

ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVABLES GLOBAUX



PHASE 3 : IMPACT DES PRELEVEMENTS ET QUANTIFICATION DES RESSOURCES EXISTANTES



Sous-bassin versant du Pays de Gex

Rapport • Septembre 2013

Étude 11-027/01



SOMMAIRE

1 Eaux souterraines.....	5
1.1 Reconstruction des niveaux/débits non influencés.....	5
1.1.1 Captages superficiels (sources)	5
1.1.2 Zones de captage par puits ou forages	13
1.2 Proposition de points de référence	35
2 Eaux superficielles	39
2.1 Préambule	39
2.2 Objectifs et principes	39
2.3 Détermination des points stratégiques de référence.....	40
2.4 Collecte et traitement des données débitmétriques	44
2.4.1 Recensement des stations de suivi continu et analyse statistique des débits ..	44
2.4.2 Analyse comparative des stations continues	51
2.4.3 Recensement des stations de mesures ponctuelles	52
2.4.4 Campagnes de jaugeages.....	52
2.5 Caractérisation de l'étiage au niveau des points de référence	55
2.5.1 Méthodologie	55
2.5.2 Estimation des débits caractéristiques d'étiage pour chacun des points de référence	56
2.5.3 Bilan des résultats obtenus.....	63
2.6 Reconstitution de l'hydrologie non influencée – modélisation	64
2.6.1 Description du modèle	64
2.6.2 Conception et interprétation du modèle	66
2.6.3 Estimation des incertitudes.....	91
2.6.4 Conclusions sur la modélisation	91
3 Relations eaux superficielles / eaux souterraines	92
3.1 Préambule	92
3.2 Analyse globale	94
3.3 Analyse de détail	95
3.3.1 La zone de captage Chenaz entre le By et le Journans.....	95
3.3.2 La zone de captage du Puits du Marais (puits de Crozet).....	101
3.4 Mise en place de stations de mesures de débits fixes	106
3.4.1 Choix des sites d'implantation	106
3.4.2 Choix du positionnement de l'enregistreur	107
3.4.3 Matériel.....	107
3.4.4 Travaux à réaliser sur les stations	110

ANNEXES

Annexe 1 : Localisation des stations de mesures ponctuelles françaises et suisses

Annexe 2 : Prélèvements et rejets anthropiques par sous bassins versant

FIGURES

Figure 1 : modèle numérique globale sur la zone de La Praslée	10
Figure 2 : Mailles de rivières du modèle numérique globale sur la zone de La Praslée	12
Figure 3 : carte piézométrique proche de celle de l'état initial pour Pré Bataillard	15
Figure 4 : Modèle Chenaz : champ de perméabilité	19
Figure 5 : piézométrie naturelle reconstituée	20
Figure 6 : flux d'échange avec les rivières sur le modèle Chenaz	21
Figure 7 : Mesures de débit différentiel réalisées en juin et septembre 2012	23
Figure 8 : carte piézométrique proche de celle de l'état initial (1995)	31
Figure 9 : Situation de la zone de Greny dans le bassin du Roulave affluent de l'Allondon	32
Figure 10 : carte piézométrique "naturelle" calculée par le modèle	33
Figure 11 : Points de référence pour les eaux souterraines	36
Figure 12 : localisation des tronçons de référence	43
Figure 13 : stations de jaugeages	53
Figure 14 : Bilan des débits mensuels minimums d'étiage au niveau des points de référence	63
Figure 15 : Schéma représentant le fonctionnement d'un modèle de type GR	64
Figure 16 : Schéma de la structure du modèle GR2M	65
Figure 17 : Schéma de la structure du modèle GR4J	65
Figure 18 : Impacts des prélèvements et rejets sur le débit du cours d'eau	72
Figure 19 : Localisation des principaux éléments structurants et des sources du Pays de Gex	93
Figure 20 : Carte manuscrite du Professeur Thorat (Septembre 1952)	96
Figure 21 : Coupes des panneaux électriques passant par la zone de Chenaz	97
Figure 22 : Carte de représentation des formations de surface avec, en superposition, l'emplacement des panneaux électriques	98
Figure 23 : Coupe du panneau électrique passant par le puits du Marais	101
Figure 24 : Carte de représentation des formations de surface avec, en superposition, l'emplacement des panneaux électriques dont le panneau 3 de la figure 23	102
Figure 25 : Localisation de la station ALLO3 (ALE2)	104
Figure 26 : Localisation des secteurs potentiels de mise en place de stations de mesures de débits fixes sur le By et le Journans (Gauche) et l'Allondon (Droite)	106
Figure 27 : quelques types de sondes. De gauche à droite : Capteur de pression, flotteur, bulle à bulle, radar. D'après site internet de la société OTT	108

TABLEAUX

Tableau 1 : Fiabilité des stations hydrométriques disponibles	44
Tableau 2 : Liste des stations hydrométriques françaises	45
Tableau 3 : Liste des stations hydrométriques suisses.....	48
Tableau 4 : Débits caractéristiques d'étiage de l'Allondon et du Lion, de leur confluence vers l'aval en Suisse	57
Tableau 5 : Débits spécifiques caractéristiques d'étiage	58
Tableau 6 : QMNA spécifiques mensuels (l/s/km ²)	58
Tableau 7 : Débits caractéristiques d'étiage de la Versoix sur son tronçon de référence	59
Tableau 8 : Débits caractéristiques d'étiage de l'Oudar avant sa confluence avec la Versoix ..	59
Tableau 9 : Débits caractéristiques d'étiage du Grand Journans avant sa confluence avec le Lion	60
Tableau 10 - débits caractéristiques d'étiage du Lion de sa confluence avec le Grand Journans jusqu'à sa confluence avec l'Allondon	61
Tableau 11 : Débits caractéristiques d'étiage de l'Allemogne avant sa confluence avec l'Allondon.....	62
Tableau 12 : Comparaison des QMNA5 des stations de mesure en continue	71
Tableau 13 – débits influencés et naturels caractéristiques d'étiage aux stations VER2 et VER4	75
Tableau 14 - débits influencés et naturels caractéristiques d'étiage aux stations ALN2 et ALN6	75
Tableau 15 - débits influencés et naturels caractéristiques d'étiage aux stations OUD3 et ALE2	75
Tableau 16 - débits influencés et naturels caractéristiques d'étiage aux stations GJO4 et LIO3	75
Tableau 17 : Caractéristiques de calage du modèle GR2M.....	78
Tableau 18 : Caractéristiques de validation du modèle GR2M	83
Tableau 19 : Caractéristiques de calage du modèle GR4J.....	88
Tableau 20 : Caractéristiques de validation du modèle GR4J	89
Tableau 21 : avantages / inconvénients des différents systèmes / d'après IRD - Unité OBHI (Observatoires Hydrologiques et Ingénierie)	108

GRAPHIQUES

Graphique 1 : Evolution du débit moyen journalier minimum annuel de 1985 à 2010 à l'exutoire de l'Allondon	6
Graphique 2 : l'évolution du débit du groupe Nuchon-Cerisiers de mai 2008 à décembre 2011	7
Graphique 3 : Evolution des prélèvements mensuels pour le groupe Etai-Léchère	8
Graphique 4 : Evolution des prélèvements journaliers pour le groupe Etai-Léchère	8
Graphique 5 : courbe de tarissement de la source de La Praslée.....	9
Graphique 6 : Evolution de la piézométrie sur la zone de Pré Bataillard	13
Graphique 7 : Répartition des prélèvements sur la zone de Chenaz	17
Graphique 8 : Niveau pseudo-statique et dynamique sur le F5 CHENAZ	18
Graphique 9 : Suivi piézométrique du puits du Marais	25
Graphique 10 : Suivi piézométrique de Greny	26
Graphique 11 : Mesures de niveau anciennes sur le site de Greny	27
Graphique 12 : Evolution comparée des niveaux à Greny et Pré Bataillard	27
Graphique 13 : Evolution du débit moyen de l'Allondon à la station des Granges.....	28
Graphique 14 : Comparaison entre les prélèvements, la pluviométrie et les niveaux à Greny	29
Graphique 15 : Suivi du niveau d'eau sur le piézomètre DIREN à Greny.....	30
Graphique 16: QMNA mensuel spécifique (l/s/km ²)	51
Graphique 17: Débits caractéristiques d'étiage par station continue (l/s/km ²)	51
Graphique 18 : Corrélation entre deux stations hydrométriques Pont CFF et Allondon les Granges	57
Graphique 19 : Corrélation entre deux stations hydrométriques VER7 et Versoix-Papeterie	58
Graphique 20 : Corrélation entre deux stations hydrométriques VER11 et Versoix-Papeterie	59
Graphique 21 : Corrélation entre deux stations hydrométriques ALL11 et Allondon St-Genis.....	60
Graphique 22 : Corrélation entre deux stations hydrométriques ALL1 et Allondon St-Genis	62
Graphique 23 : Représentation des surfaces d'occupation des sols sur le bassin versant de l'Allondon	66
Graphique 24 : Représentation des surfaces d'occupation des sols sur le bassin versant du Lion	67
Graphique 25 : Représentation des surfaces d'occupation des sols sur le bassin versant de la Versoix	68
Graphique 26 : Représentation des surfaces d'occupation des sols sur le bassin versant de l'Oudar	68
Graphique 27 : Représentation des surfaces d'occupation des sols sur le bassin versant du Grand Journans.....	69
Graphique 28 : Représentation des surfaces d'occupation des sols sur le bassin versant du Vengeron	69
Graphique 29: Représentation des surfaces d'occupation des sols sur le bassin versant des Charmilles ..	70
Graphique 30 : Comparaison des modules influencés et naturels au niveau des différentes stations de référence	73
Graphique 31 : Comparaison des QMNA5 influencés et naturels au niveau des différentes stations de référence	74
Graphique 32 : Comparaison des VCN3 influencés et naturels au niveau des différentes stations de référence	74
Graphique 33 : Comparaison des débits influencés et naturels sur la période d'étiage de 2005.....	76
Graphique 34 : Courbes des débits observés et simulés sur la période de calage	88
Graphique 35 : Courbes des débits observés et simulés sur la période de validation.....	90
Graphique 36 : Suivi des niveaux piézométriques sur le piézomètre GéoForage et le forage de Chenaz n°5.....	99
Graphique 37 : Suivi des niveaux piézométriques sur le forage de Chenaz n°5	99
Graphique 38 : Evolution des niveaux dynamiques et pseudostatiques sur le forage de Chenaz n°5.....	100
Graphique 39 : Graphe de l'évolution du niveau de la nappe sur le puits du Marais	103
Graphique 40 : Evolution comparée du niveau de la nappe au puits du Marais et du débit de l'Allondon .	103
Graphique 41 : Zoom sur l'étiage 2009.....	105

1

Eaux souterraines

Ce chapitre présente la reconstitution des ressources naturelles en eau dans les différentes unités aquifères du Pays de Gex.

Cette reconstitution est effectuée soit directement à partir de l'interprétation des différentes données hydrométriques et de prélèvements, soit plus généralement par le biais de modèles, qui permettent de combler les lacunes d'observations et d'avoir ainsi des séries chronologiques plus continues, desquelles on peut dégager des statistiques (niveau piézométrique d'alerte par exemple). Il est alors possible de mettre en évidence l'impact des prélèvements sur les ressources en eau du bassin.

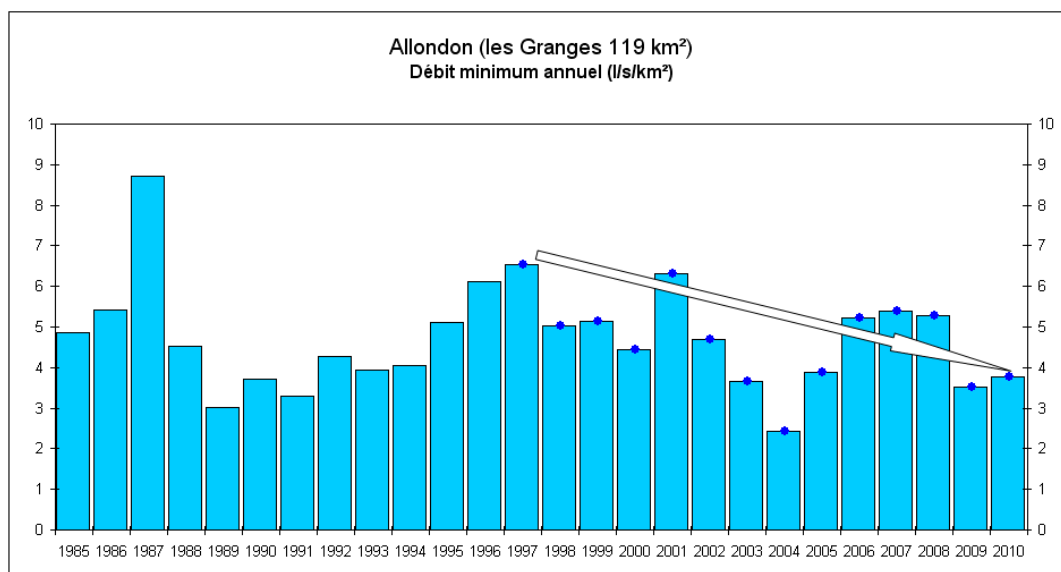
1.1 Reconstruction des niveaux/débits non influencés

1.1.1 Captages superficiels (sources)

En ce qui concerne les sources directement alimentées par le versant (Système Nuchon - Cerisiers, Système Etan - Léchère - Sous-Disse - Rechat, sources de Vesancy et de Léaz) les débits moyens, de crue ou d'étiage ne dépendent que des conditions hydro-climatiques et de leur évolution en fonction de cycles (solaires ou autres) non maîtrisables et/ou d'une influence entropique (effet de serre).

On dispose du débit complet (débit capté et surverse) sur les sources captées par la CCPG mais ces données ne sont pas toujours exploitables à ce jour, et il est donc difficile de relier ce débit aux conditions climatiques. On peut cependant constater que le déficit pluviométrique chronique de ces dernières années entraîne de fait une diminution des réserves dynamiques des aquifères et par conséquent, une diminution des débits d'étiage.

Le graphique 1 ci-après montre l'évolution du **débit moyen journalier minimum annuel** de 1985 à 2010 à l'exutoire de l'Allondon (cf. chapitre 3.3.2.1 du rapport phase 1). Il est tentant d'y voir un cycle d'une dizaine d'années (cycle solaire classique) avec des maxima en 1987, 1997 et 2007 et une tendance à la diminution globale depuis 1997. L'extrapolation (**TRES** hasardeuse) indiquerait que le cycle actuel de sécheresse pourrait se prolonger encore quelques années ...



Graphique 1 : Evolution du débit moyen journalier minimum annuel de 1985 à 2010 à l'exutoire de l'Allondon

En période d'étiage, les débits de source captés par bassin versant sont :

- Bassin de la Versoix amont : 700 m³/jour (8,1 l/s) au groupe Nuchon-Cerisiers
- Bassin de l'Oudar (Versoix) : 630 m³/jour (7,3 l/s) au groupe Disse-Léchère-Rechat-Vesancy
- Bassin du Grand Journans (Allondon) : 240 m³/jour (2,8 l/s) à la source de La Praslée
- Bassin versant "sud" : 92 m³/jour (1,1 l/s)

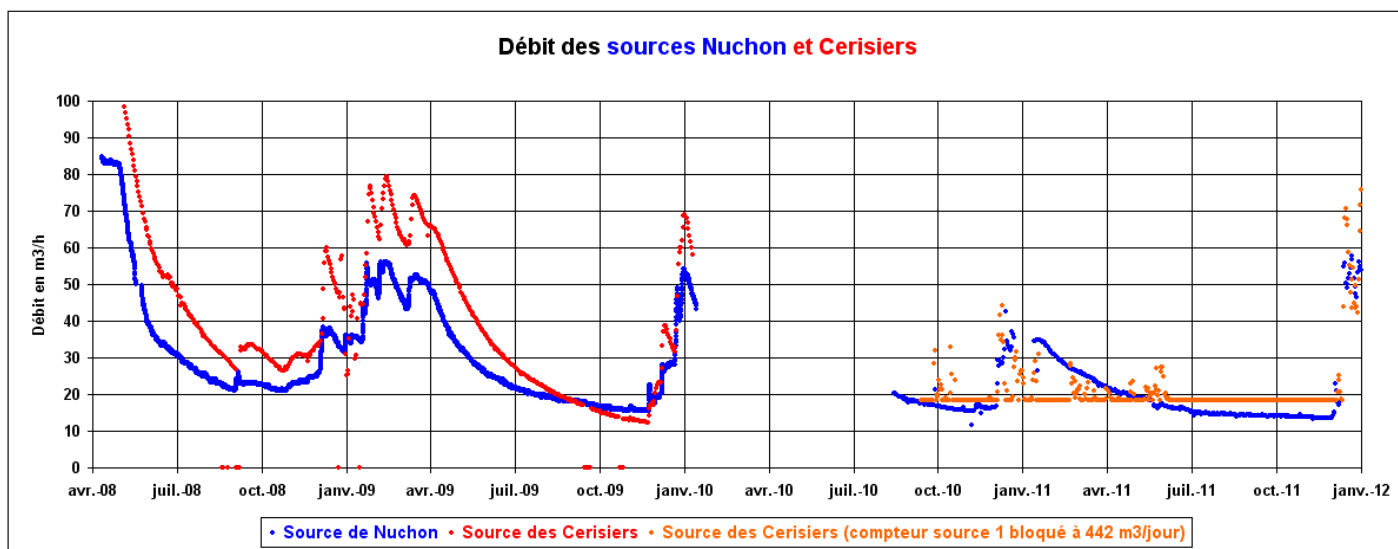
CONCLUSION PARTIELLE

Dans le détail, il est difficile, à ce stade, de fixer des débits maximums prélevables en condition d'étiage sur les différentes sources captées dans le Pays de Gex. A partir des chroniques de débits mesurés (voir les graphiques ci-après), on peut proposer des ordres de grandeur en précisant toutefois que les conditions d'émergence des sources varient d'un groupe à l'autre. Ce point sera abordé dans la suite de l'étude sur les Débits Biologiques.

1.1.1.1 Sources en écoulement «gravitaire» au contact du substratum imperméable : exemples Nuchon et (dans une certaine mesure) Cerisiers, source de Vesancy et sources "de Léaz".

Dans ce cas, l'écoulement est entièrement tributaire des conditions hydro-climatiques et de la vidange du réservoir souterrain à l'amont. Par ailleurs, on ne dispose pas toujours des débits de trop-plein (au droit des coffres de captage, des chambres de répartition et/ou des chambres de départ des canalisations).

Le graphique 2 ci-dessous illustre l'évolution du débit du groupe Nuchon-Cerisiers de mai 2008 à décembre 2011 :

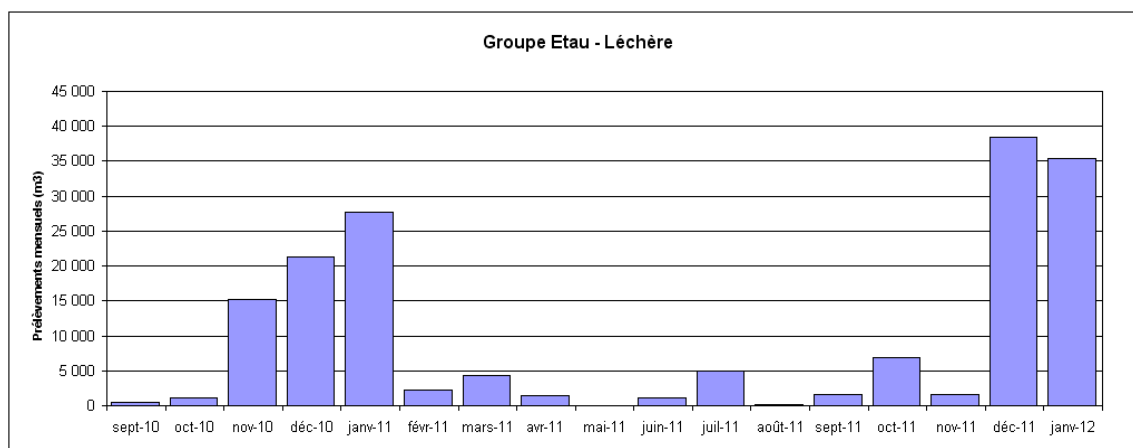


Graphique 2 : l'évolution du débit du groupe Nuchon-Cerisiers de mai 2008 à décembre 2011

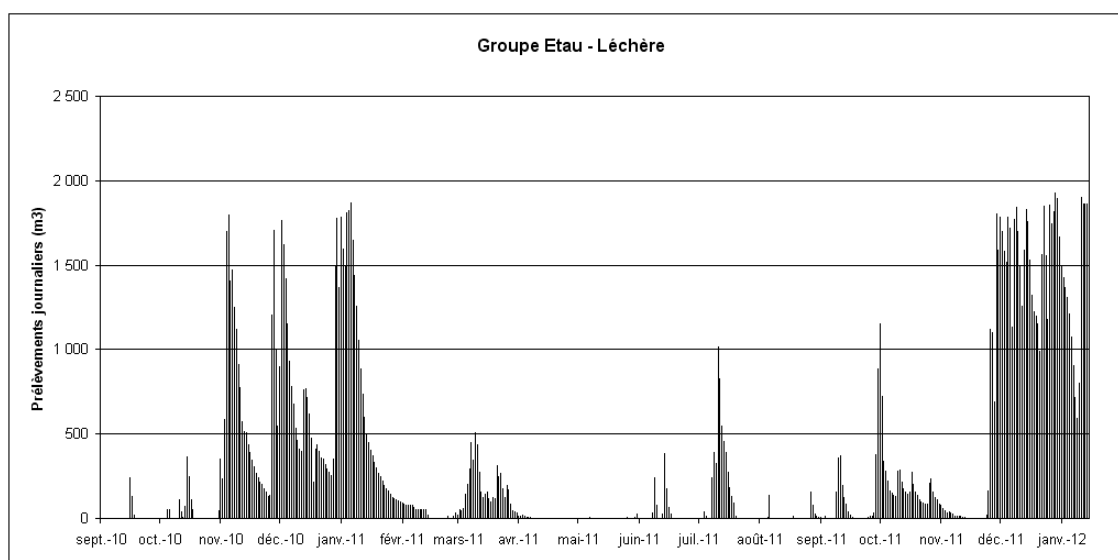
Compte tenu du débit à l'étiage du groupe de sources, le maintien d'un débit "réserve" (à définir en fonction d'impératifs écologiques) dans l'Oudar amont conduirait à limiter les prélèvements entre août et décembre. Le déficit au niveau de l'alimentation en eau de Divonne pourrait être pour partie compensé (en dehors des apports relativement coûteux du SITSE) par un pompage dans le forage amont des Cerisiers (procédure de DUP en cours).

Pour le groupe Etou - Léchère, on ne dispose de chroniques que depuis septembre 2010 (voir graphiques ci-après) insuffisantes pour pouvoir conclure avec certitude mais il semble que les débits d'étiage soient faibles voire nuls (entre 0 et 200 m³/jour). Dans ces conditions d'étiage sévère, il n'y a bien évidemment pas de prélèvements. Lorsque les prélèvements dans la/les source(s) sont significatifs (de décembre à janvier), les conditions hydrologiques sont telles qu'une limitation de ces prélèvements serait sans intérêt.

Seule l'installation de stations de jaugeage sur le Ru des Pralies (à l'aval de Villard) et l'Oudar/Flon (à Cessy) permettrait d'évaluer l'impact réel des prélèvements amont. On rappellera encore une fois que les écoulements superficiels dans ce secteur sont totalement indépendants de ceux dans les sillons profonds exploités pour l'AEP.



Graphique 3 : Evolution des prélèvements mensuels pour le groupe Etau-Léchère



Graphique 4 : Evolution des prélèvements journaliers pour le groupe Etau-Léchère

En ce qui concerne les autres sources utilisées par la CCPG (Longeray, Rechat, Sous-disse, ...) on ne dispose pas de données autres que celles décrites en phase 1 et 2 de l'étude. Les sources de la zone sud (Léaz au sens large) ne font pas l'objet d'une analyse détaillée car situées dans un secteur où la problématique relation avec les eaux superficielles n'existe pas.

CONCLUSION PARTIELLE

Compte tenu de la situation critique sur la nappe à Pré Bataillard (voir plus bas), on peut s'interroger sur l'opportunité de limiter les débits gravitaires qui alimentent l'UDI de Gex-Cessy et qui soulagent d'autant la pression sur cette nappe. Lorsqu'une situation normale sera rétablie sur Pré Bataillard, une réflexion pourra être engagée pour moduler les prélèvements en fonction du contexte hydrologique en période d'étiage.

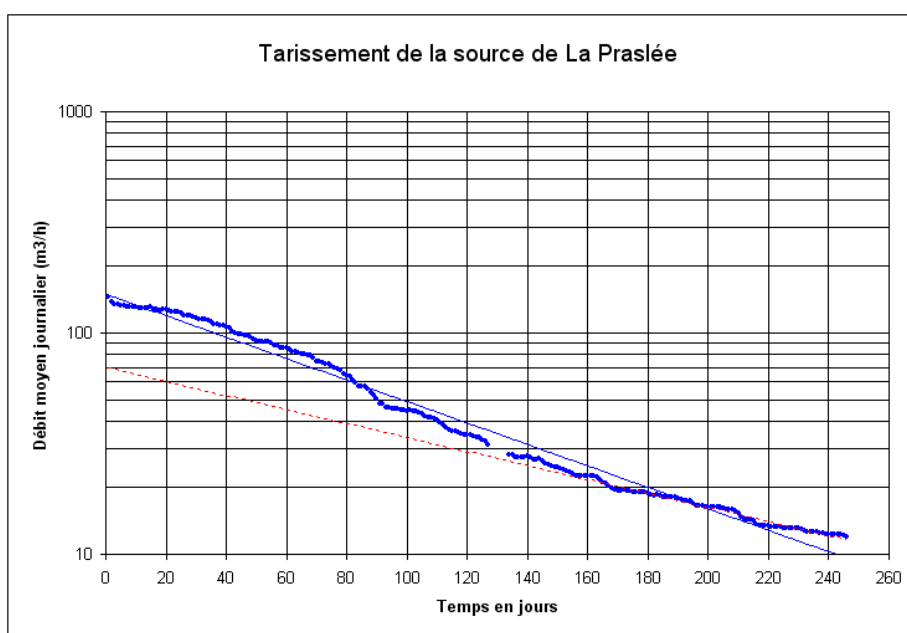
Pour ces sources, situées en tête de bassin versant, la « comparaison » entre le débit d'étiage de la source et le débit du cours d'eau est directe : le débit du cours d'eau EST le débit de la source. Cette comparaison présente un intérêt lorsque la source incriminée alimente un cours d'eau existant à son émergence. Dans le territoire d'étude, c'est le cas de la source de la Praslée que nous avons détaillée ci-après.

1.1.1.2 Sources de débordement au contact d'une remontée du substratum imperméable : exemple la source de la Praslée.

La source de la Praslée est située dans le bassin versant du Grand Journans où elle donne naissance au Ru de Janvain.

Depuis 2006, on dispose de données fiables sur les débits mensuels prélevés à la source de la Praslée. Le débit moyen journalier minimum annuel varie entre 240 (2,8 l/s) et 810 m³/jour (9,4 l/s) avec une moyenne à 440 m³/jour (6.6 l/s).

Le graphique 5 ci-dessous montre la courbe de tarissement de la source de La Praslée.



Graphique 5 : courbe de tarissement de la source de La Praslée

A partir de cette courbe, on peut évaluer les réserves disponibles au niveau de la Praslée à environ 200 000 m³ lorsque le trop plein du captage cesse de couler (débit proche de 55 m³/h).

Ce volume permettrait de maintenir, en condition d'été, un débit proche de 10 l/s (36 m³/h ou 720 m³/jour) pendant près de 4 mois d'été en ne prélevant que la moitié de ces réserves. Celles-ci seraient reconstituées en moins d'un mois à la reprise de la recharge saisonnière.

Le modèle numérique globale sur la zone (cf. figure 1) confirme ce résultat. Le modèle utilisé est un modèle calé en régime permanent monocouche avec la possibilité de simuler une couche de drain (rivière) permettant des transferts nappe-rivière dans les deux sens. Ces transferts, fonction de la différence de cote entre la rivière (imposée) et la nappe (calculée) sont contrôlés par un/des coefficient(s) intégrant la perméabilité et la nature du contact nappe/rivière au droit de la maille considérée. Il ne s'agit pas d'un modèle couplé eaux superficielles/eaux souterraines et ces transferts impliquent qu'il y a toujours de l'eau dans la rivière pour le satisfaire. En situation "naturelle" (sans pompage et avec les puits de la zone de captage de Chenaz maintenus à une cote de 518.2 m) le bilan en m³/jour est le suivant :

	Bilan en m ³ /jour
Infiltration	17 240
Alimentation aux limites	12 470
Flux entrant aux limites	237
Alimentation par les rivières (1)	297
Pompages	0
Flux sortant aux limites (*)	- 28 400
Drainage par les rivières (1)	- 1 957
Ecart sur le bilan	- 113
(*) dont Chenaz (2)	1 020
(*) dont Source Allondon	2 048
(*) dont La Beule	692
(*) dont La Praslée	1 481
(*) dont Moulin de Vézaz	4 110

(1) il s'agit du bilan de flux sur toutes les rivières dans l'emprise du modèle (Journans, By, Allondon, La Varfeuille)

(2) émergence naturelle : avec un niveau maintenu à 518.20 m NGF

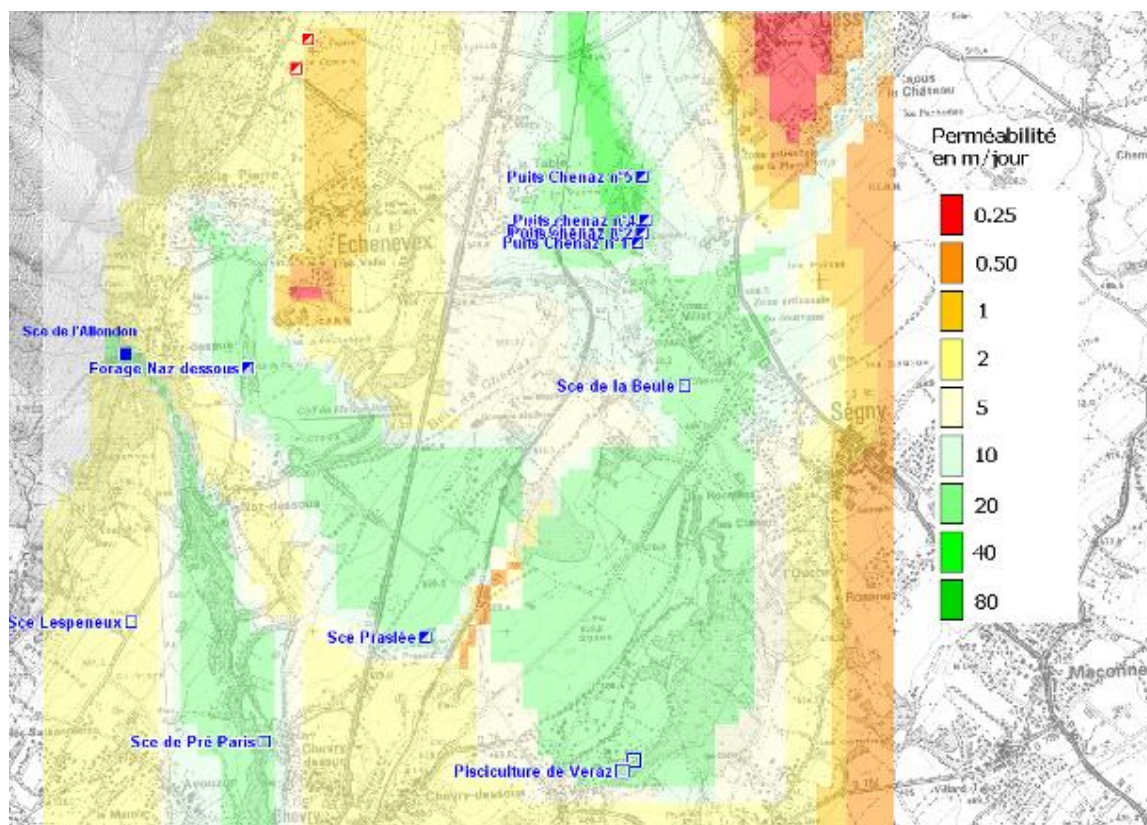


Figure 1 : modèle numérique globale sur la zone de La Praslée

On a ensuite simulé un prélèvement global de 2 500 m³/jour (*) sur la source de La Praslée renforcée avec un forage à l'amont de la source, avec toujours une exploitation à 4 700 m³/jour sur la zone de captage de Chenaz dans des conditions d'alimentation normales et en période de sécheresse.

(*) Ce chiffre correspond à une hypothèse de travail pour la simulation sur le modèle numérique. Il s'agit donc d'un prélèvement moyen annuel. Le prélèvement en période d'étiage serait évidemment modulé pour satisfaire aux contraintes environnementales (cf. la conclusion partielle page 13).

	Alimentation normale	75% de l'alimentation
Infiltration	17 240	12 930
Alimentation aux limites	12 470	9 354
Flux entrant aux limites	244	454
Alimentation par les rivières	2 435	6 433
Pompages	-7 200	-7 200
Flux sortant aux limites (*)	-24 120	-21 410
Drainage par les rivières	-1 143	-629
Ecart sur le bilan	-74	-68
(*) dont Chenaz	0	0
(*) dont Source Allondon	2 044	854
(*) dont La Beule	497	378
(*) dont La Praslée	0	0
(*) dont Moulin de Vêraz	3 978	3 657

En régime permanent et avec une alimentation moyenne, l'impact global sur l'Allondon, évalué à partir de la baisse du débit des émergences au droit du Moulin de Vêraz, est inférieur à 5%. Si on considère le bilan global des flux d'échange au droit des rivières sur le domaine modélisé, en situation « naturelle » la nappe « alimente » les rivières avec un débit de 1 660 m³/jour, avec des prélèvements de 7 200 m³/jour, les rivières alimentent la nappe avec un débit de 1 290 m³/jour (environ 15 l/s) lorsque l'alimentation est normale. Par contre en régime d'étiage (75% de l'alimentation nominale), l'impact est significatif avec 5 800 m³/jour soit 67 l/s provenant des écoulements superficiels sur l'ensemble de la zone modélisée.

Rappelons qu'il s'agit des flux d'échanges globaux sur toutes les mailles de rivière. Les mailles de rivières concernées par ces échanges sur l'ensemble de la zone modélisée sont illustrées sur la figure 02 ci-après.

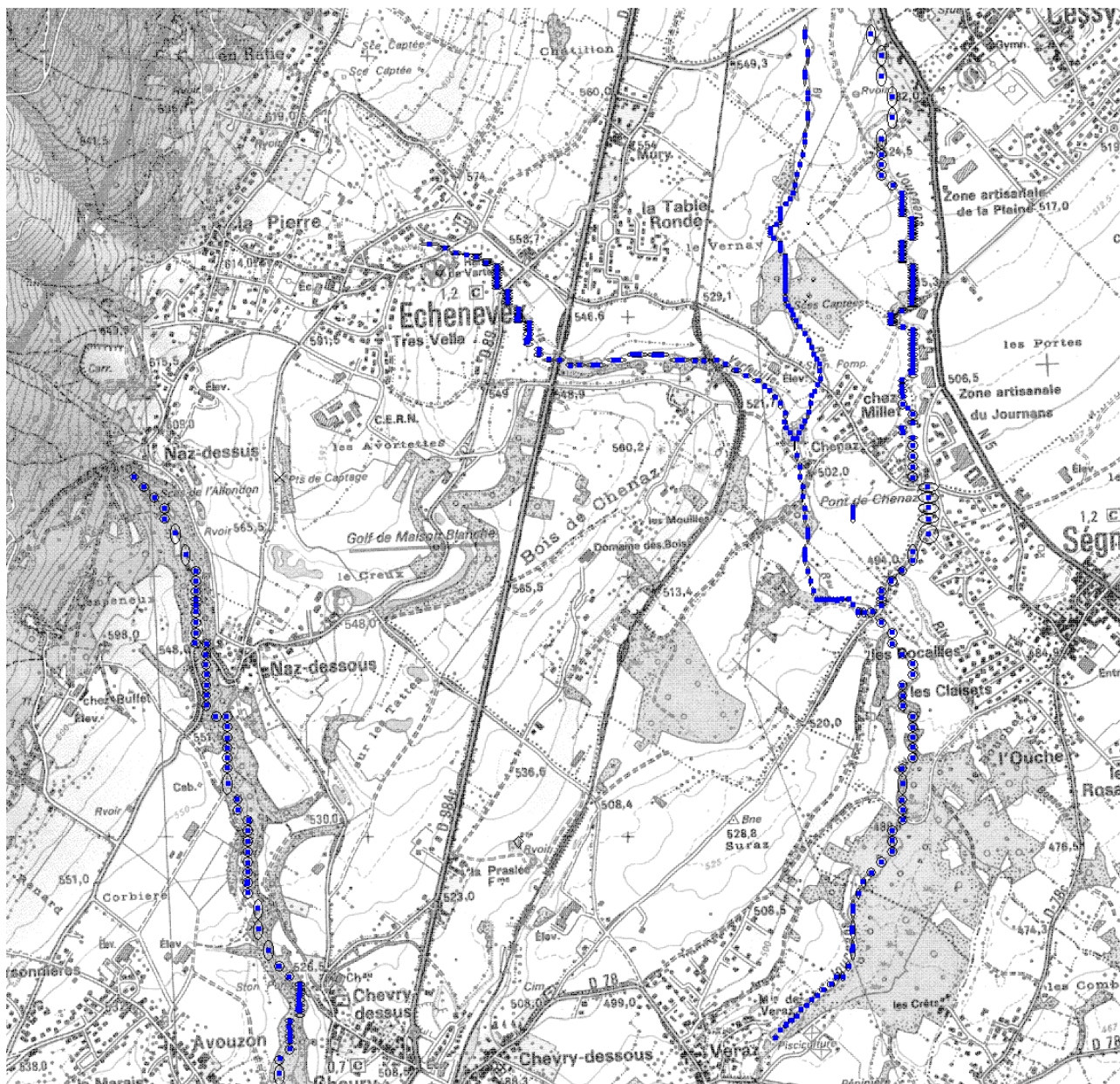


Figure 2 : Mailles de rivières du modèle numérique globale sur la zone de La Praslée

CONCLUSION PARTIELLE

Compte tenu des capacités de la conduite vers le réservoir, les prélèvements sont actuellement limités à $55 \text{ m}^3/\text{h}$ (15 l/s). Lorsque le débit est supérieur, l'excédent alimente le trop-plein vers le Ru de Janvain. Lorsque le débit naturel de la source passe en dessous de 15 l/s, le trop-plein ne coule plus mais le Ru reprend son écoulement à l'amont du confluent avec le Journans. La mise en place d'un pompage à l'amont de la source dans la structure "profonde" mise en évidence par la géophysique permettra de réguler les prélèvements à l'étiage et de maintenir un écoulement dans le Janvain.

On se propose de maintenir un écoulement dans le Janvain correspondant au débit minimum observé à la source ($11 \text{ m}^3/\text{h}$ soit 3 l/s en octobre 2009 cf. rapport de phase 1 page 79). **Ce débit correspond à une cote de nappe au piézomètre amont de la source, que nous proposons comme point de contrôle, proche de 515 m NGF.**

1.1.2 Zones de captage par puits ou forages

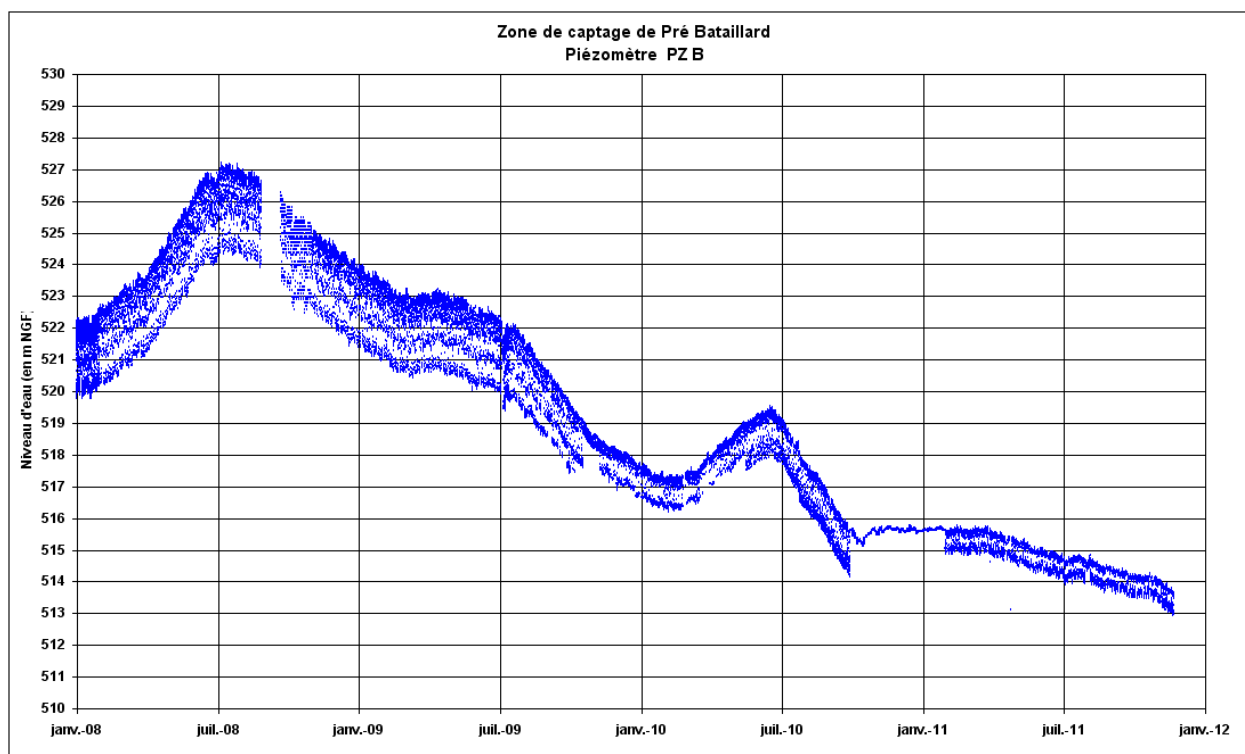
1.1.2.1 Zone de captage de Pré Bataillard

C'est sur cet aquifère qu'est installé le point stratégique de référence du Pays de Gex défini par le SDAGE. Il s'agit du piézomètre PzB (X= 887 334 m Y= 2 154 477 m) qui remplace depuis 2007 le piézomètre Belleferme. C'est bien évidemment ce point qui a été retenu pour le contrôle de la zone de Pré Bataillard, même si on peut légitimement s'interroger sur sa représentativité pour l'ensemble du Pays de Gex. Rappelons que le Pays de Gex n'est pas composé d'une nappe unique mais de plusieurs nappes (sillons) fonctionnant différemment les unes des autres.

La zone de captage est située dans le bassin versant de l'Oudar mais compte tenu de la structure hydrogéologique, c'est l'ensemble Oudar/Grand Journans (plus éventuellement Lion) qui est concerné.

De 2001 à 2005, les prélèvements sur la zone sont passés de 1.65 (environ 4 500 m³/jour) à 2,66 Mm³ (environ 7 300 m³/jour). Depuis 2006, ils baissent et sont en 2010 de 2,06 Mm³ (5 650 m³/jour).

Ainsi qu'évoqué au chapitre 6.1.3 de la phase 1, cette évolution s'est traduite par une baisse significative du niveau de la nappe jusqu'en 2006, une certaine stabilisation en 2007-2008 et une nouvelle baisse en 2009-2010, malgré la diminution des prélèvements.



Graphique 6 : Evolution de la piézométrie sur la zone de Pré Bataillard

Avec une nouvelle diminution des prélèvements (en moyenne 3 800 m³/jour en 2011) la situation s'améliore mais reste préoccupante en raison du déficit pluviométrique (cf. figure 6).

L'effet cumulé des prélèvements excessifs sur la période 2000-2005 pendant une période de faible recharge de l'aquifère et de la baisse d'alimentation depuis 2008 (cf. chapitre 3.2.1) font que le niveau de la nappe est actuellement 20 m plus bas qu'en 1991 sur le piézomètre B.

