et H, ceci pour la période de retour qui nous intéresse (5 ans). A noter que les valeurs théoriques et expérimentales de l'ajustement sont généralement proches dans les gammes de périodes de retour qui nous intéressent.

- ✓ **Incertitudes sur la qualité du calage** : Même si la qualité du calage des modèles hydrologiques était généralement bonne compte tenu du nombre de variables considérées, l'existence d'écart entre valeurs mesurées et simulées peut se répercuter sur les débits désinfluencés, ceux-ci étant calculés à partir des mêmes modèles. Ce biais a été écarté en corrigeant les valeurs de débits désinfluencés calculés par le modèle par les écarts/erreurs calculés entre valeurs mesurées et simulées lors du calage des modèles hydrologiques.
- ✓ **Incertitudes sur les données d'entrée hydroclimatiques** : la modélisation pluie-débit telle que mise en œuvre dans le cadre de la présente étude implique l'utilisation de données hydroclimatiques (pluviométrie, évapotranspiration potentielle). La faible densité de données disponibles sur le secteur d'étude peut être source d'incertitudes, notamment sur un bassin versant de cette taille. L'erreur potentielle induite par ces données a été minimisée en utilisant comme données d'entrée l'ensemble des données de pluviométrie et d'évapotranspiration disponible auprès de MétéoFrance sur la zone d'étude et pour la période considérée.
- ✓ **Incertitudes sur les données de prélèvements/rejets** : il existe généralement des incertitudes sur les données représentant les volumes prélevés / rejetés au milieu sur les années passées. Ces incertitudes reposent généralement sur les modalités de discrétisation temporelle de ces volumes, ceux-ci n'étant généralement pas connus à des pas de temps infra-annuels. Dans le cas de la présente analyse, ce problème s'est posé, mais est resté très mineur en comparaison des incertitudes sur le volume prélevé dans le Breuchin pour l'alimentation du canal du Morbief : ce prélèvement constitue en effet, et de loin, le principal besoin sur l'ensemble de la zone d'étude. Le manque d'informations disponibles a conduit à construire une chronique de prélèvements basée sur des observations faites durant l'été 2012, qui ne représentent pas forcément les modalités de gestion de l'ouvrage de prise d'eau sur les 12 dernières années. À ce titre, cela représente une source d'incertitudes importante. Il ne sera pas possible de résorber ces incertitudes sans une amélioration de la connaissance sur les modalités de gestion de l'ouvrage du Morbief, notamment :
 - Un diagnostic exhaustif des prélèvements et besoins existants le long du canal ;
 - La mise en place de modalités claires de gestion de l'ouvrage, notamment en terme de manipulation des vannes et d'entretien de l'ouvrage de prise d'eau et du canal.

Comme présenté ci-dessus, de nombreuses incertitudes existent quant aux hypothèses utilisées pour la reconstitution de l'hydrologie désinfluencée sur le bassin versant d'étude. Si une partie d'entre elles ont pu être minimisées, il convient de les conserver à l'esprit dans le cadre de la valorisation de ces éléments dans les phases ultérieures de l'étude.

3.5.4.2 Conclusions sur les résultats de la reconstitution des débits désinfluencés

A partir des résultats obtenus par sous-bassin versant, il est possible de dresser la typologie suivante en fonction du rapport entre hydrologie influencée et désinfluencée en période d'étiage. Rappelons une nouvelle fois que les différences obtenues entre les débits influencés et désinfluencés sont à relativiser compte tenu des **incertitudes du modèle et des hypothèses de prélèvements**. Néanmoins, l'ordre de grandeur des gains obtenus semble compatible avec la réalité du bassin versant:

- ✓ **Les secteurs en tête de bassin pour lesquels aucune tendance nette d'évolution des débits n'est constatée entre hydrologie désinfluencée et influencée pendant les périodes d'étiage (hors considération des pertes par évaporation des plans d'eau) :** cette situation concerne les sous-bassins du Breuchin et de la Lanterne amont dont les exutoires sont les points A et L. Globalement les volumes prélevés et rejetés se compensent durant l'étiage. L'arrêt des prélèvements et rejets a donc peu d'impact sur les débits caractéristiques d'étiage. Il est à noter que les résultats obtenus avec le modèle pluie-débit sont globalisés à l'échelle des bassins versants entiers et peuvent ainsi masquer les impacts ponctuels dépendant des relations nappe-rivière. En considérant l'évaporation des plans d'eau comme un prélèvement, l'influence est alors très forte sur les débits d'étiage, le volume évaporé correspondant en moyenne à 30% des volumes mensuels d'étiage. Cependant, les modalités de prise en compte de ces volumes dans le calcul des volumes prélevables devront être discutées, dans la mesure où, a priori, ces plans d'eau n'ont pas vocation à être comblés/détruits. On peut cependant envisager des modes de gestion plus favorables, notamment en supprimant totalement la reconstitution des stocks des étangs (remplissage des étangs, et donc prélèvements d'eau dans la ressource naturelle) durant la période d'étiage. Cela passerait par la mise en place sur les étangs de dispositifs permettant de garantir les débits réservés à l'aval des ouvrages de prise d'eau, mais aussi de dispositifs permettant au ruissellement de court-circuiter les étangs en période d'étiage et donc de retourner directement à la rivière.
- ✓ **Les secteurs pour lesquels une amélioration importante d'un point de vue quantitatif est observée entre hydrologie désinfluencée et influencée pendant les périodes d'étiage :** cette situation concerne les sous-bassins versants du Breuchin dont l'exutoire est la station hydrométrique de Breuches et la Lanterne à l'aval de la confluence avec le Breuchin dont l'exutoire est le point H. On peut y ajouter la Lanterne avant sa confluence avec le Breuchin, ou les prélèvements AEP sont importants. En situation naturelle, l'arrêt des prélèvements et la suppression des prélèvements du canal du Morbief améliorent le débit des cours d'eau.

4

Modélisation hydrogéologique

4.1 Rappel du contexte

4.1.1 Modèle de nappe 2007

Un modèle de nappe hydrogéologique avait été bâti en 2007 dans le cadre d'une étude de capacité et de vulnérabilité de la nappe du confluent Breuchin – Lanterne.

L'étude sous maîtrise d'ouvrage du Syndicat Mixte des Eaux du Breuchin, visait à l'époque à mettre en place un outil de gestion de la ressource en eau.

Des simulations d'augmentation des prélèvements avaient été testés pour un nouveau champ captant de la Ville de Luxeuil aux Longeures, et pour l'alimentation en crise de la ville de Vesoul.

Les résultats fournis à l'époque avaient fait l'objet de débats.

L'étude des volumes prélevables actuelle a pour objectif de préciser le fonctionnement de la nappe et de vérifier les résultats acquis en 2007 lors du précédent modèle de nappe.

Pour cela, il a été proposé d'acquérir des données complémentaires pour améliorer la qualité du modèle. Parmi les améliorations proposées, figurent :

- ✓ Le nivellement de la ligne d'eau de la Lanterne et du Breuchin dans la plaine alluviale
- ✓ Le nivellement des points d'eau recensés pour la piézométrie,
- ✓ Le suivi de 5 points d'eau en continu pendant 6 mois en étiage 2011,

Ce programme a été mis en œuvre et les résultats sont présentés en phases 1 et 2 de l'étude.

4.1.2 Modèle de nappe 2012

Un modèle hydrogéologique de fonctionnement de la nappe alluviale a été construit dans le cadre de cette étude en parallèle à la modélisation hydrologique. Il s'agit de reconstituer le fonctionnement de la nappe alluviale du confluent Breuchin - Lanterne, avec en particulier :

- ✓ Le mode d'alimentation de la nappe (entrées – sorties),
- ✓ Les relations avec les cours d'eau de la plaine alluviale

Conformément au cahier des charges, le modèle de nappe est destiné :

- ✓ A quantifier en étiage les échanges nappe - rivière par tronçon de rivière homogène,

- ✓ A définir la piézométrie d'étiage désinfluencée, c'est à dire hors prélèvements en nappe
- ✓ A définir les échanges nappes - rivière pour cette piézométrie désinfluencée hors prélèvements,
- ✓ Quantifier l'impact des prélèvements AEP sur les eaux souterraines et les eaux superficielles.

La nappe alluviale alimente globalement les cours d'eau de la plaine alluviale en régime de basses eaux. Pour un fonctionnement hors prélèvements en nappe alluviale, et donc une piézométrie désinfluencée, la nappe alluviale alimentera de manière plus importante les cours d'eau.

Différents scénarios d'étiage et de baisse des prélèvements seront testés par le modèle de nappe pour déterminer la part d'eau prélevée au cours d'eau. Ces résultats seront croisés avec ceux du modèle hydrologique pour définir le débit minimum biologique.

4.2 Construction du modèle

4.2.1 Extension et limites du modèle de nappe

Limites physiques et conditions aux limites choisies

La délimitation de la zone d'étude couverte par la modélisation répond à des critères de nature hydrogéologique. Afin de biaiser le moins possible la démarche de modélisation, cette dernière doit s'appuyer le plus possible sur des limites naturelles définies par des conditions hydrogéologiques reconnues.

Parmi ces conditions, on doit privilégier les limites imperméables et les limites à charges ou flux imposés (tel que rivières, lacs, océans). En second lieu, on peut s'appuyer sur des lignes de crêtes piézométriques et sur des lignes d'écoulement.

La zone retenue pour la modélisation est délimitée par :

Secteur	Conditions aux limites
Nord	Limite à flux nul <ul style="list-style-type: none"> ➤ Contact entre les alluvions (actuelles et anciennes) et les formations du Trias
Ouest	Limite à flux nul <ul style="list-style-type: none"> ➤ Contact entre les alluvions (actuelles et anciennes) et les formations du Trias
Sud	Limite à flux nul <ul style="list-style-type: none"> ➤ Contact entre les alluvions (actuelles et anciennes) et les formations du Trias
Est	Limite à flux nul et flux imposés <ul style="list-style-type: none"> ➤ Contact entre les alluvions (actuelles et anciennes) et les loess éoliens (Lehms) ➤ Rivières (le Breuchin, le Val-de-Brest et la Lanterne)

La Figure 4-1 présente les conditions aux limites retenues pour ce modèle.

Superficie de la zone modélisée

La zone de calcul de 40 km² s'inscrit dans une fenêtre de 10.5 km [N-S] sur 11 km [O-E] dont les coordonnées extrêmes sont (en Lambert II étendue) :

- ◆ $X_{min} = 896\,020$ m et $X_{max} = 907\,053$ m
- ◆ $Y_{min} = 2\,312\,563$ m et $Y_{max} = 2\,323\,062$ m

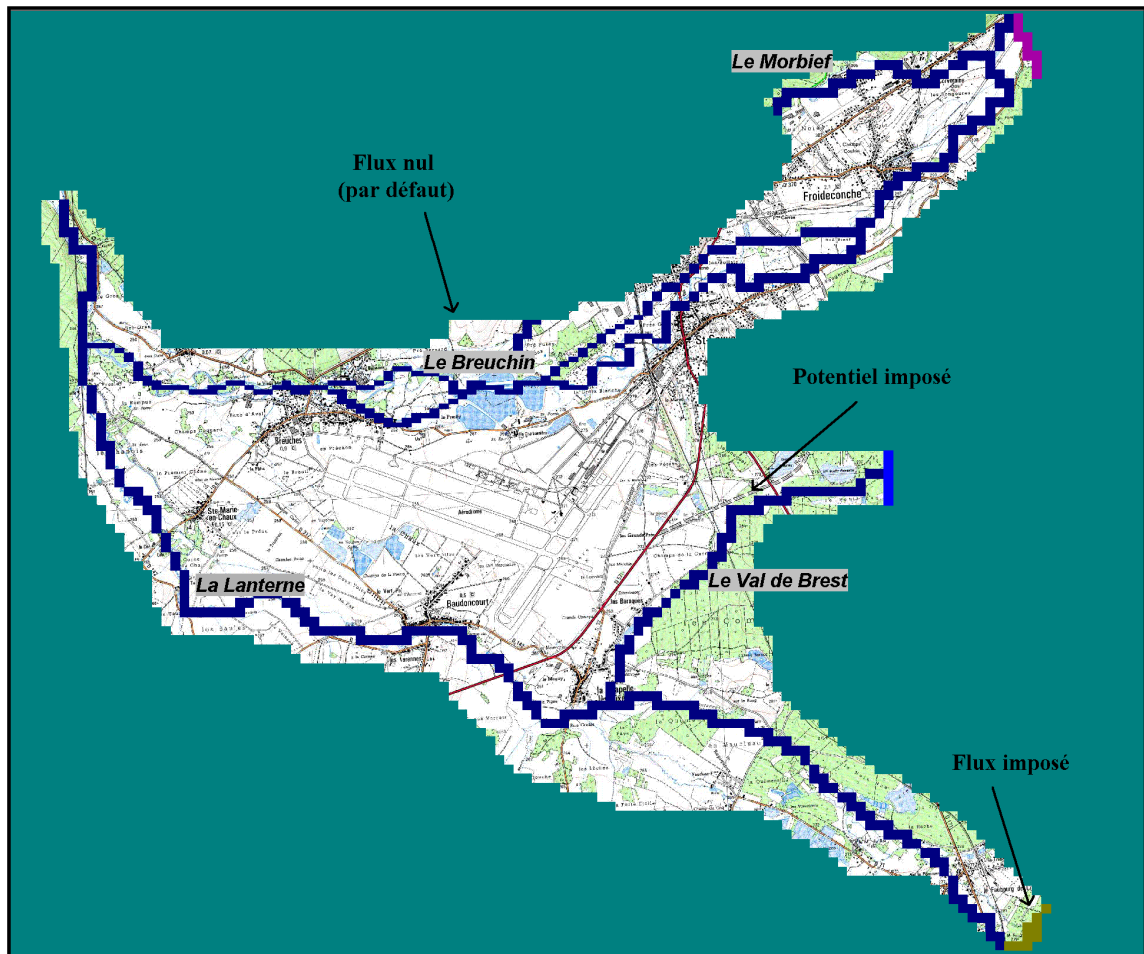


Figure 4-1 : Extensions et conditions aux limites du modèle

4.2.2 Structure du modèle – discrétisation

4.2.2.1 Structure spatiale

✓ Nombre de couches

Les alluvions constituent l'aquifère à modéliser, l'horizon sous-jacent représentant le substratum imperméable. Ainsi, le modèle élaboré est un modèle monocouche.

✓ **Maillage**

Le fond de carte servant de référence pour le modèle est la carte topographique numérisée au 1/25 000^e du secteur.

Le domaine de calcul a été discrétisé en mailles carrées uniformes de 100 m de coté. Le choix de ce maillage permet de :

- ◆ S'adapter à la densité d'information disponible (il est notamment suffisant pour éviter la présence de plusieurs prélèvements dans une seule maille) ;
- ◆ D'avoir une densité des résultats suffisante pour répondre aux besoins de l'étude ;
- ◆ D'avoir un bon rapport entre qualité des résultats et vitesse de calcul.

Des mailles plus fines ont été créées localement sur les secteurs où la densité et les besoins en précision étaient plus importants (cf. Figure 4-2).

✓ **Toit et substratum de l'aquifère**

Les données concernant le toit et le substratum de la nappe superficielle sont extraites du précédent modèle SAFEGE de 2007.

La surface du terrain naturel constituant le toit du modèle est issue de la digitalisation des informations topographiques de la carte IGN au 1/25000. L'analyse géologique et structurale des données disponibles (carte géologique, coupe de sondage et de forage) ont permis l'établissement d'une carte des isohypses du substratum de l'aquifère du secteur d'étude.

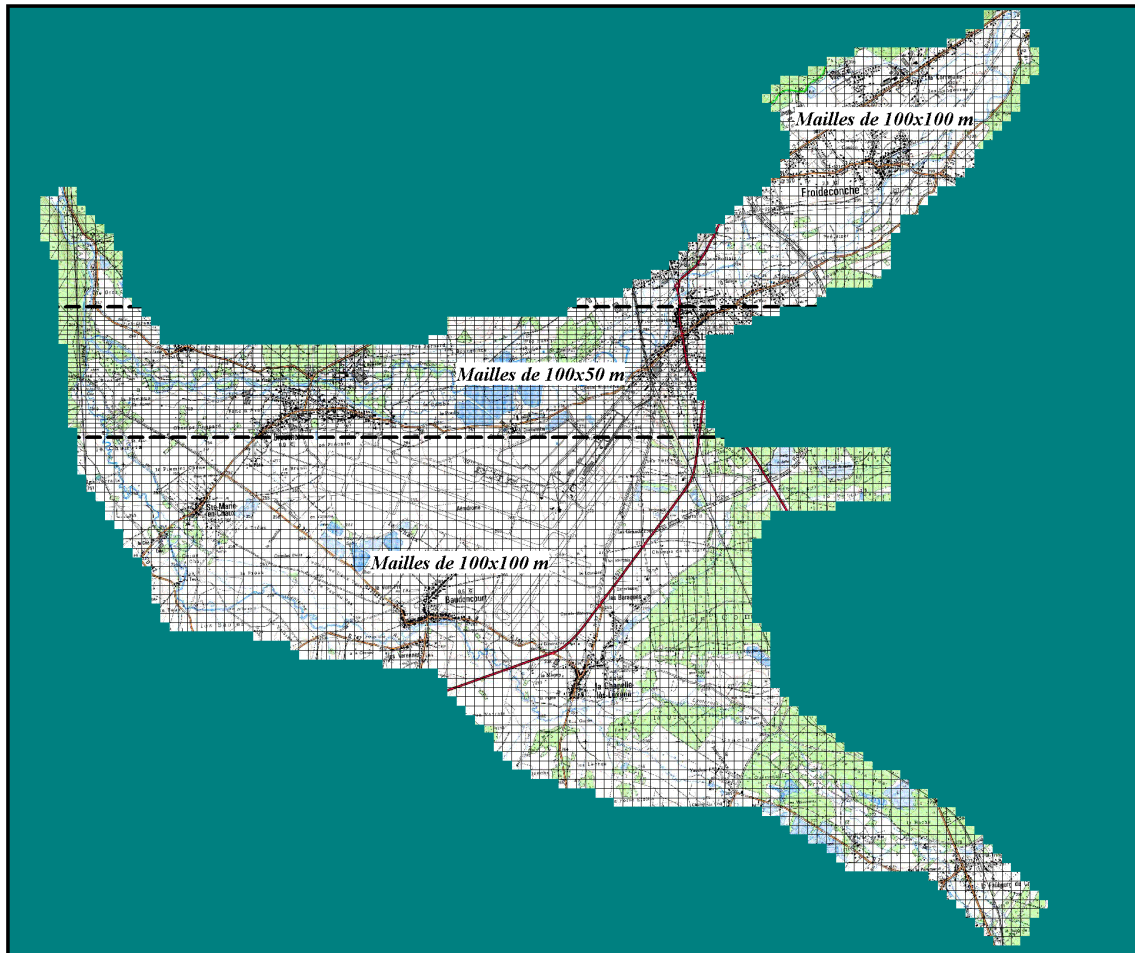


Figure 4-2 : Maillages affectés sur le secteur d'étude

4.2.2.2 Structure temporelle

Une fois le modèle calé en régime permanent, l'élaboration du modèle en régime transitoire consiste à renseigner le modèle sur une période donnée et selon un pas de temps choisi afin de reconstituer les chroniques piézométriques disponibles et les tarissements des étiages, avec les prélèvements présents sur la période.

A partir des données disponibles, la discrétisation temporelle retenue pour la construction et le calage du modèle est le pas de temps mensuel. La période couverte par la modélisation est de janvier 2000 à février 2012. On verra que l'année 2000 n'est pas utilisable car le modèle s'équilibre durant cette première année de calcul et n'est stabilisé qu'à partir de 2001.

Au total le modèle travaille sur 4414 jours avec 145 périodes de calcul mensuelles (dans le cas de l'étude des mois).

4.2.3 Caractérisation de l'aquifère : Paramètres hydrodynamiques

Transmissivité

Dans l'interfluve Breuchin – Lanterne, les valeurs de transmissivité sont comprises entre 3 et 9.10^{-3} m²/s et la perméabilité est comprise entre 2,4 et 1.10^{-3} m/s.

Coefficient d'emménagement

Lors de l'ancienne étude Safège [1992], des essais de pompage de 24h ont été effectués sur chaque point de captage de la zone concernée par la modélisation. D'après les conclusions, le coefficient d'emménagement varie entre $1,2 \cdot 10^{-3}$ et $8,9 \cdot 10^{-2}$.

Pour le modèle, nous retiendrons comme valeur moyenne un coefficient d'emménagement de 1%. Cette valeur est faible pour un aquifère supposé libre où normalement le coefficient d'emménagement approche la porosité. Mais l'aquifère du Breuchin est en fait semi-captif du fait de l'existence de quelques niveaux argileux intercalés en son sein.

4.2.4 Données de flux

Les principales données d'entrée de flux sont la recharge (infiltration efficace), les prélèvements et les flux imposés.

En régime permanent, les données d'entrée sont indépendantes du temps. Les valeurs introduites dans le modèle correspondent à des valeurs moyennes. Pour la recharge c'est une valeur moyenne annuelle en mm/an qui est utilisée. Pour les prélèvements, ce sont des valeurs de débit moyen journalier qui sont utilisées (m³/j).

En régime transitoire, dans notre cas, ce sont des données mensuelles qui ont été introduites dans le modèle.

4.2.4.1 Recharge pluviométrique

Les **infiltrations efficaces** nécessaires à l'évaluation de la recharge de la nappe ont été calculées à partir des données météorologiques (pluviométrie mensuelle et ETP estimée par la méthode de Penman, en chronique décadaire) de la station météorologiques de Saint-Sauveur (n° 70473001).

Une RFU (lame d'eau retenue par le sol et disponible pour les plantes) moyenne de 100 mm a été appliquée à tous le bassin versant.

N'ayant pas de zone urbaine très marquée sur le secteur mais une occupation du sol globalement de type agricole, un coefficient de ruissellement de 10% a été appliqué sur l'ensemble du site.

Le **ruissellement** venant de l'extérieur et s'infiltrant à l'intérieur de la zone modélisée a été pris en compte dans le modèle. Ce ruissellement correspond aux écoulements superficiels et aux sources de débordements provenant des coteaux triasiques. Ce ruissellement a été modélisé comme une recharge indirecte complémentaire répartie aux limites du modèle.

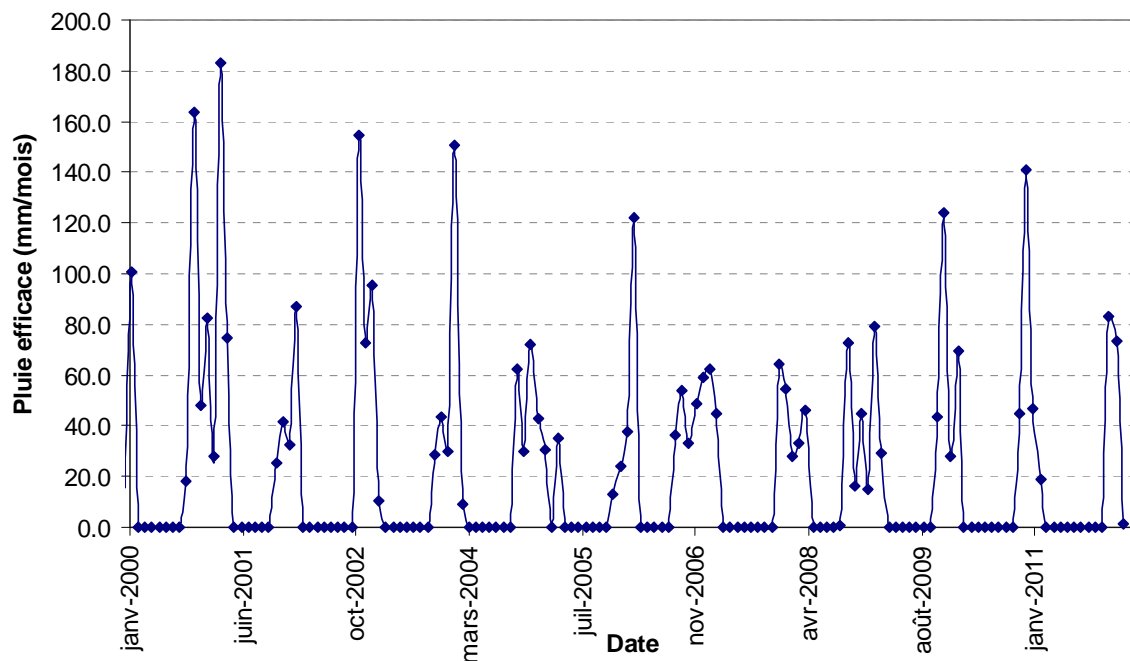


Figure 4-3 : Variation de la recharge utilisée pour le modèle en régime transitoire

4.2.5 Rivières en cours d'eau

Les profils en long des principaux cours d'eau ont été réalisés à l'été 2011 sur la base d'un point tous les 500 m et en prenant en compte la localisation et la hauteur des ouvrages hydrauliques du Breuchin (source : POYRY 2011). Ces données topographiques permettent de définir plus finement la position du lit et de la côte de la rivière par rapport à la cote de la nappe.

