



ETUDE DE DETERMINATION DES VOLUMES PRELEVABLES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA TILLE

Rapport de Phase 3
Version finale (3.2)


SAFEGE
Ingénieurs Conseils

TABLE DES MATIERES

Préambule sur le contexte de l'étude	1
Partie 1 Caractérisation des étiages au niveau des cours d'eau et des bas niveaux de nappes	5
1.1 Eaux superficielles	5
1.1.1 Analyse des données caractéristiques d'étiage à l'échelle du bassin versant.....	5
1.1.2 Recherche de corrélations entre les données inter-stations	11
1.2 Eaux souterraines	14
1.2.1 Chroniques piézométriques	14
Partie 2 Modélisation hydrogéologique	24
2.1 Construction du modèle de nappe	24
2.1.1 La nappe profonde	25
2.1.2 Extension et limites du modèle nappe superficielle	25
2.1.3 Structure du modèle – discrétisation	26
2.1.4 Gravières.....	29
2.1.5 Prélèvements.....	29
2.1.6 Rivières.....	29
2.2 Calage du modèle de nappe.....	29
2.2.1 Calage en régime permanent	29
2.2.2 Calage en régime transitoire	32
2.3 Premiers résultats après calage du modèle	38
2.4 Réalisation de simulations.....	42
2.4.1 Piézométrie désinfluencée	42
2.4.2 Relation nappe désinfluencée-rivière	46
Partie 3 Reconstitution de l'hydrologie désinfluencée.....	50
3.1 Objectifs et principes.....	50
3.2 Méthodologie.....	51

3.2.1	Description du modèle hydrologique	51
3.2.2	Données d'entrée du modèle	52
3.2.3	Paramètres des modèles	58
3.3	Calage du modèle hydrologique	59
3.3.1	Principe du calage.....	59
3.3.2	Résultats du calage	60
3.3.3	Critiques relatives au calage des modèles pluie-débit.....	73
3.4	Résultats de l'hydrologie désinfluencée et comparaison avec l'état actuel	74
3.4.1	Présentation des résultats obtenus par station.....	74
3.4.2	Synthèse des résultats de l'hydrologie désinfluencée.....	96

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

Figure 1-1 : Carte des stations hydrométriques sur le bassin versant de la Tille.....	8
Figure 1-2 : Graphique montrant les modules aux stations hydrométriques en fonction des superficies de bassin versant	10
Figure 1-3 : Graphique montrant les QMNA5 aux stations hydrométriques en fonction des superficies de bassin versant	10
Figure 1-4 : Comparaison des débits moyens journaliers à Diénay et Villecomte sur l'Ignon durant l'été 1986	12
Figure 1-5 : Régression des débits moyens journaliers à Villecomte et Diénay sur l'Ignon pour des débits inférieurs au débit médian à Villecomte ($3,35\text{m}^3/\text{s}$)	12
Figure 1-6 : Régression des débits moyens journaliers à Genlis et Saint-Julien sur la Norges pour des débits inférieurs au débit médian à Genlis ($2,7\text{m}^3/\text{s}$).....	13
Figure 1-7 : Implantation des piézomètres des réseaux suivis par sous bassin aquifère	16
Figure 1-8 : Évolution des niveaux de nappes sur les piézomètres patrimoniaux du réseau ADES	18
Figure 1-9 : suivi piézométrique de la chambre d'agriculture dans la nappe moyenne de la Tille	19
Figure 1-10 : suivi SRAE avec 3 piézomètres	22
Figure 2-1 : Recharge pluviométrique prise en compte pour la modélisation.....	27
Figure 2-2 : Extension et conditions aux limites du modèle.....	28
Figure 2-3 : Carte piézométrique de la nappe alluviale superficielle de la Tille - Novembre 1973	30
Figure 2-4 : Champ de perméabilité retenu pour la modélisation	31
Figure 2-5 : Comparaison entre niveaux piézométriques calculés et mesurés en régime permanent	31
Figure 2-6 : Implantation des piézomètres de suivi.....	33
Figure 2-7 : Comparaison entre les niveaux piézométriques calculés et mesurés.....	36
Figure 2-8 : Carte piézométrique de basses eaux calculées (été novembre 2005)	37
Figure 2-9 : Évolution des flux entrants du système	39
Figure 2-10 : Évolution des flux sortants du système	39
Figure 2-11 : Évolution des flux entrants du système (zoom)	40
Figure 2-12 : Évolution des flux sortants du système (zoom).....	40
Figure 2-13 : Évolution des flux sortants du système (Extraction année 2003).	41
Figure 2-14 : Détermination du volume extrait au droit des gravières par évaporation	41
Figure 2-15 : Carte de rabattements calculés en période d'irrigation (situation août 2005)	43

Figure 2-16 : Carte de rabattements calculés en basses eaux (situation novembre 2005)	44
Figure 2-17 : Carte de rabattements calculés en basses eaux (situation aout 2008)..	45
Figure 2-18 : Prélèvements mensuels entre 2000 et 2007 sur les sous bassins aquifères de la Tille moyenne et inférieure	47
Figure 2-19 : Localisation des différentes zones de calcul de bilan hydrique	48
Figure 2-20 : Augmentation des débits des rivières par tronçons suite à l'arrêt des pompages en nappe	49
Figure 2-21 : Augmentation des débits des rivières cumulés sur la station Tille aval suite à l'arrêt des pompages en nappe	49
Figure 3-1 : Schéma conceptuel des processus hydrologiques modélisés dans NAM..	52
Figure 3-2 : Cartes des bassins versants considérés pour la modélisation pluie-débit ..	54
Figure 3-3 : Comparaison des débits simulés à l'issu du calage et mesurés pour le bassin versant de l'Ignon à l'amont de Villecomte	61
Figure 3-4 : Comparaison des débits simulés à l'issu du calage et mesurés pour le bassin versant de la Tille à l'amont de Crecey-sur-Tille	62
Figure 3-5 : Comparaison des débits simulés à l'issu du calage et mesurés pour le bassin versant de la Venelle à l'amont de Selongey	64
Figure 3-6 : Comparaison des débits simulés à l'issu du calage et mesurés pour le bassin versant de la Tille à l'amont d'Arceau	66
Figure 3-7 : Comparaison des débits simulés à l'issu du calage et mesurés pour le bassin versant de la Tille à l'amont de Cessey-sur-Tille	67
Figure 3-8 : Comparaison des débits simulés à l'issu du calage et mesurés pour le bassin versant de la Tille à l'amont de Champdôtre	69
Figure 3-9 : Comparaison des débits simulés à l'issu du calage et mesurés pour le bassin versant de la Norges à l'amont de Saint-Julien	70
Figure 3-10 : Comparaison des débits simulés à l'issu du calage et mesurés pour le bassin versant de la Norges à l'amont de Genlis	72
Figure 3-11 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur l'Ignon à Villecomte	75
Figure 3-12 : Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluencés sur l'Ignon à Villecomte	76
Figure 3-13 : Comparaison des QMNA influencés et désinfluencés sur l'Ignon à Villecomte	76
Figure 3-14 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à Crecey-sur-Tille	78
Figure 3-15: Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluencés sur la Tille à Crecey-sur-Tille	78
Figure 3-16 : Comparaison des QMNA influencés et désinfluencés sur la Tille à Crecey-sur-Tille	79
Figure 3-17 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Venelle à Selongey	80
Figure 3-18 : Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluencés sur la Venelle à Selongey	81
Figure 3-19 : Comparaison des QMNA influencés et désinfluencés sur la Venelle à Selongey	81

Figure 3-20 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à Arceau	83
Figure 3-21 : Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluencés sur la Tille à Arceau	83
Figure 3-22 : Comparaison des QMNA influencés et désinfluencés sur la Tille à Arceau	84
Figure 3-23 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à Cessey-sur-Tille	85
Figure 3-24 : Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluencés sur la Tille à Cessey-sur-Tille	86
Figure 3-25 : Comparaison des QMNA influencés et désinfluencés sur la Tille à Cessey-sur-Tille	86
Figure 3-26 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à Champdôtre.....	88
Figure 3-27 : Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluencés sur la Tille à Champdôtre.....	88
Figure 3-28 : Comparaison des QMNA influencés et désinfluencés sur la Tille à Champdôtre	89
Figure 3-29 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Norges à Saint-Julien	91
Figure 3-30 : Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluencés sur la Norges à Saint-Julien	91
Figure 3-31 : Comparaison des QMNA influencés et désinfluencés sur la Norges à Saint-Julien	92
Figure 3-32 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Norges à Genlis.....	93
Figure 3-33 : Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluencés sur la Norges à Genlis	94
Figure 3-34 : Comparaison des QMNA influencés et désinfluencés sur la Norges à Genlis	94
Figure 3-35 : Carte de présentation des résultats de l'hydrologie désinfluencée sur la bassin versant de la Tille.....	97
Figure 3-36 : Comparaison des débits d'étiage naturels et influencés sur la Tille	98
Figure 3-37: Comparaison des débits d'étiage naturels et influencés sur la Tille	98

TABLES

Tableau 1-1 : Liste des stations de la Banque HYDRO sur le bassin versant de la Tille	5
Tableau 1-2 : Liste des stations du CG21 sur le bassin versant de la Tille	6
Tableau 1-3 : Synthèse des débits caractéristiques d'étiage	9
Tableau 3-1 : Caractéristiques des bassins versants considérés pour la modélisation pluie-débit	53
Tableau 3-2 : Valeurs caractéristiques d'étiage aux stations hydrométriques sur la période d'analyse	56
Tableau 3-3 : Détail de constitution d'une chronique journalière des prélèvements et rejets pour les besoins de la modélisation pluie-débit	57
Tableau 3-4 : Liste descriptive des paramètres utilisés pour le calage des modèles pluie-débit sous NAM.....	58
Tableau 3-5 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Villecomte et simulés par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2009	61
Tableau 3-6 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Crecey-sur-Tille et simulés par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2009	63
Tableau 3-7 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Selongey et simulés par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2009	65
Tableau 3-8: Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Arceau et simulés par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2009	66
Tableau 3-9: Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Cessey-sur-Tille et simulés par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2009	68
Tableau 3-10 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Champdôtre et simulés par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2009	69
Tableau 3-11: Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Saint-Julien et simulés par le modèle pluie-débit sur la période 2002-2009.....	71
Tableau 3-12 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Genlis et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2009	72
Tableau 3-13 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur l'Ignon à Villecomte.....	77
Tableau 3-14 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à Crecey-sur-Tille	79
Tableau 3-15 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Venelle à Selongey	82
Tableau 3-16 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à Arceau	84
Tableau 3-17 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à Cessey-sur-Tille	87
Tableau 3-18 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à Champdôtre	89
Tableau 3-19 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Norges à Saint-Julien.....	92
Tableau 3-20 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Norges à Genlis	95

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 Bibliographie	99
Annexe 2 Carte isohyète des précipitations moyennes annuelles normales en Côte-d'Or sur 1971-2000	103

Préambule sur le contexte de l'étude

Contexte général des études de détermination des volumes maximums 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.

Objectifs généraux des études de détermination des volumes maximums 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 des autorisations de prélèvements et des 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 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.

Contexte de changement climatique

Les études volumes prélevables étant fortement liées aux changements climatiques, il est essentiel que les tendances observées localement soit prises en compte dans la définition des volumes prélevables.

Alterre Bourgogne (2010), dans son rapport « Adaptation au changement climatique : évaluation de la réserve en eau des sols » précise que, « bien que la Bourgogne ne soit pas concernée au même degré que les zones de montagne ou les bords de mer par le changement climatique, l'évolution du climat est toutefois avérée sur la région : les températures ont augmenté de 1,5°C depuis 20 ans et la modification du régime des pluies est perceptible. L'inégalité géographique de la disponibilité de la ressource est aussi une réalité. Certains bassins d'alimentation en eau sont périodiquement sensibles à la sécheresse ou à la pénurie. Les craintes que les variations climatiques saisonnières plus fortes accroissent les disparités entre territoires se précisent. [...] La caractérisation de l'aléa climatique localement montrent une augmentation de la température d'environ 3°C sur la période végétative d'avril à août dans la futur et des précipitations qui ne devraient pas beaucoup changer en volume, mais davantage en répartition sur l'année ».

Ces éléments seront pris en compte dans l'analyse menée pour la détermination des volumes maximums prélevables dans le cadre de la présente étude.

Contexte particulier du bassin versant de la Tille

Le bassin versant de la Tille couvre la partie Nord Est du département de la Côte d'Or. Le bassin versant a une surface de 1300km², drainée par un réseau hydrographique orienté Nord-Sud. L'exutoire du bassin versant se situe au niveau de la confluence avec la Saône.

Le bassin versant est particulièrement sensible aux étiages puisqu'il a fait l'objet d'au moins un arrêté sécheresse chaque année depuis 2000. Cette sensibilité particulière à la sécheresse est due à la particularité hydrogéologique du bassin versant (déconnexion de zone amont du bassin versant en période d'étiage), mais aussi à des prélèvements significatifs liés aux usages d'alimentation en eau potable, agricoles et industriels.

Un **contrat de bassin** a été réalisé sur le bassin versant, et un **Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)** est en cours de mise en place. La Commission Locale de l'Eau (CLE) qui accompagnera la mise en place du SAGE sera également chargée de piloter la concertation entre les usagers pour établir la répartition des volumes prélevables.

Enfin, les masses d'eau FR_DO_119, FR_DO_228 et FR_DO329, représentant l'essentiel des masses d'eau du bassin versant sont classées en **ressources stratégiques pour l'alimentation en eau potable** dans le projet de SDAGE Rhône Méditerranée.

La présente étude s'attachera donc à identifier et caractériser les zones à sauvegarder pour l'usage eau potable, ce travail constituant la première phase de l'étude « ressources stratégiques » qui sera réalisée dans le futur. Dans un second temps, des programmes d'action spécifiques et des la réglementation de certaines implantations ou activités devront être mises en œuvre afin de maintenir une qualité d'eau compatible avec la production d'eau potable. La présente étude comprend donc un volet quantitatif avec l'étude volumes prélevables et un volet préservation de la ressource avec l'étude de délimitation des ressources stratégiques, ce dernier étant présenté dans un autre document.

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 des sous bassins et aquifères et recueil des données complémentaires ;
- ✓ Phase 2 : bilan des prélèvements existants et analyse de l'évolution ;
- ✓ Phase 3 : Impacts des prélèvements et quantification des ressources existantes ;
- ✓ Phase 3 bis : identification et caractérisation des ressources à préserver pour l'usage AEP (présenté dans un document séparé);
- ✓ Phase 4 : détermination des débits minimum biologiques et des objectifs de niveaux en nappe ;
- ✓ Phase 5 : Détermination des volumes prélevables et des débits d'objectifs d'étiage ;
- ✓ Phase 6 : proposition de répartition des volumes entre les usages et propositions de périmètre d'organisme unique.

Partie 1

Caractérisation des étiages au niveau des cours d'eau et des bas niveaux de nappes

1.1 Eaux superficielles

1.1.1 Analyse des données caractéristiques d'étiage à l'échelle du bassin versant

L'hydrologie du bassin versant de la Tille est suivie à l'heure actuelle par un réseau de 8 stations hydrométriques gérées par la DREAL de Bourgogne dont les données sont consultables sur la Banque HYDRO. Trois autres stations ont par ailleurs été abandonnées. La liste complète de ces stations est présentée dans le Tableau 1-1.

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

Masse d'eau	Code Station	Nom Station	Données disponibles	Taille du bassin versant (km ²)
Tille supérieure et Ignon	U1224020	Tille à Crecey-sur-Tille	1963-2010	231
Tille moyenne	U1224010	Tille à Arceau	1966-2010	846
Tille moyenne	U1204010	Tille à Cessey-sur-Tille	1970-2010	884
Tille inférieure	U1244040	Tille à Champdôtre	1985-2010 ¹	1258
Tille inférieure	U1244030	Tille aux Maillys	1967-1993	1276
Tille supérieure et Ignon	U1215040	Ignon à Poncey-sur-l'Ignon	2008-2010	8
Tille supérieure et Ignon	U1215030	Ignon à Villecomte	1985-2010	304
Tille supérieure et Ignon	U1215020	Ignon à Diénay	1972-1987	310
Venelle	U1109010	Venelle à Selongey	1970-2010	56
Norges supérieure	U1235010	Norges à Norges-la-Ville	1970-1986	60
Norges inférieure	U1235020	Norges à Genlis	1963-2010	266

En plus des données de la Banque HYDRO, le Conseil Général de Côte d'Or a mis en place son propre réseau de suivi hydrologique sur le bassin versant. Les

¹ Noter que la série de données à Champdôtre a été étendue à la période 1967-1985 par reconstitution à partir de la station située aux Maillys.

caractéristiques des stations hydrométriques gérées par le CG21 sont présentées dans le Tableau 1-2.

Tableau 1-2 : Liste des stations du CG21 sur le bassin versant de la Tille

Masse d'eau	Code Station	Nom Station	Données disponibles	Taille du bassin versant (km ²)
Tille supérieure et Ignon	U1204090	Tille à Marey-sur-Tille	2003-2010	197
Tille moyenne	U1224090	Tille à Spoy	2008-2010	670
Tille supérieure et Ignon	U1215090	Ignon à Lamargelle	2003-2010	58
Venelle	U1109090	Venelle à Véronnes	2008-2010	102
Norges supérieure	U1235090	Norges à Saint-Julien	2003-2010	109

La Figure 1-1 montre la localisation des stations hydrométriques sur le bassin versant de la Tille. L'analyse ne tiendra pas compte des stations pour lesquelles la série de données est jugée trop courte (Ignon à Poncey-sur-l'Ignon, Tille à Spoy, Venelle à Véronnes). Sur ces stations, l'existence de seulement 2 à 3 ans de données ne permet pas de réaliser des ajustements statistiques suffisamment robustes pour être exploités dans le cadre de l'étude. D'autres stations ne sont pas analysées car elles sont trop anciennes et/ou recourent en partie des sites sur lesquels porte déjà l'analyse : c'est le cas de la station de la Tille aux Maillys, dont les mesures ont été intégrées à la série temporelle de la station de Champdôtre, et de la station sur la Norges à Norges-la-Ville, dont l'apport est relativement limité sachant qu'il existe une station à Saint-Julien permettant d'analyser les dynamiques hydrologiques sur la Norges amont.

Les débits caractéristiques d'étiage pour les stations sélectionnées sont présentés dans le Tableau 1-3. Les données montrent que la cohérence des données à l'intérieur du bassin est bien conservée de l'amont vers l'aval. Quelques exceptions existent cependant, qui peuvent s'expliquer par :

- ✓ Des périodes de mesure disponibles différentes (cas des stations de Marey-sur-Tille et de Crécey-sur-Tille sur la Tille supérieure par exemple) ;
- ✓ De la situation des stations en rapport avec le fonctionnement hydrogéologique du bassin versant : cela est particulièrement visible au pour les stations de Villecomte et de Diénay, situées respectivement au niveau de la perte et de la résurgence de l'Ignon. Ainsi, les débits caractéristiques d'étiage à Villecomte sont quasiment nuls à l'inverse de ceux mesurés à Diénay, la taille des deux bassins versants étant pourtant très proche. Il faut cependant noter que la période d'ouverture des stations influe ici aussi sur les valeurs de débits mesurées aux deux sites, la série temporelle de la station de Diénay comportant une série d'années très humides (1980 à 1985), alors que celle de Villecomte a couvert deux périodes particulièrement sèches (1989 à 1992 et 2002 à 2005).

Les Figure 1-2 et Figure 1-3 montrent également l'impact des pertes hydrogéologiques du bassin versant, par comparaison respective des modules et des QMNA5 en fonction de la superficie du bassin versant de chaque station hydrométrique. Ainsi, si les modules en fonction de la surface de bassin versant s'ajustent particulièrement bien à une droite (Figure 1-2), on s'aperçoit que le même graphique avec les QMNA5 met en évidence les stations sous influence d'une perte à

l'étiage (stations situées au dessous de la courbe de tendance, cas des stations de Villecomte (perte de l'Ignon), mais aussi d'Arceau et Cessey-sur-Tille (situées à l'aval des pertes de la Tille)) et celles sous influence d'une résurgence (stations situées au dessus de la courbe de tendance, cas de la station de Diénay sur l'Ignon).

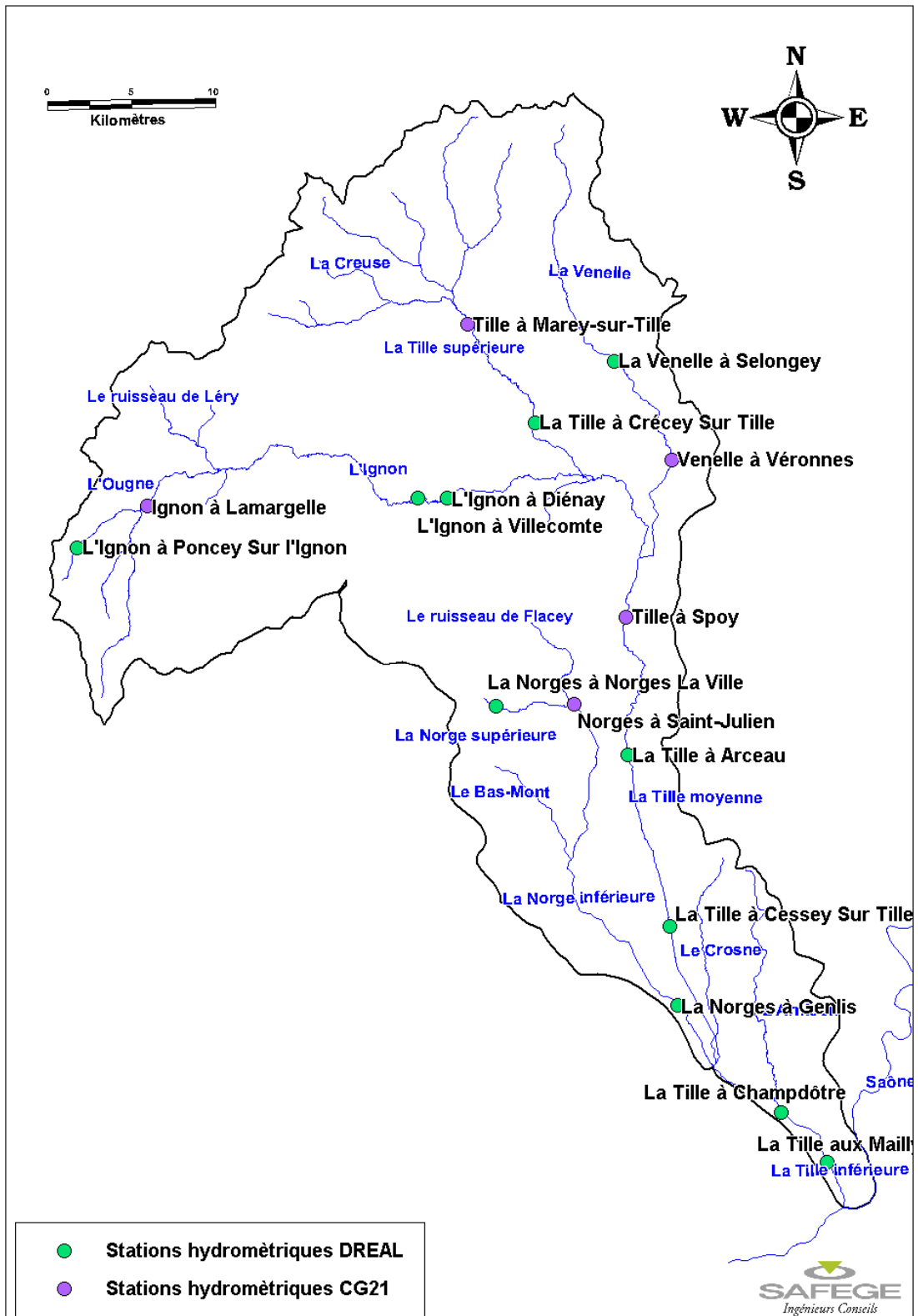


Figure 1-1 : Carte des stations hydrométriques sur le bassin versant de la Tille

Tableau 1-3 : Synthèse des débits caractéristiques d'étiage

Cours d'eau	TILLE					IGNON			VENELLE	NORGES		
Station	Marey-sur-Tille	Crecey-sur-Tille	Arceau	Cessey-sur-Tille	Champdâtre	Lamargelle	Villecomte	Diénay	Selongey	Norges-la-Ville	Saint Julien	Genlis
Taille BV (km ²)	197	231	846	884	1258	58	304	310	56	60	109	266
Période considérée	2003-2010	1963-2010	1966-2010	1970-2010	1967-2010	2003-2010	1985-2010	1972-1987	1970-2010	1970-1986	2003-2010	1963-2010
Débits caractéristiques d'étiage (m³/s)												
Module	2,030	2,706	7,167	6,829	10,932	0,739	3,318	4,937	0,603	0,704	0,952	2,719
1/10 ^e module	0,203	0,271	0,717	0,683	1,093	0,074	0,332	0,494	0,060	0,070	0,095	0,272
1/20 ^e module	0,102	0,135	0,358	0,341	0,547	0,037	0,166	0,247	0,030	0,035	0,048	0,136
QMNA2	0,238	0,227	0,258	0,335	0,986	0,120	0,049	0,758	0,076	0,042	0,076	0,327
QMNA5	0,139	0,119	0,115	0,160	0,520	0,072	0,005	0,456	0,047	0,015	0,027	0,182
VCN3 2	0,174	0,142	0,158	0,213	0,625	0,087	0,015	0,572	0,043	0,021	0,048	0,206
VCN3 5	0,101	0,070	0,076	0,105	0,331	0,051	0,002	0,354	0,022	0,008	0,017	0,116
VCN3 10	/	0,048	0,052	0,073	0,237	/	0,001	0,308	0,015	0,005	/	0,086
VCN10 2	0,192	0,160	0,173	0,246	0,703	0,095	0,02	0,602	0,052	0,026	0,052	0,241
VCN10 5	0,114	0,080	0,083	0,126	0,380	0,057	0,002	0,364	0,029	0,011	0,018	0,140
VCN10 10	/	0,056	0,057	0,089	0,276	/	0,001	0,280	0,022	0,006	/	0,106

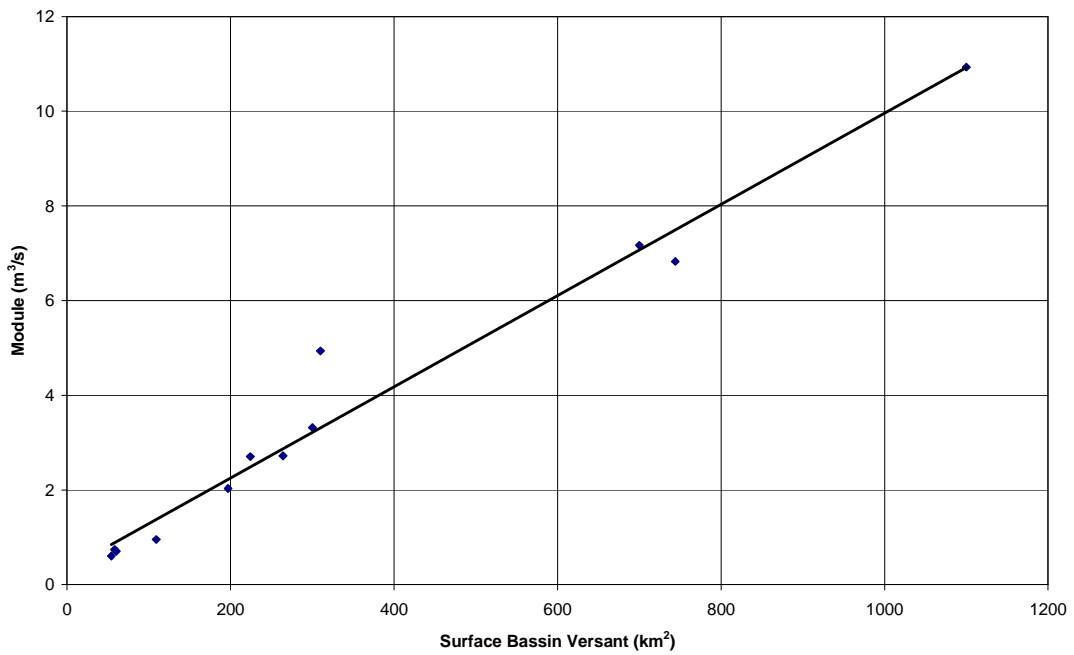


Figure 1-2 : Graphique montrant les modules aux stations hydrométriques en fonction des superficies de bassin versant

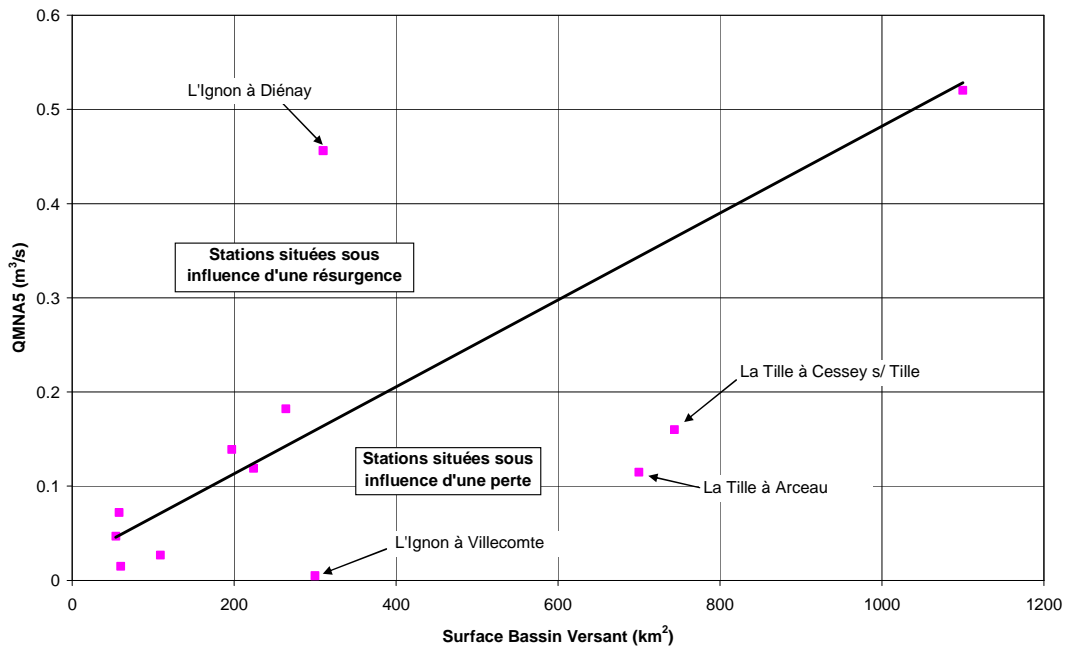


Figure 1-3 : Graphique montrant les QMNA5 aux stations hydrométriques en fonction des superficies de bassin versant

1.1.2 Recherche de corrélations entre les données inter-stations

La comparaison des données aux stations de Villecomte et Diénay est présentée afin de faciliter la compréhension et la quantification des phénomènes hydrogéologiques (pertes et résurgences) affectant les eaux de surface. La comparaison entre les stations de Genlis et Saint-Julien sur la Norges est en revanche destinée à vérifier la corrélation entre les débits mesurés aux 2 sites.

1.1.2.1 Comparaison des stations de Diénay & Villecomte sur l'Ignon

L'inter-comparaison des stations de Villecomte et Diénay sur l'Ignon est intéressante dans la mesure où la station de Villecomte est située sur une zone de perte, alors que celle de Diénay se trouve au niveau d'une zone de résurgence. Comme souligné précédemment, on constate une différence significative de débits au niveau des deux stations, alors qu'elles ne sont distantes que de quelques kilomètres et que la taille de leurs bassins versants d'apport est relativement similaire (300km² pour Villecomte, 310km² pour Diénay).

Il est difficile de mener une réelle analyse entre ces deux stations, celles-ci n'ayant fonctionné qu'une année en commun (en 1986). Si cette période de temps est trop courte pour pouvoir tirer des conclusions définitives quant au fonctionnement du régime de perte/résurgence de l'Ignon, elle permet cependant d'avoir une idée du comportement du cours d'eau et des réponses des stations en période d'étiage. Ainsi, la Figure 1-4, qui compare les débits moyens journaliers aux deux stations, permet de voir que le débit est significativement plus élevé à Diénay qu'à Villecomte.

La corrélation des débits journaliers aux 2 stations pour l'année 1986, et pour des débits inférieurs au débit médian à Villecomte, est présentée en Figure 1-5. La corrélation entre les deux stations est jugée bonne ($R^2=0,82$), le débit moyen journalier à Diénay étant généralement supérieur d'environ 40% à ceux mesurés à Villecomte.

L'existence de cette corrélation – même obtenue sur une période d'analyse très courte – permettra d'établir des liens lors des analyses à venir entre la station de Villecomte (où est déterminée la série la série de débit désinfluencée des prélèvements et rejets) et la station de Diénay (où sera déterminée une valeur de DMB).

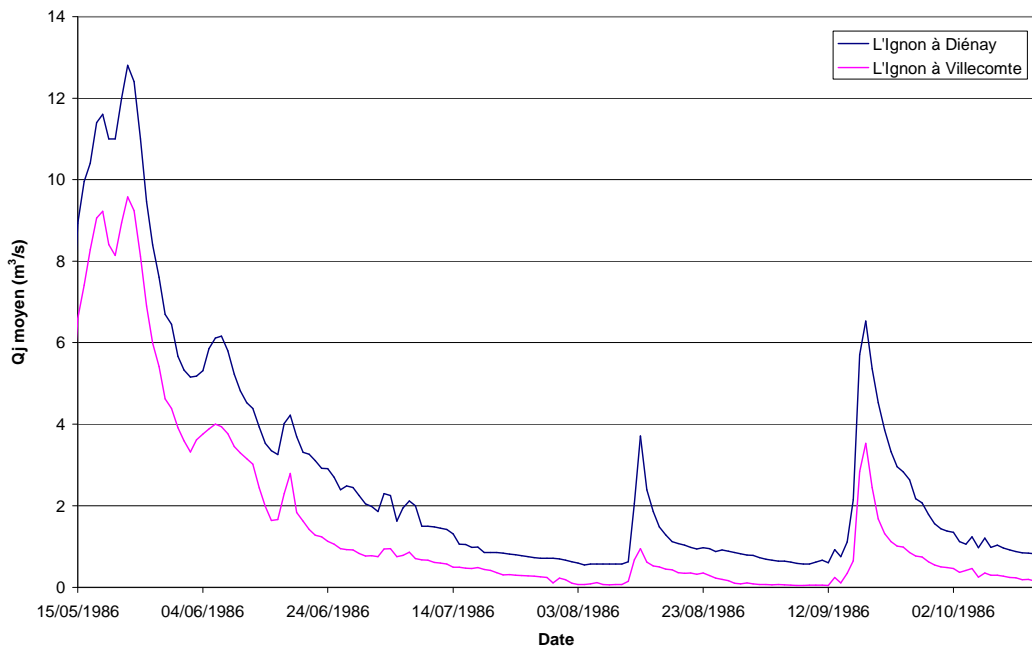


Figure 1-4 : Comparaison des débits moyens journaliers à Diénay et Villecomte sur l'Ignon durant l'été 1986

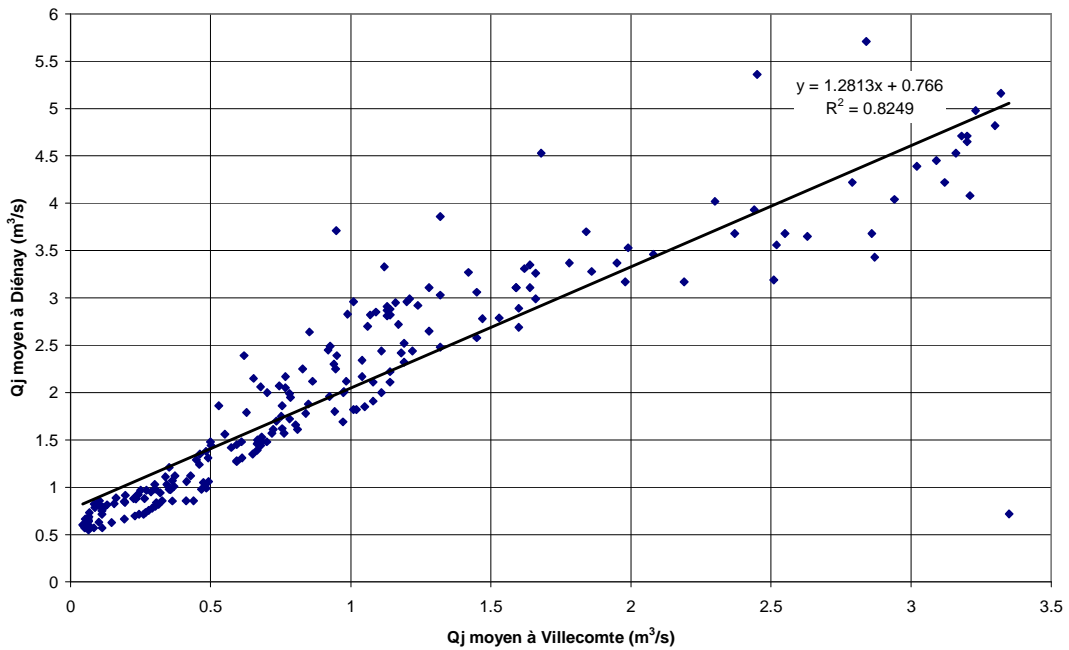


Figure 1-5 : Régression des débits moyens journaliers à Villecomte et Diénay sur l'Ignon pour des débits inférieurs au débit médian à Villecomte (3,35m³/s)

1.1.2.2 Comparaison des stations de Saint-Julien & Genlis sur la Norges

La comparaison des données des débits moyens journaliers entre les stations de Saint-Julien (gérée par le CG21) et Genlis (gérée par la DREAL) a été demandée lors d'une réunion avec les partenaires techniques afin de pouvoir éventuellement dériver les débits à Saint-Julien/Orgeux des mesures faites à Genlis.

En effet, la mise en place d'un site ESTIMHAB pour la détermination d'un DMB a été envisagé à Orgeux. La station hydrométrique de Saint-Julien est la plus proche, mais ses données n'étant pas diffusées en ligne, elles rendent difficiles tout suivi du site en temps réel.

Les résultats de la régression réalisée entre les débits moyens journaliers à Saint-Julien et Genlis sur la période de mesure commune (2003-2010) sont présentés sur la Figure 1-6. Les résultats sont présentés uniquement pour les débits inférieurs au débit médian à Genlis, soit $2,7\text{m}^3/\text{s}$.

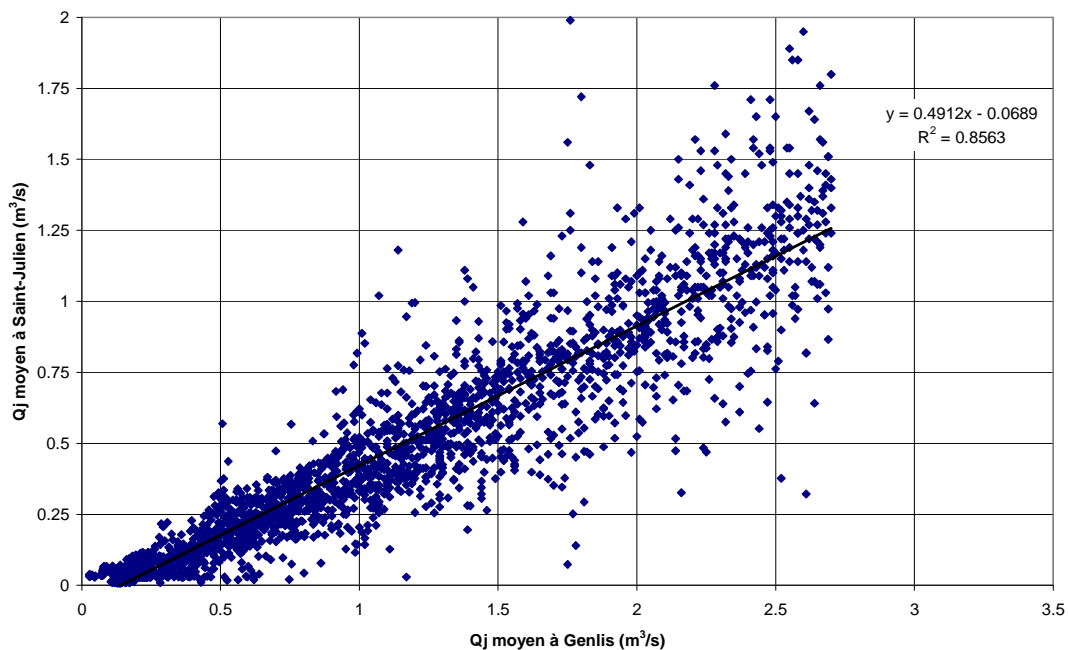


Figure 1-6 : Régression des débits moyens journaliers à Genlis et Saint-Julien sur la Norges pour des débits inférieurs au débit médian à Genlis ($2,7\text{m}^3/\text{s}$)

La corrélation entre les deux stations est jugée relativement bonne, avec un coefficient de corrélation R^2 égal à 0,86. A ce titre, il paraît approprié d'envisager de dériver les débits à Saint-Julien de ceux mesurés à Genlis en attendant de disposer des valeurs réellement mesurées.