Le tableau ci-dessous montre l'évolution des niveaux dynamiques sur des essais globaux entre 1986 et 2007 (débit Q en m³/h, débit spécifique Qs en m³/h/m et niveau en m NGF)

Période	Niveau statique	F2 + F4	F5 + F6
02/1986 Durée 60 h	539 m	Q = 400 m ³ /h Rab.= 8 m Qs = 50 m ³ /h/m	Q= 460 m ³ /h (*) Rab.= 27 m Qs = 17 (35) m ³ /h/m
12/2007 Durée 72 h	523 m	Q = 200 m ³ /h Rab.= 2 m Qs = 100 m ³ /h/m	Q= 250 m ³ /h Rab.= 5 m Qs = 50 m ³ /h/m

(*) seul le F5 est pompé (le F6 n'existe pas encore) on peut donc supposer que le rabattement est environ 2 fois celui qu'on aurait eu avec 2 ouvrages pompés à 230 m³/h et le débit spécifique corrigé est donc proche de 34 m³/h/m.

On peut constater que malgré la baisse du niveau statique (environ 16 m), le débit spécifique des ouvrages ne s'est pas détérioré, il a même augmenté de façon significative avec l'auto développement des forages. Par ailleurs, on voit que le débit spécifique est meilleur sur le groupe F2-F4 que sur le groupe F5-F6 (environ un facteur 2).

Plus globalement sur l'ensemble de la zone, le modèle numérique de 2008 permet de tracer une carte piézométrique proche de celle de l'état initial (figure 3).

Le modèle utilisé, en 2008, est un modèle calé en régime permanent monocouche avec la possibilité de simuler une couche de drain (rivière) permettant des transferts nappe-rivière dans les deux sens. Ces transferts, fonction de la différence de cote entre la rivière (imposée) et la nappe (calculée) sont contrôlés par un/des coefficient(s) intégrant la perméabilité et la nature du contact nappe/rivière au droit de la maille considérée. Il ne s'agit pas d'un modèle couplé eaux superficielles/eaux souterraines et ces transferts impliquent qu'il y a toujours de l'eau dans la rivière pour le satisfaire.



Figure 3 : carte piézométrique proche de celle de l'état initial pour Pré Bataillard

Le bilan de flux associé à cette situation piézométrique est le suivant :

Alimentation aux limites	6280 m ³ /jour
Infiltration efficace	2570 m ³ /jour
Pompage	0
Sortie aux limites	- 8865 m ³ /jour
Ecart sur le bilan	- 15 m ³ /jour

Avec ce bilan de flux proche de 9000 m³/jour, la piézométrie calculée par le modèle se rapproche du niveau moyen observé dans la zone de Pré Bataillard dans les années 1986/1995 soit 535 m NGF.

CONCLUSION PARTIELLE

La CCPG a engagé des travaux importants pour diminuer les prélèvements sur le sillon de l'Oudar exploité par la zone de captage de Pré Bataillard.

- Mise en service de la conduite entre Divonne et Pré Bataillard afin d'alimenter pour partie le réseau Gex-Cessy avec l'eau du SITSE (environ 100 000 m³ en 2010 et 200 000 m³ en 2011),
- Meilleure répartition des prélèvements entre les 4 forages et installation de pompes à débit variable,
- Remise en état du groupe de sources Etau/Léchère/Sous-Disse/Rechat,
- A terme (travaux en cours), mise en service du nouveau forage de Chauvilly, situé dans un sillon indépendant de celui de l'Oudar, pour diminuer encore les prélèvements sur Pré Bataillard et faire remonter le niveau statique de la nappe.

Le modèle numérique en régime transitoire ayant montré qu'avec une **alimentation normale** le niveau piézométrique remontait pour des prélèvements compris entre 4 000 et 4 500 m³/jour.

L'objectif à terme est de retrouver un niveau statique nappe haute de 535 m NGF et de 525 m NGF en nappe basse proche des conditions de la fin des années 1990. **Le piézomètre de contrôle retenu pour ce secteur est le PzB au sud-est de la zone de captage.** On notera que les échanges entre la nappe superficielle et la nappe profonde exploitée par la zone de captage sont nuls (des panneaux électriques et une campagne de jaugeage dans l'Oudar en août 2010 l'ont confirmé).

Par ailleurs, on peut s'interroger sur le choix du piézomètre Belleferme/PzB comme UNIQUE point de référence pour le Pays de Gex ce qui a conduit, dans le SDAGE, à classer l'ENSEMBLE du Pays de Gex en **zone de déficit chronique constaté** alors que ce n'est pas le cas pour les autres systèmes aquifères exploités. *Nous avons donc détaillé la situation pour tous ces aquifères en définissant des seuils d'alerte qui, dans la très grande majorité des cas, sont loin d'être atteints.*

1.1.2.2 Zone de captage de Chenaz

La zone de captage se situe dans le bassin versant du Journans à l'amont de la confluence avec le By et la Varfeuille. Les prélèvements sur la zone de Chenaz sont restés relativement stables depuis 2000 avec un volume de $1,88 \pm 0.19 \text{ Mm}^3/\text{an}$.

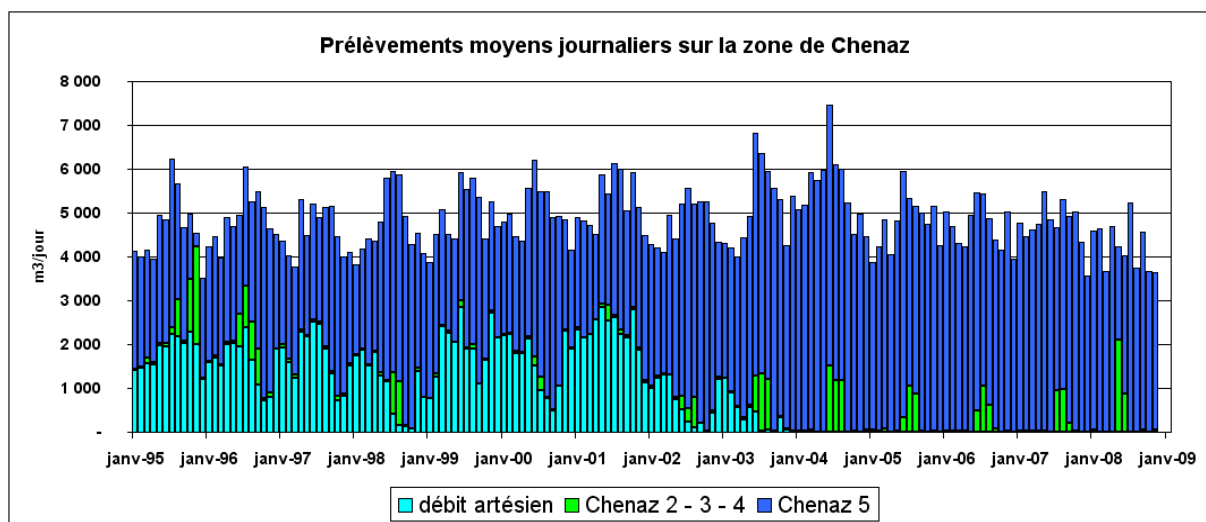
Jusqu'en 2002, une part significative des prélèvements (entre 20 et 40%) des prélèvements provenait de l'artésiennisme des forages 2, 3 et 4, le niveau piézométrique en hautes et moyennes eaux au droit de la zone de captage étant donc contrôlé par les cotes à l'exutoire des forages (environ 518 m NGF). En basses eaux, les pompages sur ces 3 ouvrages étaient de l'ordre de $25\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ auquel il faut ajouter environ $200\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ pour le forage F1 (puits d'Echenevex) maintenant arrêté.

A partir de 2002, l'artésiennisme a été dérivé vers le Journans et sauf pendant les périodes où l'on pompe sur le groupe F2, F3 et F4 (entre 70 et $120\,000 \text{ m}^3/\text{an}$), tout le débit est pompé sur le forage F5 avec une contribution de 90 à 95% du volume total.

En dehors de mesures « historiques », datant de la réalisation des ouvrages et que vous avons reportées sur le tableau ci-dessous, on ne dispose pas de données directes sur le débit artésien des puits.

Ouvrage	Date	Débit artésien (m^3/h)
F2	11/1973	24
F3	01/1971	100
F4	01/1974	40

A l'échelle mensuelle, on voit sur le graphique 7 ci-dessous que le débit moyen journalier peut varier d'un mois à l'autre entre $4\,000$ et $6\,000 \text{ m}^3/\text{jour}$ avec une pointe jusqu'à $7\,500 \text{ m}^3/\text{jour}$ (en juin 2004). Jusqu'en 2002, la participation du débit artésien des puits 2 à 4 était de $1\,000$ à $3\,000 \text{ m}^3/\text{jour}$ évaluée avec un calcul à partir des débits d'entrée dans le réservoir d'Ornex. Depuis qu'il n'y a plus de dérivation vers le réservoir d'Ornex, on ne connaît pas ces débits.



Graphique 7 : Répartition des prélèvements sur la zone de Chenaz

La nappe étant captive dans le secteur de Chenaz, les recharges annuelles (lorsqu'elles existent) se traduisent par des remontées du niveau comme on peut le voir pendant l'hiver 2008-2009 et dans une moindre mesure en 2009-2010. Par contre, la recharge 2010-2011 est inexistante et le niveau dynamique qui était resté proche de 505 m NGF depuis 2003 a baissé de 2 m.



Graphique 8 : Niveau pseudo-statique et dynamique sur le F5 CHENAZ

On peut voir également que l'amplitude de la variation entre le niveau pseudo-statique et le niveau dynamique reste constante à $6,5 \pm 0,5$ m ce qui montre que le forage Chenaz n°5 ne s'est pas dégradé.

Les tests réalisés en 2007 montrent que c'est également le cas sur les autres ouvrages sauf sur le F1 (Echenevex) maintenant abandonné. Il n'y a donc pas de sur-rabatement qui pourrait augmenter l'impact sur les écoulements superficiels proches.

Le modèle numérique de 2008 (cf. figure 4 ci-après) permet de tracer une carte piézométrique proche de celle de l'état initial de 1985.

Le modèle utilisé, en 2008, est un modèle calé en régime permanent monocouche avec la possibilité de simuler une couche de drain (rivière) permettant des transferts nappe-rivière dans les deux sens. Ces transferts, fonction de la différence de cote entre la rivière (imposée) et la nappe (calculée) sont contrôlés par un/des coefficient(s) intégrant la perméabilité et la nature du contact nappe/rivière au droit de la maille considérée. Il ne s'agit pas d'un modèle couplé eaux superficielles/eaux souterraines et ces transferts impliquent qu'il y a toujours de l'eau dans la rivière pour le satisfaire. Or ce n'est pas le cas dans la réalité car le Journans présente des assecs naturels dans cette zone. Rappelons qu'il s'agit de modèle en régime permanent avec des conditions d'alimentation moyennes.

Le bilan de flux associé à cette situation piézométrique est le suivant :

Alimentation aux limites	6040 m ³ /jour
Infiltration efficace	3960 m ³ /jour
Alimentation par les rivières	0
Pompage	0
Sortie aux limites	- 8890 m ³ /jour (*)
Drainage par les rivières	-1120 m ³ /jour
Ecart sur le bilan	-10 m ³ /jour

(*) dont 1 020 m³/jour en artésien sur les forages F2 à F5 maintenu 518,2 m

Ce bilan se traduit par une cote piézométrique proche de 519 m NGF au droit du forage 5 à l'amont de la zone et 517 m NGF au droit des forages 2-3-4 à l'aval de la zone de captage (figure 4 ci-dessous).

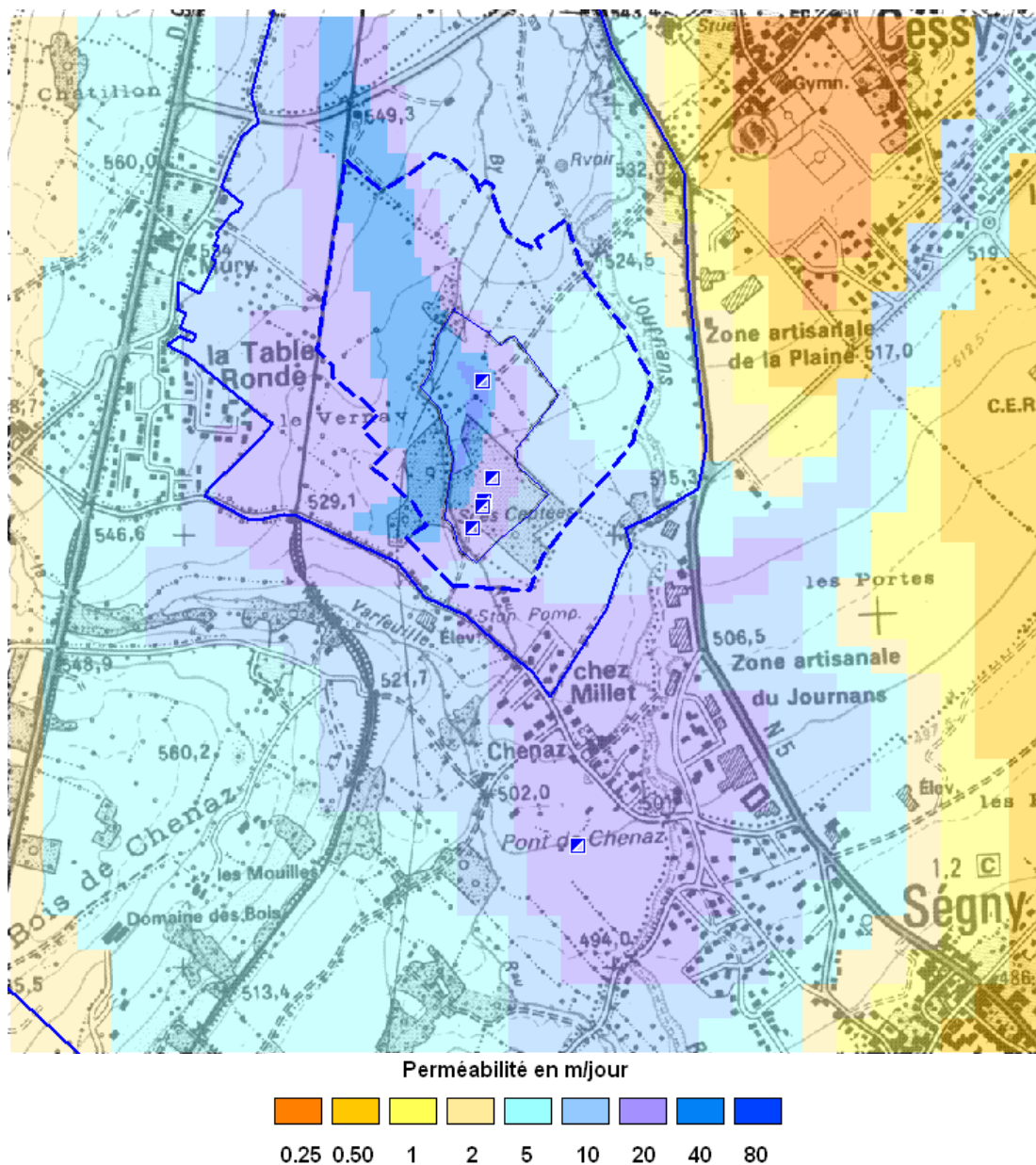


Figure 4 : Modèle Chenaz : champ de perméabilité

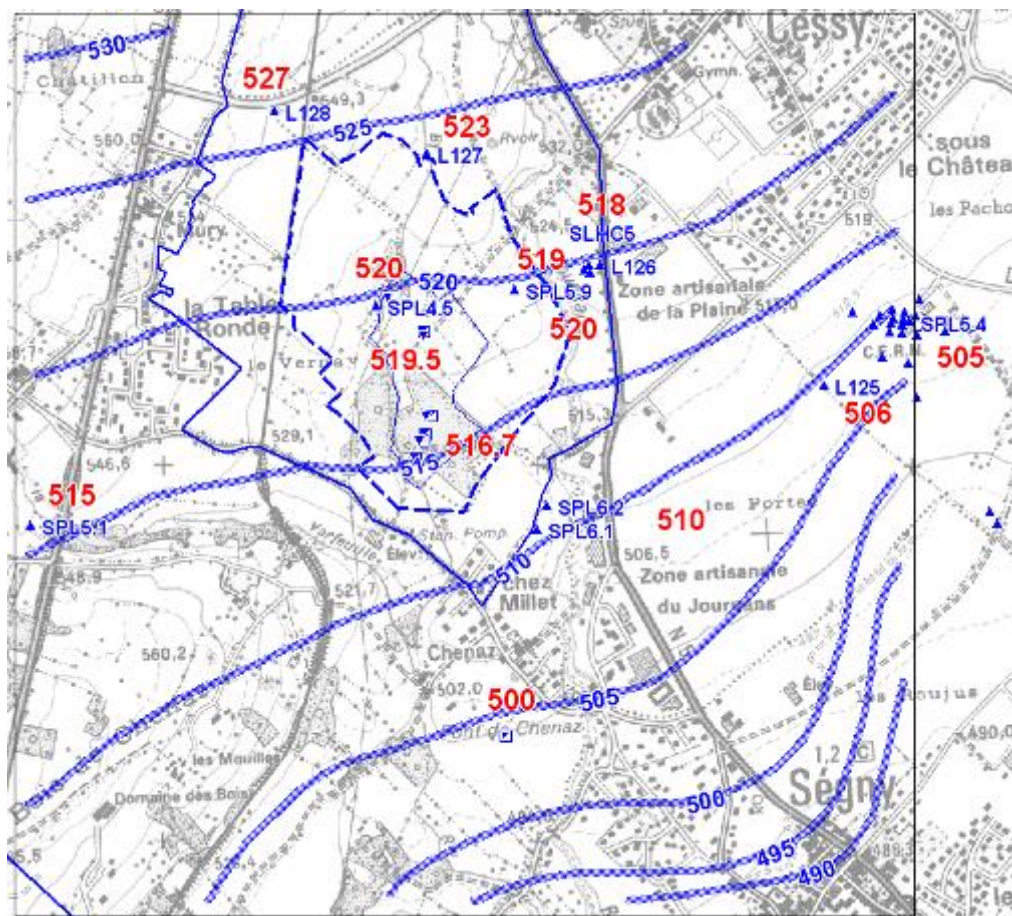


Figure 5 : piézométrie naturelle reconstituée

On constate que dans cette situation « naturelle » le débit "artésien" des puits 2 à 4 est de l'ordre de 1 020 m³/jour et les rivières concernées par le modèle (Varfeuille, By et Journans) drainent la nappe avec un débit global de 1 120 m³/jour.

CONCLUSION PARTIELLE

On se propose de retenir le forage F5 comme ouvrage de référence pour la définition des niveaux d'alertes. Il s'agit de l'ouvrage sur lequel on dispose de la plus longue chronique comme niveau d'alerte pour cette zone. Le piézomètre dit « Géoforage », maintenant instrumenté, pourra servir par la suite de point de référence lorsque l'on disposera de suffisamment de mesures pour les corréler avec l'exploitation de la zone. Cette réflexion tiendra compte également des piézomètres et des mesures de débits prévues sur le By de part et d'autres de la zone de captage.

On voit sur le graphique 8 qu'avec l'exploitation actuelle moyenne à 5 150 m³/jour, de 2004 à 2009, le niveau dynamique basses eaux se maintient (avec des conditions d'alimentation normales) à 505 m NGF sur le F5 pour un niveau pseudo-statique compris entre 515 et 516 m NGF. En situation d'étiage sévère, comme en 2010/2011 ce niveau peut tomber à 503 m NGF (de septembre à novembre 2011). On peut noter qu'avec ce niveau dynamique exceptionnellement bas le rabattement par rapport au niveau pseudo-statique n'est que de 10 m soit 30% de la hauteur aquifère disponible en régime normal.

On notera par ailleurs que lorsque la pluviométrie devient plus favorable (lors de la recharge 2008-2009 par exemple) le niveau de la nappe remonte significativement à 522 m en pseudo-statique et 514 m en dynamique ce qui montre bien que, contrairement à la situation de Pré Bataillard, les réserves de l'aquifère ne sont pas entamées.

Le modèle montre cependant qu'avec ce prélèvement moyen de 5 150 m³/jour, l'impact potentiel sur les écoulements superficiels est de 900 m³/jour dont 560 (6,5 l/s) sur le Journans dont le débit moyen au droit de la zone est de l'ordre de 300 l/s. En raison de pertes naturelles, à l'amont de la zone de captage, le QMNA5 du Journans à Cessy est de 10 l/s, il est clair qu'en période d'étiage, les prélèvements impactent la rivière mais le modèle montre que cet impact est limité dans l'espace et que le Journans est réalimenté par la nappe 700 m à l'aval des puits.

A titre pédagogique, nous avons illustré sur le schéma ci-dessous une coupe en long de la nappe au contact de la rivière entre l'amont et l'aval de la zone de captage pendant une phase de pompage.

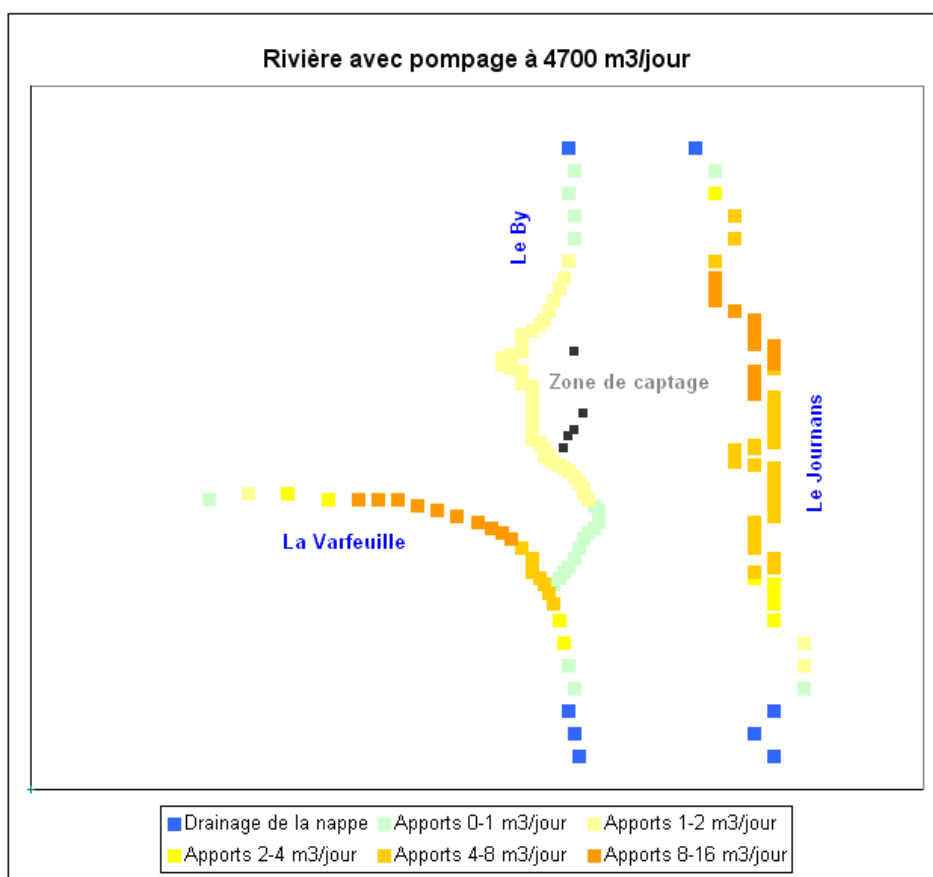
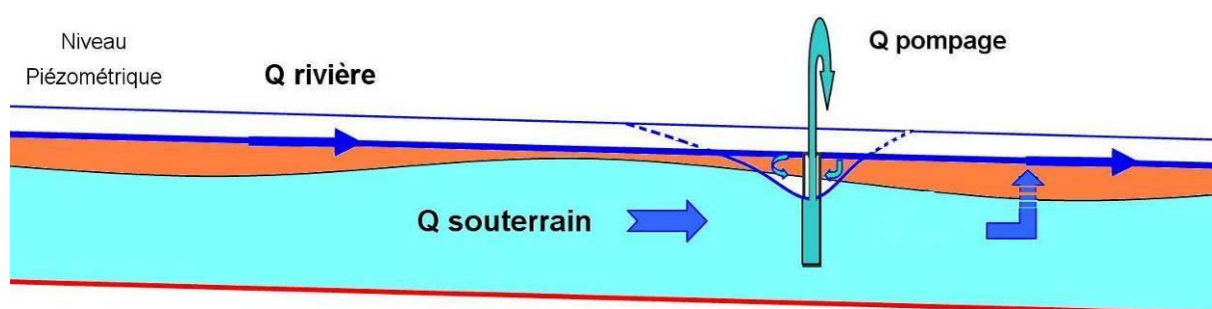


Figure 6 : flux d'échanges avec les rivières sur le modèle Chenaz

Rappelons qu'il s'agit d'un modèle en régime permanent et que les rivières sont traitées comme des mailles de drain pouvant soit drainer soit alimenter la nappe. Il ne s'agit PAS d'un modèle couplé eau souterraine/eau de surface. De plus, la réalisation d'un tel modèle couplé sera impossible de par le fait que nous ne disposons pas de suivi des débits des cours d'eau.

La CCPG a pris un certain nombre de mesure pour optimiser les prélèvements et limiter les impacts sur le sillon de Chenaz exploité par la zone de captage :

- Meilleure répartition entre les 4 ouvrages maintenus et ajustement du débit du F5 en fonction du potentiel et du niveau dans F2, F3 et F4,
- Dans la mesure où il s'agit de l'une des deux zones critiques pour les échanges nappe rivière, on prévoit la mise en place de section de contrôle avec piézomètres et seuil de jaugeage sur le By et le Journans à l'amont et à l'aval de la zone de captage pour quantifier ces échanges qui ne peuvent l'être actuellement. Les emplacements sont à définir avec la CCPG en fonction des possibilités foncières.

Le modèle numérique, réalisé en 2008, indique simplement que ces échanges existent mais les mesures de débit différentiel réalisées en juin et septembre 2012 (figure ci-dessous) montrent que la situation varie considérablement dans le temps et suivant les rivières.

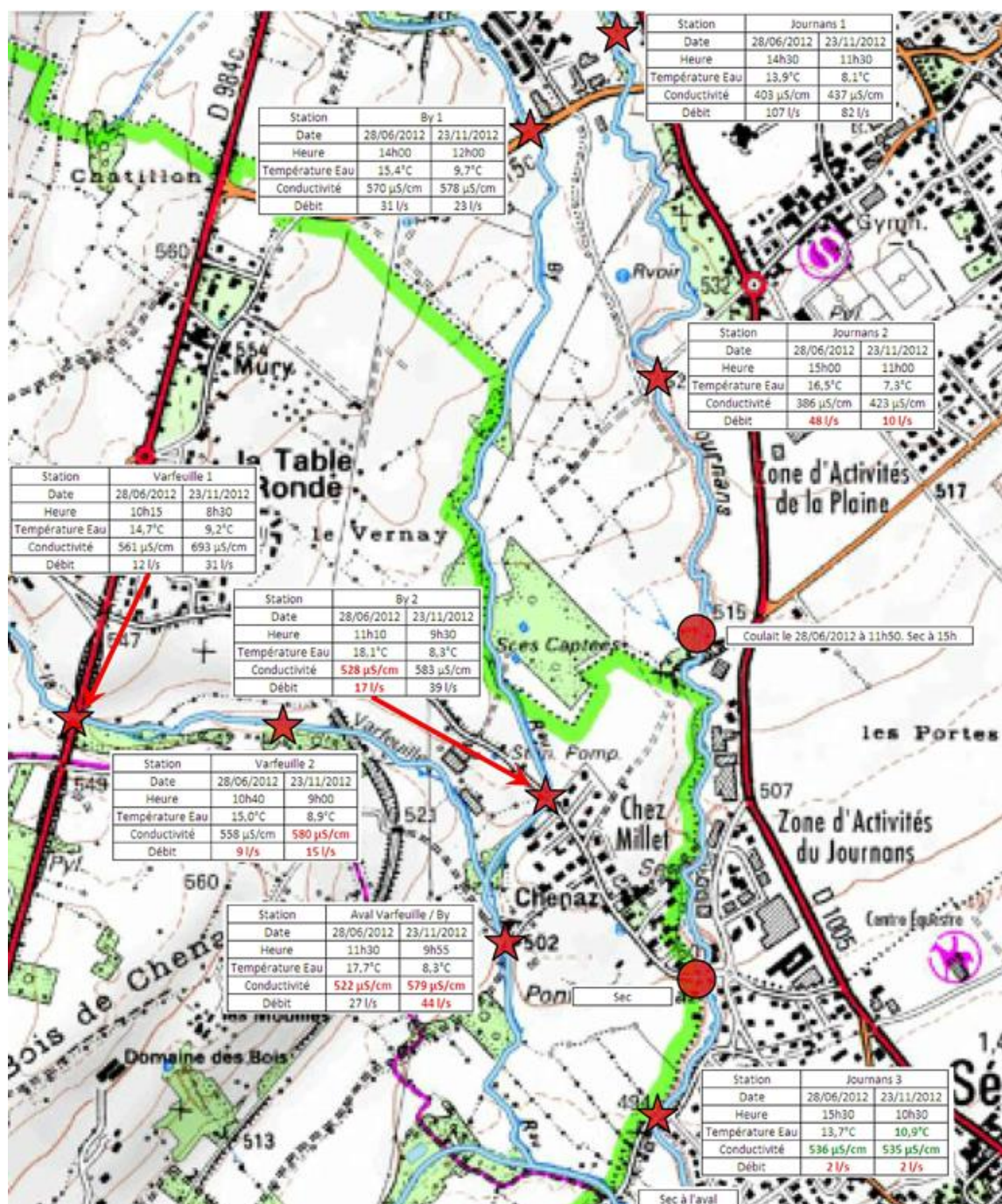
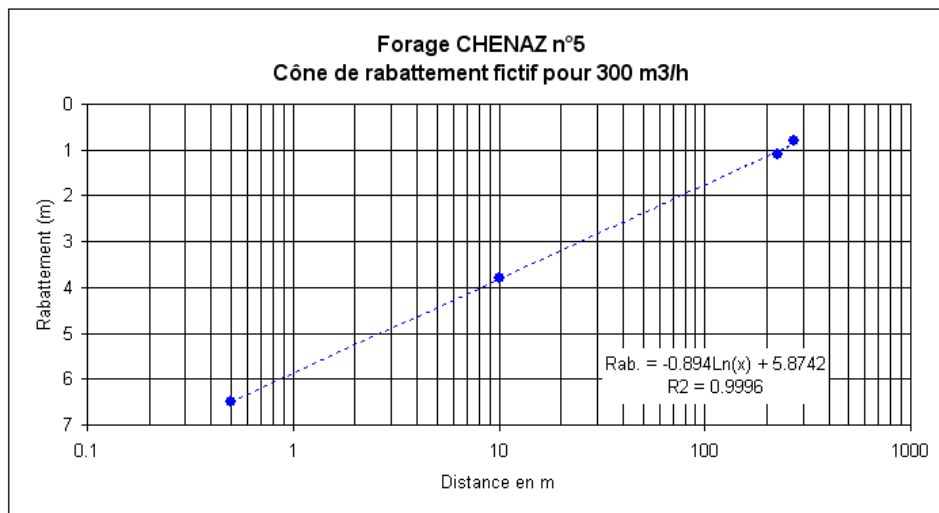


Figure 7 : Mesures de débit différentiel réalisées en juin et septembre 2012

Ainsi le débit du Journans diminue entre la station 1 et la station 2 pour s'annuler entre Millet et le pont de Chenaz en raison de pertes majoritairement naturelles (ces pertes existaient avant la mise en place des puits de Chenaz) et recouler avant le confluent avec la Varfeuille en récupérant une partie des pertes sur son cours amont.

Entre les stations 1 et 2 de part et d'autre de la zone de captage, le débit du By diminue de 31 à 17 l/s en juin mais augmente de 23 à 39 l/s lors de l'étiage de septembre 2012.

Le débit de la Varfeuille diminue entre les stations 1 et 2 pour les deux campagnes puis augmente à la station 3. Cette augmentation correspond, aux erreurs de mesure près, à l'apport du By en juin mais en septembre, il manque 10 l/s alors qu'on est 600 m (en fait 1000 m du puits 5 principal ouvrage de prélèvement) à l'aval de la station de pompage en dehors de l'influence directe des puits. Les études détaillées sur cette zone de captage ont montré que le rabattement occasionné par un pompage continu à 300 m³/h sur le puits 5 était inférieur à 0,5 m à 300 m du puits et devenait négligeable à 600 m (cf. figure ci-dessous).

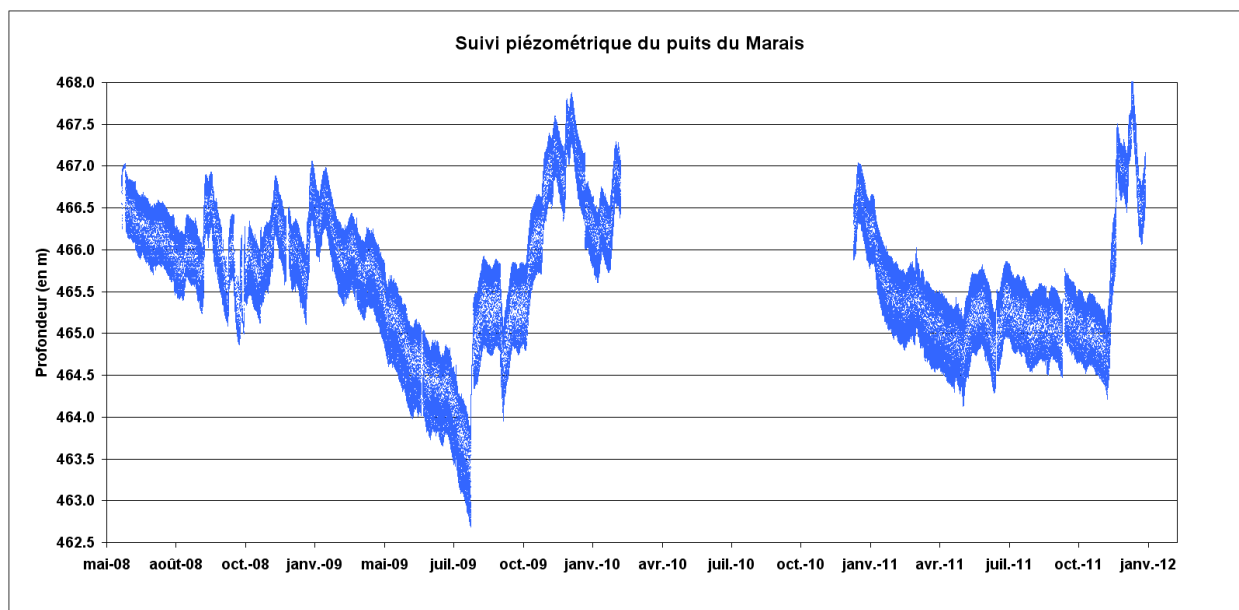


En fait les relations nappe -rivière sont variables dans l'espace et transitoire à l'échelle de la saison (et donc du débit éventuellement disponible dans la rivière) et de la journée, pour le By, à proximité immédiate des puits. Les mesures piézométriques montrent qu'en raison de son artésianisme, les réactions de la nappe sont très rapides et que le niveau pseudo statique est repris en quelques dizaines de minutes après les phases de pompage (cf. graphique 4 du rapport de phase 1).

Le niveau piézométrique est artésien, comme le montre le niveau statique du piézomètre de référence et compte tenu de l'épaisse couverture argilo-limoneuse (cf. figures 26 et 27 du rapport de phase 1). Localement, au droit de la zone de captage, le rabattement peut éventuellement solliciter le By lorsque la couverture est mince ou absente, mais le flux souterrain, largement supérieur au débit prélevé, réalimente la rivière à l'aval de la zone de captage et la nappe retrouve son niveau statique "naturel".

1.1.2.3 Puits du Marais

Cette zone n'a pas fait l'objet de modélisation en 2008 mais le niveau du puits du Marais est suivi depuis 2008. La deuxième moitié de l'année 2009 est intéressante car suite à un incident sur le réseau, le débit a atteint 1200 m³/jour avec pour conséquence un niveau dynamique inférieur à 463 m NGF à la fin du mois d'août (graphique 09). On notera que ce niveau exceptionnel n'a pas entraîné de dysfonctionnement de la station de pompage. Malgré tout, l'incidence potentielle sur l'Allondon est probable car la cote de la rivière est proche de 465 m NGF au droit du pompage et la nappe est en équilibre avec la rivière.



Graphique 9 : Suivi piézométrique du puits du Marais

La reprise d'une exploitation "normale" à $700 \pm 100 \text{ m}^3/\text{jour}$ conduit à un niveau de nappe moyen entre 465,5 et 464,5 m NGF.

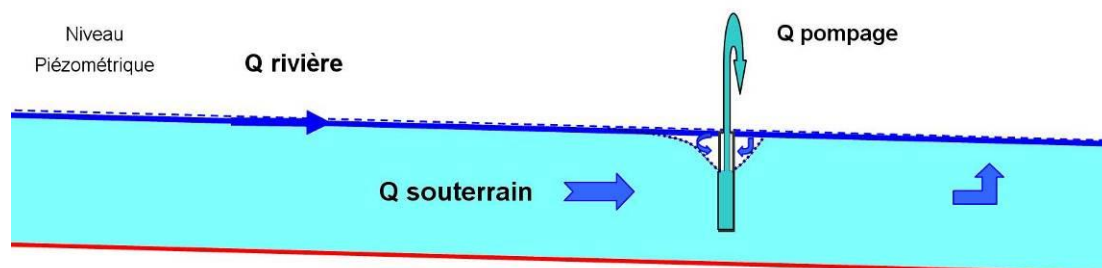
CONCLUSION PARTIELLE

Le piézomètre installé dans la zone de captage est situé à 17 m du puits et donne une cote identique à celle de l'ouvrage exploité. On retiendra le puits du Marais comme ouvrage d'alerte sur ce secteur, en effet l'ouvrage est instrumenté et relié à la télégestion et les cotes de nappe mesurées en pseudo-statique et dynamique sont identiques à celles du piézomètre Marais.

Une relation avec l'Allondon dans la zone d'influence du puits est donc peu probable compte tenu de la distance (160 m au plus près) et surtout de la différence entre le niveau pseudo statique et le niveau dynamique en pompage : environ 1 m. En effet, un calcul théorique à partir de la transmissivité dans la nappe montre que le rabattement s'annule à environ 180 m du puits. Néanmoins, en période d'étiage une relation est possible même si l'impact sur la rivière reste limité compte tenu de l'écart entre le débit pompé ($8,5 \pm 0.5 \text{ l/s}$) et le QMNA5 de l'Allondon à Saint Genis soit 50 l/s.

Par ailleurs, comme dans le cas de Chenaz, la nappe va continuer à alimenter la rivière à l'aval du pompage. Un modèle numérique (mêmes caractéristiques que les modèles cités précédemment) réalisé dans le cadre d'un aménagement sur le site des Rives de l'Allondon à l'aval de la zone de captage a montré que les travaux envisagés n'avaient aucune incidence sur le site de pompage.

A la différence près que la nappe est libre, on retrouve un schéma similaire à celui de la zone de Chenaz. La nappe retrouve son niveau initial à environ 200 m à l'aval du captage et, lorsque les conditions hydroclimatiques le permettent, réalimente la rivière.



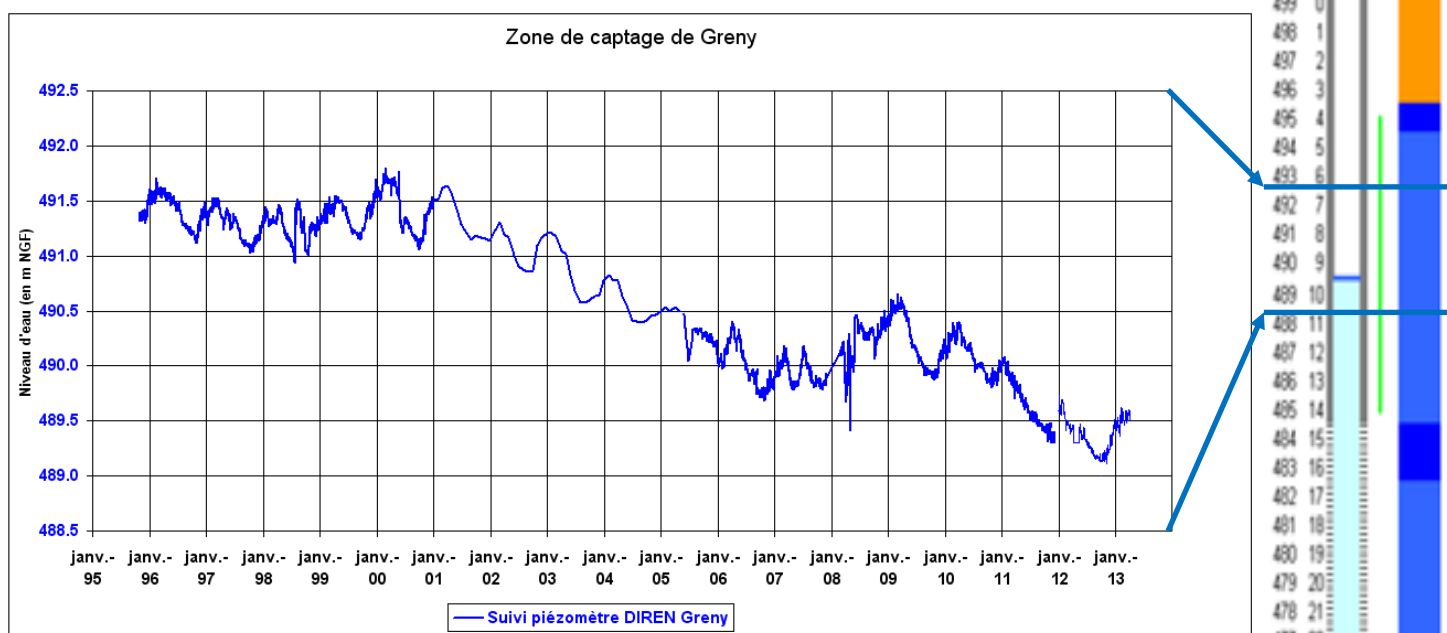
1.1.2.4 Zone de captage de Greny

La zone de captage se situe dans le bassin du Roulage, affluent de l'Allondon. Le tableau ci-dessous montre l'évolution des prélèvements depuis 1995 :

Année	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Production (10 ³ m ³)	382.3	462.0	422.7	406.7	393.3	411.0	438.1	447.1	458.2
Année	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Production (10 ³ m ³)	500.6	486.0	492.2	441.4	424.9	409.6	404.5	442.4	455.8

On voit qu'ils étaient compris entre 382 000 et 462 000 m³/an avec une moyenne de 417 000 m³/an sur la période où le niveau de la nappe reste « stable » entre 1995 et 2001. Ils sont compris entre 447 000 et 500 000 m³/an de 2002 à 2006 avec une moyenne de 477 000 m³/an (+14% par rapport à la période 1995-2001) et ils sont compris entre 404 000 et 456 000 m³/an entre 2007 et 2012 avec une moyenne de 430 000 m³/an (+3% par rapport à la période 1995-2001).

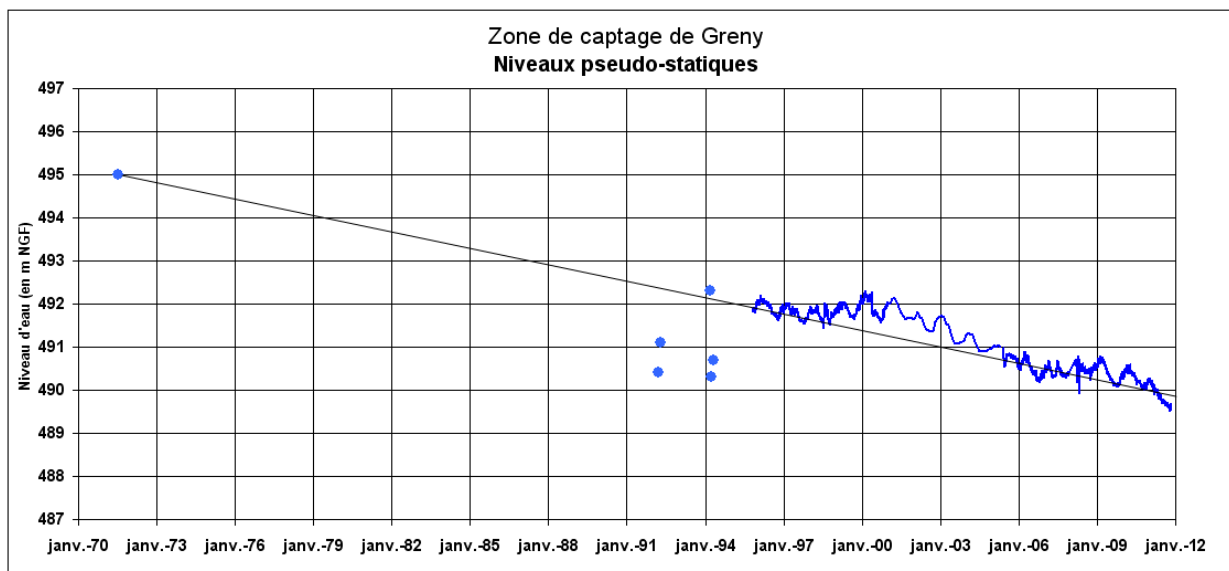
Le graphique 10 illustre l'évolution du niveau de la nappe pendant cette période. On a reporté sur ce graphique la coupe du forage 2 qui montre bien que l'évolution de niveau n'est pas significative à l'échelle de l'aquifère disponible. Le trait vert représente l'échelle verticale du graphique.