Les rivières ont été considérées à l'aide de mailles à potentiel imposé. Les chroniques de niveaux ont été extraites de la banque hydrologique (Station hydrométrique U0415030 « Breuchin à Breuches ») et appliquées sur les différents biefs modélisés.

Les échanges entre nappe et cours d'eau sont fonction :

- ✓ De la différence de niveau (ou charge) nappe – rivière, les transferts augmentent avec l'augmentation de cette différence de charge, en pompage en particulier, ou en crue de rivière à l'inverse,
- ✓ D'un coefficient de colmatage de la rivière (colmatage de berge) qui équivaut à une perméabilité.

Un coefficient de faible colmatage (1.10^{-5} m/s) a été utilisé, sachant que la perméabilité de nappe varie entre 0.5 et 2.10^{-3} m/s en général sur la nappe alluviale. Ce coefficient permet de restituer les chroniques piézométriques en transitoire.

Les pompages à proximité de rivière captent l'eau de la rivière, mais le cône de rabattement se propage en rive opposé, la rivière n'étant pas une limite à potentiel imposé stricto-sensu.

Calage itératif du modèle hydrologique

Par rapport au modèle hydrologique, le modèle hydrogéologique ne connaît que le niveau de rivière dans une maille donnée et son colmatage. Il permet par contre de calculer maille par maille de rivière et mois par mois les débits échangés entre nappe et rivière.

Une fois sommés ces débits échangés, on les compare avec les résultats globaux obtenus par le modèle hydrologique sur une station (et un tronçon) donnés. Un processus itératif peut alors s'établir pour recalibrer le modèle hydrologique, qui est moins précis pour les transferts en nappe, jusqu'à concordance entre les deux modèles.

Dans le cas présent, on a obtenu dès l'origine une bonne concordance entre les deux modèles. Cela est dû au fait que la quasi intégralité des prélèvements AEP sont prélevés en rivière.

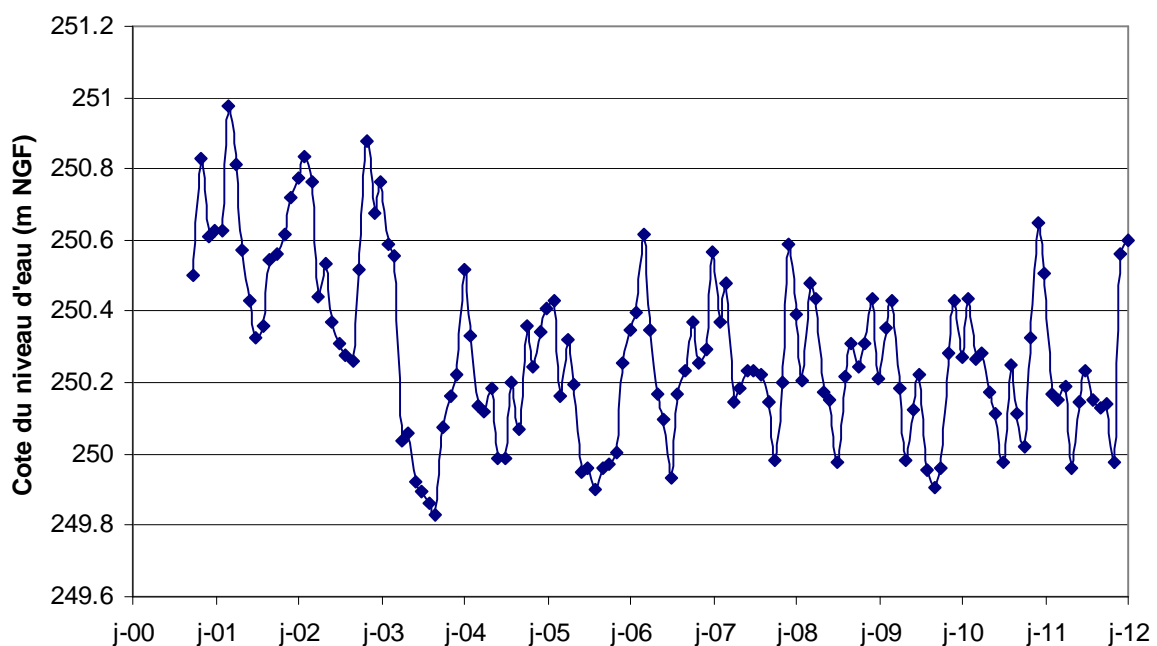


Figure 4-4 : Variations mensuelles du niveau d'eau à la station Breuchin U0415030

La Figure 4-1 localise les tronçons « rivière » [bleu] dans le modèle.

Le modèle est à même de restituer les flux entrants ou sortants échangés avec la nappe superficielle. La somme de ces flux par tronçons homogènes permet d'obtenir les flux d'échanges. Un extrait des échanges nappe-rivière désinfluencés est présenté en fin de chapitre.

4.2.6 Gravières

Les gravières situées sur la commune de Saint-sauveur et de Baudoncourt ont été modélisées comme des plans d'eau permettant des échanges nappes/gravières.

Les gravières ont donc été modélisées comme des mailles de perméabilité infinies avec une cote de drainage des eaux correspondant aux surverses des bassins, fournies par les exploitants.

Les plans d'eau des gravières peuvent être l'objet de phénomènes d'évaporation par insolation directe dans des conditions spécifiques de température, de l'ensoleillement et de pression atmosphérique. Nous ne disposons pas de données spécifiques au secteur d'étude et aux plans d'eau permettant de modéliser de manière satisfaisante ces phénomènes. Ils ont été modélisés de manière indirecte sous la forme d'un déficit de recharge.

Sur les mailles drains des gravières a été appliquée une évaporation indirecte supérieure à l'évaporation d'un centimètre par jour prise en référence. En effet, le modèle a pris en compte un déficit d'évapotranspiration et de ruissellement, qui n'existent pas sur des plans d'eau libres bien supérieur à l'évaporation directe.

4.2.7 Prélèvements

L'ensemble des prélèvements pour l'alimentation en eau potable (cf. Tableau 4-1) réalisé dans la zone couverte par la modélisation a été pris en compte. Ainsi, les débits des captages présents dans cette zone ont été imposés dans le modèle (cf. Figure 4-5).

Tableau 4-1 : Liste des captages AEP du secteur d'étude

Indice_BSS	Dénomination	XIIe	YIIe	Exploitant/Regis
04103X0007	<i>Puits du Pré Pusey</i>	901560.1	2319201.8	Ville de Luxeuil-les-Bains
04103X0083	<i>Puits de la Base aérienne</i>	901530.0	2318530.0	BA116 et ville de Luxeuil-les-Bains
04107X0017	<i>Puits Saint-Marie en Chaux</i>	898043.3	2317150.6	SDEB Syndicat Des Eaux de Breuches-les-Luxeuil
04103X0068	<i>Puits du Breuchin (2)</i>	897102.6	2318793.4	SMEB Syndicat Mixte des Eaux du Breuchin
04103X0069		897135.7	2318670.2	
04105X0023	<i>Puits Prés d'Amont ancien</i>	903845.7	2320112.3	Commune de Saint-Sauveur
04104X0002	<i>Puits Bois de Bouhay</i>	906390.6	2321839.8	Commune de Froideconche

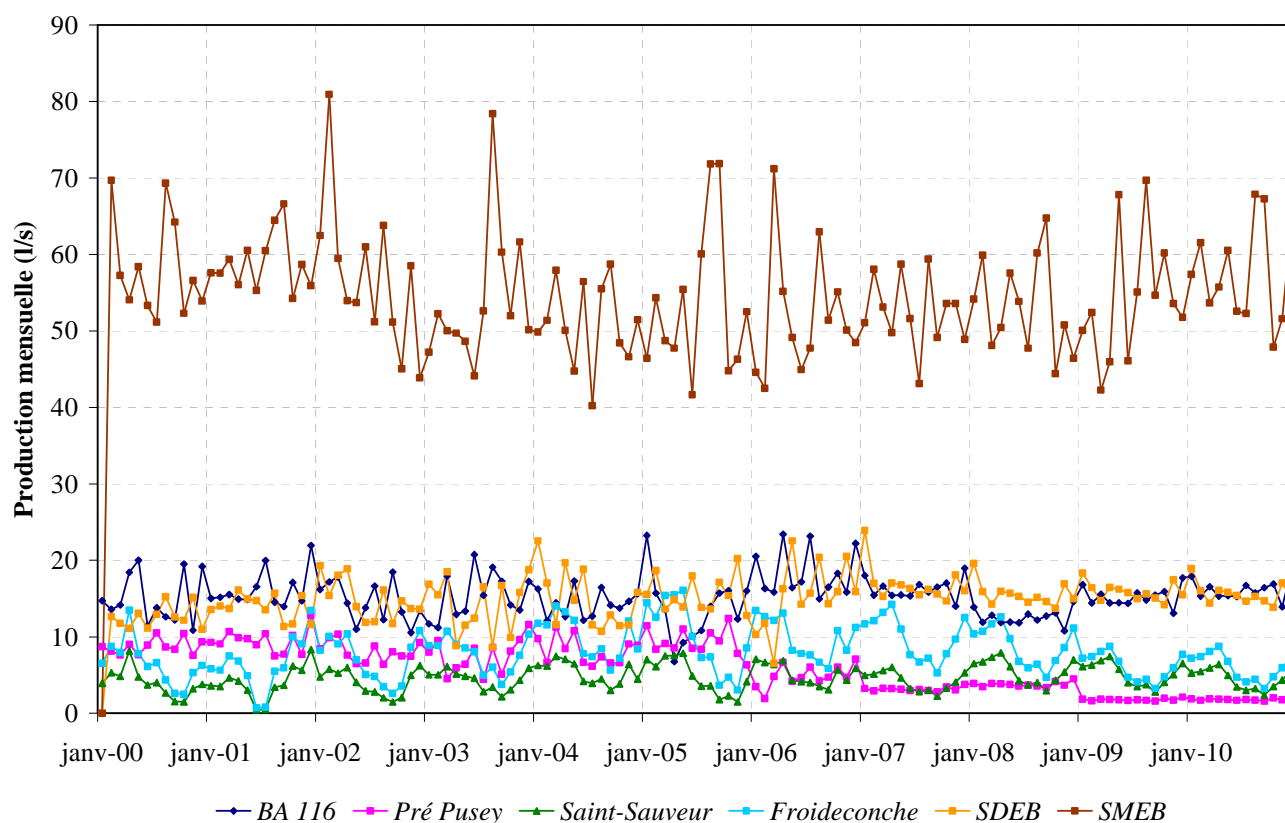


Figure 4-5 : Évolution des volumes prélevés par les captages du secteur d'étude

Les données de volumes à notre disposition correspondent aux valeurs annuelles déclarées à l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et des données mensuelles fournies par les agglomérations fonctionnant en régie ainsi que par les exploitants privés.

Ces débits sortants sont donc matérialisés par des prélèvements sur les mailles au droit des captages mis en évidence. La localisation des points de prélèvement est donnée sur la figure suivante.

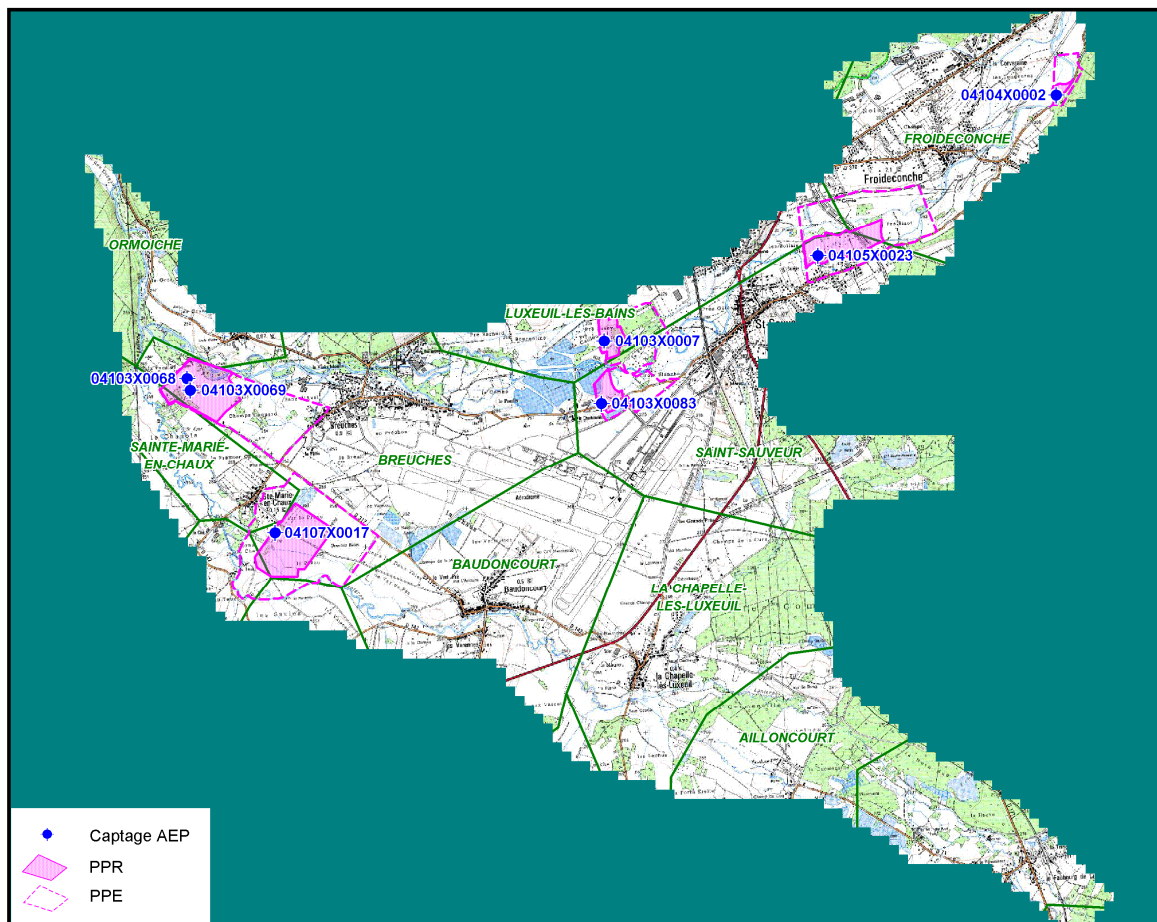


Figure 4-6 : Localisation des prélèvements AEP

4.3 Données de contrôle

La phase de calage du modèle a pour but de reproduire au mieux le fonctionnement hydrodynamique de l'ensemble du système et donc de restituer de manière représentative les niveaux piézométriques mesurés disponibles.

Les flux entrants et sortants du système étant relativement connus, ce sont les paramètres caractéristiques des aquifères et de la rivière qui ont été ajustés (à partir des données disponibles) afin de reconstituer le plus fidèlement possible la piézométrie mesurée.

Nivellement des points d'eau

En parallèle au nivellement du cours d'eau, le nivellement de 50 points d'eau a été réalisé pendant l'été 2011. Il a permis d'améliorer la qualité des mesures piézométriques, et de mieux recalibrer cette piézométrie avec le niveau des cours d'eau.

La précision du nivellement, réalisé au GPS et recalé pour vérification sur les bornes IGN locales, est inférieure à 10 cm.

Carte piézométrique

A l'issue de la phase d'investigations complémentaires, une carte piézométrique a été réalisée en période de basses eaux 2011. Elle a pris en compte :

- les niveaux d'eau relevés lors de la campagne piézométrique ;
- les hauteurs d'eaux nivelées sur les deux principaux cours d'eau.

Celle ci est présentée en annexe 2.

Chroniques piézométriques de référence

Les historiques piézométriques quasi-complets sont peu nombreux dans le secteur modélisé. Le piézomètre de Breuches (Numéro BSS : 04103X0022) suivi par la DIREN sert de référence pour la nappe alluviale.

Cinq sondes de niveau ont été installées en juillet 2011 par Safège dans les piézomètres proches des zones de prélèvements et des cours d'eau afin de pouvoir estimer l'impact de ces prélèvements sur la nappe :

- *Pz SMEB, Pz Ba116, Pz10 gravière, Pz St Sauveur, Pz Froideconche*

Enfin, 8 chroniques piézométriques proches des gravières du secteur ont également été prises en compte, malgré un pas de temps variable. Notons que le niveau altimétrique de certaines chroniques devra faire l'objet d'une vérification, notamment pour les piézomètres de gravières C1 à C5 qui n'ont pu être nivelés.

Communes	Dénomination de l'ouvrage	XIIe	YIIe	Période de mesures disponible
Breuches	<i>PZ1</i>	899031	2317551	Avril 2000 à décembre 2006
Breuches	<i>PZ2</i>	899690	2317232	Avril 2000 à décembre 2006
Bandoncourt	<i>PZ3</i>	899816	2317137	Avril 2000 à décembre 2006
Breuches	<i>04103X0022</i>	898131	2318047	Octobre 2000 à août 2006
Breuches	<i>C1</i>	900482	2318299	Avril 2000 à mars 2007
Breuches	<i>C2</i>	900620	2318512	Avril 2000 à mars 2007
Saint-Sauveur	<i>C3</i>	901320	2318393	Avril 2000 à mars 2007
Luxeuil-les-Bains	<i>C4</i>	901122	2319220	Avril 2000 à mars 2007
Luxeuil-les-Bains	<i>C5</i>	900986	2318853	Avril 2000 à mars 2007
Breuches	<i>Pz_SMEB</i>	897121	2318783	Juillet 2011 à février 2012
Saint-Sauveur	<i>Pz_BA116</i>	901668	2318585	Juillet 2011 à février 2012
Saint-Sauveur	<i>Pz10_Gravierie</i>	901343	2319349	Juillet 2011 à février 2012
Saint-Sauveur	<i>Pz_Saint-Sauveur</i>	903845	2320096	Juillet 2011 à février 2012
Froideconches	<i>Pz_Froideconche</i>	906415	2321843	Juillet 2011 à février 2012

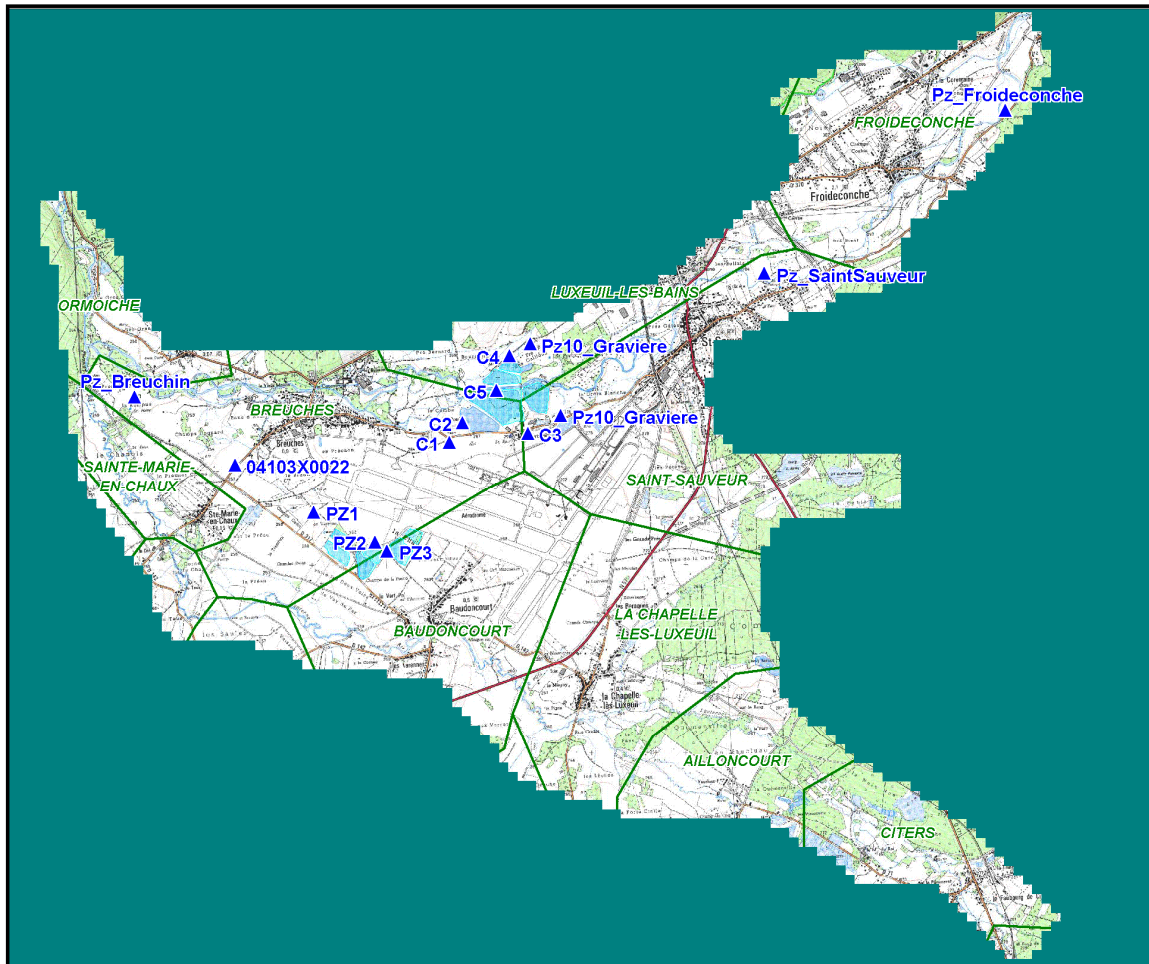


Figure 4-7 : Localisation des points de suivi piézométrique en continu

La localisation de ces points d'appui utilisés en régime transitoire est précisée sur la figure précédente

4.4 Calage du modèle de nappe

Le logiciel utilisé pour l'élaboration du modèle est Visual Modflow dans sa version 2011.1.

Le calage d'un modèle s'effectue en procédant par hypothèses successives portant sur la distribution des paramètres et la comparaison entre valeurs calculées et valeurs de référence sur le terrain.

Le modèle est d'abord monté en régime permanent (indépendamment du temps), ce qui permet d'assurer un premier ajustement du modèle sur une situation moyenne (sur la base des données disponibles) à long terme avant de prendre en compte les variations saisonnières du système au pas de temps mensuel.

4.4.1 Calage en régime permanent

L'erreur moyenne absolue entre les niveaux calculés et mesurés est de l'ordre de 1.3 m sur la totalité des mesures disponibles ce qui est globalement faible.). L'erreur relative est de 0.17 m indiquant que les surestimations locales de la piézométrie sont équilibrées avec les sous-estimations.

Une amélioration du calage est possible mais elle nécessiterait des ajustements locaux des perméabilités (points par points). Nous avons choisi de retenir un champ de perméabilité relativement simple afin que l'outil de modélisation mis en place assure une représentativité globale et une lisibilité accrue.