1.2 Eaux souterraines

1.2.1 Chroniques piézométriques

Afin de suivre les variations des niveaux piézométriques des sous bassins-aquifères définis, nous disposons de différentes chroniques :

- ✓ Le suivi patrimonial ADES avec 8 piézomètres suivis dont les graphiques sont présentés en Figure 1-8:
 - ◆ SPOY : Calcaires ;
 - ◆ ARC SUR TILLE : Tille profonde ;
 - ◆ CESSÉY SUR TILLE : Tille profonde ;
 - ◆ CESSÉY SUR TILLE BIS : Tille profonde ;
 - ◆ COLLONGES : Tille profonde ;
 - ◆ LES MAILLYS : Tille profonde ;
 - ◆ ARCEAU : Tille moyenne ;
 - ◆ ARCEAU 2 : Tille moyenne ;

- ✓ Le suivi piézométrique de la chambre d'agriculture avec 6 points de suivis dans la nappe superficielle de la Tille dont les graphiques sont présentés en Figure 1-9:
 - ◆ IZIER ;
 - ◆ CESSÉY / TILLE ;
 - ◆ ARC / TILLE ;
 - ◆ BRESSEY / TILLE ;
 - ◆ MAGNY / TILLE ;
 - ◆ BEIRE LE CHATEL ;

- ✓ Le suivi piézométrique réalisé à priori par le Service Régional d'Aménagement des Eaux (SRAE, aujourd'hui DREAL) dans les années 70-80 dont les graphiques sont présentés en Figure 1-10:
 - ◆ SPOY : Calcaires et Tille moyenne ;
 - ◆ FOUCHANGES : Tille moyenne ;
 - ◆ CHAMPDOTRE : Tille profonde.

Nous présentons la carte d'implantation des réseaux de suivis sur la Figure 1-7 ci-dessous. De ces suivis piézométriques il est possible d'observer :

- ✓ Dans la nappe superficielle alluviale :
 - ◆ Des variations interannuelles peu marquées ;
 - ◆ Des battements saisonniers de l'ordre de 2 m ;
 - ◆ Une légère dépendance à la pluviométrie ;

- ✓ Dans les calcaires du haut bassin :
 - ◆ Des variations interannuelles qui peuvent être de l'ordre de 4 m;
 - ◆ Des battements saisonniers de l'ordre de 4 à 8 m ;

- ✓ Dans la nappe profonde de la Tille :
 - ◆ Des variations interannuelles qui peuvent être de l'ordre de 4 à 5 m;
 - ◆ Des battements saisonniers de l'ordre de 1 à 2 m ;
 - ◆ Une tendance à la baisse du niveau de la nappe entre 1992 et 2008 avec une hausse depuis, trop courte pour être significative.

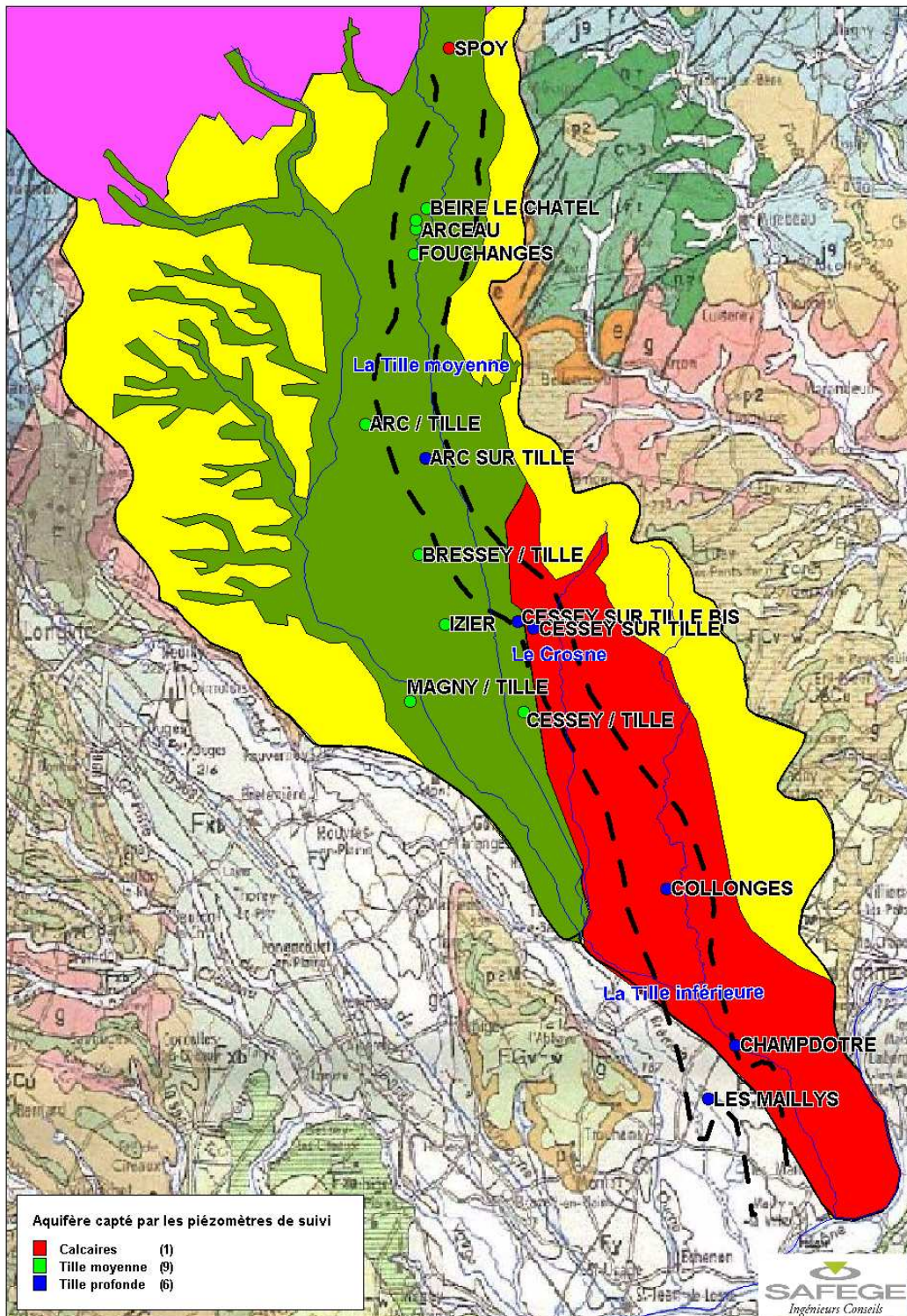
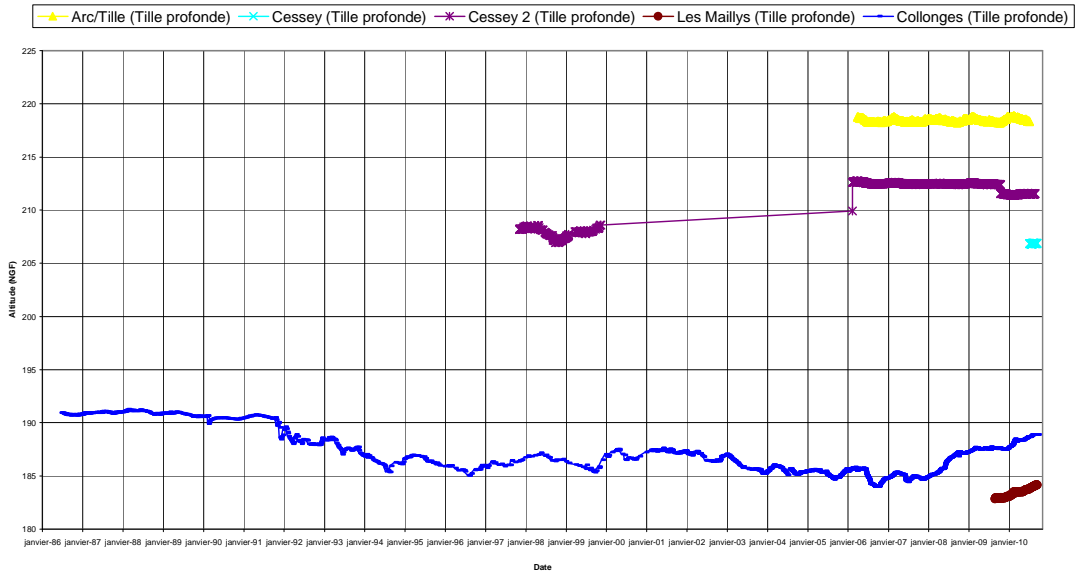
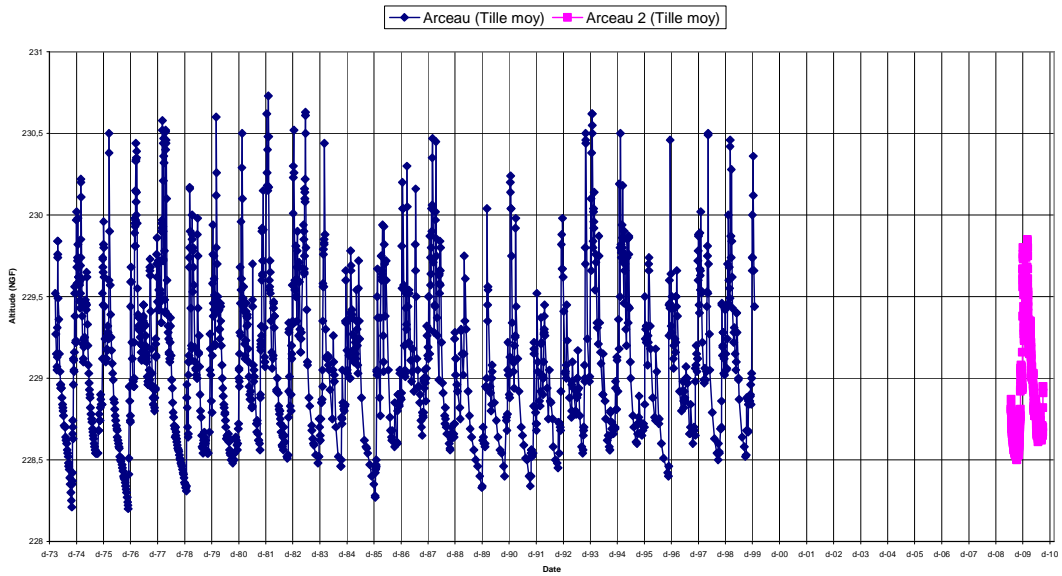


Figure 1-7 : Implantation des piézomètres des réseaux suivis par sous bassin aquifère

Evolution du niveau de la nappe de la Tille profonde sur les piézomètres patrimoniaux du réseau ADES



Evolution du niveau de la nappe de la Tille moyenne sur les piézomètres patrimoniaux du réseau ADES



Evolution du niveau de la nappe des calcaires sur le piézomètre patrimonial de Spoy du réseau ADES

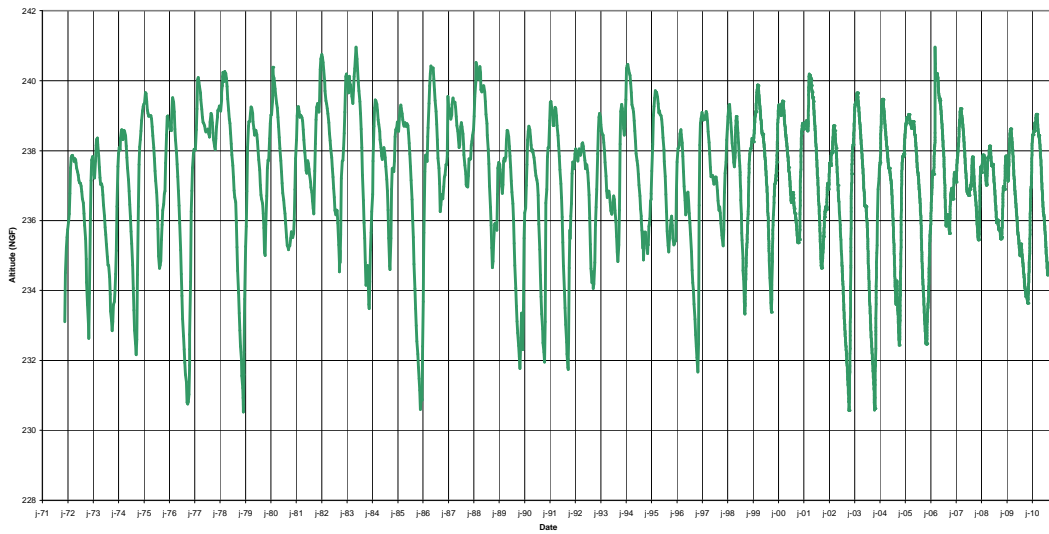
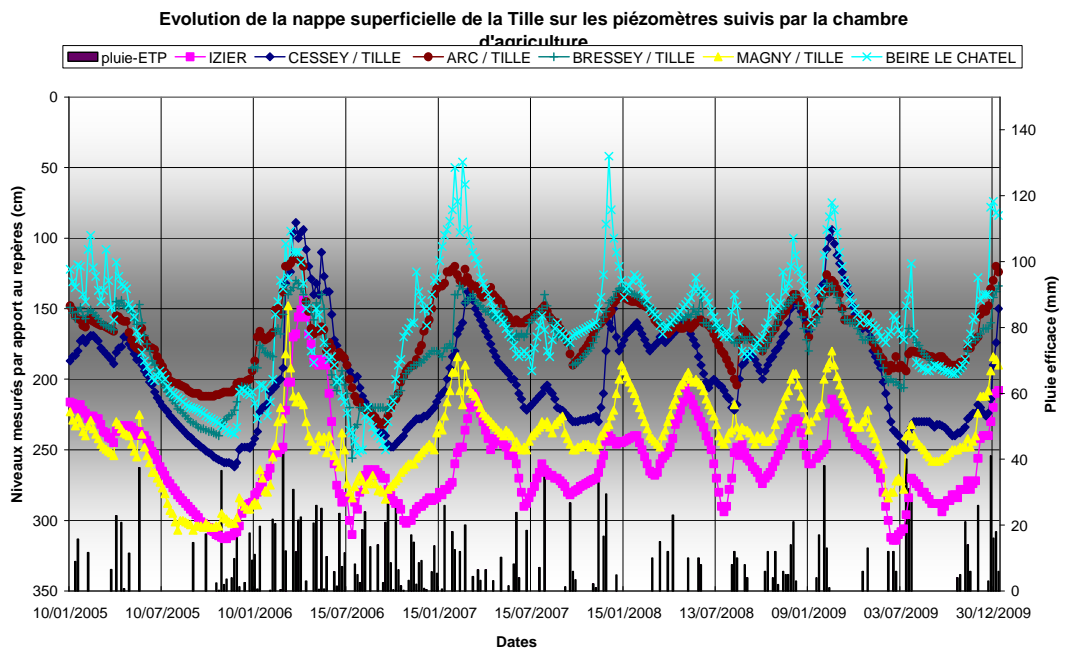


Figure 1-8 : Évolution des niveaux de nappes sur les piézomètres patrimoniaux du réseau ADES



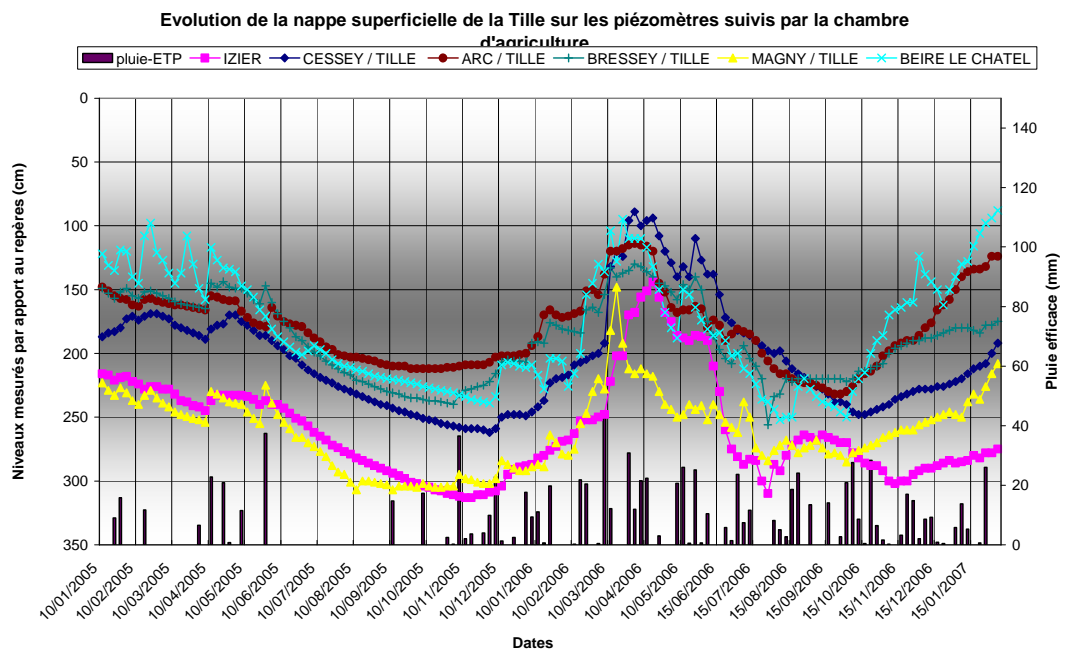
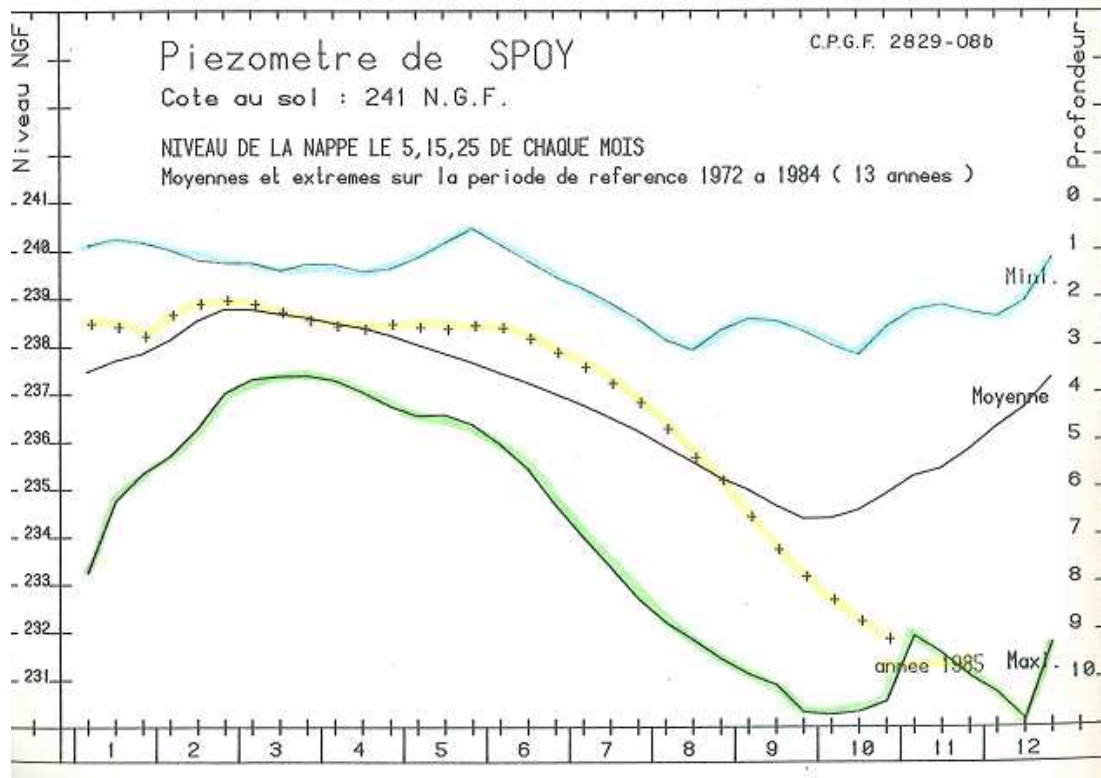
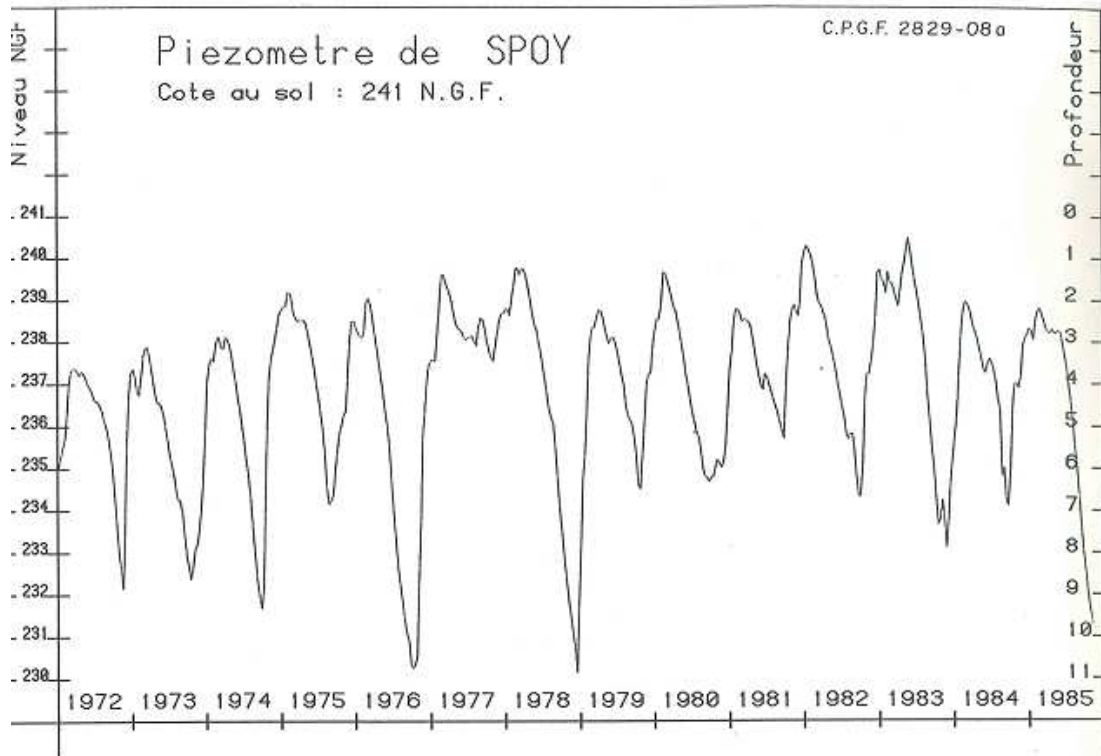
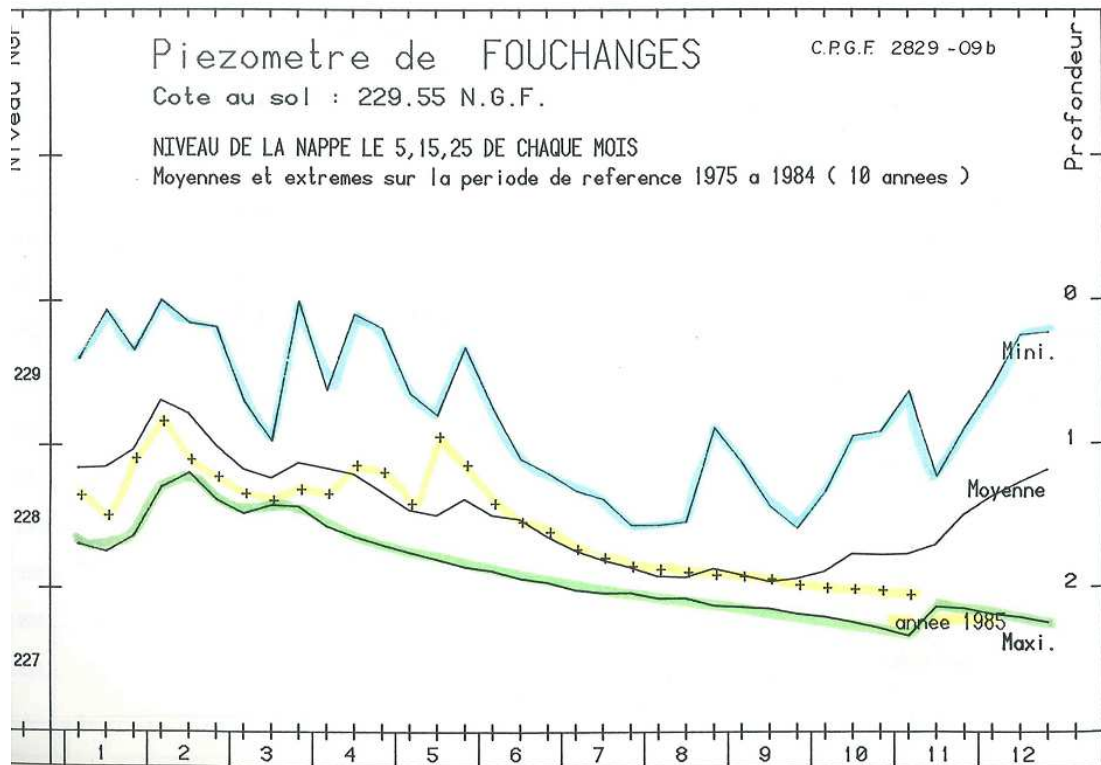
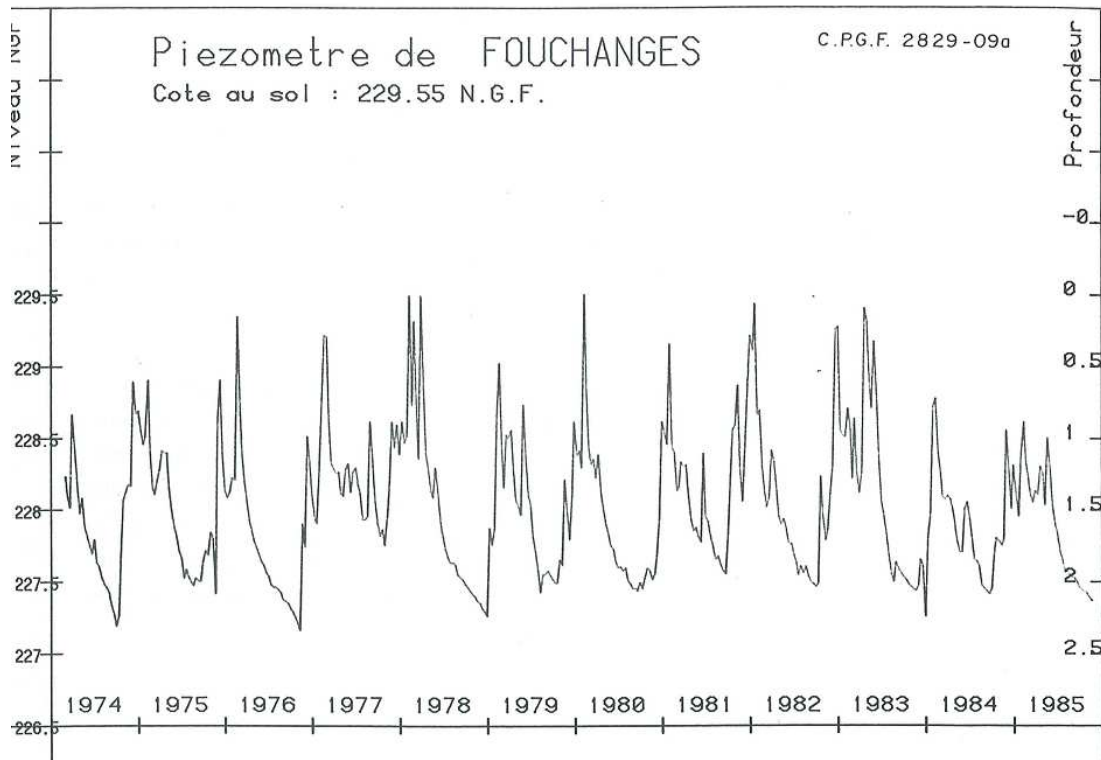


Figure 1-9 : suivi piézométrique de la chambre d'agriculture dans la nappe moyenne de la Tille





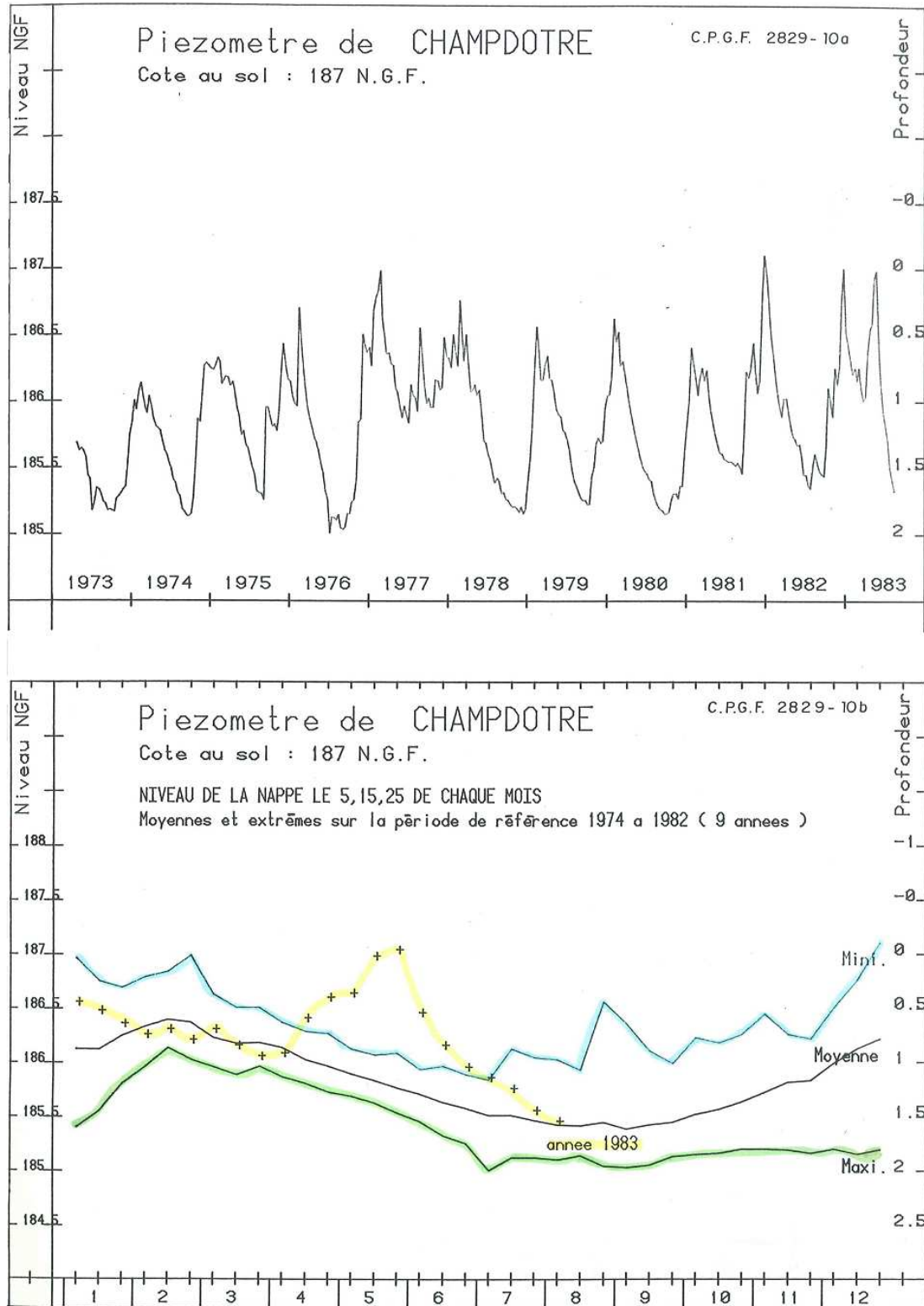


Figure 1-10 : suivi SRAE avec 3 piézomètres

Partie 2

Modélisation hydrogéologique

Un modèle hydrogéologique de fonctionnement de la nappe alluviale a été construit en parallèle à la modélisation hydrologique. Il s'agit de reconstituer le fonctionnement de la nappe alluviale de la Tille, avec en particulier :

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

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

- ✓ À quantifier en étiage les échanges nappe - rivière par tronçon de rivière homogène,
- ✓ À définir la piézométrie d'étiage désinfluencée, c'est à dire hors prélèvements en nappe (EDCH et agricole principalement, mais aussi gravières)
- ✓ À définir les échanges nappes - rivière pour cette piézométrie désinfluencée hors prélèvements.

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 et utilisés par le modèle hydrologique pour définir le débit minimum biologique

2.1 Construction du modèle de nappe

Le modèle de nappe Horizons réalisé pour le Conseil Général de la Côte d'Or en 1995 a été récupéré avec l'accord du Conseil Général et réactualisé. Ce modèle reflétait l'état de l'art sur la connaissance de la nappe superficielle et profonde de la Tille. Il a été transféré sous logiciel Visual Modflow, et réactualisé.

Le secteur à modéliser est la nappe alluviale de la Tille ainsi que son affluent principal la Norges. Le Crosne et l'Arnison sont également inclus dans le domaine modélisé et enfin l'Ouche sur la partie aval à l'Ouest. Dans la construction du modèle, il convient de fixer les différents paramètres qui limitent le secteur d'étude, qu'ils soient géographiques, géologiques, ou physiques. Il peut s'agir de contraintes de flux (débit), de charge (hauteur d'eau), ou de variations des paramètres hydrodynamiques (perméabilité, emmagasinement). Ce paragraphe 3.1 décrit les

différents paramètres appliqués pour la construction et le calage du modèle hydrogéologique.

2.1.1 La nappe profonde

La **nappe profonde de la Tille** est bien connue dans son fonctionnement. Elle avait été modélisée en 1995 dans le cadre de l'étude de gestion de cette nappe. Il n'a pas été jugé utile de reprendre cette modélisation, l'étude portant sur la nappe superficielle. Le choix a été fait de la prendre en compte de manière indirecte en considérant ses échanges avec la nappe superficielle.

Pour rappel, comme il a été expliqué dans les phases préalables, la nappe profonde de la Tille est un sillon plioquaternaire de matériaux grossiers de 30 kilomètres de long sur 0.5 à 1 km de large qui débute à Beire le Chatel, et s'ennoie progressivement sous les alluvions récentes. La nappe se perd enfin au niveau de la plaine de la Saône à une centaine de mètres de profondeur. L'alimentation amont se fait par la nappe alluviale superficielle dans une zone géographique bien déterminée (secteur de Beire le Chatel). Les débits entrant sont sensibles aux variations hydroclimatiques amont, mais de manière tamponnée par la zone d'alimentation. Ainsi le flux entrant (de l'ordre de 150 m³/h) de la nappe superficielle vers la nappe profonde au droit de Fouchanges et Beire le Châtel a été modélisé par un prélèvement supplémentaire équivalent via un semis de pompes (15 ouvrages à 10 m³/h).

La nappe devient ensuite captive et n'est plus alimentée car il s'agit d'un sillon sableux grossier entaillé dans les formations argileuses de l'Oligocène, recouvert par les formations superficielles argileuses. L'utilisation par quelques forages EDCH est limitée par les flux faibles transitant dans la nappe.

Vers l'aval, l'aquifère profond devient de plus en plus fin par perte de dynamisme et de moins en moins perméable. Les eaux au niveau de la plaine alluviale de la Saône s'évacuent principalement par drainance verticale vers les alluvions de la Saône ou de la Tille aval.

La **nappe des calcaires** a été prise en compte via une condition de flux alimentant la nappe superficielle de la Tille. Le détail des différents flux est donné au paragraphe suivant.

2.1.2 Extension et limites du modèle nappe superficielle

La figure suivante présente l'extension du modèle et les différentes conditions aux limites qui ont été retenues :

- ✓ Au Nord, le flux amont en provenance du secteur de Lux via la plaine alluviale de la Tille a été pris en compte par une condition de flux ; le battement de la nappe sur ce secteur apparaît faible, ce qui a permis de considérer un flux constant de 150 m³/h.
- ✓ Au Nord-Ouest du modèle (Ouest de Beire le Châtel), les écoulements en provenance des calcaires ont été modélisés en considérant un flux, estimé en

première approximation au double de la recharge pluviométrique sur les mailles périphérique.

- ✓ La limite Est du modèle a été représentée par une limite à flux nul.
- ✓ La limite Ouest du modèle a été représentée soit par une limite à flux nul, ou par une limite à charge imposée correspondant à la Norges ou à l'Ouche (voir figure suivante)
- ✓ Au sud du modèle, l'exutoire principal du système est une condition de charges imposées. Ce sont les chroniques de niveau de la Saône à Auxonne qui ont été utilisées.

2.1.3 Structure du modèle – discrétisation

2.1.3.1 Structure spatiale

Le modèle élaboré est un modèle monocouche. Les données concernant le toit et le substratum de la nappe superficielle sont extraites du précédent modèle Horizons de 1995.

2.1.3.2 Structure temporelle

Le modèle a été construit dans un premier temps en **régime permanent** puis en **régime transitoire**. Dans ce cas, il fonctionne au pas de temps décadaire et couvre la période 2000 – 2010.

Par rapport au modèle permanent, il permet de restituer en régime transitoire les tarissements des étiages sévères de 2003 à 2006, avec prélèvements AEP et agricoles élevés sur la période.

2.1.3.3 Recharge pluviométrique

La pluie efficace a été calculée sur la base des données disponibles de pluie et d'ETP décadaires. Une RFU moyenne de 100 mm a été appliquée à tous le bassin versant, mis à part les gravières. La comparaison entre les calculs réalisés par Safege et le travail plus fin réalisé par l'université de Bourgogne montre que le raisonnement est juste en ordre de grandeur à l'échelle de réflexion du modèle.

La figure suivante montre la recharge pluviométrique retenue pour la modélisation. Cette recharge a été appliquée sur l'ensemble sur secteur hormis sur les secteurs couverts par les gravières (voir paragraphe suivant).