Graphique 10 : Suivi piézométrique de Greny

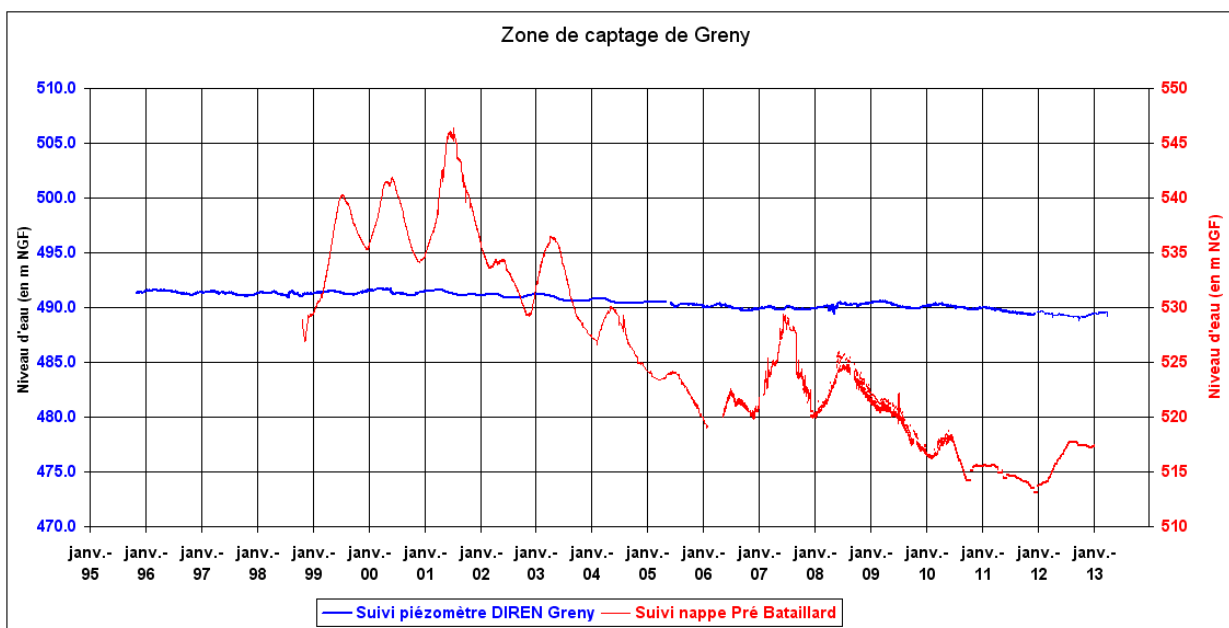
Les niveaux sont pseudo stables de 1995 à 2001 ; on constate une baisse de 2001 à 2006, puis une stabilisation jusqu'en 2010 (les niveaux hauts d'avril 2006 et d'avril 2010 sont identiques : 490,40 m et le niveau bas de décembre 2010 est au-dessus de celui de décembre 2006). En 2010 et 2011, la nappe baisse, pour se stabiliser, voire remonter, en 2012-2013.

Si on remonte plus loin dans le temps, on dispose de données partielles en 1971 au moment de la réalisation du "puits" et du F1. On dispose de nouvelles mesures en 1991 et 1994 avec une différence de l'ordre de 2 m sur des niveaux pseudo-statiques en fonction des conditions climatiques. On constate néanmoins une évolution entre le début des années 70 et la période actuelle même si entre 1991 et 2010 les niveaux semblent stabilisés (les niveaux illustrés sur la graphique 10b sont des niveaux pseudo statiques environ 0,5 m au-dessus du niveau moyen de la nappe mesuré depuis 1995).



Graphique 11 : Mesures de niveau anciennes sur le site de Greny

Comme déjà signalé, il faut cependant relativiser cette baisse du niveau comme le montre la comparaison avec une nappe où l'on observe un réel déséquilibre comme sur la nappe de Pré Bataillard (cf. chapitre 1.1.2.1) :



Graphique 12 : Evolution comparée des niveaux à Greny et Pré Bataillard

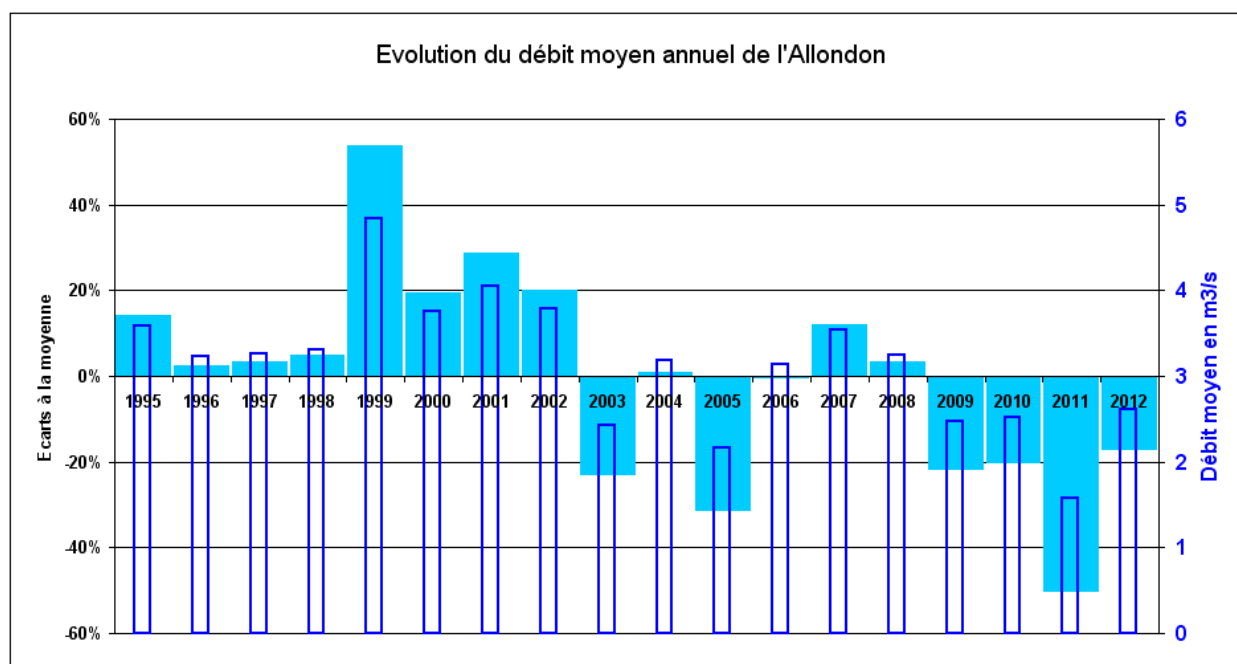
En fait, plus que l'évolution des prélèvements, ce sont les conditions hydroclimatiques qui conditionnent le niveau de la nappe à Greny.

Sur le tableau ci-dessous, on a reporté, pour la période 1995-2012, les précipitations de référence sur le Pays de Gex (corrigées de 1995 à 2002 compte tenu du changement de station, voir phase 1) :

Année	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Précipitations (mm)	1679	972	1454	1395	1971	1386	1842	1475	871
Précipitation calculée (-20%)	1466	877	1278	1229	1709	1222	1602	1296	
Année	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Précipitation (mm)	1098	776	1024	1201	1245	844	881	831	1194

Dans les deux cas (station de Thoiry corrigée avec la différence d'altitude en jaune ou valeur calculée en italique), la période 1995-2002 reste excédentaire par rapport à 2003-2012 (1 522 mm pour 996 mm soit 53% d'excédent et 1 135 mm pour 996 mm soit 34% d'excédent).

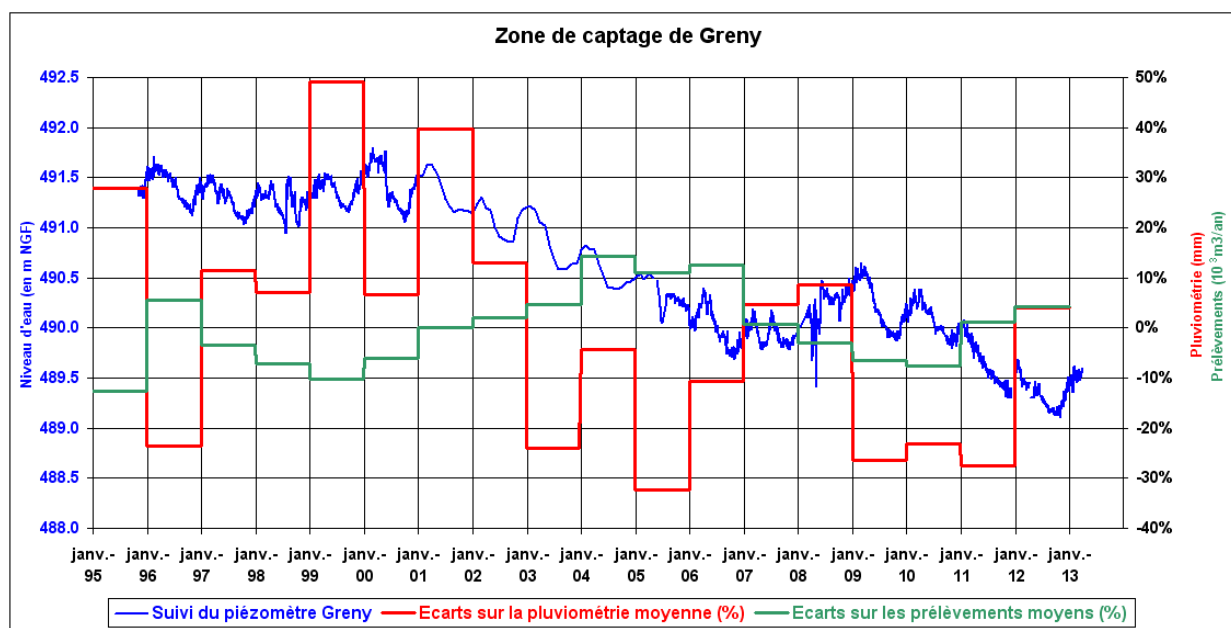
En fait, pour pallier la difficulté à apprécier de façon fiable l'évolution de la recharge sur le bassin versant, on peut utiliser un intégrateur simple qui est le débit moyen de l'Allondon à son exutoire sur le seuil molassique (Station des Granges à Dardagny voir carte jointe). La figure ci-dessous montre l'évolution de ce débit moyen sur la période 1995-2012 (en écart par rapport à la moyenne) :



Graphique 13 : Evolution du débit moyen de l'Allondon à la station des Granges

On voit bien que la période 2003-2012 est déficitaire avec seulement l'année 2007 significativement au-dessus de la moyenne et surtout les 4 années 2009 à 2012 largement déficitaires, les précipitations "normales" de 2012 n'ayant que partiellement reconstitué les réserves.

En conclusion de cet aspect du problème, la figure ci-dessous reprend l'évolution piézométrique en la comparant avec les précipitations et les prélèvements exprimés en % par rapport à la moyenne sur la période 1995-2005) :



Graphique 14 : Comparaison entre les prélèvements, la pluviométrie et les niveaux à Greny

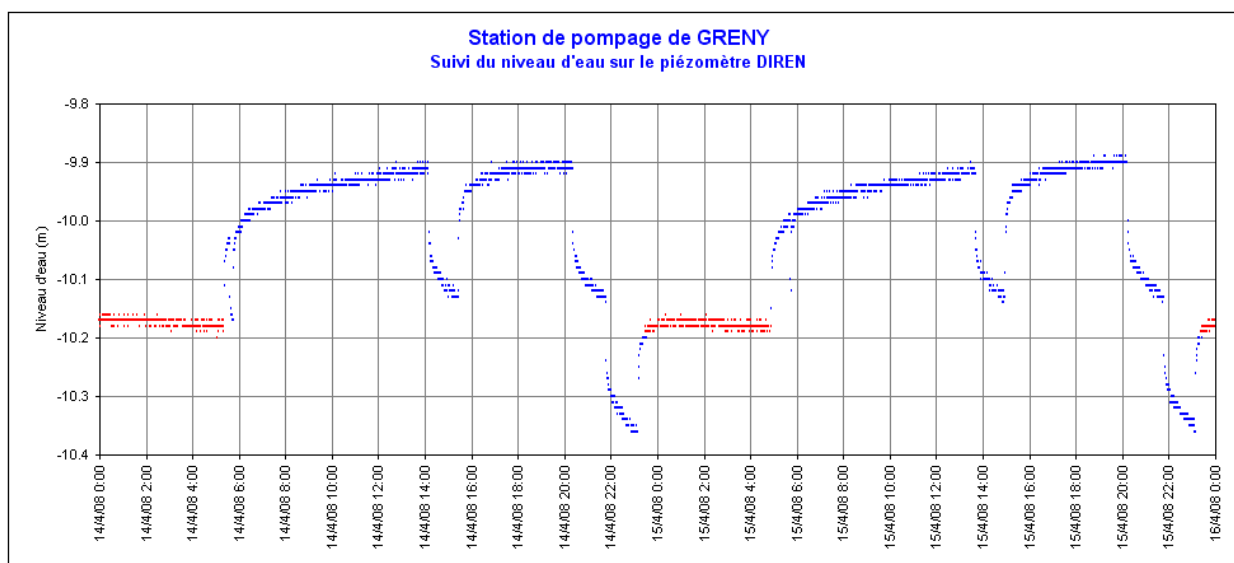
On voit bien le rôle important du déficit pluviométrique sur la période 2002-2006, la remontée de la nappe en 2007-2009 avec la reprise d'une pluviométrie excédentaire (et une légère diminution des prélèvements) et la nouvelle baisse avec les années 2010-2011 fortement déficitaires alors que les prélèvements restent constants. On peut noter évidemment une corrélation entre les excédents/déficits pluviométriques et la production d'eau potable celle-ci ayant tendance à augmenter en année "sèche" et diminuer en année "humide", mais l'amplitude des variations de production/consommation est significativement plus faible que celle des précipitations qui alimentent la nappe.

En ce qui concerne le caractère relatif de la baisse de niveau, au-delà des chiffres (0,17 ou 0,2 m/an) au demeurant très proches, on peut signaler qu'il a suffi sur la période 2006-2008 de 3 années légèrement excédentaires pour faire remonter la nappe de 1 m (avec l'aide, il est vrai, d'une diminution des prélèvements de 70 000 m³/an soit 2,2 l/s ...) et sur 2009-2011, 3 années déficitaires entraînent une baisse de 1 m alors que les débits prélevés restent sensiblement constants : 418 000 m³ en moyenne comparables à ceux de la période 1995-2001 (417 000 m³/an).

Plus globalement, si on compare les flux qui circulent dans ce système aquifère avec les prélèvements à Greny, on a des chiffres d'un autre ordre de grandeur. Le modèle numérique local, calé en régime permanent et en régime transitoire (avec une alimentation moyenne), donne des flux compris entre 68 et 77 l/s qui traduisent un état d'équilibre entre précipitations efficaces, apports « amont », prélèvements et sorties "aval". La variation des prélèvements, par rapport à la période 1995-2001 durant laquelle on peut considérer que la nappe est "stable", est de + 84 000 m³/an soit 2,7 l/s ce qui représente entre 3,5 et 4% des flux mobilisés ...

Dans le détail, en exploitation, les pompages sont réalisés alternativement sur F2 et F3 au débit de 75 m³/h avec une phase transitoire de 1 heure pendant laquelle les 2 ouvrages sont pompés soit 150 m³/h. La durée des pompages correspond sensiblement à 10 heures/jour.

Le graphique 15 ci-dessous montre l'évolution du niveau sur le piézomètre F1 pendant 48 heures en avril 2008 :



Graphique 15 : Suivi du niveau d'eau sur le piézomètre DIREN à Greny

On peut voir que l'amplitude des variations de niveau pour ces débits est de 0,5 m soit 2% de la hauteur aquifère disponible.

Les essais de pompages réalisés en 2008 montrent que le potentiel de la zone de captage est largement supérieur à l'exploitation actuelle (environ $1\,100 \pm 100 \text{ m}^3/\text{jour}$). Le modèle numérique, calé en 2008, permet de tracer une carte piézométrique proche de celle de l'état initial (1995) :

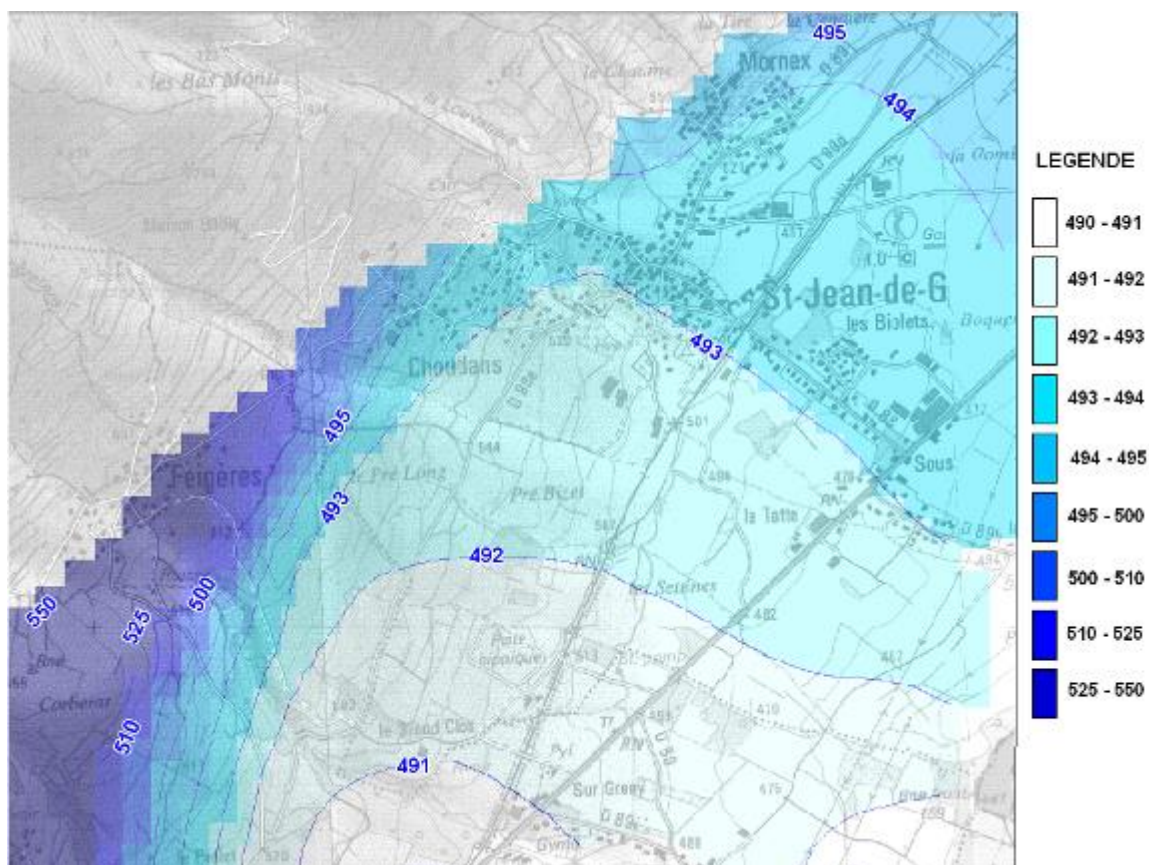


Figure 8 : carte piézométrique proche de celle de l'état initial (1995)

Le bilan de flux associé à cette situation piézométrique est le suivant :

Alimentation aux limites	1 900 m ³ /jour
Infiltration efficace	4 000 m ³ /jour
Echange nappe/rivière	10 m ³ /jour
Pompage	0
Sortie aux limites	- 5 910 m ³ /jour
Ecart sur le bilan	0 m ³ /jour

Avec moins de 0,2% du bilan, les flux d'échanges entre les eaux superficiels et la nappe ne sont pas significatifs. Avec un pompage de 1 100 m³/jour, ce flux d'échange passe à 25 m³/jour soit moins de 0,5%. Il ne devient significatif qu'à partir de 3 000 m³/jour avec environ 1% des flux (50 m³/jour soit environ 0,6 l/s). La figure 09 montre la situation des forages dans le bassin versant du Roulave (qui n'a pas été retenu comme présentant des enjeux dans le cadre de l'étude) ainsi que les limites de la zone modélisée. Les forages de Greny sont situés à 3,5 km de l'Allondon et un seuil molassique imperméable (en rouge sur la carte) sépare le bassin du Roulave de celui de l'Allondon.

Compte tenu de la situation du captage et de la présence du seuil molassique sur l'Allondon est donc nul.

Par contre, à l'amont de ce seuil, les flux circulant dans les aquifères du Pays de Gex et susceptibles d'être mobilisés pour partie en cas d'augmentation des prélèvements peuvent être évalués au minimum à 570 l/s (QMNA5 de l'Allondon à Dardagny). On voit que l'augmentation des prélèvements envisagée à terme sur Greny (900 m³/jour soit 10 l/s) représente moins de 2% de ce flux.

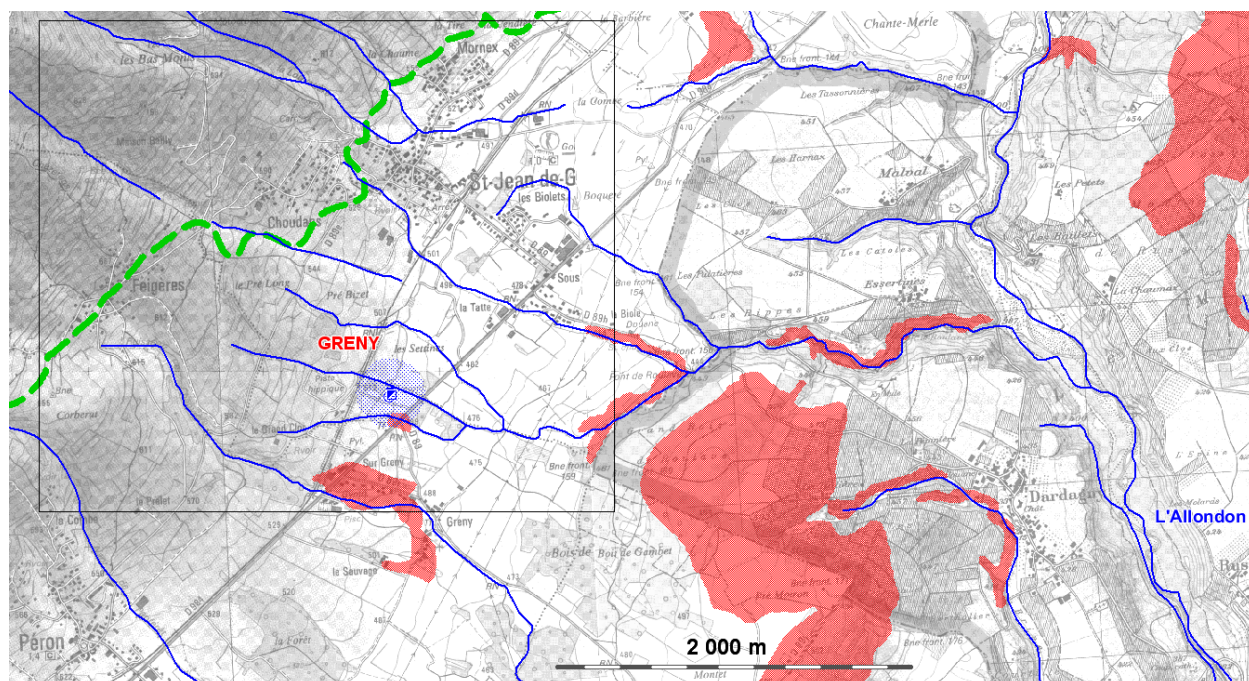
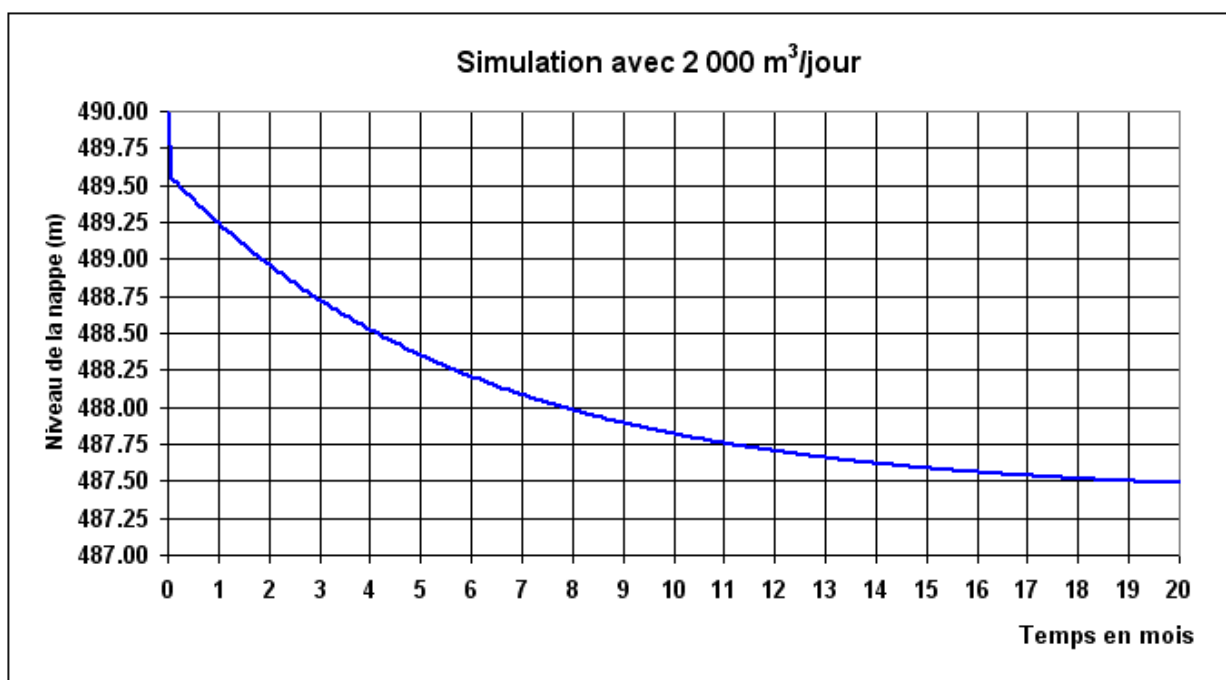


Figure 9 : Situation de la zone de Greny dans le bassin du Roulave affluent de l'Allondon

CONCLUSION PARTIELLE.

Avec les prélèvements actuels, aucune incidence tant sur les écoulements souterrains que superficiels n'est perceptible sur l'environnement du site. Compte tenu du potentiel du système de sillons de Greny, une augmentation des prélèvements est envisagée dans le cadre d'un rééquilibrage des prélèvements entre les zones nord et sud du Pays de Gex. Les simulations réalisées en régime transitoire sur le modèle montrent qu'un passage à 2 000 m³/jour (avec une alimentation moyenne) est envisageable avec un niveau dynamique de la nappe se stabilisant vers 487,5 m NGF soit environ 1 m sous le niveau dynamique actuel des forages exploités (voir graphique ci-dessous).

Le niveau initial pour cette simulation réalisée en 2008 est de 490 m NGF et la cote actuelle de la nappe, légèrement au-dessus de 489,5 m NGF, ne paraît pas de nature à remettre en cause cette simulation.



Nous proposons de retenir le piézomètre F1 Diren comme ouvrage de référence et d'alerte sur le secteur de Greny.

1.1.2.5 Zone de captage de Pouigny

La zone de captage se situe en limite du bassin versant de l'Annaz. En fait, le ruisseau éventuellement concerné est le Grand Echaud qui se jette dans le Rhône au sud de Pouigny.

Les prélèvements sur la zone de Pouigny varient entre 180 000 m³/an en 1995 et 315 000 m³/an en 2007. Depuis 2001, ils sont en moyenne de 262 000 m³/an (256 000 m³ en 2010 soit 700 m³/jour et 8,1 l/s).

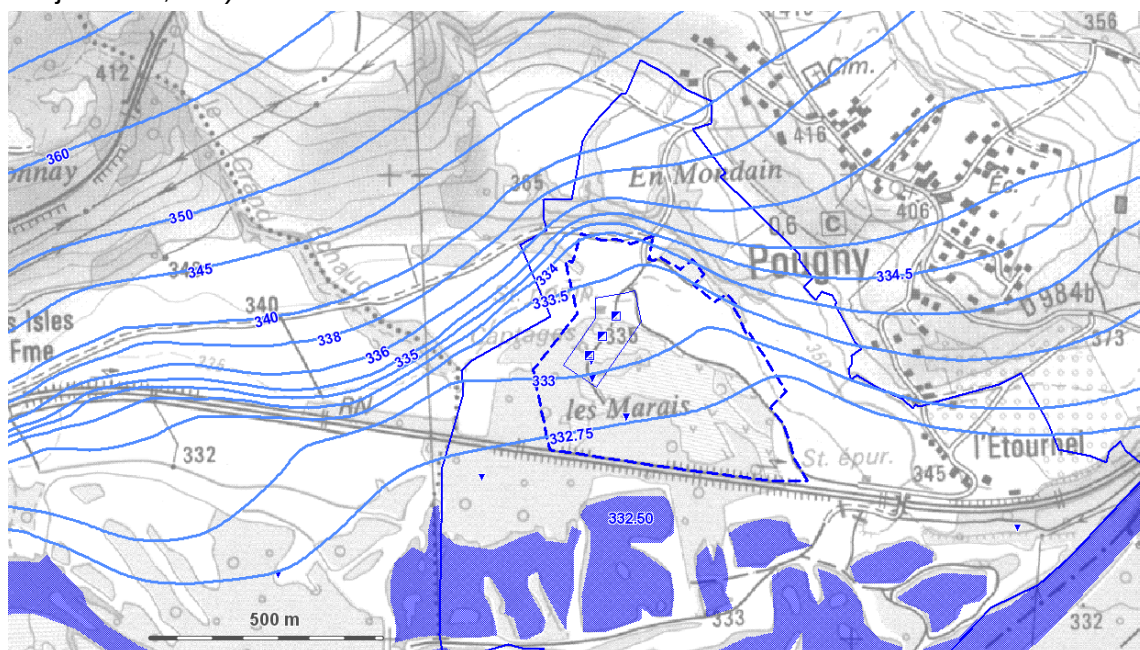


Figure 10 : carte piézométrique "naturelle" calculée par le modèle

Compte tenu de sa situation et de la présence du front d'alimentation potentiel constitué par le Rhône, les prélèvements sur cette zone n'ont pas d'incidence sur les écoulements globaux. La ZNIEFF de l'Etournal, dont le régime hydraulique est contrôlé par le Rhône et les gravières en équilibre avec le Rhône n'est pas impactée.

CONCLUSION PARTIELLE

La zone de Pougny n'est pas concernée par cette problématique. En fait, cette zone constitue une réserve véritablement stratégique pour le développement des ressources en eaux de la Communauté de Communes du Pays de Gex. Les études disponibles montrent que le potentiel est de 3 000 m³/jour avec les installations actuelles et 9 000 m³/jour avec un réaménagement de la zone de captage. Ces prélèvements futurs n'auront aucune incidence sur la piézométrie compte tenu de la présence du front d'alimentation.

Toutefois, nous proposons de retenir le piézomètre PzA, à proximité de F3, comme ouvrage de référence et d'alerte sur le secteur de Pougny.

1.1.2.6 Zone de captage de Naz

La zone de Naz n'est actuellement pas exploitée par la CCPG (cf. chapitre 6.1.5.2 de la phase 1). Avec l'exploitation future envisagée (800 m³/jour), aucune incidence sur les écoulements superficiels n'est envisagée car le "sillon" de Naz où se situe le forage est totalement isolé de celui de l'Allondon et en dehors des étangs réalisés dans le cadre de l'aménagement du golf de Maison Blanche, il n'existe pas de système superficiel potentiellement impacté.

Nous proposons de retenir le forage de Naz Dessous comme ouvrage de référence et d'alerte.

1.2 Proposition de points de référence

Pour suivre en temps de crises et pour pouvoir les anticiper, il est nécessaire d'avoir une meilleure connaissance des niveaux de nappe en différents points du bassin. Il faut définir un certain nombre de points de suivis piézométriques, déjà instrumentés ou si possible équipables, qui soient représentatifs des écoulements souterrains des unités aquifères du bassin.

Ce sont ces points de référence qui seront utilisés en phase 5 de la présente étude pour la définition des Niveaux Piézométriques d'alerte (NPA) et des Niveaux Piézométriques de Crise Renforcée (NPCR).

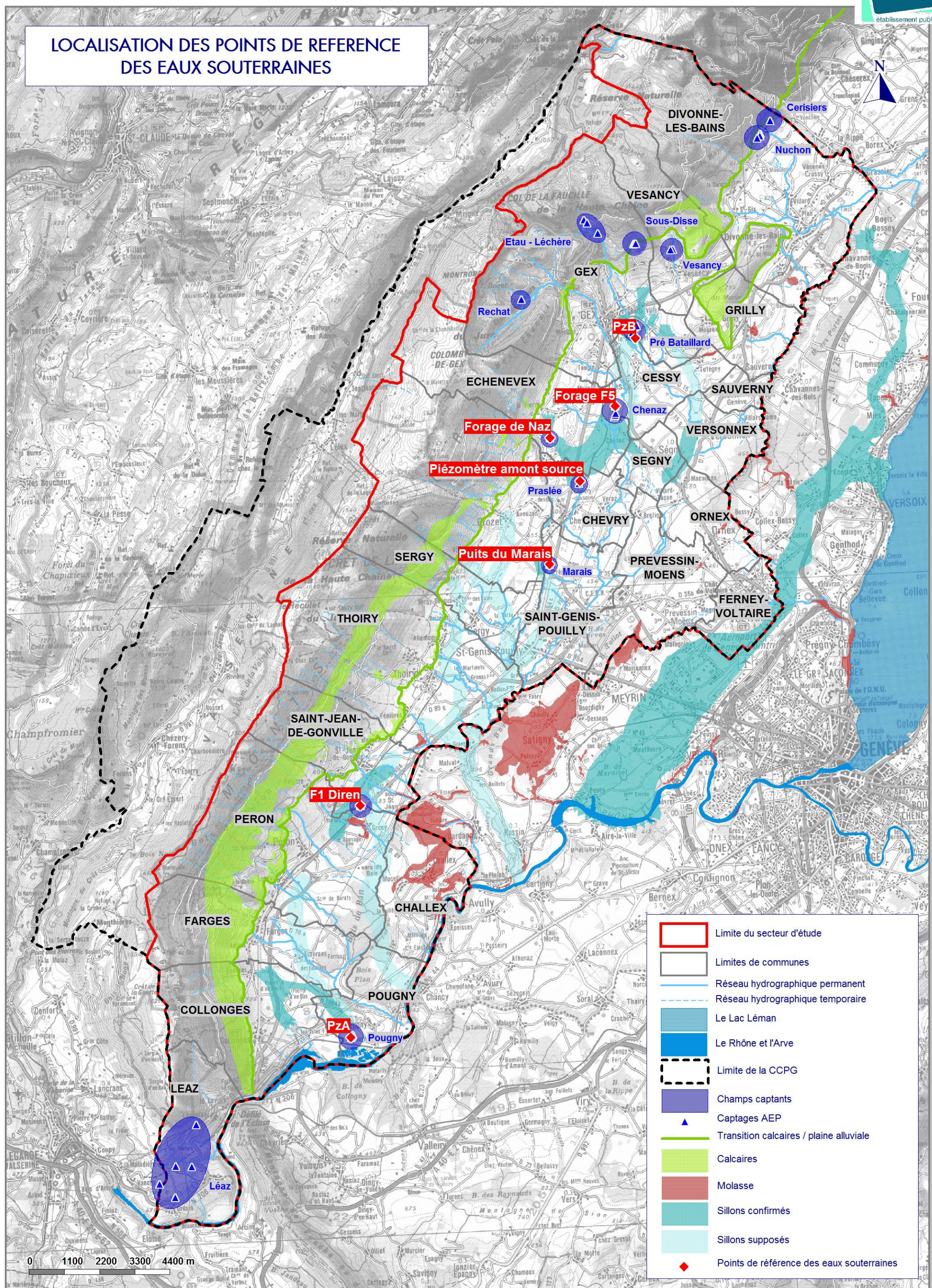
Nous récapitulons ci-dessous les points de références proposés à l'issue de ce rapport de Phase 3 :

Nappe	Point de référence	X L2e m	Y L2e m	Z (repère)	Profondeur ouvrage
La Praslée (Sillon de Chenaz aval)	Piézomètre amont source	885601	2150010	520.30 (sol)	-22.00 m/sol
Nappe de Naz	Forage de Naz	884657	2151369	550.15 (tube)	-27,00 m / rep.
Nappe de Pré Bataillard	PzB	887334	2154477	570.00 (sol)	-78.00 m/sol
Nappe de Chenaz	Forage F5	886695	2152358	525.64 (plaque)	-40.00 m /rep
Nappe du Puits du Marais	Puits du Marais	884640	2147407	470.00 (sol)	-12.00 m/sol
Nappe de Greny	F1 DIREN	878714	2139863	500.65 (dalle)	-30.00 m/dalle
Nappe de Pougny	PzA	878439	2132599	337 m (tube)	-13.00 m/sol

Remarque : Les sources gravitaires (Nuchon, Cerisiers, Etau, Léchère, Sous-Disse, Rechat, Vesancy) n'ont pas été retenues comme points de référence pour la définition de niveaux d'alerte car ces captages ne sont pas significatifs à l'échelle de l'ensemble des points de prélèvement de la Communauté de Communes du Pays de Gex.

Ces points de référence sont localisés sur la figure suivante.

LOCALISATION DES POINTS DE REFERENCE DES EAUX SOUTERRAINES



2

Eaux superficielles

2.1 Préambule

La phase 3 de l'étude d'estimation des Volumes Prélevables Globaux a pour objectifs de quantifier la ressource en eau et de définir les impacts des prélèvements. Pour ce faire, le fonctionnement hydrologique du bassin versant sera analysé principalement en étiage afin de réaliser un bilan volumique sur les zones d'études et de déterminer les secteurs en déséquilibre.

La phase 3 vise également à établir des débits caractéristiques d'étiage sur les points de suivis à enjeux définis dans le CCTP. L'analyse des prélèvements et des rejets permettra la reconstitution de l'hydrologie non influencée à ces points de suivis. Cette reconstitution des débits naturels sera également complétée par modélisations pluies-débits aux pas de temps journalier et mensuel, sur une période de 7 ans (2004-2010) pour laquelle l'ensemble des données relatives aux débits, à la climatologie, aux pressions sont disponibles.

Par ailleurs, durant la phase 3, quatre campagnes de jaugeages ont été réalisées en étiage et moyennes eaux aux points stratégiques de références retenus.

Après avoir explicité les principes de cette troisième phase et les étapes pour recueillir les données hydrologiques, le rapport présentera les méthodes d'estimation de la ressource sur chacun des points de suivis et un bilan incluant les résultats des modélisations.

2.2 Objectifs et principes

Les objectifs de cette 3^{ème} phase sont :

- ✓ La validation des points stratégiques de référence établis à partir des indications du SDAGE
- ✓ La caractérisation de l'étiage au niveau des points de référence
- ✓ La reconstitution de l'hydrologie non influencée, en particulier par modélisation pluies-débits.

Un bilan volumique est établi à partir des données débitmétriques recueillies sur la période 1990-2010, au pas de temps journalier. Ces données sont issues de 7 stations de mesures continues établies sur le territoire du Pays de Gex. Les mesures de débits ponctuelles réalisées lors d'études antérieures sont également recensées sur le bassin versant.

Les débits caractéristiques d'étiage aux points de référence sont établis en corrélant les données issues des stations de mesures continues avec celles des stations de mesures ponctuelles situées sur l'aval des tronçons de référence étudiés.

La reconstitution des débits naturels par modélisation pluies-débits permet d'évaluer les impacts des prélèvements sur la ressource en eau. Deux modélisations hydrologiques ont été réalisées à des pas de temps mensuel et journalier. Le modèle utilisé de type GR4J (pas de temps journalier), développé par le CEMAGREF, a été réadapté pour pouvoir prendre en compte la problématique des « précipitations solides ». Ce sont des modélisations conceptuelles « simples » basées sur la représentation du bassin par deux réservoirs principaux :

- ✓ un réservoir de production
- ✓ un réservoir pour le transfert du ruissellement.

La modélisation fait par ailleurs l'hypothèse de l'invariance du fonctionnement hydrologique c'est-à-dire que l'on suppose que les bassins versants gardent les mêmes propriétés hydrologiques générales au cours du temps.

Les données climatiques (pluviométrie, température et évapotranspiration) ont été récupérées sur une période de 7 ans (2004-2010) et au pas de temps journalier, afin de caler au mieux le modèle.

2.3 Détermination des points stratégiques de référence

Les points de références ont été définis dans le SDAGE : il s'agit des points de confluence et des zones en déficit chronique constaté. Pour les eaux superficielles du Pays de Gex, ces points sont les suivants :

- ✓ L'Allondon sur le point de suivi DREAL, sur le tronçon de sa source au Lion ;
- ✓ L'Allondon et le Lion de leur confluence vers l'aval en Suisse ;
- ✓ La Versoix avant sa confluence avec l'Oudar ;
- ✓ L'Oudar avant sa confluence avec la Versoix ;
- ✓ La rivière Grand Journans avant sa confluence avec le Lion ;
- ✓ Le Lion en amont de sa confluence avec l'Allondon ;
- ✓ L'Allemogne avant sa confluence avec l'Allondon ;
- ✓ Le Vengeron sur l'Est Gessien, en aval de la confluence du Nant et de l'Ouye.

La pertinence de ces points de référence, présentée dans la suite, a été analysée sur la base :

- du diagnostic de bassin réalisé en phases 1 et 2 et qui a permis de faire le point sur le fonctionnement hydrologique du bassin et sur les enjeux en termes d'usage de la ressource en eau, d'enjeux biologiques et de situations de déséquilibres hydrologiques éventuels des cours d'eau ;
- d'une reconnaissance de terrain effectuée, en août 2011, au cours de laquelle l'ensemble des bassins a été reconnu.

- « ✓ **L'Allondon sur le point de suivi DREAL, sur le tronçon de sa source au Lion ;**
✓ **L'Allondon et le Lion de leur confluence vers l'aval en Suisse** »

Au regard des données disponibles (suivi hydrologique en continu de la DREAL et sur la station suisse des Granges, nombreuses stations de jaugeages ponctuels) et des enjeux recensés sur ces tronçons (potentiel biologique, influence des affluents tels que le Lion et l'Allemogne, infiltrations, champs captants...), la pertinence des tronçons de référence proposés pour le cours d'eau de l'Allondon est confirmée. Par ailleurs, l'analyse morphologique de l'Allondon a confirmé la différenciation entre ces deux tronçons du fait de la nature des faciès observés, avec :

- en amont de la confluence avec le Lion, un faciès se caractérisant par une relative inertie hydraulique ;
- en aval, un faciès beaucoup plus sensible aux variations de débits.

- « ✓ **La Versoix avant sa confluence avec l'Oudar ;**
✓ **L'Oudar avant sa confluence avec la Versoix** »

Ces tronçons de référence sont également conservés, principalement du fait de leur fort potentiel biologique, en l'absence de pressions significatives sur la ressource en eau et de dysfonctionnements hydrologiques du milieu.