Le calage permet de restituer de façon satisfaisante les niveaux piézométriques bas. La figure suivante montre la comparaison des niveaux calculés et mesurés en régime permanent.

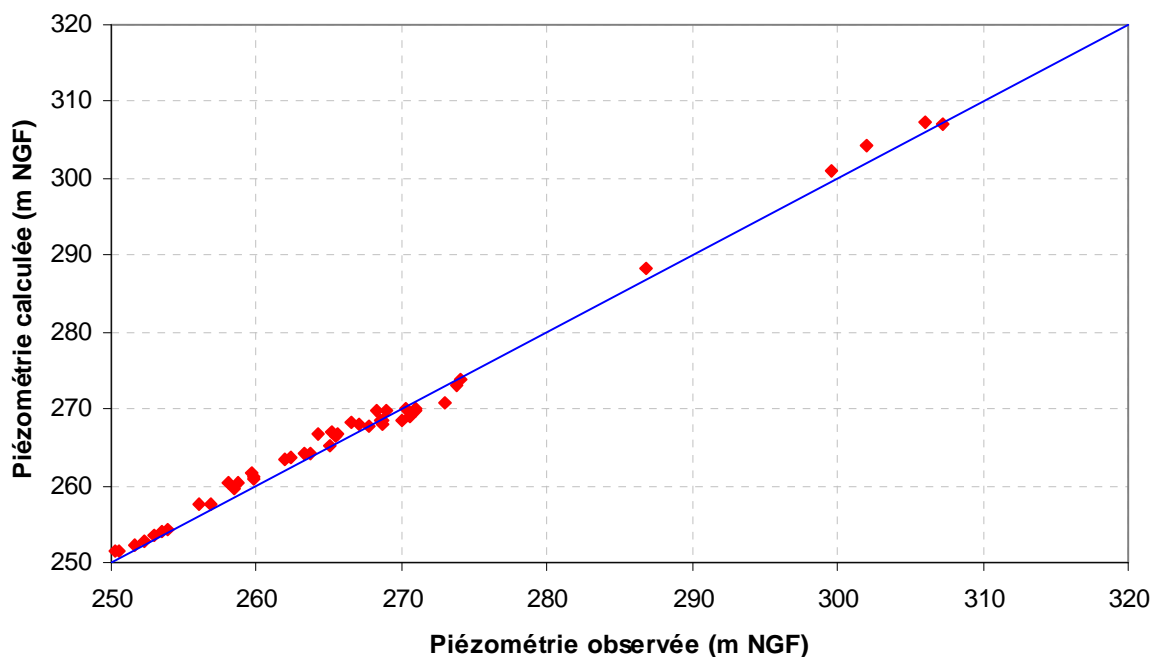
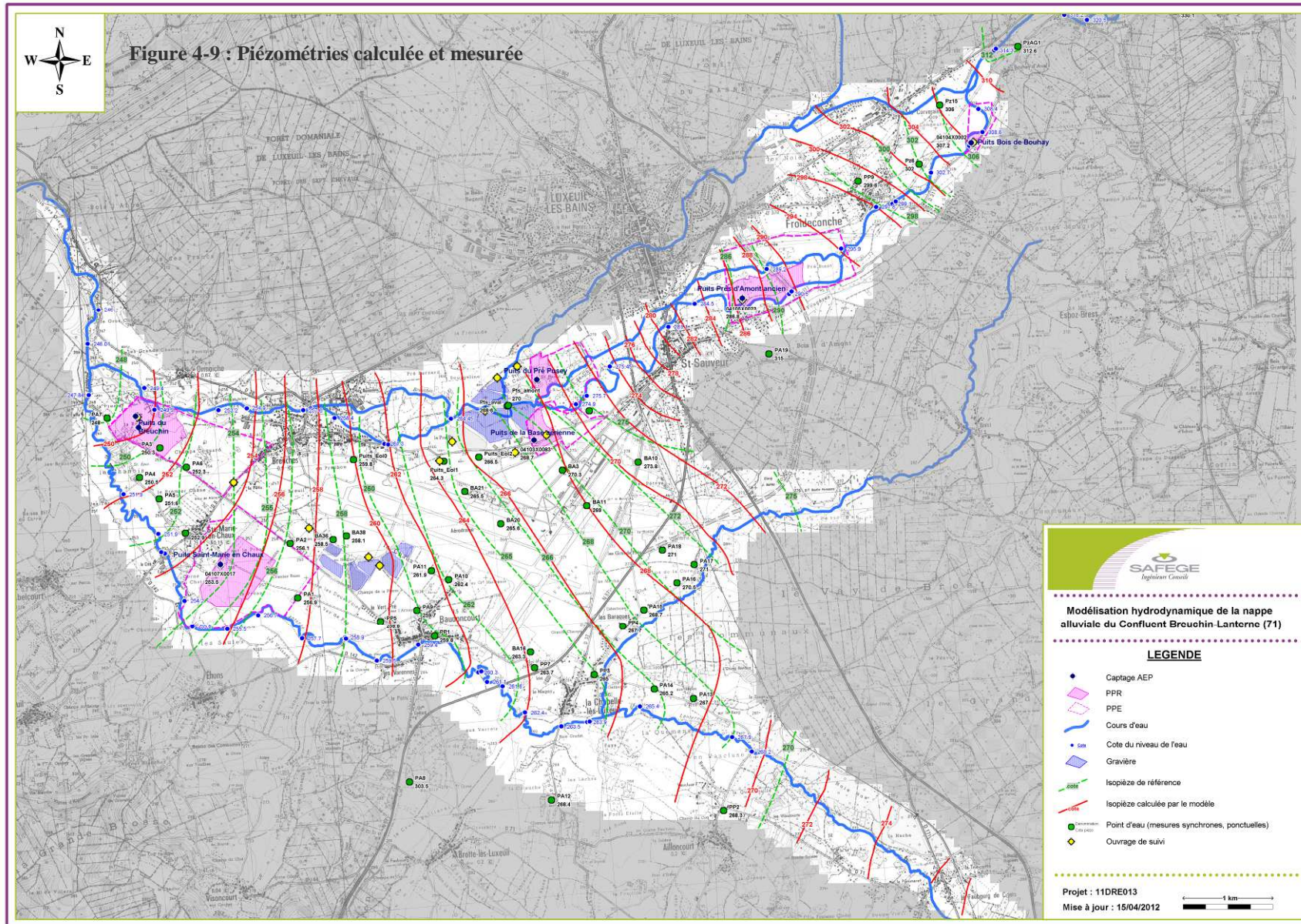


Figure 4-8 : Calage du modèle en régime permanent (septembre 2011)



4.4.2 Calage en régime transitoire

En régime transitoire on simule l'évolution de la nappe sur une période (2000 à nos jours) pour un pas de temps donné (mensuel). On ajoute également les coefficients d'emménagement des nappes pour visualiser les phénomènes de stockage et déstockage dans la nappe. La pluie efficace et les prélèvements peuvent ainsi varier au pas de temps considéré, provoquant l'évolution de la piézométrie calculée par le modèle.

Le principe du calage en régime transitoire reste le même. Le champ de perméabilité et le profil en long de la rivière définie à la fin du calage en régime permanent vont pouvoir être précisés et le champ de coefficients d'emménagement dessiné.

4.4.2.1 Ajustement des paramètres hydrodynamiques

Carte de perméabilité issue du calage

Les valeurs de perméabilités retenues pour le calage en régime permanent ont été prises comme point de départ. Elles n'ont été que très légèrement modifiées. La carte de perméabilité issue du calage en régime transitoire est présentée en Figure 4-10.

Ces champs de perméabilité ont été précisés pour satisfaire aux besoins locaux du calage, ils sont basés principalement sur des critères géologiques.

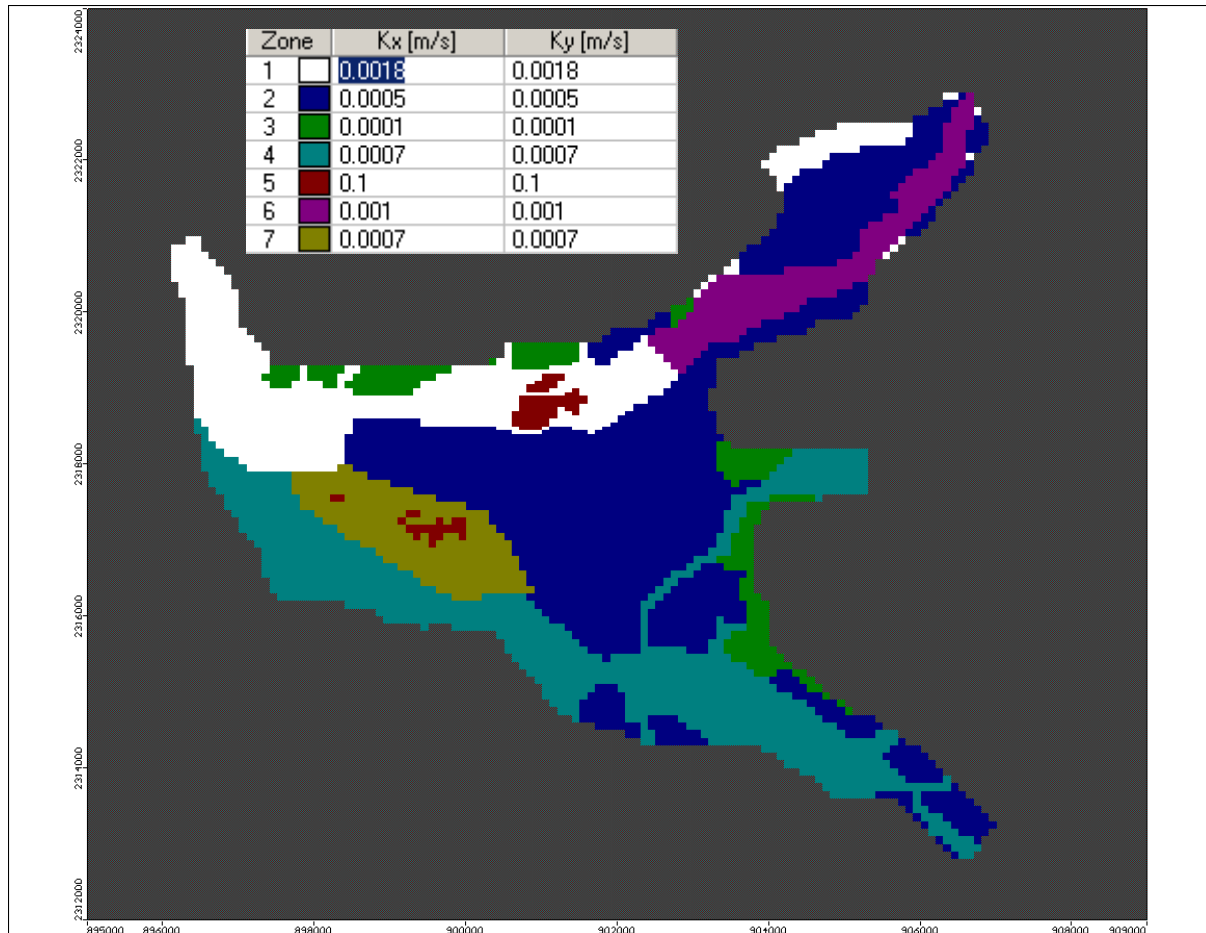


Figure 4-10 : Carte du champ de perméabilités (m/s) de l'aquifère

Carte de l'emmagasinement issue du calage

On distingue le coefficient d'emmagasinement et le coefficient d'emmagasinement spécifique. Le premier (noté S et sans dimension) correspond, pour une formation géologique saturée, à la proportion d'eau récupérée sur toute sa hauteur pour une baisse de pression d'un mètre de colonne d'eau douce. Le second (noté S_s et exprimé en m^{-1}) correspond à la proportion d'eau récupérée, rapportée à une hauteur unité de la formation saturée.

Ainsi, $S_s = S/e$ (avec e l'épaisseur de la formation saturée). La valeur de coefficient d'emmagasinement affectée aux alluvions est de 0,1 (soit $S_s = 0,01 m^{-1}$).

4.4.2.2 Contrôle aux points d'appui

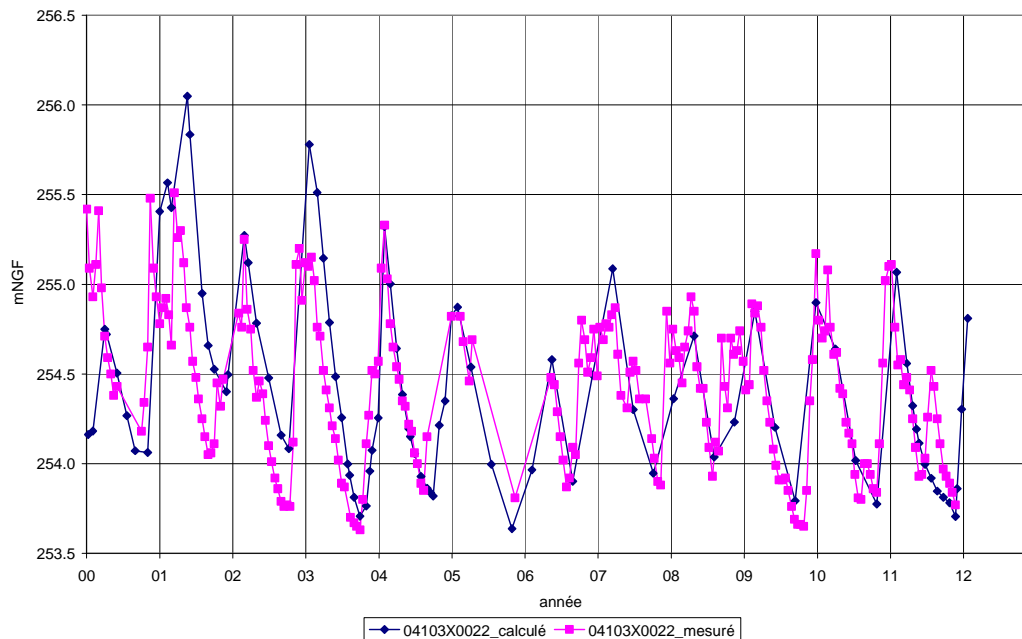
La Figure 4-11 montre la comparaison des niveaux calculés et mesurés en régime transitoire pour différents points d'appui. Globalement la superposition des niveaux calculés et mesurés est bonne.

Le modèle représente de façon satisfaisante les historiques disponibles. Le calage retenu permet d'obtenir un bon compromis entre la simplification de la réalité et la représentativité du modèle. Les variations saisonnières ainsi que les amplitudes sont bien représentées.

L'ensemble des chroniques de calage en régime transitoire sont présentées en annexe. La figure suivante montre le calage sur quelques points d'appui notamment le point de la DIREN et sur les points de suivi par Safège lors de la campagne de terrain de 2011.

Figure 4-11 : Comparaison des niveaux calculés et mesurés en régime transitoire

✓ **Piézomètre de référence de la DIREN n°04103X0022 Breuches**

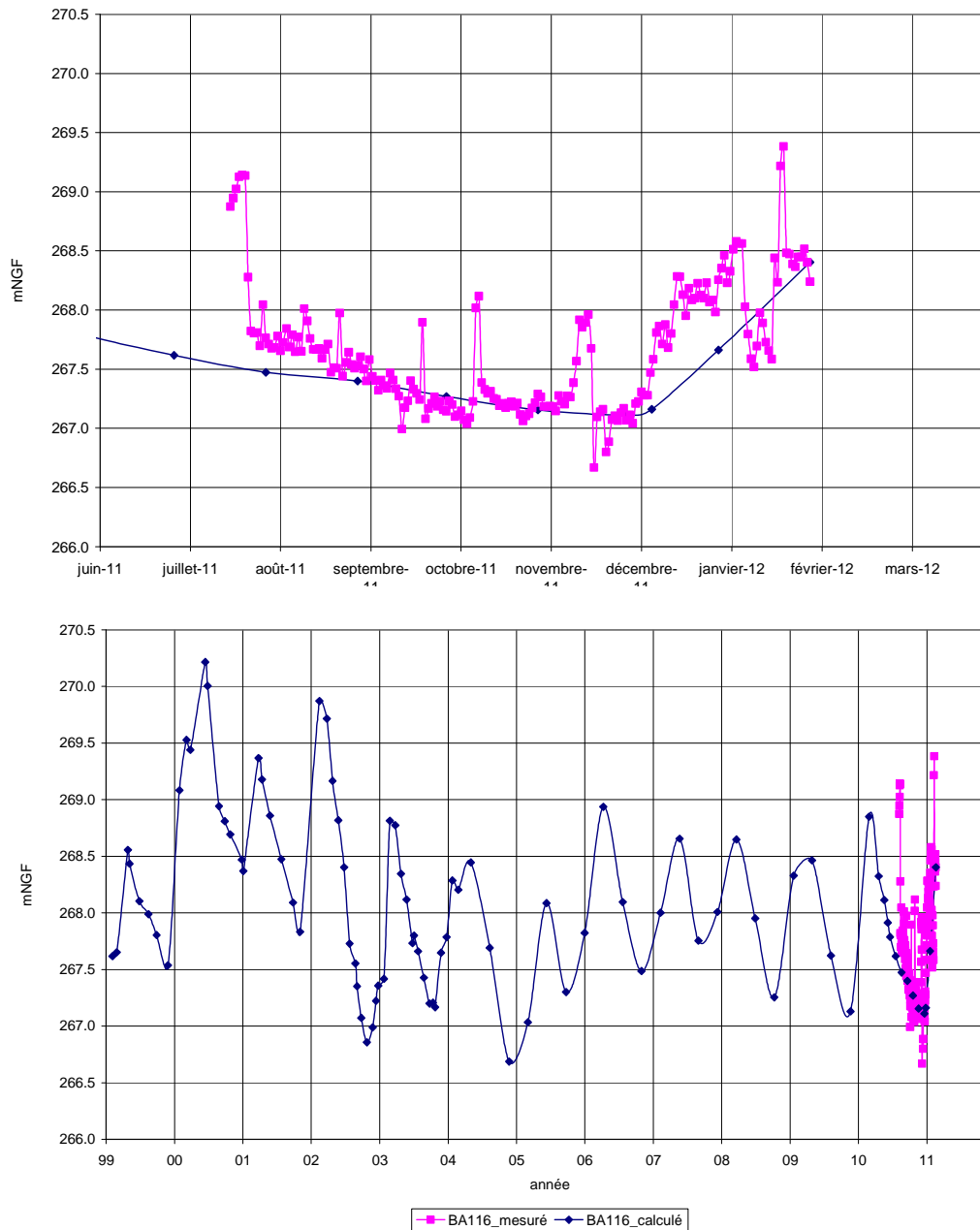


On note que d'une année à l'autre, les crues ou les étiages peuvent être décalés de manière différente (dans un sens ou dans l'autre). Ceci est dû à l'imprécision relative des valeurs de recharge de la nappe, qui sont en particulier globalisées au pas de temps mensuel. Cette incertitude est donc inhérente aux données et au pas de temps associé. Les amplitudes et réactions dans le temps sont de leur côté bien restituées.

Pour les piézomètres suivis pendant 6 mois en 2011, un zoom de calage est présenté ci dessous. Le modèle fonctionnant au pas de temps mensuel, on s'attache à restituer les évolutions générales.

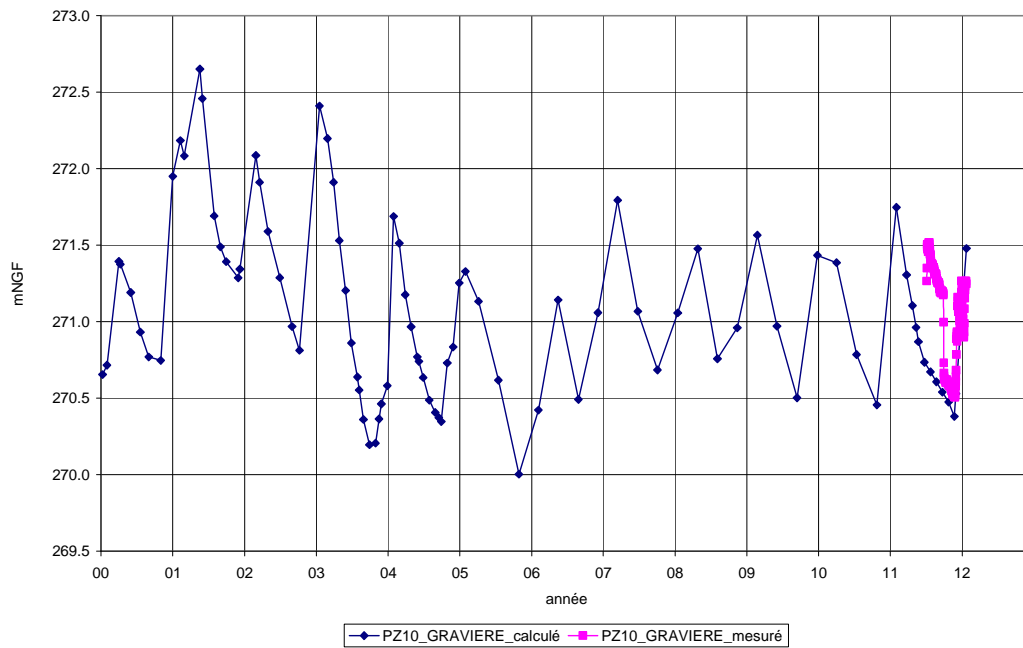
Pour le piézomètre BA116, le calage est satisfaisant. Le tarissement de nappe est bien représenté, ainsi que la remontée suite aux pluies de novembre 2011. Les points mesurés montrent une plus grande complexité de variations, sous l'influence de petites pluies journalières, non restituées par le modèle au pas de temps mensuel. C'est le cas de la crue rapide de nappe de juillet 2011, due aux fortes pluies localisées, qui n'a pas été restituée au pas de temps mensuel (lissage)

✓ **Piézomètre BA116 (source SAFEGE)**



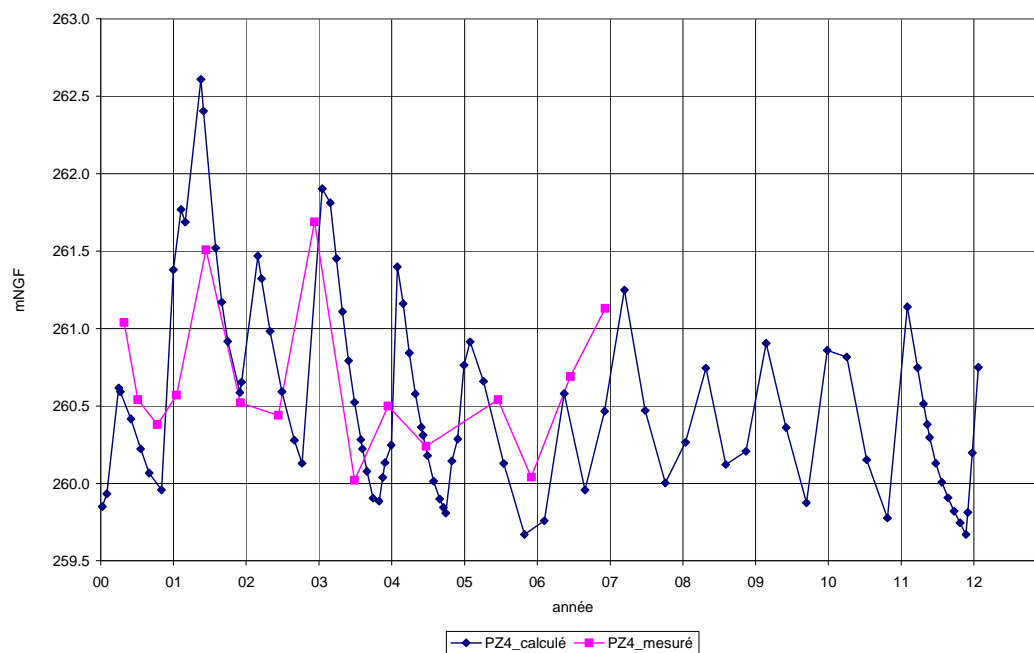
✓ Piézomètre Pz10

Pour le Piézomètre Pz10, on identifie un pompage au niveau de la gravière à proximité, non pris en compte par le modèle, et une erreur de nivellement de 0.5 m à vérifier.