Figure 2-1 : Recharge pluviométrique prise en compte pour la modélisation

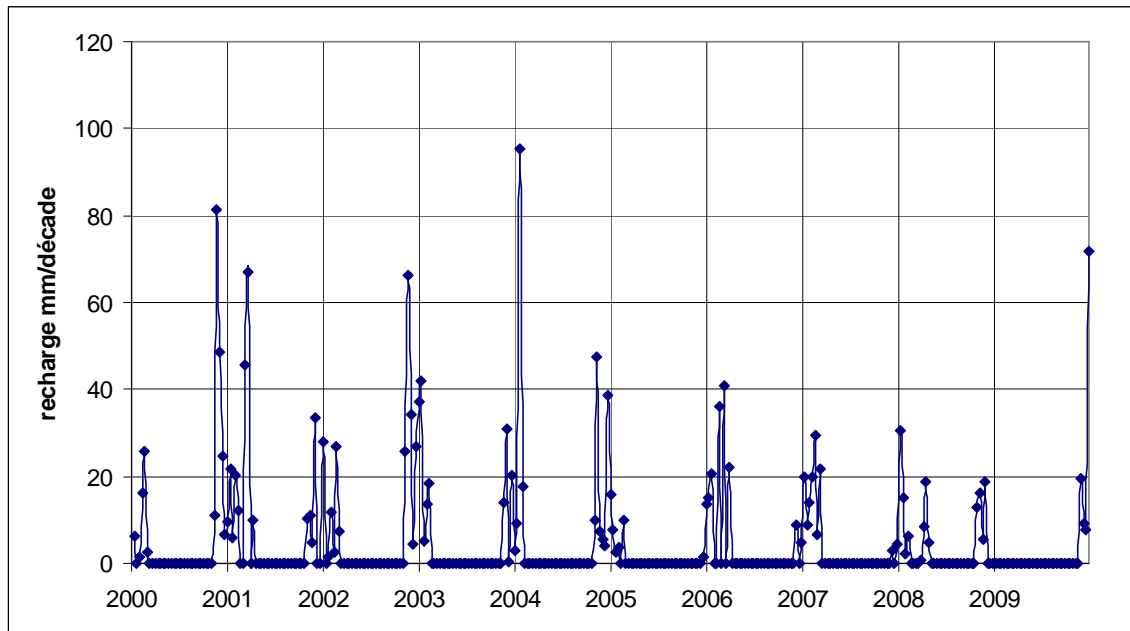
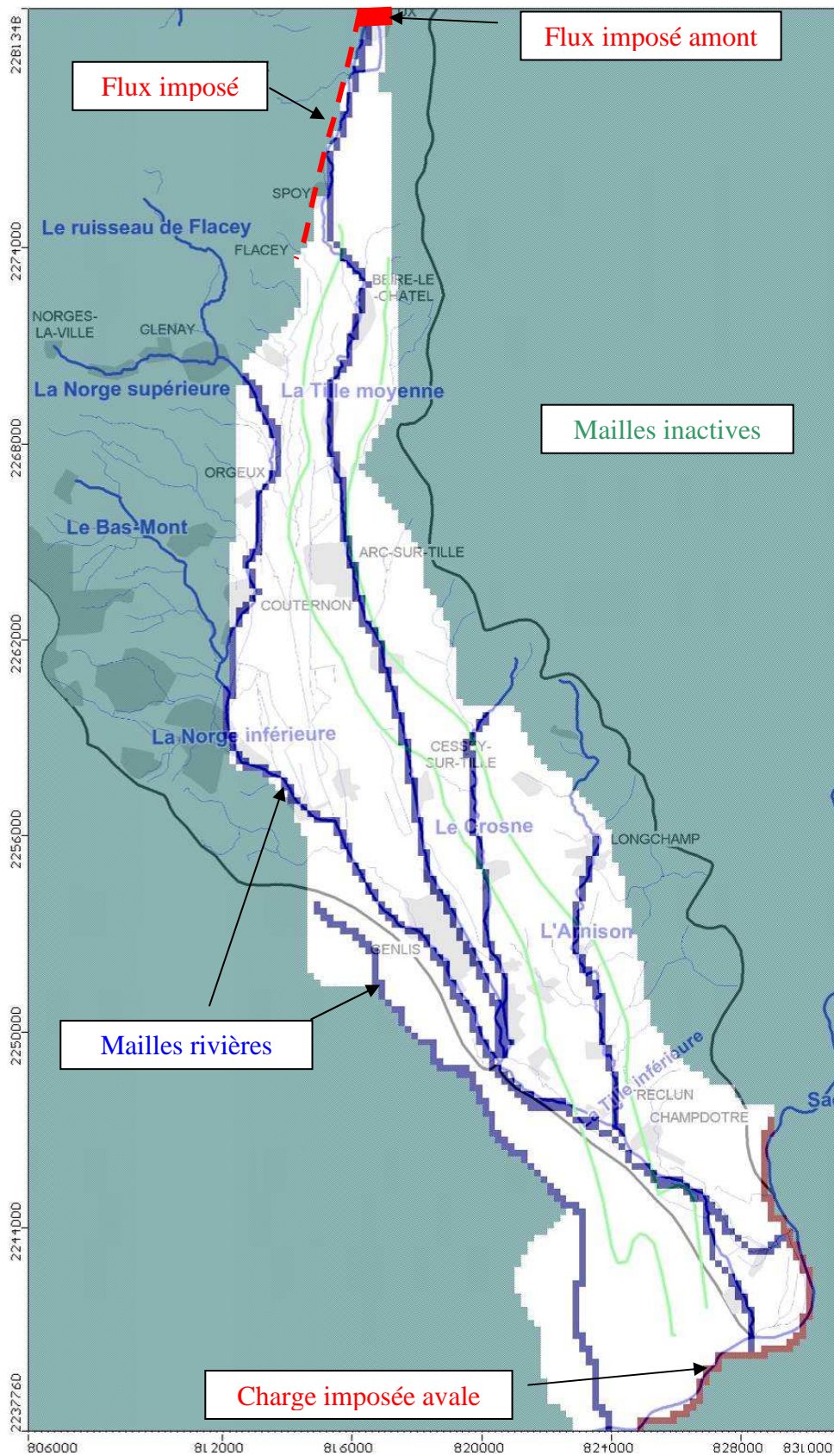


Figure 2-2 : Extension et conditions aux limites du modèle



2.1.4 Gravières

Les gravières présentes sur le secteur d'étude ont été modélisées comme des zones à fortes perméabilité et emmagasinement.

Sur ces secteurs la pluie brute et l'évaporation potentielle ont été saisies dans le modèle.

2.1.5 Prélèvements

Les données de prélèvements AEP ont été réactualisées avec les données mensuelles disponibles couvrant la période d'étude.

Les prélèvements agricoles ont été pris en compte dans le modèle en considérant une répartition des volumes annuels sur les 3 mois correspondant à la période d'irrigation. De même pour les prélèvements industriels mais avec une répartition égale sur 12 mois.

2.1.6 Rivières

Les profils en long des principaux cours d'eau ont été reconstitués à partir des données des stations hydrologiques disponibles.

Les rivières ont été considérées à l'aide de mailles à potentiel imposé. Les chroniques de niveaux ont été extraites de la banque hydrologique et appliquées sur les différents biefs modélisés.

Le modèle est à même de restituer les flux entrants ou sortant 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.

2.2 Calage du modèle de nappe

Le logiciel utilisé pour l'élaboration du modèle est Visual Modflow dans sa version 4.3. Le modèle est d'abord monté en régime permanent (indépendamment du temps), ce qui permet de caler les principaux paramètres puis en régime transitoire afin de prendre en compte les variations saisonnières du système au pas de temps mensuel.

2.2.1 Calage en régime permanent

Le champ de perméabilité retenu est présenté dans la figure suivante. La piézométrie a été calée, sur la carte piézométrique de 1973 réalisée à une période hydrologique plutôt basse (cf. figure ci-dessous).

Étude de détermination des volumes prélevables sur le bassin versant de la Tille

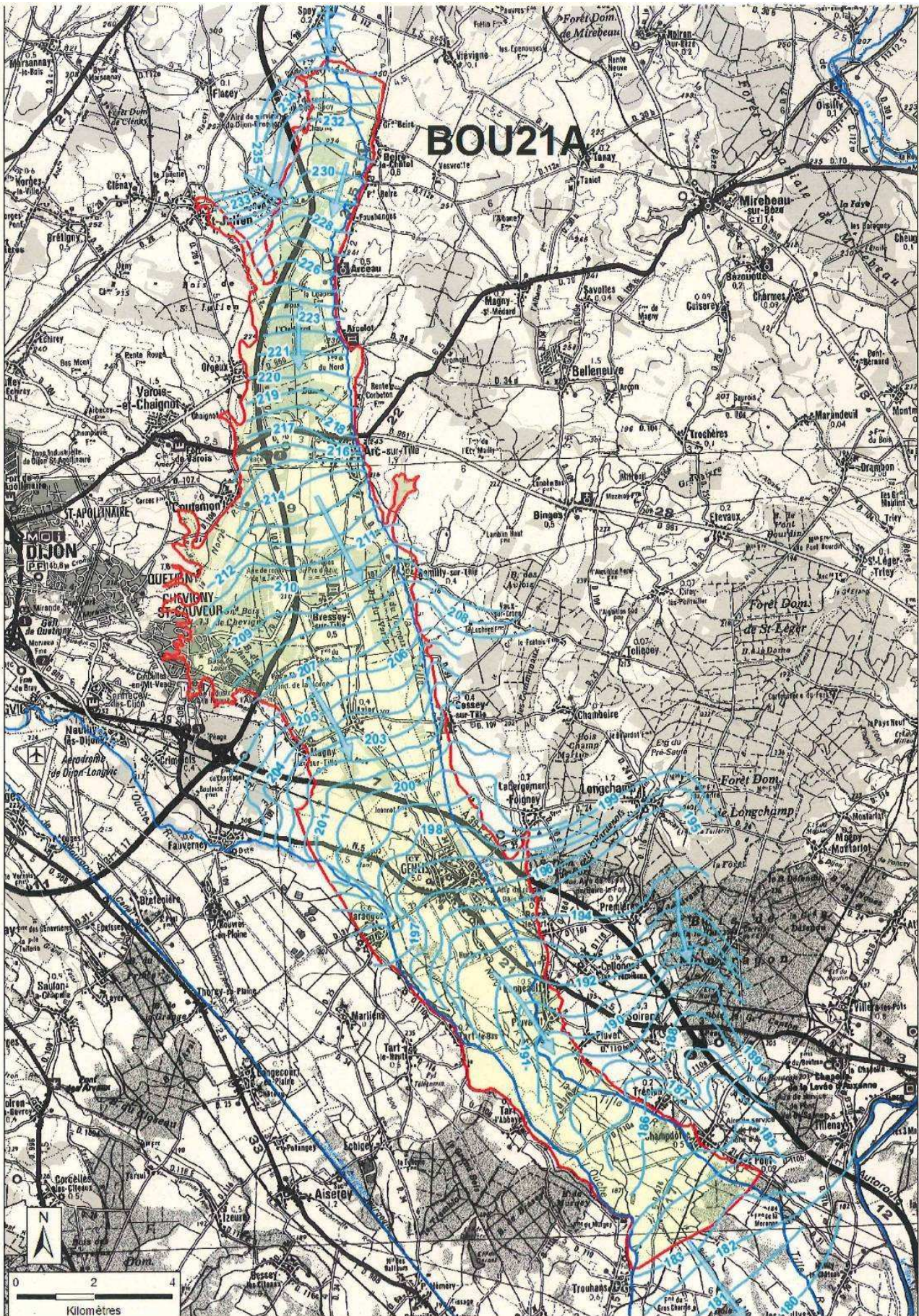
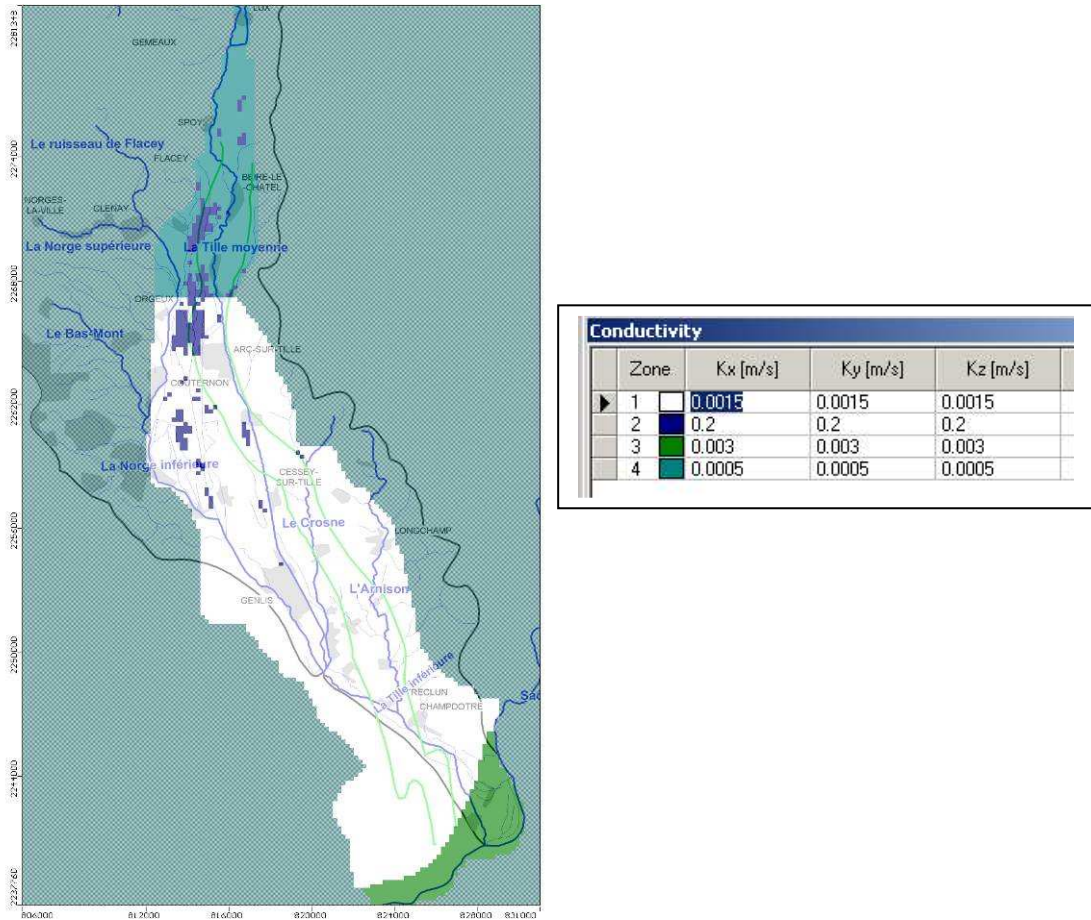


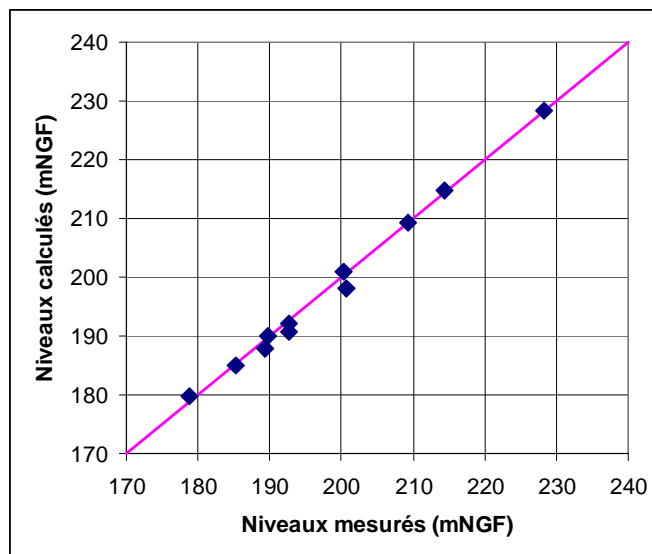
Figure 2-3 : Carte piézométrique de la nappe alluviale superficielle de la Tille - Novembre 1973

Figure 2-4 : Champ de perméabilité retenu pour la modélisation



La figure suivante présente la comparaison entre les niveaux piézométriques calculés et mesurés en régime permanent.

Figure 2-5 : Comparaison entre niveaux piézométriques calculés et mesurés en régime permanent



2.2.2 Calage en régime transitoire

Le modèle est calé sur les chroniques de suivis piézométriques disponibles : suivi sur 6 puits agricoles par la Chambre d'Agriculture depuis 2005 (en vert). Ces puits captent la nappe superficielle des alluvions de la Tille. La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente l'implantation des réseaux avec également le réseau patrimonial Ades du BRGM qui possède 7 piézomètres (en rouge).

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** suivante présente la comparaison entre les niveaux piézométriques calculés et mesurés. Le modèle restitue de manière représentative les niveaux mesurés disponibles. Le piézomètre d'Arc sur Tille semble présenter un problème de nivellement. La possession de sa côte réelle permettrait de recalculer le point d'eau, qui on le voit est bien restitué par le modèle en terme de variations et d'amplitude.

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre, à titre d'illustration, la piézométrie de basses eaux calculée en novembre 2005 par le modèle. Dans cette configuration, les pompes agricoles ne sont pas en fonctionnement.

Les seules piézométries mesurées sont anciennes. Ces piézométries de basses eaux 1973 et moyennes eaux 1986 reflètent bien la piézométrie calculée pour des situations de basses, moyennes ou hautes eaux. Elles sont principalement réglées par le niveau de la rivière.

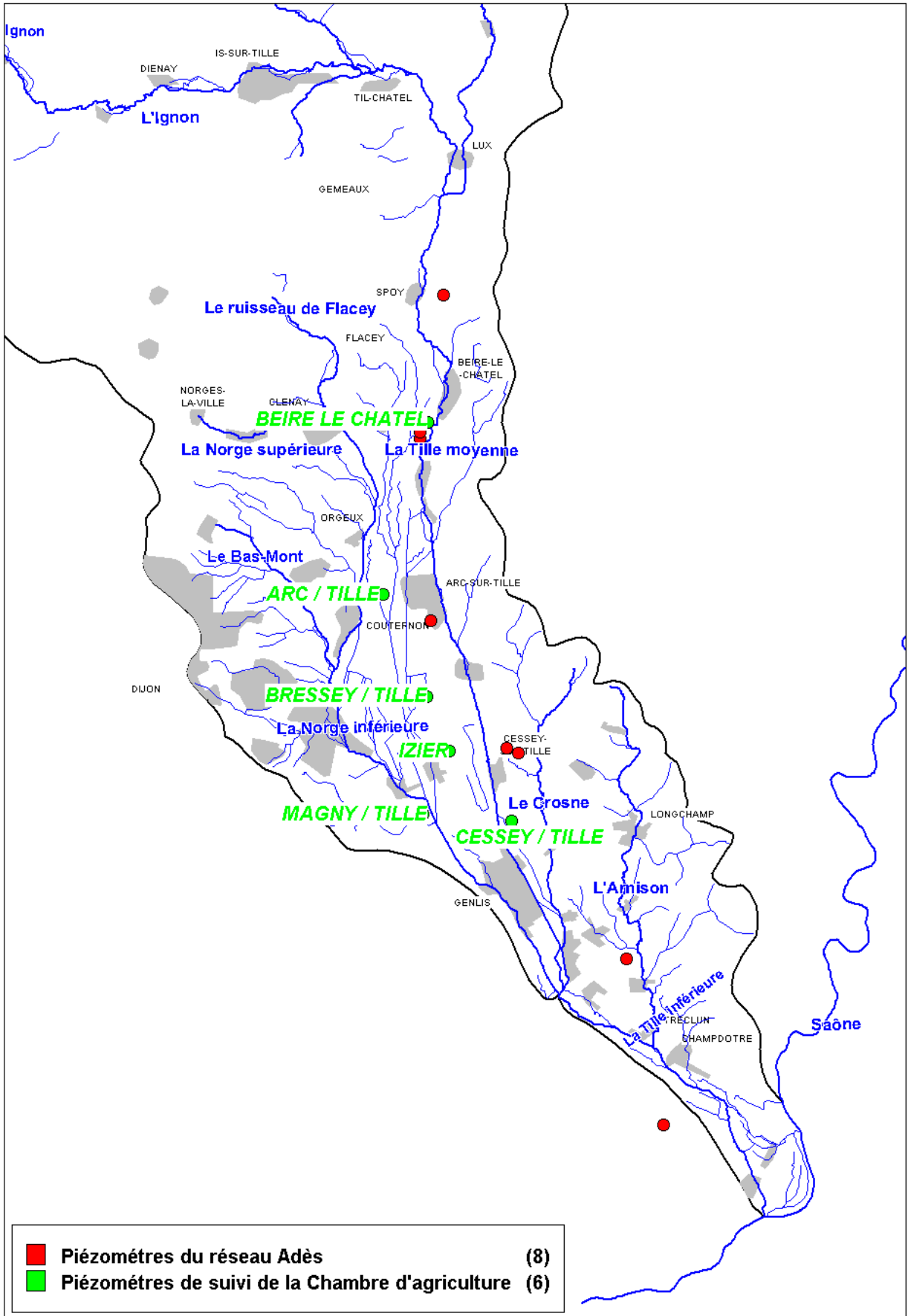
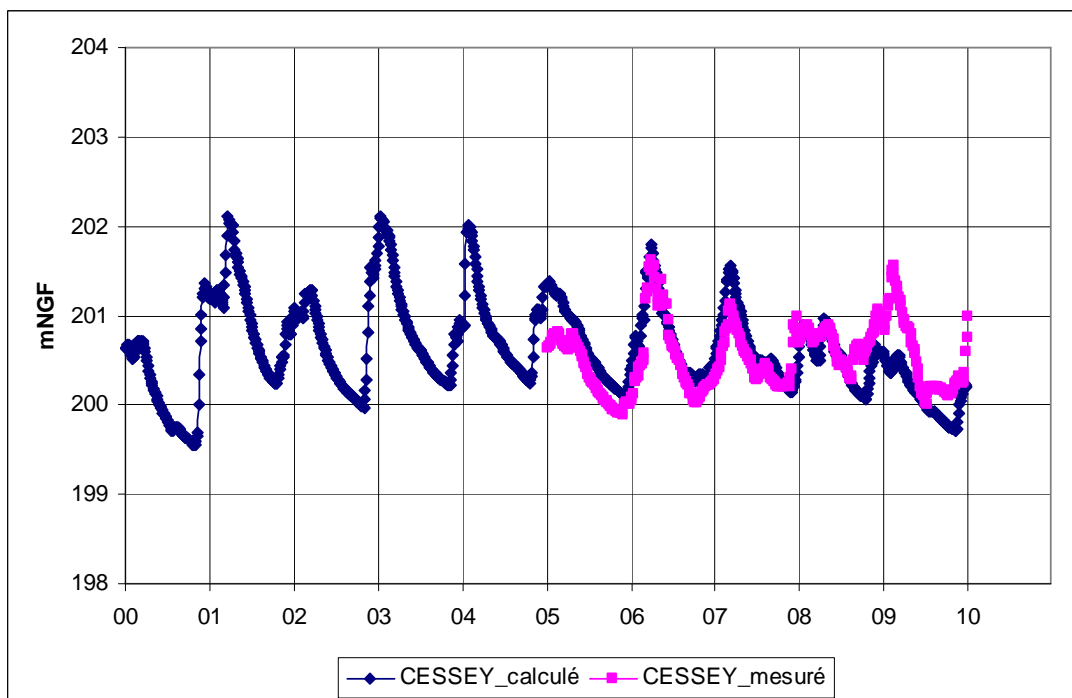
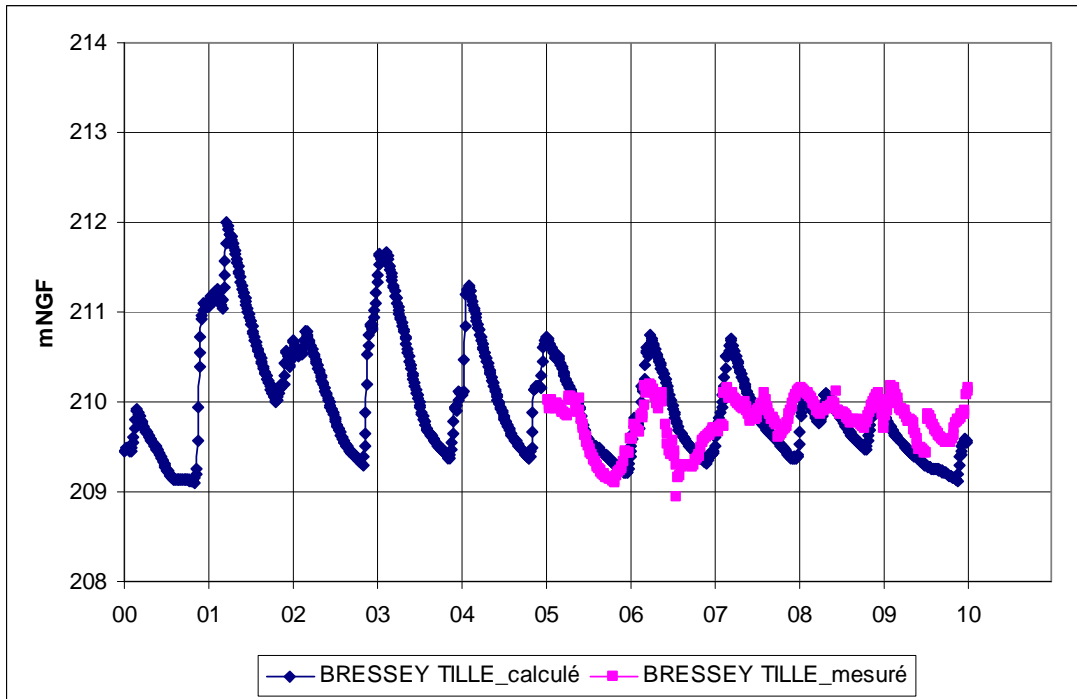
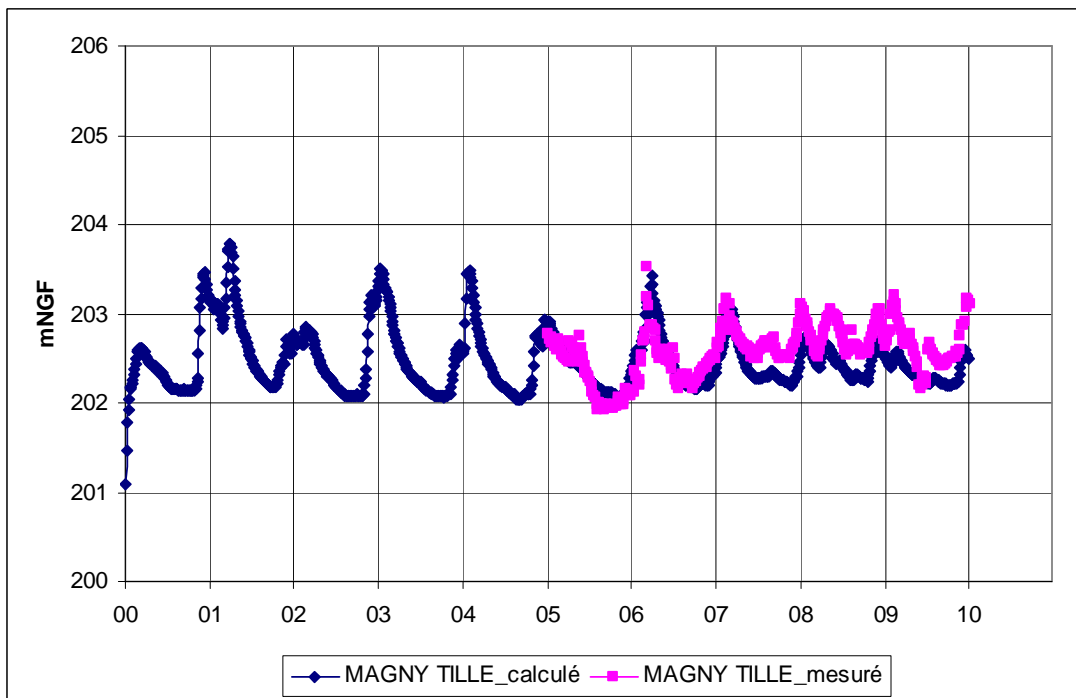
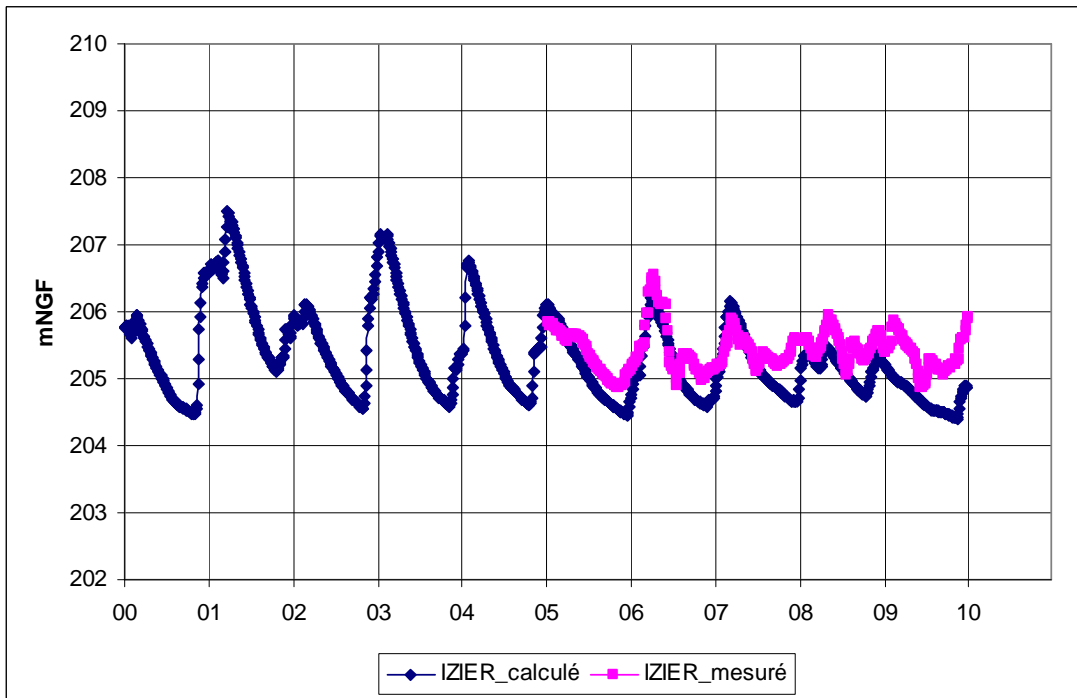


Figure 2-6 : Implantation des piézomètres de suivi





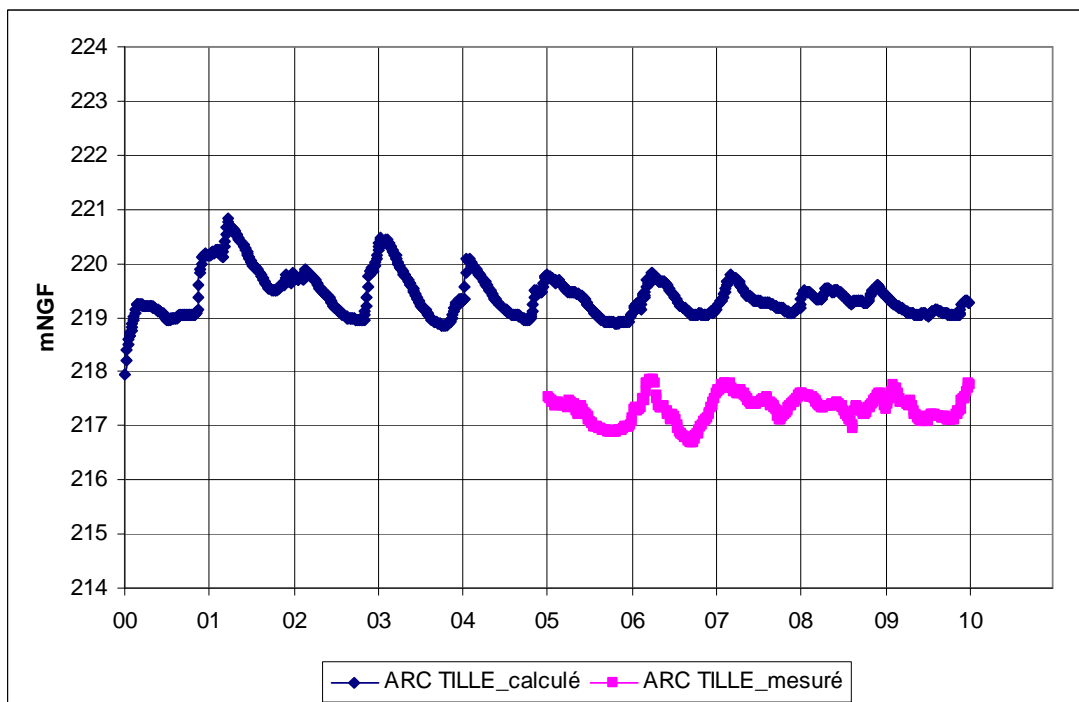
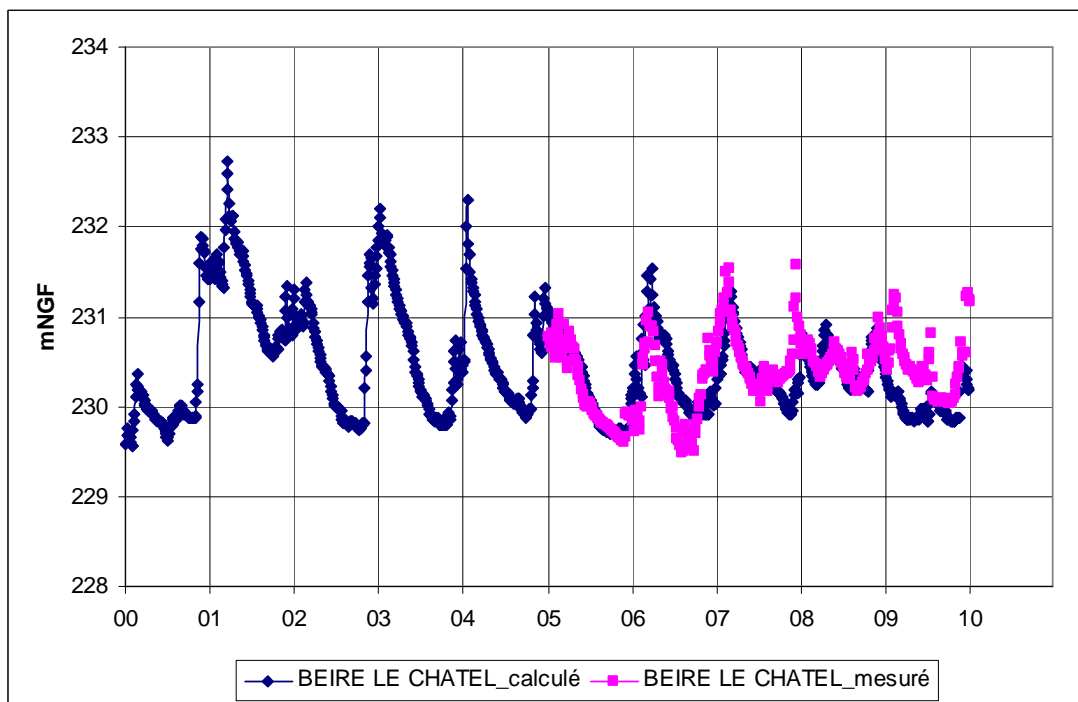


Figure 2-7 : Comparaison entre les niveaux piézométriques calculés et mesurés

Étude de détermination des volumes prélevables sur le bassin versant de la Tille

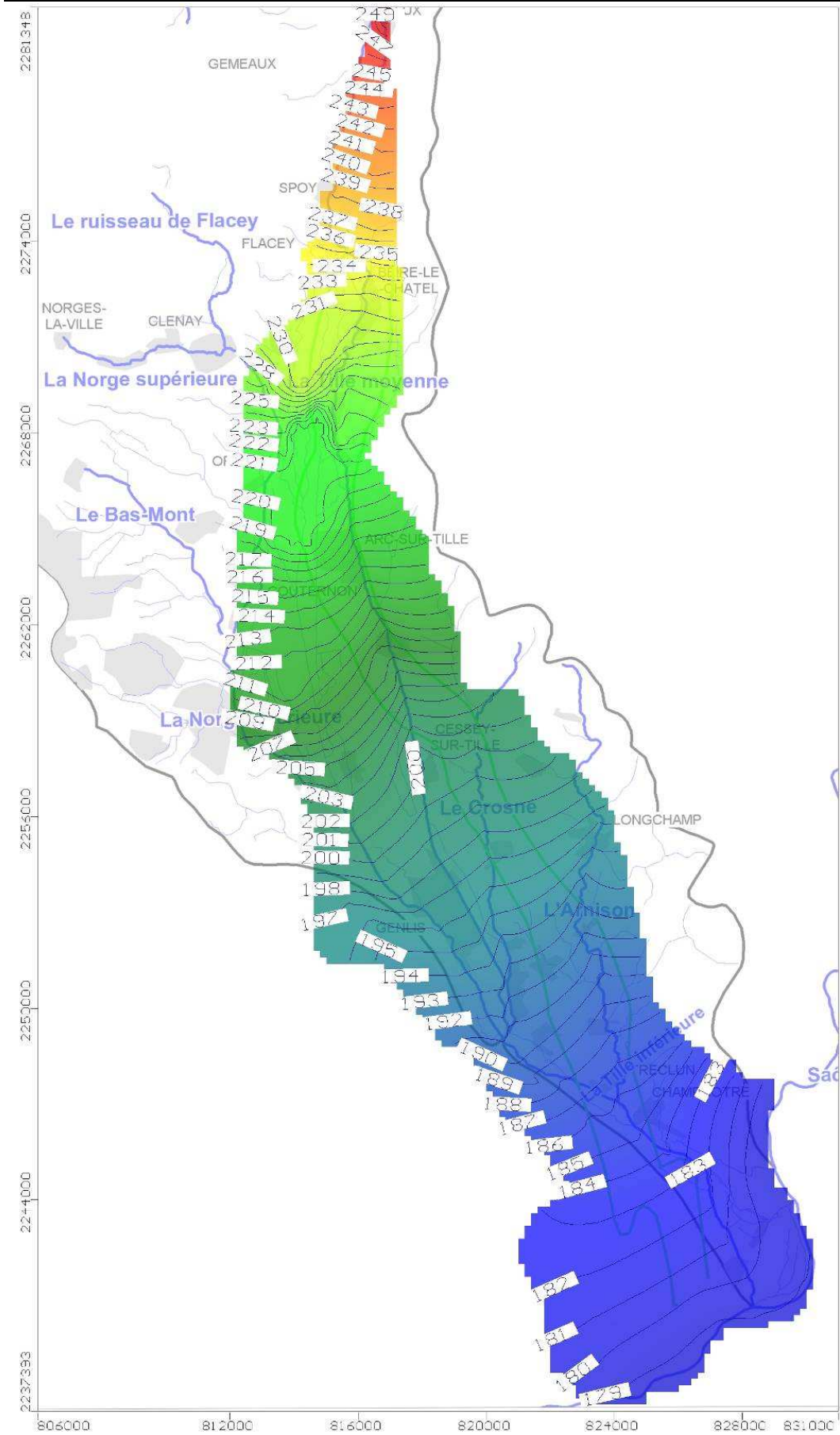


Figure 2-8 : Carte piézométrique de basses eaux calculées (étiage novembre 2005)

2.3 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 de la Tille ». Avant de réaliser les simulations de piézométrie désinfluencée, nous décrivons les principaux traits de fonctionnement du bassin versant anthropisé. La figure 29 suivante présente le bilan des flux de la nappe en régime transitoire mois après mois exprimé en m^3/s . On peut ainsi différencier :

- ✓ Les flux entrant : pluviométrie efficace (recharge), rivières,
- ✓ Les flux sortant : rivières, prélèvements, évaporation des gravières.

Ainsi, en terme de flux, il convient de noter que :

- ✓ L'alimentation par les précipitations en hiver est prépondérante par rapport aux apports de rivière, qui ne constituent que moins de $0.5 m^3/s$. En été, les apports de rivières (0.5 à $1 m^3/s$) sont supérieurs à la recharge.
- ✓ Les prélèvements en nappe : EDCH et agricoles, sont faibles (0.1 à $0.3 m^3/s$) par rapport aux flux transitant.
- ✓ les évaporations sur gravières sont en été du même ordre de grandeur (0.2 à $0.3 m^3/s$) que les prélèvements.