Sur le cours d'eau de la Versoix, il apparaît préférable d'étudier prioritairement le tronçon aval en considérant que :

- la séquence de faciès aval apparaît plus sensible aux variations de débit et présente des habitats patrimoniaux (frayères) plus abondants ;
- les populations salmonicoles sont de meilleure qualité à partir du pont de Sauverny.

Par ailleurs, les relations potentielles entre l'Oudar et la Versoix, la présence de zones de frayères et un faible niveau d'artificialisation et malgré l'absence de données piscicoles, il est retenu d'analyser l'évolution de l'habitat piscicole en fonction du débit du secteur aval de l'Oudar.

- « ✓ **La rivière Grand Journans avant sa confluence avec le Lion** »

Ce tronçon de référence est également confirmé du fait du potentiel biologique du tronçon avant de Grand Journans et des impacts potentiellement significatifs des prélèvements identifiés à l'amont.

- « ✓ **Le Lion en amont de sa confluence avec l'Allondon** »

Le diagnostic et la reconnaissance de terrain ont mis en avant l'absence de pressions sur la ressource en eau sur ce tronçon. Par ailleurs, l'intérêt du Lion sur sa partie amont apparaît limité (faciès morphologique, enjeux hydrologiques et piscicoles). Il est donc proposé de déplacer le tronçon de référence sur la **partie aval du lion entre sa confluence avec le Grand Journans et celle avec l'Allondon**, qui présente un faciès plus intéressant d'alternance régulière de mouille (chenal lentique) - radier

- « ✓ **L'Allemogne avant sa confluence avec l'Allondon** »

Ce point de référence est conservé car présentant des enjeux hydrologiques et piscicoles avérés.

« ✓ **Le Vengeron sur l'Est Gessien, en aval de la confluence du Nant et de l'Ouye** »

Ce point de référence prévu au marché a été abandonné car ce tronçon est très anthropisé et ne présente pas d'enjeux du point de vue de la vie piscicole et biologique. Par ailleurs, aucune pression significative sur la ressource en eau n'a été recensée sur ce bassin.

Par ailleurs on rappellera que, sur le bassin de l'Annaz, il n'y a aucun enjeu recensé concernant la ressource et qui permette de faire évoluer la situation actuelle. Il n'est donc pas nécessaire d'approfondir les études sur ce bassin versant.

Les différents tronçons de cours d'eau de référence retenus sur le bassin versant sont donc les suivants :

- ✓ L'Allondon sur le point de suivi DREAL, sur le tronçon de sa source au Lion (correspondant à la station DMB ALN2) ;
- ✓ L'Allondon et le Lion de leur confluence vers l'aval en Suisse (correspondant à la station DMB ALN6) ;
- ✓ La Versoix avant sa confluence avec l'Oudar (correspondant à la station DMB VER4) ;
- ✓ L'Oudar avant sa confluence avec la Versoix (correspondant à la station DMB OUD3) ;
- ✓ La rivière Grand Journans avant sa confluence avec le Lion (correspondant à la station DMB GJO4) ;
- ✓ La partie aval du Lion entre sa confluence avec le Lion et jusqu'avant sa confluence avec l'Allondon (correspondant à la station DMB LIO3)
- ✓ Et l'Allemogne avant sa confluence avec l'Allondon (correspondant à la station DMB ALE2).

Leur localisation est précisée sur la carte ci-après.

**BASSINS HYDROGRAPHIQUES
ET TRONCONS DE REFERENCE**

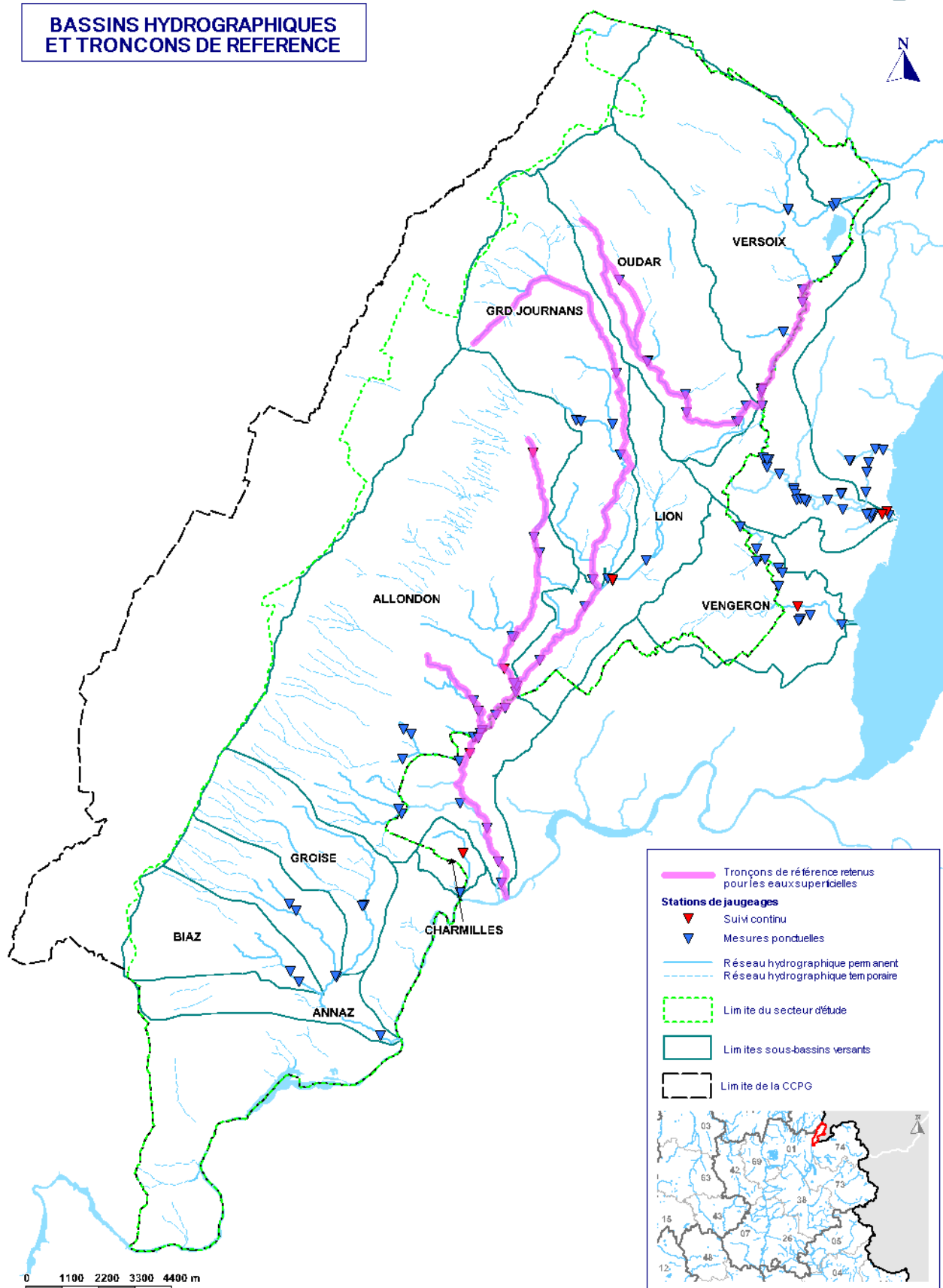


Figure 12 : localisation des tronçons de référence

2.4 Collecte et traitement des données débitmétriques

Le territoire d'étude étant transfrontalier, le recensement et l'analyse des données suisses et françaises se sont faits séparément. En effet, les débits caractéristiques n'étant pas les mêmes en Suisse, ces données ont été adaptées aux débits de référence français.

2.4.1 Recensement des stations de suivi continu et analyse statistique des débits

Sur le Pays de Gex, il existe huit stations de suivi continu au pas de temps journalier dont 3 situées en France et 5 situées en Suisse (cf carte ci-avant). Les données ont été récupérées sur la période 1990-2010.

Parmi ces stations, les données débitmétriques de la station du Canal de la Papeterie ont été sommées avec celles de la Versoix aval, afin d'avoir une évaluation des débits caractérisant l'hydrologie en clôture de bassin, le Canal de la Papeterie constituant une dérivation ponctuelle des eaux de la Versoix à proximité immédiate de sa confluence avec le Lac Léman.

La première analyse des données brutes permet de s'assurer de la fiabilité des stations : les années incomplètes et les données aberrantes ont été signalées par leurs gestionnaires. Cette analyse est résumée dans le tableau ci-après.

Stations continues	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Allondon Echenevex								i							i						
Allondon St Genis	i			i		i				i											
Allondon les Granges																					
Lion	i											i					i				
Versoix et Canal Papeterie							i														i
Gobé Vengeron									i			i		i	i	i	i				i
Ruisseau des Charmilles																		i			

i : année incomplète

 données disponibles validées

Tableau 1 : Fiabilité des stations hydrométriques disponibles

2.4.1.1 Réseau français

En France, il existe trois stations de suivi continu disponibles sur le Pays de Gex, gérées par la DREAL. Ces données sont disponibles sur le site internet de la Banque Nationale de Données pour l'Hydrométrie et l'Hydrologie, Banque HYDRO (base de données du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, www.hydro.eaufrance.fr). Ce site rassemble toutes les informations relatives à ces stations et propose une synthèse hydrologique sommaire pour chaque station. Egalement, les débits caractéristiques d'étiage sont déjà calculés et validés par les services de l'Etat.

Les stations hydrométriques sont les suivantes :

Nom station	Code station	Surface BV (km²)	Coordonnées Lambert II	
			X	Y
Allondon à Echenevex	V0415040	3.2	884331	2150950
Allondon St Genis	V0415010	37.5	883530	2144311
Lion	V0415410	11	886797	2147039

Tableau 2 : Liste des stations hydrométriques françaises

Les analyses statistiques ci-après font référence à la gamme de débits caractéristiques énoncés dans le CCTP soit :

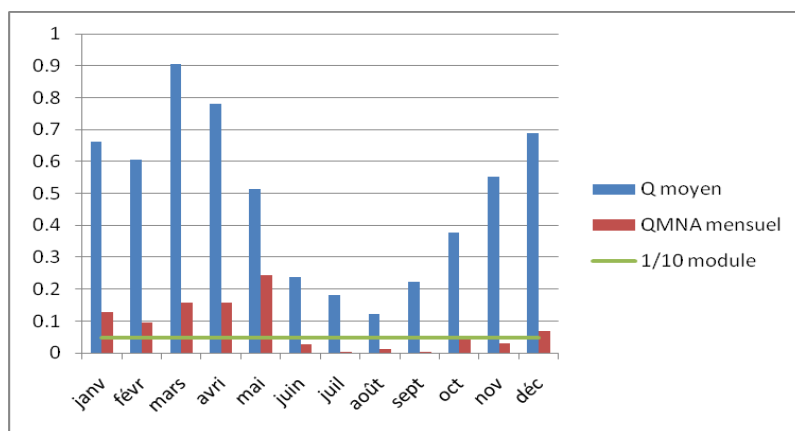
- Le QMNA : Débit Mensuel Minimal d'une Année hydrologique
- QMNA2 et QMNA5 : Débit Mensuel Minimal Annuel ayant une période de retour de 2 ou 5 ans
- VCN3 et VCN10 : Débit Moyen Minimum sur 3 ou 10 jours consécutifs sur une année hydrologique
- VCN10 (2), VCN3 (2) et VCN3 (5) : Débit Moyen minimum sur 3 ou 10 jours consécutifs ayant une période de retour de 2 ou 5 ans.
- Dixième et vingtième du module : dixième ou vingtième du débit moyen calculé sur toute la chronologie disponible.

L'analyse statistique pour la détermination de ces débits au niveau des stations hydrométriques françaises, présentée ci-après, est tirée directement de la Banque HYDRO. Pour information, l'analyse statistique a été réalisée selon la loi de Galton ou loi log-normale pour le calcul des QMNA et VCN ayant une période de retour de 2 et 5 ans. Cette loi se base sur la transformation logarithmique des données et le calcul de paramètres associés (moyenne, écart-type, fréquence et probabilité de non dépassement).

L'Allondon à Echenevex

L'analyse statistique est réalisée sur la période du 05/11/1993 au 31/12/2010.

	m ³ /s	L/s/km ²
QMNA	0.0024	0.7500
QMNA 2	0.0290	9.0625
QMNA 5	0.0120	3.7500
VCN 10	0.0010	0.3125
VCN 10 (2)	0.0040	1.2500
VCN 3	0.0010	0.3125
VCN 3 (2)	0.0030	0.9375
VCN 3 (5)	0.0010	0.3125
1/10 module	0.0486	15.1875
1/20 module	0.0024	0.7500

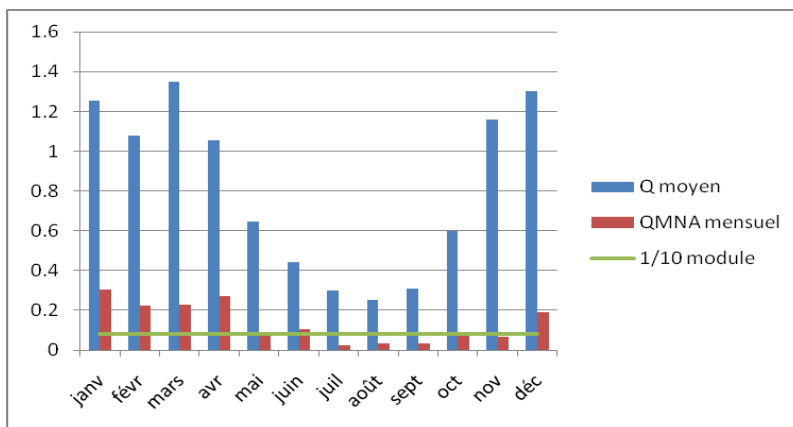


	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	Annuel	
													m³/s	L/s/km²
Q moyen (m³/s)	0.6633	0.6066	0.904	0.7796	0.5134	0.238	0.1806	0.1206	0.2234	0.3759	0.5511	0.6887	0.4871	152.2188
QMNA mensuel (m³/s)	0.1272	0.0961	0.157	0.1578	0.2422	0.0283	0.0024	0.0125	0.0044	0.0495	0.0285	0.0686	0.0024	0.7500

L'Allondon à Saint-Genis-Pouilly

L'analyse statistique est réalisée sur la période du 29/03/1990 au 31/12/2010.

	m ³ /s	L/s/km ²
QMNA	0.0250	0.6667
QMNA 2	0.0850	2.2667
QMNA 5	0.0480	1.2800
VCN 10	0.0130	0.3467
VCN 10 (2)	0.0420	1.1200
VCN 3	0.0090	0.2400
VCN 3 (2)	0.0350	0.9333
VCN 3 (5)	0.0190	0.5067
1/10 module	0.0812	2.1653
1/20 module	0.0406	1.0827

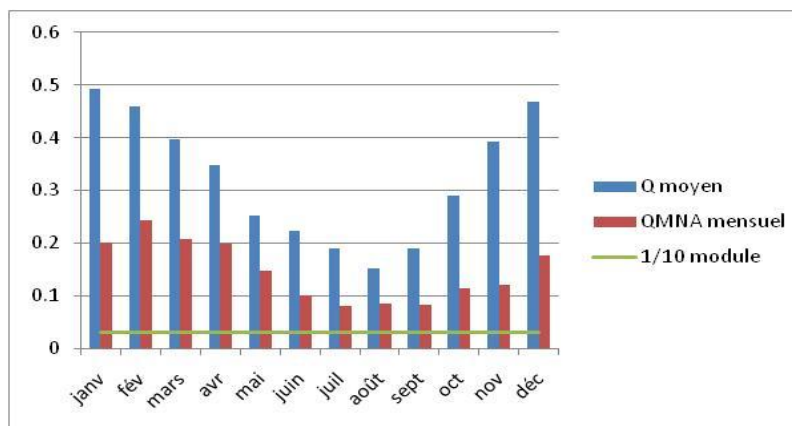


	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	Annuel	
													m³/s	L/s/km²
Q moyen (m³/s)	1.2523	1.0774	1.3498	1.0557	0.6472	0.4405	0.2994	0.2514	0.3078	0.5973	1.1569	1.3023	0.8115	21.640
QMNA mensuel (m³/s)	0.306	0.2254	0.2292	0.2694	0.0924	0.1054	0.0250	0.0347	0.0348	0.0863	0.0688	0.1899	0.0250	0.6667

Le Lion à Prévessin-Moëns

L'analyse statistique est réalisée sur la période du 29/03/1990 au 31/12/2010.

	m ³ /s	L/s/km ²
QMNA	0.0940	8.5455
QMNA 2	0.1390	12.6364
QMNA 5	0.1100	10.0000
VCN 10	0.0500	4.5455
VCN 10 (2)	0.1140	10.3636
VCN 3	0.0480	4.3636
VCN 3 (2)	0.1090	9.9091
VCN 3 (5)	0.0840	7.6364
1/10 module	0.0296	2.6909
1/20 module	0.0148	1.3455



	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	Annuel	
Q moyen (m ³ /s)	0.4917	0.4595	0.397	0.3484	0.2515	0.223	0.1902	0.152	0.1905	0.2902	0.3928	0.4685	0.3213	29.2068
QMNA mensuel (m ³ /s)	0.2004	0.2441	0.2084	0.1981	0.1485	0.0999	0.0816	0.0851	0.0835	0.1137	0.1213	0.1764	0.0816	7.4182

Des réserves doivent être évoquées quant à la fiabilité des mesures de ces stations continues en période d'étiage, en particulier :

- pour la station sur l'Allondon à Saint-Genis-Pouilly, qui mesure les débits au droit d'un faciès de mouille a priori peu sensible aux fluctuations de débits ;
- pour la station située sur le Lion à Prévessin-Moëns, qui se situe juste à l'amont de la confluence avec le Petit Journans et qui peut donc être sous l'influence de cet affluent (la station est inscrite dans l'éventuel remous lié à un apport de ce cours d'eau).

2.4.1.2 Réseau Suisse

En Suisse, nous utilisons quatre stations de suivi continu gérées par la SECOE (Service de l'Ecologie de l'Eau, Canton de Genève). Ces stations sont référencées dans le tableau suivant :

Nom station	Code station	Surface BV (km ²)	Coordonnées	
			X	Y
Allondon les Granges	-	119	488 880	119 460
La Versoix	VX	87.3	501 899	125 792
Le Gobé Vengeron	GO	15.6	499 054	123 202
Ruisseau des Charmilles	BR	1.39	488 456	116 338

Tableau 3 : Liste des stations hydrométriques suisses

Comme il a été dit en introduction du présent chapitre, les débits caractéristiques d'étiage suisses sont différents de ceux français. Par exemple, le QMNA est remplacé par un débit très proche appelé le Q347. Ce dernier est défini comme « le débit d'un cours d'eau atteint ou dépassé pendant 347 jours par année, dont la moyenne est calculée sur une période de dix ans et qui n'est pas influencé sensiblement par des retenues, des prélèvements ou des apports d'eau ».

Pour être certain de comparer les mêmes débits caractéristiques, nous avons analysé les chroniques de débits de la SECOE pour déterminer statistiquement les débits de référence selon les normes françaises, conformément aux attentes énoncées dans le CCTP.

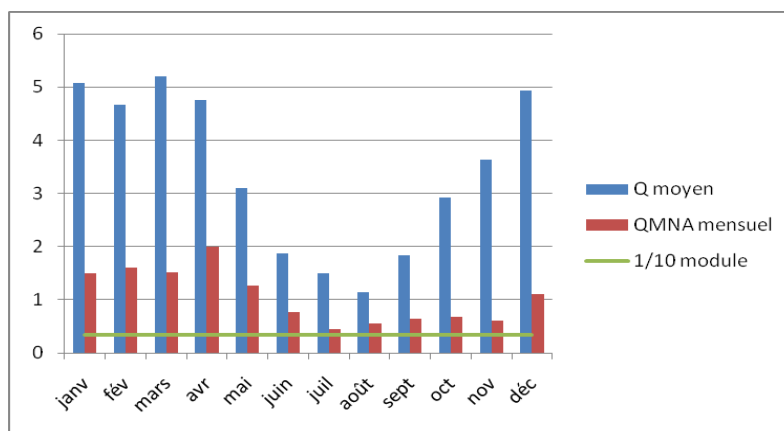
Dans un premier temps, le QMNA et les VCN3 et 5 ont été calculés. Ensuite, une analyse statistique selon la loi de Galton ou loi log-normale a été réalisée pour le calcul des QMNA et VCN ayant une période de retour de 2 et 5 ans, conformément à l'analyse réalisée pour les stations de la Banque HYDRO.

Vous trouverez ci-après les résultats des analyses statistiques pour les quatre stations continues.

Allondon les Granges

L'analyse statistique est réalisée sur la période du 01/01/1993 au 31/12/2010.

	m ³ /s	L/s/km ²
QMNA	0.4442	3.7328
QMNA 2	0.7700	6.4706
QMNA 5	0.6152	5.1697
VCN 10	0.3210	2.6975
VCN 10 (2)	0.5871	4.9336
VCN 3	0.2930	2.4622
VCN 3 (2)	0.5584	4.6924
VCN 3 (5)	0.4545	3.8193
1/10 module	0.3382	2.8420
1/20 module	0.1691	1.4210

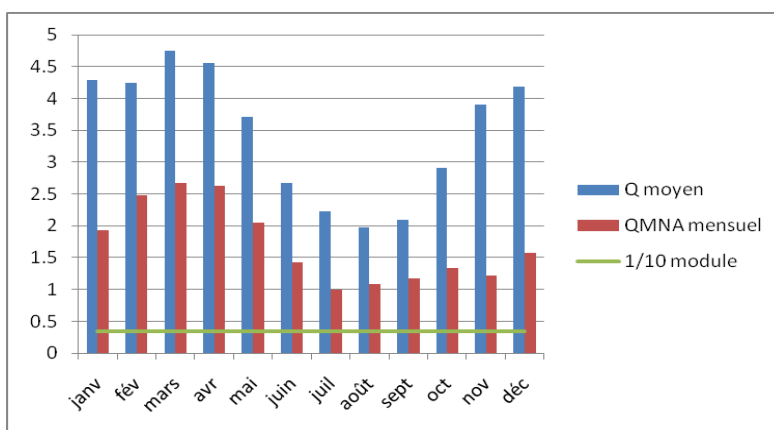


	janv	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	Annuel	
													m ³ /s	L/s/km ²
Q moyen (m ³ /s)	5.0824	4.6632	5.205	4.7579	3.0968	1.866	1.5009	1.1335	1.8409	2.9295	3.6393	4.9396	3.3879	28.4699
QMNA mensuel (m ³ /s)	1.4984	1.6032	1.5077	1.9933	1.2594	0.7583	0.4442	0.5539	0.6427	0.6803	0.61	1.111	0.4442	3.7328

La Versoix et Canal Papeterie

L'analyse statistique est réalisée sur la période du 16/11/1996 au 14/04/2010.

	m ³ /s	L/s/km ²
QMNA	0.9952	11.0333
QMNA 2	1.4761	16.3647
QMNA 5	1.1762	13.0399
VCN 10	0.4622	5.1242
VCN 10 (2)	0.9927	11.0055
VCN 3	0.4267	4.7306
VCN 3 (2)	0.9279	10.2871
VCN 3 (5)	0.7044	7.8093
1/10 module	0.3482	3.8603
1/20 module	0.1741	1.9302

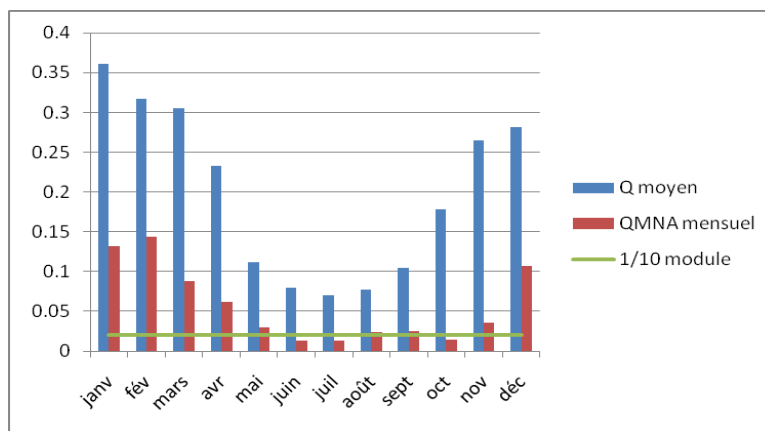


	janv	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	Annuel	
													m ³ /s	L/s/km ²
Q moyen (m ³ /s)	4.2833	4.2516	4.7503	4.5588	3.7035	2.6709	2.2246	1.9706	2.0864	2.9157	3.9086	4.185	3.4591	38.3493
QMNA mensuel (m ³ /s)	1.9296	2.483	2.6715	2.6216	2.0512	1.4254	0.9952	1.0857	1.1719	1.3299	1.2213	1.5703	0.9952	11.0333

Gobé Vengeron

L'analyse statistique est réalisée sur la période du 16/01/1998 au 12/04/2010.

	m ³ /s	L/s/km ²
QMNA	0.0128	0.82051
QMNA 2	0.0375	2.40385
QMNA 5	0.0218	1.39744
VCN 10	0.0005	0.03205
VCN 10 (2)	0.0067	0.42949
VCN 3	0.0000	0.00000
VCN 3 (2)	0.0050	0.32051
VCN 3 (5)	0.0014	0.08974
1/10 module	0.0201	1.28846
1/20 module	0.0101	0.64744

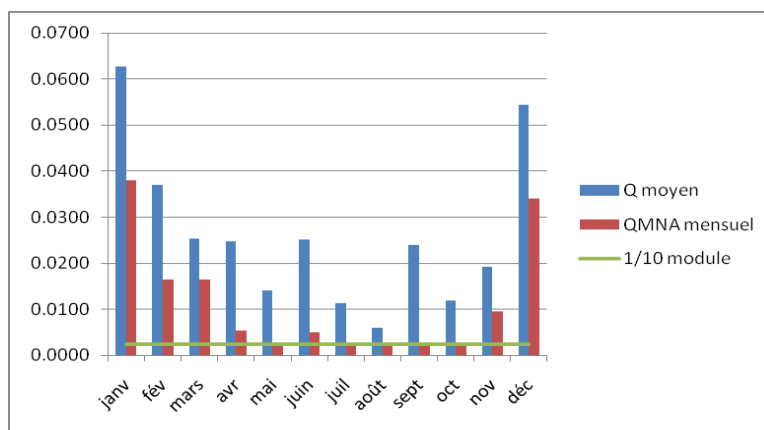


	janv	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	Annuel	
													m ³ /s	L/s/km ²
Q moyen (m ³ /s)	0.3606	0.3165	0.3047	0.2329	0.1122	0.08	0.0707	0.0771	0.1046	0.1782	0.2649	0.2813	0.1986	12.7334
QMNA mensuel (m ³ /s)	0.1313	0.1439	0.0877	0.0613	0.0302	0.0128	0.0133	0.0242	0.0248	0.0142	0.0358	0.107	0.0128	0.8205

Ruisseau des Charmilles

L'analyse statistique est réalisée sur la période du 01/01/1993 au 31/12/2010.

	m ³ /s	L/s/km ²
QMNA	0.0210	11.05263
QMNA 2	0.0032	1.68421
QMNA 5	0.0019	1.00000
VCN 10	0.0008	0.42105
VCN 10 (2)	0.0013	0.68421
VCN 3	0.0006	0.31579
VCN 3 (2)	0.0009	0.47368
VCN 3 (5)	0.0006	0.31579
1/10 module	0.0025	1.31579
1/20 module	0.0013	0.68421

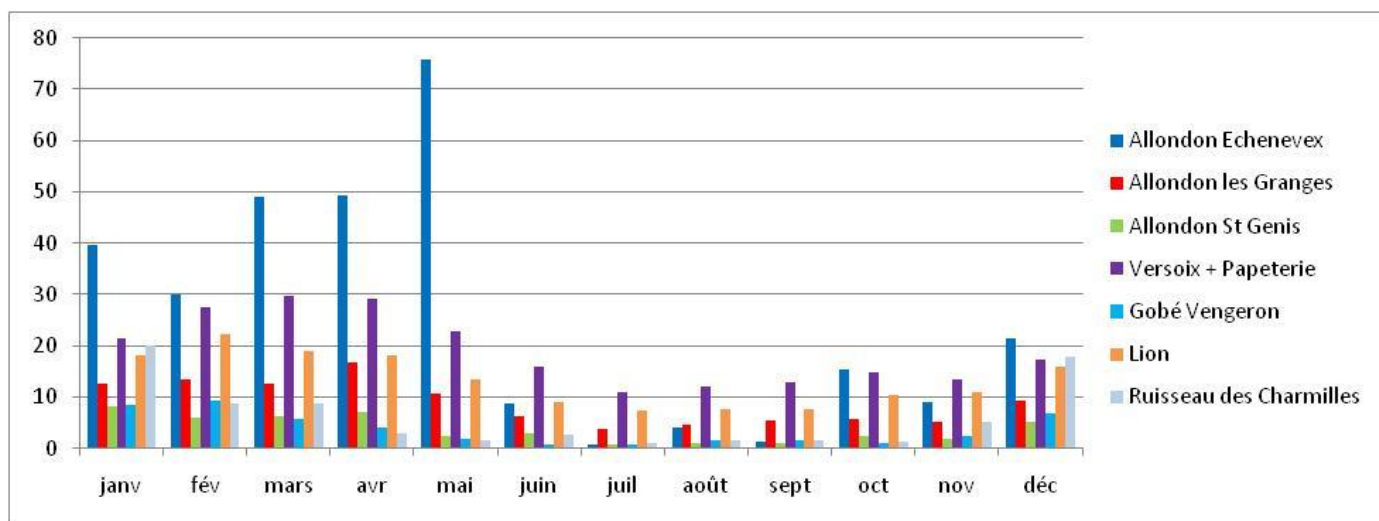


	janv	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	Annuel	
													m ³ /s	L/s/km ²
Q moyen (m ³ /s)	0.0627	0.0371	0.0254	0.0248	0.0141	0.0251	0.0114	0.0060	0.0239	0.0120	0.0193	0.0545	0.0264	13.8728
QMNA mensuel (m ³ /s)	0.0380	0.0164	0.0164	0.0054	0.0029	0.0050	0.0021	0.0028	0.0028	0.0026	0.0096	0.0340	0.0021	1.1053

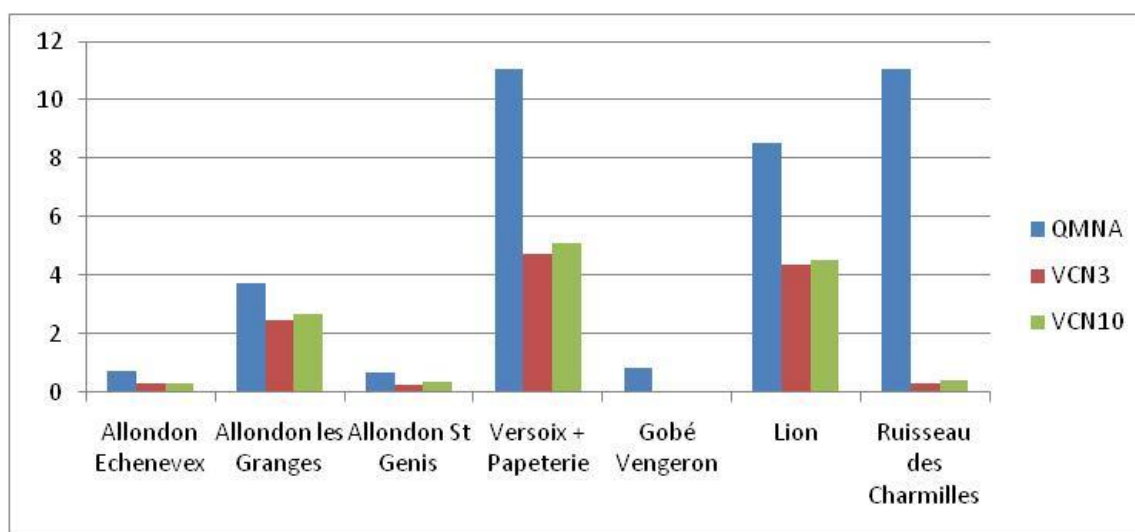
2.4.2 Analyse comparative des stations continues

Une première comparaison des différentes stations continues au pas de temps mensuel met en avant les mois d'étiage les plus sévères (entre juin et septembre). En particulier, le graphique ci-dessous montre que le cours d'eau de l'Allondon (sur les trois stations) présente des débits d'étiage très faibles. A l'inverse, les cours d'eau de la Versoix et du Lion ne semblent pas contraints par ces étiages sévères.

Ces graphiques permettent ainsi d'identifier les cours d'eau ou tronçons de cours d'eau pour lesquels la disponibilité de la ressource sera plus particulièrement problématique.



Graphique 16: QMNA mensuel spécifique (l/s/km²)



Graphique 17: Débits caractéristiques d'étiage par station continue (l/s/km²)

2.4.3 Recensement des stations de mesures ponctuelles

Cette étape consistait à recenser toutes les données débitmétriques ponctuelles issues d'études antérieures sur le Pays de Gex.

Pour la partie française de la zone d'étude, les données récupérées sont issues de différentes sources :

- Etude préalable au contrat de rivière (campagnes de jaugeages 1999-2000) ;
- Réseau Complémentaire Départemental de l'Ain (RDC01 : stations suivies tous les 2 ans) ;
- Etude qualité des cours d'eau du Pays de Gex (HYDRETUDES, 2009) ;
- Site de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse (www.eaurmv.fr : réseau de surveillance et de suivi de la qualité).

Une fois récupérées, les données ont été traitées et rassemblées par cours d'eau, stations de mesures et date de la mesure. Pour mieux visualiser la quantité des données sur la zone d'étude, leur localisation est présentée en Annexe 1.

Pour la partie suisse, les données débitmétriques ponctuelles nous ont été transmises sous la forme d'un tableau déjà traité. Elles ont également été localisées sur la zone d'étude (cf Annexe 1).

2.4.4 Campagnes de jaugeages

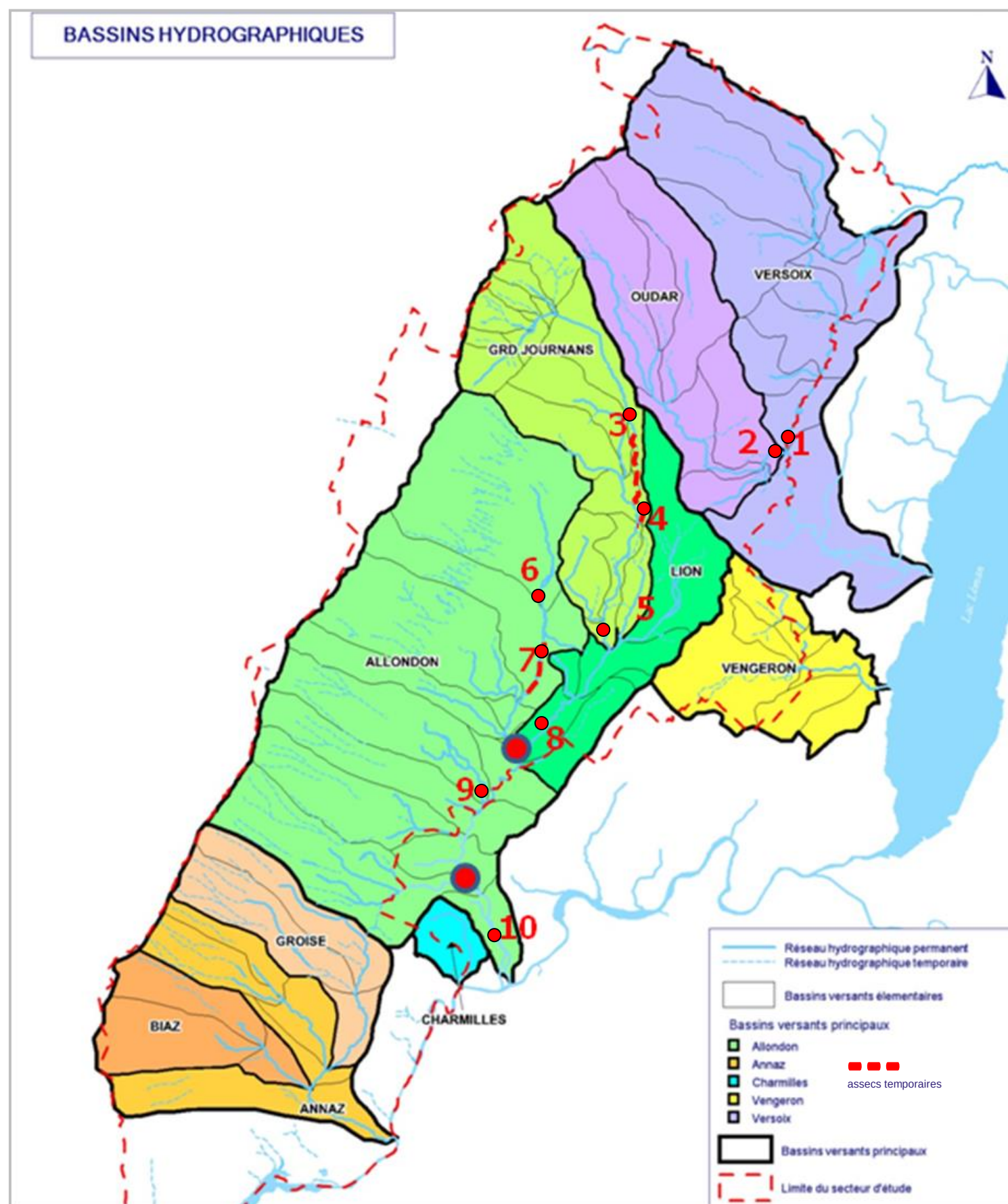
Quatre campagnes de mesures de débit ont été réalisées sur le bassin versant des cours d'eau du Pays de Gex en parallèle de la Phase 3.

Ces campagnes ont été réalisées et exploitées afin de compléter le niveau de connaissance sur le fonctionnement hydrologique des cours d'eau.

Ces campagnes ont concerné une dizaine de points situés au droit des tronçons stratégiques de référence et des secteurs sur lesquels des dysfonctionnements hydrologiques ont pu être observés. Ces stations de jaugeages sont localisées sur la carte en page suivante.

Les conditions hydrologiques de réalisation de ces 4 campagnes ont été les suivantes (référence station DREAL de l'Allondon à Saint-Genis-Pouilly) :

- 03/10/2011 : étiage sévère (0,76 x QMNA5)
- 14/10/2011 : basses eaux (4,4 x QMNA5 / 0,2 x Module)
- 28/06/2012 : basses eaux (4,7 x QMNA5 / 0,2 x Module)
- 01/03/2013 : Moyennes eaux (11,8 x QMNA5 / 0,6 x Module).



N°	Station	Date	Débit (l/s)	Débit spécifique (l/s/km²)	BV (km²)
1	Versoix Sauverny	03/10/2011	1 382,2	32,9	42
		14/10/2011	2 955,2	70,4	42
		28/06/2012	2 670,7	63,6	42
		01/03/2013	2 369,0	55,1	43
2	Oudar	03/10/2011	43,6	1,6	27
		14/10/2011	65,6	2,4	27
		28/06/2012	202,5	7,5	27
		01/03/2013	410,5	15,2	27
3	Grand Journans Cessy	03/10/2011	12,9	0,9	15
		14/10/2011	101,3	6,8	15
		28/06/2012	106,9	7,1	15
		01/03/2013	108,3	7,2	15
4	Grand Journans Amont Varfeuille	03/10/2011	0,0	0,0	16
		14/10/2011	0,0	0,0	16
		28/06/2012	0,0	0,0	16
		01/03/2013	0,0	0,0	16
5	Grand Journans Aval	03/10/2011	30,9	1,0	30
		14/10/2011	39,5	1,3	30
		28/06/2012	77,5	2,6	30
		01/03/2013	229,5	7,6	30
6	Allondon Chevy	03/10/2011	10,2	0,5	19
		14/10/2011	171,0	9,0	19
		28/06/2012	168,4	8,9	19
		01/03/2013	231,1	12,2	19
7	Allondon Chêne	03/10/2011	0,0	0,0	20
		14/10/2011	143,5	7,2	20
		28/06/2012	117,2	5,9	20
		01/03/2013	217,3	10,9	20
DREAL	Allondon St-Genis	03/10/2011	32,0	0,9	37,5
		14/10/2011	186,0	5,0	37,5
		28/06/2012	198,0	5,3	37,5
		01/03/2013	495,0	13,2	37,5
8	Lion St-Genis	03/10/2011	116,8	2,5	47
		14/10/2011	125,1	2,7	47
		28/06/2012	298,1	6,3	47
		01/03/2013	715,3	15,2	47
9	Allemogne	03/10/2011	403,1	42,4	9,5
		14/10/2011	714,1	75,2	9,5
		28/06/2012	837,5	88,2	9,5
		01/03/2013	719,3	75,7	9,5
SECOE	Allondon Granges	03/10/2011	500,0	4,2	119
		14/10/2011	900,0	7,6	119
		28/06/2012	1 220,0	10,3	119
		01/03/2013	1 800,0	15,1	119
10	Allondon Aval	03/10/2011	283,2	2,0	140
		14/10/2011	684,6	4,9	140
		28/06/2012	1 259,9	9,0	140
		01/03/2013	2 011,3	14,4	140

Figure 13 : stations de jaugeages

Note : La mesure du 03/10/2011 sur la station du Grand Journans à Cessy semble erronée, probablement du fait de l'utilisation dans cette première campagne d'un appareil peu adapté aux conditions sévères d'étiage observées (utilisation d'un courantomètre à moulinet sur un substrat à forte granulométrie).

Ces campagnes font apparaître les conclusions suivantes :

- Des débits spécifiques contrastés :
 - Elevés et relativement indépendants des conditions climatiques pour le BV de la Versoix (entre 30 et 70 l/s/km² selon la période) et le BV de l'Allemogne (entre 40 et 90 l/s/km²) ;
 - Quasi nuls en étiage et ne dépassant pas 7 l/s/km² en moyennes eaux sur le Grand Journans ;
 - Très bas en périodes d'étiage (entre 1 et 2 l/s/km²) et restants faibles en moyennes eaux (entre 10 et 15 l/s/km² max) sur la majeure partie des cours d'eau ;
- La mise en évidence de tronçons de cours d'eau subissant des pertes hydrologiques (voir carte en page précédente) pouvant amener à des situations hydrologiques critiques, voire des assecs qui, en l'absence de prélèvements impactant significativement sur la ressource, semblent d'origine géologique :
 - Sur le Grand Journans, entre Cessy et la confluence avec le By et la Varfeuille, soit environ 3,5 kms (tronçon à sec en quasi permanence, sauf en période de fonte des neiges) ;
 - Sur l'Allondon amont, en arrière de la zone commerciale de l'Allondon à Saint-Genis-Pouilly, sur environ une centaine de mètres (assecs temporaires lors des étiages sévères du fait de pertes par infiltration/dérivation de l'ordre de 10 à 50 l/s et d'une rupture hydraulique au droit du radier du pont situé entre la zone artisanale de l'Allondon et la zone artisanale du Crozet ;
 - Sur l'Allondon aval, de l'embouchure de l'Allemogne au puits des Feuilletières (les jaugeages ont mis en évidence des pertes de l'ordre de 250 à 350 l/s par rapport aux apports de l'Allondon amont, du Lion et de l'Allemogne en périodes de basses eaux).

2.5 Caractérisation de l'étiage au niveau des points de référence

2.5.1 Méthodologie

Pour répondre à l'objectif de cette étude d'estimation des volumes prélevables sur le bassin versant, il est nécessaire de caractériser l'étiage au niveau des points de référence.

Pour estimer une gamme de débits caractéristiques d'étiage, les données débitmétriques doivent être connues sur la période 1990-2010. On distingue alors deux cas :

- les points de référence correspondant à une station de mesure continue
- et les points de référence pour lesquels aucun suivi continu n'est disponible.

Dans le premier cas, est concerné l'Allondon sur le tronçon de sa source au Lion. L'étiage est donc déjà caractérisé sur cette section.

Pour les autres tronçons et points de référence retenus, la caractérisation des débits est effectuée par analogie avec les stations de mesures continues.

Dans un premier temps, il s'agit de décider à partir de quelle station ponctuelle la corrélation station ponctuelle / station continue va être faite. Parmi les nombreuses stations et données identifiées précédemment, la station hydrométrique retenue est celle située le plus en aval du tronçon de référence et qui possède un nombre de données de débit suffisant pour avoir une corrélation la plus représentative et la plus pertinente possible. Certaines valeurs de débits sont également critiquées et peuvent être supprimées pour la corrélation si elles sont susceptibles de l'influencer (débit en condition de crue par exemple).