✓ Piézomètre Pz4 (source gravières Ferrat Cholley)

Ce suivi ponctuel sur 2000 – 2006 a été fourni par les gravières Ferrat Cholley. Le calage obtenu est considéré comme bon étant donné le faible nombre de mesures (amplitude, décalage dans le temps).



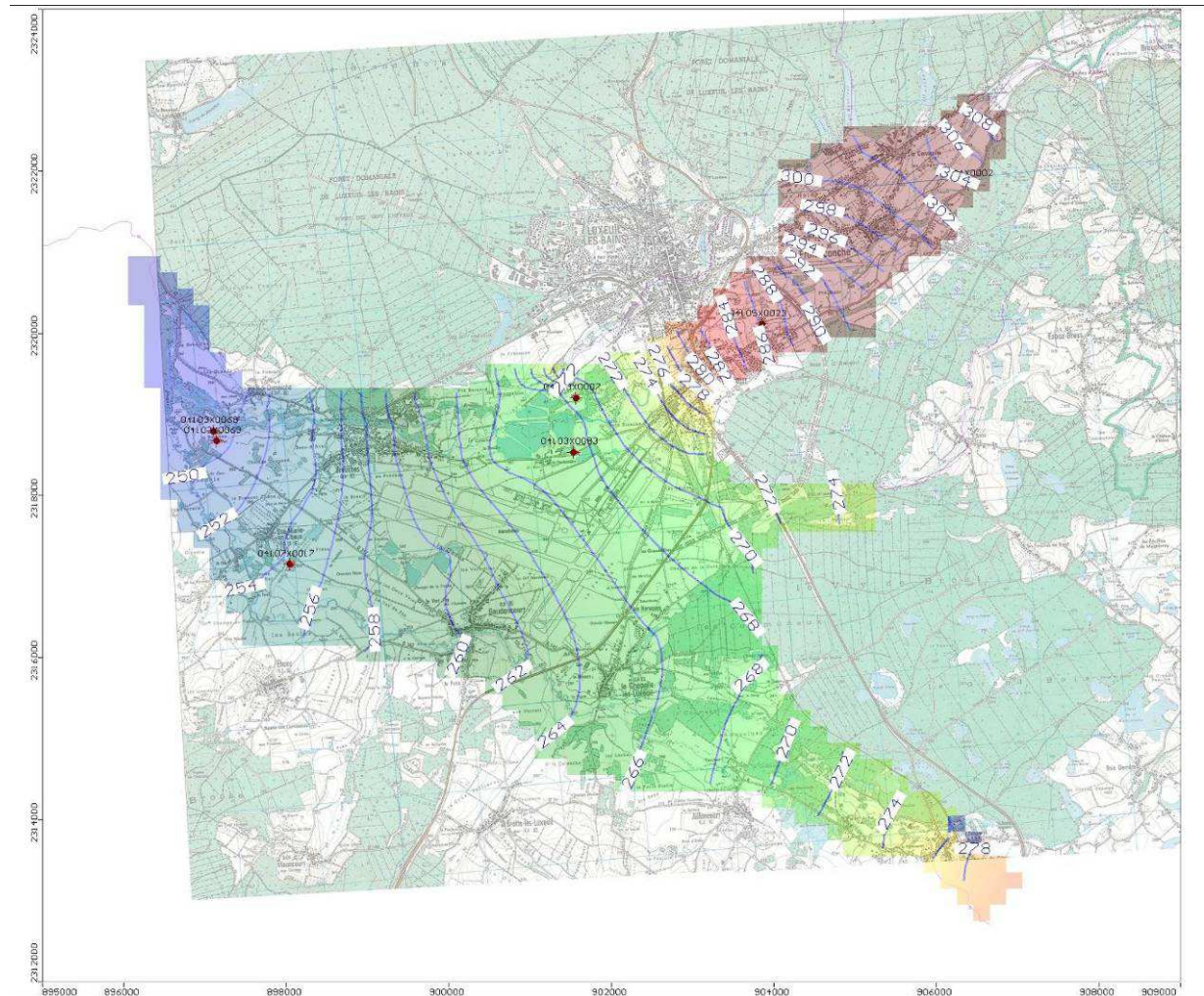


Figure 4-12 : Carte piézométrique de basses eaux calculées (décembre 2011)

4.5 Premiers résultats après calage du modèle

Une fois calé, les premiers résultats du modèle permettent de mettre en évidence le fonctionnement de l'hydro-système « alluvions superficiels du Breuchin ». Avant de réaliser les simulations de piézométrie désinfluencée, nous décrivons les principaux traits de fonctionnement du bassin versant anthropisé.

Deux approches ont été utilisées : l'une correspondant à l'approche par **bassins** et l'autre à une approche par **champs captants**

Dans un premier temps on a différencié le fonctionnement du Breuchin de celui de la Lanterne. Il est ainsi possible de quantifier les échanges entre les deux entités mais également le niveau de sollicitation des deux rivières par les prélèvements.

Dans un second temps une approche par champs captant a été utilisée. Dans ce cas il est possible de quantifier l'impact de chaque champ captant sur les rivières.

4.5.1 Bilan de nappe

Le bilan global de nappe au pas de temps mensuel est fourni en figure 3.13 ci dessous.

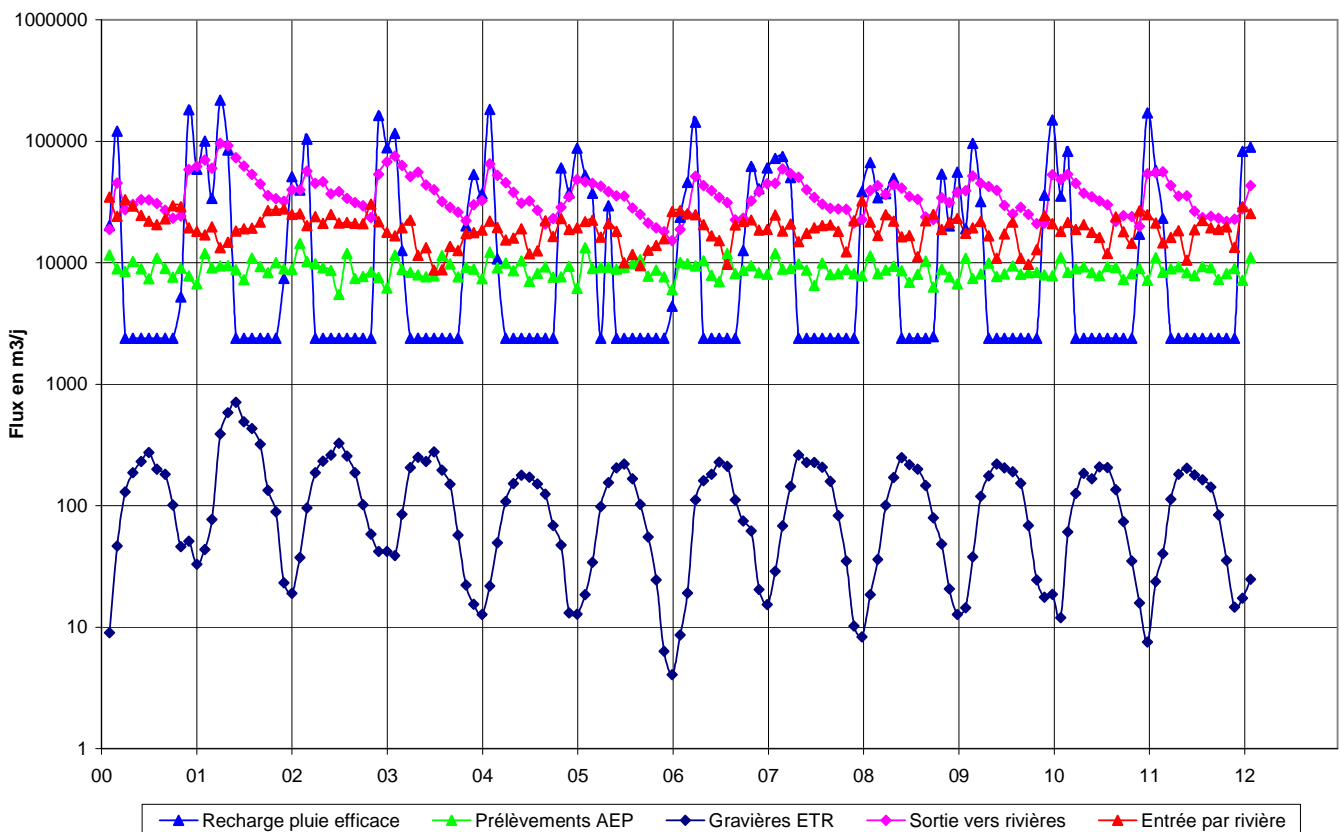


Figure 4-13 : Bilan de nappe

La recharge de nappe s'effectue de manière massive (100 à 200000 m³/mois) mais sur quelques mois d'hiver seulement.

Les prélèvements, quasi intégralement AEP, ne représentent que de l'ordre de 10% de cette recharge.

Sous l'influence de la recharge d'hiver, les sorties vers les rivières (Lanterne principalement), augmentent brutalement, puis diminuent jusqu'en fin d'été (tarissement de nappe).

Les entrées de nappe sont plus faibles, localisées principalement sur le Breuchin et accélérées par les pompages.

Les sorties d'eau générées par les gravières ont été calculées comme un prélèvement d'eau. L'ordre de grandeur reste très faible par rapport aux prélèvements AEP en nappe (facteur 10 et plus). On notera que cette évaporation sur surface libre serait plutôt à ajouter à l'évapotranspiration naturelle sur la plaine.

4.5.2 Approche par Bassin

4.5.2.1 Échanges sur le Breuchin

La figure 3.14 suivante présente pour le Breuchin le bilan des échanges nappe - rivière en régime transitoire mois après mois exprimé en l/s. Les prélèvements sont les chroniques mensuelles possédées par captage. On peut ainsi différencier :

- ✓ Des flux dominant orientés de la nappe vers la rivière, en hiver en particulier lors des périodes de recharge. Ce flux diminue progressivement en été
- ✓ Des flux de la rivière vers la nappe, probablement dans les secteurs de prélèvements AEP, mais pas uniquement. Ces flux évoluent peu entre 100 et 300 l/s selon les variations de niveaux de rivière, de nappe et les prélèvements.
- ✓ Lorsqu'on fait le bilan des flux échangés nappe – rivière (en vert sur le graphique) on s'aperçoit que la nappe alimente globalement la rivière en hautes et moyennes eaux, mais que le flux s'inverse en été et qu'alors la rivière alimente la nappe. Encore une fois, ce phénomène n'est pas uniquement lié aux prélèvements en nappe. La distinction peut être faite par comparaison avec le même bilan hors pompages (échanges désinfluencés en chapitre 3.6 suivant).

4.5.2.2 Échanges sur la Lanterne

Les échanges nappe – Lanterne sont représentés en Figure 4-15.

Les échanges nappe vers rivière sont importants comme sur le Breuchin (100 à 600 l/s selon les saisons).

Par contre, les échanges de la rivière vers la nappe sont pratiquement inexistantes, sauf pour moins de 50 l/s en été.

En bilan, les échanges sont toute l'année globalement de la nappe vers la rivière.

On retrouve le schéma des échanges Breuchin – Lanterne mis en évidence sur la plaine alluviale lors de l'étude 2007 (Figure 4-16).

Le Breuchin est situé plus haut que la Lanterne, ce qui oriente une partie des échanges du Breuchin vers la Lanterne, en particulier en basses eaux.

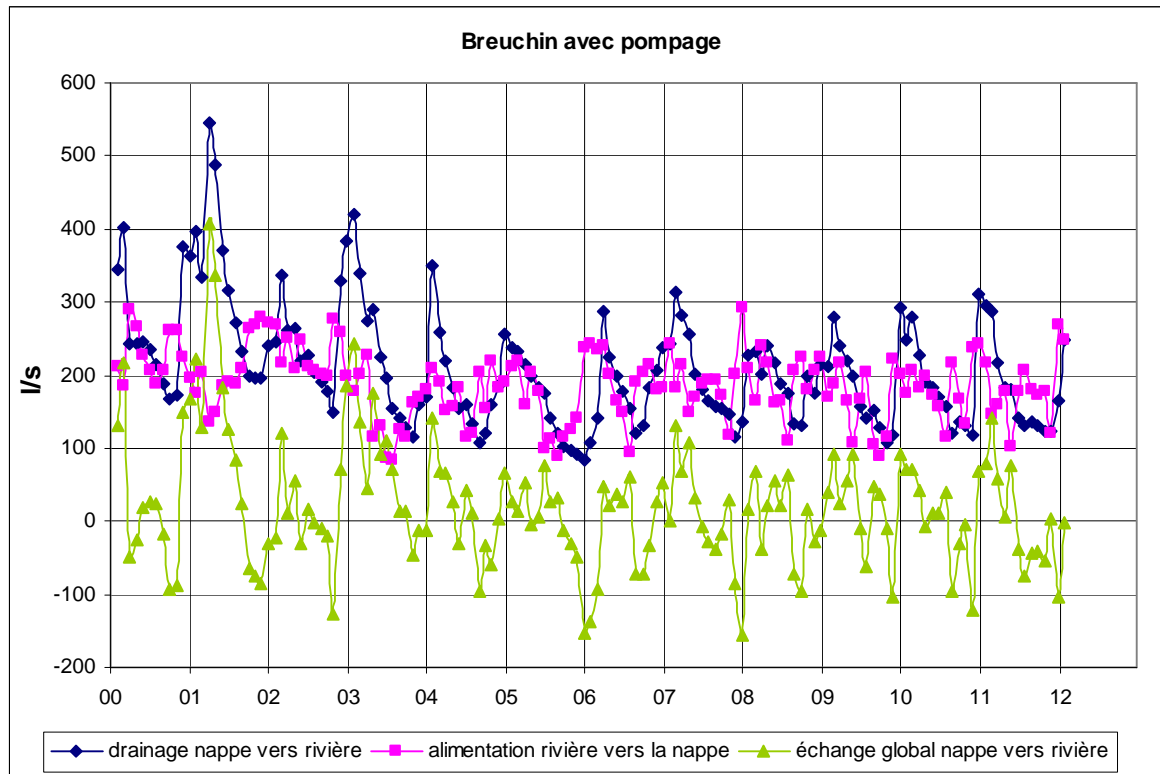


Figure 4-14 : Flux échangés nappe - Breuchin

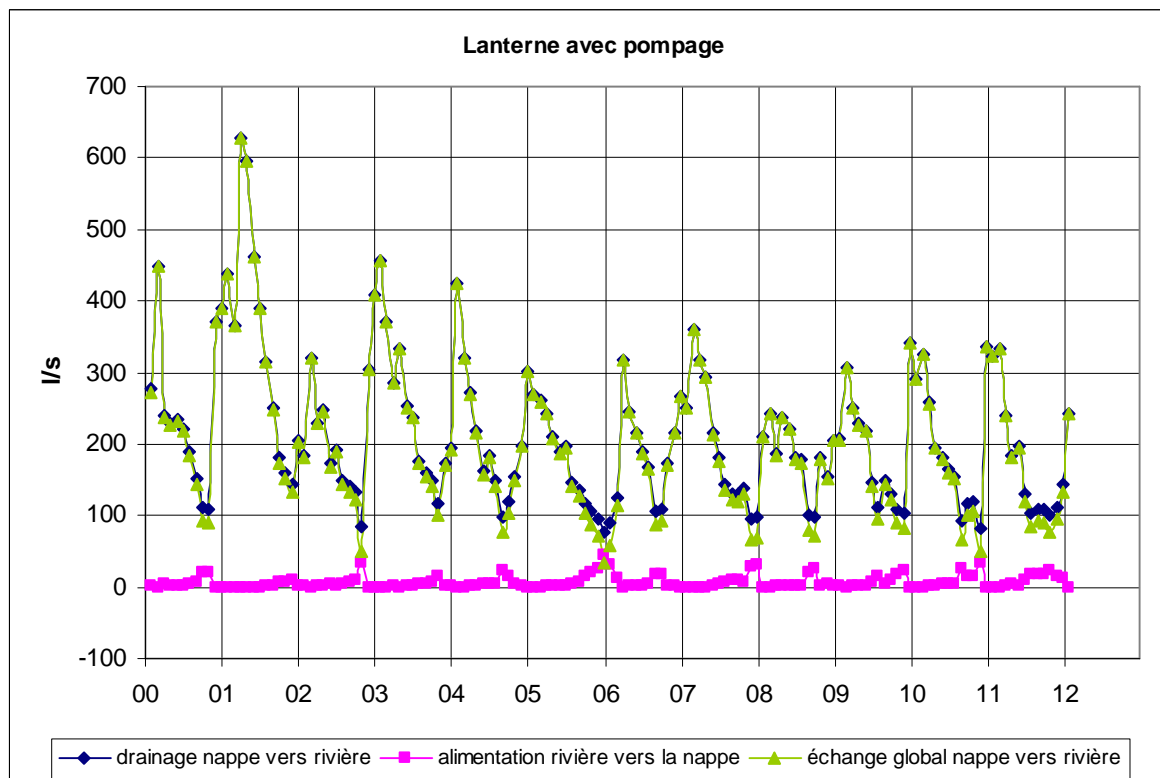


Figure 4-15 : Flux échangés nappe - Lanterne

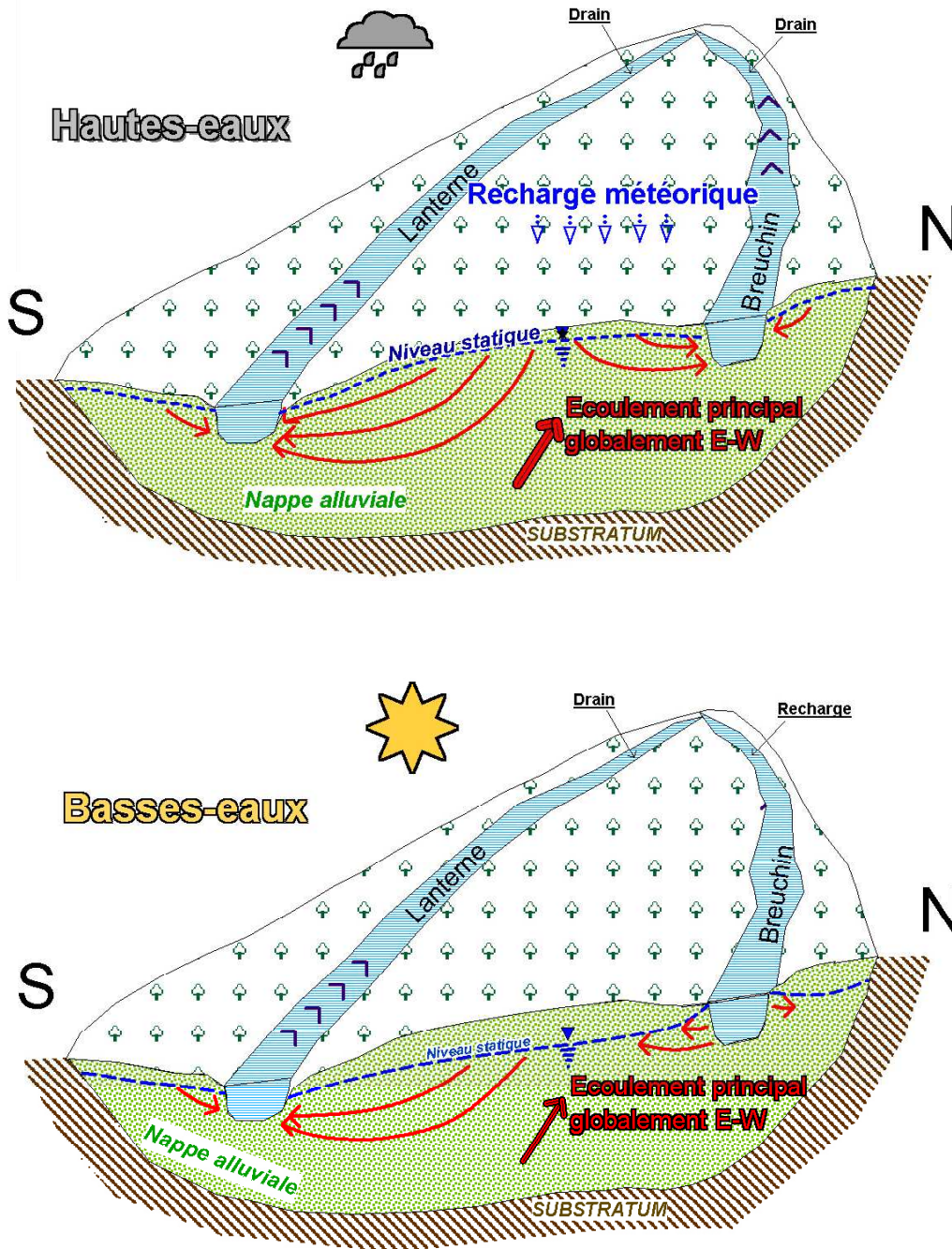


Figure 4-16 : Schéma des échanges Breuchin – Lanterne

4.5.3 Approche par champ captant

Dans cette approche, les bassins du Breuchin et de la Lanterne ont été divisés en sous bassins sur la base de la zone d'influence de chaque champ captant. L'annexe 3 présente la répartition des sous bassins retenue.

Les résultats obtenus sont décrits plus largement dans le paragraphe 3.6.1.2.

4.6 Piézométrie désinfluencée

Le modèle transitoire a été réalisé dans les mêmes conditions mais sans les prélèvements aux captages AEP.

La carte piézométrique désinfluencée de basses eaux 2011 est peu différente de la carte en pompages (figure 3.17). Pour plus de détail, on a réalisé la différence entre piézométrie en pompe et hors pompage, qui permet de visualiser les rabattements occasionnés en pompage (figure 3.18).

On voit sur la carte les rabattements localisés autour des 5 pompages AEP de la plaine du Breuchin. La zone de rabattement la plus importante est à l'aval de la plaine, sur les champs captant SMEB et SDEB au sud.

Pour le SMEB, les prélèvements importants vont au delà du Breuchin au nord, et rejoignent la Lanterne au sud.