Nous présentons les résultats détaillés de la modélisation concernant la répartition de l'évaporation au droit des gravières en fonction du temps et cela par secteur. (figure 2.14)

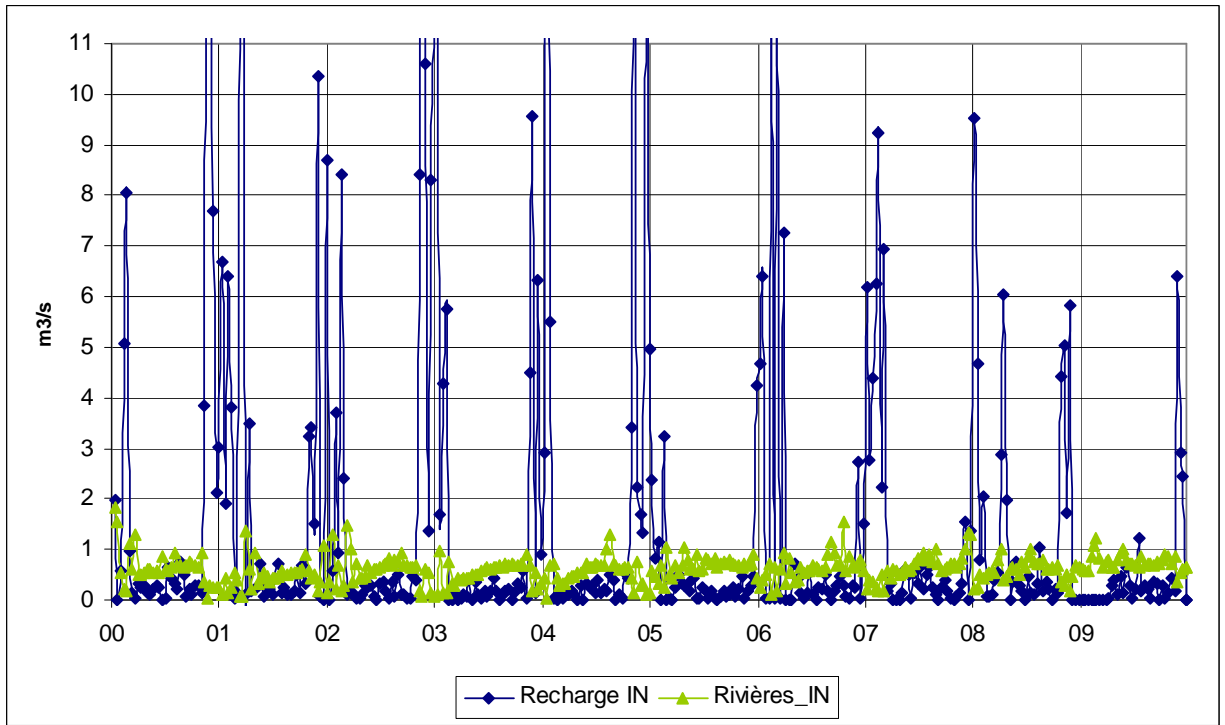


Figure 2-9 : Évolution des flux entrants du système

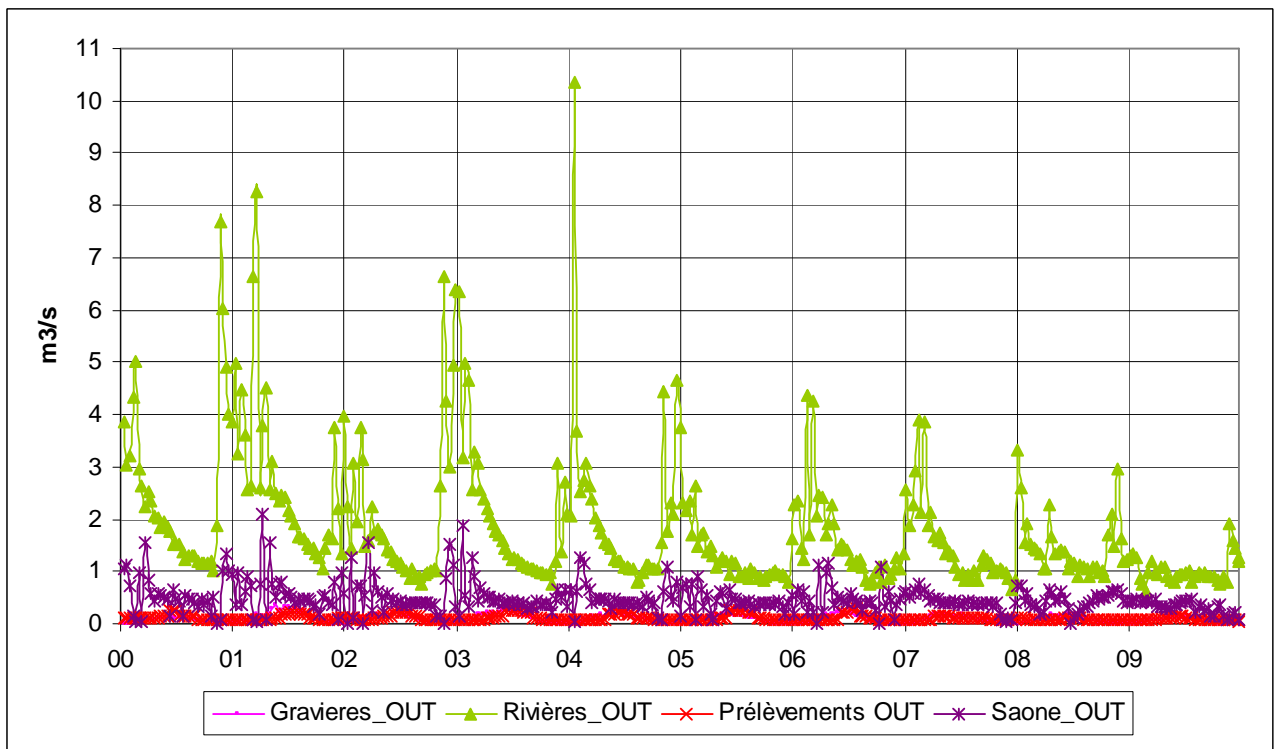


Figure 2-10 : Évolution des flux sortants du système

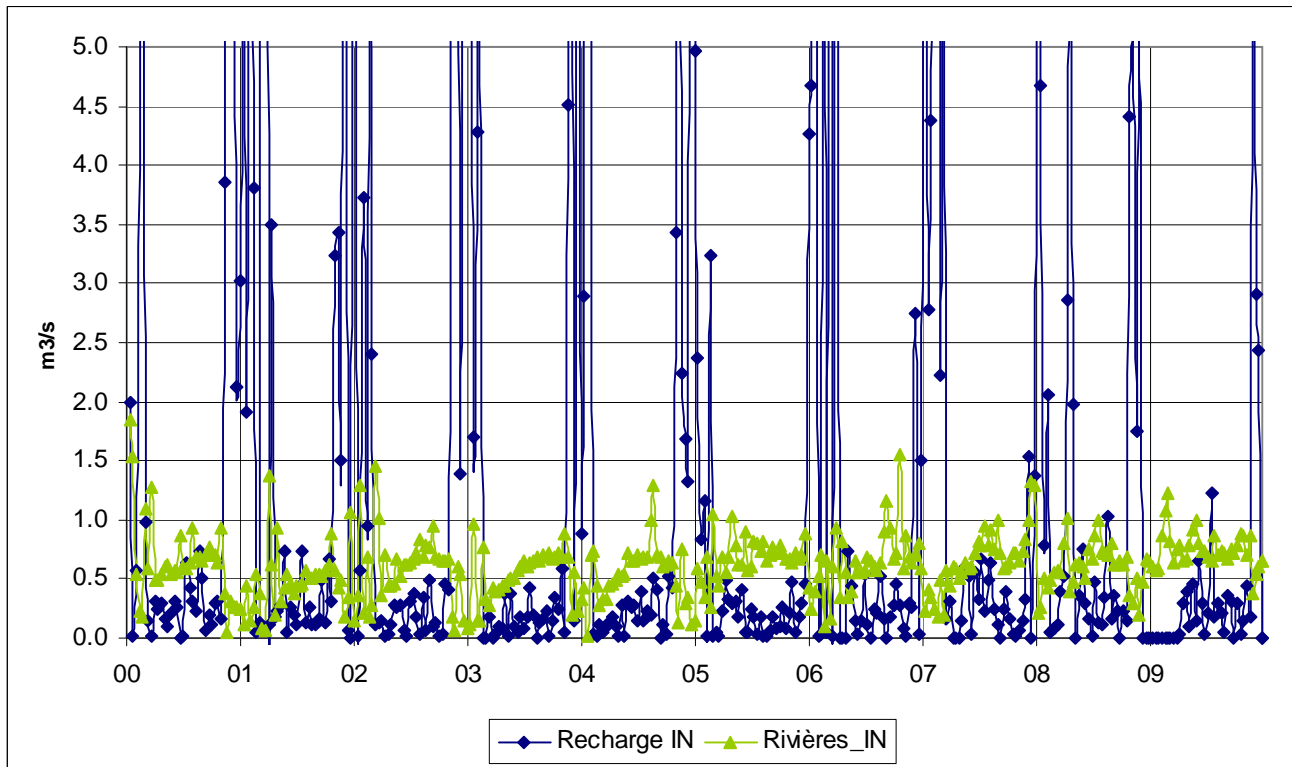


Figure 2-11 : Évolution des flux entrants du système (zoom)

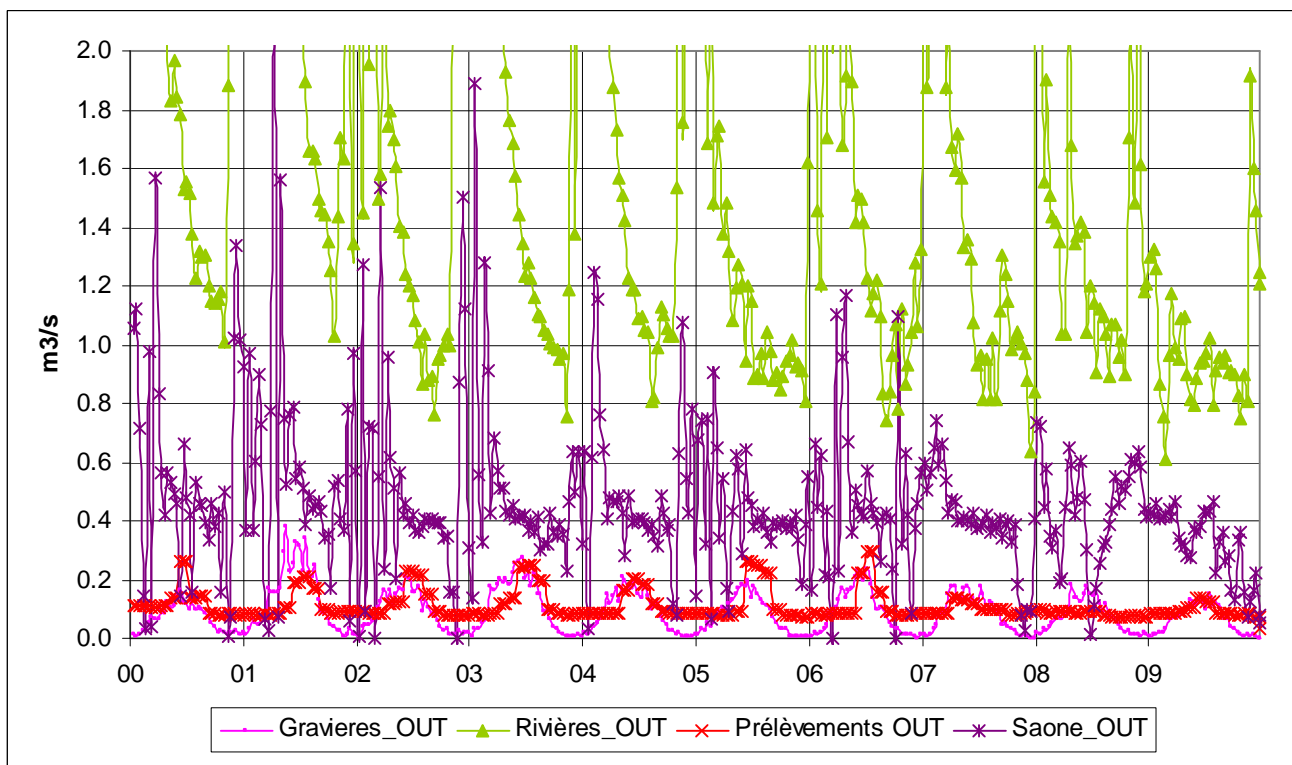


Figure 2-12 : Évolution des flux sortants du système (zoom)

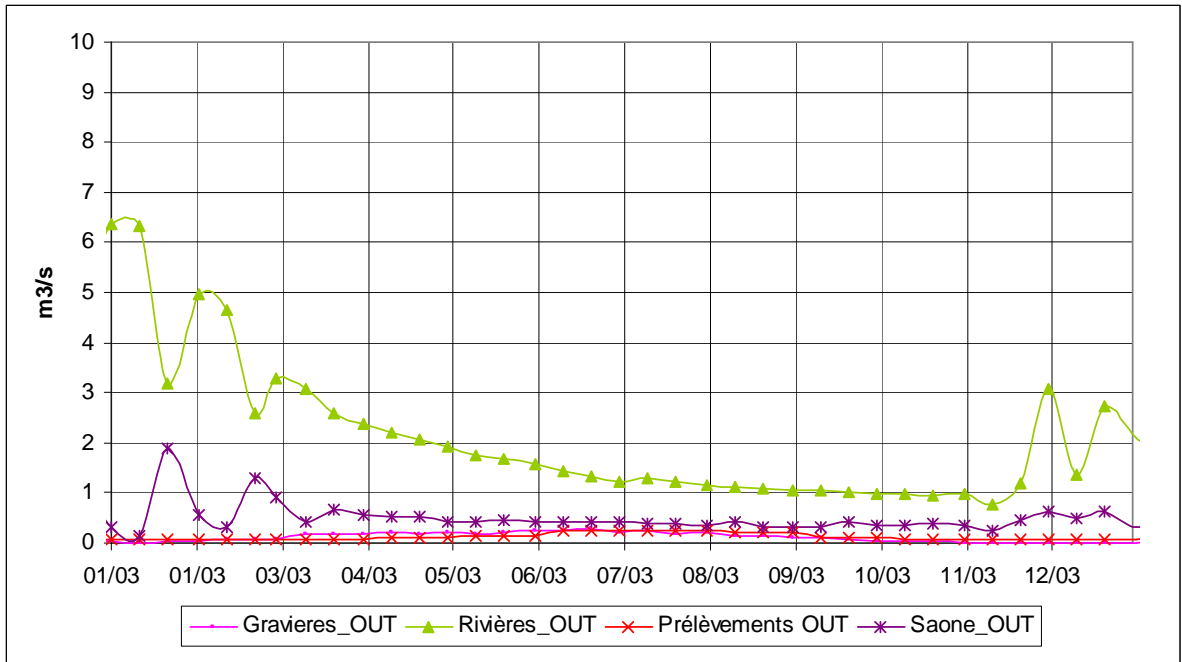


Figure 2-13 Évolution des flux sortants du système (Extraction année 2003)

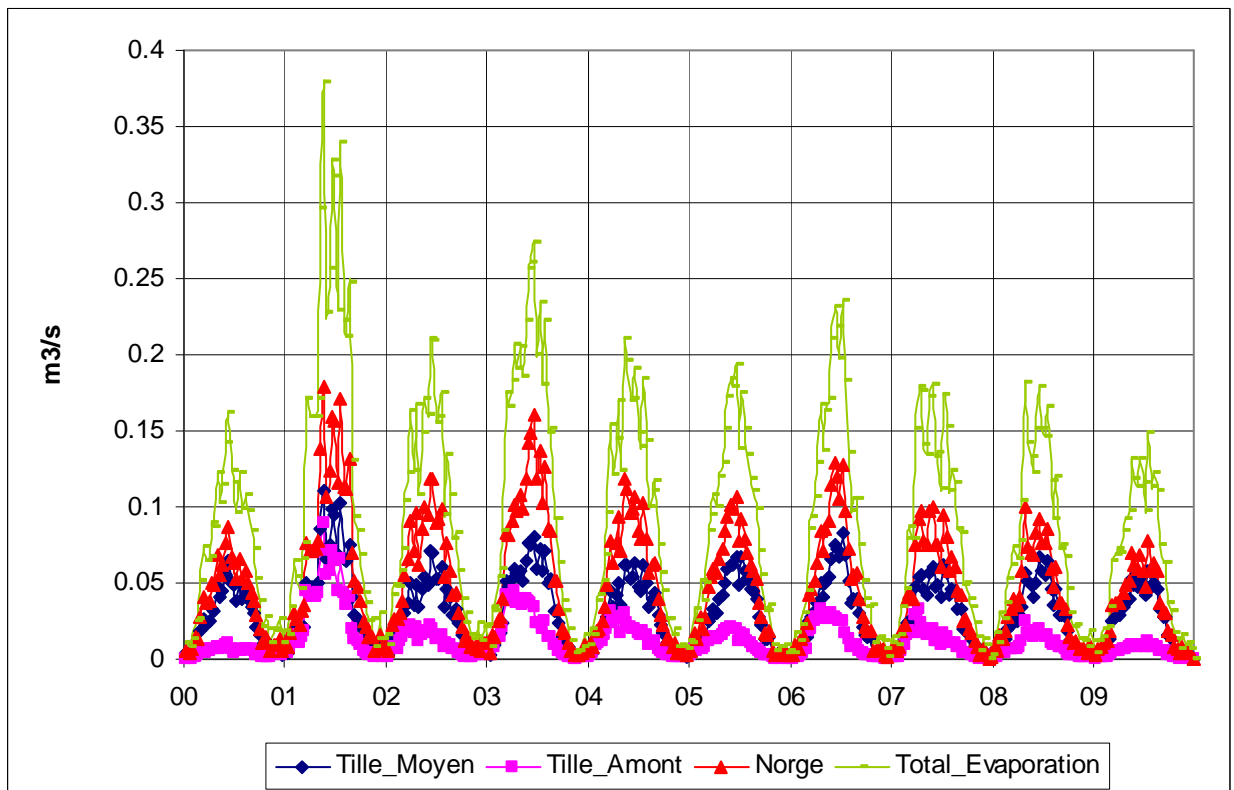


Figure 2-14 : Détermination du volume extrait au droit des gravières par évaporation

2.4 Réalisation de simulations

Le modèle une fois calé en régime transitoire est à même de réaliser différentes simulations afin de :

- ✓ Reconstituer la piézométrie théorique non influencée par les pompages et ainsi calculer le rabattement dû aux forages
- ✓ Calculer la part des débits des rivières soustrait par les prélèvements

2.4.1 Piézométrie désinfluencée

L'arrêt des prélèvements a été simulé permettant ainsi de calculer les rabattements dus aux pompages.

La carte piézométrique associée apporte peu d'informations, puisque les rabattements sont trop faibles pour être décelables. Seule la carte de rabattements permet d'avoir une vision précise de l'impact des pompages.

Les figures suivantes présentent les cartes des rabattements dus aux pompages pour les situations d'août 2005 (période d'irrigation) et novembre 2005 (étiage).

Ces deux périodes sont représentatives de très basses eaux, avec pompages agricoles et pompages AEP maximum (août), et sans pompages agricoles (novembre).

La carte d'août montre des rabattements beaucoup plus développés que celle de novembre.

D'une manière générale, les rabattements restent très faibles, puisque l'on ne dépasse les 6 cm de rabattement (zones rouge) que rarement. Les secteurs à rabattement supérieur à 0.2 mètres sont limités aux quelques pompages AEP importants (Arc, Genlis, Champdôtre).

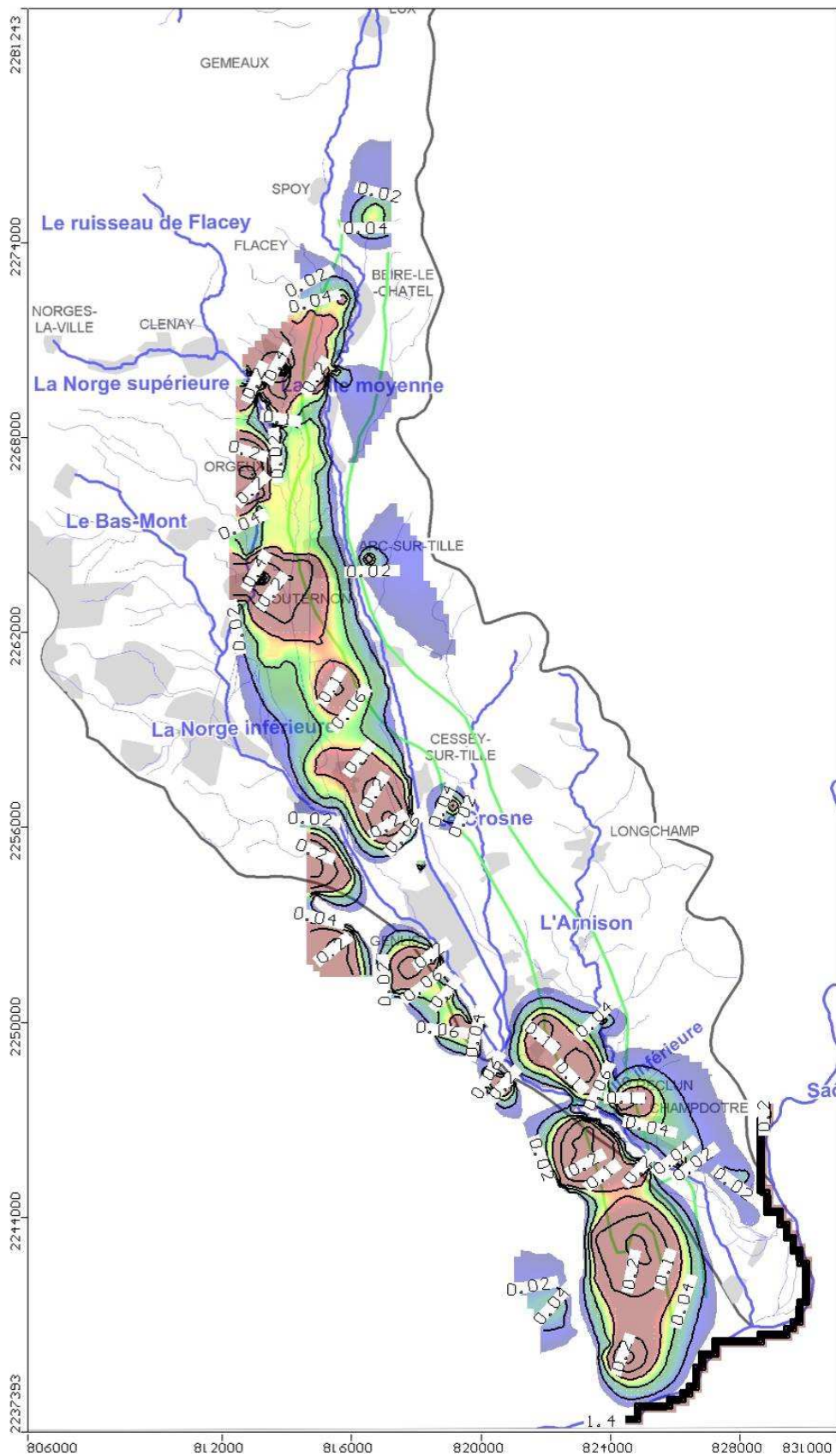


Figure 2-15 : Carte de rabattements calculés en période d'irrigation (situation aout 2005)

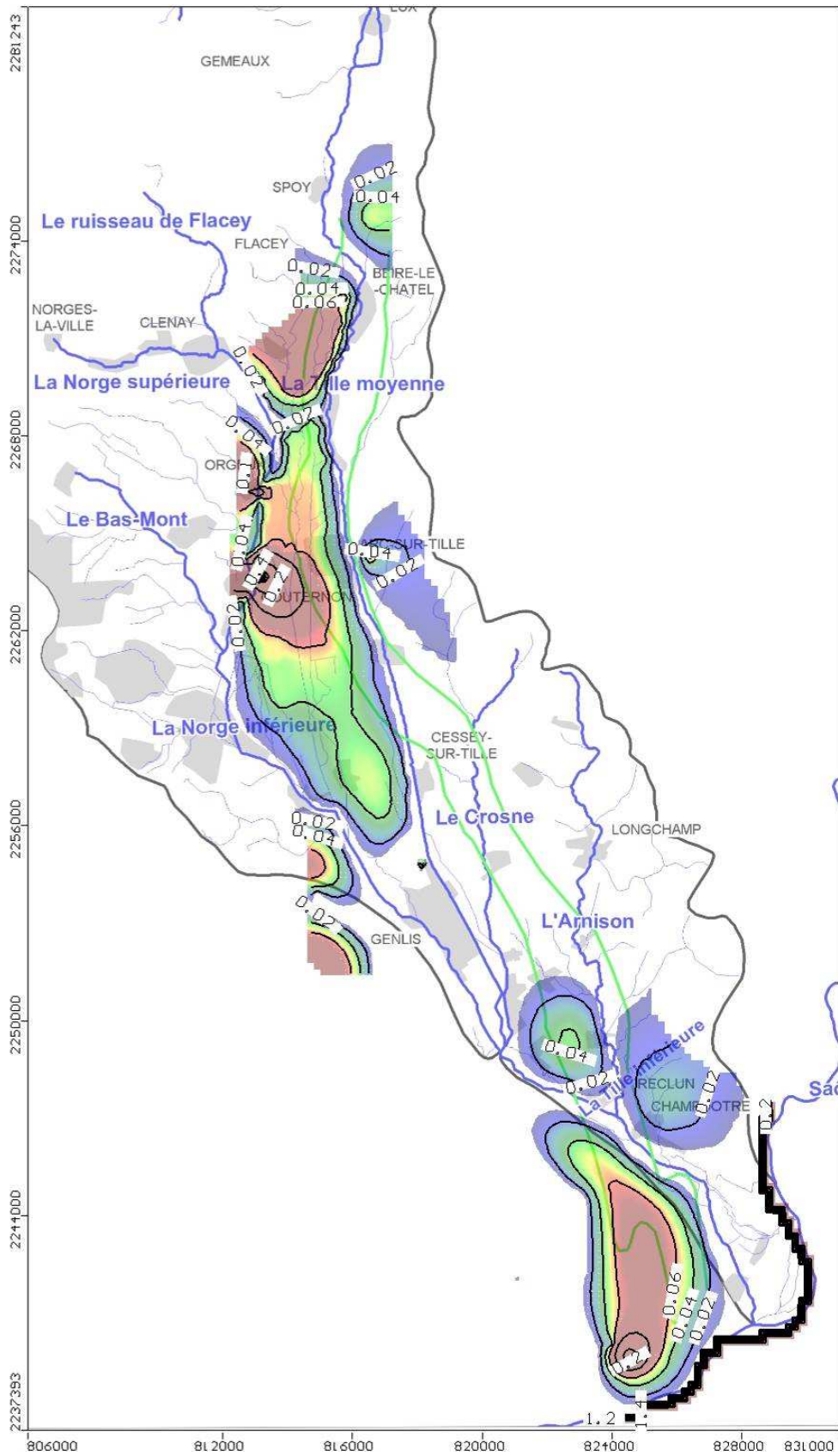


Figure 2-16 : Carte de rabattements calculés en basses eaux (situation novembre 2005)

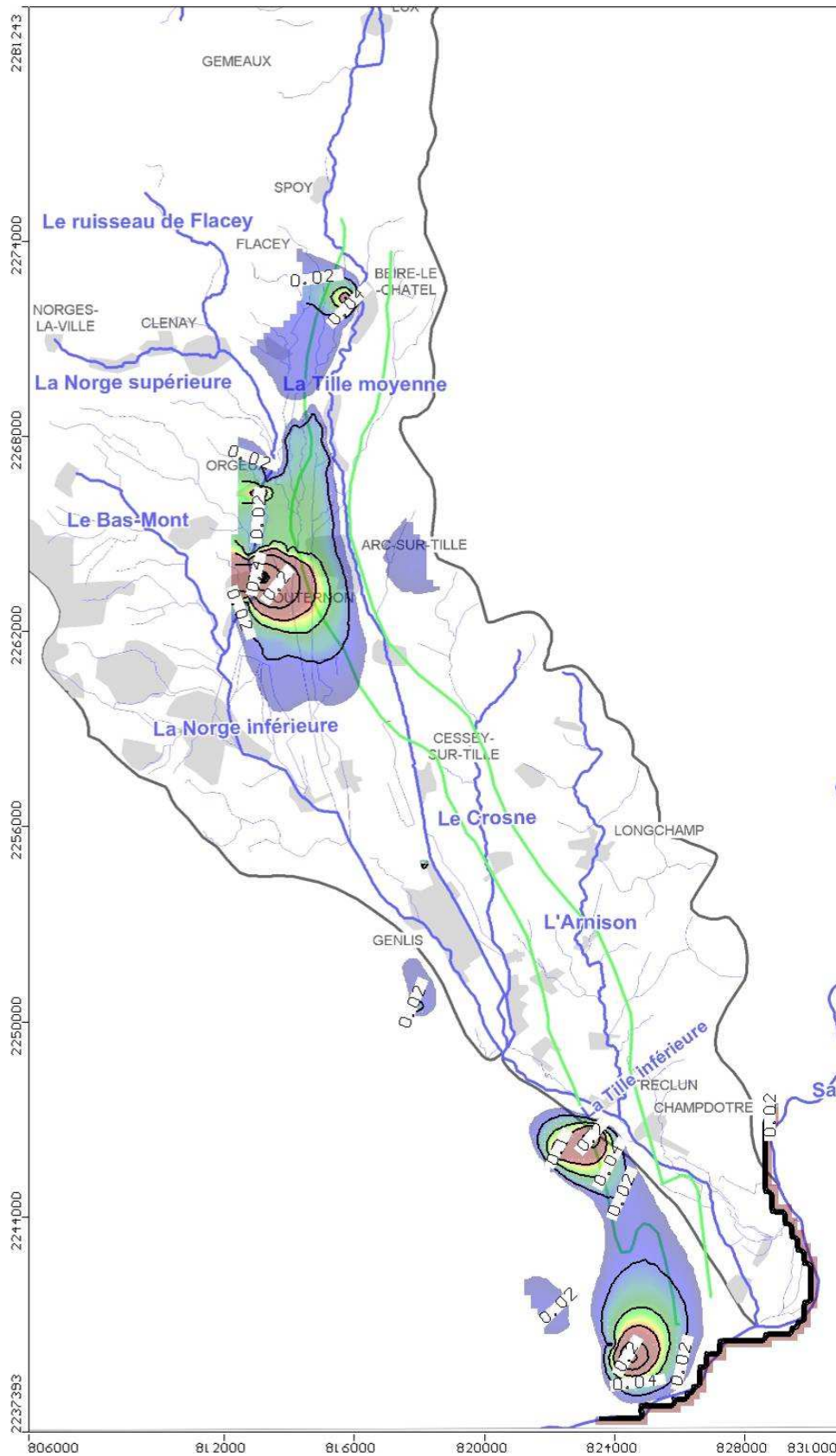


Figure 2-17 : Carte de rabattements calculés en basses eaux (situation aout 2008)

2.4.2 Relation nappe désinfluencée-rivière

L'arrêt des prélèvements a été simulé permettant ainsi de calculer les rabattements dus aux pompages.

Par comparaison entre la situation sans pompage et la situation actuelle, il a été possible de déterminer l'augmentation des débits des rivières suite à l'arrêt des prélèvements.

Pour chaque simulation, un calcul de bilan de flux a été réalisé afin de déterminer les contributions des différents compartiments hydrogéologiques (recharge, prélèvements, rivière, transpiration ...). La figure 2.18 suivante présente la délimitation des différentes zones de calculs de bilan hydrique pour les flux échangés avec les rivières (« budget zone »). 7 zones principales ont été distinguées :

- ✓ Tille amont
- ✓ Tille moyenne
- ✓ Tille avale
- ✓ Norge
- ✓ Ouche
- ✓ Arnison
- ✓ Crosne

Ainsi, sur chacune des zones de couleur différente représentée sur la figure, la figure 2.20 présente **l'augmentation des débits des rivières suite à l'arrêt des pompages en nappe (piézométrie désinfluencée)**. La situation présentée correspond donc aux débits soustraits aux cours d'eau par les pompages mois après mois, et cela pour plusieurs tronçons de rivières représentatifs.

On voit sur ce graphique que c'est la Norges qui est la plus impactée par les prélèvements, aussi bien agricoles qu'AEP. Les autres cours d'eau sont moins impactés mais sur l'ensemble, on observe une différence saisonnière très importante liée aux prélèvements agricoles.

Il apparaît intéressant de noter qu'en prenant en compte la situation estivale de 2009, si on ôte l'intégralité des prélèvements du secteur, il aurait été possible de restituer en été :

- ◆ 3 l/s sur le secteur Tille amont ;
- ◆ 5 l/s sur le secteur Tille moyenne ;
- ◆ 5 l/s sur le secteur Tille aval ;
- ◆ 15 l/s à la Norges aval;
- ◆ 9 l/s sur le secteur Ouche (non pris en compte, hors bassin Tille)

Soit de l'ordre de **30 l/s** sur l'ensemble des cours d'eau de la Tille ou sur la Tille aval (figure 2.21) si l'on considère que tous ces débits se retrouvent sur la rivière à l'exutoire.

Avant 2007 et la diminution des prélèvements agricoles, les ordres de grandeur précités étaient près du double : 47 l/s en été 2003, **55 l/s** en été 2006

Ces résultats sont à mettre en perspective avec les débits prélevés dans la nappe par les captages AEP, agricoles et industriels (cf. rapports de phase 1 et 2 et graphique ci dessous). En été, les prélèvements totaux dans la plaine alluviale de la Tille étaient en moyenne de :

- ✓ 0.6 Mm3/mois ou 220 l/s avant 2007, avec 55 l/s de baisse de débit de rivière
- ✓ 0.3 Mm3/mois ou 110 l/s après 2007, avec 30 l/s de baisse de débit de rivière

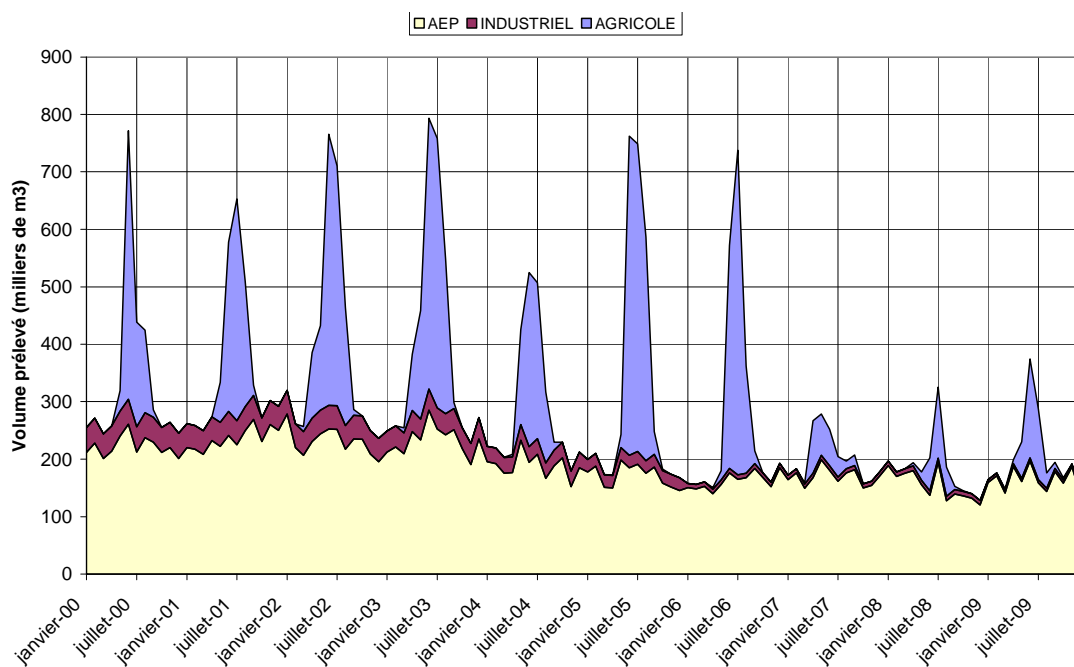


Figure 2-18 : Prélèvements mensuels entre 2000 et 2007 sur les sous bassins aquifères de la Tille moyenne et inférieure

Tout le débit prélevé ne se répercute pas à la rivière. Une grande partie (75%) est déstockée provisoirement à l'aquifère par diminution de la fonction capacitive ou rabattement de nappe.

Plus les prélèvements seront proches de la rivière, plus l'impact sur la rivière sera important, car le pompage sera plus directement amené à pomper l'eau de la rivière qui est une limite à potentiel imposé (en l'absence de colmatage).

Ces premiers résultats seront utilisés dans la suite de l'étude pour le calcul de la piézométrie désinfluencée, mais aussi le calage du modèle hydrologique dans le chapitre suivant.