Les débits de la station ponctuelle sont ensuite comparés à ceux mesurés à la même date pour chaque station continue. La corrélation entre ces deux stations hydrométriques est étudiée selon le nombre de couple de données et la valeur du coefficient de détermination R^2 .

La station continue est retenue est celle pour laquelle la meilleure corrélation est observée. La reconstitution des débits sur la section de référence est ensuite établie en utilisant l'équation corrélant les deux stations hydrométriques.

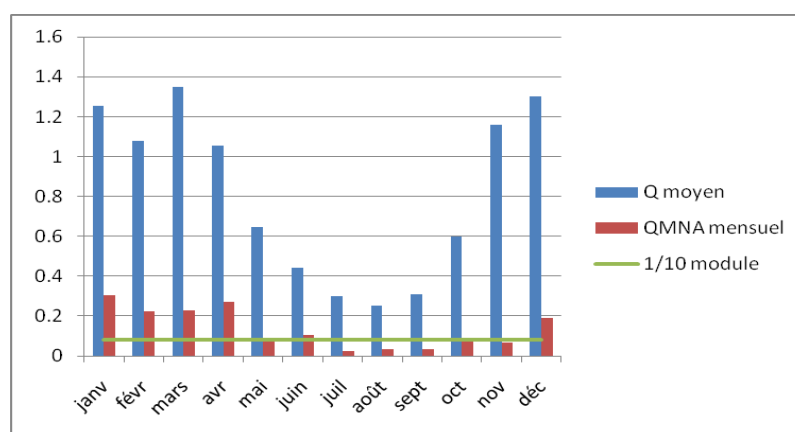
2.5.2 Estimation des débits caractéristiques d'étiage pour chacun des points de référence

2.5.2.1 L'Allondon sur le tronçon de sa source au Lion

Comme énoncé précédemment, la station continue de l'Allondon à Saint-Genis-Pouilly est représentative du tronçon de référence à étudier.

L'analyse statistique est réalisée à partir de cette station hydrométrique sur la période du 29/03/1990 au 31/12/2010.

	m ³ /s	L/s/km ²
QMNA	0.0250	0.66667
QMNA 2	0.0850	2.26667
QMNA 5	0.0480	1.28000
VCN 10	0.0130	0.34667
VCN 10 (2)	0.0420	1.12000
VCN 3	0.0090	0.24000
VCN 3 (2)	0.0350	0.93333
VCN 3 (5)	0.0190	0.50667
1/10 module	0.0812	2.16533
1/20 module	0.0406	1.08267



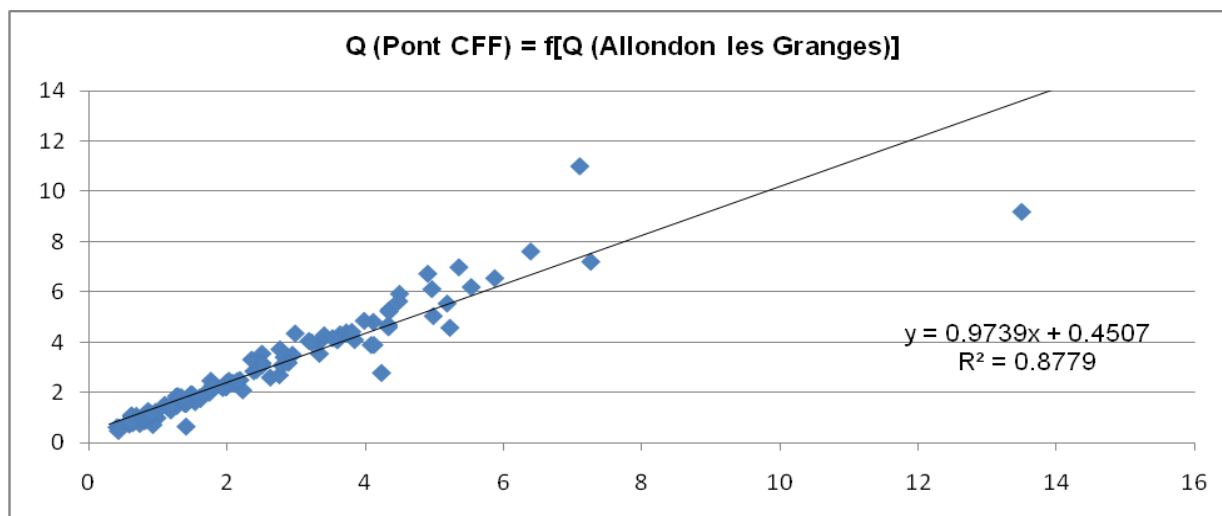
	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	Annuel	
													m ³ /s	L/s/km ²
Q moyen (m ³ /s)	1.2523	1.0774	1.3498	1.0557	0.6472	0.4405	0.2994	0.2514	0.3078	0.5973	1.1569	1.3023	0.8115	21.64
QMNA mensuel (m ³ /s)	0.306	0.2254	0.2292	0.2694	0.0924	0.1054	0.025	0.0347	0.0348	0.0863	0.0688	0.1899	0.025	0.6667

2.5.2.2 L'Allondon et le Lion de leur confluence vers l'aval en Suisse

La station de jaugeage ponctuelle en aval de ce tronçon est la station Suisse située au niveau du pont CFF. Cette dernière a fait l'objet de 59 mesures de débits sur la période 1990-2010. Son bassin versant est de 146,8 km². A cette station, nous avons ajouté les 90 données débitométriques d'une seconde station ponctuelle située à proximité (pont de l'Allondon à environ 1 km de l'embouchure avec le Rhône).

Le choix de prendre en compte deux stations ponctuelles a permis de départager les corrélations entre les trois stations hydrométriques continues situées sur l'Allondon (Echenevex, Saint-Genis-Pouilly, les Granges). En effet, en corrélant à une seule station de jaugeage ponctuelle, ces stations continues présentaient un coefficient de détermination quasi identique et ne nous permettait pas d'identifier la meilleure corrélation.

L'ajout de ces mesures ponctuelles de débit a permis de retenir la station d'Allondon les Granges comme ayant la meilleure corrélation, ce qui n'est finalement pas étonnant compte tenu de l'appartenance au même bassin versant et la proximité de ces deux stations.



Graphique 18 : Corrélation entre deux stations hydrométriques Pont CFF et Allondon les Granges

Ce graphique montre que les deux variables sont bien corrélées avec un coefficient de détermination de $R^2=87,79\%$, obtenu avec 115 couples de données.

La station hydrométrique de mesures continues retenue pour la reconstitution des débits de ce tronçon de référence est donc celle d'Allondon les Granges.

L'équation du graphique de corrélation permet d'obtenir les débits caractéristiques d'étiage suivant :

	m ³ /s		m ³ /s
QMNA	0.4442	QMNA	0.8833
QMNA 2	0.7700	QMNA 2	1.2006
QMNA 5	0.6152	QMNA 5	1.0498
VCN 10	0.3210	VCN 10	0.7633
VCN 10 (2)	0.5871	VCN 10 (2)	1.0225
VCN 3	0.2930	VCN 3	0.7361
VCN 3 (2)	0.5584	VCN 3 (2)	0.9945
VCN 3 (5)	0.4545	VCN 3 (5)	0.8933
1/10 module	0.3382	1/10 module	0.7801
1/20 module	0.1691	1/20 module	0.6154

Allondon les Granges

Allondon et Lion vers l'aval

Tableau 4 : Débits caractéristiques d'étiage de l'Allondon et du Lion, de leur confluence vers l'aval en Suisse

Les débits spécifiques caractéristiques d'étiage se calculent à partir de la surface de la station de mesure ponctuelle, soit 146,8 km².

	QMNA	QMNA 2	QMNA 5	VCN 10	VCN 10 (2)	VCN 3	VCN 3 (2)	VCN 3 (5)	1/10 module	1/20 module
L/s/km ²	6.0171	8.1785	7.1515	5.1997	6.9651	5.014	6.7747	6.0854	5.3138	4.192

Tableau 5 : Débits spécifiques caractéristiques d'étiage

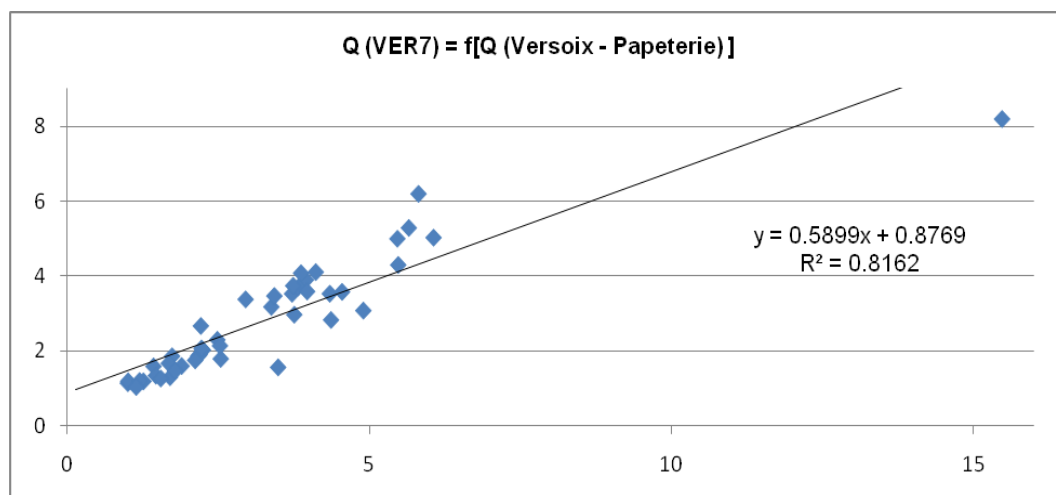
	janv	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	Annuel
QMNA spé mensuel (Allondon les Granges)	12.5916	13.4723	12.6697	16.7504	10.5832	6.3723	3.7328	4.6546	5.4008	5.7168	5.1261	9.3361	3.7328
QMNA spé mensuel (Pont CFF)	13.0108	13.7061	13.0725	16.2941	11.4253	8.1009	6.0171	6.7448	7.3340	7.5834	7.1170	10.4408	6.0170

Tableau 6 : QMNA spécifiques mensuels (l/s/km²)

2.5.2.3 La Versoix en aval de la STEP de Divonne les Bains, avant sa confluence avec l'Oudar

La station ponctuelle située en aval de ce point de référence est la station VER7 (cf annexe 1). Cette station possède 68 données débitmétriques sur la période 1995-2005. Le bassin versant correspondant fait 42 km².

Après corrélation avec toutes les stations hydrométriques continues, la station de la Versoix et du canal Papeterie est retenue comme étant celle présentant la corrélation la plus pertinente avec la station VER7, ce qui correspond bien aux implantations géographiques et hydrologiques des deux stations. Le graphique de corrélation correspondant indique un coefficient de corrélation R²=81,62% obtenu avec 45 couples de données.



Graphique 19 : Corrélation entre deux stations hydrométriques VER7 et Versoix-Papeterie

L'équation de ce graphique permet le calcul, par analogie, des débits caractéristiques d'étiage pour cette section de référence.

	QMNA	QMNA 2	QMNA 5	VCN 10	VCN 10 (2)	VCN 3	VCN 3 (2)	VCN 3 (5)	1/10 module	1/20 module
m³/s	1.464	1.7477	1.5707	1.1496	1.4625	1.1286	1.4243	1.2924	1.0823	0.9796
L/s/km²	34.8559	41.6099	37.398	27.3703	34.8208	26.8717	33.9107	30.7718	25.7692	23.3241

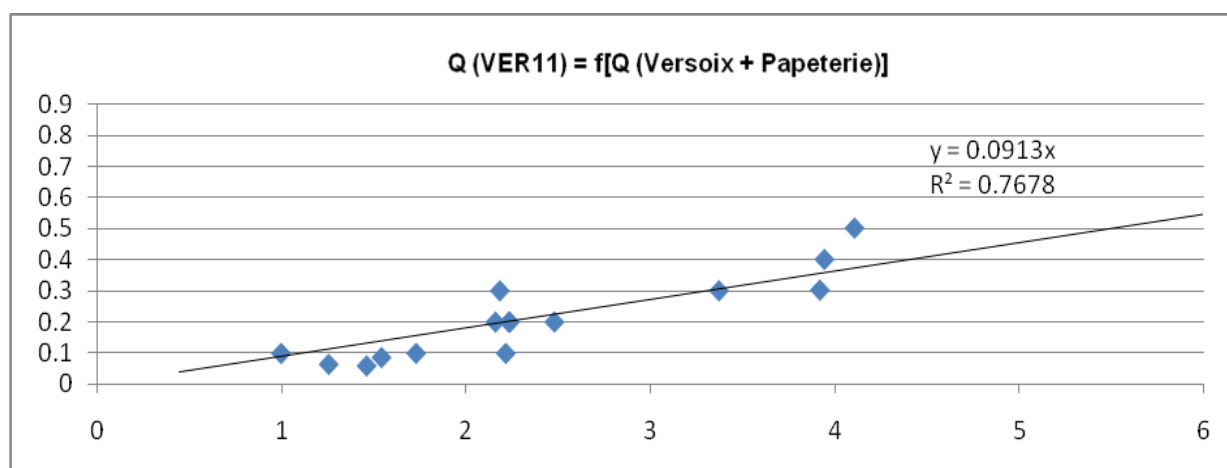
Tableau 7 : Débits caractéristiques d'étiage de la Versoix sur son tronçon de référence

2.5.2.4 L'Oudar avant sa confluence avec la Versoix

La station ponctuelle située en aval de ce tronçon de référence est la station VER11. Cette station possède 29 données débitmétriques sur la période de novembre 1993 à juin 2001. Le bassin versant correspondant fait 27 km².

La station hydrométrique de suivi continu ayant la meilleure corrélation avec VER11 est celle de la Versoix-Papeterie. Comme précédemment, cela paraît logique compte tenu des implantations géographiques et hydrologiques des deux stations.

Cette corrélation est obtenue avec 15 couples de données et révèle un coefficient de détermination de 76,78%.



Graphique 20 : Corrélation entre deux stations hydrométriques VER11 et Versoix-Papeterie

Les débits caractéristiques d'étiages pour ce point de référence sont les suivants :

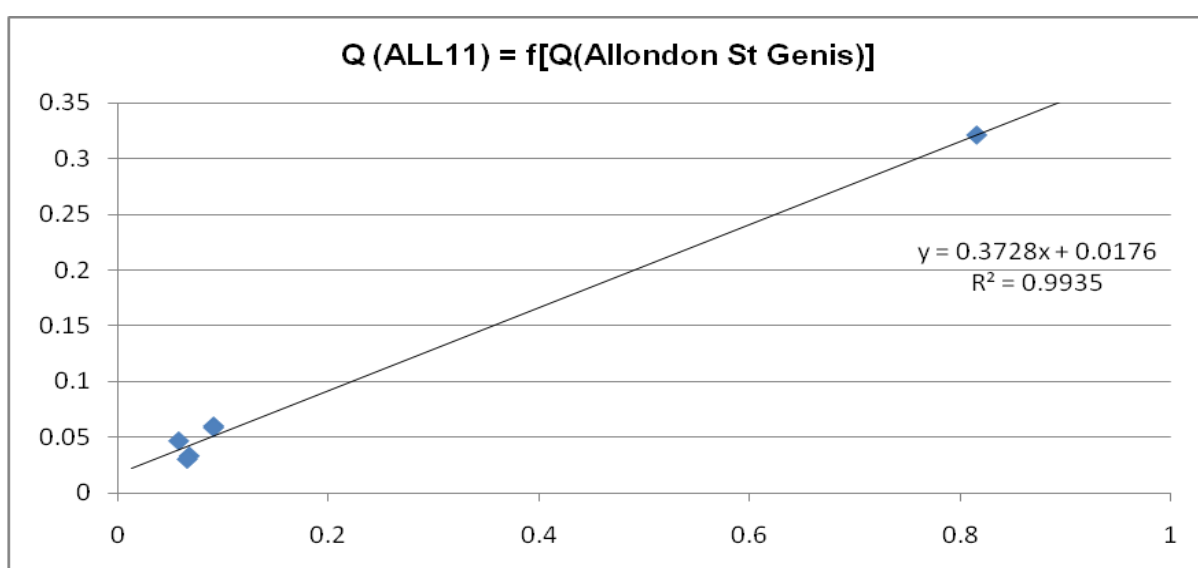
	QMNA	QMNA 2	QMNA 5	VCN 10	VCN 10 (2)	VCN 3	VCN 3 (2)	VCN 3 (5)	1/10 module	1/20 module
m³/s	0.0909	0.1348	0.1074	0.04222	0.0906	0.0390	0.0847	0.0643	0.0318	0.0159
L/s/km²	3.3662	4.9929	3.9785	1.5634	3.3578	1.4433	3.1386	2.3826	1.7780	0.5889

Tableau 8 : Débits caractéristiques d'étiage de l'Oudar avant sa confluence avec la Versoix

2.5.2.5 La rivière le Grand Journans avant sa confluence avec le Lion

La station hydrométrique ponctuelle située en aval de cette section est : ALL11. Cette station possède 6 données débitmétriques sur la période juin 2000 à août 2009. Son bassin versant a une surface de 29,9 km².

Parmi les stations de suivi continu, Allondon les Granges et Allondon Saint Genis présentent de très bonnes corrélations avec des R² très proches : 99,87% et 99,35% respectivement. Ces résultats étant obtenu avec 5 couples de données, la valeur seule du coefficient de détermination ne permet pas de choisir entre ces deux stations. D'après notre connaissance de cette zone d'étude, nous choisissons la station de l'Allondon St Genis. Malgré tout, cette faible chronique de débits n'est pas suffisante pour affirmer que ce tronçon de référence possède le même fonctionnement hydrologique que celui du cours d'eau de l'Allondon au niveau de la station à Saint-Genis-Pouilly. Les résultats ci-après sont donc à prendre en compte avec précaution.



Graphique 21 : Corrélation entre deux stations hydrométriques ALL11 et Allondon St-Genis

Le coefficient nous permet de calculer les débits caractéristiques d'étiages pour ce point de référence.

	QMNA	QMNA 2	QMNA 5	VCN 10	VCN 10 (2)	VCN 3	VCN 3 (2)	VCN 3 (5)	1/10 module	1/20 module
m3/s	0.0269	0.0493	0.0355	0.0224	0.0333	0.0210	0.0306	0.0247	0.0479	0.0327
l/s/km ²	0.8987	1.6469	1.1855	0.7491	1.1107	0.6992	1.0234	0.8239	1.5995	1.0933

Tableau 9 : Débits caractéristiques d'étiage du Grand Journans avant sa confluence avec le Lion

2.5.2.6 Le Lion aval de sa confluence avec le Grand Journans jusqu'avant sa confluence avec l'Allondon

La détermination des débits caractéristiques de référence pour cette station n'a pas été réalisée de la même façon. En effet, ce point de référence a la particularité d'être en aval de la confluence de deux cours d'eau de régime hydrologique différent :

- Le Grand Journans, avec un régime torrentiel alimenté par les sources du Jura ;
- Le Lion (dans sa partie amont), avec un régime de « plaine » et une alimentation par les nappes souterraines.

Par ailleurs, en raison des doutes sur la fiabilité de la station de mesure continue sur le Lion à Prévessin-Moëns, il nous paraissait plus pertinent d'utiliser les chroniques de débits de ces deux cours d'eau, de les sommer et de réaliser une corrélation surfacique pour obtenir des débits plus pertinents au niveau du point de référence.

Le tableau ci-après présente la gamme de débits caractéristiques d'étiage du point de référence, sur la période mars 1990-2010.

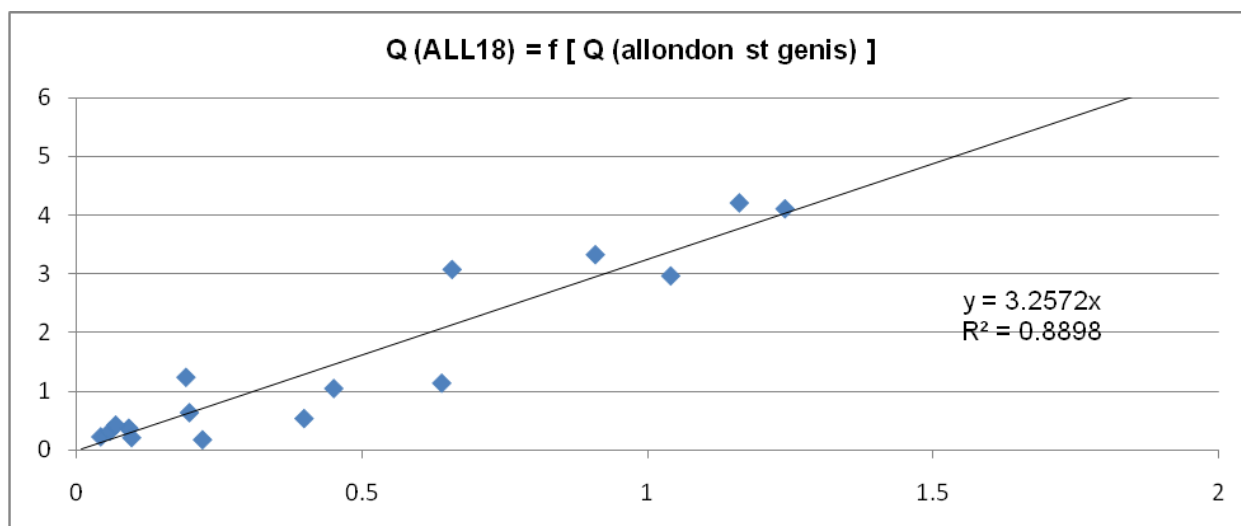
	QMNA	QMNA 2	QMNA 5	VCN 10	VCN 10 (2)	VCN 3	VCN 3 (2)	VCN 3 (5)	1/10 module	1/20 module
m3/s	0.1402	0.2207	0.1763	0.0890	0.1749	0.0730	0.1639	0.1247	0.0732	0.0366
l/s/km²	2.7097	4.265	3.4074	1.7201	3.3804	1.4109	3.1678	2.4101	1.4148	0.7074

Tableau 10 - débits caractéristiques d'étiage du Lion de sa confluence avec le Grand Journans jusqu'à sa confluence avec l'Allondon

2.5.2.7 L'Allemogne avant confluence avec l'Allondon

La station de jaugeage ponctuelle en aval de ce tronçon est la station ALL18. Cette dernière présente 17 mesures de débits sur la période 1995-2009 et son bassin versant est de 9,5 km².

La meilleure corrélation est obtenue avec 17 couples de données sur la station de mesure continue de l'Allondon St Genis, qui est effectivement la station de suivi continu la plus proche géographiquement et hydrologiquement. Comme le montre le graphique ci-après, le coefficient de détermination R² est assez élevé avec une valeur de 88,98%.



Graphique 22 : Corrélation entre deux stations hydrométriques ALL1 et Allondon St-Genis

De la même façon, la gamme de débits caractéristiques d'étiage du point de référence est calculée à partir de l'équation de corrélation obtenue par le graphique 5.

	QMNA	QMNA 2	QMNA 5	VCN 10	VCN 10 (2)	VCN 3	VCN 3 (2)	VCN 3 (5)	1/10 module	1/20 module
m ³ /s	0.0814	0.2769	0.1563	0.0423	0.1368	0.0293	0.1140	0.0619	0.2645	0.1322
L/s/km ²	8.5716	29.1434	16.4574	4.4572	14.4003	3.0858	12.0002	6.5144	27.8405	13.9202

Tableau 11 : Débits caractéristiques d'étiage de l'Allemogne avant sa confluence avec l'Allondon

2.5.3 Bilan des résultats obtenus

La figure ci-dessous représente le bilan des résultats statistiques obtenus au niveau des points de référence, en prenant pour exemple le QMNA.

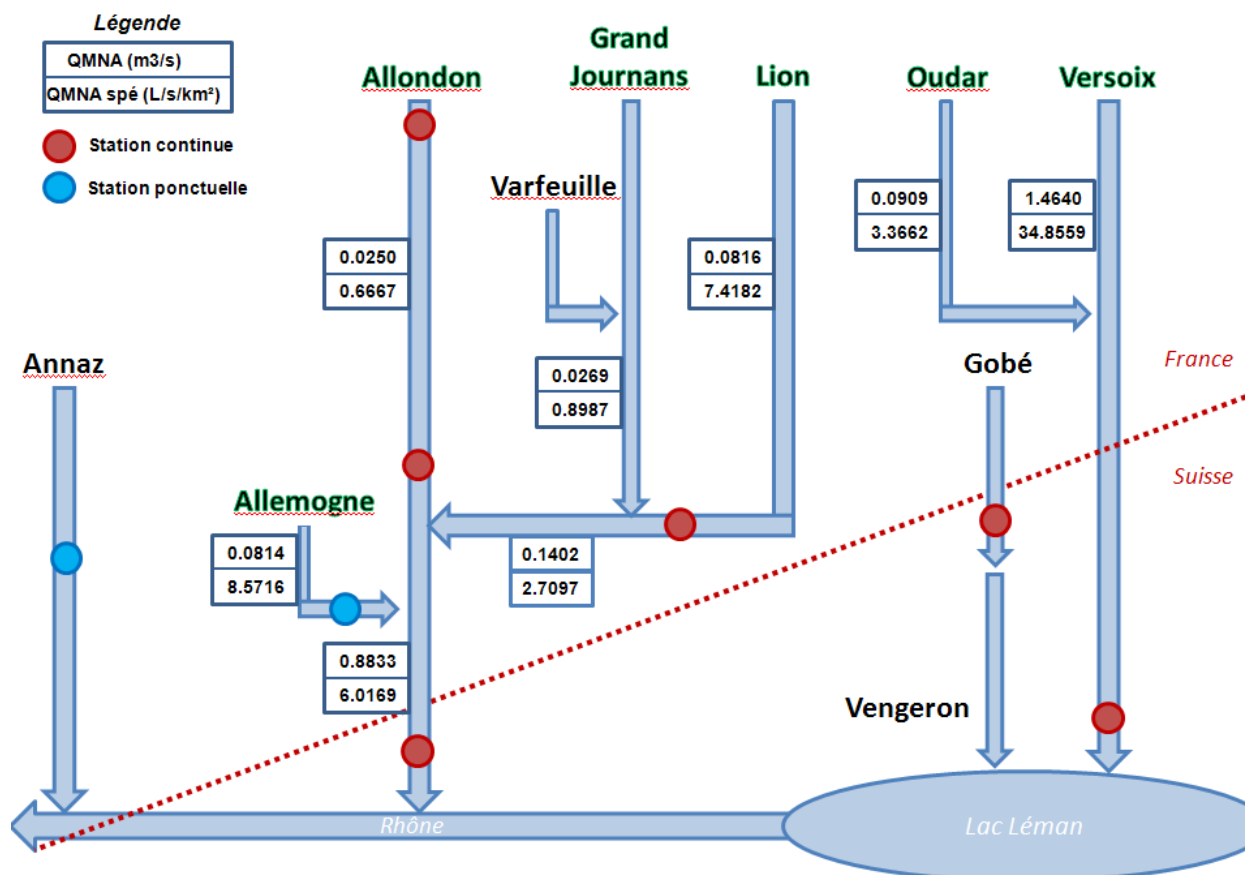


Figure 14 : Bilan des débits mensuels minimums d'été au niveau des points de référence

L'utilisation de ces données doit prendre en compte l'erreur due à la valeur du coefficient de détermination et le nombre de couple de données débitmétriques utilisé pour réaliser les différentes corrélations.

Par ailleurs, on observe sur cette figure l'absence de données pour le cours d'eau du Vengeron pourtant proposé comme point de référence dans le CCTP. En effet, après analyse des données existantes et reconnaissance de terrain au cours des phases 1 et 2, ce point de référence n'a finalement pas été retenu du fait de l'absence d'intérêt piscicole et de son caractère très anthropisé.

2.6 Reconstitution de l'hydrologie non influencée – modélisation

La démarche de modélisation permet la reconstitution du fonctionnement réel du bassin versant. Ce modèle est réalisé à partir de données climatiques, des prélèvements et rejets anthropiques et des chroniques de débits influencés sur une période suffisamment longue pour l'obtention d'un calage pertinent. L'impact des prélèvements sur la ressource en eau pourra ainsi être considéré.

Selon la décision du COPIL, le modèle est limité à la partie française du Pays de Gex à l'exception du cours d'eau de l'Allondon qui est modélisé jusqu'à sa confluence dans le Rhône (clôture du bassin versant).

Pour faciliter la suite de cette étude des "Volumes Prélevables Globaux", les cours d'eau modélisés correspondent aux stations DMB et donc aux chroniques de débit correspondantes. Egalement, ce modèle ne prend pas en compte le sous bassin-versant de l'Annaz qui ne présente pas d'enjeux en termes de pression sur la ressource.

2.6.1 Description du modèle

Il existe différents types de modèles permettant la reconstitution de l'hydrologie non influencée. Les modèles pluies-débits utilisés sont ceux du Génie Rural (modèle GR). Ils ont été développés par le CEMAGREF. Nous utiliserons ici les modèles fonctionnant au pas de temps mensuel (GR2M) et journalier (GR4J). Le numéro indique le nombre de paramètres utilisés pour caler le modèle (respectivement, 2 paramètres mensuels et 4 paramètres journaliers). Le modèle GR4J a été réadapté à la problématique « précipitations solides ».

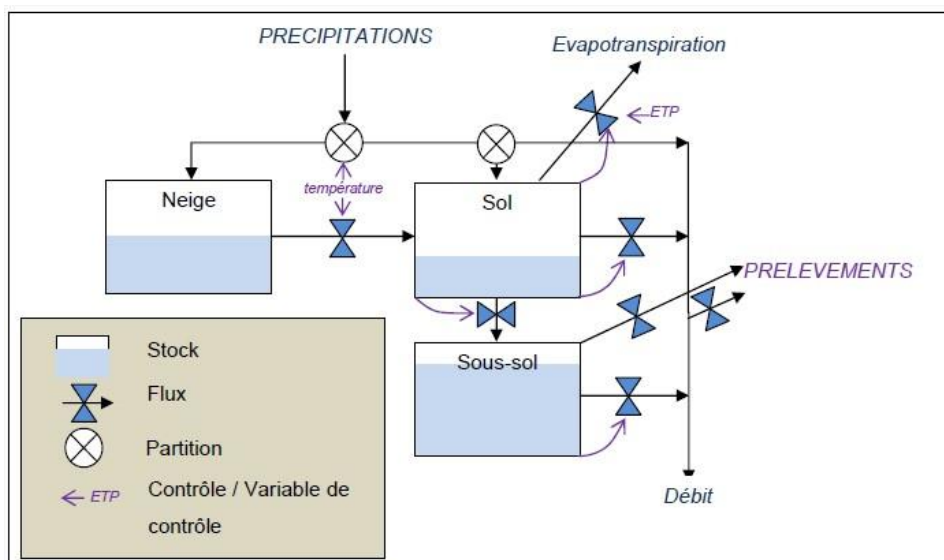


Figure 15 : Schéma représentant le fonctionnement d'un modèle de type GR

Ces modélisations conceptuelles « simples » sont basées sur la représentation du bassin par deux réservoirs principaux :

- Un réservoir de production faisant la part entre la fraction ruisselée et la fraction percolée
- Et un réservoir pour le transfert de ruissellement (routage).

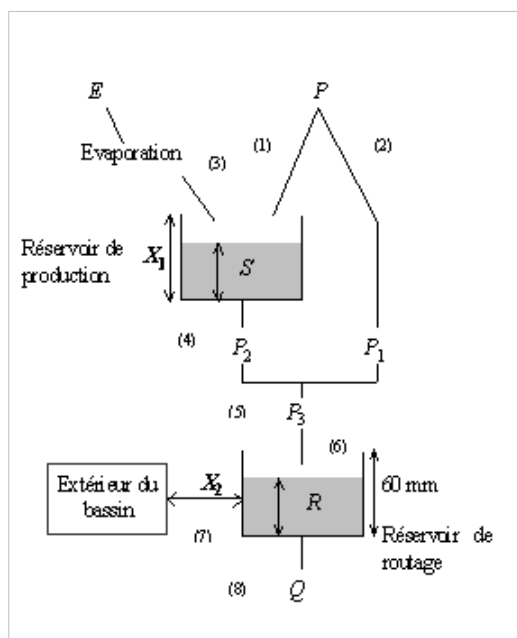


Figure 16 : Schéma de la structure du modèle GR2M

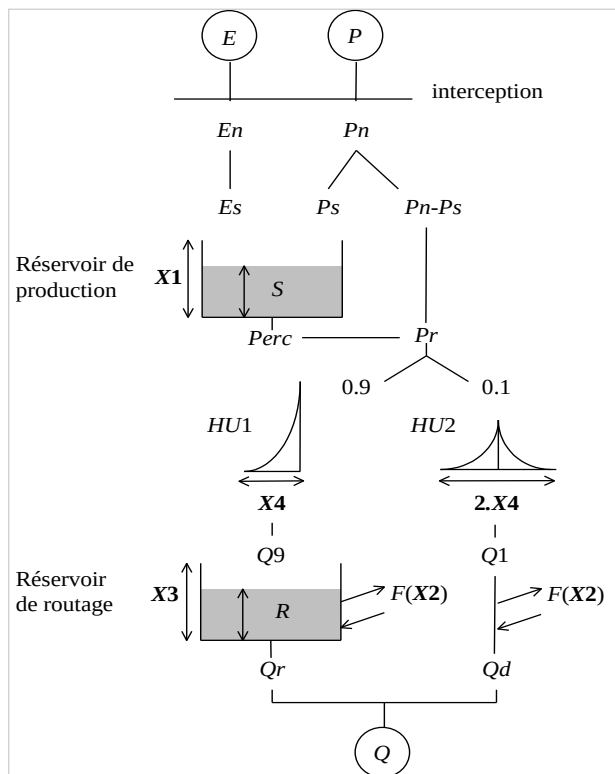


Figure 17 : Schéma de la structure du modèle GR4J

Les paramètres X_1 , X_2 , X_3 et X_4 sont utilisés pour caler le modèle GR4J et seulement X_1 et X_2 sont utilisés pour caler le GR2M :

- X_1 : capacité du réservoir de production (mm)
- X_2 : coefficient d'échanges souterrains (mm)
- X_3 : capacité à un jour du réservoir de routage (mm)
- X_4 : temps de base de l'hydrogramme unitaire HU1 (j)

Les données d'entrées sont :

- La pluie dite « brute » P (mm)
- L'évapotranspiration potentielle E (mm)

L'ensemble des équations réagissant le fonctionnement du modèle est décrit dans l'article de Perrin C (2002). Nous ne les rappellerons pas ici.

Afin de prendre en compte l'influence des périodes de gel et de dégel, nous avons ajouté deux paramètres de calage au modèle GR4J :

- La température de stockage sous la neige : si la température est inférieure à la température de solidification, alors les précipitations ne contribuent pas au débit
- La vitesse de fonte en période de radoucissement : la température devient alors supérieure à celle de solidification, il y a diffusion du stockage en continue jusqu'à épuisement ou jusqu'à une nouvelle phase de gèle.

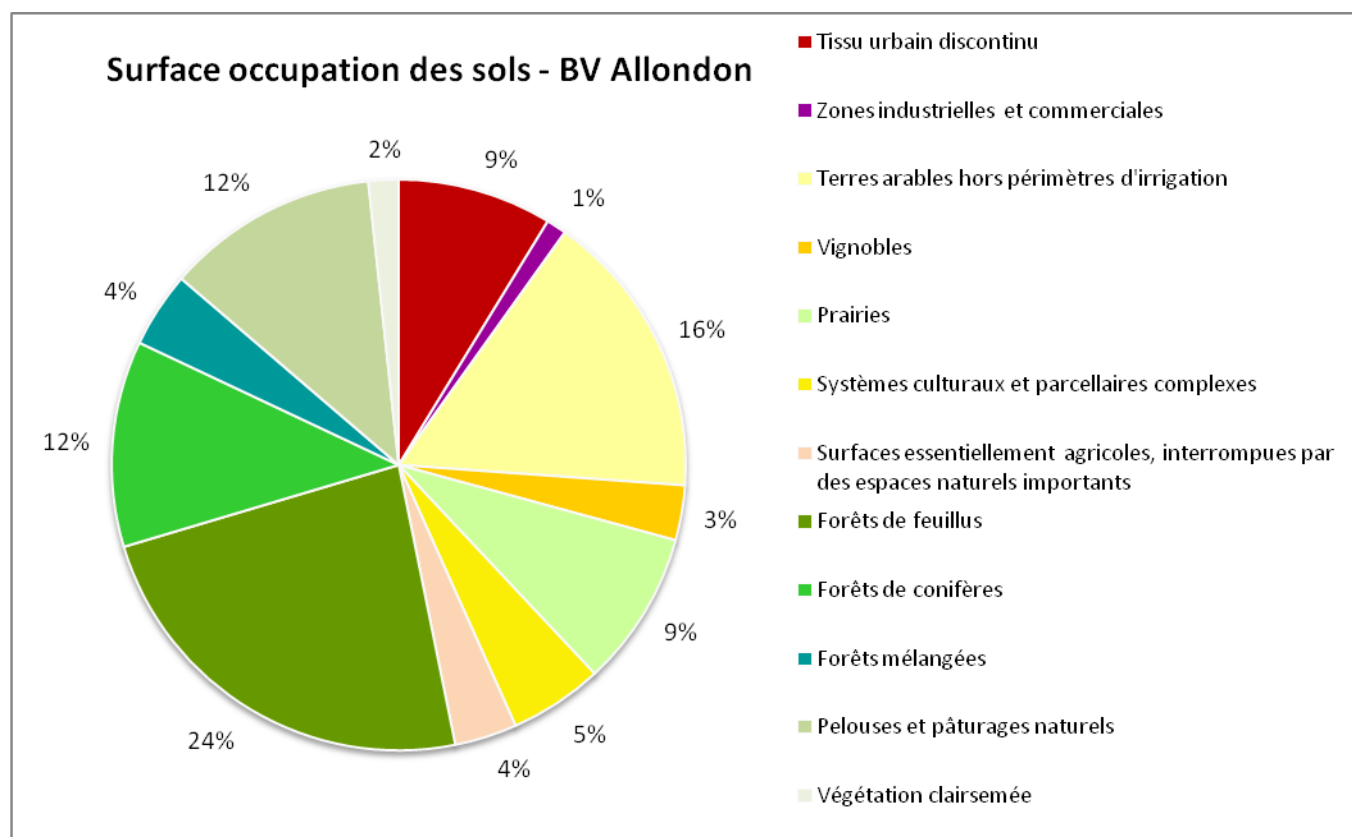
Une fois ces paramètres calés, le modèle déduit une chronique de débit naturel simulé.

2.6.2 Conception et interprétation du modèle

La modélisation s'est faite sur l'ensemble des cours d'eau du territoire d'étude afin d'en avoir une vision globale.

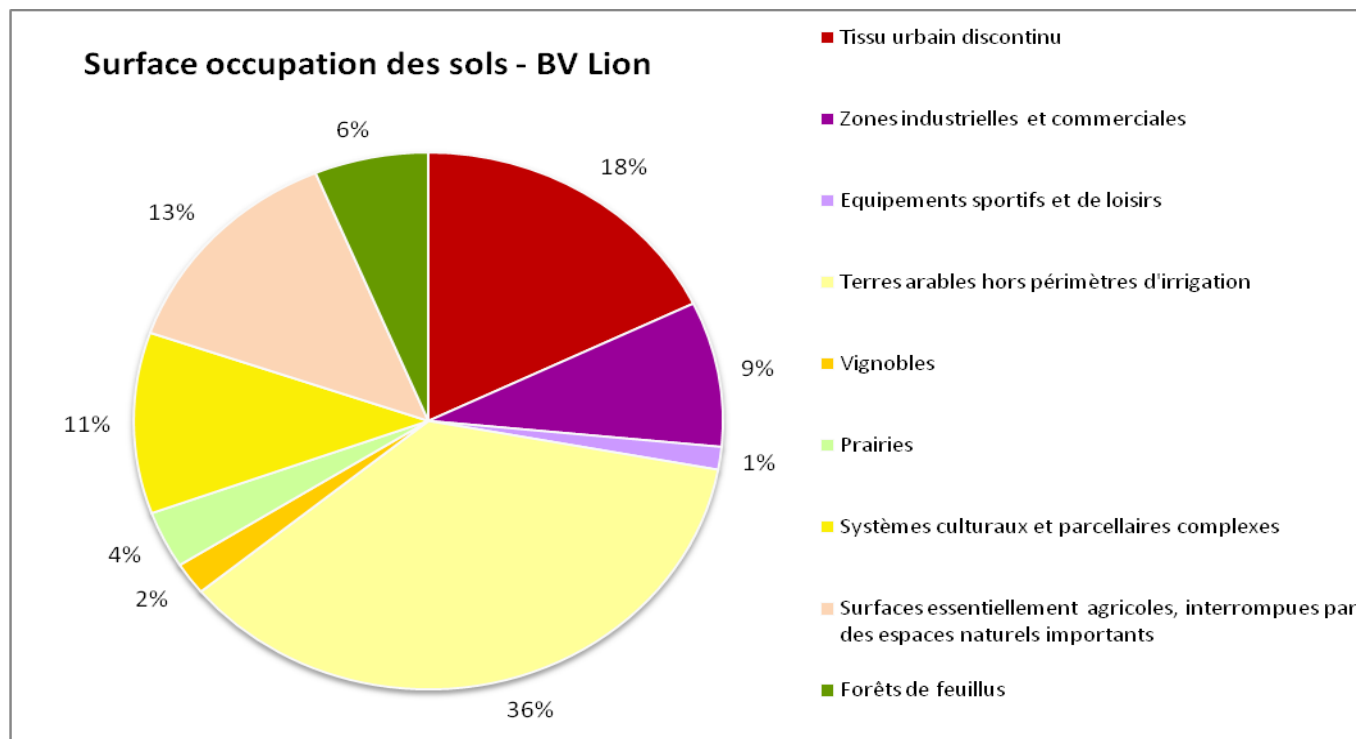
2.6.2.1 L'occupation du sol

L'occupation des sols est un facteur important qui influence notamment l'évapotranspiration, l'écoulement et le ruissellement de l'eau. Afin d'appréhender au mieux ce facteur, l'analyse de l'occupation des sols (Corine Land Cover) par sous-bassin versant a été réalisée. La superficie des différents types d'occupation des sols est représentée par les graphiques ci-dessous.



Graphique 23 : Représentation des surfaces d'occupation des sols sur le bassin versant de l'Allondon

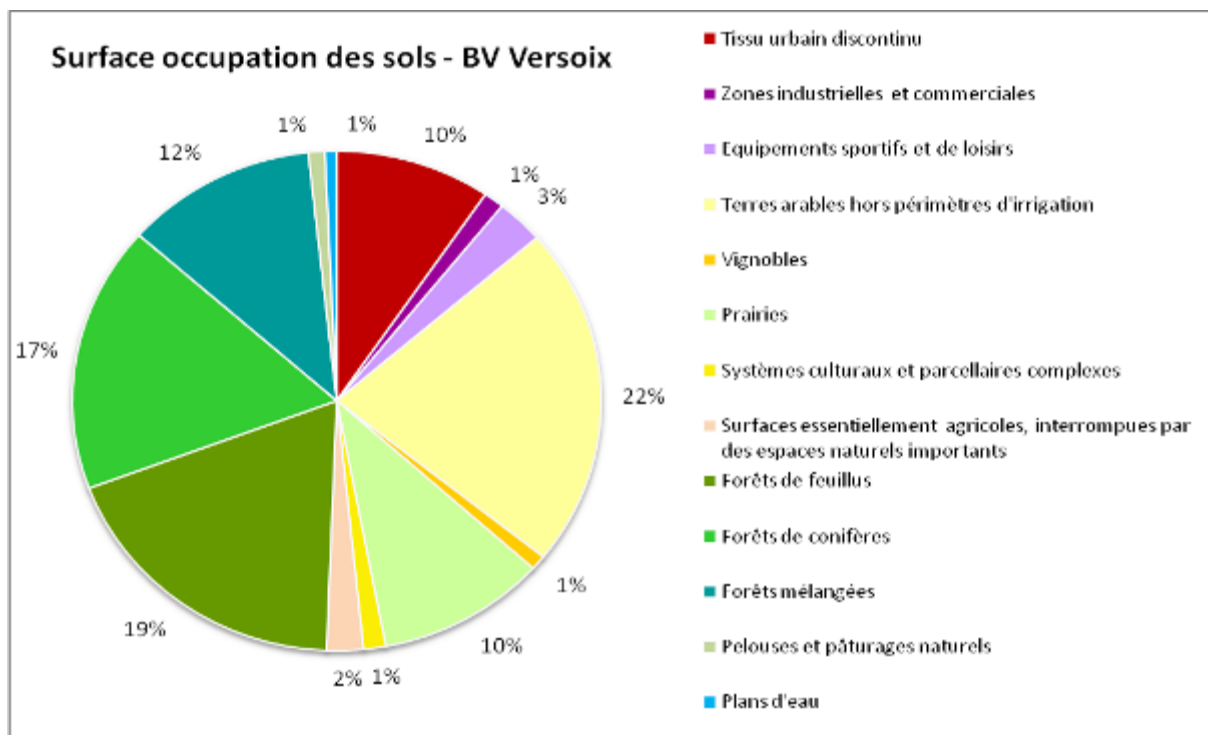
Le graphique ci-dessus montre que le bassin versant de l'Allondon est essentiellement recouvert par des forêts (environ 40%), des pelouses et prairies (environ 21%) et des terres arables (16%). L'urbanisation ne représente qu'environ 10% sur tout le bassin versant. Ces observations permettent une première analyse : l'évapotranspiration potentielle sera fortement représentée car il s'agit d'un territoire peu anthropisé.