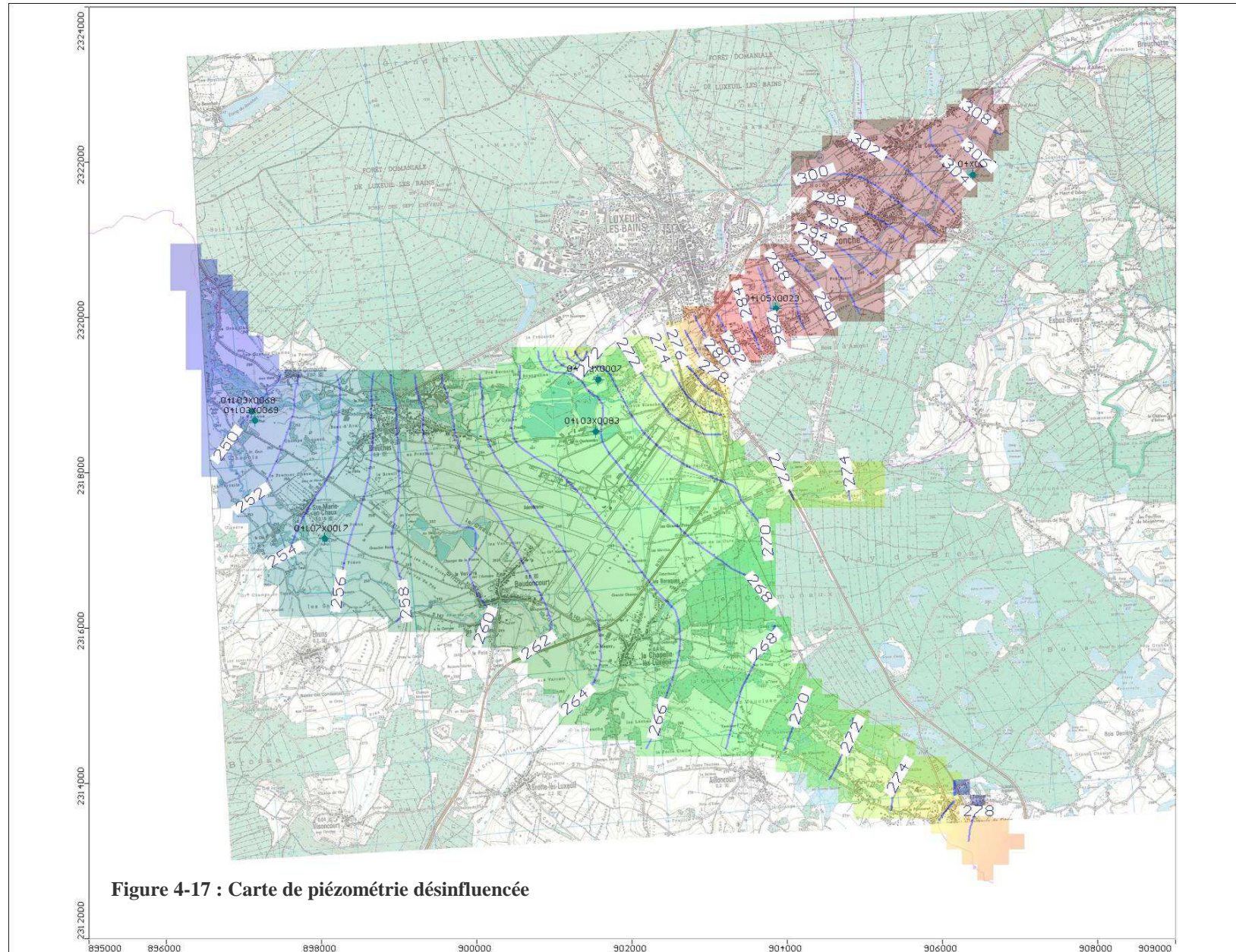
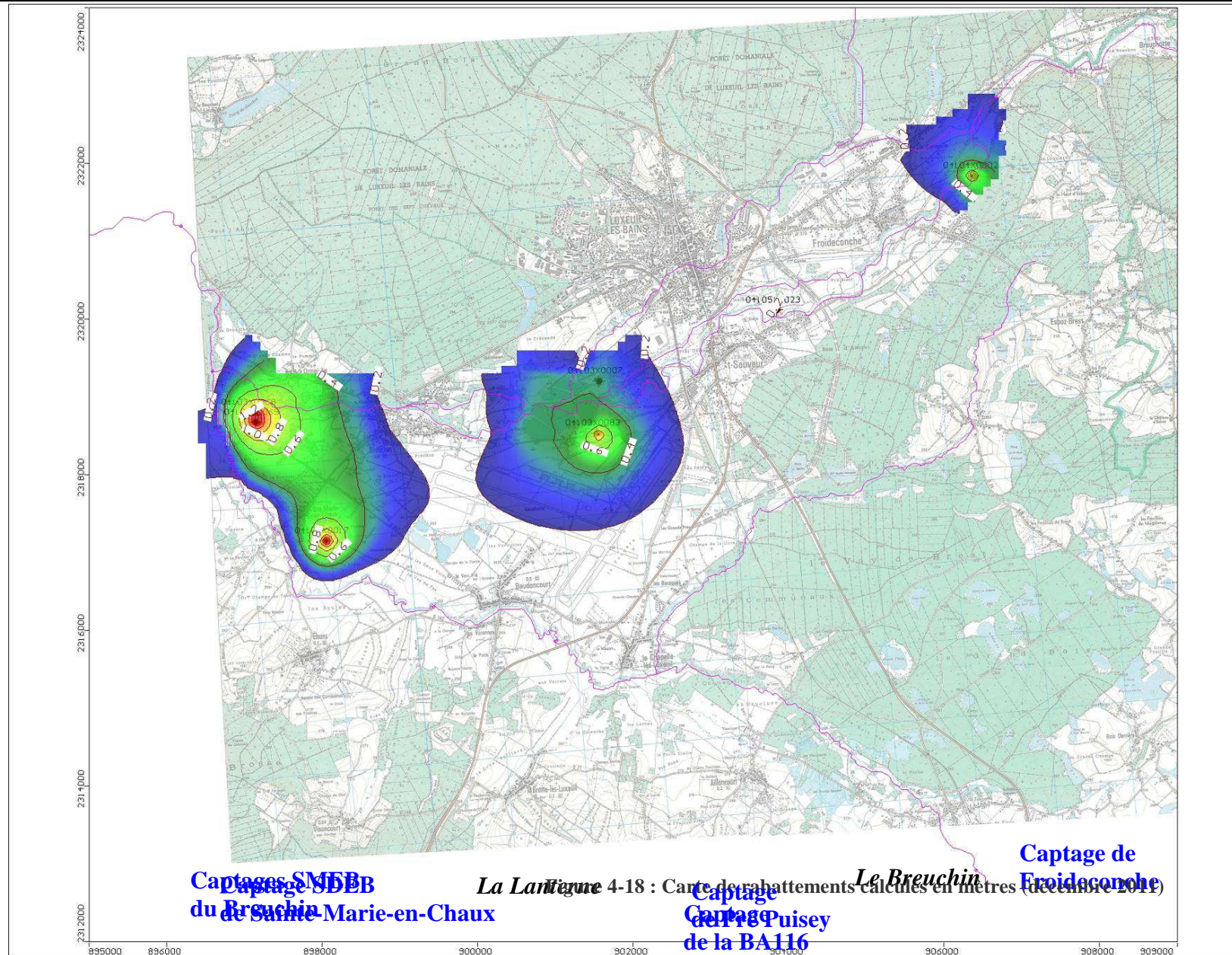


Figure 4-17 : Carte de piézométrie désinfluencée



Captage SDBB de la BA116

La Lanterne

Captage de la BA116

Captage de Froideconche

4.6.1 Approche par bassin

La modélisation en transitoire sans pompages AEP permet de déterminer par différence les échanges nappe rivières dus spécifiquement aux prélèvements AEP.

On a reporté sur les graphiques en figures 3.19 et 3.20 les bilans par cours d'eau des échanges avec ou sans pompages (en bleu et rouge).

La différence entre les deux courbes est l'échange lié aux prélèvements AEP (en vert).

Breuchin

Sur le Breuchin (figure 3.19), on a vu qu'en été, le solde général des échanges était globalement une perte de rivière vers la nappe, à hauteur de 50 à 150 l/s selon les saisons (courbe rouge). Sans pompages, cette perte en été serait moins importante (courbe bleue).

Sur l'année, les prélèvements en rivière dus aux pompages (en vert) restent assez stables à hauteur de 50 l/s (40 à 60). Ils augmentent jusqu'en début d'hiver, en lien avec les basses eaux, et diminuent ensuite pendant les hautes eaux.

Lanterne

Sur la Lanterne (figure 3.20), la situation est assez similaire.

Les flux sont toute l'année globalement un apport d'eau de la nappe à la rivière (en rouge), mais ces flux sont encore augmentés par l'arrêt des pompages (en bleu).

L'écart entre les deux courbes (en vert) est le flux soustrait à la Lanterne spécifiquement par les pompages. Ce flux est du même ordre que celui pris sur le Breuchin (40 à 65 l/s).

Cela est dû au fait que les prélèvements sur la Lanterne sont importants au niveau du puits du SDEP, très proche de la rivière, mais aussi par les pompages du SMEB.

4.6.2 Approche par champs captants

La comparaison des échanges nappe rivière en régime de pompage et régime désinfluencé (sans pompage) permet de déterminer le volume extrait à la rivière pour chaque sous bassin. L'approche par bassin hydrologique a permis de déterminer la part extraite à la Lanterne et au Breuchin. L'approche par champs captant (sous bassin) permet d'affiner les volumes extraits aux différentes rivières. Par ordre décroissant :

- ✓ Pour le sous bassin Breuches Sud, le débit extrait à la Lanterne est de 30 à 40 l/s
- ✓ Le débit extrait au Breuchin au droit du sous bassin Breuches Nord est de 30 à 35 l/s.
- ✓ Pour le sous bassin Sainte Marie, le volume extrait à la Lanterne est de l'ordre de 13 l/s
- ✓ Pour le sous bassin BA116, le volume extrait au Breuchin est de l'ordre de 10 à 15 l/s
- ✓ Pour le sous bassin de Pré-amont, le volume extrait au Breuchin est de 5 à 10 l/s
- ✓ Pour le sous bassin de Froideconche, le volume extrait au Breuchin est de 1 à 10 l/s

Ces chiffres peuvent varier en fonction du découpage en sous bassins retenu.

4.6.3 Bilan

En conclusion, les prélèvements des pompages AEP sur la Lanterne et le Breuchin sont répartis assez également et représentent de l'ordre de 100 l/s (85 à 125). C'est pratiquement l'intégralité des pompages AEP de la vallée qui est prélevé sur les cours d'eau.

Cela est dû au fait qu'il s'agit de prélèvements permanents, et que le déstockage lié à l'emmagasinement ne se fait pas sentir comme pour des prélèvements agricoles qui n'ont lieu qu'en été.

Les prélèvements en rivière ont été présentés de manière globale pour la Lanterne et le Breuchin. Dans le détail, la répartition des prélèvements par tronçons le long de chaque rivière peut se déduire de la carte des rabattements en figure 3.18 :

- ✓ Sur le Breuchin, 60% des prélèvements se fait sur le tronçon aval sous l'influence du pompage SMEB, 30% sur le tronçon face aux pompages BA116, et 10% sur le tronçon amont face au pompage Froideconche,
- ✓ Sur la Lanterne, la totalité des prélèvements est faite sur le tronçon aval de la lanterne, en face des pompages SMEB et Ste Marie.
- ✓ Les prélèvements SMEB impact à part égale la Lanterne et le Breuchin avec un débit extrait de l'ordre de 60 à 75 l/s.
- ✓ Les prélèvements Saint Marie impactent la Lanterne à hauteur de 13 l/s
- ✓ Les prélèvements BA116, Pré- Puisey et Froideconche impact le Breuchin avec des débits faibles allant de 1 à 10 l/s pour chaque champ captant.

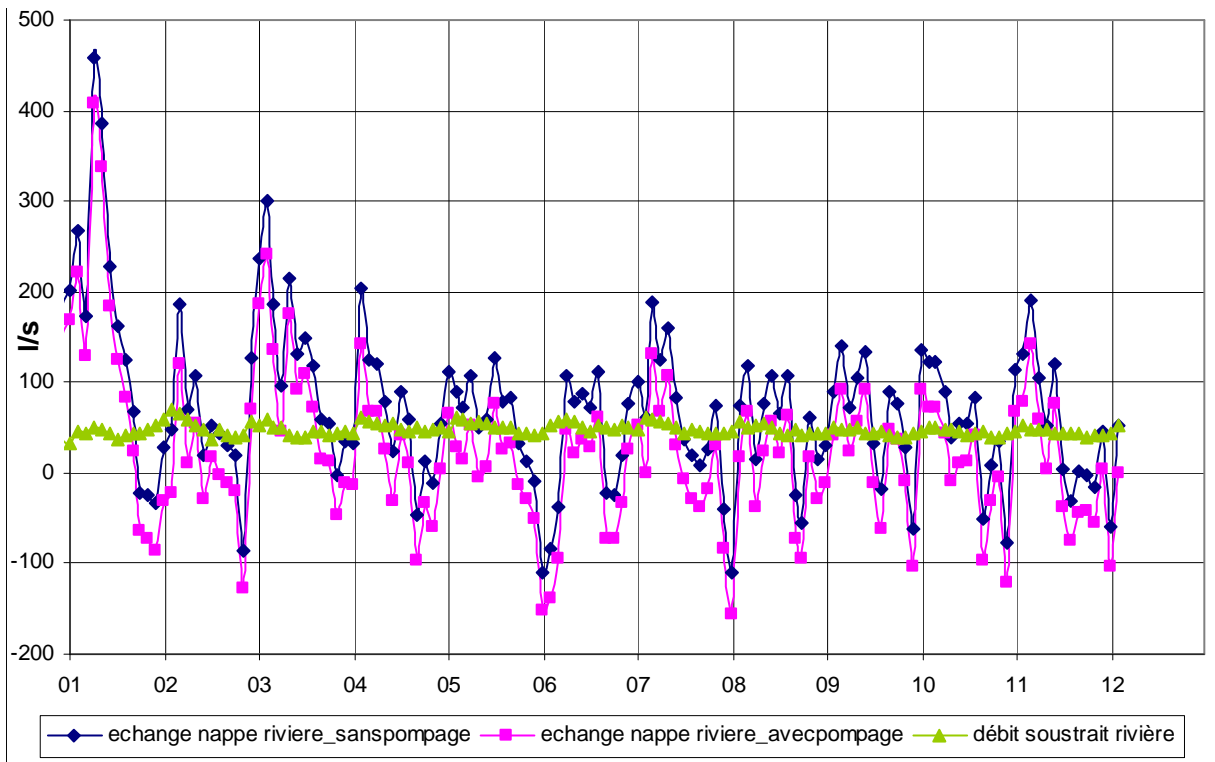


Figure 4-19 : Bilan Breuchin désinfluencé : impact des prélèvements AEP actuels

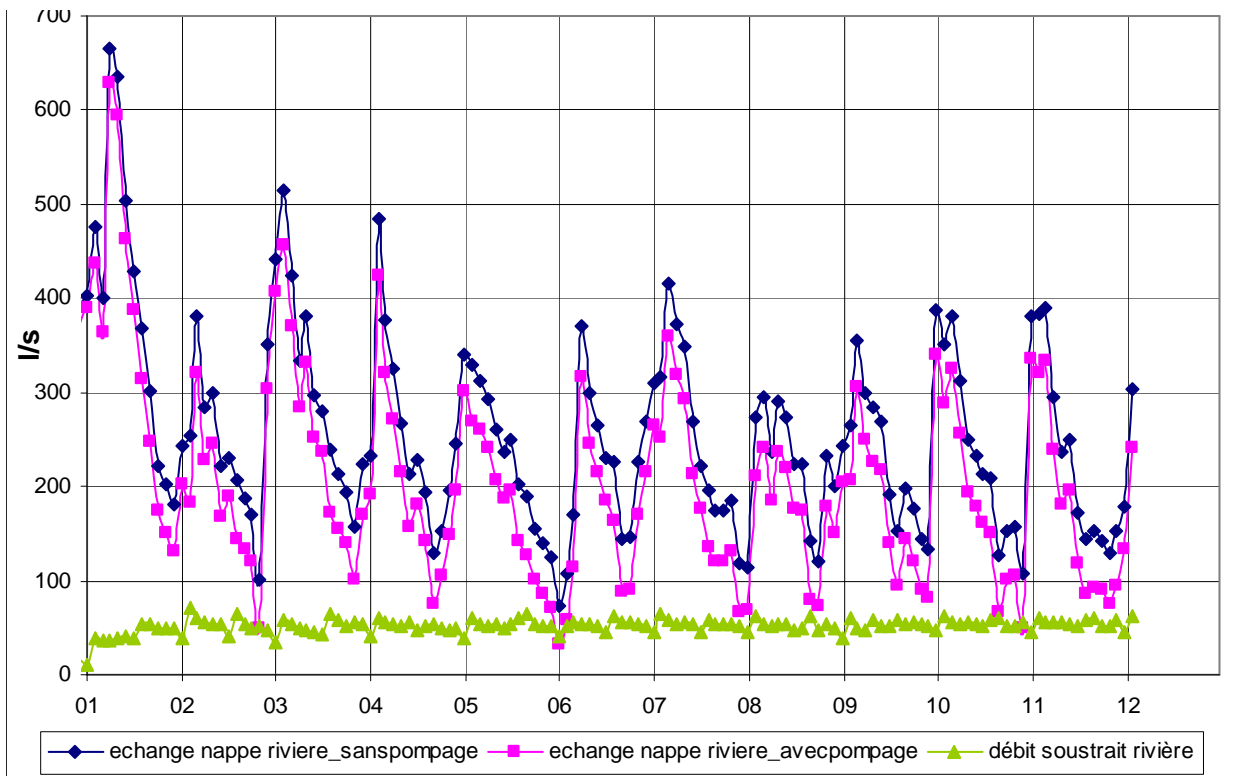


Figure 4-20 Bilan Lanterne désinfluencé : impact des prélèvements AEP actuels

5

Proposition de Niveaux Piézométriques d'Alerte NPA

5.1 Objectifs, définitions

L'étude des volumes prélevables des bassins du Breuchin et de la Lanterne doit proposer les niveaux piézométrique d'alerte NPA et les niveaux piézométriques de crise renforcée NPCR sur les points stratégiques de référence retenus dans le SDAGE Rhône Méditerranée et, le cas échéant, proposer des côtes sur les points où elles n'auraient pas été définies ou proposer des points complémentaires lorsque cela s'avère pertinent. Ces niveaux devront être fixés en cohérence avec les objectifs fixés sur les cours d'eau pour les nappes en connexion.

Le projet de Sdage Rhône Méditerranée définit ainsi ces niveaux :

Niveau Piézométrique d'Alerte (NPA) :

Il s'agit des niveaux piézométriques de début de conflits d'usages et de premières limitations de pompages.

Dans le cadre de cette étude, un complément est apporté à cette définition : on considérera que ce niveau doit aussi garantir le bon fonctionnement quantitatif ou qualitatif de la ressource souterraine et des cours d'eau qu'elle alimente, dans le respect des DOE cours d'eau.

Niveau Piézométrique de Crise Renforcée (NPCR) :

Niveau à ne jamais dépasser et donc d'interdiction des pompages à l'exception de l'alimentation en eau potable, qui peut faire l'objet de restrictions.

Dans le cadre de cette étude, un complément est apporté à cette définition : on considérera que c'est aussi la côte du niveau de la nappe au dessous de laquelle est mise en péril la survie des milieux aquatiques qu'elle alimente, dans le respect des DCR

5.2 Contexte local, piézomètres utilisables

Afin de suivre les variations des niveaux piézométriques des sous bassins-aquifères définis, nous disposons de différentes chroniques. Le piézomètre le plus renseigné est celui de Breuches. La chronique est renseignée de 1993 à nos jours.

Le piézomètre de Breuches présente une amplitude de l'ordre de 2 m. Ce piézomètre reflète assez fidèlement les alternances d'années sèches sévères et d'années humides, avec une réactivité quasi annuelle sans emmagasinement particulier.

On propose d'utiliser cette chronique du piézomètre de Breuches pour qualifier les niveaux piézométriques d'alerte, son avantage étant d'être particulièrement réactive.

- ✓ Les étiages 2003 et 2009 sont très bas en dessous de 253.7 m NGF (2 années sur 20) : la récurrence pourrait être qualifiée de décennale sèche.
- ✓ Les étiages 1994, 1996, 1997, 2002, 2005, 2011 et 2012 sont bas (253,8 mNGF), (7 années sur 20)
- ✓ Les étiages 1993, 2000 et 2001 la récurrence est proche de décennale humide (cote 254,0 mNGF).

La figure 4.2 montre l'évolution des débits du Breuchin à la station hydrographique de Breuches.

La corrélation des étiages en nappe avec ceux sur la station en rivière est globalement bonne pour la période 2000-2011 possédée : en rivières les **étiages secs sont 2002, 2003**, plus que 2001, 2004, 2005 et 2009 qui sont des étiages secs moins marqués. Les **étiages humides sont 2007 et 2008**.

On notera néanmoins quelques discordances entre les différents étiages en nappe et en rivière.

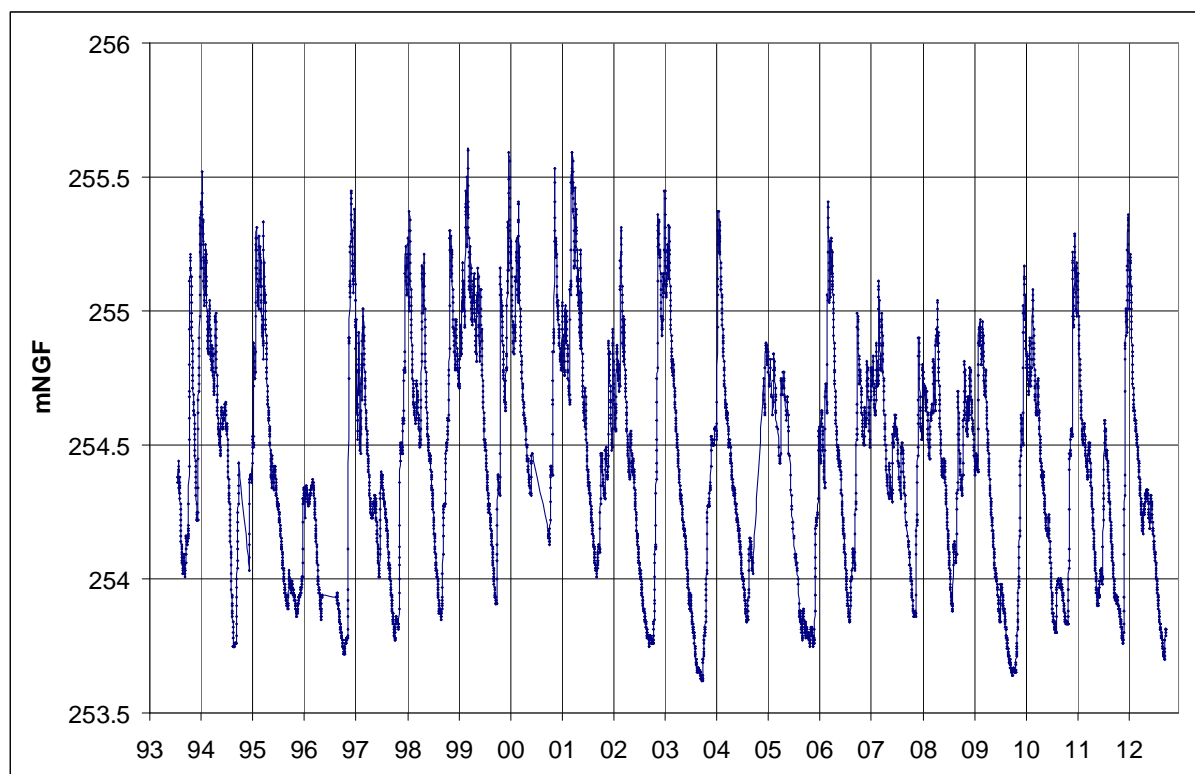


Figure 5-1 : Suivi du piézomètre ADES de Breuches

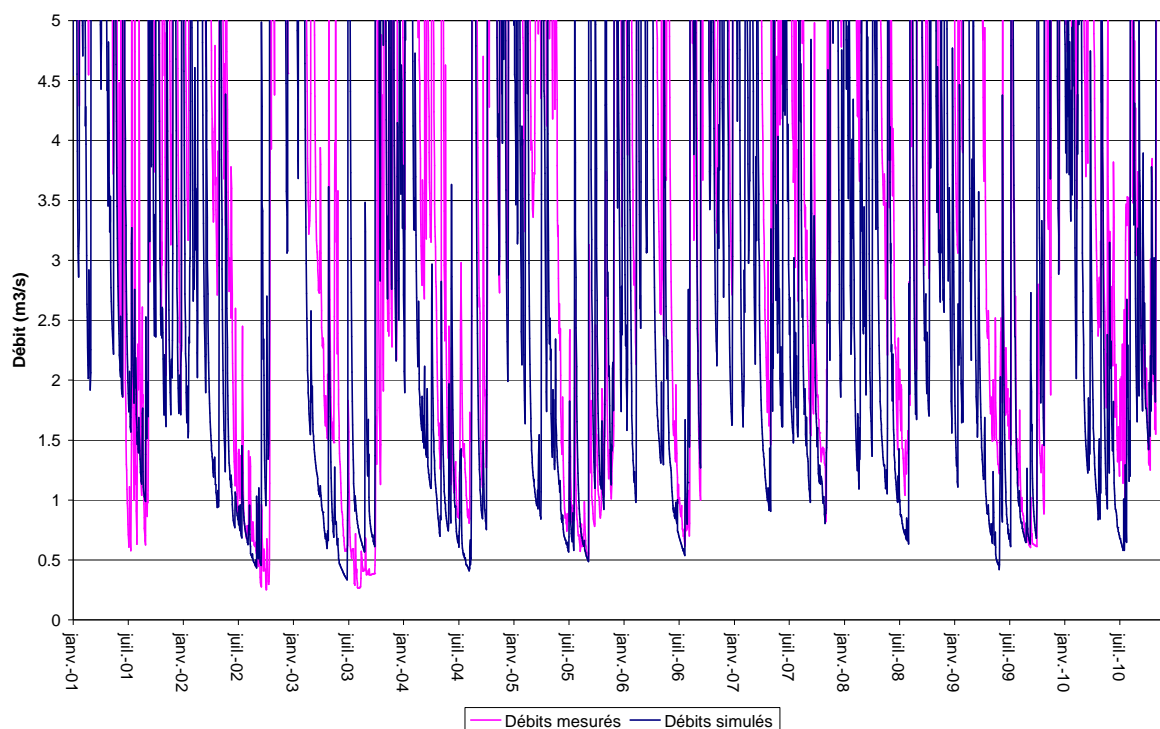


Figure 5-2 : Évolution des débits mesurés à la station de Breuches (Breuchin)