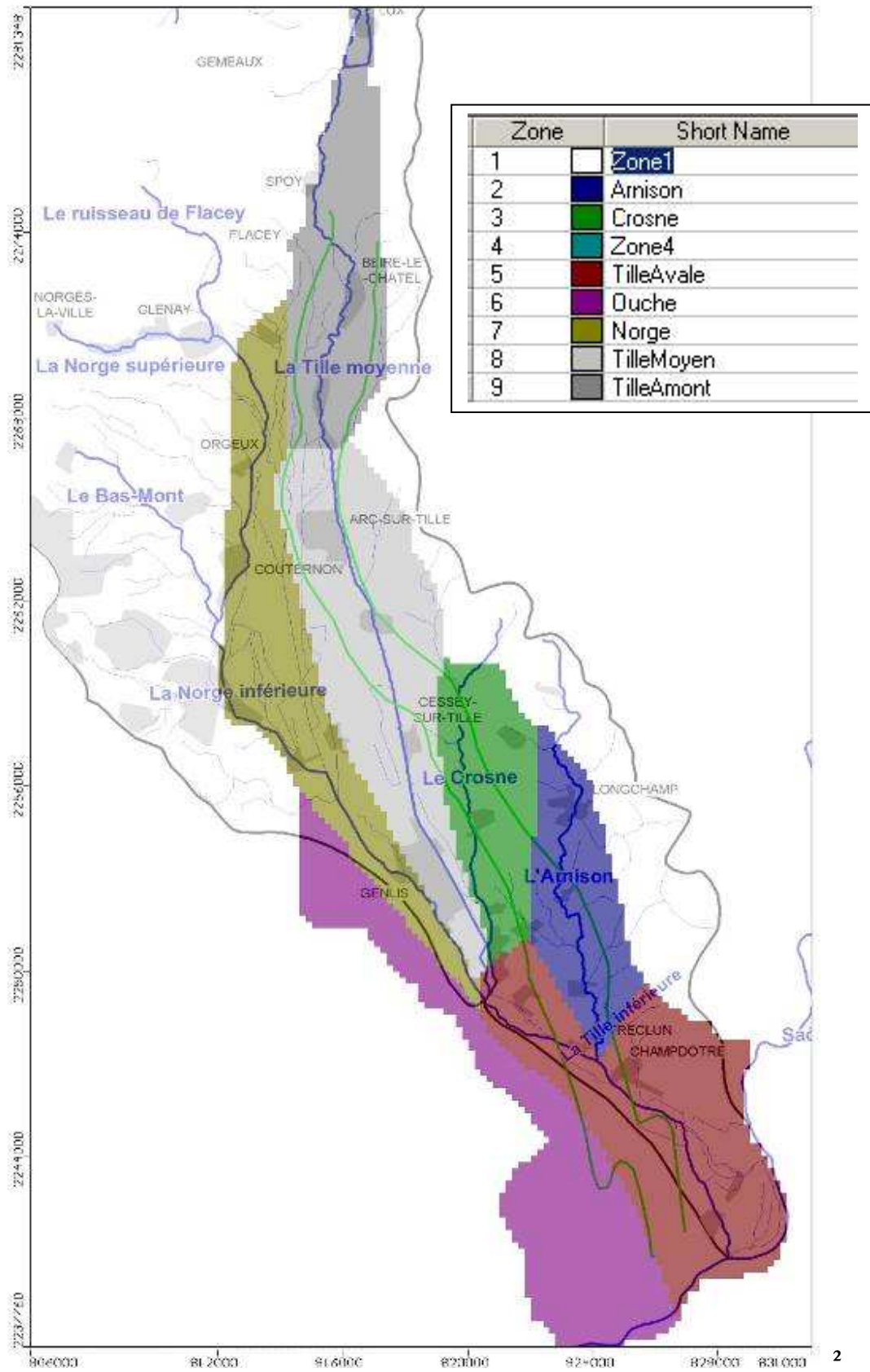


Figure 2-19 : Localisation des différentes zones de calcul de bilan hydrique

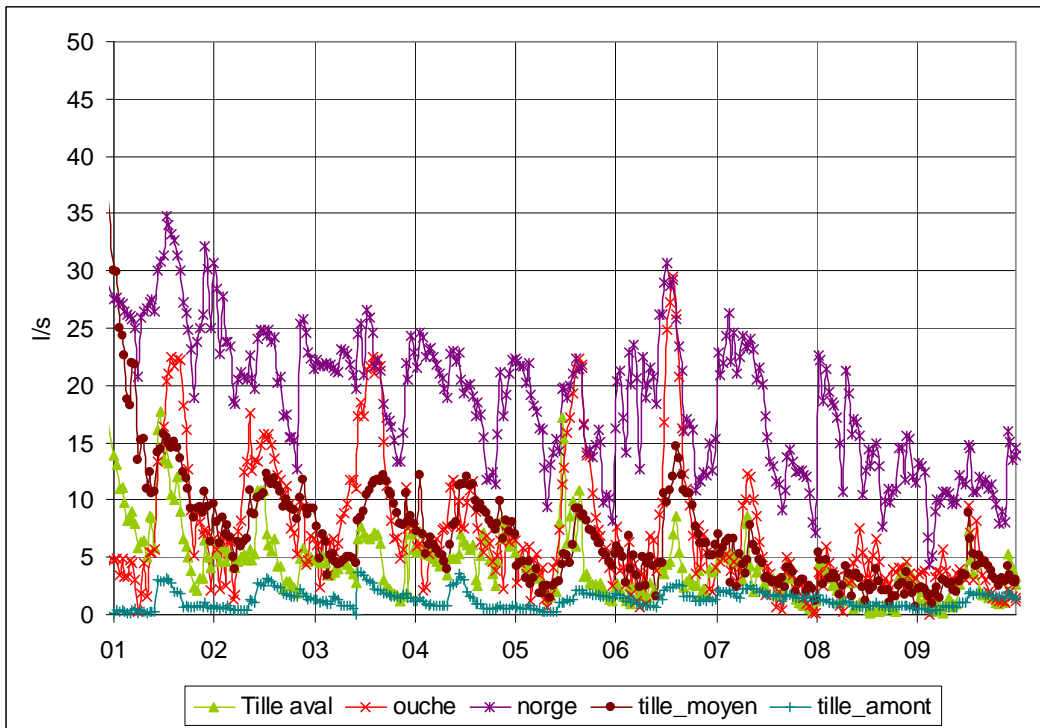


Figure 2-20 : Augmentation des débits des rivières par tronçons suite à l'arrêt des pompages en nappe

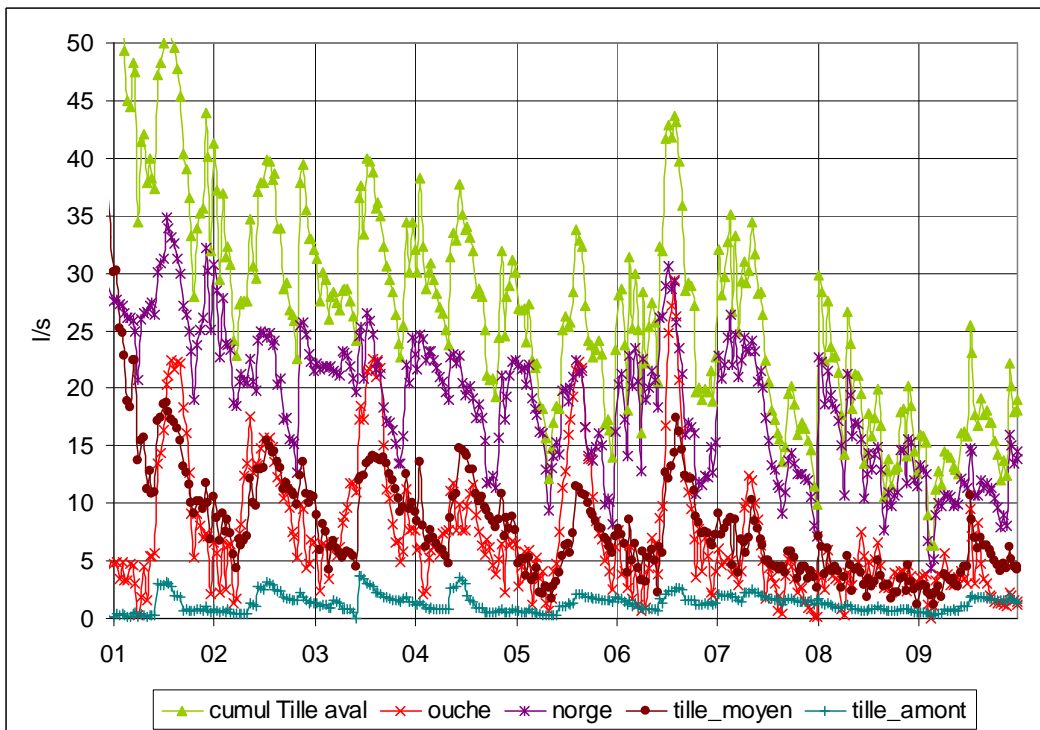


Figure 2-21 : Augmentation des débits des rivières cumulés sur la station Tille aval suite à l'arrêt des pompages en nappe

Partie 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 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 2001-2010 (sauf pour la station de la Norges à Saint-Julien, où la période 2002-2009 est analysée) ;
- ✓ Des valeurs caractéristiques d'étiage (QMNA5, VCN3 (5 ans) et VCN10 (5 ans)) sur la période 2001-2010.

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 bassin de la Tille.

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

1. Construction de modèles pluie-débit pour chaque sous bassin versant analysé en intégrant leur superficie, les données de pluviométrie et d'évapotranspiration et les prélèvements et rejets tels que caractérisés lors des Phases 1 & 2 de la présente étude ;
2. Calage des paramètres des modèles hydrologiques ;
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 considérant plus les prélèvements et rejets tels que caractérisés lors des Phases 1 & 2 de la présente étude ;**
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 de la Tille 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 cinq 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 3-1 présente de manière conceptuelle les processus hydrologiques intégrés au module NAM de MIKE11.

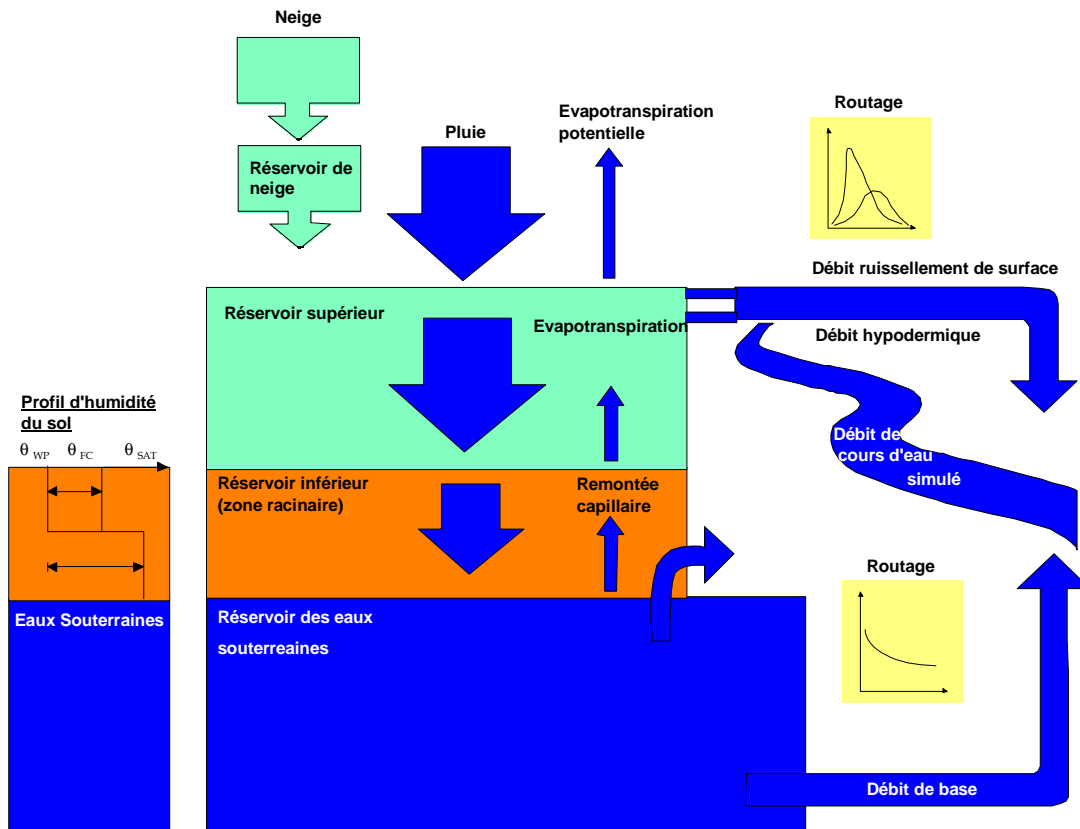


Figure 3-1 : Schéma conceptuel des processus hydrologiques modélisés dans NAM

3.2.2 Données d'entrée du modèle

Les données d'entrée requises pour la modélisation pluie-débit sont détaillées ci-dessous.

3.2.2.1 Bassins versants considérés

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.

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

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

Nom du bassin versant	Superficie (km²)	Exutoire
L'Ignon à l'amont de Villecomte	304	Station hydrométrique DREAL sur l'Ignon à Villecomte
La Tille à l'amont de Crecey s/ Tille	231	Station hydrométrique DREAL sur la Tille à Crecey-sur-Tille
La Venelle à l'amont de Selongey	56	Station hydrométrique DREAL sur la Venelle à Selongey
La Tille à l'amont d'Arceau	846	Station hydrométrique DREAL sur la Tille à Arceau
La Tille à l'amont de Cessey s/ Tille	884	Station hydrométrique DREAL sur la Tille à Cessey-sur-Tille
La Tille à l'amont de Champdôtre	1258	Station hydrométrique DREAL sur la Tille à Champdôtre
La Norges à l'amont de Saint-Julien	109	Station hydrométrique Conseil Général de Côte-d'Or sur la Norges à Saint-Julien
La Norges à l'amont de Genlis	266	Station hydrométrique DREAL sur la Norges à Genlis

Les cartes des bassins versants considérés pour la modélisation pluie-débit sont présentées sur la Figure 3-2.

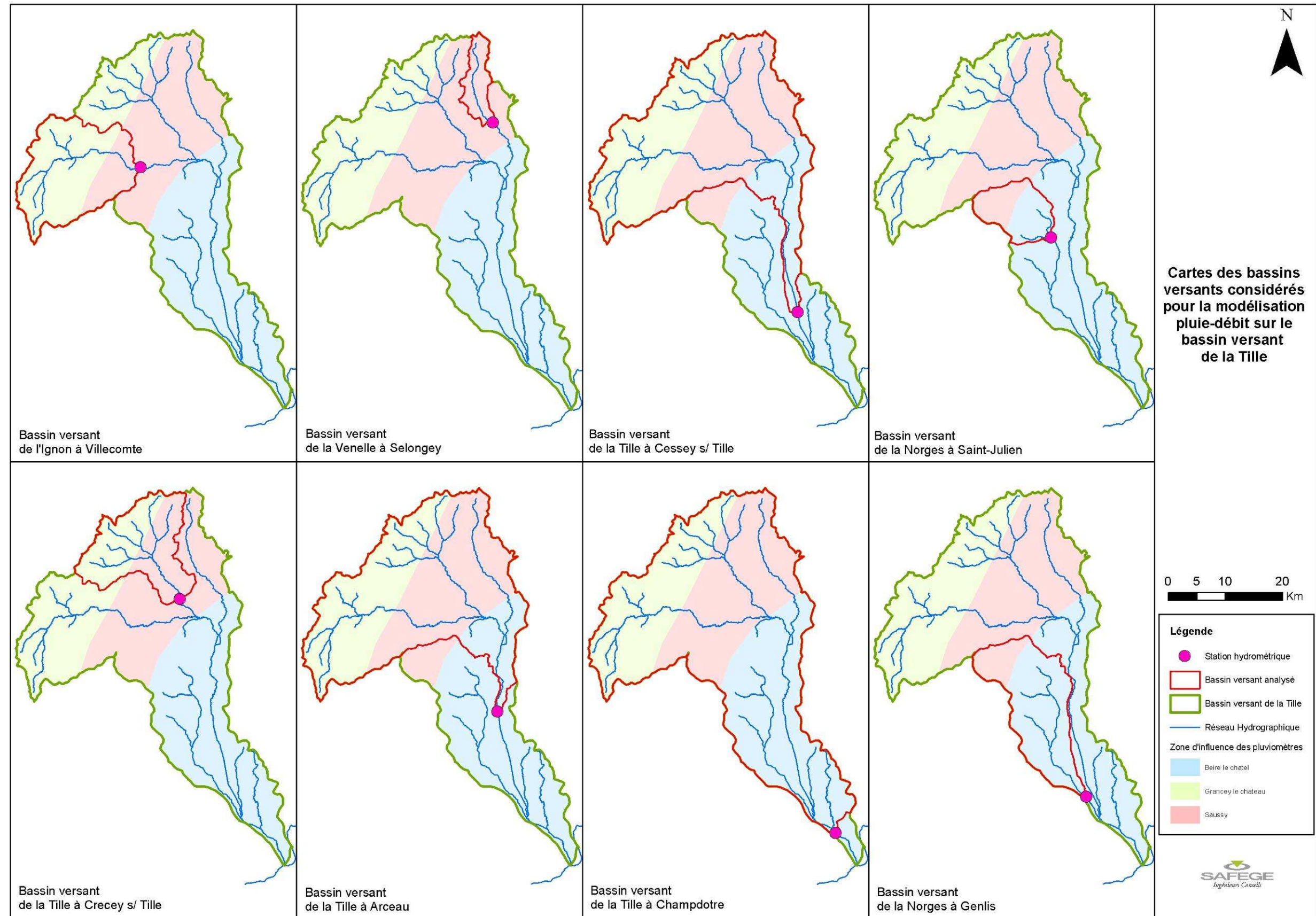


Figure 3-2 : Cartes des bassins versants considérés pour la modélisation pluie-débit

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 2000-2009 pour les stations pluviométriques de Grancey-le-Château, Beire-le-Châtel et Saussy.

Le choix de ces stations s'est basé sur une carte isohyète de la pluviométrie annuelle sur la période 1971-2000 en Côte d'Or. Cette carte, présentée en Annexe 2, montre un net gradient pluviométrique des cumuls annuels de l'amont vers l'aval (les cumuls annuels diminuant vers l'aval du bassin versant). Les sites retenus sont ceux toujours en activité et offrent la meilleure représentativité du gradient pluviométrique amont-aval.

La répartition spatiale de la pluviométrie à partir des postes de mesure s'est faite par analogie avec les isohyètes : en effet, notre analyse repose sur un apport volumique moyen sur une longue période, et s'assimile de fait mieux à la répartition des cumuls annuels moyens plutôt qu'aux variations attendues lors d'un épisode pluvieux donné.

Les zones d'influence des trois postes pluviométriques utilisés sont présentées sur les cartes en Figure 3-2. Pour les bassins versant situés sous l'influence de deux ou trois postes pluviométriques, un simple ratio surfacique a été appliqué aux cumuls journaliers.

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 Dijon Longvic ont donc été acquises auprès de Météo France au pas de temps décadaire sur la période 2000-2009, et appliquées à l'ensemble du bassin versant de la Tille. La transformation des données d'ETP décadaire en valeurs journalières s'est faite en considérant une ETP journalière constante sur chaque décade.

3.2.2.4 Données hydrométriques

Les enregistrements de débits journaliers au droit des stations hydrométriques constituant les exutoires des huit bassins versants analysés ont été extraits de la Banque Hydro, sauf pour la station de Saint-Julien sur la Norges pour laquelle les données ont été transmises par le Conseil Général de Côte d'Or.

Les chroniques de débit ont été collectées pour la période 2000-2009 et ont été utilisées pour le calage du modèle pluie-débit à l'exutoire de chaque bassin versant. Pour la station de la Norges à Saint-Julien, les données ont été collectées à partir de la date de mise en service de la station, soit Octobre 2001.

La comparaison des séries de débits simulées et observées a porté sur la période 2001-2009 pour les stations gérées par la DREAL, et 2002-2009 pour la station du CG21. En effet, le modèle pluie-débit requiert une période initiale critique pour converger, période sur laquelle les résultats ne sont pas exploitables. Les débits

caractéristiques d'étiage (Module, QMNA5, VCN3 (5 ans) et VCN10 (5 ans))² ont été recalculés à partir des valeurs mesurées sur ces périodes afin de disposer d'éléments supplémentaires pour vérifier la pertinence du calage du modèle pluie-débit. Les valeurs caractéristiques d'étiage calculées sur les périodes considérées pour la comparaison des débits simulés et mesurés sont présentées dans le Tableau 3-2.

Tableau 3-2 : Valeurs caractéristiques d'étiage aux stations hydrométriques sur la période d'analyse

Nom du bassin versant	Période considérée pour la comparaison des résultats	Module sur la période considérée (m ³ /s)	QMNA5 sur la période considérée (m ³ /s)	VCN3 (5 ans) sur la période considérée (m ³ /s)	VCN10 (5 ans) sur la période considérée (m ³ /s)
L'Ignon à l'amont de Villecomte	2001-2009	3,067	0,004	0,002	0,002
La Tille à l'amont de Crecey s/ Tille	2001-2009	2,426	0,102	0,062	0,070
La Venelle à l'amont de Selongey	2001-2009	0,548	0,041	0,020	0,027
La Tille à l'amont d'Arceau	2001-2009	6,651	0,099	0,071	0,077
La Tille à l'amont de Cessey s/ Tille	2001-2009	6,062	0,124	0,085	0,097
La Tille à l'amont de Champdôtre	2001-2009	9,472	0,470	0,364	0,396
La Norges à l'amont de Saint-Julien	2002-2009	0,953	0,027	0,017	0,018
La Norges à l'amont de Genlis	2001-2009	2,237	0,162	0,117	0,129

3.2.2.5 Données sur les prélèvements/rejets

Les données de prélèvements et de rejets intégrées du modèle sont issues des investigations menées lors des phases 1 et 2 et synthétisées dans la Partie 2 du présent rapport. Comme décrit précédemment, les données ont généralement été collectées au pas de temps annuel, sauf pour les prélèvements à usage d'irrigation et certains prélèvements AEP de la SAUR pour lesquelles les données sont disponibles au pas de temps mensuel.

L'ensemble des données (prélèvements et rejets) est d'abord désagrégé au pas de temps journalier sur la période 2000-2009. Ensuite, par le biais de requêtes spatiales

² Les termes VCN3 (5 ans) et VCN10 (5 ans) sont respectivement nommés VCN3 5 et VCN10 5 dans la suite du rapport.

sous le logiciel SIG, tous les prélèvements et rejets sont identifiés à l'échelle des différents bassins versants considérés (et présentés sur la Figure 3-2).

Enfin, les prélèvements sont sommés et les rejets soustraits au pas de temps journaliers de manière à constituer une chronique journalière des prélèvements pour chaque bassin versant. Le détail de la constitution d'une chronique (nommée « Abstraction ») est présenté dans le Tableau 3-3.

Tableau 3-3 : Détail de constitution d'une chronique journalière des prélèvements et rejets pour les besoins de la modélisation pluie-débit

ABSTRACTION =	Source	Note
Prélèvements AEP annuels	Base de données des prélèvements et rejets	
+ Prélèvements AEP mensuels	Base de données des prélèvements et rejets	
+ Prélèvements agricoles mensuels	Base de données des prélèvements et rejets	
+ Prélèvements industriels annuels	Base de données des prélèvements et rejets	
+ Prélèvements golfs annuels	Base de données des prélèvements et rejets	
- Rejets STEP domestiques annuels	Base de données des prélèvements et rejets	
- Rejets industriels annuels	Base de données des prélèvements et rejets	
- Pertes des réseaux AEP	30% x Prélèvements AEP	Considère un rendement moyen des réseaux de 70%
- Rejets domestiques liés à l'ANC	75% x (Prélèvements AEP – Pertes réseaux AEP)	Applicable uniquement aux communes de l'amont du BV non raccordées à une STEP (voir Erreur ! Source du renvoi introuvable.)
- Pertes du réseau d'adduction du CEA Valduc	CEA Valduc	

Le module NAM de MIKE11 ne permet pas de faire converger un modèle dans lequel la valeur « Abstraction » est négative, c'est-à-dire quand le bilan des prélèvements et des rejets est négatif. Or, ce cas de figure se présente pour les bassins versants de la Norges à Genlis et de la Tille à Champdôtre : en effet, les apports depuis l'extérieur du bassin versant pour l'alimentation en eau potable sont rejetés au niveau des importantes stations d'épuration situées à l'aval du bassin versant, et conduisent donc à des rejets plus importants que les prélèvements à l'échelle des bassins versant de la Norges à l'amont de Genlis et de la Tille à l'amont de Champdôtre.

Pour ces bassins versants, une approche légèrement différente a été adoptée, mettant en œuvre :

- ✓ L'évincement de la chronique des prélèvements/rejets du débit rejeté par les stations d'épuration domestiques ($Abstraction - Q_{j(STEPDOM)}$) ;
- ✓ La soustraction des débits rejetés par les STEP domestiques à la chronique des débits mesurés à la station hydrométrique située à l'exutoire du bassin versant ($Q_{j(STATIONHYDRO)} - Q_{j(STEPDOM)}$) ;
- ✓ Le calage du modèle pluie-débit à l'exutoire du bassin versant avec la chronique des débits soustraits des rejets des STEP domestiques ($Q_{j(STATIONHYDRO)} - Q_{j(STEPDOM)}$) en ne considérant pas les rejets domestiques dans la chronique des prélèvements/rejets ($Abstraction - Q_{j(STEPDOM)}$).

3.2.3 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 3-4.

Tableau 3-4 : 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/L_{max}) 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/L_{max}) 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/L_{max}) à partir de laquelle la nappe souterraine se recharge

3.3 Calage du modèle hydrologique

3.3.1 Principe du calage

Le calage des modèles hydrologiques s'est focalisé sur la période 2001-2009, 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 des débits mesurée sur la période 2001-2009 : 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). Ce critère adimensionnel a été proposé par Nash et Sutcliffe (1970). Il est défini par :

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

où Q_i et \hat{Q}_i sont respectivement les débits observé et calculé durant la période de calage; et \bar{Q}_i est la moyenne des débits observés en calage.

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)).

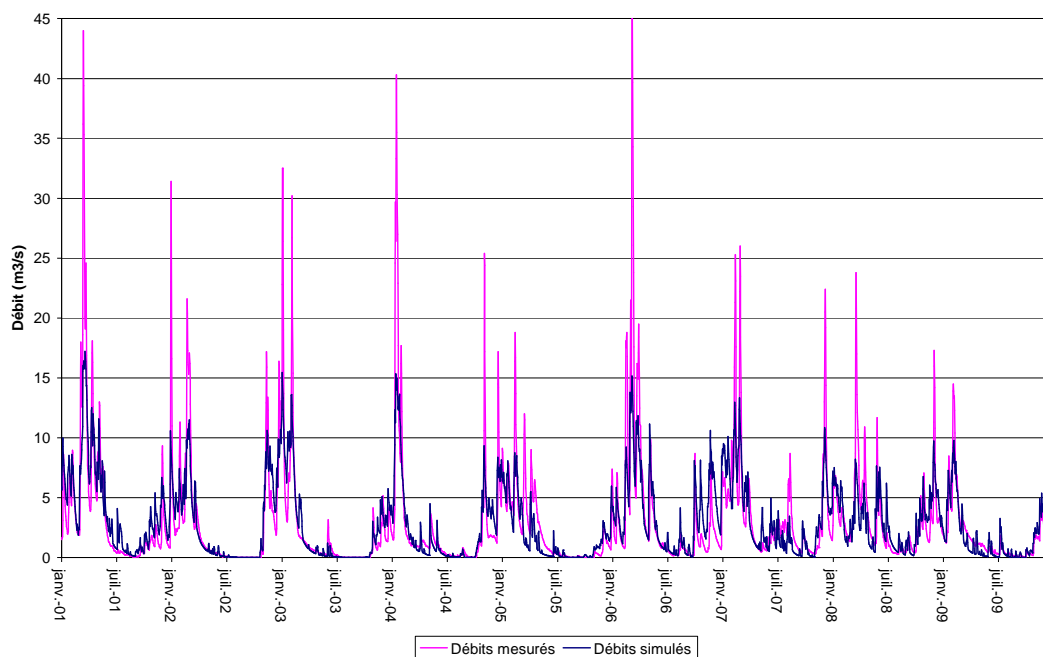
Il faut noter que les valeurs caractéristiques d'étiage utilisées pour le calage des modèles pluie-débit présentées ci-après diffèrent des valeurs présentées dans le Tableau 1-3 : ceci est dû au fait que les valeurs utilisées pour le calage ne sont calculées que sur la période de modélisation (soit 2001-2009), alors que celle présentée dans le Tableau 1-3 concernent l'ensemble de la série temporelle disponible pour chaque station hydrométrique. **Les valeurs caractéristiques d'étiage calculées dans le cadre de la modélisation (qu'il s'agisse du calage des modèles pluie-débit ou de la reconstitution des débits désinfluencés) ne peuvent donc être qu'utilisées comme des outils de comparaison entre situations modélisées (hydrologie influencée et hydrologie désinfluencée). Elles ne doivent pas faire l'objet de comparaison directe avec les valeurs présentées dans le**

Tableau 1-3 sans prendre de précautions quant à leur mode de calcul et aux incertitudes pesant sur elles (notamment du fait des courtes séries de données sur lesquelles elles ont été calculées).

3.3.2 Résultats du calage

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

3.3.2.1 Bassin versant de l'Ignon à l'amont de Villecomte



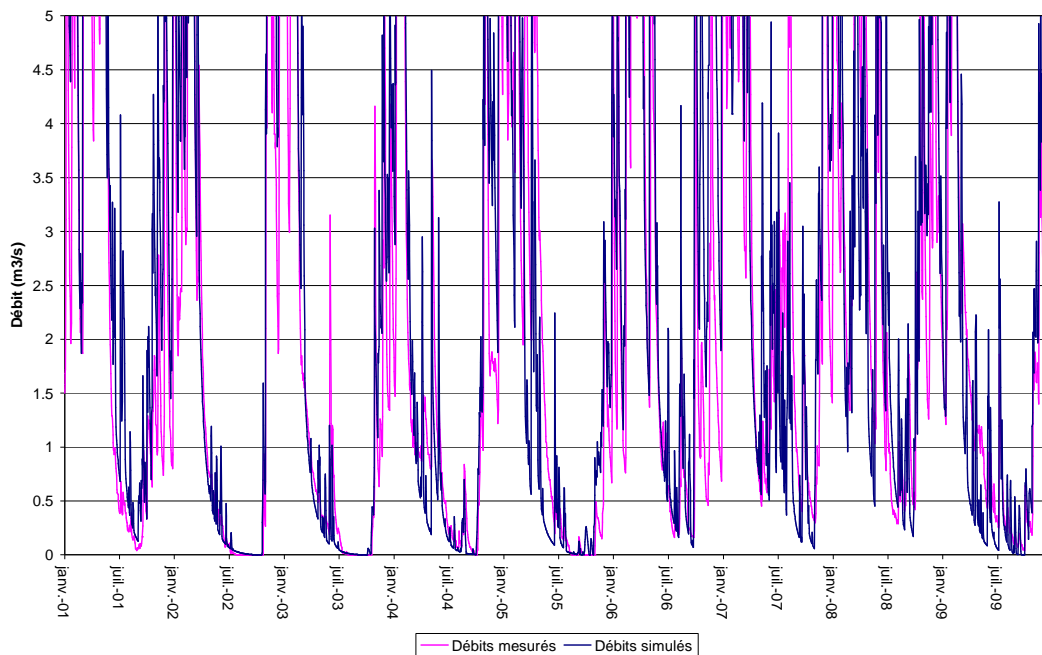


Figure 3-3 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et mesurés pour le bassin versant de l'Ignon à l'amont de Villecomte

La Figure 3-3 présente une comparaison des débits mesurés à la station hydrométrique de Villecomte et des 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 $5\text{m}^3/\text{s}$.

La valeur du critère de Nash pour le calage du modèle pluie-débit sur ce bassin versant est de 63%. En considérant seulement les débits observés inférieurs à la moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 84%. La comparaison des débits caractéristiques d'étiage tels que décrits au paragraphe 3.3.1 est présentée dans le Tableau 3-5.

Tableau 3-5 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Villecomte et simulés par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2009

Paramètre	Module	QMNA5	VCN3 5	VCN10 5
Valeur mesurée (m^3/s)	3,067	0,0037	0,0015	0,0019
Valeur simulée (m^3/s)	2,860	0,0072	0,0012	0,0018
Erreur absolue (m^3/s)	0,207	0,0035	-0,0003	-0,0001
Erreur relative	-7%	95%	-20%	-5%

3.3.2.2 Bassin versant de la Tille à Crecey-sur-Tille

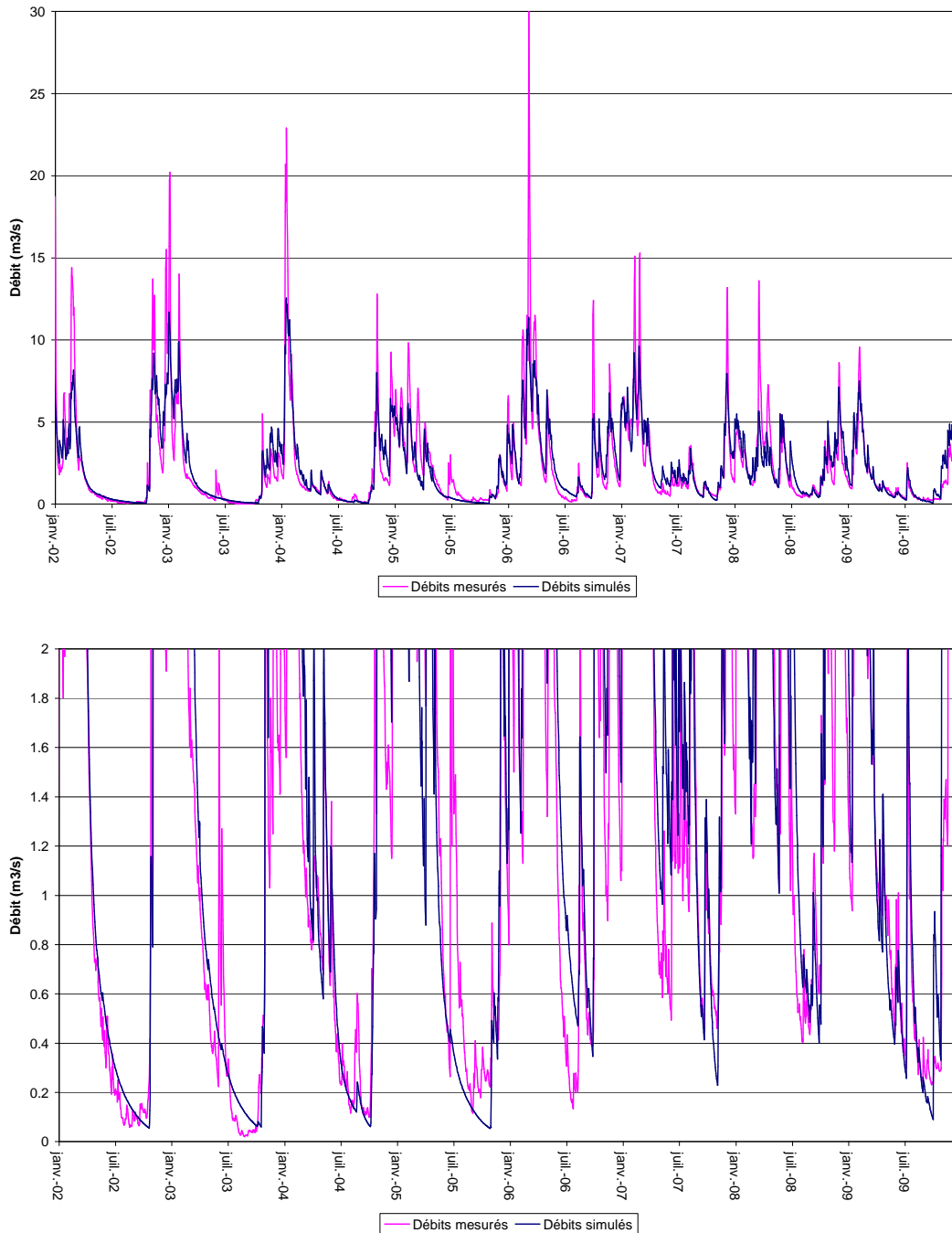


Figure 3-4 : Comparaison des débits simulés à l'issu du calage et mesurés pour le bassin versant de la Tille à l'amont de Crecey-sur-Tille

La Figure 3-4 présente une comparaison des débits mesurés à la station hydrométrique de Crecey-sur-Tille et des débits simulés par le modèle pluie-débit à l'issu 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 $2\text{m}^3/\text{s}$.

La valeur du critère de Nash pour le calage du modèle pluie-débit sur ce bassin versant est de 75%. En considérant seulement les débits observés inférieurs à la moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 95%. La comparaison des débits caractéristiques d'étiage tels que décrits au paragraphe 3.3.1 est présentée dans le Tableau 3-6.

Tableau 3-6 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Crecey-sur-Tille et simulés par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2009

Paramètre	Module	QMNA5	VCN3 5	VCN10 5
Valeur mesurée (m^3/s)	2,426	0,102	0,062	0,070
Valeur simulée (m^3/s)	2,397	0,099	0,063	0,068
Erreur absolue (m^3/s)	-0,029	-0,003	0,001	-0,002
Erreur relative	-1%	-3%	2%	-3%

3.3.2.3 Bassin versant de la Venelle à l'amont de Selongey

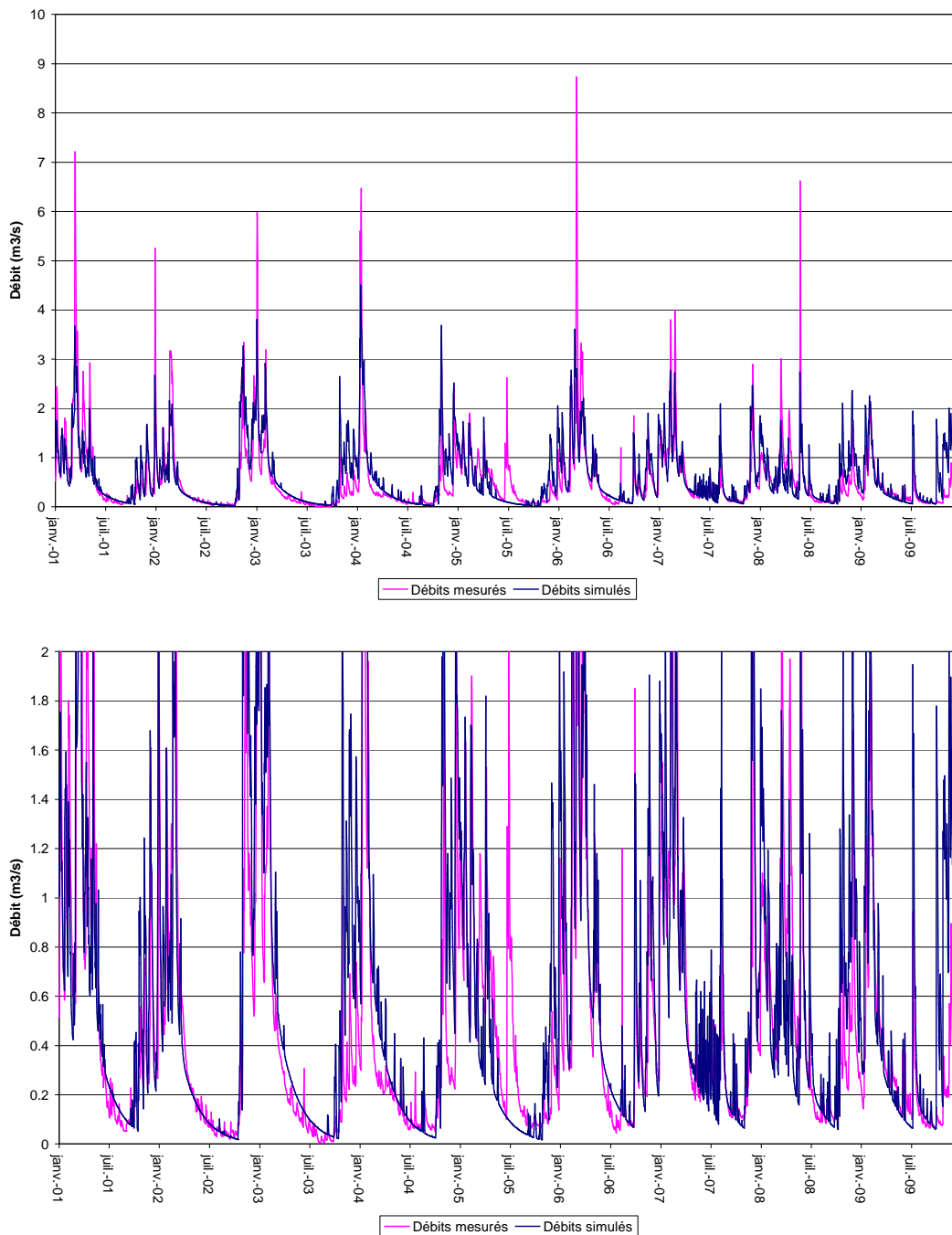


Figure 3-5 : Comparaison des débits simulés à l'issu du calage et mesurés pour le bassin versant de la Venelle à l'amont de Selongey

La Figure 3-5 présente une comparaison des débits mesurés à la station hydrométrique de Selongey et des débits simulés par le modèle pluie-débit à l'issu 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 $2\text{m}^3/\text{s}$.

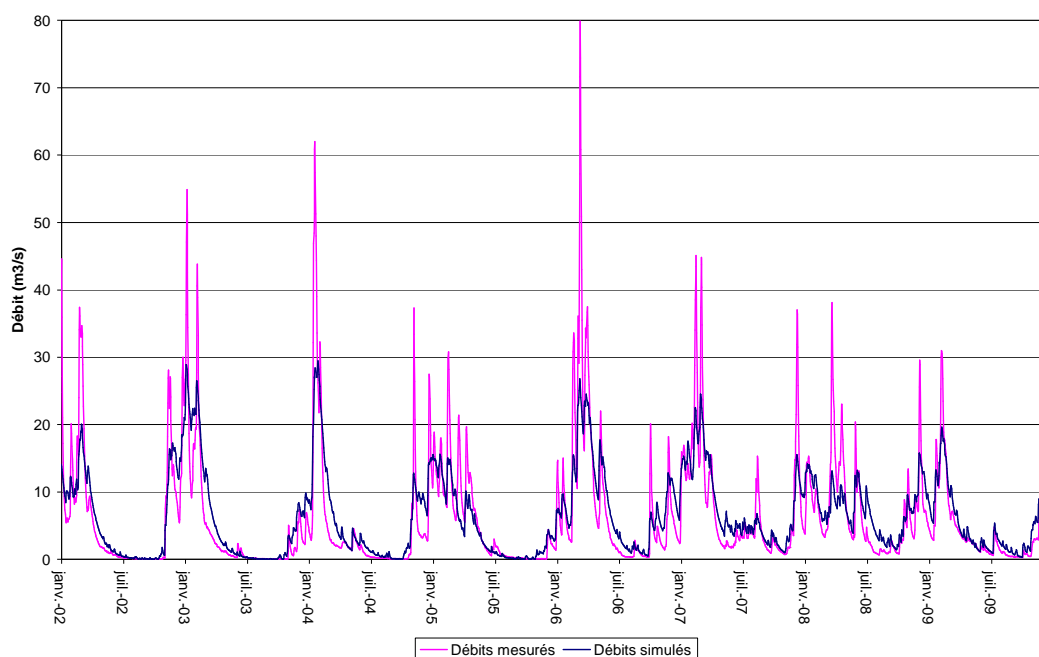
La valeur du critère de Nash pour le calage du modèle pluie-débit sur ce bassin versant est de 58%. En considérant seulement les débits observés inférieurs à la

moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 68%. La comparaison des débits caractéristiques d'étiage tels que décrits au paragraphe 3.3.1 est présentée dans le Tableau 3-7.