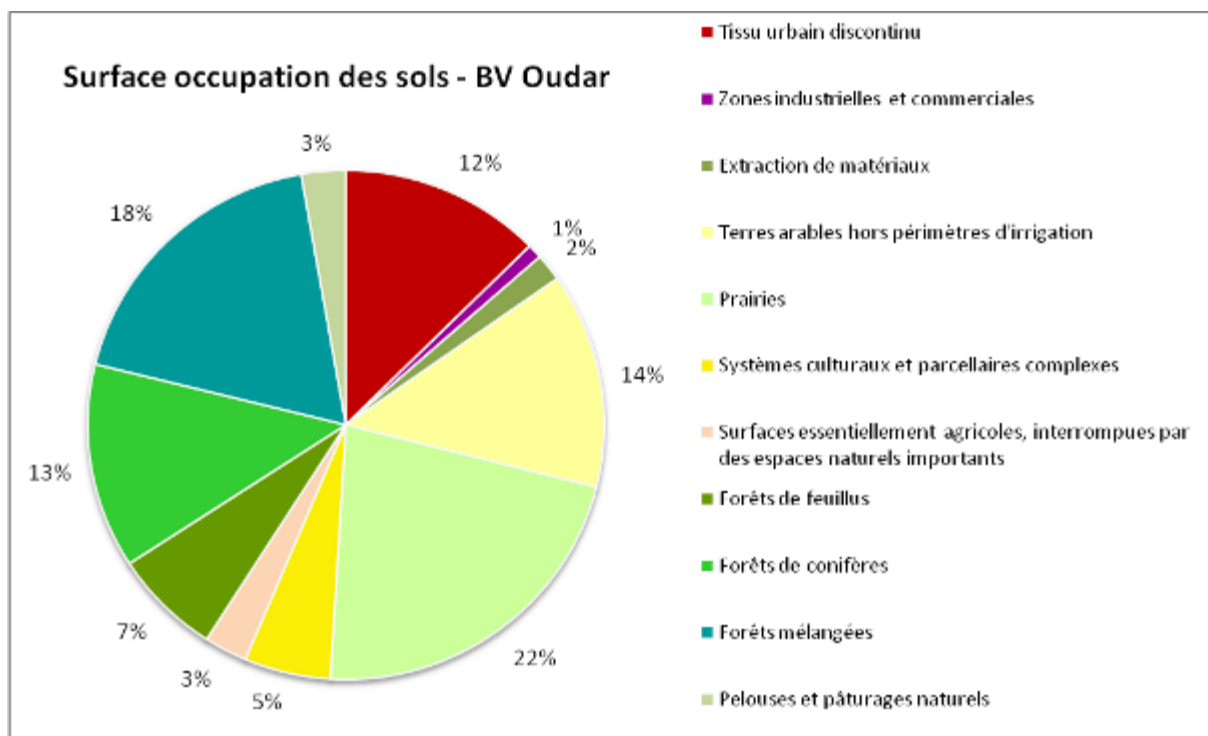
Graphique 24 : Représentation des surfaces d'occupation des sols sur le bassin versant du Lion

Le bassin versant du Lion est composé, pour sa majorité, de territoire agricole avec 62% de sa superficie. Le reste de ce bassin est recouvert par l'urbanisation (28% environ) et les espaces naturels (8%).

Le graphique ci-après montre que le bassin versant a une surface naturelle (forêts, prairies...) de 59%. L'urbanisation est faiblement représentée avec environ 14% de la surface totale et 26% pour les espaces agricoles.

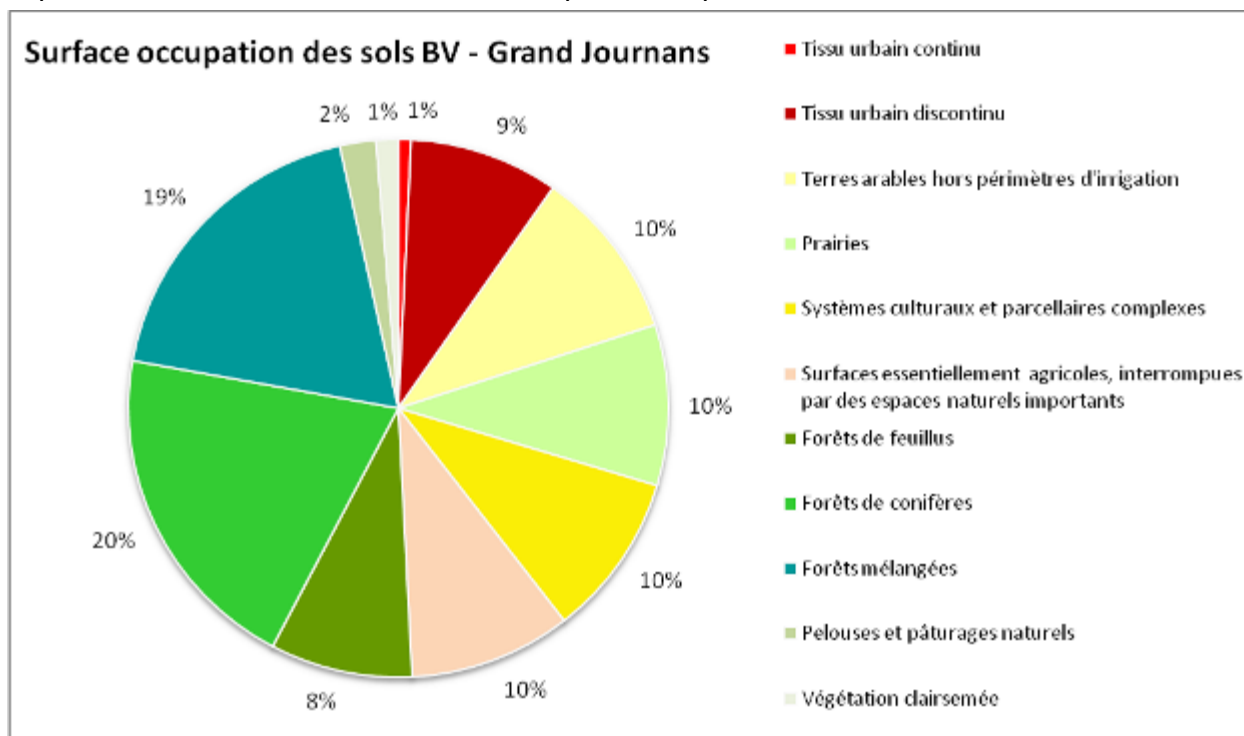


Graphique 25 : Représentation des surfaces d'occupation des sols sur le bassin versant de la Versoix



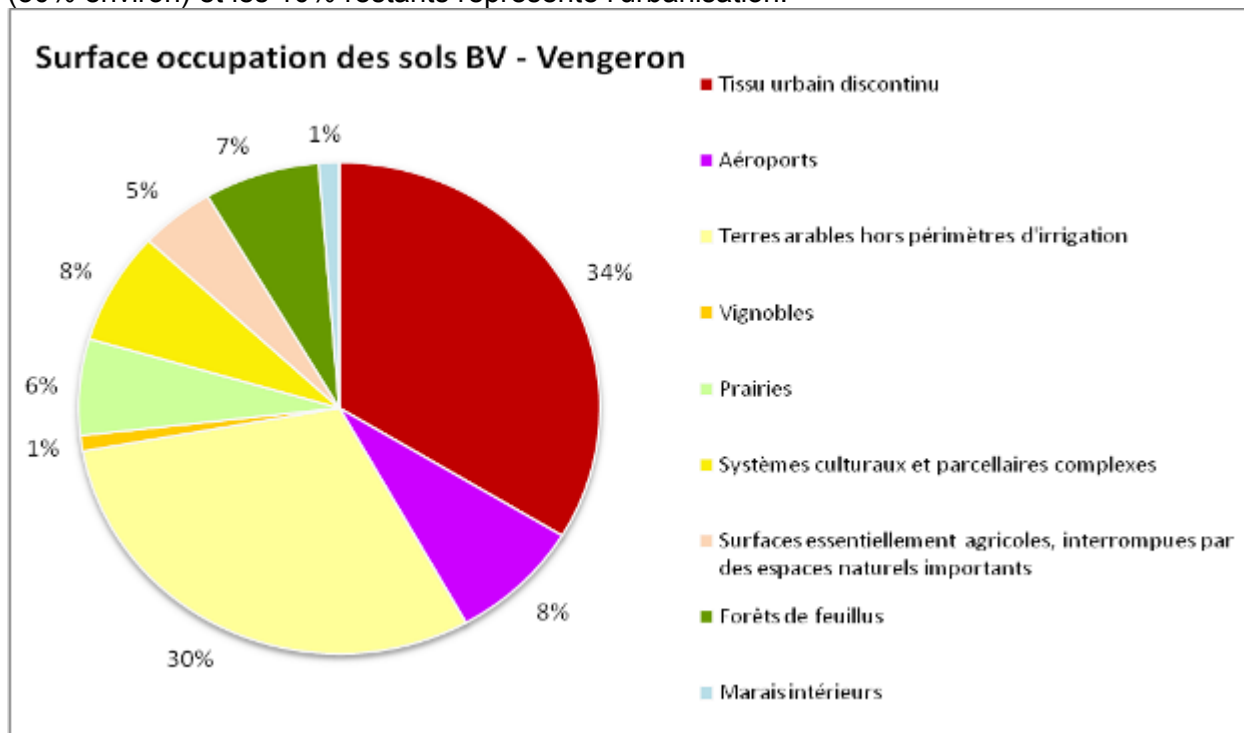
Graphique 26 : Représentation des surfaces d'occupation des sols sur le bassin versant de l'Oudar

Avec 63% de sa surface totale, le bassin versant de l'Oudar est largement recouvert par des espaces naturels type prairies, forêts et pelouses. Les espaces agricoles représentent 22% de sa superficie et 15% seulement est recouvert par des espaces urbains.



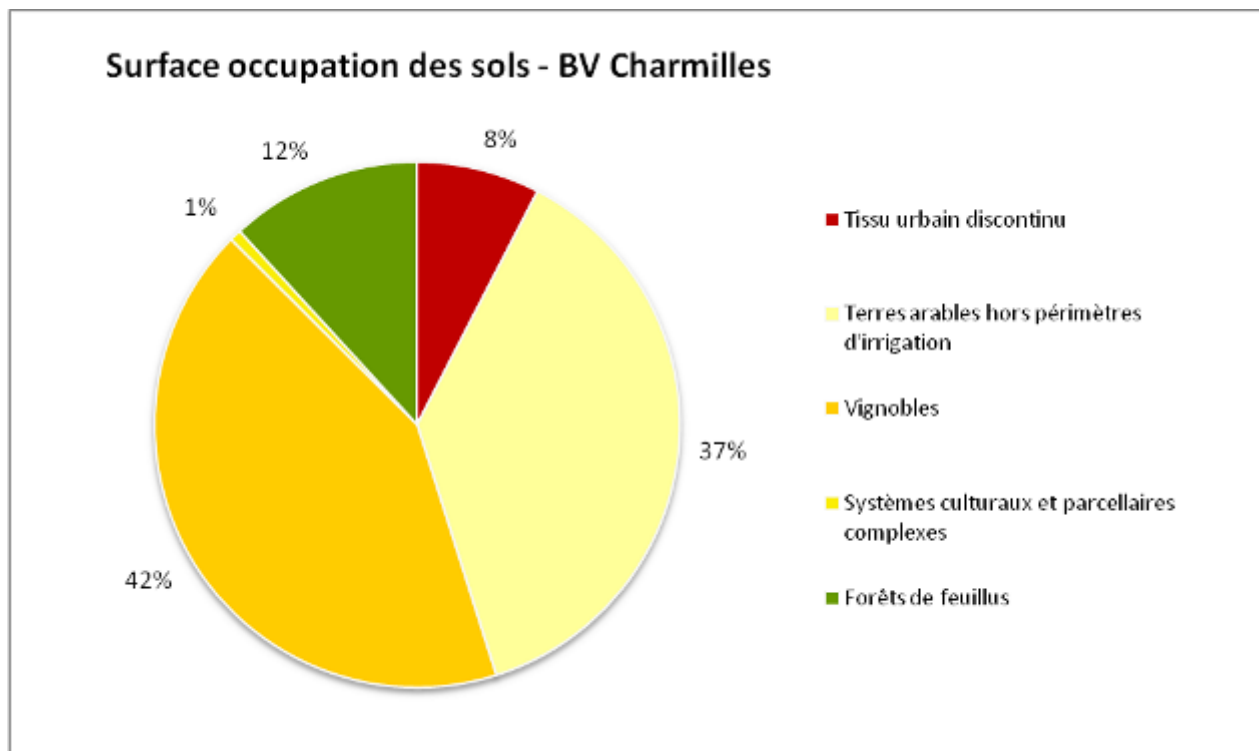
Graphique 27 : Représentation des surfaces d'occupation des sols sur le bassin versant du Grand Journans

Le bassin versant du Grand Journans est également largement recouvert par des espaces naturels (60% environ de sa superficie totale). Environ un tiers du bassin représente des espaces agricoles (30% environ) et les 10% restants représente l'urbanisation.



Graphique 28 : Représentation des surfaces d'occupation des sols sur le bassin versant du Vengeron

Avec 42% et 44% de sa superficie recouverte respectivement par l'urbanisation et les espaces agricoles, le bassin versant du Vengeron le plus anthropisé du Pays de Gex. En effet, les espaces naturels représentent moins de 15% de sa surface.



Graphique 29: Représentation des surfaces d'occupation des sols sur le bassin versant des Charmilles

C'est l'occupation des espaces agricoles qui représente la plus grande superficie du bassin versant des Charmilles (80% dont 42% consacré à la viticulture). Le reste est partagé entre l'urbanisation et des forêts de feuillus.

2.6.2.2 Les données climatiques utilisées

Les données débitmétriques et pluviométriques nous permettent de disposer des débits journaliers au niveau des différentes stations de mesure continue et des données pluviométriques suivantes :

- Les précipitations mensuelles à la station de Thoiry (605m) sur la période 1995-2002,
- Les précipitations mensuelles à la station de Gex-Cessy (507m) sur la période 2003-2010,
- Les précipitations journalières à la station du CERN (448m) sur la période 1991-2011,
- Et les précipitations journalières à la station de Sauvergnny (464m) sur la période 06/2004-2011.

Les données pluviométriques utilisées pour les modèles sont les chroniques du CERN réajustées avec les rapports des cumuls mensuels CERN/Gex-Cessy. En effet la station de Gex Cessy est plus représentative des précipitations sur les bassins versants à l'étude mais nous n'avons pas les débits journaliers sur cette stations d'où les transformations réalisées sur les données du CERN.

Les données de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et les températures ont été récupérées sur le serveur de la Publiothèque de Météo France :

- Les données de l'ETP sont calculées sur toute la France selon un zonage formant une grille avec une maille d'environ 12 kms. Les valeurs situées au nœud de la grille la plus proche de notre zone d'étude ont été récupérées sur la période 2004-2010.
- Les données de température sont essentielles pour prendre en compte le stockage et la fonte des chutes de neige. Elles ont été récupérées au niveau de Cessy, sur la partie basse du bassin.

2.6.2.3 Impact des prélèvements et reconstitution des débits naturels

Afin de reconstruire la ressource superficielle naturelle au droit des points stratégiques de référence, il est nécessaire de prendre en compte toutes les pressions anthropiques sur la ressource en eau. Les données de prélèvements et rejets recensées dans les phases 1 et 2 de cette même étude sont utilisées et récapitulées dans le tableau en Annexe 2.

Compte tenu des données climatiques, des prélèvements et des rejets, la période choisie pour la construction des modèles est de janvier 2004 à décembre 2010. Cette période semble tout à fait suffisante pour bien appréhender le fonctionnement du bassin, et particulièrement pertinente au vu de l'évolution des conditions climatiques et démographiques du territoire. Le choix de cette période peut également être justifié par l'analyse de la comparaison des QMNA5 au niveau des stations de mesure continue. Le tableau ci-dessous montre que les QMNA5 calculés sur toute la période de données sont relativement proches de ceux calculés sur la période 2004 - 2010.

Station de mesure en continue	Période d'analyse	QMNA5	
		m ³ /s	l/s/km ²
Versoix – Papeterie	1996 - 2010	1.176	13.04
	2004 - 2010	1.187	13.60
Lion	1990 - 2010	0.110	10.00
	2004 – 2010	0.106	9.64
Allondon Echenevex	1993 - 2010	0.012	3.75
	2004 – 2010	0.006	1.88
Allondon St Genis	1990 - 2010	0.048	1.28
	2004 – 2010	0.043	1.15
Allondon les Granges	1993 - 2010	0.615	5.17
	2004 - 2010	0.594	4.99

Tableau 12 : Comparaison des QMNA5 des stations de mesure en continue

Excepté pour la station de la Versoix – Papeterie, on observe une baisse des QMNA5 sur la période 2004 – 2010. Cette baisse traduit la tendance actuelle de réchauffement climatique et donc de baisse de la ressource en eau.

La période d'analyse 2004-2010 est donc la plus adaptée car elle est la plus représentative des conditions climatiques futures.

Pour chaque cours d'eau modélisé, un inventaire des prélèvements et rejets situés à l'amont du point de référence est réalisé : le schéma ci-dessous a ainsi été complété pour chaque tronçon, afin d'être le plus exhaustif possible (schéma pour chaque modélisation présenté en Annexe 2).

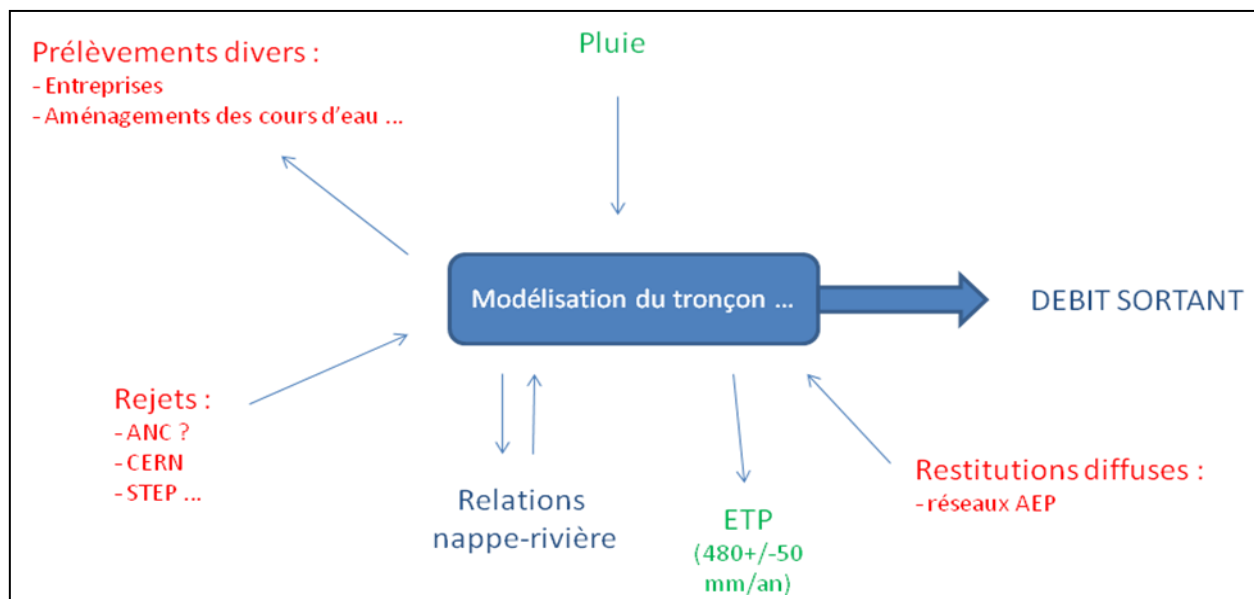


Figure 18 : Impacts des prélèvements et rejets sur le débit du cours d'eau

Les débits naturels sont ensuite reconstitués en réinjectant les valeurs des débits de prélèvements et en soustrayant les valeurs des débits de rejets.

Conformément aux analyses hydrogéologiques et hydrologiques réalisées dans les phases précédentes, les relations nappes-rivières sont considérées comme peu significatives sur le territoire du Pays de Gex, à l'exception du secteur de l'Allondon aval. Au niveau du modèle, ce paramètre de relation nappes-rivières n'a donc été pris en compte que pour la station ALN6.

En effet, une étude hydrogéologique pilotée par le service cantonal de géologie a mis en évidence une relation remarquable entre l'Allondon et la nappe d'eau souterraine. Ainsi, de l'embouchure de l'Allemogne au puits des Feuilletières, une infiltration conséquente de la rivière dans la nappe a été révélée, de l'ordre de 340 l/s. Cette alimentation est rendue possible, d'une part, par la bonne perméabilité des alluvions récentes et de l'alluvion ancienne et, d'autre part, par le niveau de la nappe qui est situé entre 1 m (à l'aval) et 16 m (à l'amont) en-dessous du cours d'eau. Cette infiltration non négligeable peut se produire même en période de basses et moyennes eaux. A contrario, du puits des Feuilletières au pont de Russin, la nappe est affleurante et réalimente l'Allondon. L'exfiltration de l'ordre de 440 l/s est engendrée par l'amincissement de l'épaisseur de la nappe et par une diminution de la perméabilité de l'aquifère.

Les chroniques de débits qui ont été reconstituées pour caractériser le tronçon aval de l'Allondon (de sa confluence avec le Lion, jusqu'à l'embouchure avec le Rhône) se situent dans la partie amont du contexte d'infiltration évoqué ci-avant. Or, le point de référence caractérisant ce tronçon de cours d'eau se situe en aval de ce contexte d'infiltration. Par ailleurs, lors des différentes campagnes de jaugeages, cette même différence de débits a été constatée. Après validation en COPIL, il a été décidé de rajouter 340 l/s aux chroniques de débits reconstitués par rapport à la station Allondon les Granges afin de caractériser, au plus proche de la situation réelle, l'hydrologie de la station ALN6.

Par ailleurs, concernant ces relations nappes-rivières, on notera que la reconstitution des débits naturels a bien pris en compte les prélèvements sur les sources à l'origine de cours d'eau (groupes Nuchon-Cerisier, Disse-Léchère-Rechat-Vesancy et source de la Praslée).

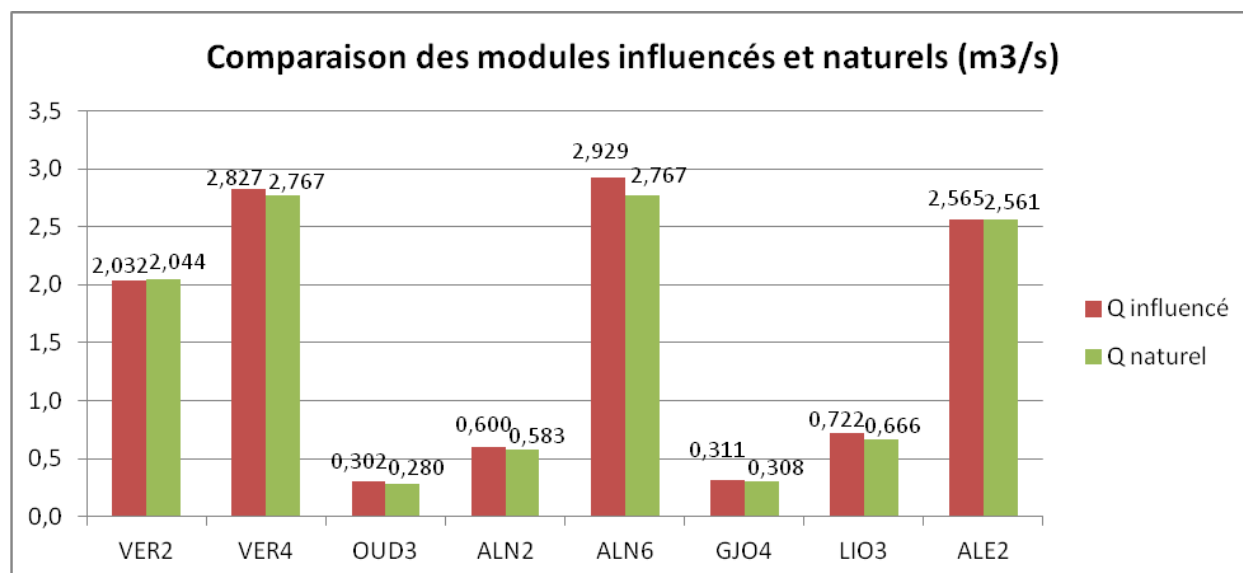
Au droit des stations GJO4 et ALN2, dont on pourrait penser que les débits sont influencés par les prélèvements AEP des champs captants du Chenaz et du Puits du Marais, les relations nappes-rivières ont néanmoins été considérées comme non significatives pour les raisons suivantes :

- La station GJO4 se situe en clôture du bassin du Grand Journans (à plus de 5 kms à l'aval du champ captant), hors zone d'influence des prélèvements AEP.
- La station ALN2 se situe au droit du captage du Puit du Marais mais au-delà de l'influence du cône de rabattement (à plus de 150m).

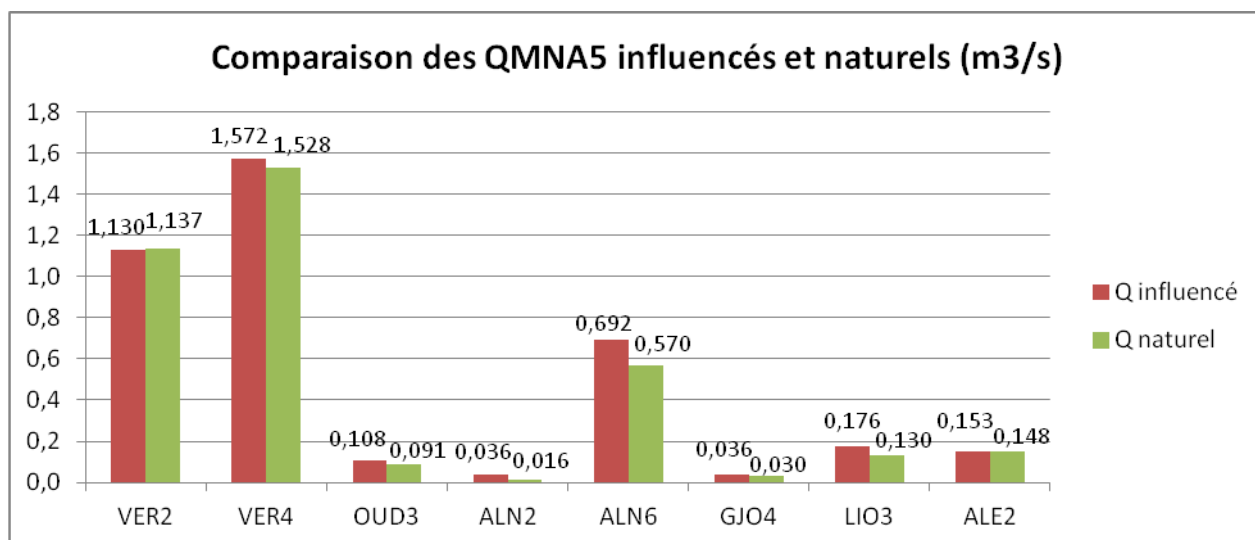
Pour la plupart des données anthropiques présentées dans le schéma précédent, seules les valeurs moyennes annuelles ou mensuelles étaient disponibles. **Leur utilisation au pas de temps journalier n'est donc pas le reflet de la réalité des prélèvements et rejets quotidiens sur le bassin, mais la plupart du temps le reflet d'une situation moyenne. Les débits naturels reconstitués sont donc à prendre en considération avec précaution.**

Les graphiques ci-après montrent les faibles impacts de ces prélèvements et rejets sur les eaux superficielles, que l'on considère les modules, QMNA5 et VCN3. En effet, la différence la plus marquée entre les débits influencés et naturels se situe sur la station ALN6 (Allondon en clôture de bassin du Pays de Gex). Cela s'explique par le fait que ce point de référence est l'exutoire de la majeure partie de notre territoire et qu'il cumule donc l'effet de toutes les pressions anthropiques recensées sur le territoire d'étude.

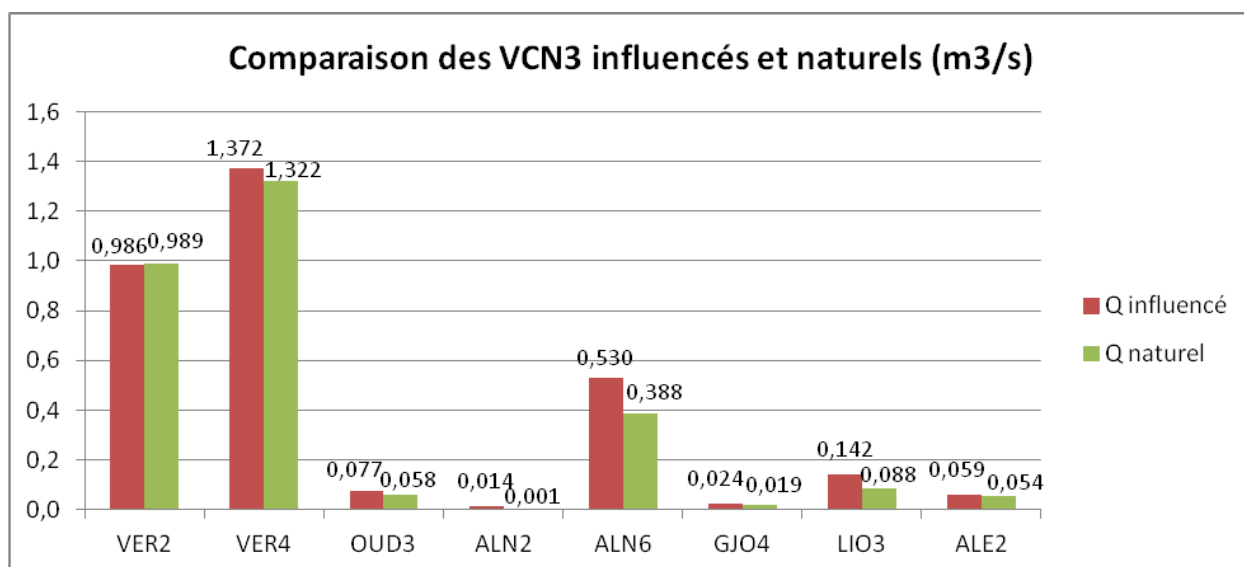
Egalement, on observe que les débits naturels reconstitués sont inférieurs aux débits influencés. Les cours d'eau du bassin versant ne semblent donc pas influencés par des prélèvements. On notera que les différences entre les débits influencés et naturels restent faibles et se situent dans la marge d'imprécision du modèle et des jaugeages ayant servi à son calage.



Graphique 30 : Comparaison des modules influencés et naturels au niveau des différentes stations de référence



Graphique 31 : Comparaison des QMNA5 influencés et naturels au niveau des différentes stations de référence



Graphique 32 : Comparaison des VCN3 influencés et naturels au niveau des différentes stations de référence

L'objectif du présent rapport étant d'évaluer l'impact des prélèvements et de quantifier la ressource en eau, il est intéressant d'observer plus en détail cet impact en période d'étiage.

- Les débits influencés et naturels caractéristiques d'étiage ont ainsi été calculés :

	VER 2				VER 4			
	DEBIT INFLUENCE		DEBIT NATUREL RECONSTITUE		DEBIT INFLUENCE		DEBIT NATUREL RECONSTITUE	
	m3/s	l/s/km ²	m3/s	l/s/km ²	m3/s	l/s/km ²	m3/s	l/s/km ²
QMNA	1.0922	36.0153	1.1024	36.3516	1.5199	36.0166	1.4812	35.0995
QMNA 2	1.2820	42.2740	1.2911	42.5740	1.7840	42.2749	1.7328	41.0616
QMNA 5	1.1299	37.2585	1.1372	37.4992	1.5723	37.2583	1.5275	36.1967
VCN 10	0.9974	32.8893	1.0009	33.0047	1.3879	32.8886	1.3390	31.7299
VCN 10 (2)	1.1051	36.4407	1.1130	36.7012	1.5378	36.4408	1.4845	35.1777
VCN 3	0.9861	32.5167	0.9893	32.6222	1.3722	32.5166	1.3215	31.3152
VCN 3 (2)	1.0750	35.4481	1.0817	35.6691	1.4959	35.4479	1.4416	34.1611
VCN 3 (5)	0.9882	32.5859	0.9927	32.7343	1.3752	32.5877	1.3261	31.4242
1/10 module	0.2032	6.7005	0.2044	6.7401	0.2827	6.6991	0.2767	6.5569
1/20 module	0.1016	3.3503	0.1022	3.3700	0.1414	3.3507	0.1384	3.2796

Tableau 13 – débits influencés et naturels caractéristiques d'étiage aux stations VER2 et VER4

	ALN 2				ALN 6			
	DEBIT INFLUENCE		DEBIT NATUREL RECONSTITUE		DEBIT INFLUENCE		DEBIT NATUREL RECONSTITUE	
	m3/s	l/s/km ²	m3/s	l/s/km ²	m3/s	l/s/km ²	m3/s	l/s/km ²
QMNA	0,027	0,927	0,009	0,308	0,650	4,428	0,509	3,467
QMNA 2	0,073	2,560	0,046	1,609	0,853	5,811	0,720	4,903
QMNA 5	0,036	1,249	0,016	0,546	0,692	4,712	0,570	3,882
VCN 10	0,017	0,577	0,004	0,129	0,543	3,700	0,402	2,738
VCN 10 (2)	0,020	0,714	0,017	0,602	0,655	4,463	0,521	3,546
VCN 3	0,014	0,479	0,001	0,039	0,530	3,607	0,388	2,645
VCN 3 (2)	0,032	1,130	0,009	0,322	0,635	4,324	0,497	3,388
VCN 3 (5)	0,017	0,602	0,002	0,080	0,559	3,807	0,434	2,954
1/10 module	0,060	2,099	0,058	2,039	0,293	1,995	0,277	1,885
1/20 module	0,030	1,049	0,029	1,018	0,146	0,997	0,138	0,943

Tableau 14 - débits influencés et naturels caractéristiques d'étiage aux stations ALN2 et ALN6

	OUD 3				ALE 2			
	DEBIT INFLUENCE		DEBIT NATUREL RECONSTITUE		DEBIT INFLUENCE		DEBIT NATUREL RECONSTITUE	
	m3/s	l/s/km ²	m3/s	l/s/km ²	m3/s	l/s/km ²	m3/s	l/s/km ²
QMNA	0.0995	3.1850	0.0820	2.6248	0.1132	8.7616	0.1090	8.4365
QMNA 2	0.1380	4.4174	0.1194	3.8220	0.3129	24.2183	0.3077	23.8158
QMNA 5	0.1076	3.4443	0.0905	2.8969	0.1525	11.8034	0.1482	11.4706
VCN 10	0.0791	2.5320	0.0613	1.9622	0.0704	5.4489	0.6620	51.2384
VCN 10 (2)	0.1009	3.2298	0.0801	2.5640	0.1615	12.5000	0.1568	12.1362
VCN 3	0.0767	2.4552	0.0579	1.8534	0.0586	4.5356	0.0544	4.2105
VCN 3 (2)	0.0945	3.0250	0.0744	2.3816	0.1379	10.6734	0.1851	14.3266
VCN 3 (5)	0.0775	2.4808	0.0585	1.8726	0.0734	5.6811	0.0821	6.3545
1/10 module	0.0302	0.9667	0.0280	0.8963	0.2565	19.8529	0.2561	19.8220
1/20 module	0.0151	0.4834	0.0140	0.4481	0.1282	9.9226	0.1281	9.9149

Tableau 15 - débits influencés et naturels caractéristiques d'étiage aux stations OUD3 et ALE2

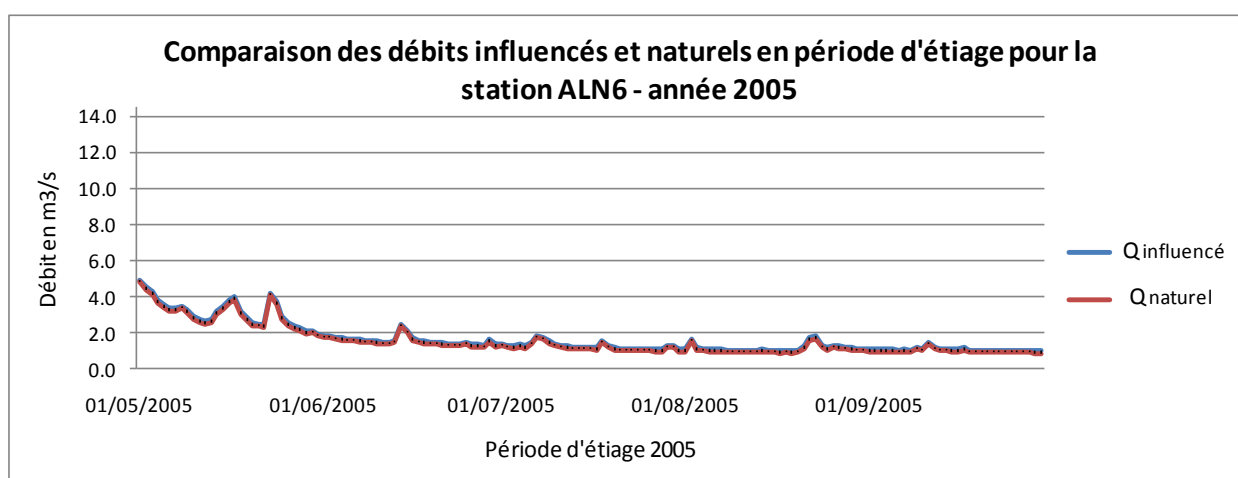
	GJO 4				LIO 3			
	DEBIT INFLUENCE		DEBIT NATUREL RECONSTITUE		DEBIT INFLUENCE		DEBIT NATUREL RECONSTITUE	
	m3/s	l/s/km ²	m3/s	l/s/km ²	m3/s	l/s/km ²	m3/s	l/s/km ²
QMNA	0,031	0,919	0,024	0,724	0,159	3,075	0,111	2,153
QMNA 2	0,057	1,716	0,051	1,523	0,247	4,770	0,196	3,792
QMNA 5	0,036	1,070	0,030	0,898	0,176	3,396	0,130	2,518
VCN 10	0,026	0,772	0,021	0,634	0,146	2,812	0,092	1,782
VCN 10 (2)	0,038	1,145	0,032	0,956	0,192	3,719	0,142	2,750
VCN 3	0,024	0,730	0,019	0,562	0,142	2,739	0,088	1,709
VCN 3 (2)	0,035	1,064	0,029	0,868	0,185	3,568	0,185	3,568
VCN 3 (5)	0,026	0,766	0,013	0,580	0,144	2,775	0,144	2,775
1/10 module	0,031	0,934	0,031	0,925	0,072	1,395	0,067	1,287
1/20 module	0,016	0,469	0,015	0,463	0,036	0,698	0,033	0,644

Tableau 16 - débits influencés et naturels caractéristiques d'étiage aux stations GJO4 et LIO3

Remarque : On peut observer que les valeurs de débits influencés présentées ci-avant sont différentes des valeurs de débits caractéristiques calculés au niveau des stations de référence au chapitre précédent. En effet, ces dernières avaient été calculées sur toute la période de données disponibles (depuis les années 90 à 2010) alors que celles présentées ci-avant ont été calculées sur la période 2004-2010, période d'exploitation du modèle (cf. chapitre suivant).

Comme précédemment, cette approche ciblée sur les débits caractéristiques d'étiage des cours d'eau ne fait pas apparaître de différence significative entre les débits d'étiage naturels reconstitués et les débits d'étiage influencés. **En période estivale, les régimes des cours d'eau semblent donc ne pas être influencés par les pressions recensées sur le bassin versant.**

- Egalement, la comparaison des débits influencés et naturels sur la période d'étiage (de mai à septembre) a été réalisée pour la station ALN6 sur la période d'étiage 2005 (année la plus sèche sur la période considérée), au pas de temps journalier.



Graphique 33 : Comparaison des débits influencés et naturels sur la période d'étiage de 2005

Ce graphique montre que les chroniques de débits influencés et naturels reconstitués sont quasi identiques en période d'étiage. **Les faibles débits des cours d'eau dans cette période d'étiage ne peuvent donc pas être expliqués par des prélèvements et rejets anthropiques mais plutôt aux conditions d'alimentation de ces cours d'eau (karst...).**

2.6.2.4 Le modèle hydrologique GR2M

Dans un premier temps, une modélisation hydrologique sur un pas de temps mensuel est réalisée. Le but est d'obtenir un modèle qui se rapproche au mieux du fonctionnement réel du bassin.

Dans ce but, la méthode de calage utilisée a été la suivante :

- Reconstitution des débits naturels à partir des débits observés, par suppression des rejets et prélèvements identifiés
- Construction du modèle pluie-débit sans prise en compte des rejets/prélèvements
- Calage du modèle par comparaison des débits naturels reconstitués et modélisés.

Cette méthode, qui consiste à comparer des débits naturels plutôt que les débits influencés (observés), se justifie dans le cas présent par la quasi-absence de prélèvements dans les eaux superficielles du secteur d'étude. L'utilisation de la méthode habituellement utilisée dans les études Volumes Prélevables, qui consiste à comparer les débits influencés, aurait eu pour conséquence de rajouter de la corrélation (donc de l'incertitude) entre les rejets et prélèvements, au risque d'amplifier l'influence de ces derniers.

Des critères d'efficacité sont calculés en même temps que le modèle. Ces derniers mesurent la part de la variance des débits reconstitués expliquée par le modèle.

Il s'agit du critère de Nash-Sutcliffe (E) utilisée ci-après est présenté ici :

$$E = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 / \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{\text{mod}})^2 \times 100$$

$$E = 100 * (1 - ((Q_{\text{ireel}} - Q_{\text{imod}})^2 / (Q_{\text{ireel}} - Q_m)^2))$$

Q_{ireel} et Q_{imod} sont respectivement les débits observés (ici les débits naturels reconstitués) et calculés (ici les débits naturels modélisés) durant la période de calage

Q_m 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.

Le modèle peut être utilisé sous Excel. Une fois les différentes données (date, pluie, ETP, et débits naturels) rentrées dans le tableur, on utilise la fonction « Solveur » qui permet d'optimiser les paramètres X1 et X2 du modèle pour que les critères d'efficacité soient le plus proche de 100. Une courbe de corrélation entre les débits observés et les débits calculés permet également d'estimer l'ajustement du modèle.

Les caractéristiques de calage du modèle sont présentées ci-après.