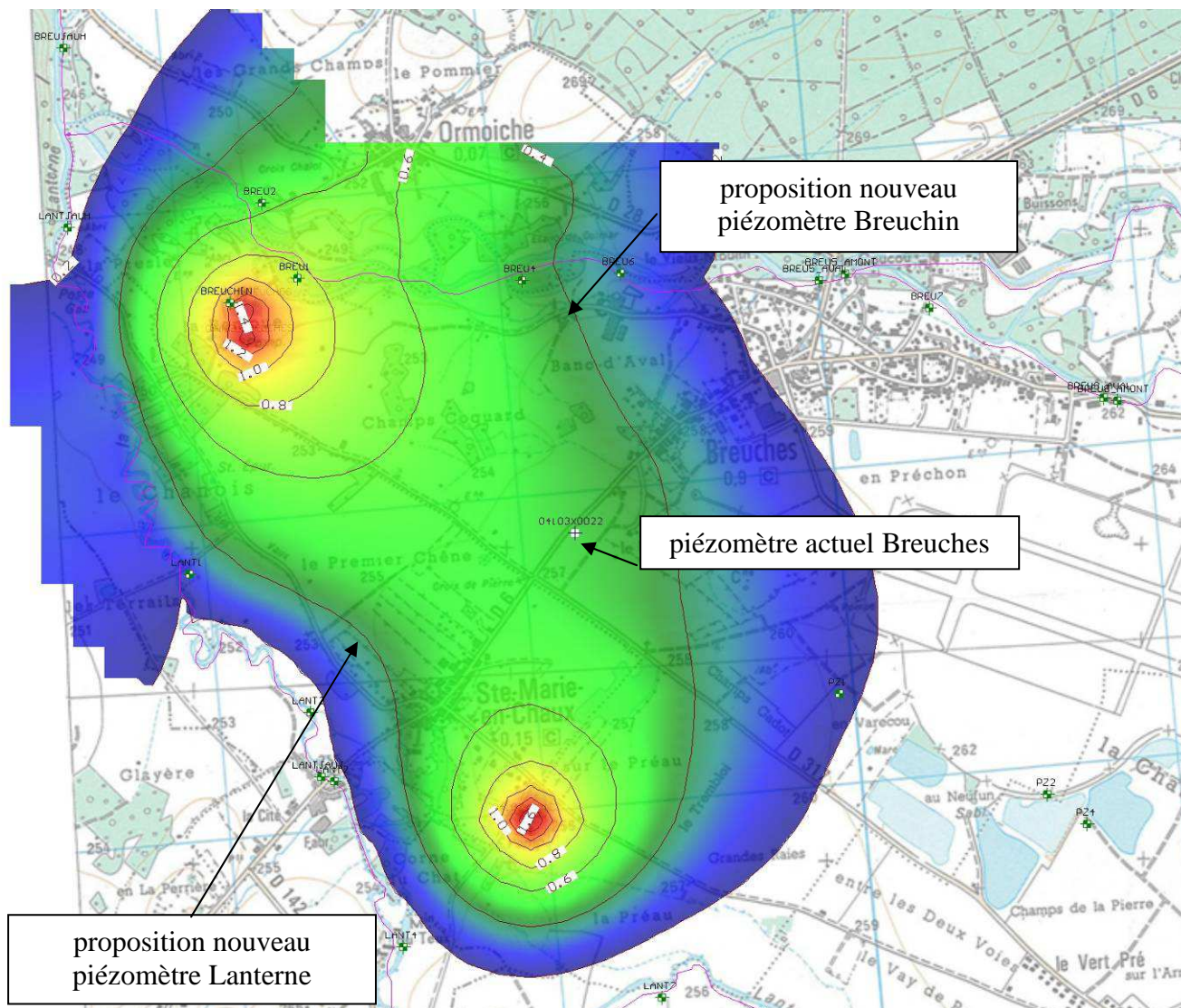
Le piézomètre de Breuches possède une chronique suffisante pour pouvoir être utilisé pour la détermination des NPA.

Si il est déconseillé d'utiliser des piézomètres situés trop près de prélèvements AEP ou agricoles, l'utilisation de piézomètres en zone influencée générale ne posera pas de problèmes particuliers.

La figure 4-3 montre les rabattements calculés dans le secteur exploité par le SMEB. Les rabattements globaux générés sur ces zones sont de l'ordre de 1,5 à 2 m à proximité des ouvrages. Ils sont de l'ordre de 0,4 m dès que l'on s'éloigne d' 1 km d'un pompage AEP.

Cet élément doit néanmoins être pris en compte lors de la définition des piézomètres d'alerte à retenir.

Figure 5-3 : Calcul des rabattements à proximité du piézomètre de Breuches



5.3 Relations entre le débit des cours d'eau et les niveaux de nappe

Dans le cadre de l'étude, l'idéal serait de pouvoir déterminer des niveaux piézométriques d'alerte ou de crise directement en relation avec les débits des cours d'eau.

Nous avons comparé les relations entre les chroniques piézométriques existantes et les débits des cours d'eau d'une manière simple.

Le graphique ci-dessous présente les relations entre les débits des cours d'eau considérés (station hydrologique Breuches.) et les niveaux mesurés sur le piézomètre de Breuches (période 2000 – 2011). On se rend compte que **pour un débit de cours d'eau donné, le niveau de nappe dans les piézomètres proches peut être très variable.**

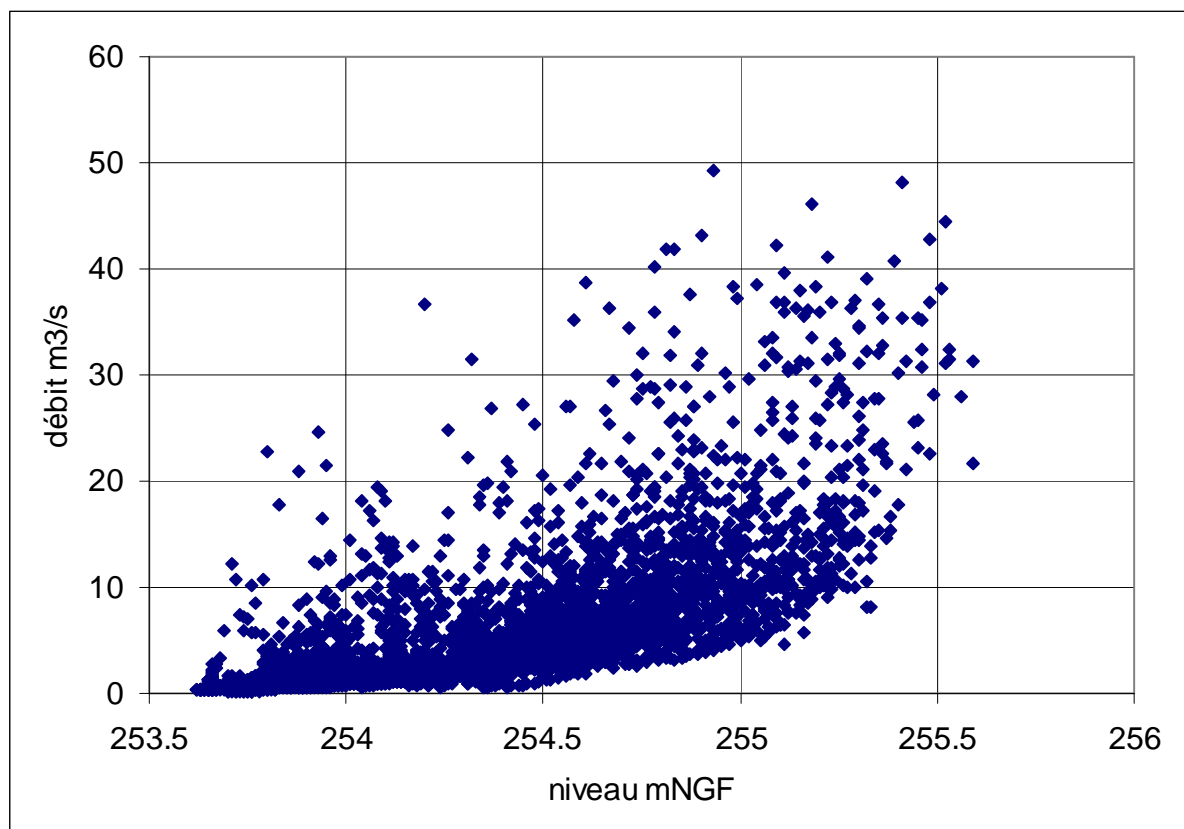


Figure 5-4 : Comparaison des débits de la station hydrométrique de Breuches (Breuchin) avec le suivi piézométrique du piézomètre de Breuches

La comparaison met en évidence que pour un débit donné, le niveau **piézométrique peut varier de plusieurs dizaines de centimètres.**

Ainsi, il apparaît délicat de fixer un niveau piézométrique d'alerte ou de crise en comparant ce niveau directement au débit du cours d'eau.

Nous proposons donc en paragraphe suivant une approche statistique des chroniques piézométriques qui nous apparaît complémentaire et permettant une approche plus fiable à long terme.

5.4 Définition du seuil d'alerte

5.4.1 Seuil d'alerte actuel

Le piézomètre de Breuches (code BSS 04103X0022/FC) sert de référence pour la nappe alluviale et les niveaux de pré-alerte et d'alerte sécheresse:

Des niveaux seuils au piézomètre de référence de Breuches ont été définis dans l'arrêté cadre de 2006 (voir tableau ci-dessous).

Unité d'alerte	Nappe	Station	Seuil de pré-alerte	Seuil d'alerte
Rivières vosgiennes et de la dépression vosgienne	Breuchin	Breuches (70)	-1,85 m Soit 255,29 mNGF	-2,95 m Soit 254,19 mNGF

Le seuil de pré-alerte est fixé à la cote 255.29 mNGF et celui d'alerte à la cote 254,19 mNGF. Cette cote d'alerte a systématiquement été dépassée lors des étiages de 1993 à nos jours.

5.4.2 Méthodologie proposée

Une approche pragmatique mais non statistique sera de proposer un niveau piézométrique d'alerte au 1^{er} juillet de l'année c'est à dire en début de période d'étiage.

Ce niveau piézométrique sera calé sur les niveaux piézométriques observés sur des années à étiages particulièrement secs sur la période 1993 – 2012, à savoir les années 2003 et 2009 pour les nappes. On peut y ajouter les années 1994, 1996, 1997, 2002, 2005, 2011 et 2012

Pour le piézomètre de Breuches, l'exercice a été fait sur cette période 1993 – 2012 dans le graphique ci dessous.

Pour un **NPA proposé à 254.19 m NGF** (en rouge sur le graphique), l'alerte sera donnée pour les années 2002, 2003, mais aussi 2004, 2005, 2006, 2009, 2010, 2011 et 2012.

On s'aperçoit que ce NPA déclenchera l'alerte 9 années sur 20 (points et NPA rouges), alors que 2 années seulement sont concernées par des étiages secs décennaux ou quinquennaux sur la période.

La difficulté vient du fait que pour aboutir à un étiage de récurrence sèche, il faut à la fois un faible niveau de recharge d'hiver, mais aussi une absence de pluies de printemps, voire d'été, qui vont ralentir l'étiage.

Cette situation n'est donc pas considérée satisfaisante.

Il est plutôt proposé de considérer plusieurs NPA répartis sur le bassin, et de croiser cette information avec les DOE en rivière, avant de déclencher les mesures de restriction proprement dites.

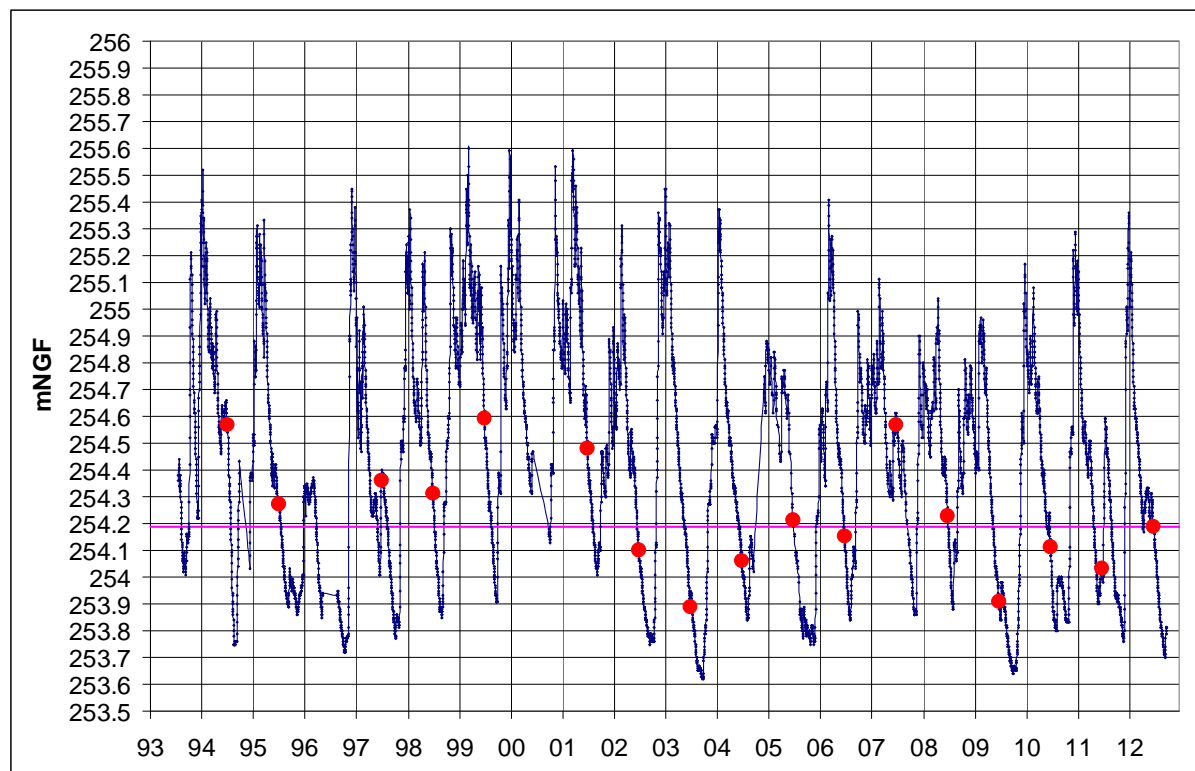


Figure 5-5 : Suivi du piézomètre ADES de Breuches : proposition de NPA

5.5 Simulation de l'implantation de nouveaux piézomètres

Le piézomètre de Breuches retenu en première approche ne sera pas suffisant pour couvrir la vallée du Breuchin et de la Lanterne. Par ailleurs le piézomètre est situé sur la zone de divergence entre les 2 rivières, c'est à dire qu'il caractérise le comportement moyen de la nappe au droit de l'interfluve.

Il s'agira de compléter le réseau piézométrique d'alerte avec deux ouvrages plus proches du Breuchin et la Lanterne afin de pouvoir différencier les relations nappes rivières des deux bassins. Une proposition d'implantation est présentée dans la figure 4-3.

La figure suivante montre la comparaison des niveaux calculés et mesurés par le modèle de nappe au droit du piézomètre de Breuches.

L'implantation de 2 piézomètres supplémentaires a été simulée par le modèle (figure suivante). L'un est situé proche du Breuchin et l'autre de la Lanterne (voir figure 4-3).

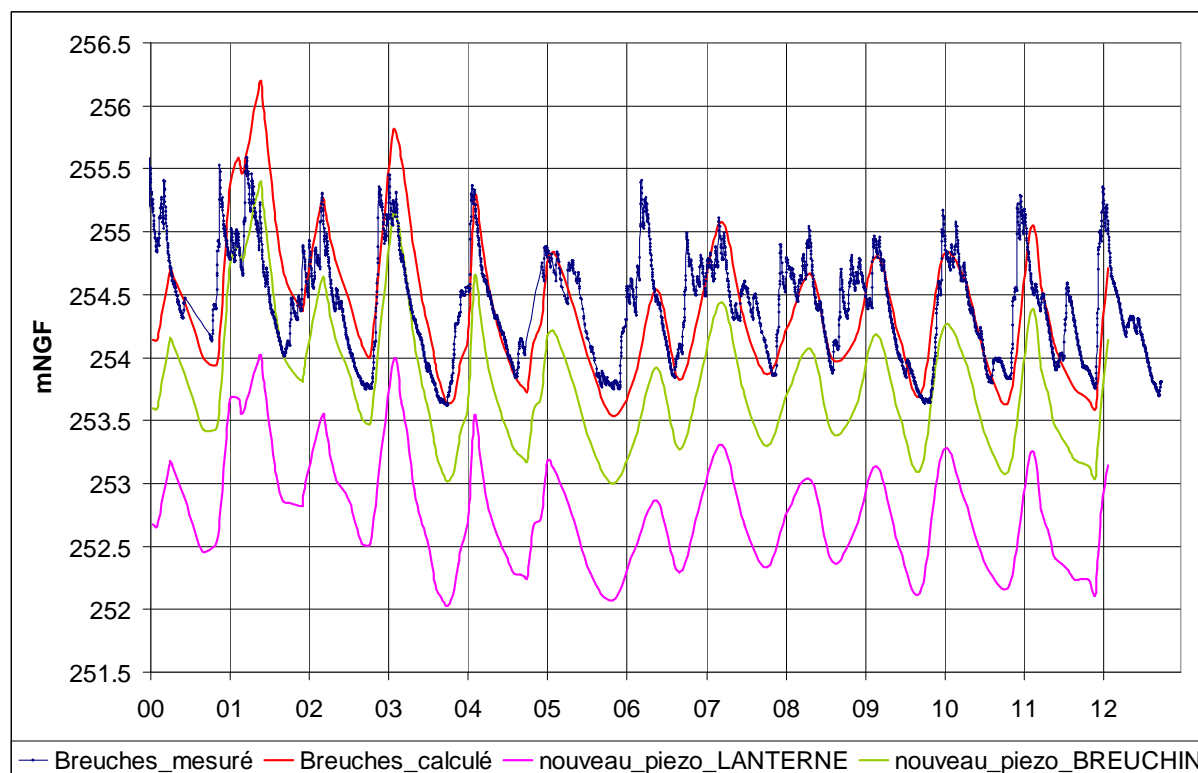


Figure 5-6 : Évolution de la piézométrie attendue au droit des différents piézomètres.

5.6 Conclusions du volet NPA

L'étude de fixation des niveaux d'alerte en nappe ou NPA, a été menée pour la nappe des alluvions du Breuchin et le la Lanterne.

Les différents piézomètres de suivi existant ont été examinés. Seul le **piézomètre de Breuches** semble utilisable pour une utilisation en NPA et NPCR. Cela est dû à une bonne représentativité saisonnière de la nappe et une grande réactivité aux étiages. Il est de plus situé dans une zone moyennement influencée par les prélèvements.

La fixation d'un niveau piézométrique d'alerte qui permettrait de déterminer le niveau d'étiage sec de récurrence décennale ou quinquennale est trop peu précis.

Il est proposé pour la fixation des NPA et NPCR, de retenir le niveau de nappe au 1^{er} juillet. Le niveau d'alerte retenu est celui prévu par l'arrêté cadre de 1996 à savoir 254.19 mNGF.

L'utilisation des piézomètres pour le déclenchement des restrictions d'usage devra être croisée avec l'utilisation des débits de rivières aux stations retenues dans l'étude. A notre sens, l'utilisation des niveaux de rivière sera plus réactive et plus fiable en termes de DOE.

6 Conclusions

L'étude réalisée par SAFEGE pour l'EPTB Saône – Doubs porte sur la détermination des volumes maximum prélevables et des débits minimum biologiques de la nappe alluviale du confluent Breuchin – Lanterne.

Le présent rapport présente la méthodologie et les résultats de la Phase 3 de l'étude : « Impact des prélèvements et quantification de la ressource ».

Au cours de cette phase 3, deux modélisations ont été proposées :

- ✓ Modèle hydrologique des étiages sur les cours d'eau Breuchin et Lanterne, qui permet une fois calé aux stations hydrologiques possédées de restituer les débits caractéristiques d'étiage désinfluencés
- ✓ Modèle hydrogéologique de nappe en relation avec les cours d'eau Lanterne et Breuchin, qui permet de quantifier par secteur les débits d'échanges entre la nappe et la rivière, ainsi que les débits prélevés en rivières.

Les approches de modélisation hydrologique et hydrogéologique sont complémentaires dans leurs résultats.

Le modèle hydrologique permet une prise en compte globale des différents apports et restitution d'eau sur le bassin à une station hydrologique donnée (ou à des points de référence sur la zone d'étude), mais sans prise en compte des évolutions géographiques autres que celles connues (points de prélèvements et rejets).

Le modèle hydrogéologique de nappe permet de quantifier précisément et de manière géographique les échanges nappes – rivière en régime transitoire mensuelle et en fonction des prélèvements en nappe. Il permet surtout d'obtenir les débits apportés ou soustraits à la rivière par la nappe.

Le calage du modèle hydrologique a été fait en tenant compte des résultats des flux d'échanges nappe –rivières du modèle hydrogéologique

MODELE HYDROLOGIQUE

Le modèle hydrologique a pu être calé sur les stations hydrologiques de la Lanterne amont, du Breuchin amont et aval (station hydrométrique de Breuches), et sur la Lanterne en aval du confluent avec le Breuchin.

Il a permis de restituer après calage les débits naturels d'étiage désinfluencés de la dérivation du Morbief, des rejets de STEP et des prélèvements en nappe, AEP en priorité. A l'aval de la plaine alluviale du confluent Breuchin – Lanterne, les résultats en période d'étiage peuvent être synthétisés comme suit :

- ✓ les prélèvements, notamment AEP, représentent sur les cours d'eau environ 120 l/s ;

- ✓ le prélèvement du canal du Morbief, fonction du débit du Breuchin à l'amont est en étiage de l'ordre de 120 l/s (variable selon les années) ;
- ✓ les volumes restitués au milieu via les stations d'épuration sont à peu près constants à environ 120 l/s ;

En supprimant l'ensemble des prélèvements et rejets à l'échelle du bassin versant, le gain sur la Lanterne en terme de débit est d'environ 200 l/s (150 à 250 l/s).