Tableau 3-7 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Selongety et simulés par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2009

Paramètre	Module	QMNA5	VCN3 5	VCN10 5
Valeur mesurée (m ³ /s)	0,548	0,041	0,020	0,027
Valeur simulée (m ³ /s)	0,608	0,041	0,023	0,027
Erreur absolue (m ³ /s)	0,060	0	0,003	0
Erreur relative	11%	0%	15%	0%

3.3.2.4 Bassin versant de la Tille à l'amont d'Arceau



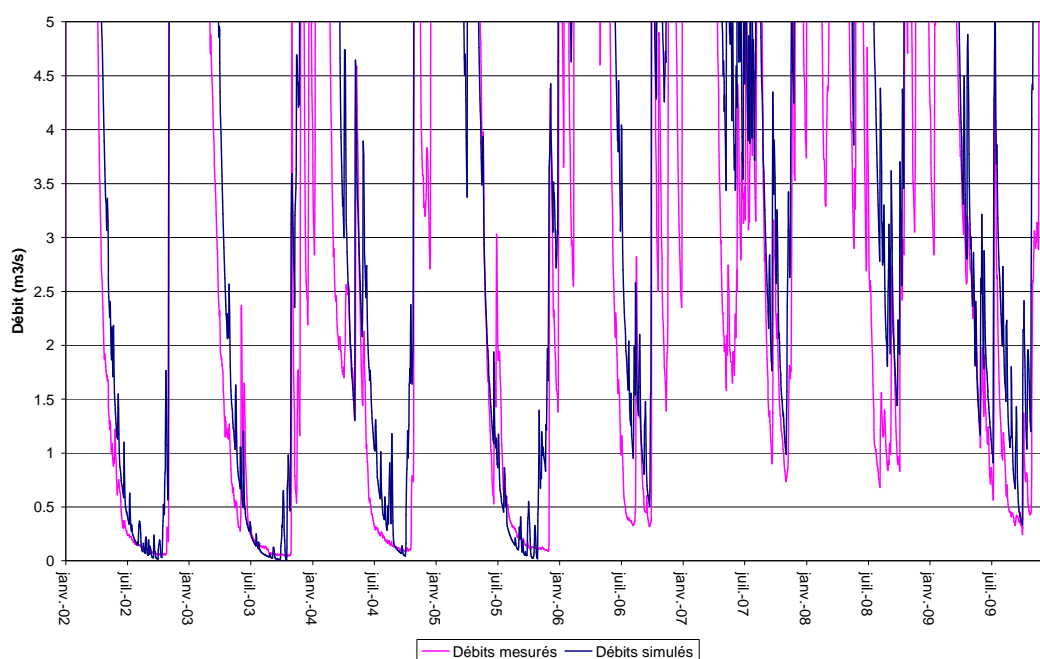


Figure 3-6 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et mesurés pour le bassin versant de la Tille à l'amont d'Arceau

La Figure 3-6 présente une comparaison des débits mesurés à la station hydrométrique d'Arceau et des 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 $5\text{m}^3/\text{s}$.

La valeur du critère de Nash pour le calage du modèle pluie-débit sur ce bassin versant est de 79%. En considérant seulement les débits observés inférieurs à la moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 95%. La comparaison des débits caractéristiques d'étiage tels que décrits au paragraphe 3.3.1 est présentée dans le Tableau 3-8.

Tableau 3-8: Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Arceau et simulés par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2009

Paramètre	Module	QMNA5	VCN3 5	VCN10 5
Valeur mesurée (m^3/s)	6,651	0,099	0,071	0,077
Valeur simulée (m^3/s)	6,289	0,099	0,077	0,080
Erreur absolue (m^3/s)	0,362	0	0,006	0,003
Erreur relative	-5%	0%	8%	4%

3.3.2.5 Bassin versant de la Tille à l'amont de Cessey-sur-Tille

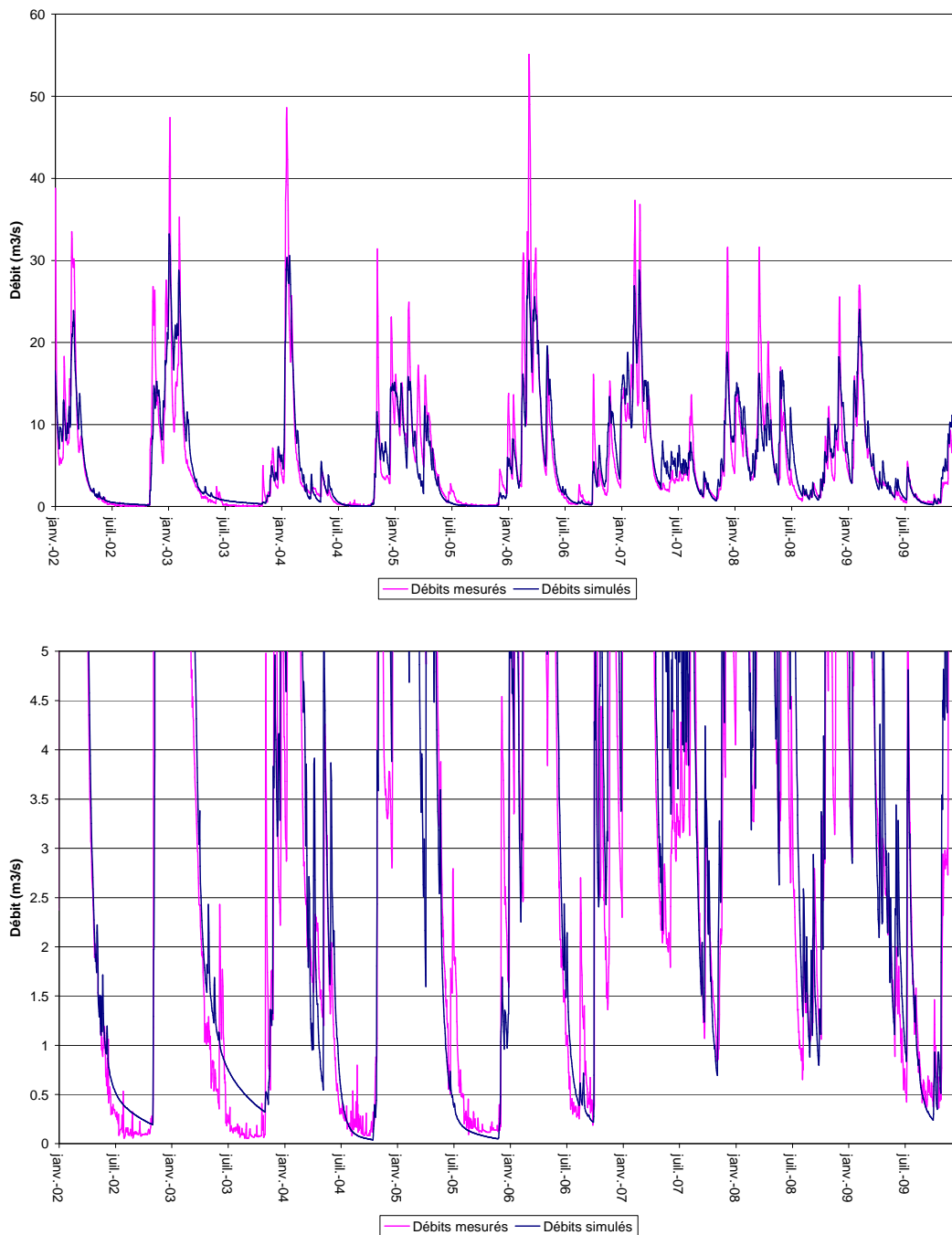


Figure 3-7 : Comparaison des débits simulés à l'issu du calage et mesurés pour le bassin versant de la Tille à l'amont de Cessey-sur-Tille

La Figure 3-7 présente une comparaison des débits mesurés à la station hydrométrique de Cessey-sur-Tille et des débits simulés par le modèle pluie-débit à l'issu du processus de calage. Le premier graphique présente une vue globale de la

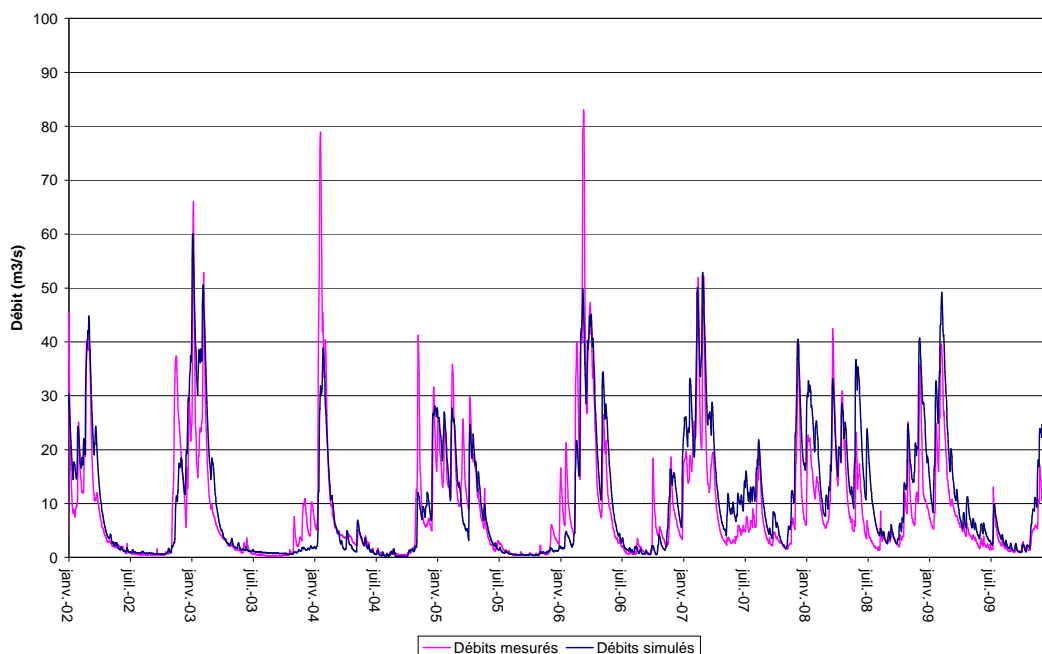
chronique hydrologique, alors que le second se focalise sur les débits inférieurs à $5\text{m}^3/\text{s}$.

La valeur du critère de Nash pour le calage du modèle pluie-débit sur ce bassin versant est de 81%. En considérant seulement les débits observés inférieurs à la moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 93%. La comparaison des débits caractéristiques d'étiage tels que décrits au paragraphe 3.3.1 est présentée dans le Tableau 3-9.

Tableau 3-9: Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Cessey-sur-Tille et simulés par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2009

Paramètre	Module	QMNA5	VCN3 5	VCN10 5
Valeur mesurée (m^3/s)	6,062	0,124	0,085	0,097
Valeur simulée (m^3/s)	6,262	0,126	0,095	0,099
Erreur absolue (m^3/s)	0,200	0,002	0,010	0,002
Erreur relative	3%	2%	12%	2%

3.3.2.6 Bassin versant de la Tille à l'amont de Champdôtre



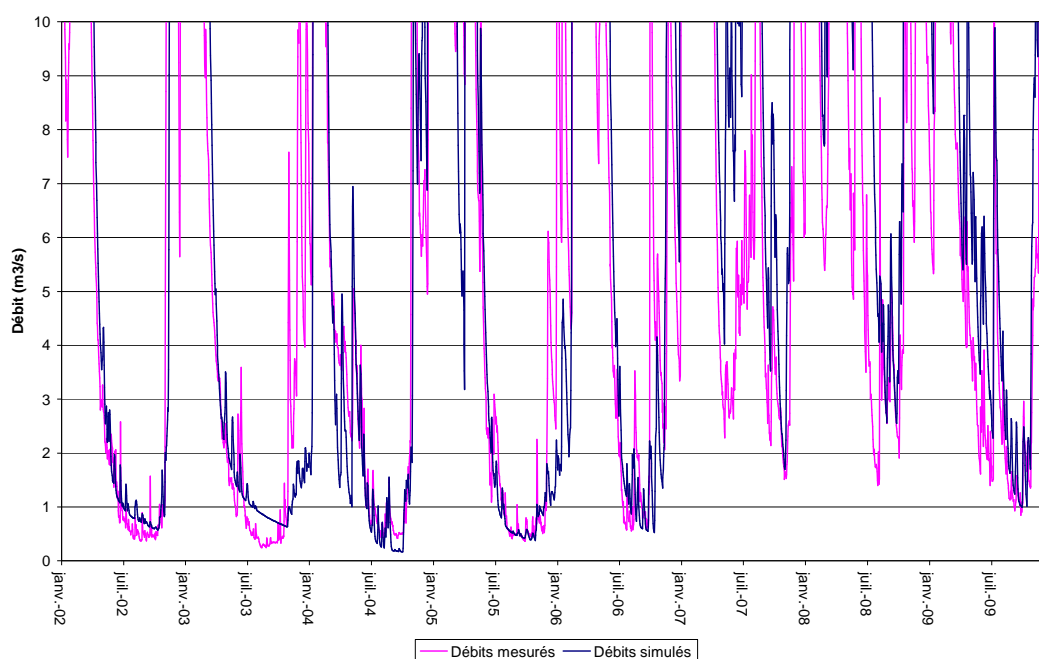


Figure 3-8 : Comparaison des débits simulés à l'issu du calage et mesurés pour le bassin versant de la Tille à l'amont de Champdôtre

La Figure 3-8 présente une comparaison des débits mesurés à la station hydrométrique de Champdôtre et des débits simulés par le modèle pluie-débit à l'issu 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 $10\text{m}^3/\text{s}$.

La valeur du critère de Nash pour le calage du modèle pluie-débit sur ce bassin versant est de 65%. En considérant seulement les débits observés inférieurs à la moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 89%. La comparaison des débits caractéristiques d'étiage tels que décrits au paragraphe 3.3.1 est présentée dans le Tableau 3-10.

Tableau 3-10 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Champdôtre et simulés par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2009

Paramètre	Module	QMNA5	VCN3 5	VCN10 5
Valeur mesurée (m^3/s)	9,472	0,470	0,364	0,396
Valeur simulée (m^3/s)	10,891	0,463	0,397	0,386
Erreur absolue (m^3/s)	1,419	-0,007	0,033	-0,010
Erreur relative	15%	-1%	9%	-3%

3.3.2.7 Bassin versant de la Norges à l'amont de Saint-Julien

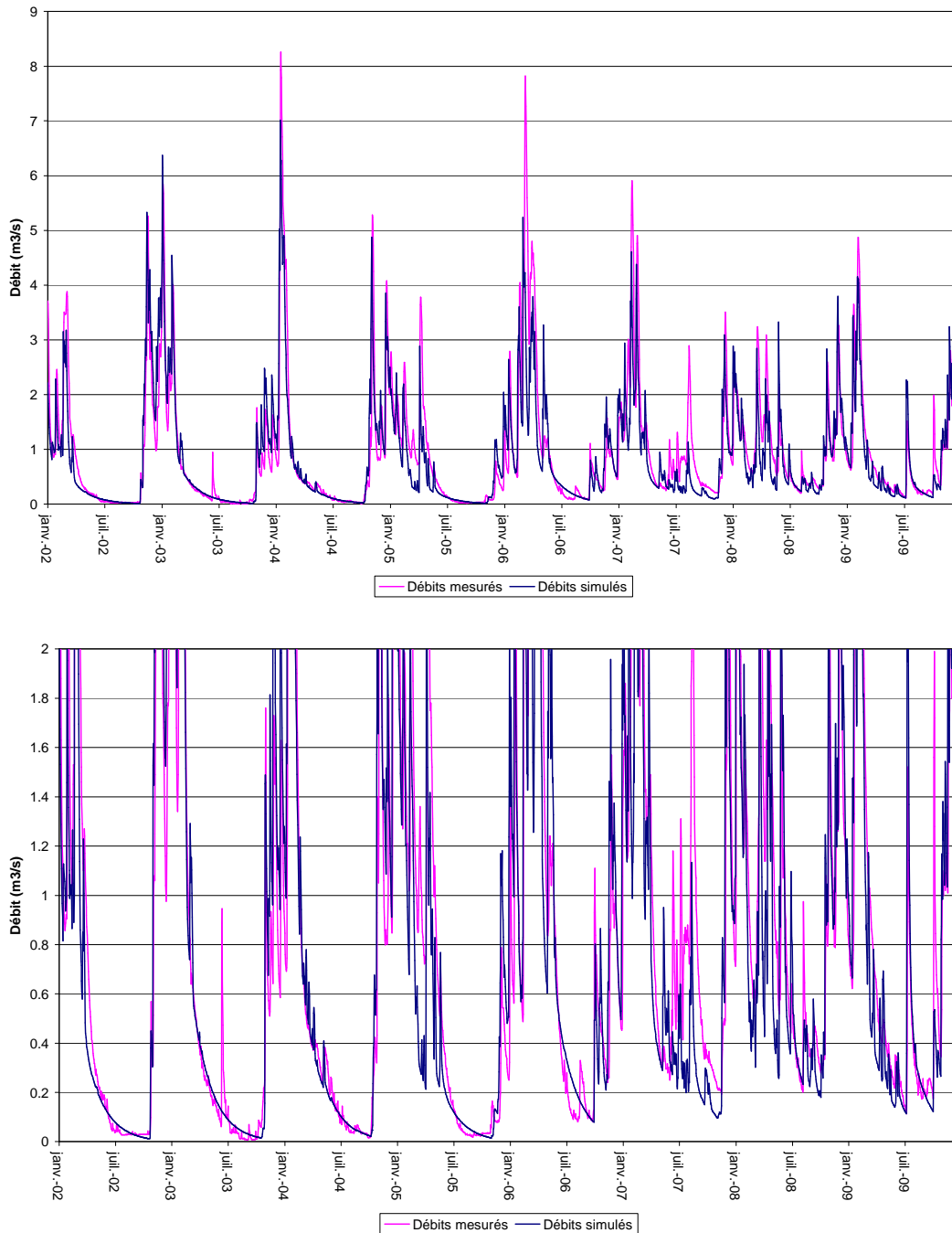


Figure 3-9 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et mesurés pour le bassin versant de la Norges à l'amont de Saint-Julien

La Figure 3-9 présente une comparaison des débits mesurés à la station hydrométrique de Saint-Julien et des débits simulés par le modèle pluie-débit à l'issue du processus de calage. Le premier graphique présente une vue globale de la

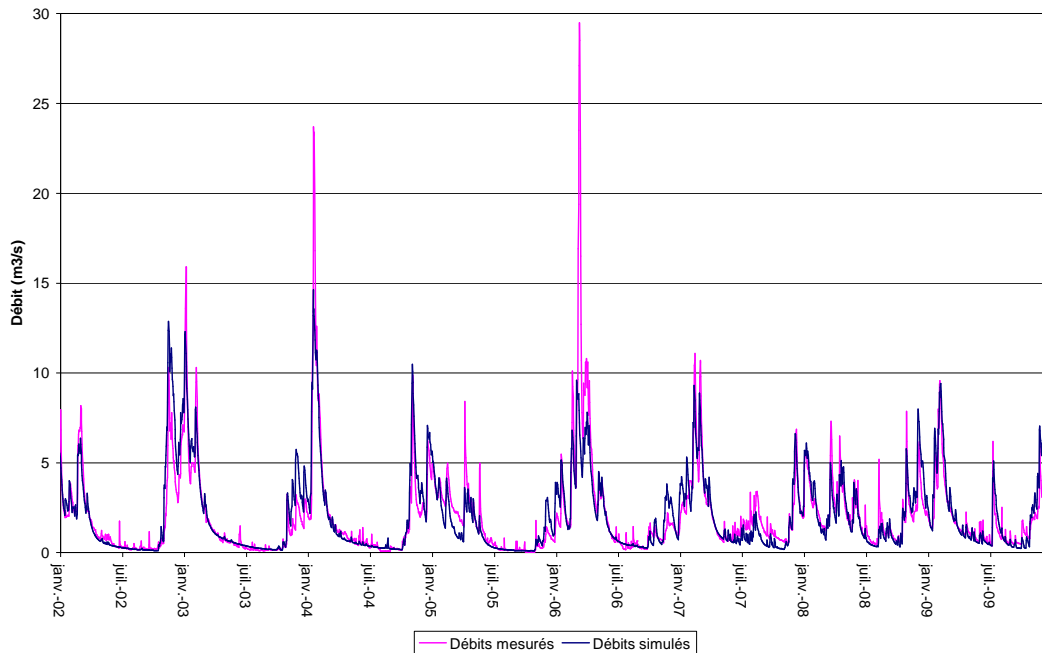
chronique hydrologique, alors que le second se focalise sur les débits inférieurs à $2\text{m}^3/\text{s}$.

La valeur du critère de Nash pour le calage du modèle pluie-débit sur ce bassin versant est de 74%. En considérant seulement les débits observés inférieurs à la moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 96%. La comparaison des débits caractéristiques d'étiage tels que décrits au paragraphe 3.3.1 est présentée dans le Tableau 3-11.

Tableau 3-11: Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Saint-Julien et simulés par le modèle pluie-débit sur la période 2002-2009

Paramètre	Module	QMNA5	VCN3 5	VCN10 5
Valeur mesurée (m^3/s)	0,968	0,027	0,017	0,018
Valeur simulée (m^3/s)	0,859	0,027	0,017	0,018
Erreur absolue (m^3/s)	-0,094	0	0	0
Erreur relative	-10%	0%	0%	0%

3.3.2.8 Bassin versant de la Norges à l'amont de Genlis



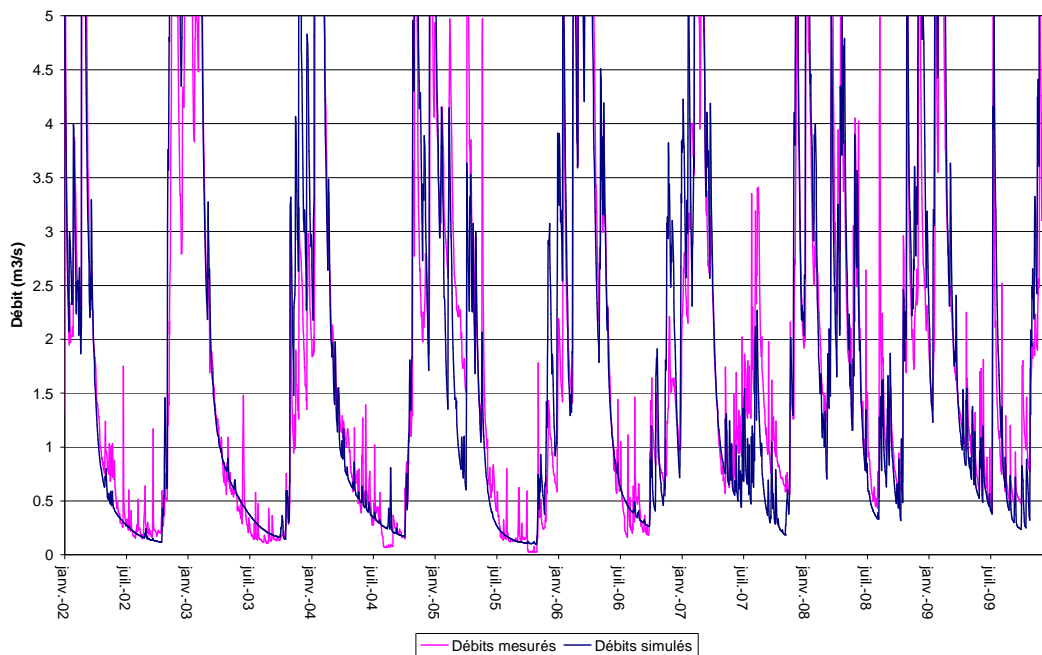


Figure 3-10 : Comparaison des débits simulés à l'issue du calage et mesurés pour le bassin versant de la Norges à l'amont de Genlis

La Figure 3-10 présente une comparaison des débits mesurés à la station hydrométrique de Genlis et des 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 $5\text{m}^3/\text{s}$.

La valeur du critère de Nash pour le calage du modèle pluie-débit sur ce bassin versant est de 71%. En considérant seulement les débits observés inférieurs à la moitié du module, le coefficient de Nash s'élève à 94%. La comparaison des débits caractéristiques d'étiage tels que décrits au paragraphe 3.3.1 est présentée dans le Tableau 3-12.

Tableau 3-12 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage mesurées à Genlis et simulées par le modèle pluie-débit sur la période 2001-2009

Paramètre	Module	QMNA5	VCN3 5	VCN10 5
Valeur mesurée (m^3/s)	2,237	0,162	0,117	0,129
Valeur simulée (m^3/s)	2,205	0,161	0,133	0,140
Erreur absolue (m^3/s)	-0,032	-0,001	0,016	0,011
Erreur relative	-1%	-1%	14%	9%

3.3.3 Critiques relatives au calage des modèles pluie-débit

Le calage des modèles pluie-débit est jugé satisfaisant sur la plupart des sous bassins versants étudiés, dans la mesure où :

- ✓ Les résultats obtenus doivent être analysés à la lumière des données d'entrée de la modélisation, et notamment des incertitudes pesant sur elles : ces incertitudes s'appliquent notamment à la répartition spatiale des pluies (et aux éventuelles lacunes existant sur ces séries) et aux données de prélèvements et 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.
- ✓ la forme des chroniques simulées sur la période d'étude est généralement fidèle aux chroniques mesurées aux droits des stations hydrométriques. Ainsi, les critères de Nash sur l'ensemble des chroniques sont toujours supérieurs à 65%. En ne considérant que les débits mesurés supérieurs à la moitié du module interannuel au droit de chacune des stations hydrométriques, la valeur du critère est systématiquement comprise entre 70% et 95%.
- ✓ Les écarts obtenus entre les valeurs de modules interannuels calculés et simulés montrent que le bilan global volumique au niveau des eaux de surface est globalement respecté. Sur certains sites, il est légèrement dégradé, au profit d'une meilleure représentation du fonctionnement du complexe eaux superficielles / eaux souterraines en étiage. On remarque également que, pour l'ensemble des stations étudiées, les débits de pointe des crues sont systématiquement très sous évalués. Ces différences doivent être relativisées dans la mesure où la présente étude focalise son intérêt sur les périodes d'étiage. Ces écarts, correspondant à des périodes très courtes (quelques jours), n'ont pas été jugés d'importance dans la mesure où, en période de crue, le système d'échange entre la nappe et la rivière se retrouve généralement saturé. Les eaux de ruissellement n'interviennent alors plus dans les processus de recharge de la nappe ou de la zone racinaire. Dans notre cas, on a considéré que les pics de crue tels qu'ils sont modélisés sont suffisants pour saturer complètement les zones d'échange entre la surface et la nappe souterraine.
- ✓ La comparaison des débits caractéristiques d'étiage issus des chroniques mesurées et modélisées montrent peu d'écarts relatifs significatifs (supérieurs à 10%). Ceux-ci s'appliquent tantôt aux valeurs de débit minimal sur des courtes périodes (VCN), tantôt à celles sur des périodes plus longues (QMNA). La dégradation de l'un ou l'autre des paramètres par comparaison avec les valeurs mesurées témoigne de la difficulté d'obtenir une pente de tarissement satisfaisante sans provoquer l'assèchement de la rivière. 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. Certains écarts entre les paramètres calculés à partir des valeurs simulées et mesurées doivent également être relativisés dans la mesure où les différences absolues restent minimales (quelques litres, parfois moins (notamment sur l'Ignon)).

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

3.4.1 Présentation des résultats obtenus par station

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.

Pour chaque station sont également présentés les résultats des statistiques 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 désinfluencée 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.

3.4.1.1 Bassin versant de l'Ignon à l'amont de Villecomte

La Figure 3-11 présente la comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur l'Ignon à la station hydrométrique de Villecomte. La Figure 3-12 présente l'évolution de la différence des débits moyens mensuels influencés et désinfluencés alors que la Figure 3-13 présente la comparaison des QMNA issus des simulations influencée et désinfluencée pour les années modélisées. Enfin, le Tableau 3-13 présente la comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage pour l'hydrologie influencée et désinfluencée à la même station.

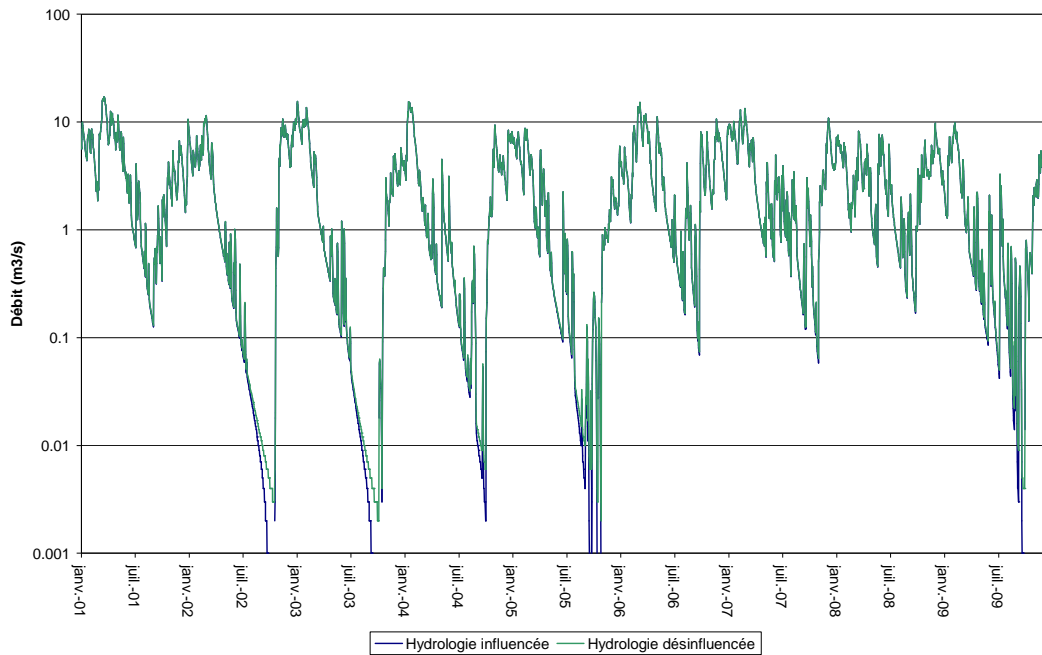


Figure 3-11 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur l'Ignon à Villecomte

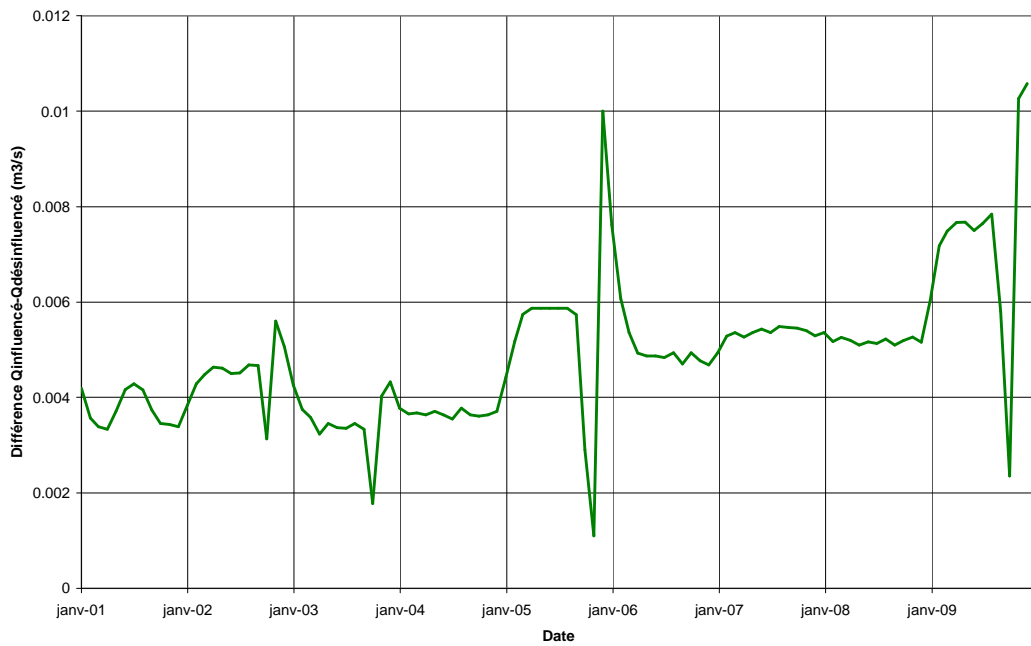


Figure 3-12 : Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluentés sur l'Ignon à Villecomte

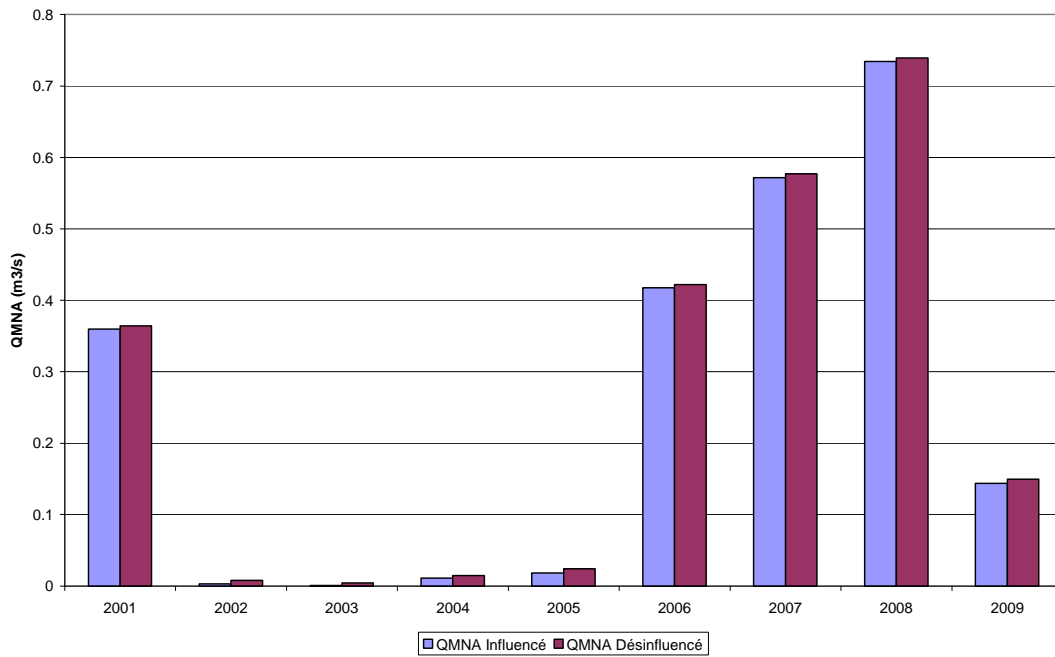


Figure 3-13 : Comparaison des QMNA influencés et désinfluentés sur l'Ignon à Villecomte

Tableau 3-13 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur l'Ignon à Villecomte

	Module	QMNA 5	VCN3 5	VCN10 5	
Hydrologie influencée	Valeur mesurée (m3/s)	2.426	0.102	0.062	0.070
	Valeur théorique simulée (m3/s)	2.397	0.099	0.063	0.068
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.002; 0.018]	[0.000;0.003]	[0.001;0.004]
	Erreur absolue (m3/s)	-0.029	-0.003	0.001	-0.002
	Erreur relative (%)	-1%	-3%	2%	-3%
Hydrologie désinfluencée	Valeur théorique simulée (m3/s)	2.409	0.113	0.076	0.081
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.006; 0.031]	[0.001;0.007]	[0.002;0.010]
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	2.438	0.116	0.075	0.083
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	2.438	0.116	0.075	0.083
	Valeur retenue (m3/s)	2.438	0.116	0.075	0.083
% d'évolution entre Q influencés et désinfluencés		1%	14%	21%	19%

Les résultats sur cette station montrent que le gain moyen sur la période considérée est relativement faible, de l'ordre de quelques litres. Au niveau des valeurs caractéristiques d'étiage, l'augmentation est beaucoup plus significative (valeurs plus de deux fois supérieures). Cependant, ces valeurs sont à prendre avec précaution dans la mesure où il est difficile d'estimer dans quelle mesure l'arrêt des prélèvements peut conduire à limiter, voire stopper l'assèchement de la rivière dû à l'existence d'une perte. Vu l'absence de données précises de description du système de perte/résurgence sur l'Ignon, les valeurs présentées dans le tableau ci-dessus sont conservées, mais devront faire l'objet d'une analyse critique au stade de la définition des DOE et des volumes prélevables.

3.4.1.2 Bassin versant de la Tille à Crecey-sur-Tille

La Figure 3-14 présente la comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à la station hydrométrique de Crecey-sur-Tille. La Figure 3-15 présente l'évolution de la différence des débits moyens mensuels influencés et désinfluencés alors que la Figure 3-16 présente la comparaison des QMNA issus des simulations influencée et désinfluencée pour les années modélisées. Enfin, le Tableau 3-14 présente la comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage pour l'hydrologie influencée et désinfluencée à la même station.