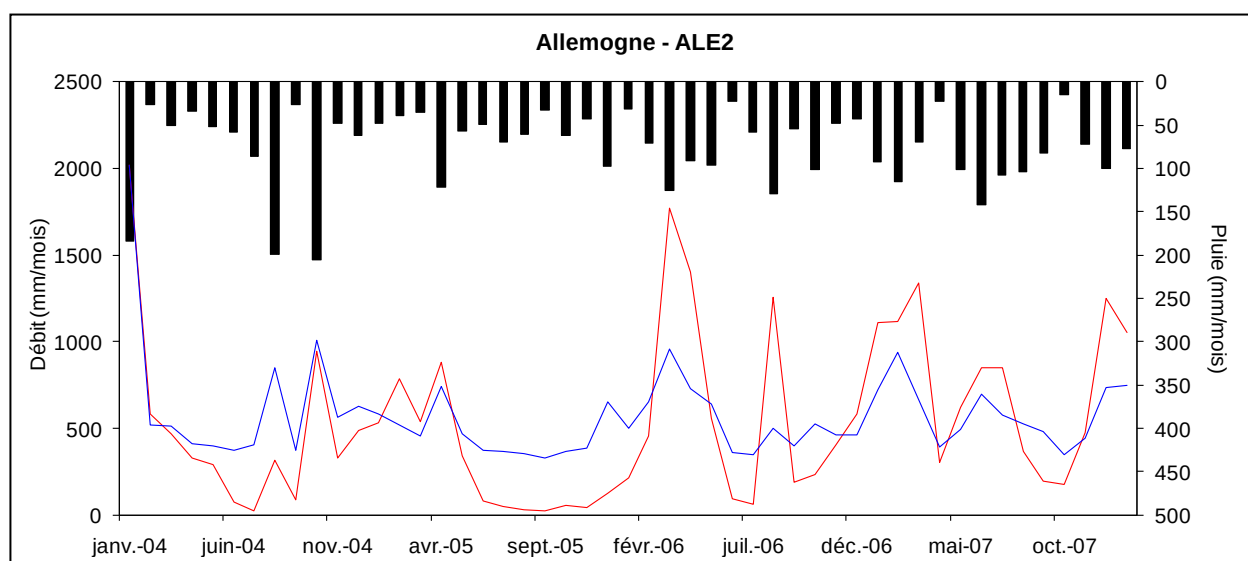
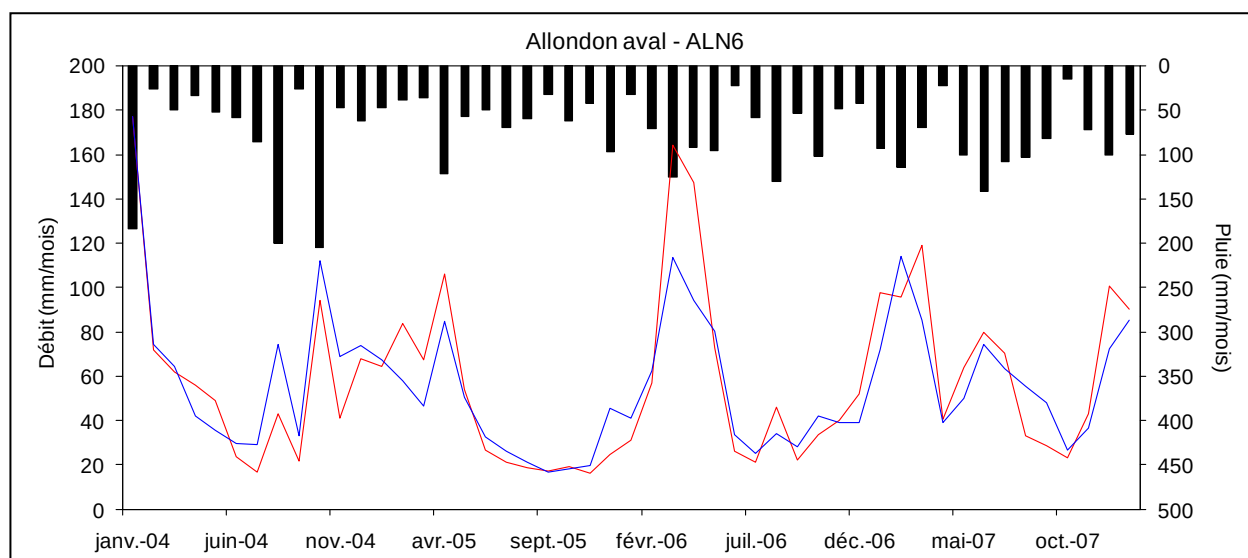
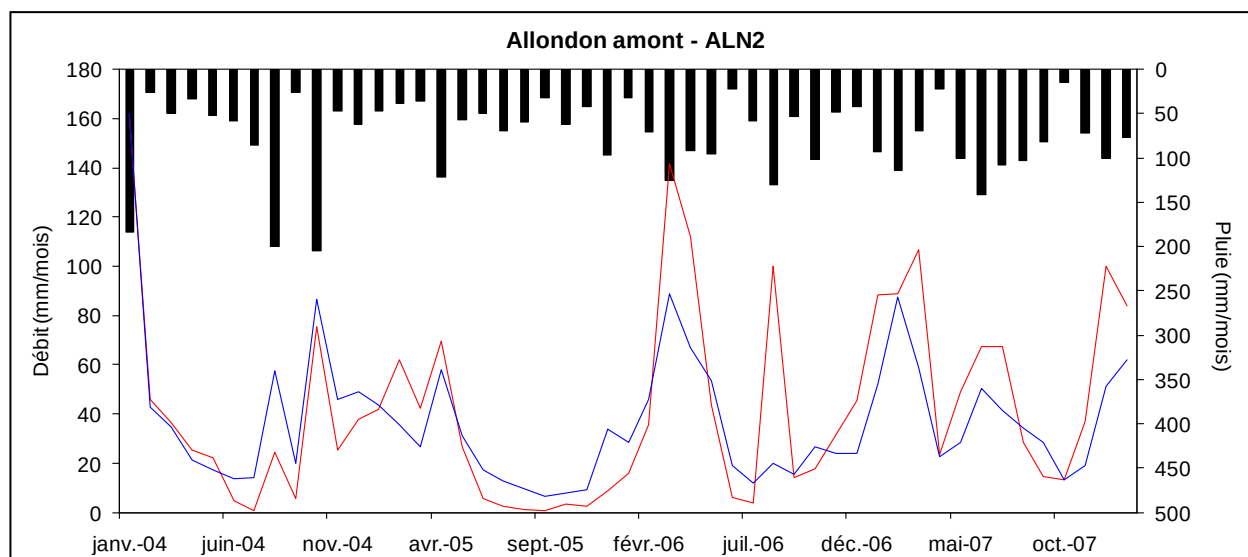
Les caractéristiques de calage du modèle sont les suivantes :

Station DMB	ALE2	ALN6	LIO3	GJO4	VER4	OUD3	ALN2	VER2
Superficie du bassin (km²)	12.92	146.8	51.74	33.28	42.22	31.24	28.59	30.326
PARAMETRES MODELE								
x1: Capacité rés. production (mm)	5.15	5.79	5.92	5.84	6.57	7.62	5.44	6.58
x2: Paramètre d'échange (mm)	7.05	1.31	1.06	0.89	2.90	0.74	1.10	2.96
VALEURS INITIALES								
Niveau de remplissage initial S0 (max.: x1 mm)	126.10	226.71	145.37	85.43	298.66	836.14	96.36	302.55
Niveau de remplissage initial R0 (max.: 60 mm)	128.71	10	67.03	91.31	51.00	42.93	84.16	49.84
PERIODE								
Longueur de la période de mise en route (mois)	0	0	0	0	0	0	0	0
Durée de la période test (mois)	48	48	48	48	48	48	48	48
Date de départ	01/2004	01/2004	01/2004	01/2004	01/2004	01/2004	01/2004	01/2004
Date de fin	01/2008	01/2008	01/2008	01/2008	01/2008	01/2008	01/2008	01/2008
Moyenne des pluies observées (mm/mois)	75.8	75.8	75.8	75.8	75.8	75.8	75.8	75.8
Moyenne des ETP observées (mm/mois)	67.8	67.8	67.8	67.8	67.8	67.8	67.8	67.8
Moyenne des débits observés (mm/mois)	527.2	51.3	32.9	24.3	169.8	527.2	41.3	174.5
Moyenne des racines des débits observés	20.5	6.7	5.4	4.4	12.9	20.5	5.7	13.0
Moyenne des logs des débits observés	5.8	3.7	3.3	2.8	5.1	5.8	3.2	5.1
CRITERES D'EFFICACITE (%)								
Nash(Q)	54.7	77.2	80.3	69.6	74.2	76.86	65.3	73.6
Nash(VQ)	41.7	78.8	80.6	71.1	75.5	79.94	66.6	75.0
Nash(ln(Q))	18.4	78.0	80.6	70.3	76.2	81.98	59.4	75.7
Bilan	107.5	95.6	96.9	93.5	99.3	98.77	89.2	99.3

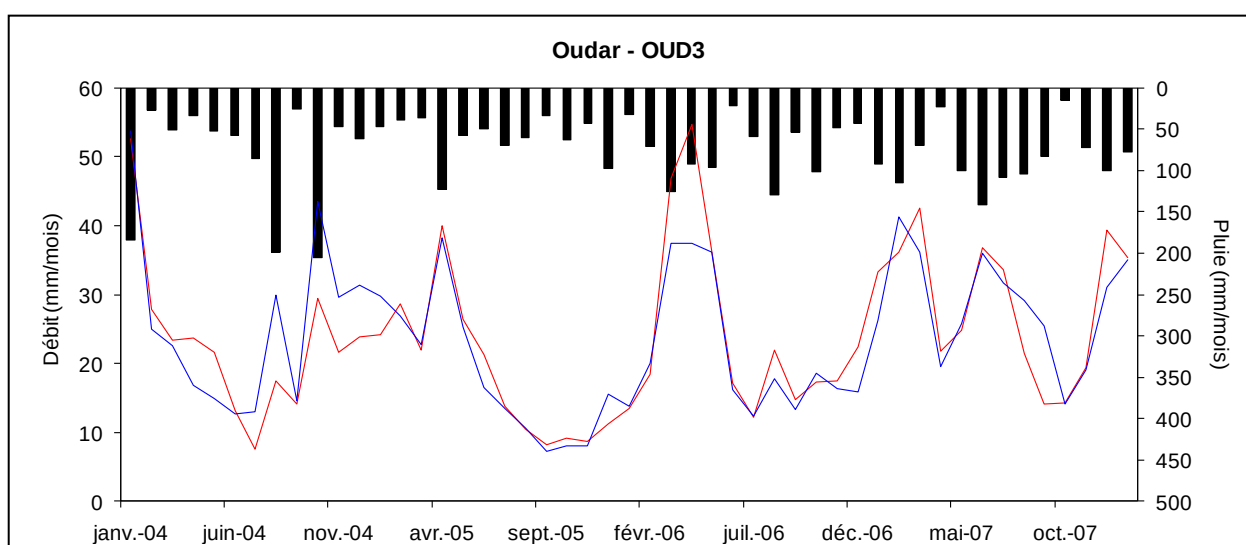
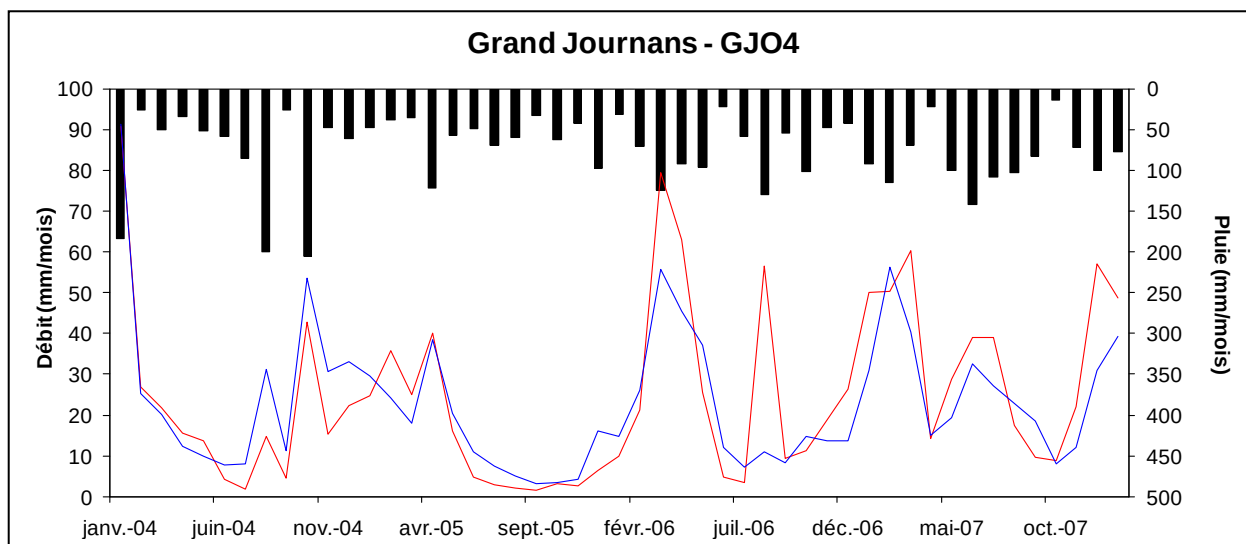
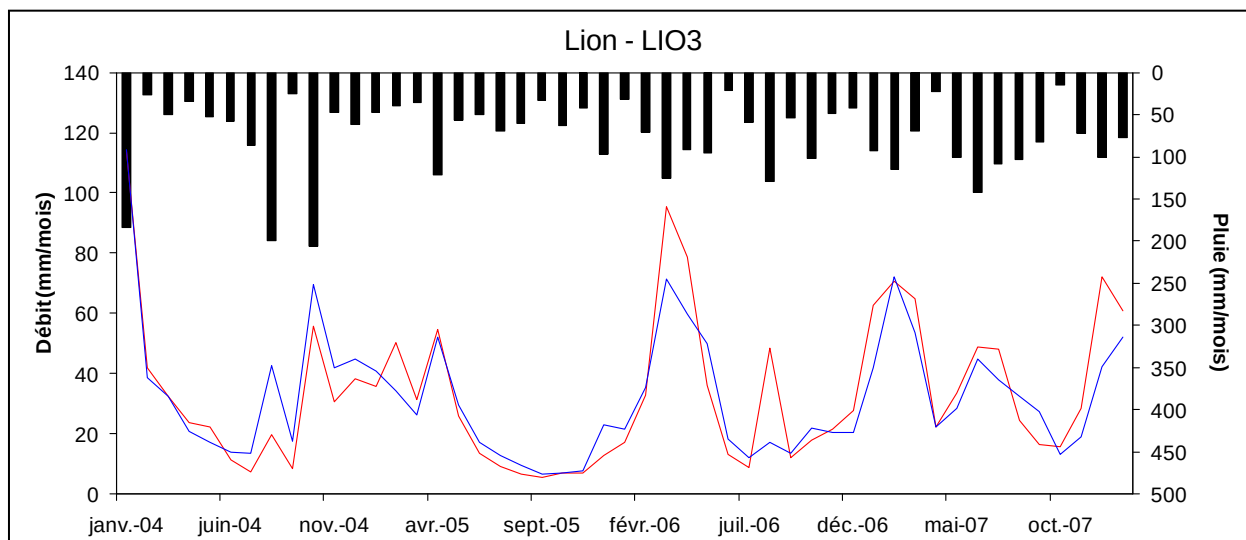
Tableau 17 : Caractéristiques de calage du modèle GR2M

Les résultats ci-dessus montrent une efficacité très hétérogène entre les différents tronçons de cours d'eau modélisés. En effet, les critères de Nash sont compris entre 18.4 et 82%.

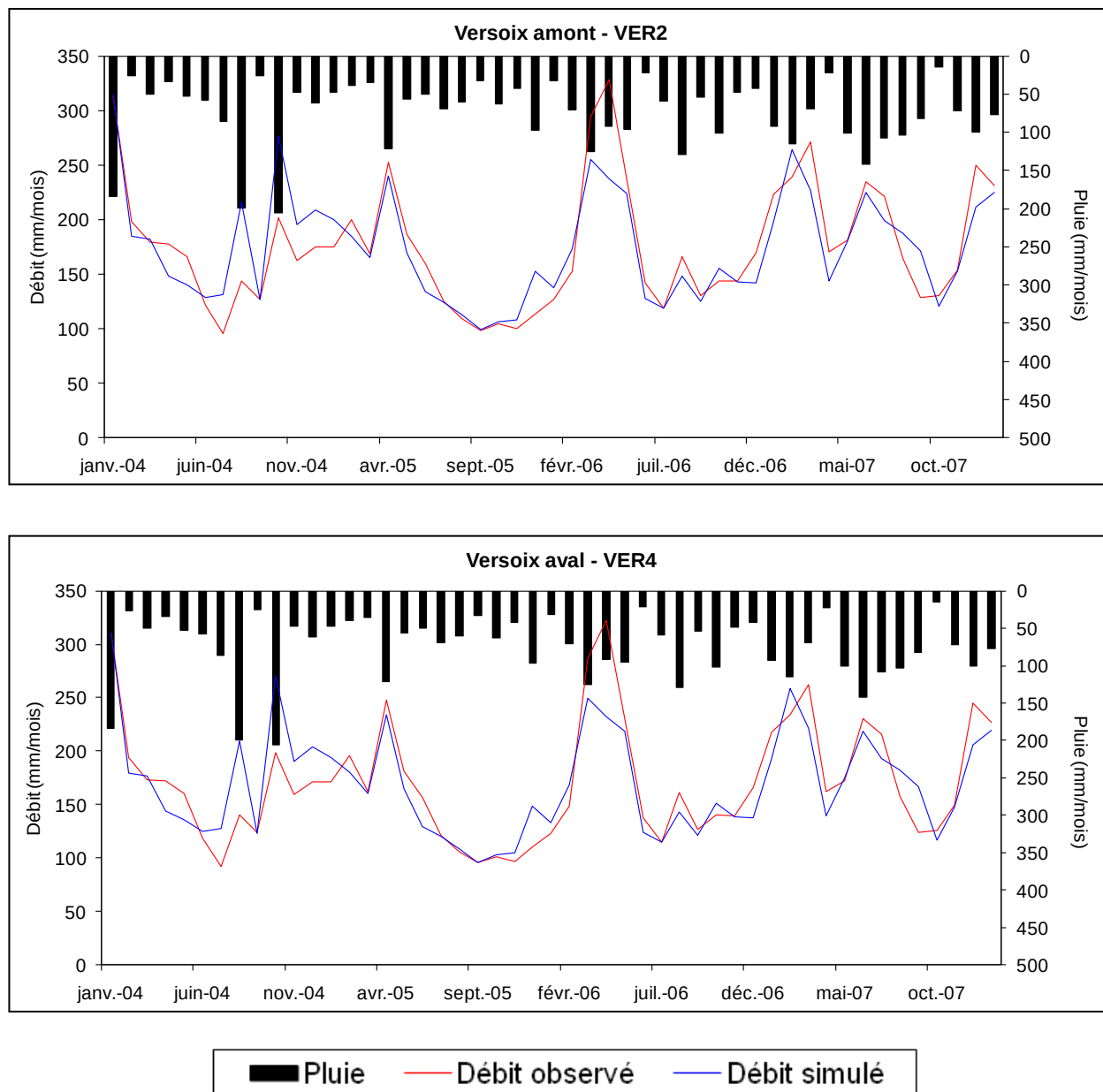
Les résultats graphiques au pas de temps mensuel sont les suivants (période de calage 2004-2007).



■ Pluie — Débit observé — Débit simulé



Pluie
 Débit observé
 Débit simulé



L'interprétation d'un tel modèle est assez délicate. La première analyse visuelle montre :

- pour les modèles représentant les stations OUD3, VER4, VER2, LIO3 et ALN6, un débit naturel simulé assez proche de la courbe des débits naturels reconstitués : ces chroniques sont plutôt bonnes
- pour les modèles représentant les stations ALN2 et GJO4, deux courbes de débits moyennement corrélées
- des courbes de débits naturels reconstitués et simulés très éloignées pour le modèle de la station ALE2.

Ces observations sont en accord avec les valeurs des critères d'efficacité de calage. En effet, dans le premier cas, les critères d'efficacité du calage des modèles sont compris entre 75 et 80% environ. Dans le second cas, les critères d'efficacité sont compris entre 65 et 75% environ. Et concernant l'Allemogne, ces critères d'efficacité sont compris en 18 et 55%.

Pour les stations du Grand Journans, de l'Allemogne, de l'Allondon amont et du Lion, on observe deux pics du débit observé (mois de mars et d'août 2006) qui ne sont quasiment pas suivis par le débit simulé. La valeur moyenne des débits observés à ces mois de mars et d'août 2006 pourrait être remise en cause. Cependant, on observe une donnée pluviométrique sur la même période assez élevée également. Le problème viendrait donc plutôt d'une mauvaise simulation du modèle : il pourrait s'agir d'un phénomène de crue, événement hydrologique qui se produit sur un pas de temps très court, mal pris en compte par le modèle.

De la même façon, pour l'Allemogne, sa mauvaise simulation pourrait s'expliquer par le modèle qui n'est peut-être pas adapté à son fonctionnement. En effet, ce dernier est un cours d'eau qui présente de fortes variations de débits.

Pour l'ensemble des modèles, les courbes correspondantes aux débits naturels simulés ont tendance à être lissées sur toute la période de calage.

Les modèles étant correctement calés, il faut vérifier les caractéristiques de calage sur la période de validation : de janvier 2008 à décembre 2010, soit 36 mois. La vérification est réalisée automatiquement par le modèle. Il utilise les mêmes valeurs des paramètres de calage et calcule les critères d'efficacité selon ces paramètres.

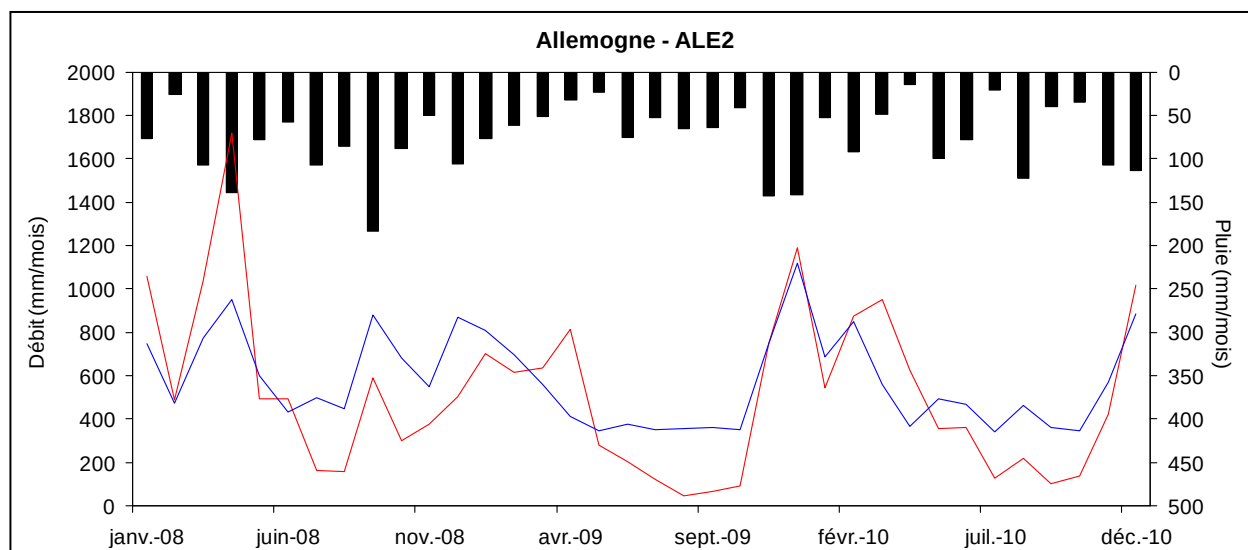
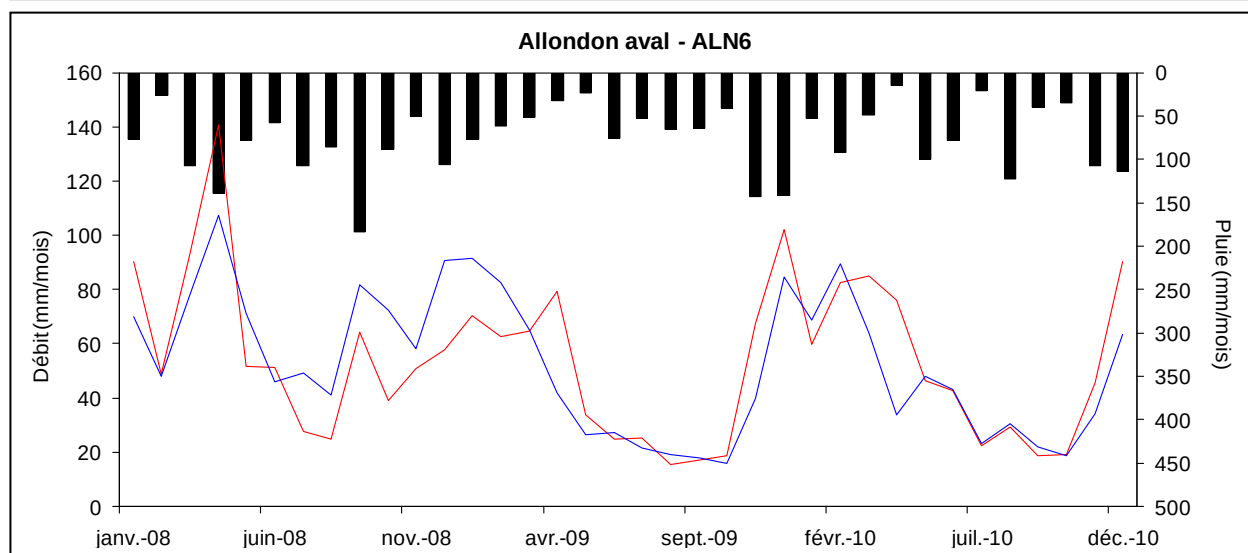
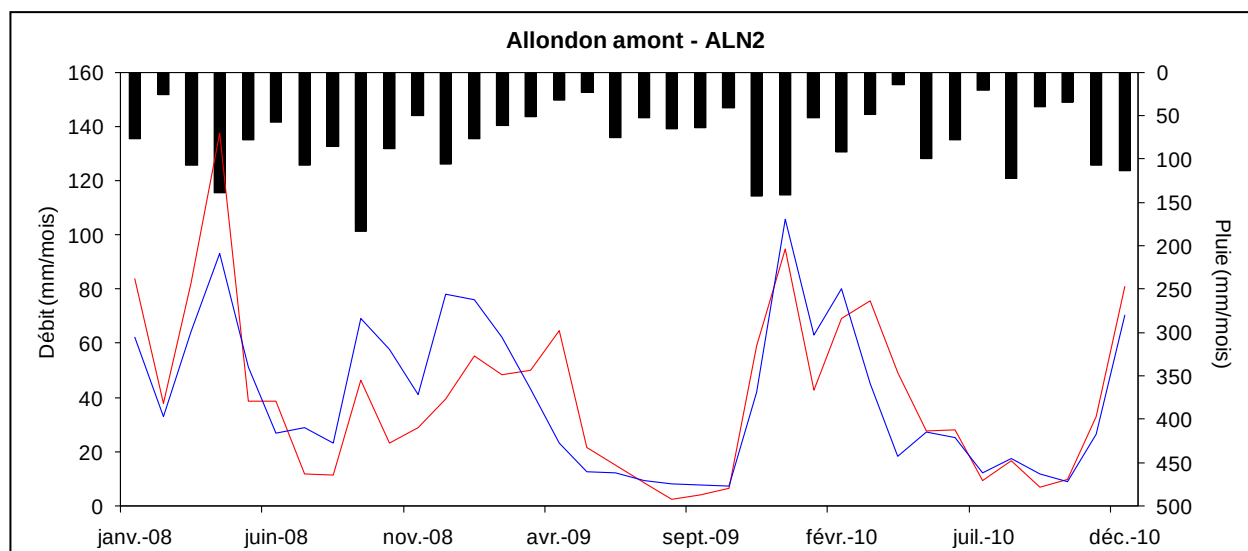
Les validations pour chacun des modèles sont présentées ci-après :

Station DMB	ALE2	ALN6	LIO3	GJO4	VER4	ODU3	ALN2	VER2
Superficie du bassin (km²)	12.92	146.8	51.74	33.28	42.22	31.24	28.59	30.326
PARAMETRES MODELE								
x1: Capacité rés. production (mm)								
x2: Paramètre d'échange (mm)								
VALEURS INITIALES	IDEM							
Niveau de remplissage initial S0 (max.: x1 mm)	CALAGE							
Niveau de remplissage initial R0 (max.: 60 mm)								
PERIODE								
Longueur de la période de mise en route (mois)	48	48	48	48	48	48	48	48
Durée de la période test (mois)	35	35	35	35	35	35	35	35
Date de départ	01/2008	01/2008	01/2008	01/2008	01/2008	01/2008	01/2008	01/2008
Date de fin	12/2010	12/2010	12/2010	12/2010	12/2010	12/2010	12/2010	12/2010
Moyenne des pluies observées (mm/mois)	75.5	75.5	75.5	76.6	75.5	75.5	75.5	75.5
Moyenne des ETP observées (mm/mois)	67.7	67.7	67.7	66.2	67.7	67.7	67.7	67.7
Moyenne des débits observés (mm/mois)	502.9	46.7	32.2	24.4	148.6	25.6	39.4	152.5
Moyenne des racines des débits observés	20.8	6.5	5.4	4.6	11.6	4.9	5.8	11.8
Moyenne des logs des débits observés	5.9	3.7	3.3	3.0	4.8	3.2	3.4	4.8
CRITERES D'EFFICACITE (%)								
Nash(Q)	50.5	56.9	71.4	53.7	32.0	-17.8	60.9	31.3
Nash(VQ)	42.9	61.8	76.9	61.5	24.7	6.0	67.2	23.8
Nash(ln(Q))	27.6	65.2	81.6	69.6	13.8	25.1	72.0	12.9
Bilan	112.8	98.6	108.9	105.9	120.6	105.9	99.7	120.7

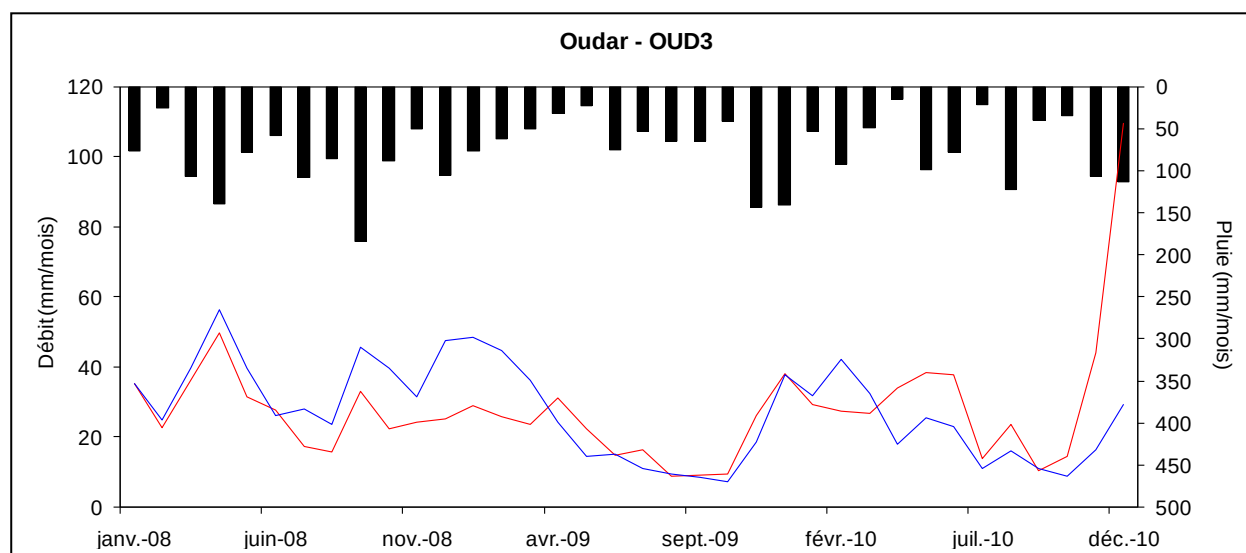
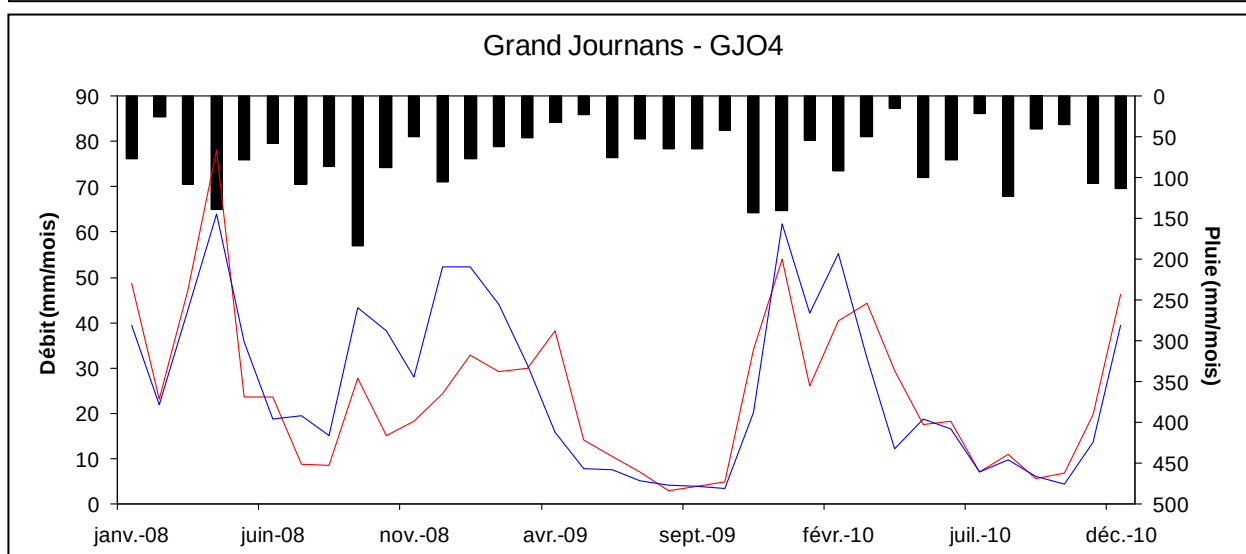
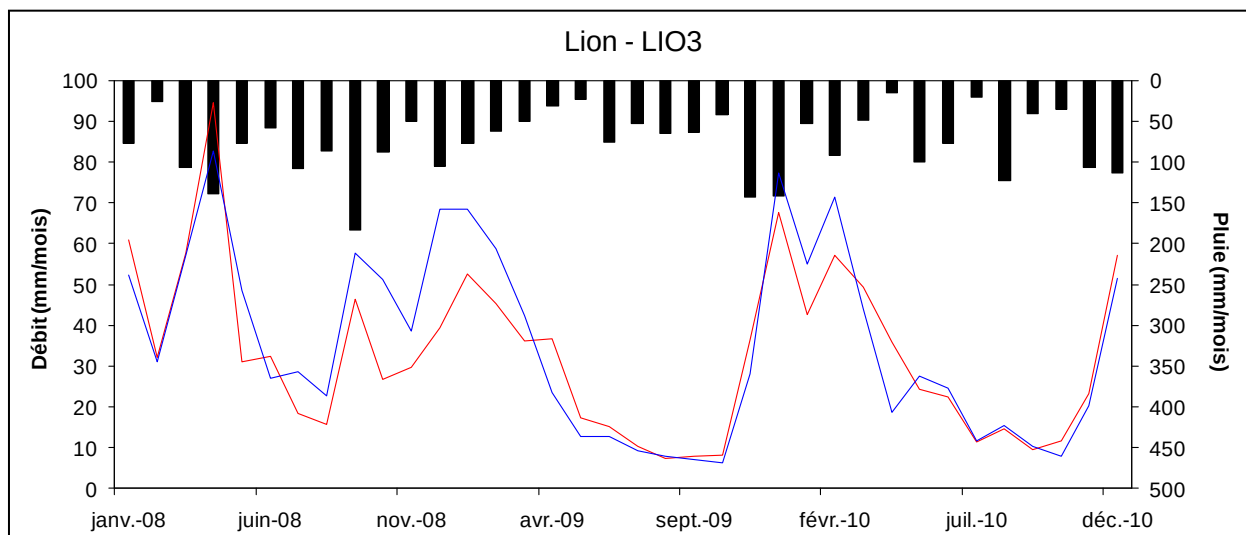
Tableau 18 : Caractéristiques de validation du modèle GR2M

Ces résultats montrent une efficacité moins bonne que celle correspondant au calage. En effet, les différents critères de Nash sont compris entre -17.8 et 81.6% : les débits simulés et observés ne sont que très moyennement corrélés.

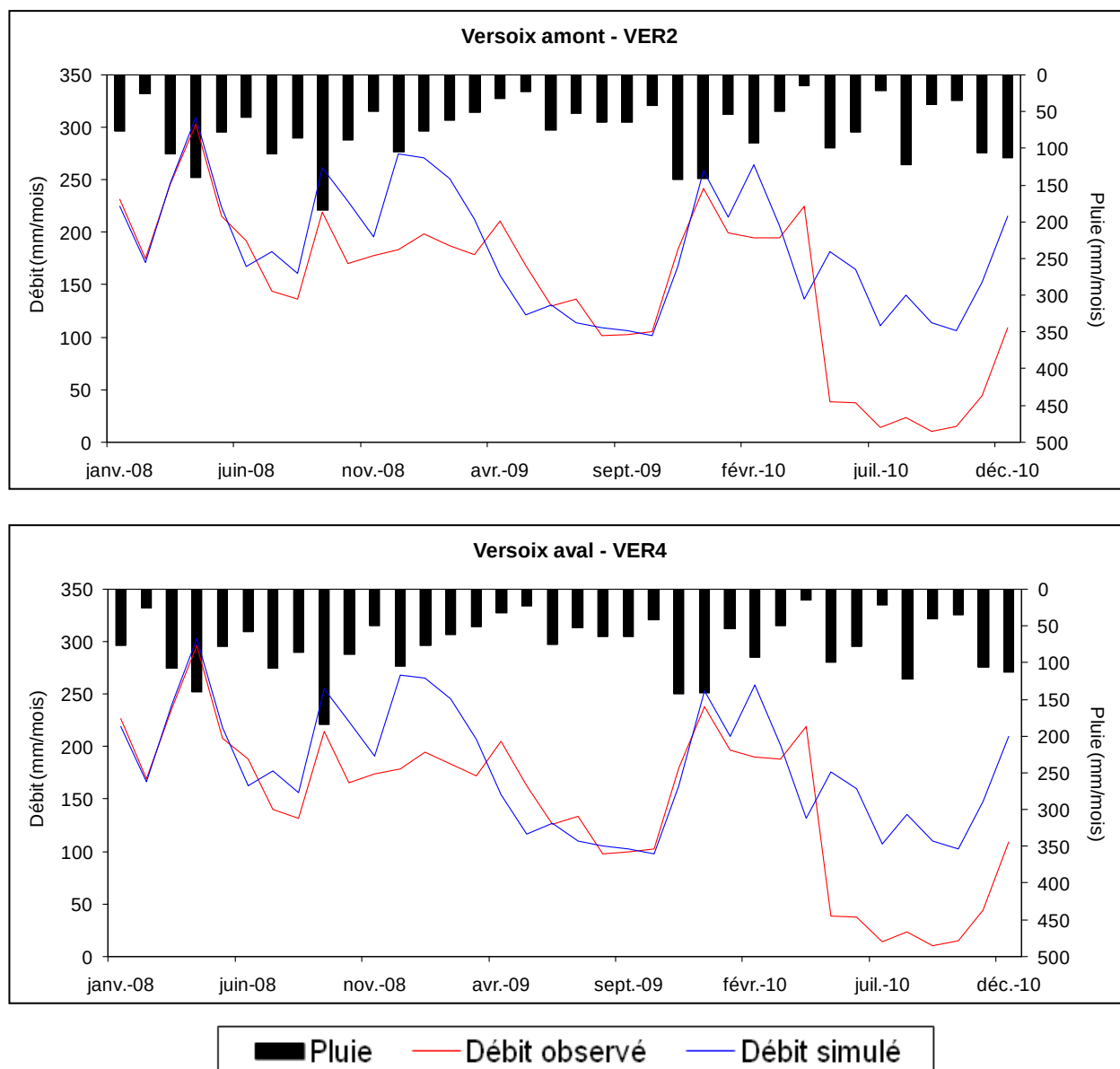
Les résultats graphiques des débits naturels reconstitués et modélisés au pas de temps mensuel sont les suivants (période de validation).



■ Pluie — Débit observé — Débit simulé



Pluie
 Débit observé
 Débit simulé



Les résultats ci-dessus révèlent trois "types" de modélisations :

- Les résultats de la modélisation des tronçons OUD3, VER2 et VER4 sont très moyens. Leurs coefficients d'efficacité ne dépassent pas les 25% et les graphiques font ressortir de grandes variations entre les débits naturels reconstitués et simulés.
- La courbe de validation de l'Allemogne reste très moyenne comme lors du calage. Le graphique montre toujours une courbe des débits naturels simulés très lissée.
- Les résultats de la modélisation des tronçons ALN2, ALN6, GJO4 et LIO3 sont satisfaisants avec des critères d'efficacité compris entre 50 et 81%. Cependant, on observe une faible modélisation des mois de décembre 2008 à février 2009. Ceci peut s'expliquer par la fonte des neiges stockées qui ne sont pas prises en compte par ce type de modèle. Ainsi, le débit naturel simulé est plus important que le débit naturel reconstitué pendant cette période de stockage et lors de la fonte, un pic de débit naturel reconstitué est observé.

2.6.2.5 Le modèle hydrologique GR4J

Dans le but d'affiner la modélisation, et en particulier de mieux tenir compte de l'effet de stockage des précipitations sous forme de neige, nous avons testé l'application d'un modèle au pas de temps journalier. La particularité du modèle GR4J est l'ajout de la donnée température en entrée du modèle. Les données de température influencent les données de pluie en intégrant le paramètre « neige » : selon la température, les pluies sont stockées lors de la période de gel puis réintroduites au modèle lors de la période de fonte. La température de dégel et la vitesse de fonte sont les deux paramètres qui ont été rajoutés à ce modèle GR4J. Ces aspects sont calculés dans un onglet Excel à part du modèle : ainsi, la donnée pluie en entrée du modèle a déjà pris en compte la neige.

La suite se déroule de la même façon que pour le modèle GR2M. Il faut tester différentes périodes de calage, vérifier les valeurs des critères de Nash sur les périodes de calage et de validation afin de trouver les meilleures paramètres de calage du modèle.

La période de calage choisie est la même que pour le modèle au pas de temps mensuel. Les résultats présentés ci-après ne concernent, pour exemple, que les stations ALN6 et VER4. Ces stations étant situées en aval des bassins-versants, elles sont plus représentatives.

Les caractéristiques de calage du modèle sont présentées ci-après.