A noter que l'analyse hydrologique mise en œuvre n'a pas intégré les pertes par évaporation liées à la présence des étangs sur la partie amont du bassin versant comme un prélèvement. L'impact des étangs a cependant été analysé : les pertes par évaporation liées à la présence des plans d'eau peuvent représenter jusqu'à 30% du débit des rivières en période d'étiage. Le manque d'informations sur les étangs ne permet pas de déterminer à ce stade quelle part du débit évaporé est effectivement prélevée au milieu naturel (par prélèvement en cours d'eau ou interception du ruissellement).

MODELE HYDROGEOLOGIQUE DE NAPPE

Le modèle de nappe de l'étude de 2007 a été repris et amélioré. En particulier, plusieurs investigations de terrains ont permis d'améliorer la précision du modèle :

- ✓ nivellement du fil d'eau des cours d'eau en étiage 2011 ;
- ✓ nivellement des points d'eau piézométriques de la plaine ;
- ✓ Suivi en continu de cinq points d'eau sur la nappe répartis entre les captages AEP et les rivières ;

Le modèle de nappe a été recalé en régime transitoire sur la période 2000 – 2011, avec les prélèvements réactualisés et les variations de niveaux de cours d'eau.

Des simulations ont ensuite permis de restituer une piézométrie désinfluencée des prélèvements sur la nappe alluviale pour la période 2000 – 2011. Cette période comprend en particulier les étiages sévères des années 2003 et 2005.

Les bilans de flux échangés indiquent :

- ✓ Le Breuchin est globalement alimenté par la nappe sur sa traversée de la plaine, sauf en étiage où les flux peuvent s'inverser et où le Breuchin perd globalement de l'eau vers la nappe ;
- ✓ La Lanterne est globalement alimentée par la nappe toute l'année, même en étiage ;

L'arrêt des prélèvements AEP dans leur configuration actuelle provoque une amélioration de débit de 50 l/s sur le Breuchin, principalement sur sa partie aval, et de 50 l/s sur la Lanterne dans sa partie aval (avant la confluence).

Pour le Breuchin, 60 % de ces prélèvements sont pris sur le tronçon aval, en face des captages du SMEB. Pour la Lanterne, 100% des prélèvements se font sur le tronçon aval, en face des puits SMEB et Ste Marie. Les captages SMEB sollicitent à part égale le Breuchin et la Lanterne.

L'intégralité des prélèvements AEP se répercute sur les deux cours d'eau, en raison du caractère permanent de ces prélèvements, à l'inverse de prélèvements agricoles saisonniers.

NIVEAU PIEZOMETRIQUE D'ALERTE

L'étude de fixation des niveaux d'alerte en nappe ou NPA, a été menée pour la nappe des alluvions du Breuchin et de la Lanterne.

Les différents piézomètres de suivi existant ont été examinés. Seul le **piézomètre de Breuches** semble utilisable pour une utilisation en NPA et NPCR. Cela est dû à une bonne représentativité saisonnière de la nappe et une grande réactivité aux étiages. Il est de plus situé dans une zone moyennement influencée par les prélèvements.

La fixation d'un niveau piézométrique d'alerte qui permettrait de déterminer le niveau d'étiage sec de récurrence décennale ou quinquennale est trop précis.

Il est proposé pour la fixation des NPA et NPCR, de retenir le niveau de nappe au 1^{er} juillet. Le niveau d'alerte retenu est celui de l'arrêté cadre de 1996, soit 254.2 m NGF.

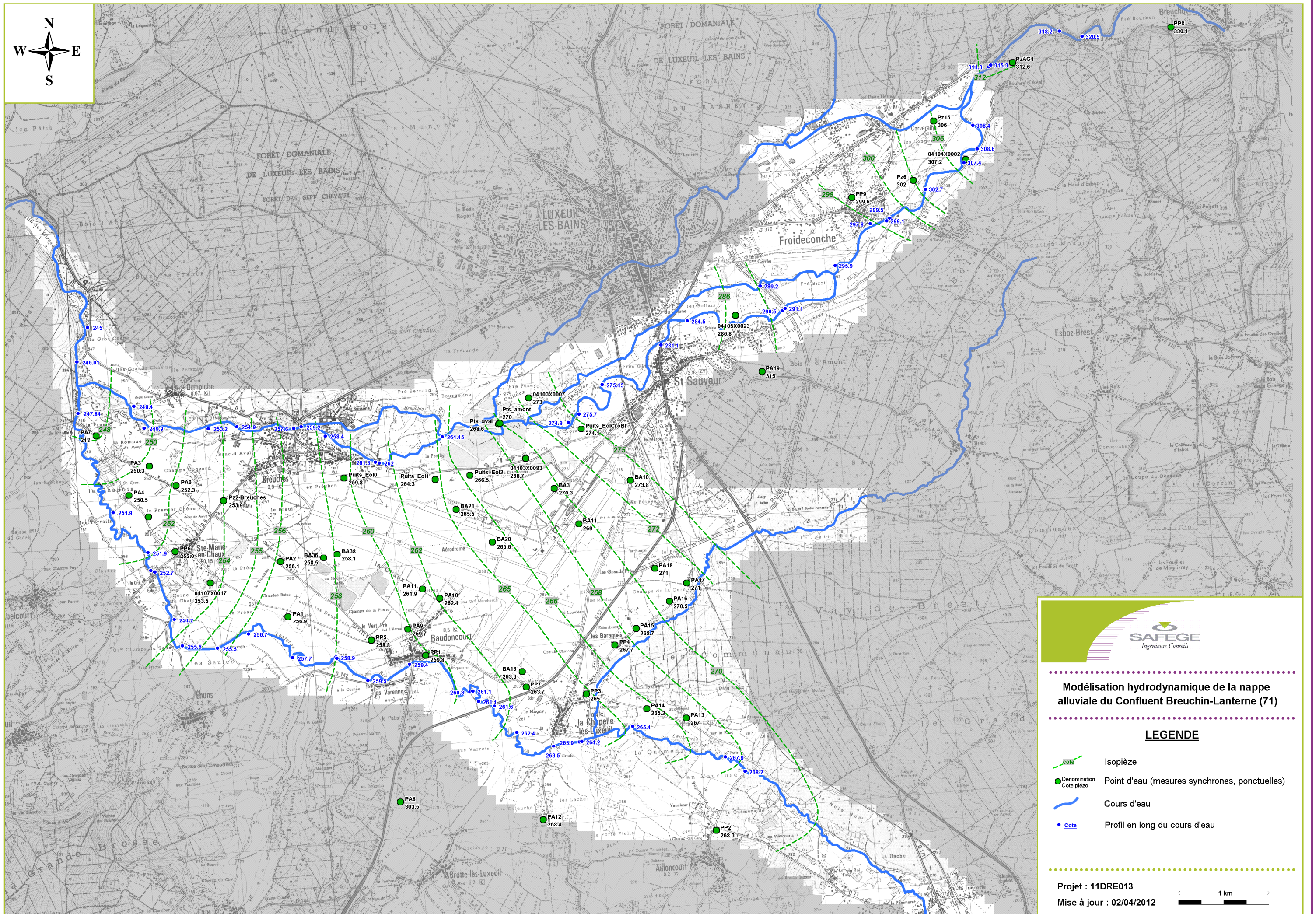
Le piézomètre de Breuches retenu en première approche ne sera pas suffisant pour couvrir la vallée du Breuchin et de la Lanterne. Par ailleurs le piézomètre est situé sur la zone de divergence entre les 2 rivières, c'est à dire qu'il caractérise le comportement moyen de la nappe au droit de l'interfluve.

Il s'agira de compléter le réseau piézométrique d'alerte avec deux ouvrages plus proches du Breuchin et la Lanterne afin de pouvoir différencier les relations nappes rivières des deux bassins. Une proposition d'implantation a été présentée dans la figure 4-3.

L'utilisation des piézomètres pour le déclenchement des restrictions d'usage devra être croisée avec l'utilisation des débits de rivières aux stations retenues dans l'étude. A notre sens, l'utilisation des niveaux de rivière sera plus réactive et plus fiable en termes de DOE.

ANNEXE 1

CARTE PIEZOMETRIQUE DE REFERENCE



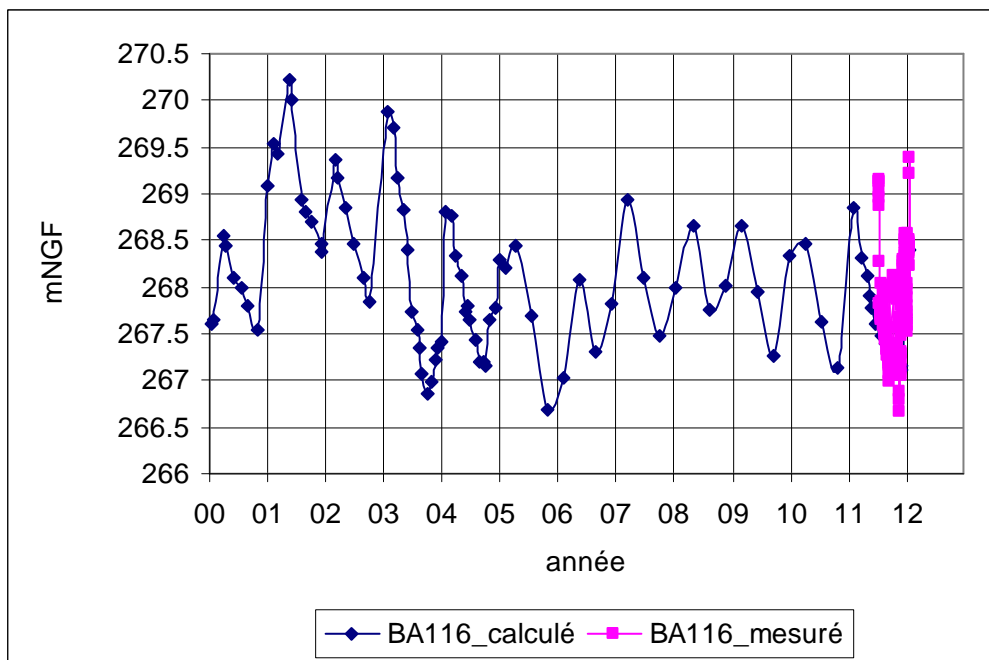
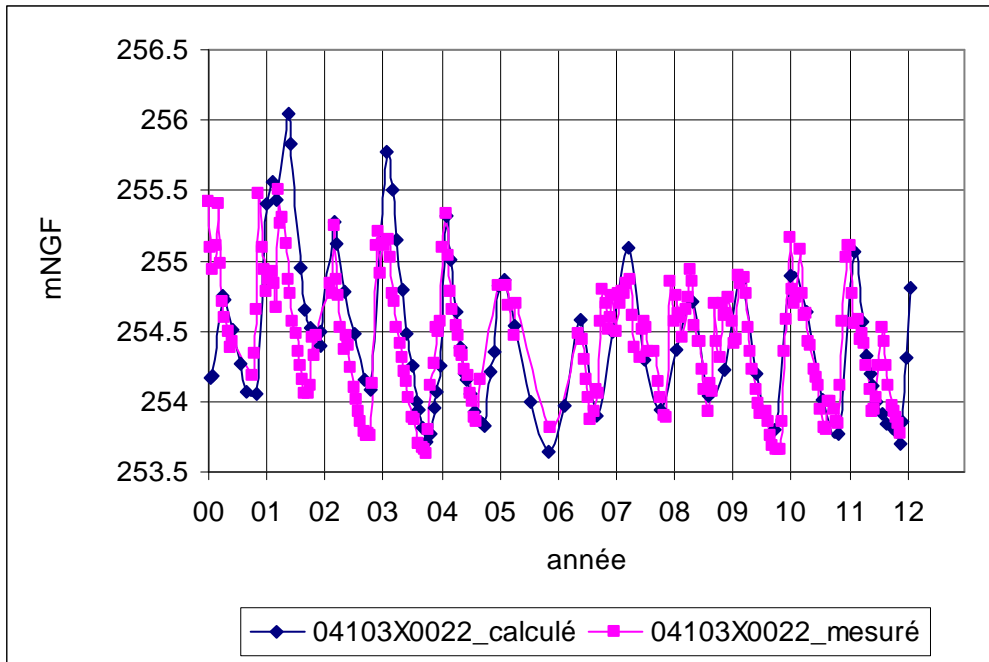
Modélisation hydrodynamique de la nappe alluviale du Confluent Breuchin-Lanterne (71)

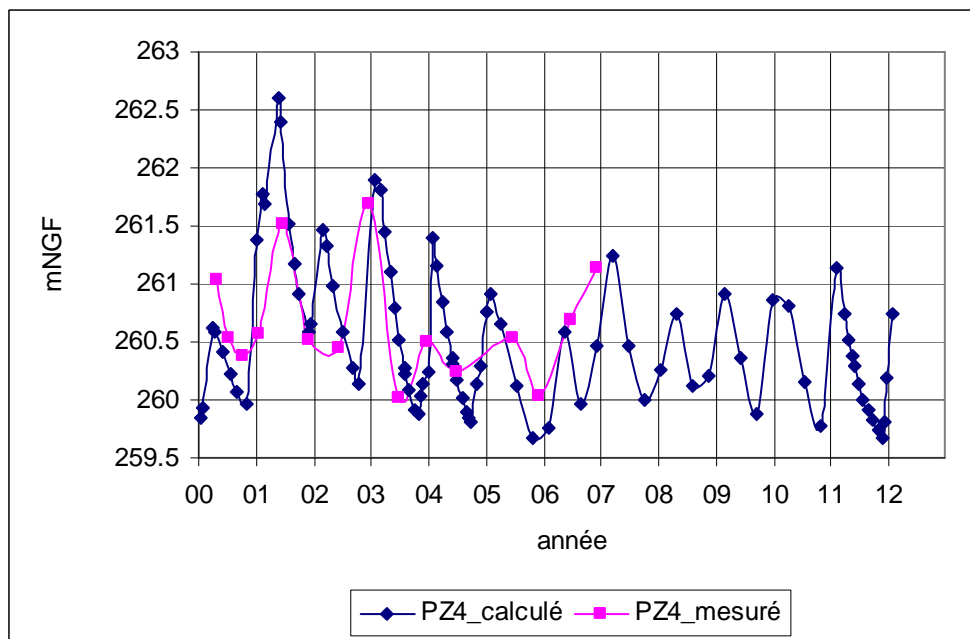
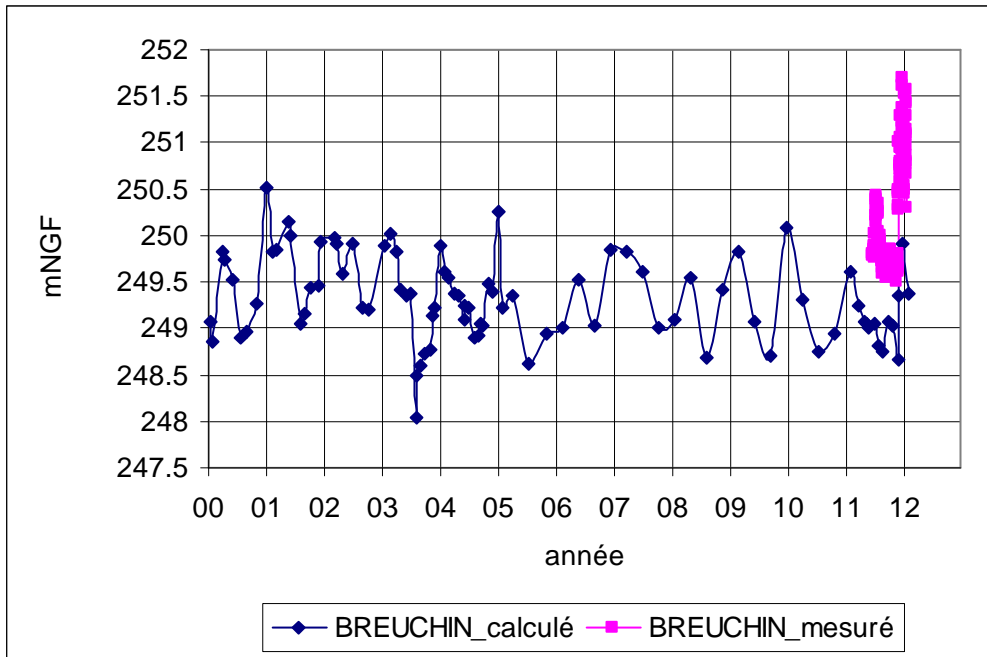
LEGENDE

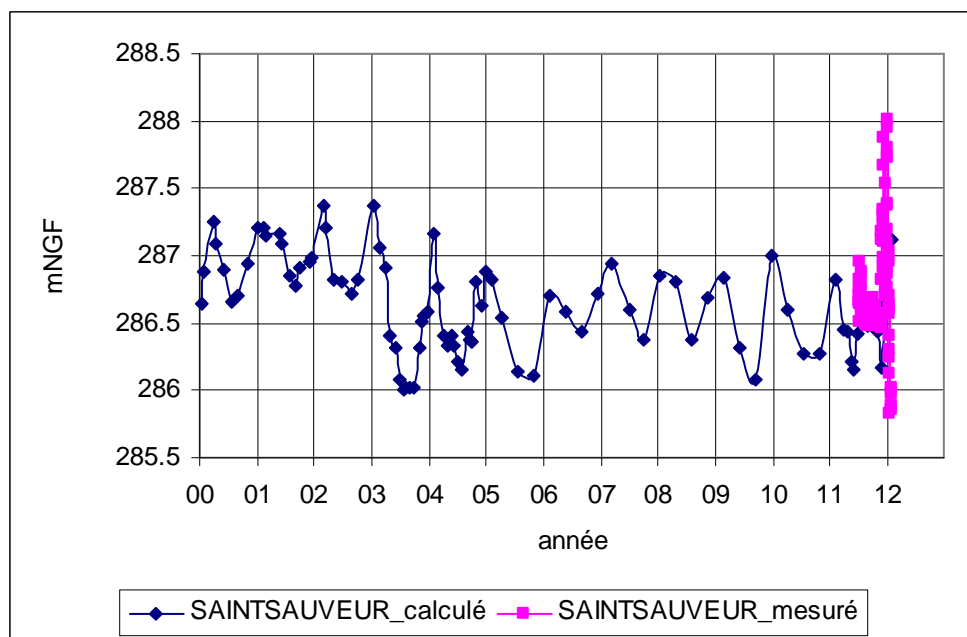
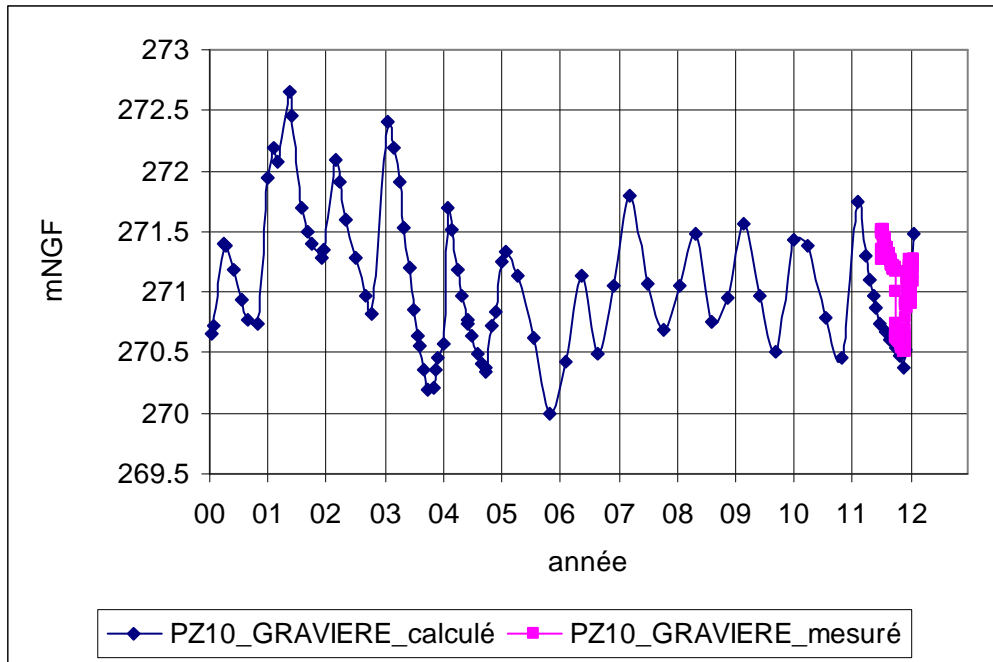
- Isopièze
- Denomination Point d'eau (mesures synchrones, ponctuelles)
Cote piézo
- Cours d'eau
- Cote Profil en long du cours d'eau

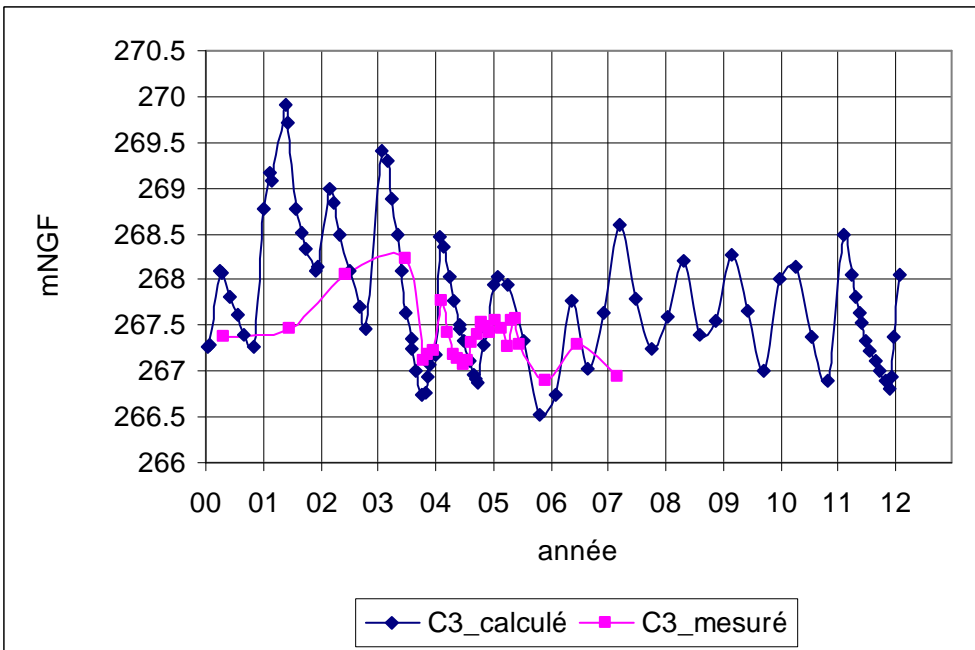
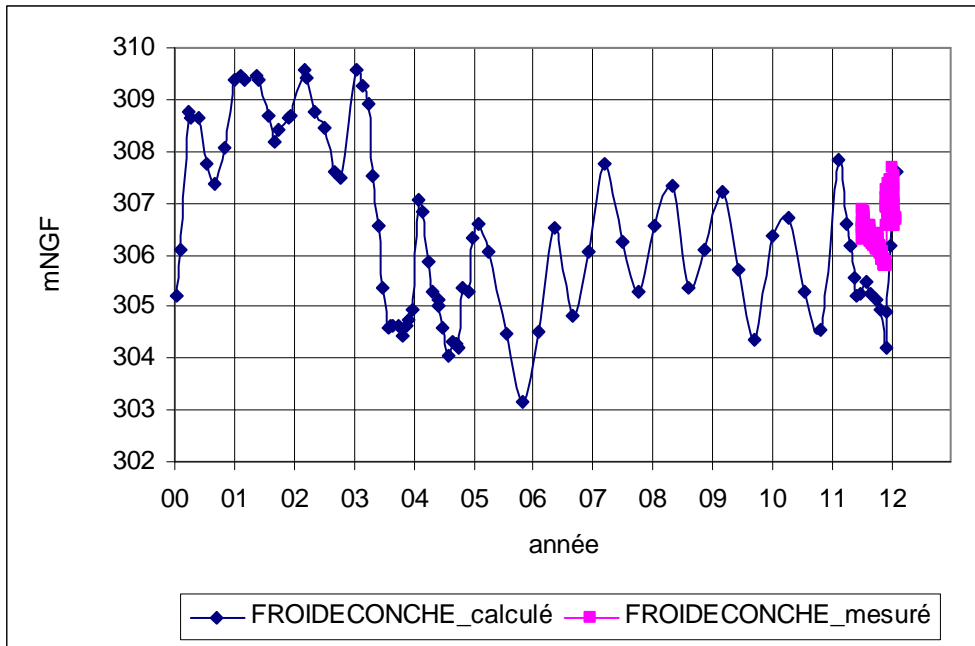
ANNEXE 2