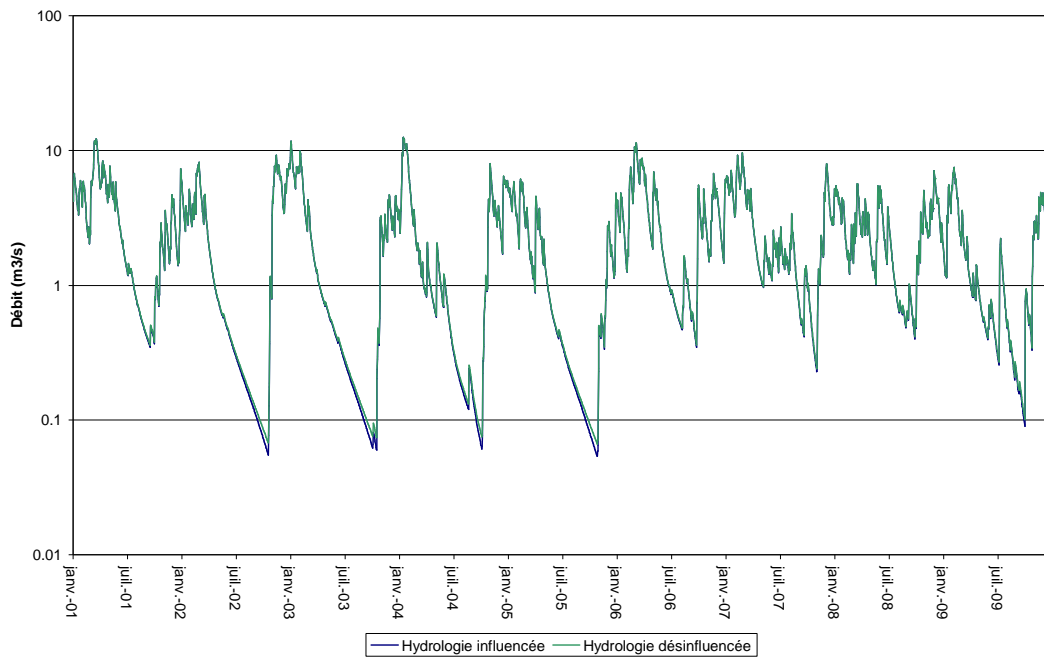


Figure 3-14 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à Crecey-sur-Tille

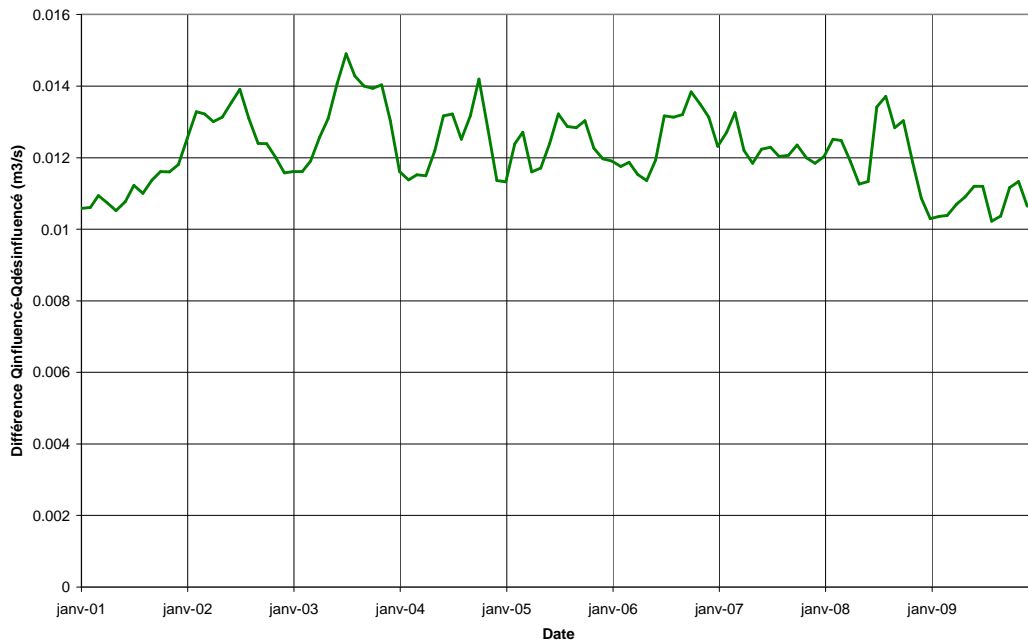


Figure 3-15: Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluencés sur la Tille à Crecey-sur-Tille

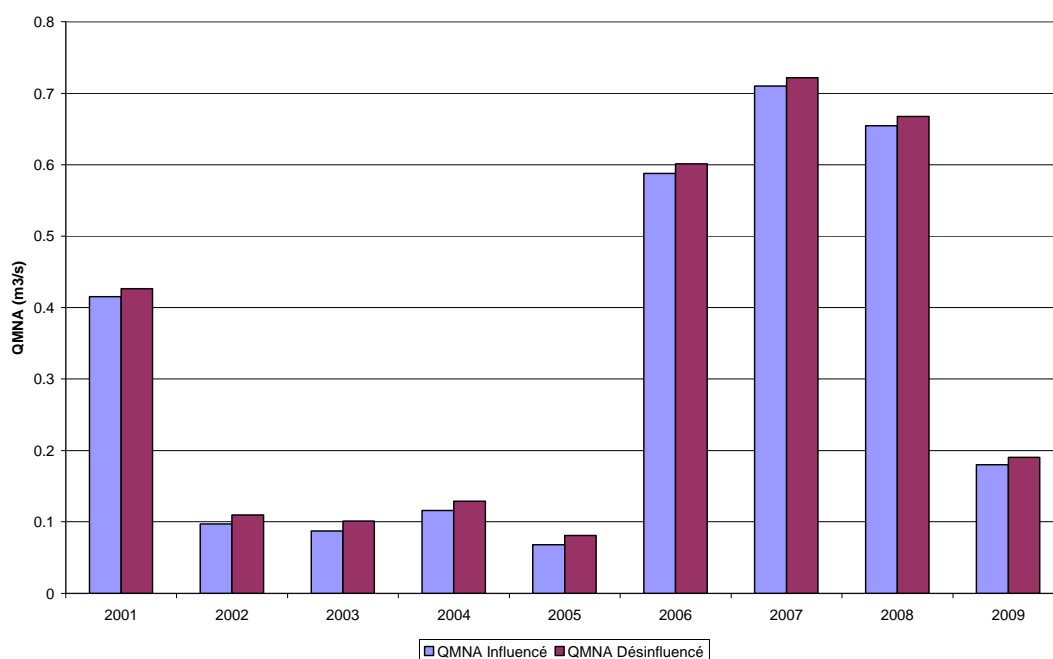


Figure 3-16 : Comparaison des QMNA influencés et désinfluencés sur la Tille à Crecey-sur-Tille

Tableau 3-14 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à Crecey-sur-Tille

		Module	QMNA 5	VCN3 5	VCN10 5
Etiage influencé	Valeur mesurée (m3/s)	2.426	0.102	0.062	0.070
	Valeur théorique simulée (m3/s)	2.397	0.099	0.063	0.068
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.074; 0.159]	[0.051;0.102]	[0.047;0.119]
	Erreur absolue (m3/s)	-0.029	-0.003	0.001	-0.002
	Erreur relative (%)	-1%	-3%	2%	-3%
Hydrologie désinfluencée	Valeur théorique simulée (m3/s)	2.409	0.113	0.076	0.081
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.063; 0.143]	[0.041;0.088]	[0.038;0.103]
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	2.438	0.116	0.075	0.083
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	2.438	0.116	0.075	0.083
Valeur retenue (m3/s)		2.438	0.116	0.075	0.083
% d'évolution entre Q influencés et désinfluencés		1%	14%	21%	19%

Les résultats sur cette station montrent que le gain en terme de débit moyen est d'une douzaine de litres par seconde. Vu la faible présence de prélèvements liés à l'irrigation dans cette partie haute du bassin versant, on observe une faible variation

du gain de débit (en valeur absolue) entre les périodes estivales et hivernales. Ainsi, les valeurs des paramètres d'étiage calculés sur la base de l'hydrologie désinfluencée sont supérieures aux valeurs mesurées d'une petite quinzaine de litres par seconde. Le gain sur le QMNA5 est de l'ordre de 15% du QMNA5 actuel.

3.4.1.3 Bassin versant de la Venelle à l'amont de Selongey

La Figure 3-17 présente la comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Venelle à la station hydrométrique de Selongey. La Figure 3-18 présente l'évolution de la différence des débits moyens mensuels influencés et désinfluencés alors que la Figure 3-19 présente la comparaison des QMNA issus des simulations influencée et désinfluencée pour les années modélisées. Enfin, le Tableau 3-15 présente la comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage pour l'hydrologie influencée et désinfluencée à la même station.

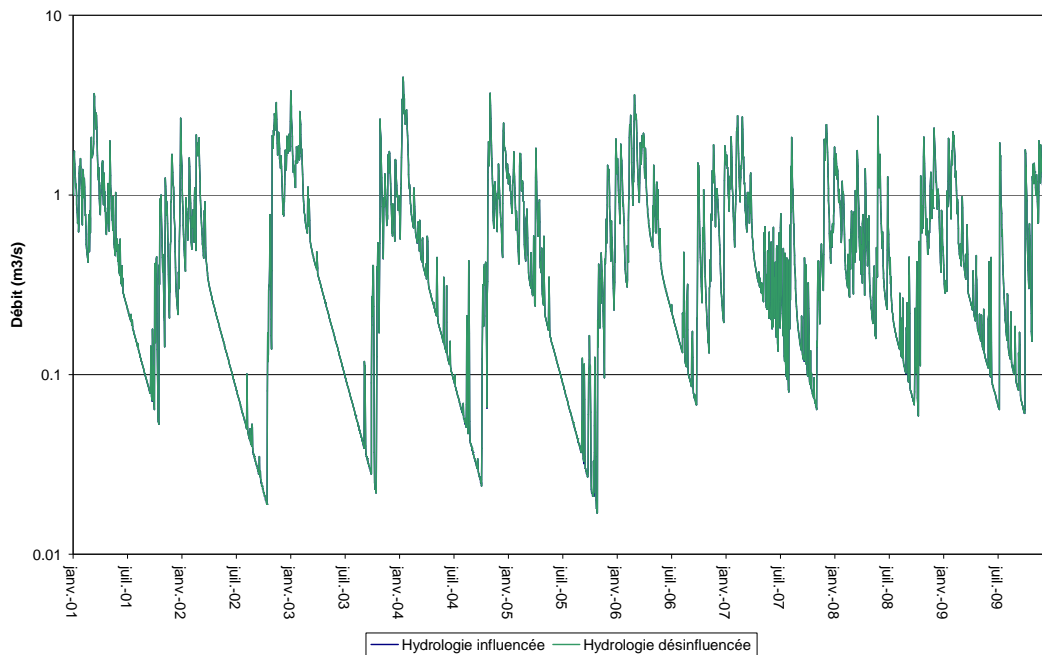


Figure 3-17 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Venelle à Selongey

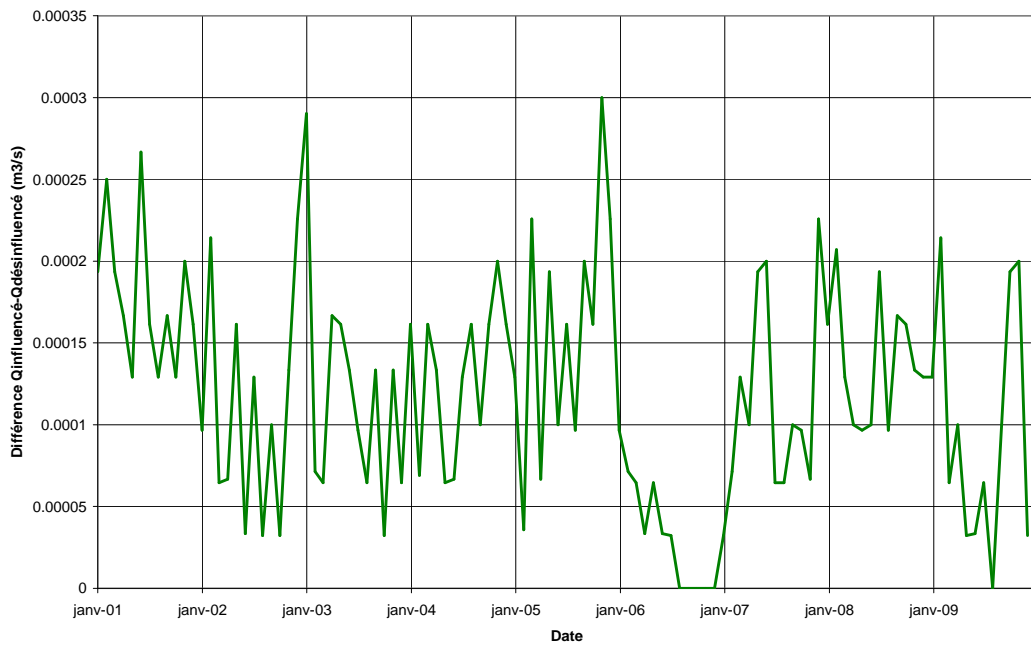


Figure 3-18 : Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluentés sur la Venelle à Selongey

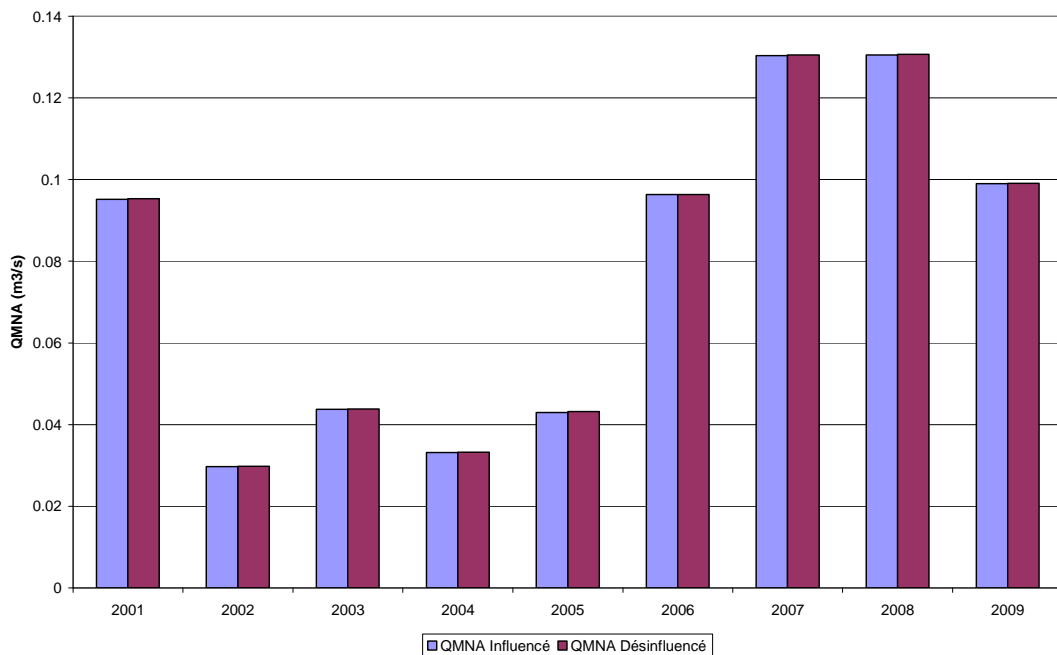


Figure 3-19 : Comparaison des QMNA influencés et désinfluentés sur la Venelle à Selongey

Tableau 3-15 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Venelle à Selongey

	Module	QMNA 5	VCN3 5	VCN10 5	
Hydrologie influencée	Valeur mesurée (m3/s)	0.548	0.041	0.020	0.027
	Valeur théorique simulée (m3/s)	0.608	0.041	0.023	0.027
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.031; 0.051]	[0.017;0.029]	[0.019;0.036]
	Erreur absolue (m3/s)	0.060	0.000	0.003	0.000
	Erreur relative (%)	11%	0%	15%	0%
Hydrologie désinfluencée	Valeur théorique simulée (m3/s)	0.609	0.041	0.023	0.027
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.028; 0.054]	[0.016;0.030]	[0.019;0.036]
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	0.548	0.041	0.020	0.027
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	0.548	0.041	0.020	0.027
	Valeur retenue (m3/s)	0.548	0.041	0.020	0.027
% d'évolution entre Q influencés et désinfluencés		1%	0%	0%	0%

Les résultats sur cette station montrent que le gain en terme de débit moyen est quasiment nul (inférieur à 1l/s), tant sur l'ensemble de la chronique considérée que sur les périodes estivales. Ceci est dû au faible niveau de prélèvements recensés sur ce sous bassin versant. A ce titre, ce bassin peut être considéré comme quasiment « désinfluencé » à l'heure actuelle, ce qui limite les possibilités de scénarios de limitation des prélèvements dans le cadre de l'étude.

3.4.1.4 Bassin versant de la Tille à l'amont d'Arceau

La Figure 3-20 présente la comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à la station hydrométrique d'Arceau. La Figure 3-21 présente l'évolution de la différence des débits moyens mensuels influencés et désinfluencés alors que la Figure 3-22 présente la comparaison des QMNA issus des simulations influencée et désinfluencée pour les années modélisées. Enfin, le Tableau 3-16 présente la comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage pour l'hydrologie influencée et désinfluencée à la même station.

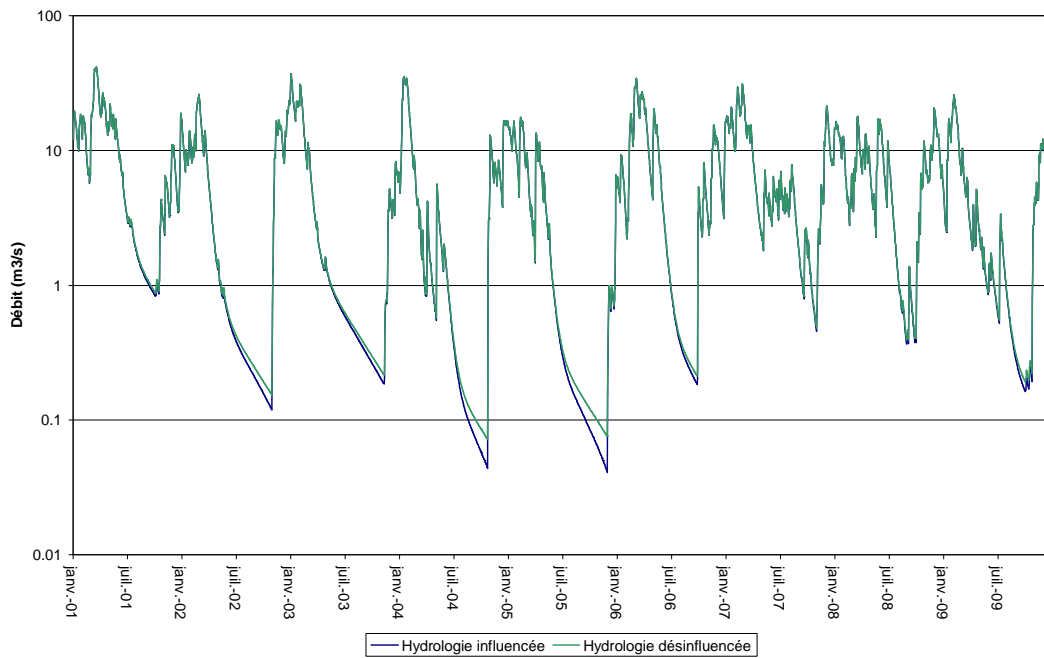


Figure 3-20 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à Arceau

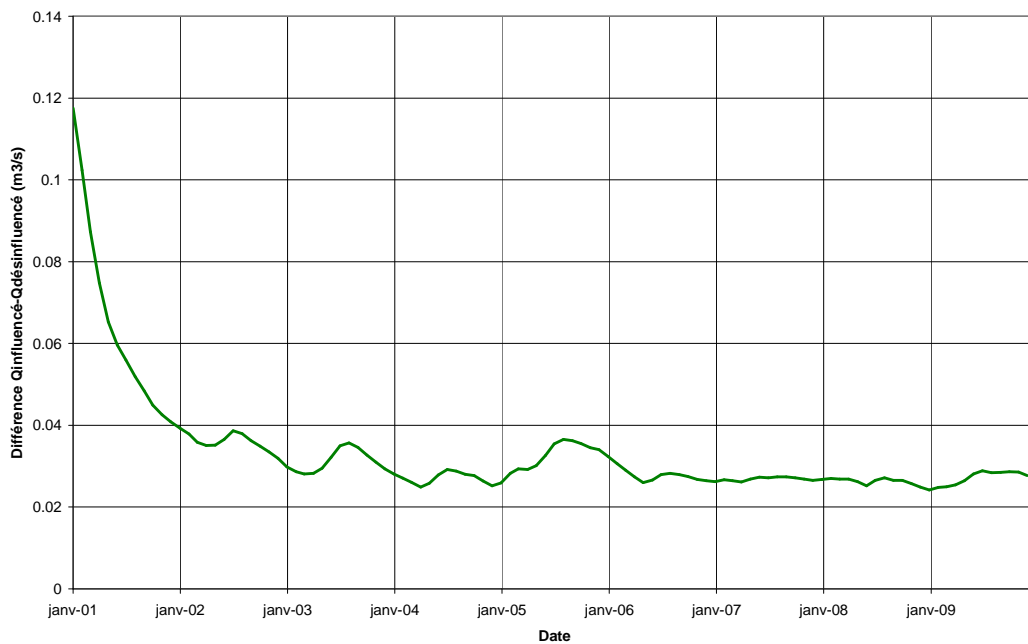


Figure 3-21 : Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluencés sur la Tille à Arceau

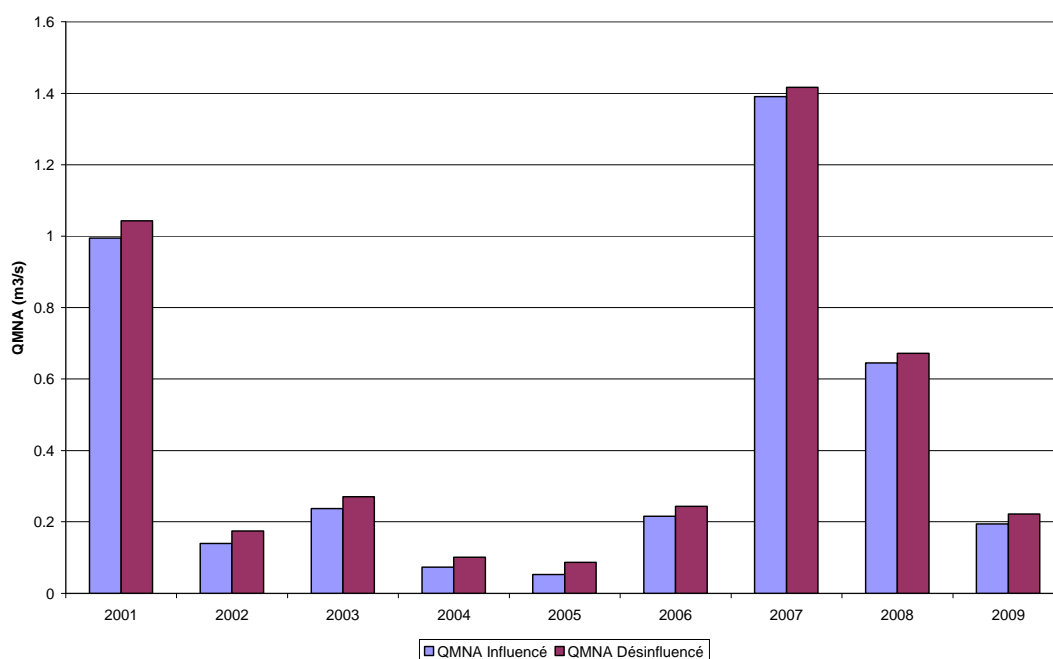


Figure 3-22 : Comparaison des QMNA influencés et désinflués sur la Tille à Arceau

Tableau 3-16 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluée sur la Tille à Arceau

		Module	QMNA 5	VCN3 5	VCN10 5
Etiage influencé	Valeur mesurée (m3/s)	6.651	0.099	0.071	0.077
	Valeur théorique simulée (m3/s)	6.289	0.099	0.077	0.080
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.058; 0.151]	[0.047;0.112]	[0.067;0.169]
	Erreur absolue (m3/s)	-0.362	0.000	0.006	0.003
	Erreur relative (%)	-5%	0%	8%	4%
Hydrologie désinfluée	Valeur théorique simulée (m3/s)	6.323	0.133	0.111	0.115
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.083; 0.192]	[0.075;0.152]	[0.067;0.169]
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	6.684	0.133	0.105	0.112
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	6.686	0.133	0.102	0.111
Valeur retenue (m3/s)		6.684	0.133	0.102	0.111
% d'évolution entre Q influencés et désinflués		1%	34%	44%	44%

Les résultats sur cette station montrent que le gain en terme de débit moyen est d'une trentaine de litres par seconde. Vu la faible présence de prélèvements liés à l'irrigation à l'amont de cette station (Arceau constitue la limite amont de la plaine irriguée de la Tille), on observe une faible variation du gain de débit entre les périodes estivales et hivernales. Ainsi, les valeurs des paramètres d'étiage calculés

sur la base de l'hydrologie désinfluencée sont supérieures aux valeurs mesurées de 30 à 35 litres par seconde. Cependant, le gain sur le QMNA5 est supérieur à 30% du QMNA5 actuel. Ce gain est supérieur à 40% pour les valeurs de VCN par rapport à la situation actuelle.

3.4.1.5 Bassin versant de la Tille à l'amont de Cessey-sur-Tille

La Figure 3-23 présente la comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à la station hydrométrique de Cessey-sur-Tille. La Figure 3-24 présente l'évolution de la différence des débits moyens mensuels influencés et désinfluencés alors que la Figure 3-25 présente la comparaison des QMNA issus des simulations influencée et désinfluencée pour les années modélisées. Enfin, le Tableau 3-17 présente la comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage pour l'hydrologie influencée et désinfluencée à la même station.

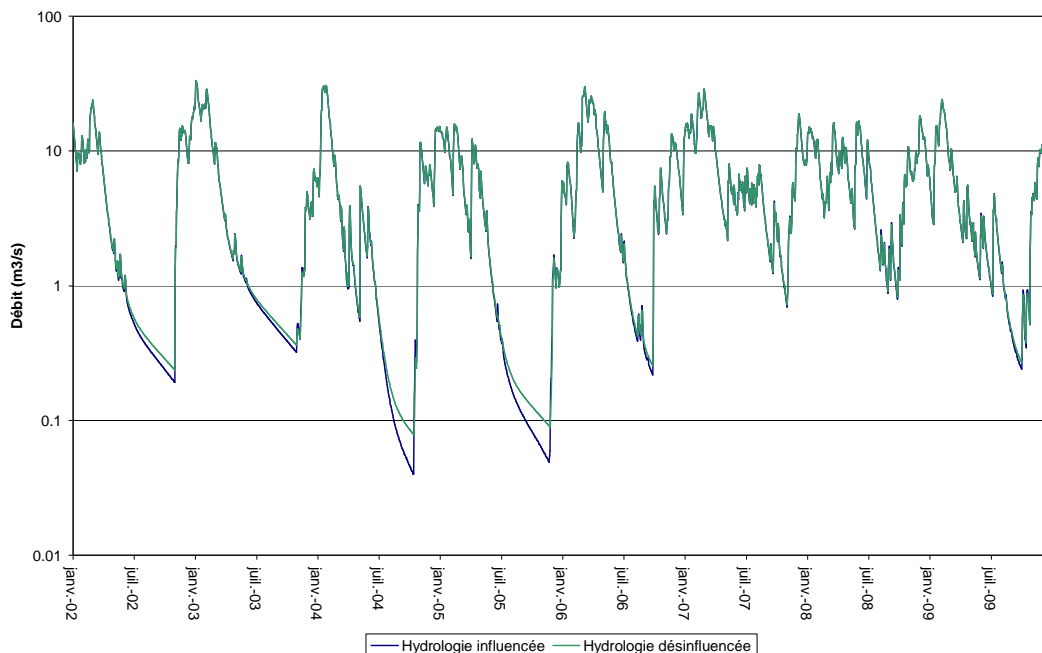


Figure 3-23 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à Cessey-sur-Tille

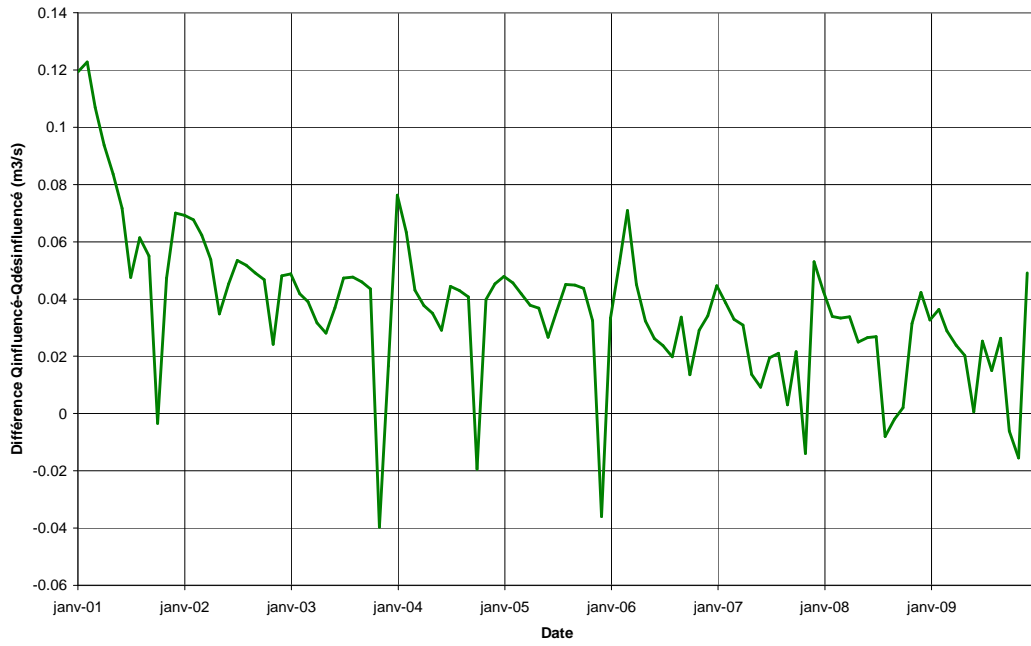


Figure 3-24 : Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluencés sur la Tille à Cessey-sur-Tille

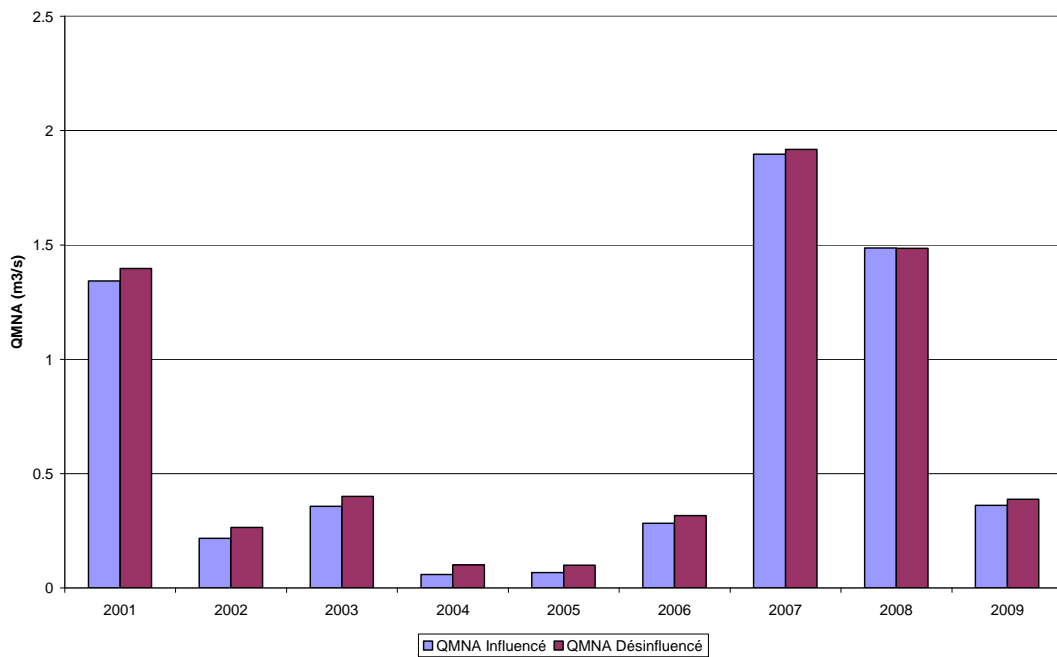


Figure 3-25 : Comparaison des QMNA influencés et désinfluencés sur la Tille à Cessey-sur-Tille

Tableau 3-17 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à Cessey-sur-Tille

		Module	QMNA 5	VCN3 5	VCN10 5
Débit	Valeur mesurée (m3/s)	6.062	0.124	0.085	0.097
	Valeur théorique simulée (m3/s)	6.262	0.126	0.095	0.099
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.068; 0.202]	[0.054;0.148]	[0.056;0.155]
	Erreur absolue (m3/s)	0.200	0.002	0.010	0.002
	Erreur relative (%)	3%	2%	12%	2%
Hydrologie désinfluencée	Valeur théorique simulée (m3/s)	6.299	0.170	0.143	0.147
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.100; 0.257]	[0.075;0.152]	[0.092;0.212]
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	6.099	0.168	0.133	0.145
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	6.097	0.167	0.128	0.144
	Valeur retenue (m3/s)	6.097	0.167	0.128	0.144
% d'évolution entre Q influencés et désinfluencés		1%	35%	51%	48%

Les résultats sur cette station montrent que le gain en terme de débit moyen est d'environ 35l/s. La présence de nombreux prélèvements agricoles à l'amont de la station considérée rend le gain attendu de l'arrêt des prélèvements et rejets plus importants en période estivale. Ainsi, le QMNA5 et le VCN3 5 augmentent de 43l/s en régime désinfluencé, et le VCN10 5 de 47l/s. Le gain attendu de l'arrêt des prélèvements et rejets provoquent une augmentation de 35 à 50% des valeurs caractéristiques d'étiage.

3.4.1.6 Bassin versant de la Tille à l'amont de Champdôtre

La Figure 3-26 présente la comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à la station hydrométrique de Champdôtre. La Figure 3-27 présente l'évolution de la différence des débits moyens mensuels influencés et désinfluencés alors que la Figure 3-28 présente la comparaison des QMNA issus des simulations influencée et désinfluencée pour les années modélisées. Enfin, le Tableau 3-18 présente la comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage pour l'hydrologie influencée et désinfluencée à la même station.

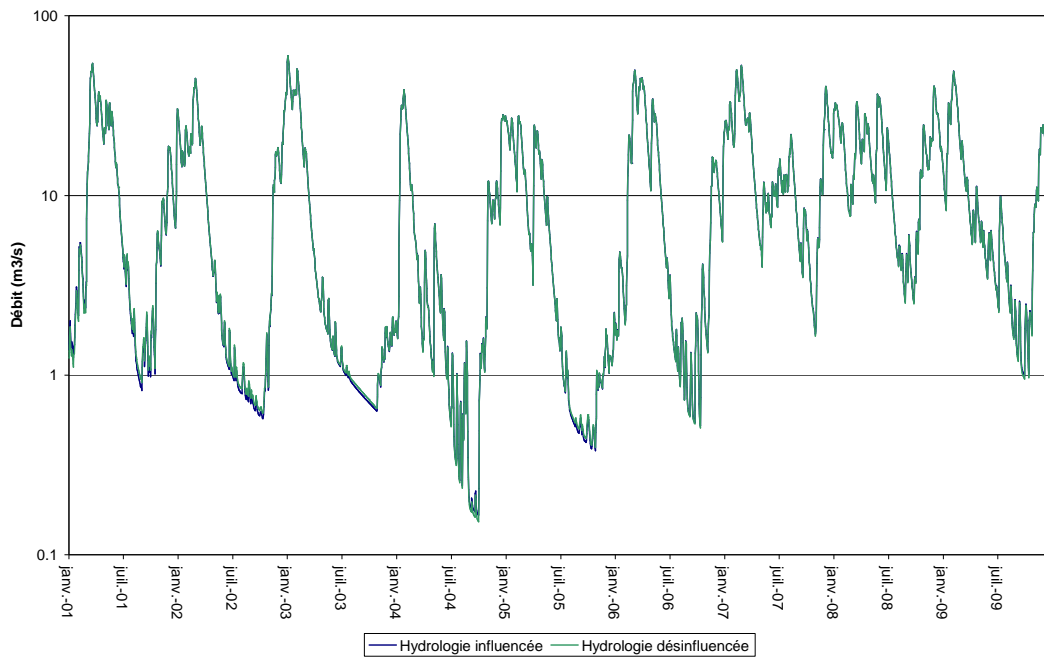


Figure 3-26 : Comparaison des séries temporelles de l’hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à Champdôtre

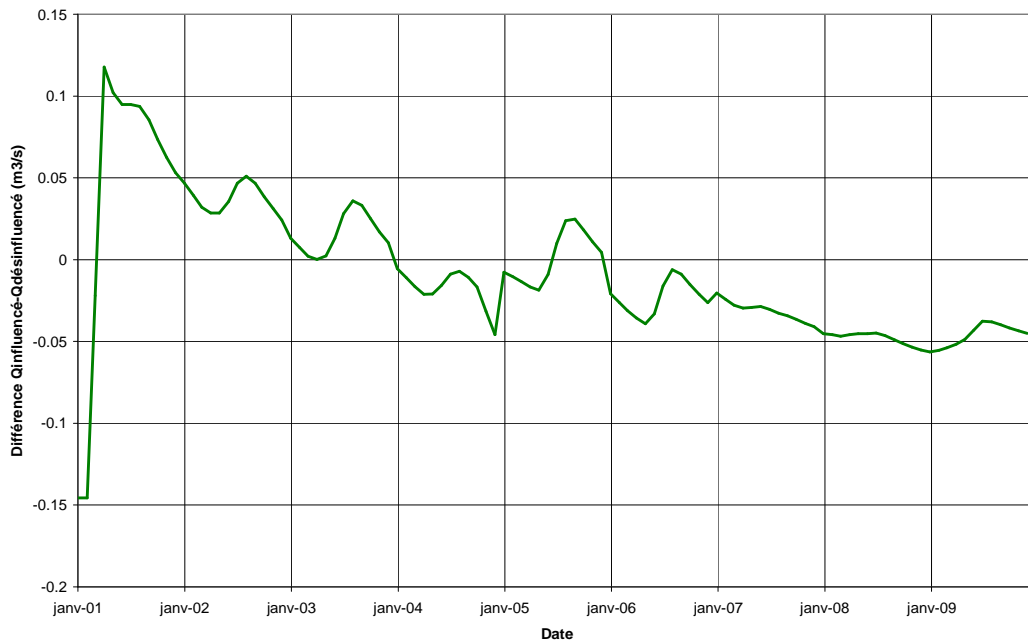


Figure 3-27 : Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluencés sur la Tille à Champdôtre

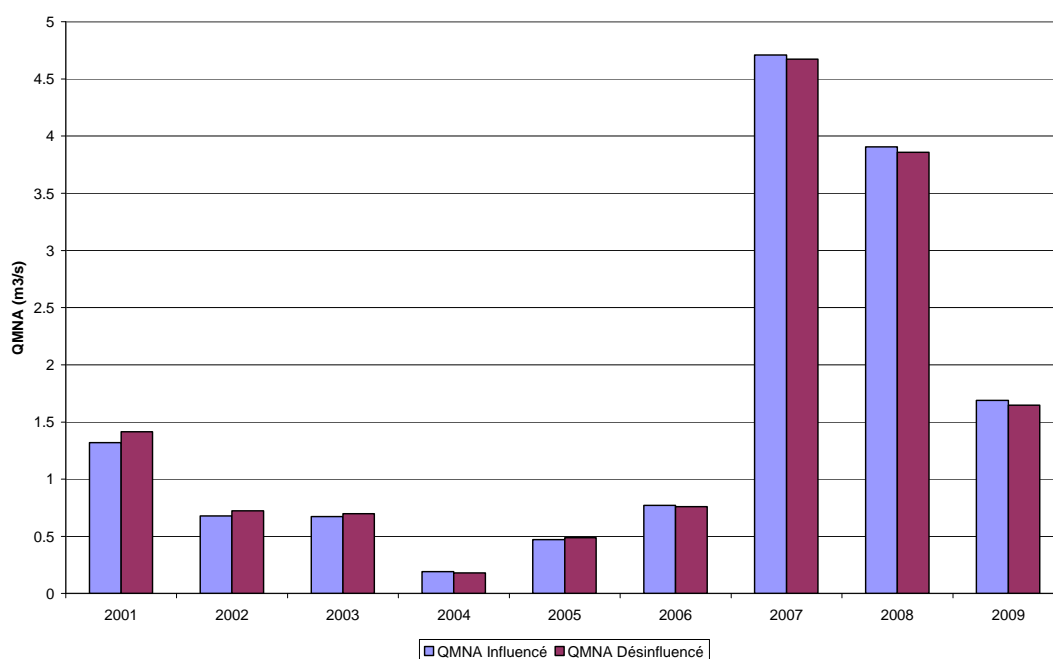


Figure 3-28 : Comparaison des QMNA influencés et désinfluencés sur la Tille à Champdôtre

Tableau 3-18 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Tille à Champdôtre

		Module	QMNA 5	VCN3 5	VCN10 5
Etiage influencé	Valeur mesurée (m3/s)	9.472	0.470	0.364	0.396
	Valeur théorique simulée (m3/s)	10.891	0.463	0.397	0.386
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.267; 0.638]	[0.247;0.491]	[0.256;0.517]
	Erreur absolue (m3/s)	1.419	-0.007	0.033	-0.010
	Erreur relative (%)	15%	-1%	9%	-3%
Hydrologie désinfluencée	Valeur théorique simulée (m3/s)	10.883	0.440	0.363	0.353
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.269; 0.645]	[0.245;0.492]	[0.256;0.520]
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	9.464	0.447	0.330	0.363
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	9.465	0.447	0.333	0.362
Valeur retenue (m3/s)		9.464	0.447	0.330	0.362
% d'évolution entre Q influencés et désinfluencés		0%	-5%	-9%	-9%

L'analyse de cette station située à l'exutoire du bassin versant produit des résultats contradictoires. En effet, malgré la présence de prélèvements très importants à l'amont de la station hydrométrique, les débits obtenus pour l'hydrologie désinfluencée sont quasiment systématiquement inférieurs aux débits mesurés à partir de 2004 (Figure 3-27). Cela s'explique par la présence d'importantes

restitutions au milieu naturel liées aux rejets de stations d'épuration sur la partie aval du bassin versant. Ces restitutions sont supérieures en volume aux prélèvements, témoignant ainsi du déficit du bassin versant en eau destinée à l'usage domestique (ce déficit conduisant à l'import sur le bassin versant de la Tille d'environ 1,5 Mm³ par an). La baisse du débit moyen entre l'hydrologie influencée et l'hydrologie désinfluencée est légèrement inférieure à 10l/s.