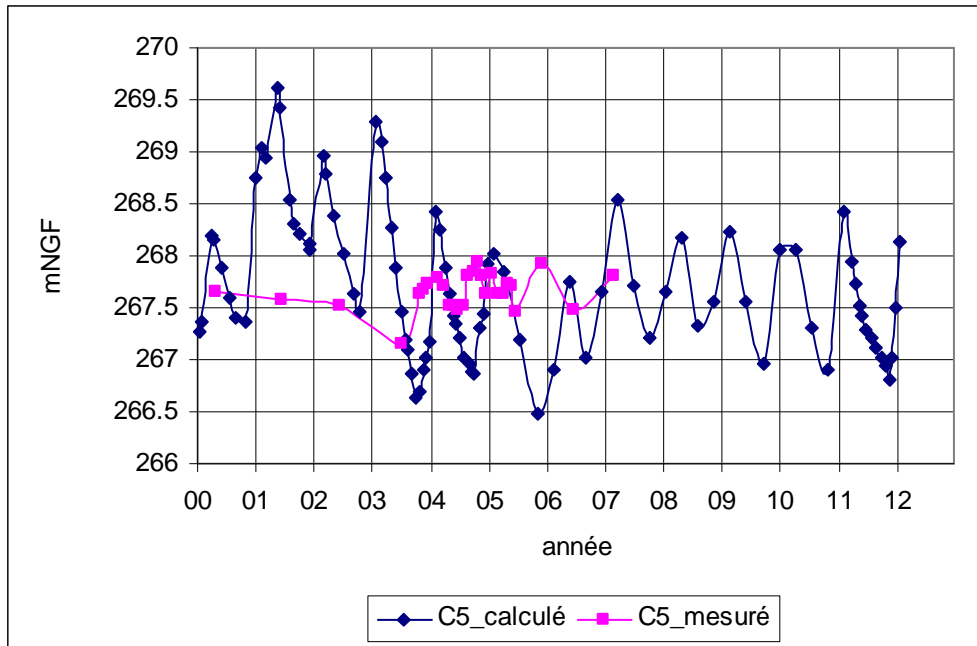
CALAGE EN REGIME TRANSITOIRE







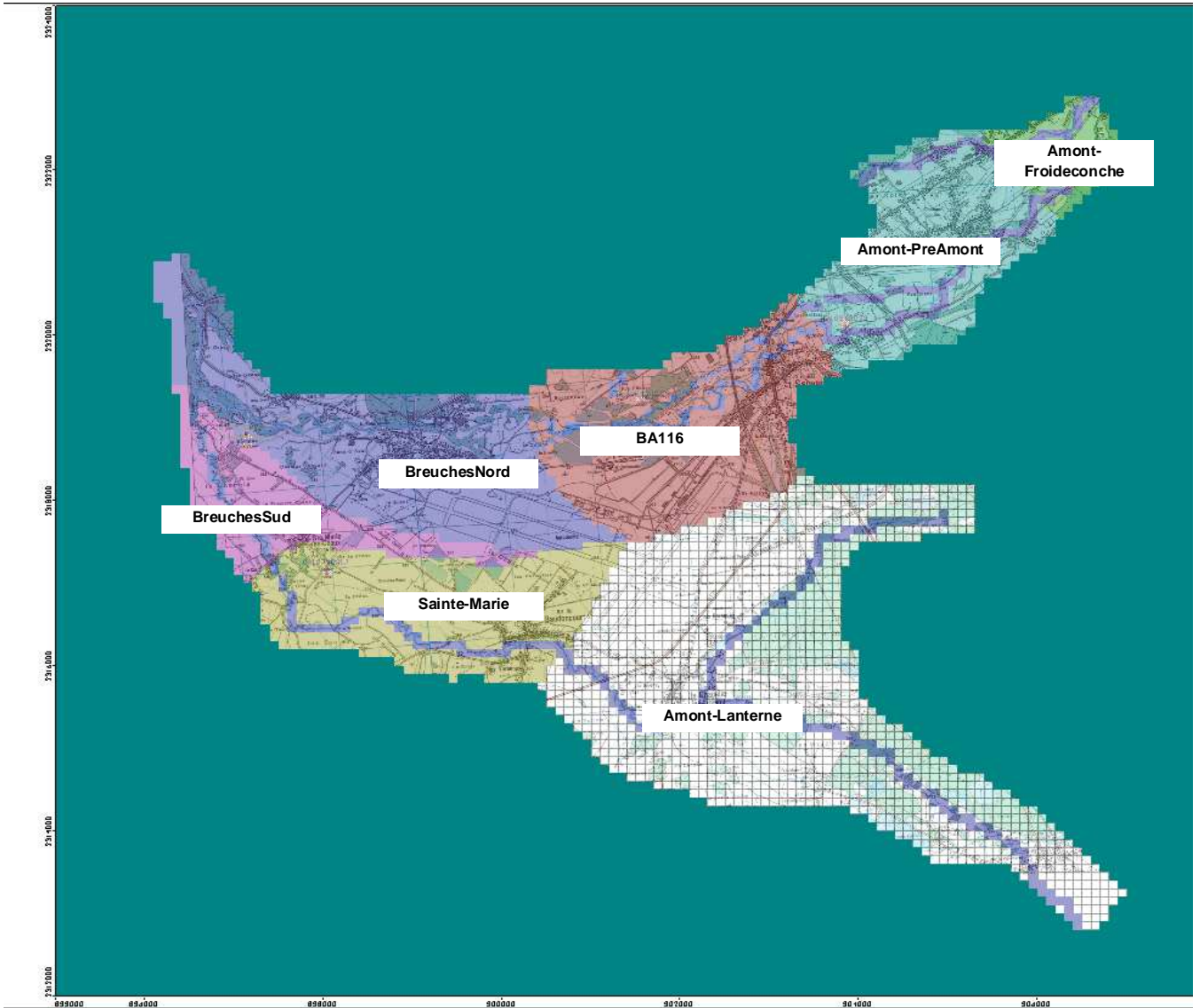




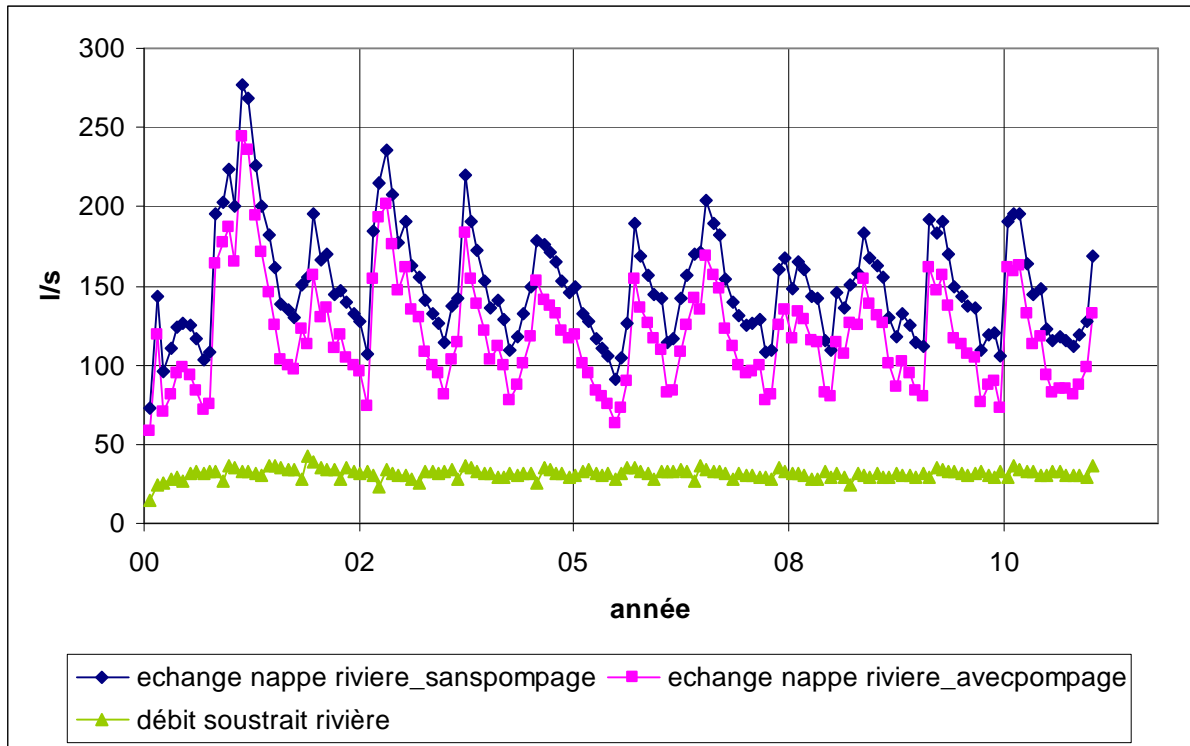
ANNEXE 3

BILAN HYDRIQUE ; APPROCHE PAR SOUS BASSINS

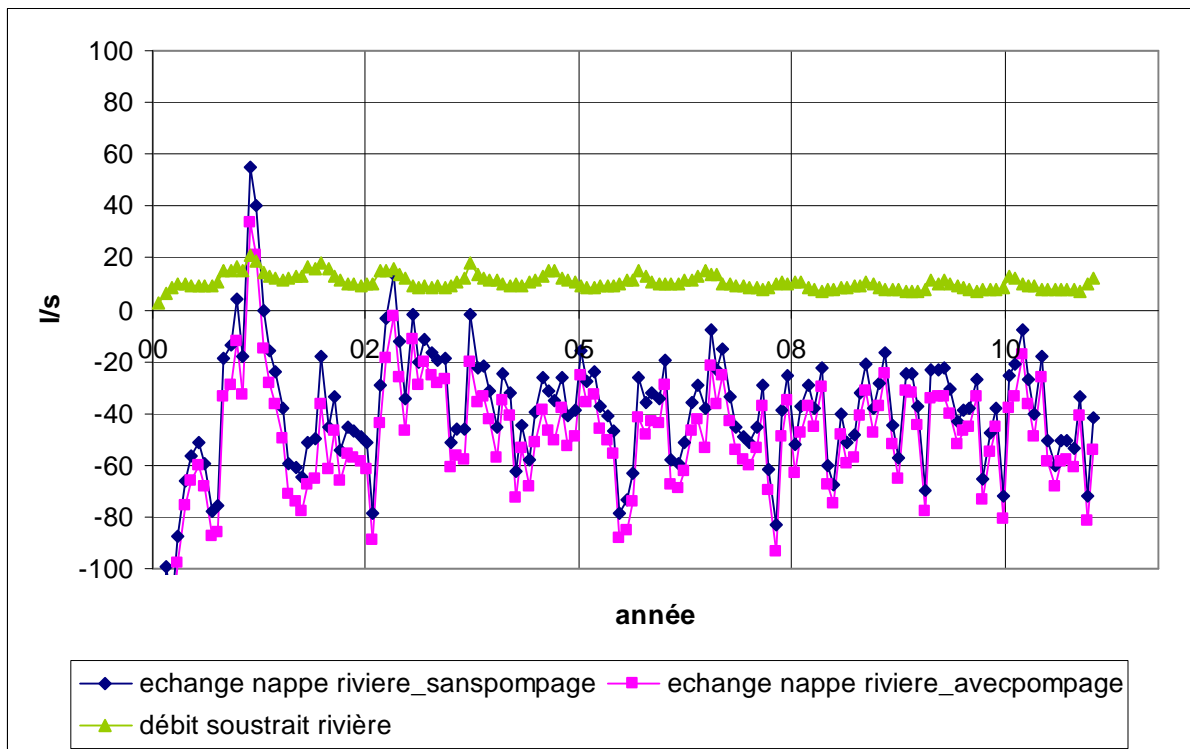
Discrétisation spatiale des différents sous bassins



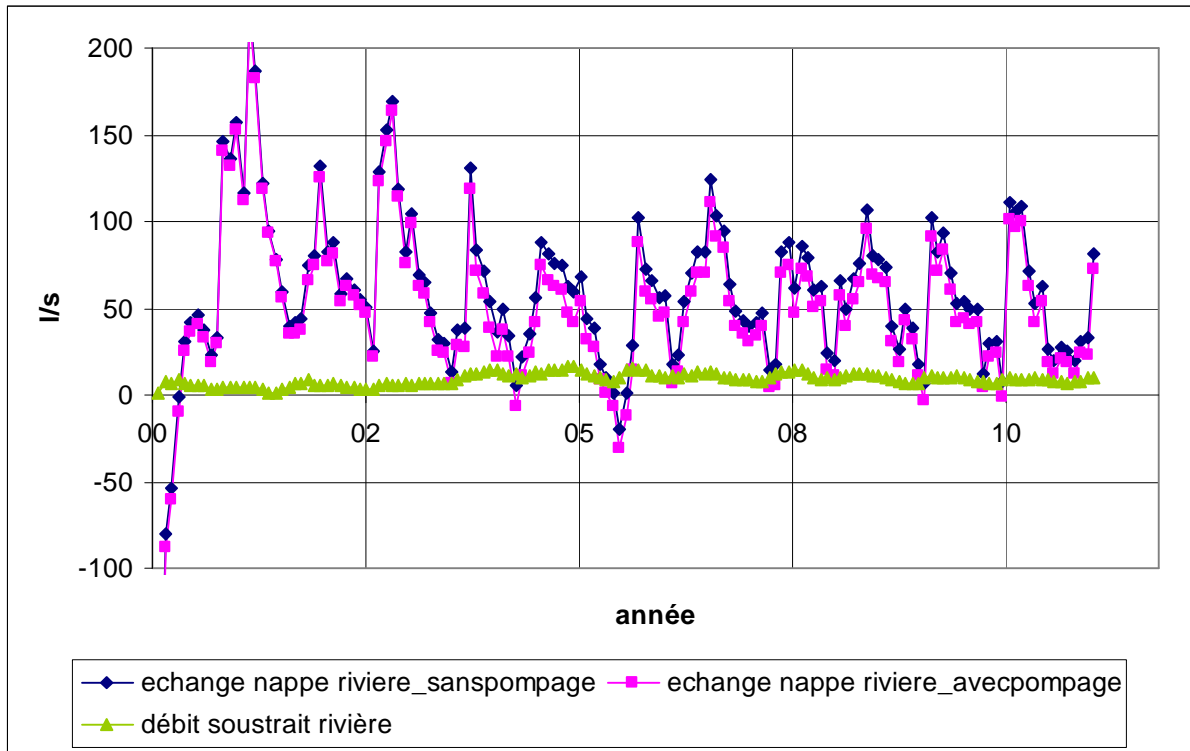
Bilan hydrique sur le sous bassin du Breuchin : Breuches Nord



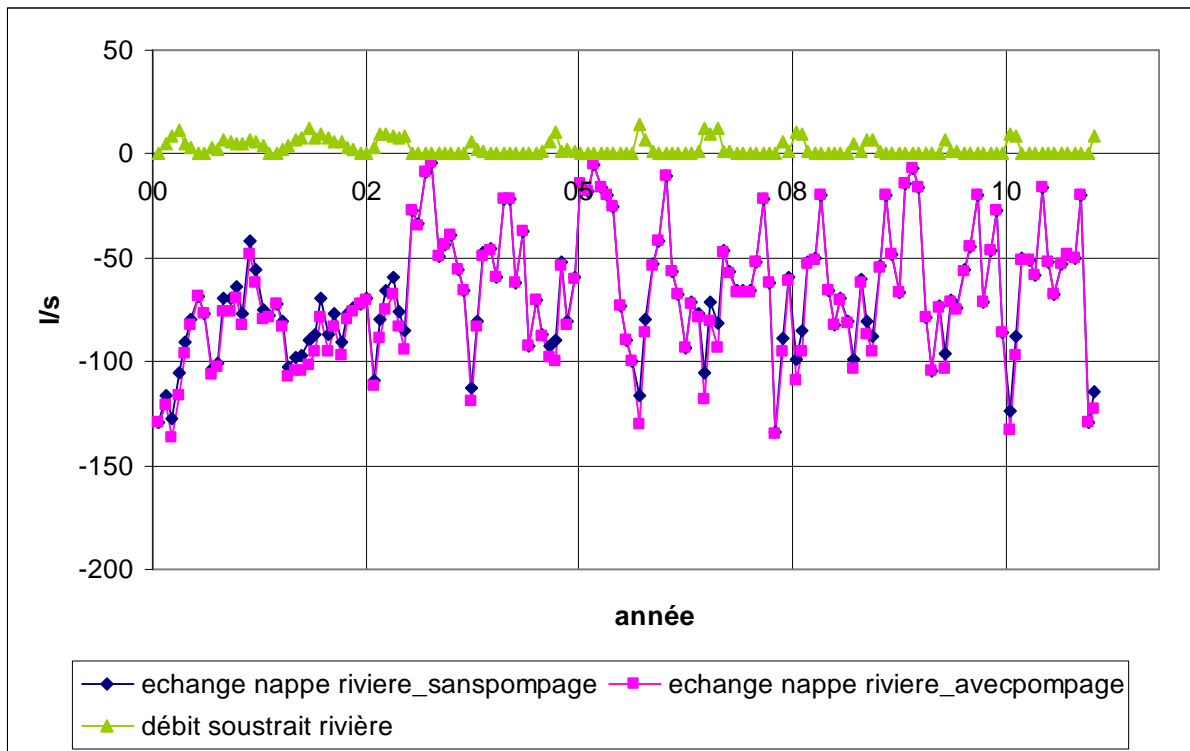
Bilan hydrique sur le sous bassin du Breuchin : BA116



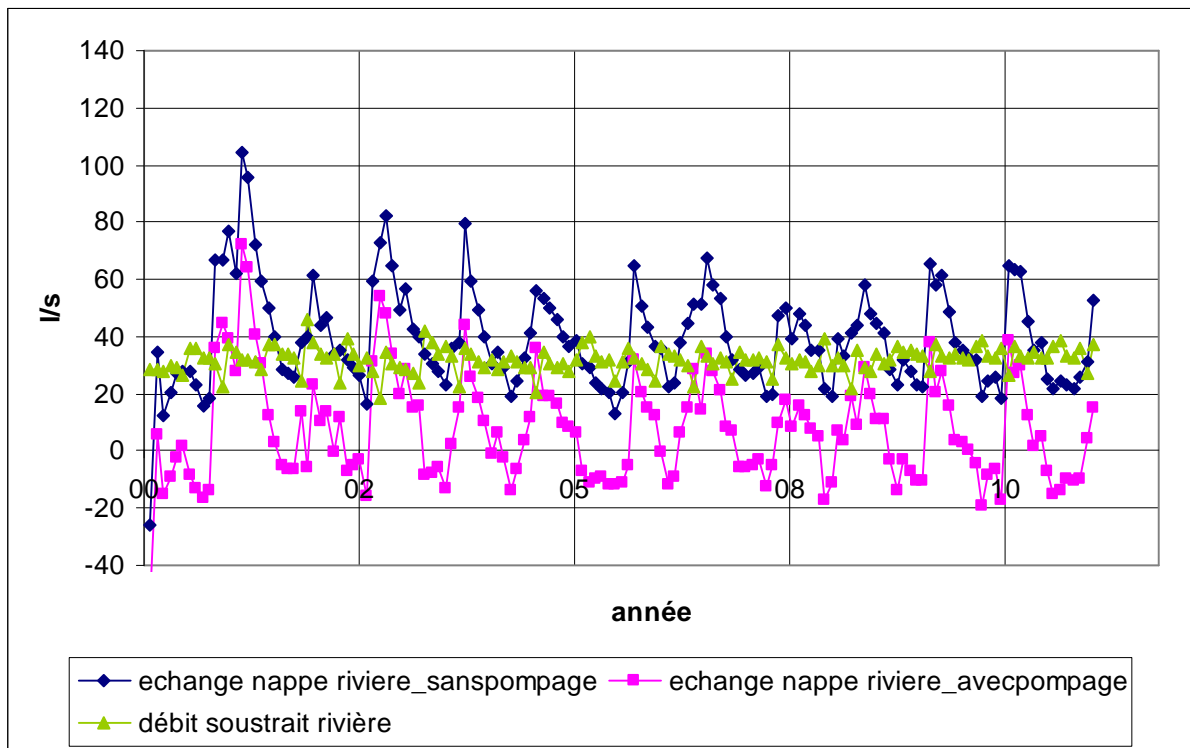
Bilan hydrique sur le sous bassin du Breuchin : Secteur Amont – pré amont



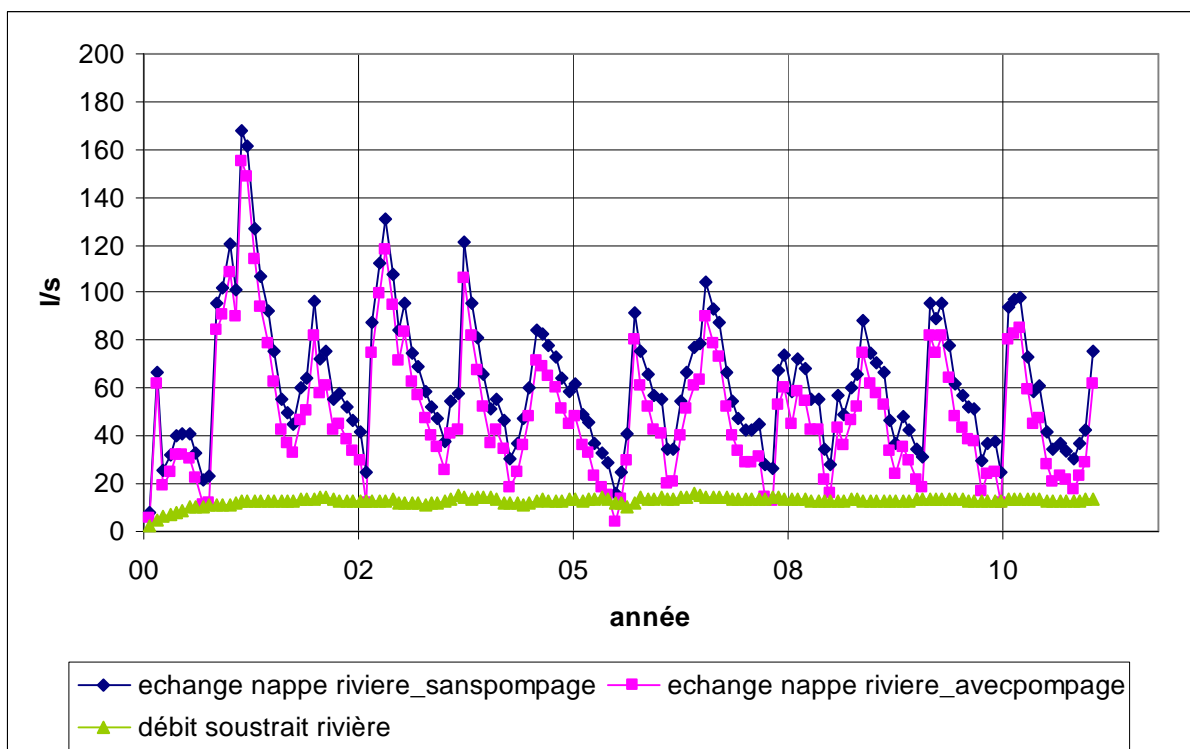
Bilan hydrique sur le sous bassin du Breuchin : Amont Froideconche



Bilan hydrique sur le sous bassin Lanterne : Breuches Sud



Bilan hydrique sur le sous bassin Lanterne : Sainte Marie



Bilan hydrique sur le sous bassin Lanterne : Amont Lanterne