Il est intéressant de souligner que pour les années pour lesquelles les prélèvements agricoles sont importants (2001, 2002, 2003 et 2005 notamment), les valeurs de QMNA plus importantes en mode désinfluencé qu'en mode influencé, ce qui n'est pas le cas pour les autres années analysées. Cela s'explique par le fait que, pour ces années particulièrement sèches, les prélèvements agricoles ont complètement compensés les apports de l'extérieur du bassin versant via le réseau d'eau potable durant les mois d'étiage. Depuis que les niveaux de prélèvements agricoles sont à la baisse (2007), les apports des bassins versants extérieurs via les réseaux d'alimentation en eau potable conduisent à avoir globalement plus d'eau dans la Tille à Champdôtre en mode influencé qu'en mode désinfluencé.

Ce constat pousse à mettre en œuvre une éventuelle réduction des prélèvements (et donc aussi des rejets associées) de manière pertinente afin de ne pas trop atténuer le rôle de soutien d'étiage joué par les stations d'épuration dans des secteurs (Tille aval) également sensibles au déficit quantitatif. La réflexion sur les débits minimums biologiques qui sera menée en phase 4 devra tenir compte de ces informations, sans pour autant éluder la problématique de la qualité des eaux rejetées et de leur impact sur le milieu naturel.

3.4.1.7 Bassin versant de la Norges à l'amont de Saint-Julien

La Figure 3-29 présente la comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Norges à la station hydrométrique de Saint-Julien. La Figure 3-30 présente l'évolution de la différence des débits moyens mensuels influencés et désinfluencés alors que la Figure 3-31 présente la comparaison des QMNA issus des simulations influencée et désinfluencée pour les années modélisées. Enfin, le Tableau 3-19 présente la comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage pour l'hydrologie influencée et désinfluencée à la même station.

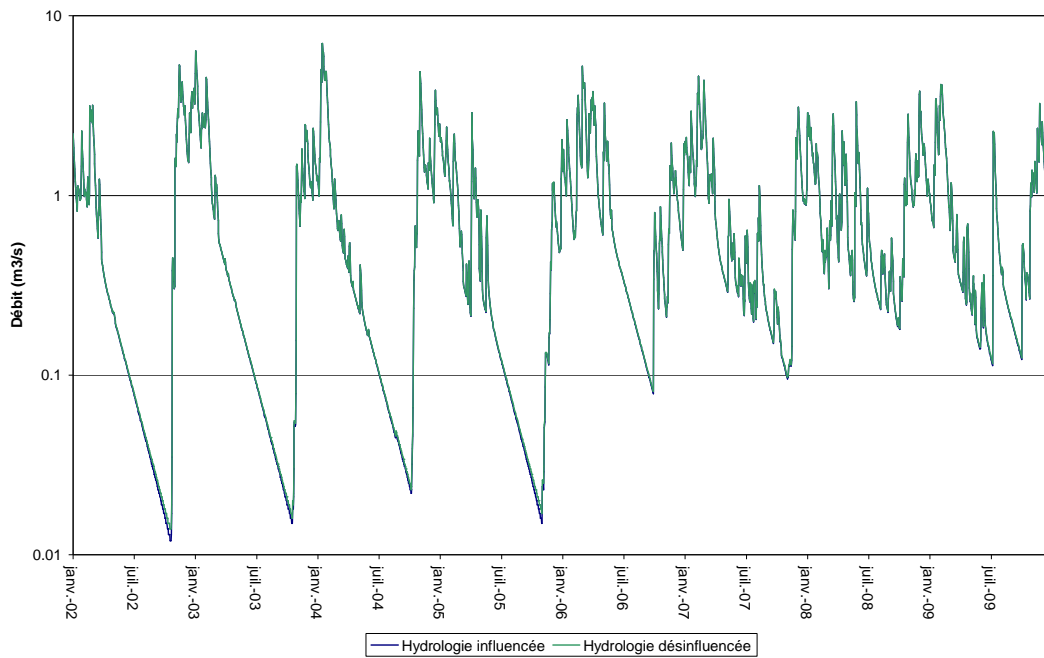


Figure 3-29 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Norges à Saint-Julien

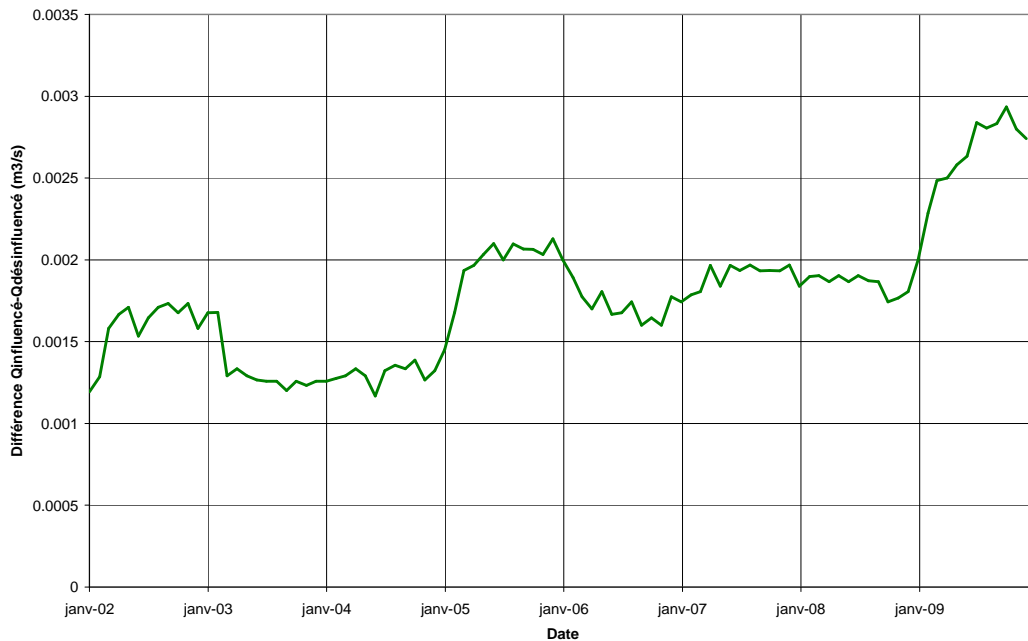


Figure 3-30 : Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluencés sur la Norges à Saint-Julien

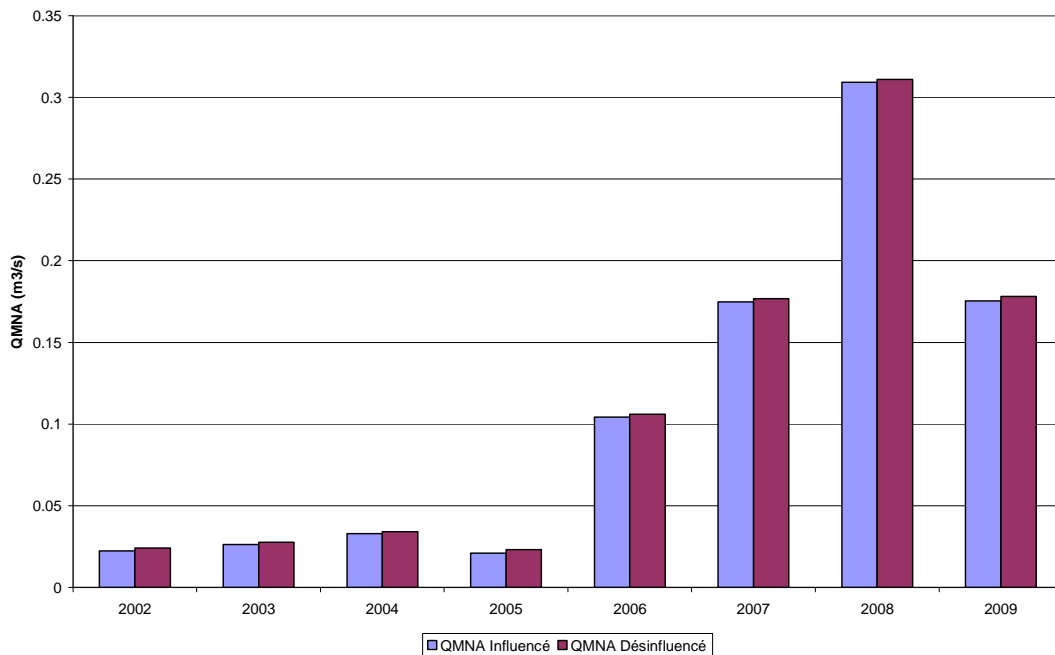


Figure 3-31 : Comparaison des QMNA influencés et désinfluencés sur la Norges à Saint-Julien

Tableau 3-19 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Norges à Saint-Julien

	Module	QMNA 5	VCN3 5	VCN10 5	
Hydrologie influencée	Valeur mesurée (m3/s)	0.953	0.027	0.017	0.018
	Valeur théorique simulée (m3/s)	0.859	0.027	0.017	0.018
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.015; 0.041]	[0.010;0.026]	[0.010;0.027]
	Erreur absolue (m3/s)	-0.094	0.000	0.000	0.000
	Erreur relative (%)	-10%	0%	0%	0%
Hydrologie désinfluencée	Valeur théorique simulée (m3/s)	0.861	0.028	0.019	0.020
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.016; 0.043]	[0.011;0.028]	[0.011;0.030]
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	0.955	0.028	0.019	0.020
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	0.955	0.028	0.019	0.020
	Valeur retenue (m3/s)	0.955	0.028	0.019	0.020
% d'évolution entre Q influencés et désinfluencés	0%	4%	12%	11%	

Les résultats sur cette station montrent que le gain en terme de débit moyen est très faible, environ 2l/s. Vu la faible présence de prélèvements liés à l'irrigation dans cette partie haute du bassin versant, on observe une faible variation du gain de débit entre les périodes estivales et hivernales. Ainsi, les valeurs des paramètres d'étiage calculés sur la base de l'hydrologie désinfluencée sont supérieures aux valeurs

mesurées d'environ 2l/s également. Les gains attendus sur les valeurs caractéristiques d'étiage entre hydrologie influencée et désinfluencée sont d'environ 7 à 10% des valeurs actuelles.

3.4.1.8 Bassin versant de la Norges à l'amont de Genlis

La Figure 3-32 présente la comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Norges à la station hydrométrique de Genlis. La Figure 3-33 présente l'évolution de la différence des débits moyens mensuels influencés et désinfluencés alors que la Figure 3-34 présente la comparaison des QMNA issus des simulations influencée et désinfluencée pour les années modélisées. Enfin, le Tableau 3-20 présente la comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage pour l'hydrologie influencée et désinfluencée à la même station.

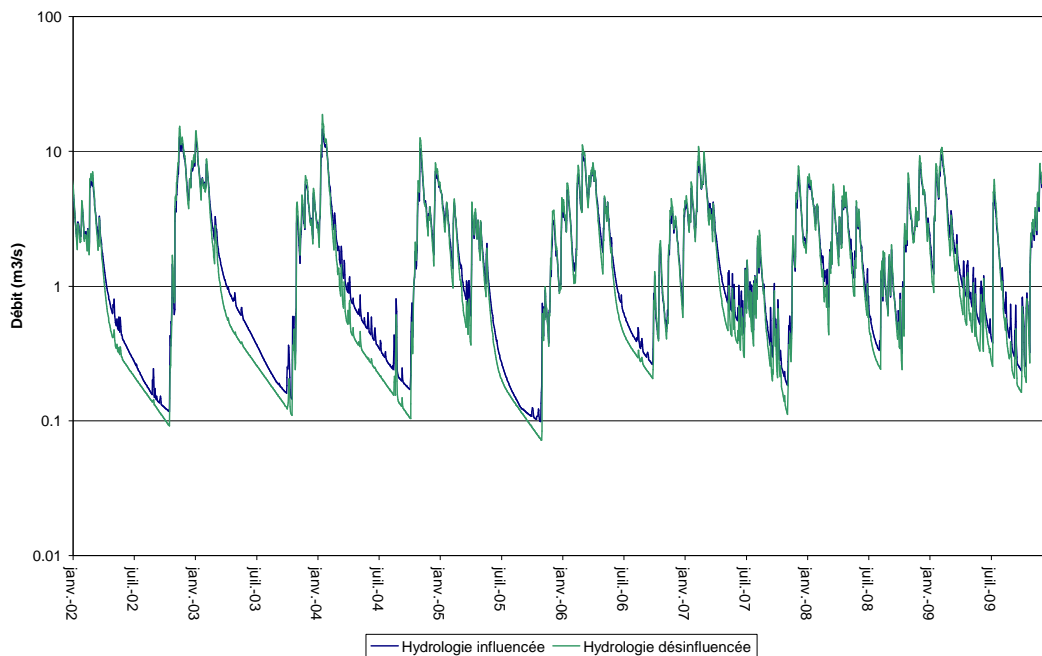


Figure 3-32 : Comparaison des séries temporelles de l'hydrologie influencée et désinfluencée sur la Norges à Genlis

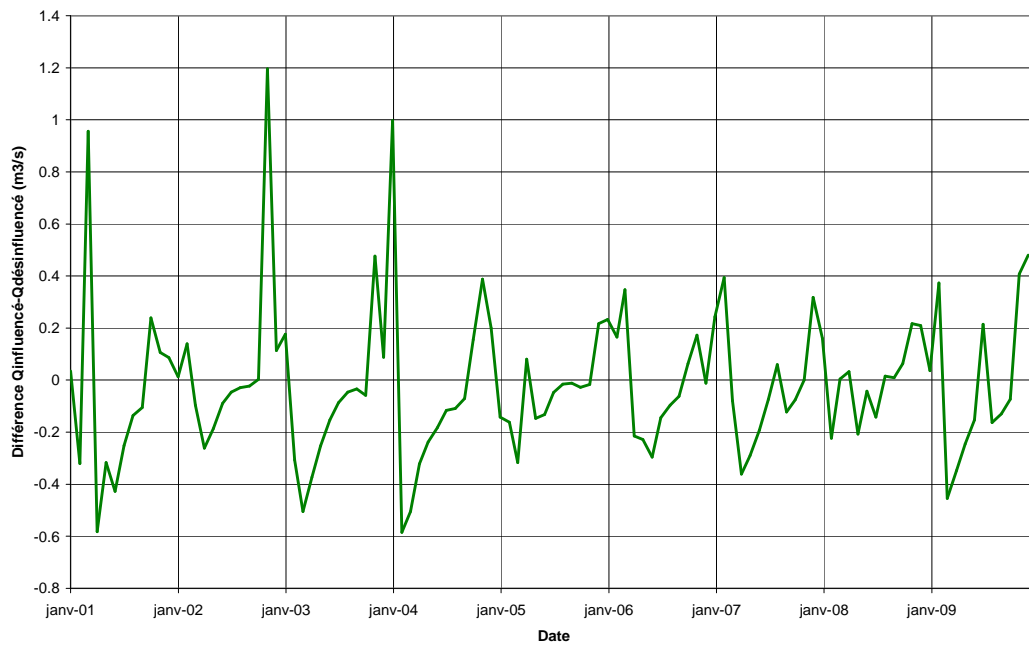


Figure 3-33 : Évolution de la différence entre débits mensuels influencés et désinfluentés sur la Norges à Genlis

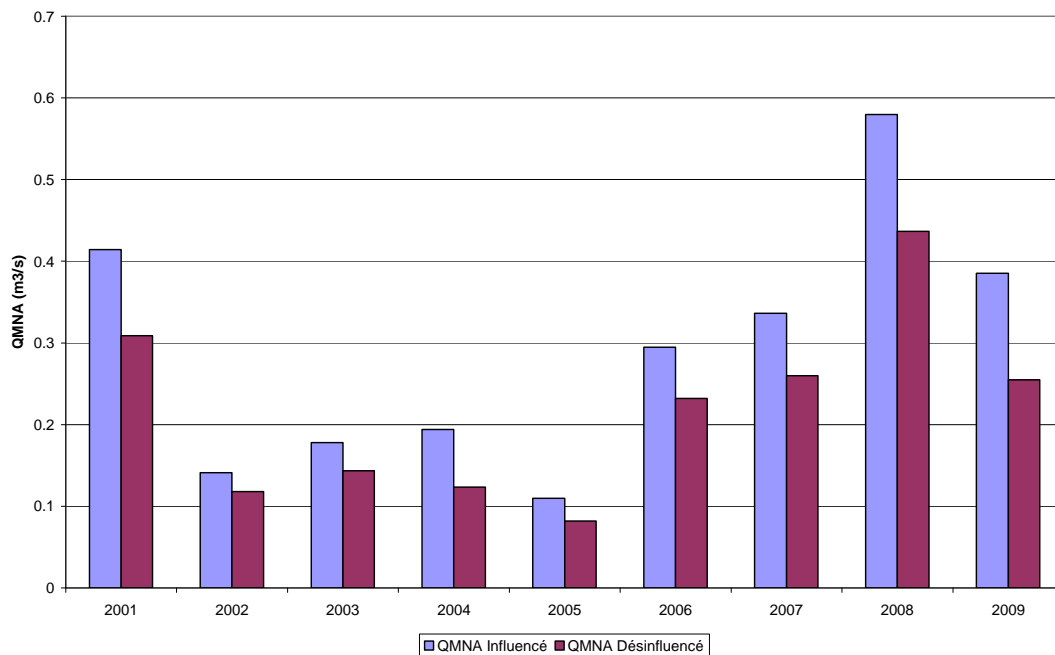


Figure 3-34 : Comparaison des QMNA influencés et désinfluentés sur la Norges à Genlis

Tableau 3-20 : Comparaison des valeurs caractéristiques d'étiage en hydrologie influencée et désinfluencée sur la Norges à Genlis

		Module	QMNA 5	VCN3 5	VCN10 5
Hydrologie influencée	Valeur mesurée (m3/s)	2.237	0.162	0.117	0.129
	Valeur théorique simulée (m3/s)	2.205	0.161	0.133	0.140
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.124; 0.199]	[0.108;0.159]	[0.114;0.167]
	Erreur absolue (m3/s)	-0.032	-0.001	0.016	0.011
	Erreur relative (%)	-1%	-1%	14%	9%
Hydrologie désinfluencée	Valeur théorique simulée (m3/s)	2.184	0.122	0.094	0.100
	Bornes intervalles de confiance 70% (m3/s)	/	[0.094; 0.149]	[0.075;0.112]	[0.079;0.119]
	Valeur corrigée par erreur absolue (m3/s)	2.215	0.123	0.078	0.089
	Valeur corrigée par erreur relative (m3/s)	2.215	0.123	0.083	0.092
	Valeur retenue (m3/s)	2.215	0.123	0.078	0.089
% d'évolution entre Q influencés et désinfluencés		-1%	-24%	-33%	-31%

On observe sur cette station un phénomène similaire à la station de la Tille à Champdôtre, c'est-à-dire des débits obtenus pour l'hydrologie désinfluencée inférieurs aux débits mesurés. Cela s'explique par la présence d'importantes restitutions au milieu naturel liées aux rejets de stations d'épuration (les trois plus grosses stations d'épuration du bassin versant étant situées à l'amont de Genlis sur la Norges). Ces restitutions sont supérieures en volume aux prélèvements, témoignant ainsi du déficit du bassin versant en eau destinée à l'usage domestique (ce déficit conduisant à l'import sur le bassin versant de la Tille d'environ 1,5 Mm³ par an).

A l'inverse de la Tille à Champdôtre, où on constatait une hausse des valeurs caractéristiques d'étiage entre l'hydrologie influencée et l'hydrologie désinfluencée les années pour lesquelles les prélèvements agricoles sont importants, les débits pour l'hydrologie désinfluencée sont ici toujours inférieurs aux débits pour l'hydrologie influencée. Il existe cependant des variations sur les écarts entre les deux chroniques de débit suivant les saisons et les années (dépendant des niveaux de prélèvement au regard des rejets). En moyenne, on constate une baisse des débits d'étiage de l'ordre de 40l/s sur la période considérée.

Comme sur la Tille aval, une réflexion devra être menée sur les possibilités de réduction des prélèvements (et donc aussi des rejets associées) sans annihiler le rôle de soutien d'étiage joué par les stations d'épuration dans le sous bassin versant de la Norges. La réflexion sur les débits minimums biologiques qui sera menée en phase 4 devra tenir compte de ces informations, sans pour autant éluder la problématique de la qualité des eaux rejetées et de leur impact sur le milieu naturel.

3.4.2 Synthèse des résultats de l'hydrologie désinfluencée

Les résultats de l'hydrologie désinfluencée et leur comparaison avec les valeurs de l'hydrologie influencée sont synthétisés sur la carte présentée en Figure 3-35 et sur les profils en long des débits d'étiage de la Tille et de la Norges présentés respectivement sur les Figure 3-36 et Figure 3-37.

Sur ces deux figures, on peut noter que sur les parties amont des bassins versants, les débits naturels sont systématiquement supérieurs aux débits influencés, mais que ce constat s'inverse sur les parties aval des bassins versants (Norges à Genlis et Tille à Champdôtre). Comme déjà décrit plus haut, le fait d'avoir des débits naturels inférieurs aux débits influencés s'expliquent par le fait que la partie aval du bassin versant est sous influence de rejets importants de stations d'épuration, dont une partie est importée d'autres bassins versants. Le bilan « Prélèvements – Rejets » est donc négatif sur ces secteurs.

Ces résultats montrent l'importance des rejets de STEP sur le débit des cours d'eau en étiage.

Ils ne permettent par contre pas d'avoir une grande finesse sur l'impact des prélèvements en nappe sur ce même débit d'étiage. D'une part les prélèvements sont pris en compte par le modèle hydrologique de manière globale sur le bassin considéré, d'autre part la fonction d'atténuation considérée par le module NAM reste approchée.

L'impact réel des prélèvements en nappe sur le débit d'étiage doit plutôt être recherché dans les résultats de la modélisation de nappe (chapitre 2).

On a vu en particulier que le déficit réel aux cours d'eau était limité à moins de 30% des prélèvements globaux en nappe, soit 30 l/s en été depuis 2007 pour une station comme Champdôtre à l'aval du bassin. Ce déficit pouvait monter à 60 l/s avant 2007 avec des prélèvements agricoles plus importants.

Le modèle permet de détailler ce déficit selon les sous bassin de la Norges, de la Tille moyenne ou aval.

Étude de détermination des volumes prélevables sur le bassin versant de la Tille

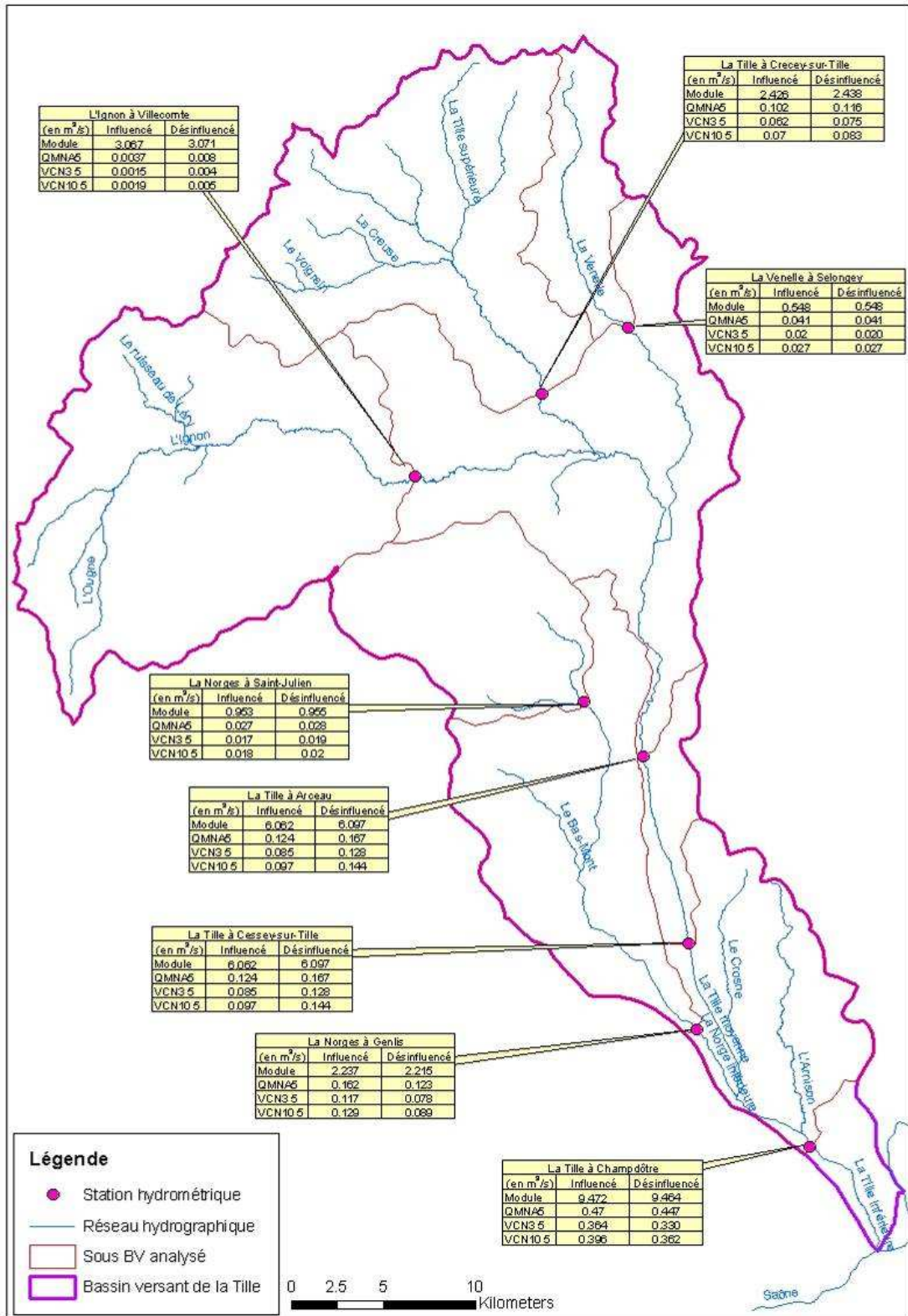


Figure 3-35 : Carte de présentation des résultats de l'hydrologie désinfluencée sur la bassin versant de la Tille

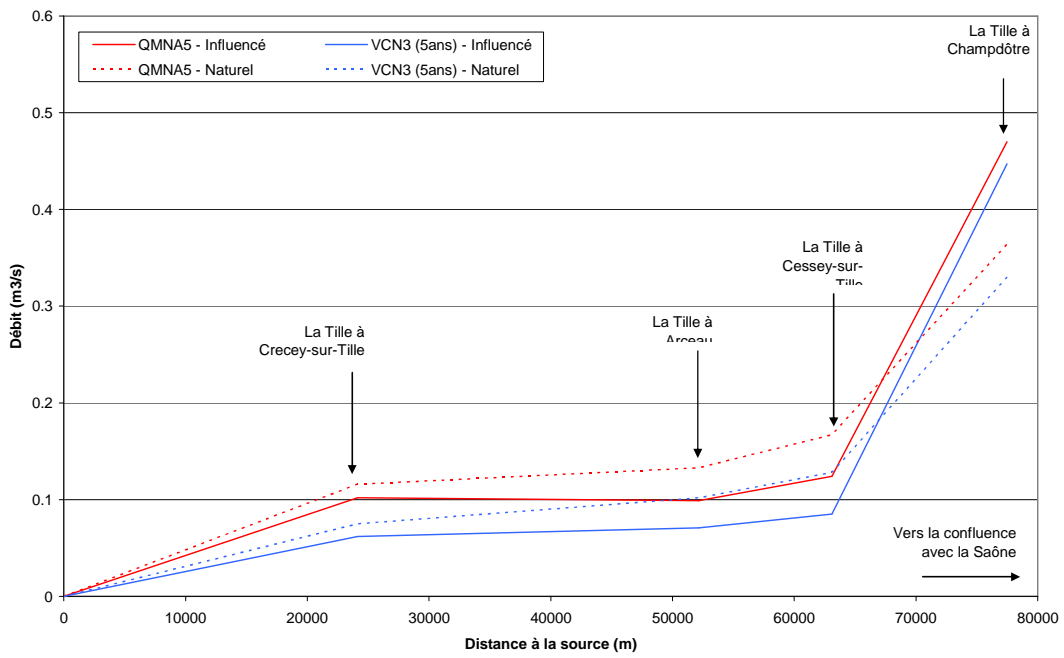


Figure 3-36 : Comparaison des débits d'étiage naturels et influencés sur la Tille

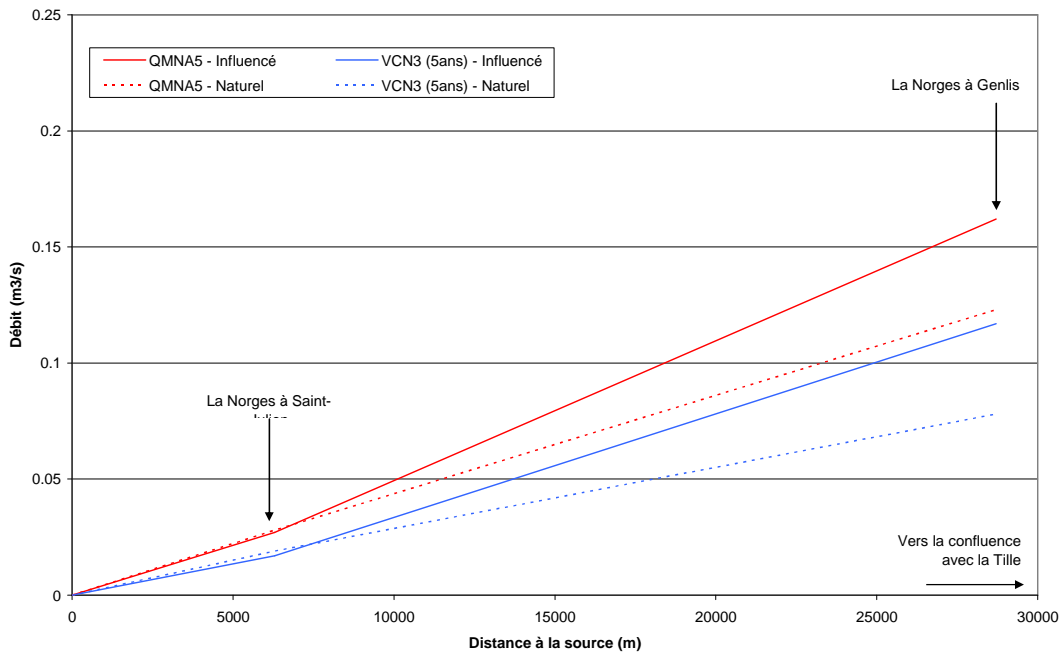


Figure 3-37: Comparaison des débits d'étiage naturels et influencés sur la Tille

ANNEXE 1

BIBLIOGRAPHIE

AERMC (2010-2015) : SDAGE du bassin Rhône-Méditerranée

AERMC (2000-2009) : Données brutes / Redevances prélèvements et rejets

AERMC : Données brutes / scan 25

AERMC (2000) : Données brutes / données RGA 2000

ALTERRE BOURGOGNE (2010) : Adaptation au changement climatique : évaluation de la réserve en eau des sols. Rapport technique. Février 2010.

ARS Bourgogne : Données brutes / qualité des eaux brutes de 10 captages AEP

BRGM : Données brutes / Piézomètres de suivi ADES

BRGM (2004) : Document d'orientation sur les risques sanitaires liés aux carrières

BRGM (2003) : Ressources patrimoniales en eau souterraine dans le département de la cote d'or : Délimitation, caractéristiques et propositions pour leur préservation

BRGM (2007) : Optimisation et extension du réseau de suivi quantitatif des eaux souterraines dans les départements 21 et 71 - Proposition de points à équiper

BRGM (2009) : Synthèse hydrogéologique Bourgogne

Cabinet Caille (2006) : Étude Bac Champdôtre

Cabinet Caille (2008) : Évaluation de la distance d'incidence des prélèvements souterrains sur les cours d'eau de la cote d'or

CEMAGREF (2007) : Incidence changements climatiques

CEMAGREF (2008) : Estimhab : Estimation de l'impact sur l'habitat aquatique de la gestion hydraulique des cours d'eau. CEMAGREF Lyon. Juin 2008.

CG21: Données brutes qualité de l'eau des cours d'eau

Chambre agriculture 21 : Données brutes piézométriques pour 6 points

Chambre agriculture 21 : Données brutes / Quantités autorisés pour irrigation

Chambre agriculture 21 : Données brutes / Quantités prélevées pour irrigation

Conseil général 21, Satese : Données brutes / rejets STEP

CPGF (1978) : Etude hydrogéologique des calcaires rive droite et rive gauche, DDAF 21, rapports 1810 et 1811

CPGF (1982) : Etude du système aquifère Tille Venelle Bèze, DDA21, rapport 2268

CPGF (1990) : Étude de vulnérabilité du captage de Genlis, Scetauroute, n° 3701

CPGF (1990) : Synthèse de la vallée des Tilles, DDAF 21, rapport 2829

CPGF-Horizon (1997) : Gestion des ressources en eaux souterraines de la Tille

CPGF-Horizon (1997) : Modèle hydrogéologique de la Tille

CPGF-Horizon (2009) : Étude BAC du captage d'Echenon

CPGF-Horizon (2010) : Étude BAC Source de la Norge

DDAF (2006) : Étude de la compatibilité entre les prélèvements d'eau pour l'irrigation et la ressource en eau superficielle dans le bassin versant de la Tille aval

DREAL

DREAL : Données brutes sur la qualité des cours d'eau

EPTB SAONE-DOUBS (2009) : Qualité des eaux du bassin versant de la Tille. Contrat de Bassin de la Tille.

EPTB (2010) : Contrat bassin Tille

EPTB : Données brutes SIG

Fédération de Pêche : Données brutes / pêche électrique

FNDAE (1985-2004) : Données brutes / Consommations AEP des communes ou syndicats de Cote d'or

IPSEAU / SCIENCES ENVIRONNEMENT (1999) : Schéma d'Aménagement et de Gestion du Bassin Versant de la Tille et de ses Affluents.

IPSEAU / SCIENCES ENVIRONNEMENT (2003) : Évaluation des ressources et des besoins en eau dans le bassin de la Tille à l'aval de Lux.

Lisa LARGERON (2008) : Rapport de stage / Bilan quantitatif de la ressource en eau du bassin versant de l'Ouche

SAGE de l'Ouche - État des lieux"

MISE 21 : Données brutes / Arrêtés sécheresse

ONEMA : Données brutes / pêche électrique

Rapport de stage d'Aude Jaouen.

SAFEGE (2006) : Étude BAC Lux

SAFEGE (2006) : SDAEP SIPIT

SAFEGE (2007) : SDAEP SCOT Dijonnais

SAFEGE (2009) : Etude périmètres de protection captage de Diénay, SIE Charmoy

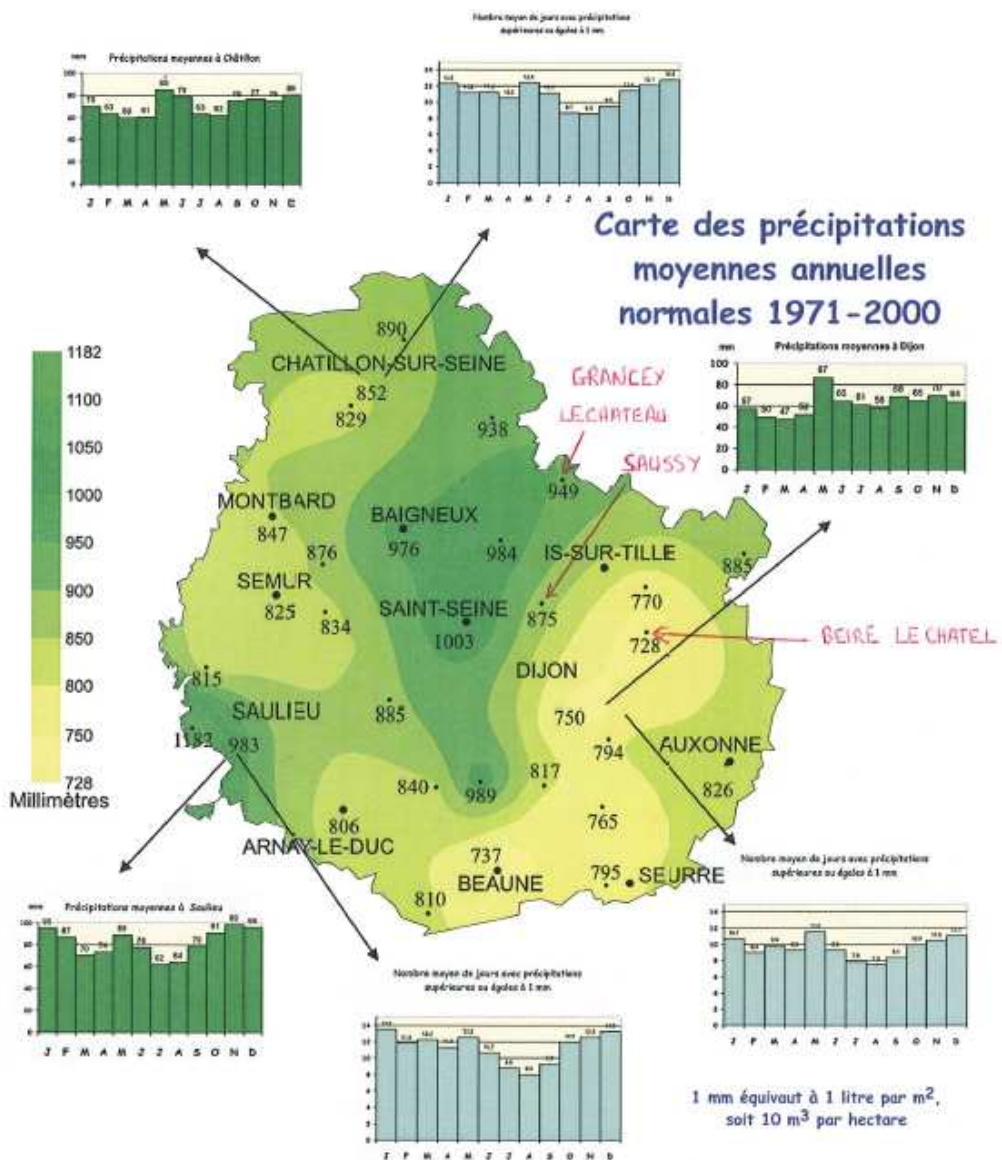
SAFEGE (2009) : Évaluation environnementale du 4^e programme d'action directive nitrates

SOGREAH (2010) : Restauration physique des milieux aquatiques et gestion des risques inondations sur le bassin de la Tille – Phase 1 : État des lieux & Diagnostic. Rapport d'étude, version provisoire, pour l'EPTB Saône-Doubs. Février 2010.

ANNEXE 2

CARTE ISOHYÈTE DES PRÉCIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES NORMALES EN CÔTE-D'OR SUR 1971-2000

LES PRECIPITATIONS EN COTE-D'OR



La Côte-d'Or reçoit une hauteur d'eau annuelle moyenne de 850 mm.

On observe:

- 2 axes relativement secs bénéficiant d'un effet d'abri dû au relief, la Plaine de la Saône et l'Auxois.
- 3 zones excédentaires toutes bien exposées au flux océanique humide, les Hautes Côtes, la Montagne et le Morvan.