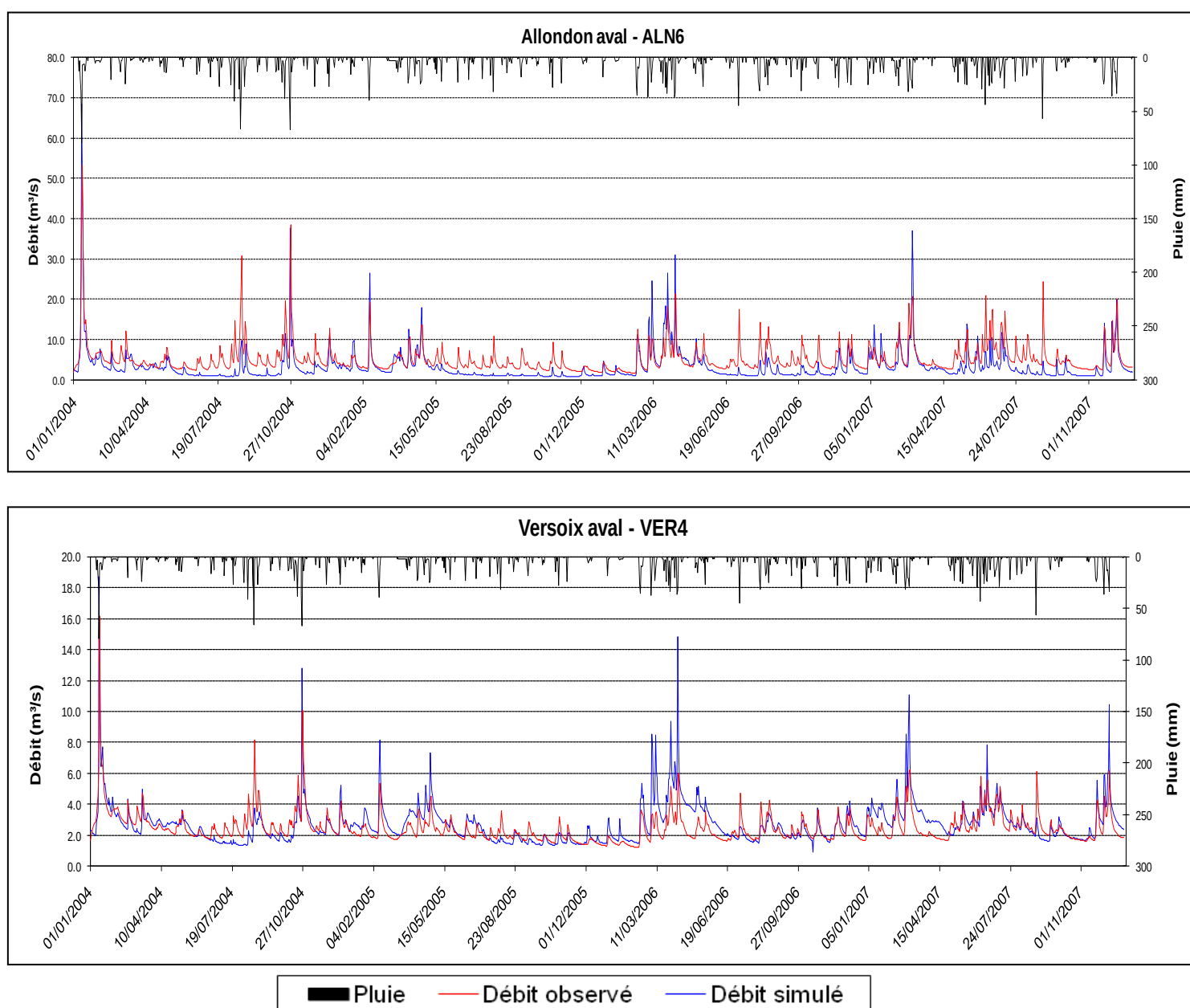
Station DMB	VER4	ALN6
Superficie du bassin (km²)	42.2	146.8
PARAMETRES MODELE		
x1: Capacité rés. production (mm)	7.91	7.24
x2: Paramètre d'échange (mm)	2.04	0.00
X3: Capacité rés. routage (mm)	4.46	3.94
X4: Délai (jours)	0.00	0.00
X5: Température dégel (°C)	2.04	2.04
X6: Vitesse de fonte (mm/jour)	2.53	2.62
VALEURS INITIALES		
Niveau de remplissage initial S0 (max.: x1 mm)	0.69	0.71
Niveau de remplissage initial R0 (max.: 60 mm)	0.64	0.61
PERIODE		
Longueur de la période de mise en route (jours)	0.00	0.00
Durée de la période test (jours)	1461	1461
Date de départ	01/01/2004	01/01/2004
Date de fin	01/01/2008	01/01/2008
Moyenne des pluies observées (mm/j)	2.92	2.92
Moyenne des ETP observées (mm/j)	0.00	0.00
Moyenne des débits observés (mm/j)	5.56	1.68
Moyenne des racines des débits observés	2.30	1.15
Moyenne des logs des débits observés	1.66	0.12

CRITERES D'EFFICACITE (%)		
Nash(Q)	66.3	37.4
Nash(VQ)	60.1	-27.8
Nash(ln(Q))	54.0	-73.7
Bilan	1.0	1.9

Tableau 19 : Caractéristiques de calage du modèle GR4J

La valeur du paramètre « température de fonte » peut paraître élevée. Cependant, la station où les données de températures ont été récupérées se situe en bas de versant. Il est donc normal que la température de fonte soit supérieure à 0°C.

Les critères d'efficacité montrent des valeurs moyennes pour la station de la Versoix et des valeurs plutôt mauvaises pour celle de l'Allondon. Ci-dessous, la courbe des débits simulés et observés résultante :



Graphique 34 : Courbes des débits observés et simulés sur la période de calage

Le graphique confirme, par une analyse visuelle, la faible efficacité de la modélisation sur la période de calage. On remarque cependant que la modélisation de VER4 est plus juste que celle d'ALN6. En effet, pour l'Allondon dans sa partie aval, les débits naturels reconstitués sont, pour la plupart du temps, nettement supérieurs aux débits naturels modélisés.

Il faut maintenant vérifier la robustesse sur la période de validation du 1^{er} janvier 2008 au 31 décembre 2010. Les résultats sont présentés ci-après :

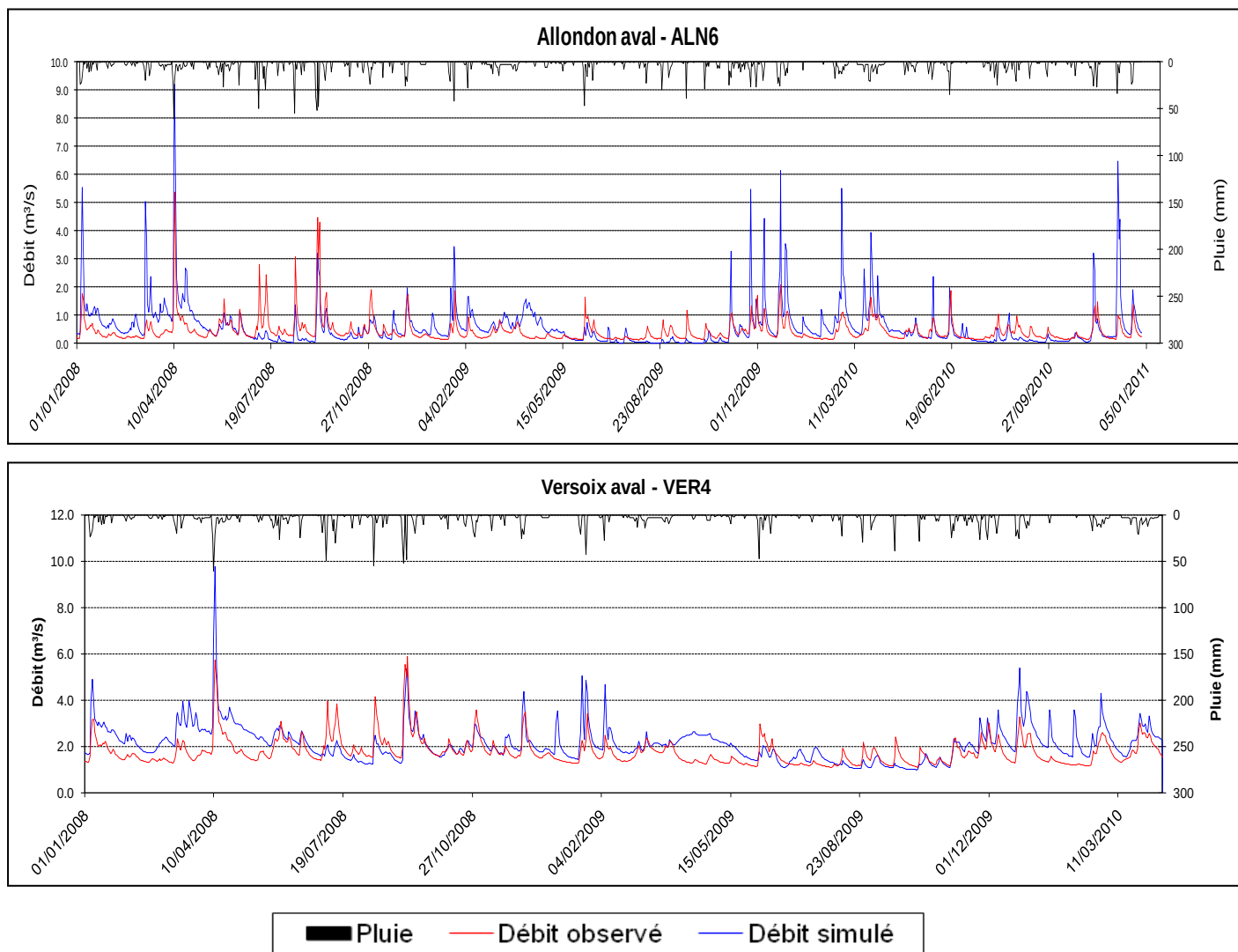
Station DMB	VER4	ALN6
Superficie du bassin (km²)	42.2	146.8
PARAMETRES MODELE		
x1: Capacité rés. production (mm)	7.91	7.24
x2: Paramètre d'échange (mm)	2.04	0.00
X3: Capacité rés. routage (mm)	4.46	3.94
X4: Délai (jours)	0.00	0.00
X5: Température dégel (°C)	2.04	2.04
X6: Vitesse de fonte (mm/jour)	2.53	2.62
VALEURS INITIALES		
Niveau de remplissage initial S0 (max.: x1 mm)	0.69	0.71
Niveau de remplissage initial R0 (max.: 60 mm)	0.64	0.61
PERIODE		
Longueur de la période de mise en route (jours)	1461	1461
Durée de la période test (jours)	834	1096
Date de départ	01/01/2008	01/01/2008
Date de fin	14/04/2010	01/01/2011
Moyenne des pluies observées (mm/j)	2.97	2.81
Moyenne des ETP observées (mm/j)	0.00	0.00
Moyenne des débits observés (mm/j)	5.84	1.56
Moyenne des racines des débits observés	2.38	1.14
Moyenne des logs des débits observés	1.74	0.13
CRITERES D'EFFICACITE (%)		
Nash(Q)	24.0	-43.1
Nash(VQ)	17.5	-60.3
Nash(ln(Q))	12.9	-67.0
Bilan	0.8	1.8

Tableau 20 : Caractéristiques de validation du modèle GR4J

De la même façon qu'avec le modèle GR2M, les résultats sur la période de validation montre une efficacité moins bonne que pour la période de calage. Comme pour la période de calage, la Versoix est mieux modélisée que l'Allondon

Pour l'Allondon, les critères d'efficacité de NASH sont négatifs. Nous pouvons considérer que cette modélisation ne présente que peu d'intérêt sur cet émissaire. Il se peut que des données de pluie plus proches du bassin ou de plus large données de calage puissent améliorer les calculs.

Les modélisations au pas de temps journaliers sont en globalité moins performantes que les modélisations mensuelles. Les mécanismes hydrologiques au pas de temps journaliers sont souvent le produit de phénomènes rapides (pluies courtes et intenses; pluies sur une seule partie du bassin versant). Les interactions de l'homme sont aussi plus impactantes sur les écoulements journaliers alors qu'elles sont lissées sur un débit mensuel. Ceci conduit à avoir des modélisations plus difficiles à ajuster et des différences importantes pour des bassins versants voisins (comme ici l'Allondon et la Versoix)



Graphique 35 : Courbes des débits observés et simulés sur la période de validation

Comme énoncé dans ce présent rapport, les rejets et prélèvements au pas de temps journaliers n'étant que l'application d'une moyenne journalière sur des données initiales mensuelles voire annuelles, il est d'autant plus difficile d'interpréter ces modélisations au pas de temps journalier.

2.6.3 Estimation des incertitudes

Les incertitudes que présente le modèle sont doubles : elles concernent les entrants du modèle et les aspects liés au modèle lui-même.

Ainsi, les premières incertitudes caractérisent le manque de données fiables sur le territoire :

- Extrapolation des données (pluviométrie, ETP...) sur l'ensemble du territoire alors que ce dernier présente un contexte géographique et topographique particulier (le massif jurassien, le Piémont et la plaine) ;
- Extrapolation des valeurs de débits à partir de stations de mesure en continu dont la fiabilité en période d'étiage peut être discutable ;
- Extrapolation journalière ou mensuelle des valeurs des pressions anthropiques (prélèvements et rejets majoritairement disponibles au pas de temps annuel).

Les autres incertitudes caractérisant le modèle lui-même sont les suivantes :

- Il s'agit d'un modèle qui prend mal en compte les événements hydrologiques qui se produisent sur un pas de temps très court, comme un phénomène de crue. Vis-à-vis du contexte spécifique de l'aire d'étude, cet aspect a pu générer des contraintes et imprécisions dans le calage du modèle.
- Le modèle n'est pas adapté à la problématique « neige » au pas de temps mensuel.

2.6.4 Conclusions sur la modélisation

L'objectif des modèles de type GR est la reconstitution de débits naturels simulés et de disposer d'un outil pour la mise en place d'éventuels scénarii d'évolution.

Cette modélisation a montré que nous sommes en présence d'un bassin versant dont les mécanismes de production sont relativement bien représentés par la modélisation GR.

La comparaison des deux modèles (mensuel et journalier) montre que cette seconde modélisation est nettement moins précise du fait :

- de l'imprécision des débits naturels reconstitués à ce pas de temps,
- du manque de données de base « au plus proche » des bassins versants,
- de mécanismes hydrologiques ponctuels moins en accord avec l'architecture du modèle.

3

Relations eaux superficielles / eaux souterraines

3.1 Préambule

Les écoulements globaux et les émergences, visibles ou non, des eaux souterraines sur le bassin gessien sont essentiellement conditionnés par la structure géologique et particulièrement par les accidents tectoniques. Ceux-ci déterminent la position des affleurements du substratum antéquatenaire et celles des principales sources issues des calcaires formant la limite ouest du bassin.

On trouve successivement du nord au sud :

- Les sources de la Divonne (la Versoix en Suisse) liées à l'accident du même nom, composé de l'accident Mourex-Sauverny qui se prolonge vers le sud-est par la faille majeur de l'Arve,
- La source de l'Allondon liée à l'accident de l'accident Naz - Meyrin qui se prolonge vers le sud-est par le décrochement du Coin sur le Salève,
- Les sources de l'Allemogne et du Puits Mathieu liées à l'accident Thoiry - Russin qui se prolonge vers le sud-est par le décrochement de Cruseilles.

Les débits moyens des rivières directement alimentées par des sources sont très importants, par exemple $2,56 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le groupe Allemogne / Puits Mathieu dont le bassin versant topographique apparent n'est que d'environ 13 km^2 soit un débit spécifique proche de 200 l/s/km^2 évidemment sur estimé. Même chose pour la Divonne qui, avec un débit moyen proche de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ à la sortie de la ville de Divonne; donne un débit spécifique de 67 l/s très largement surestimé.

En fait la superficie des bassins versants concernés est significativement plus grande et inclue tout ou partie de la Haute Chaîne jurassienne. Nous avons schématisé ce phénomène par les flèches vertes sur la figure 19 en page suivante.

Sur cette figure, nous avons reporté les principaux éléments structuraux du Pays de Gex (failles majeures, limite d'affleurement des calcaires, affleurements de la molasse tertiaire) ainsi que la position des sources citées. Figurent également les stations de jaugeage de référence, la position des principales zones de captage et les limites des principaux bassins versants topographiques. Pour le bassin de l'Allondon, qui servira de référence, on a retenu les limites données par S. Ebener (2000) à partir un MNT à la maille de 25 m (Office Fédéral de Topographie) recalé à partir de $4\,164$ pts en montagne et $30\,851$ pts en plaine ; la superficie du bassin calculée à l'embouchure est de $146,9 \text{ km}^2$

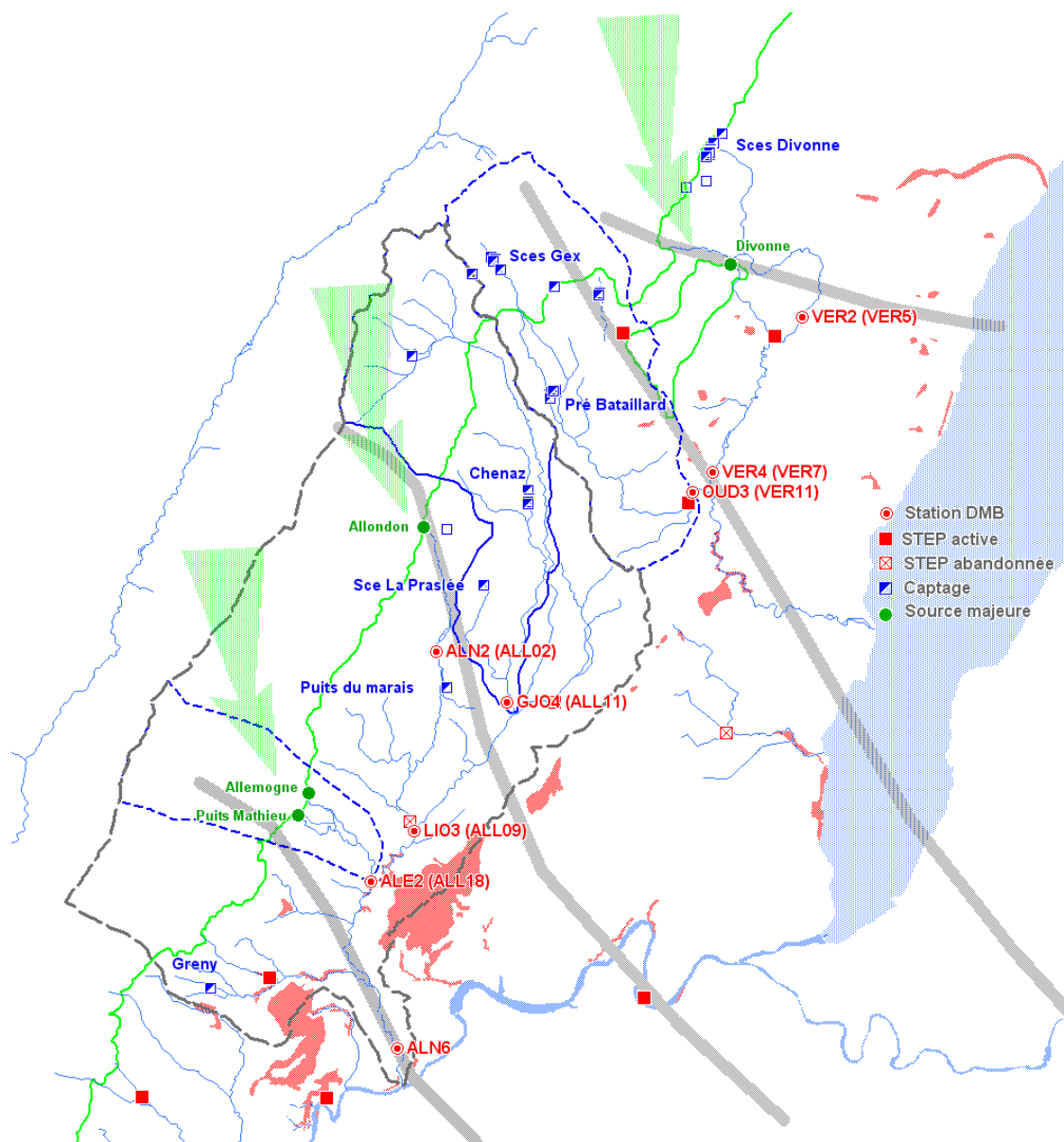


Figure 19 : Localisation des principaux éléments structurants et des sources du Pays de Gex

A ce problème d'indétermination sur la superficie hydrogéologique réelle, se superpose celui des communications interbassins versants liées à l'existence des sillons fluvio-glaciaires déjà cités dont l'organisation échappe totalement à celle des écoulements superficiels.

C'est la raison pour laquelle il nous semble pertinent de raisonner à l'échelle du bassin versant de l'Allondon et de celui de la Versoix ce qui correspond bien à l'esprit des études «volumes prélevables» qui intéressent des ensembles hydrologiques et hydrogéologiques cohérents. Une attention sera tout de même portée aux étiages ponctuels et locaux.

3.2 Analyse globale

Le tableau ci-dessous reprend les résultats du modèle hydrologique établi par HYDRETUDES (cf. chapitre 2.6) avec les stations hydrométriques retenues pour l'étude DMB.

	Superficie en km ²		Q en m ³ /s		Qs en l/s/km ²	
			QMNA5	module	QMNA5	module
STATION VER2	30.3	Q influencé	1.130	2.032	37.3	67.1
DMB BV km ²		Q naturel	1.137	2.044	37.5	67.4
STATION VER4	42.2	Q influencé	1.572	2.827	37.3	67.0
DMB BV km ²		Q naturel	1.528	2.768	36.2	65.6
STATION OUD3	31.2	Q influencé	0.108	0.302	3.4	9.7
DMB BV km ²		Q naturel	0.091	0.280	2.9	9.0
STATION ALN2	28.6	Q influencé	0.036	0.600	1.2	21.0
DMB BV km ²		Q naturel	0.016	0.583	0.55	20.4
STATION GJO4	33.3	Q influencé	0.036	0.311	1.1	9.3
DMB BV km ²		Q naturel	0.030	0.308	0.90	9.2
STATION LIO3	51.7	Q influencé	0.176	0.722	3.4	14.0
DMB BV km ²		Q naturel	0.130	0.666	2.5	12.9
STATION ALE2	12.9	Q influencé	0.153	2.565	11.8	198.8
DMB BV km ²		Q naturel	0.148	2.561	11.5	198.5
STATION ALN6	147	Q influencé	1.031	3.269	7.0	22.2
DMB BV km ²		Q naturel	0.910	3.107	6.2	21.1

Nous avons souligné en couleurs les superficies de bassin versant manifestement sous dimensionnées (Versoix aux stations VER2 et VER4, et surtout l'Allemogne à la station ALE2).

Ce tableau met en évidence un résultat essentiel : les débits naturels et les débits influencés (par les prélèvements et les rejets) sont du même ordre de grandeur (les débits influencés sont même légèrement supérieurs) ce qui montre à l'évidence qu'à l'échelle du bassin versant, ces prélèvements/rejets s'équilibrent.

Sur le bassin de la Versoix et son affluent l'Oudar, les prélèvements sont de 16 l/s sur les sources de Divonne (Nuchon/Cerisiers), 19 l/s sur les sources de Gex et de Vesancy et 65 l/s au droit des captages de Pré Bataillard mais les études détaillées menées dans ce secteur ont montré l'absence de relation entre la rivière et la nappe profonde exploitée. Ces chiffres sont peu significatifs vis à vis des débits moyens : 7% sur l'Oudar à la station OUD3 et 0.7% sur la Versoix à la station VER4, Sur le bassin de la Versoix à son embouchure dans le Léman, le total représente moins de 1%.

La comparaison avec le QMNA5 montre que dans des conditions d'étiage relativement sévère (débit moyen le plus faible de l'année estimé à la fréquence quinquennale), ces prélèvements représentent moins de 2% du débit de la Versoix (en fait moins car dans ces conditions d'étiage, les prélèvements dans les sources ne sont que de 13 l/s au lieu de 35 l/s). Si on se focalise sur l'Oudar, le prélèvement à l'étiage est de 7 l/s (débit prélevé donné par SOGEDO pour août 2009) soit environ 7% du QMNA5 à la station OUD3 à peine plus élevé que la précision des débits (5% en moyenne). En fait, le suivi du débit (cf. chapitre 1.1.1.1, page 8) montre les débits moyens journaliers d'étiage sur le groupe Etan-Léchère sont plus faibles voir nul et aucun prélèvement ne sera fait dans ces conditions.

Sur le bassin de l'Allondon que l'on peut considérer, en raison de la présence du seuil molassique de Dardagny-Satigny, comme réceptacle de l'ensemble des écoulements dans les formations quaternaires sur le Pays de Gex (si on excepte la Versoix, le bassin de l'Annaz avec la zone de captage de Pougny et les petits bassins "sud" avec les sources de Léaz et de) ne déroge pas à cette règle. Les prélèvements globaux sont de 163 l/s (65 l/s à Pré Bataillard et Chenaz, 11 l/s à la Praslée, 9 l/s au Puits du Marais et 13 l/s à Greny) soit 5% du module.

En cas d'étiage sévère, la situation est plus préoccupante, car les prélèvements par pompage sur les deux zones de captage principales de la CCPG (Pré Bataillard et Chenaz) reste du même ordre de grandeur (130 l/s) et, même si les autres prélèvements diminuent de fait, le total reste important et représente 15% de l'écoulement de l'Allondon à l'embouchure. **La comparaison entre les débits naturels et reconstitués montre malgré tout que globalement l'équilibre est respecté avec un retour significatif de ces prélèvements dans les écoulements superficiels malgré la suppression de la majorité des STEP sur le bassin versant.**

3.3 Analyse de détail

Dans le détail, on peut signaler deux points à priori sensibles même si, à l'échelle du bassin versant du Pays de Gex, ils ne sont pas significatifs.

3.3.1 La zone de captage Chenaz entre le By et le Journans

On se reportera aux chapitres 6.1.4 et 8.4.1.5 de la phase 1 pour les données concernant les prélèvements et le fonctionnement de cette zone de captage.

En juin et novembre 2012, deux campagnes de jaugeage ont été réalisées dans l'environnement de la zone de captage. La figure 7 illustre l'emplacement de ces mesures et les résultats qui sont rappelés dans le tableau ci-dessous.

Rivière	Débit (l/s)	
	28/06/2012	23/11/2012
Journans 1 (à Cessy)	107	82
Journans 2 (zone artisanale de la plaine)	48	10
Journans 3 (amont Varfeuille)	2	2
By 1 (amont station de pompage)	31	23
By 2 (aval station de pompage)	17	39
Varfeuille 1 (D984)	12	31
Varfeuille 2 (voie ferrée)	9	15
Varfeuille 3 (aval By)	27	44

Ainsi le débit du Journans diminue entre la station 1 et la station 2 pour s'annuler entre Millet et le pont de Chenaz en raison de pertes majoritairement naturelles (ces pertes existaient avant la mise en place des puits de Chenaz) et recouler avant le confluent avec la Varfeuille en récupérant une partie des pertes sur son cours amont.

Entre les stations 1 et 2 de part et d'autre de la zone de la zone de captage, le débit du By diminue de 31 à 17 l/s en juin mais augmente de 23 à 39 l/s lors de l'étiage de novembre 2012.

Le débit de la Varfeuille diminue entre les stations 1 et 2 pour les deux campagnes puis augmente à la station 3. Cette augmentation correspond, aux erreurs de mesure, près à l'apport du By en juin mais en novembre, il manque 10 l/s alors qu'on est à 600 m (en fait 1000 m du puits 5 principal ouvrage de prélèvement) à l'aval de la station de pompage en dehors de l'influence directe des puits. Les études détaillées sur cette zone de captage ont montré que le rabattement occasionné par un pompage continu à 300 m³/h sur le puits 5 était inférieur à 0.5 m à 300 m du puits et devenait négligeable à 600 m.

Il convient de signaler que les pertes dans le Journans sont **naturelles**. Elles sont d'ailleurs signalées sur un document manuscrit du Professeur Thorat en septembre 1952 **avant le captage** des sources dites de Chenaz comme le montre la figure 20 ci-après avec mention d'une «**portion à sec**» du Journans entre le niveau de la zone artisanale de la plaine et le confluent avec la Varfeuille.

Dans le modèle numérique de la zone de Chenaz, réalisé en 2008, les apports par les rivières était évalués à 11 l/s (signalons que le modèle pouvait faire appel à un éventuel l'inféoflux au droit du Journans) pour un débit de pompage moyen de 54 l/s.

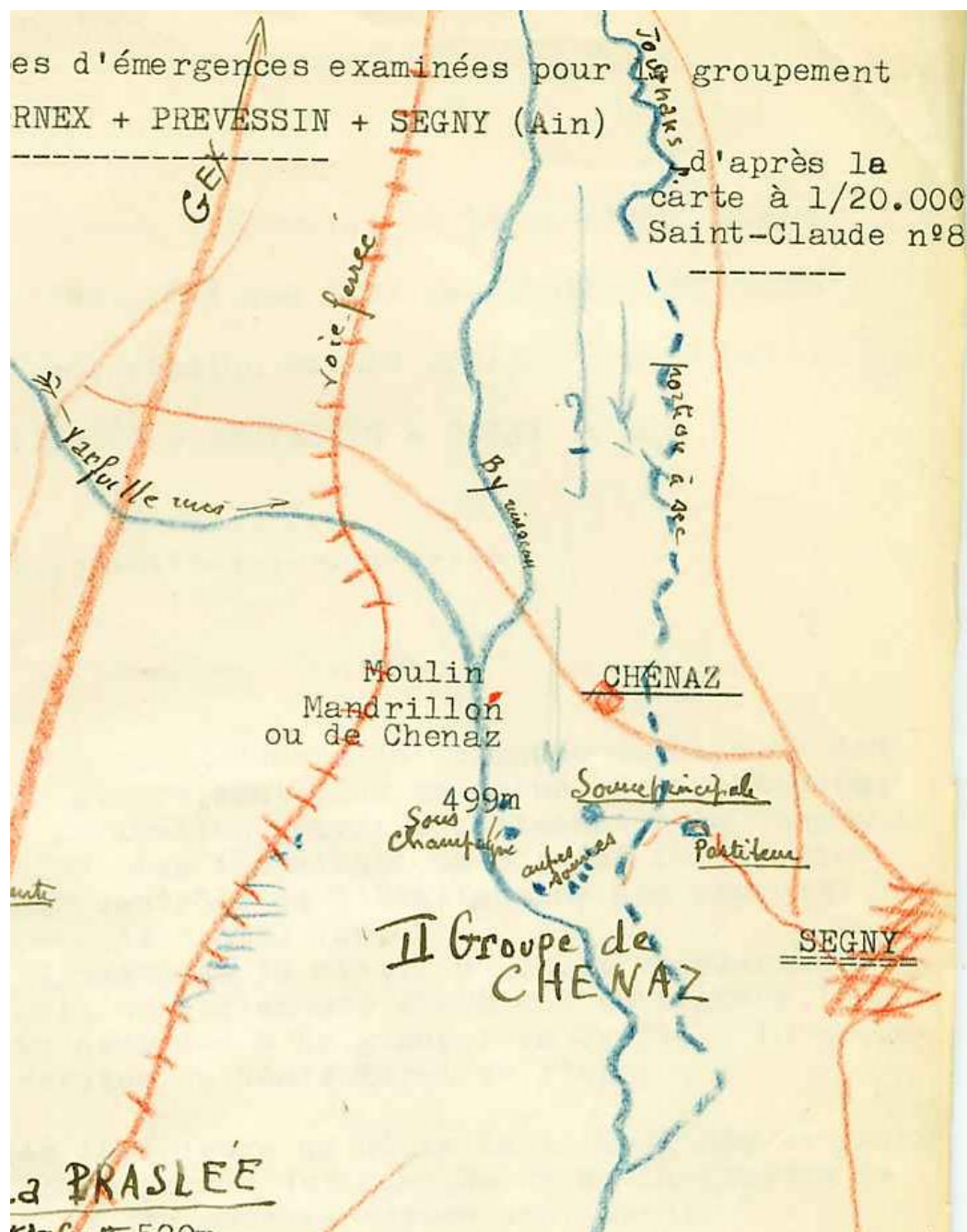


Figure 20 : Carte manuscrite du Professeur Thorat (Septembre 1952)

Cette situation particulière s'explique par la présence de graviers superficiels en relation avec la rivière mais indépendant des graviers profonds captés qui donnaient à l'aval naissance aux sources historiques de Chenaz. La figure 21 ci-dessous montre cette structure avec trois profils de panneaux électriques (dont le tracé est reporté sur la figure 22).

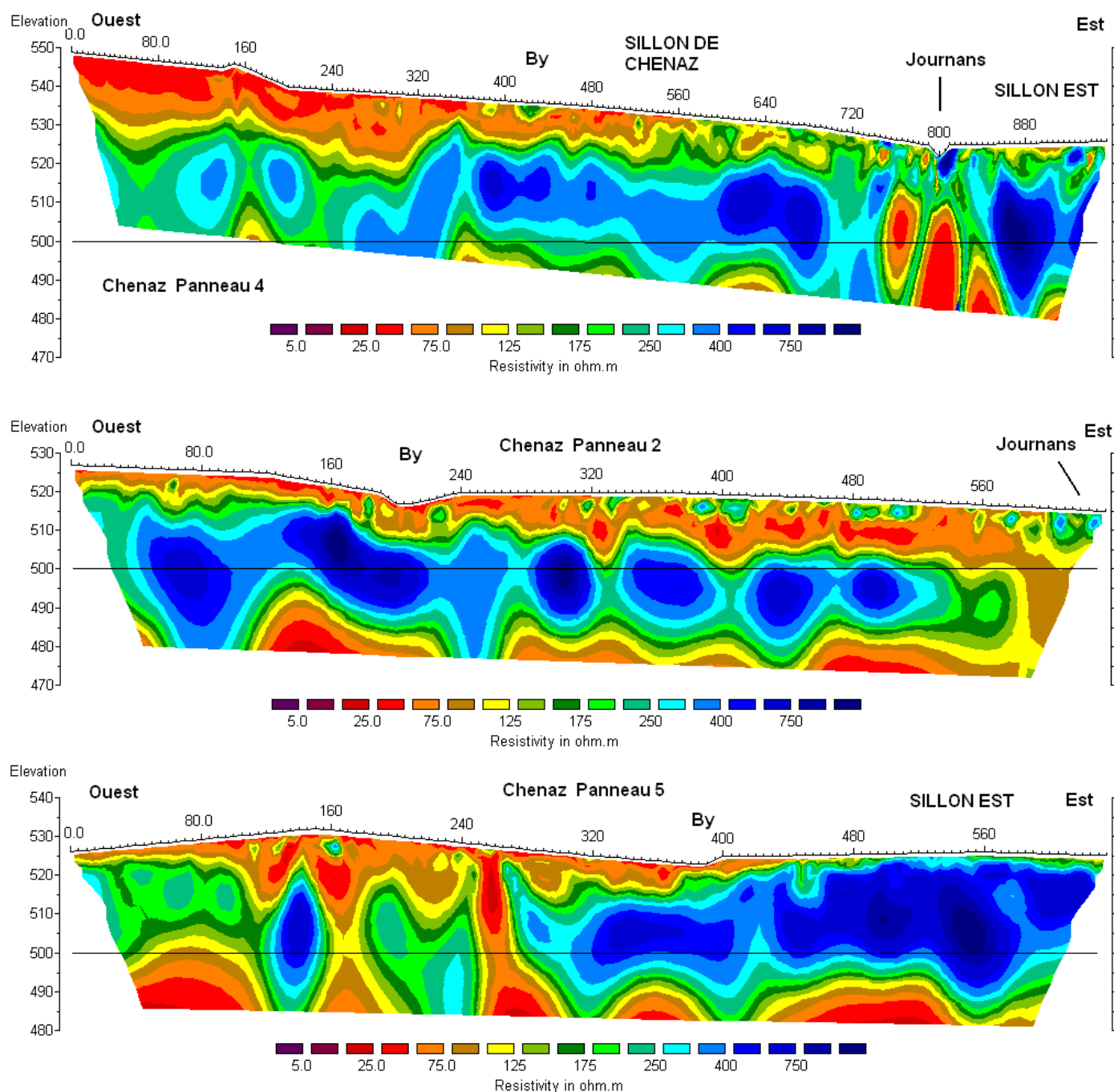


Figure 21 : Coupes des panneaux électriques passant par la zone de Chenaz

Le By est perché et isolé de la nappe principale jusqu'au profil 5 (figure 21) à l'aval duquel, il rejoint le sillon Est, probablement en liaison avec le sillon de l'Oudar plus à l'amont ou le niveau de la nappe libre est relativement bas (entre 505 et 510 m NGF) ce qui entraîne des pertes de l'ordre de 10 à 15 l/s.

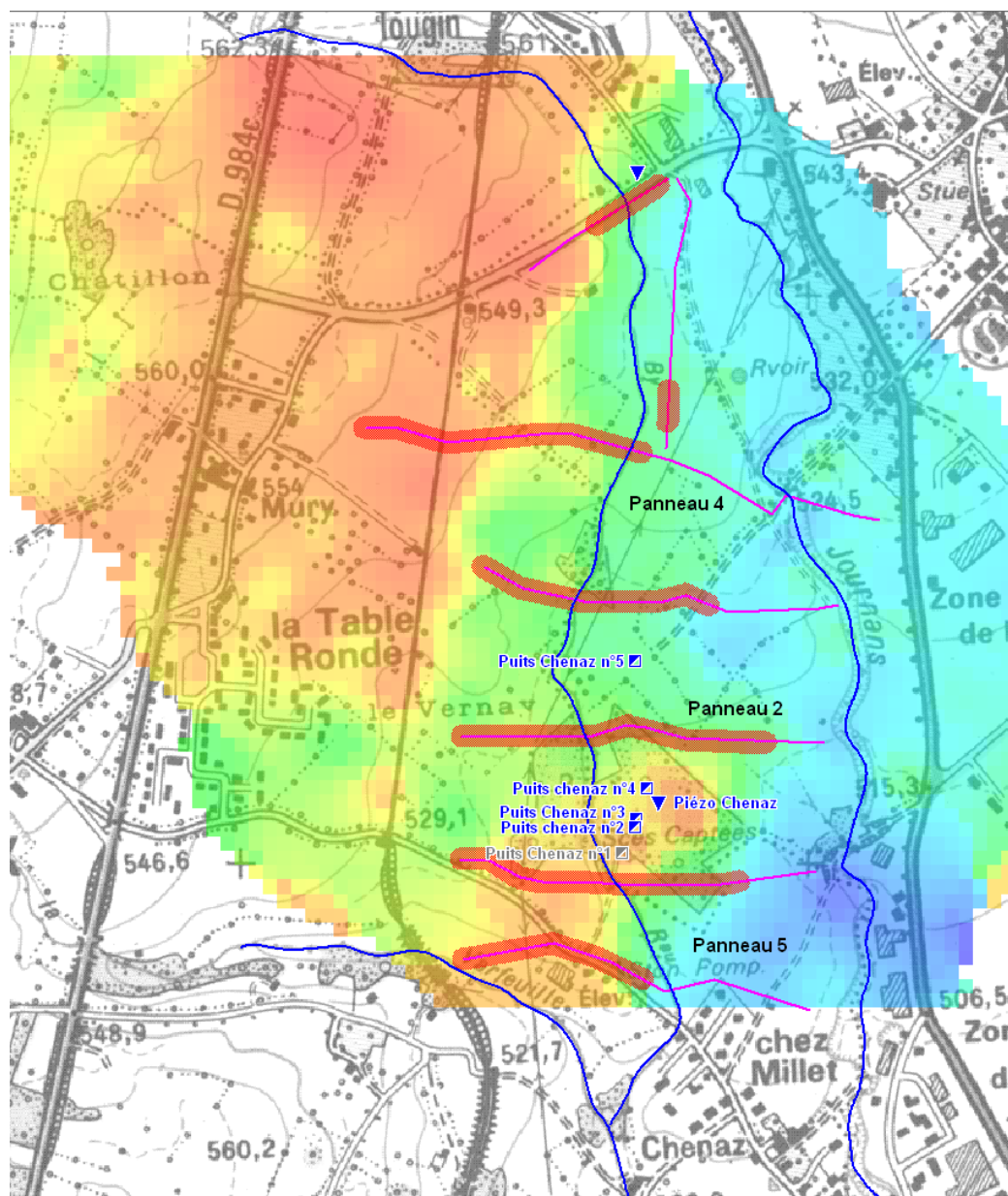
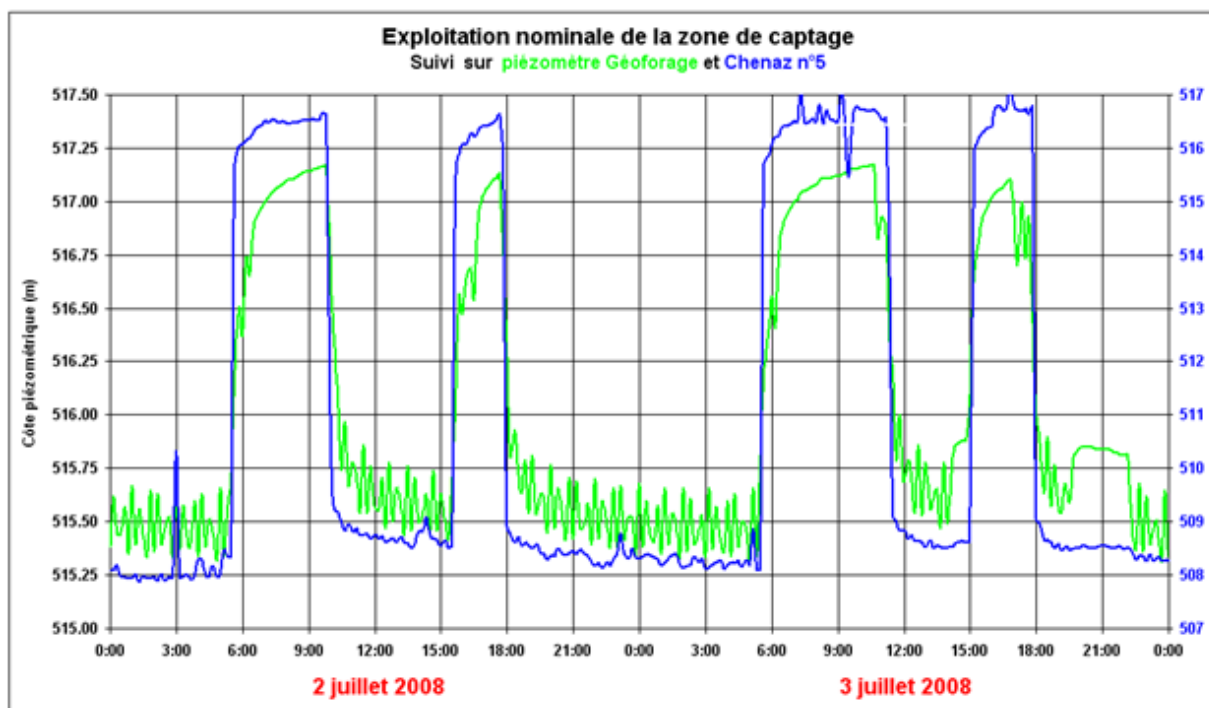


Figure 22 : Carte de représentation des formations de surface avec, en superposition, l'emplacement des panneaux électriques.

La figure 22 montre l'emplacement des panneaux électriques ainsi que la nature des terrains de surface à dominante argileuse pour les teintes rouges à jaunes et à dominante graveleuse pour les teintes bleues.

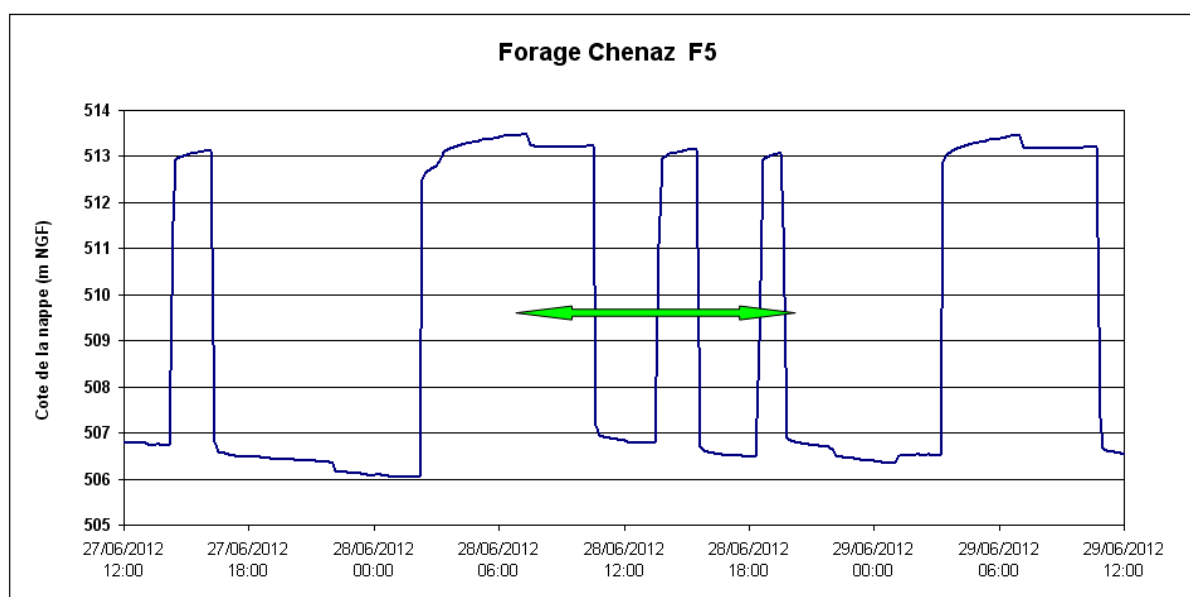
On voit clairement que le lit majeur du Journans se développe dans des formations graveleuses propices à l'infiltration des eaux.

En examinant attentivement l'évolution des niveaux de la nappe au droit de la zone de captage pendant les tests de l'été 2008 (graphique 36), on peut voir qu'avec un pompage de 305 m³/h (85 l/s) pendant 14 h par jour soit un débit moyen sur la journée de 49 l/s, le niveau pseudo-statique de la nappe revient à un niveau proche de l'artésianisme (517,5 m NGF) dès l'arrêt du pompage et que le rabattement dans la zone de captage est de l'ordre de 2 m.



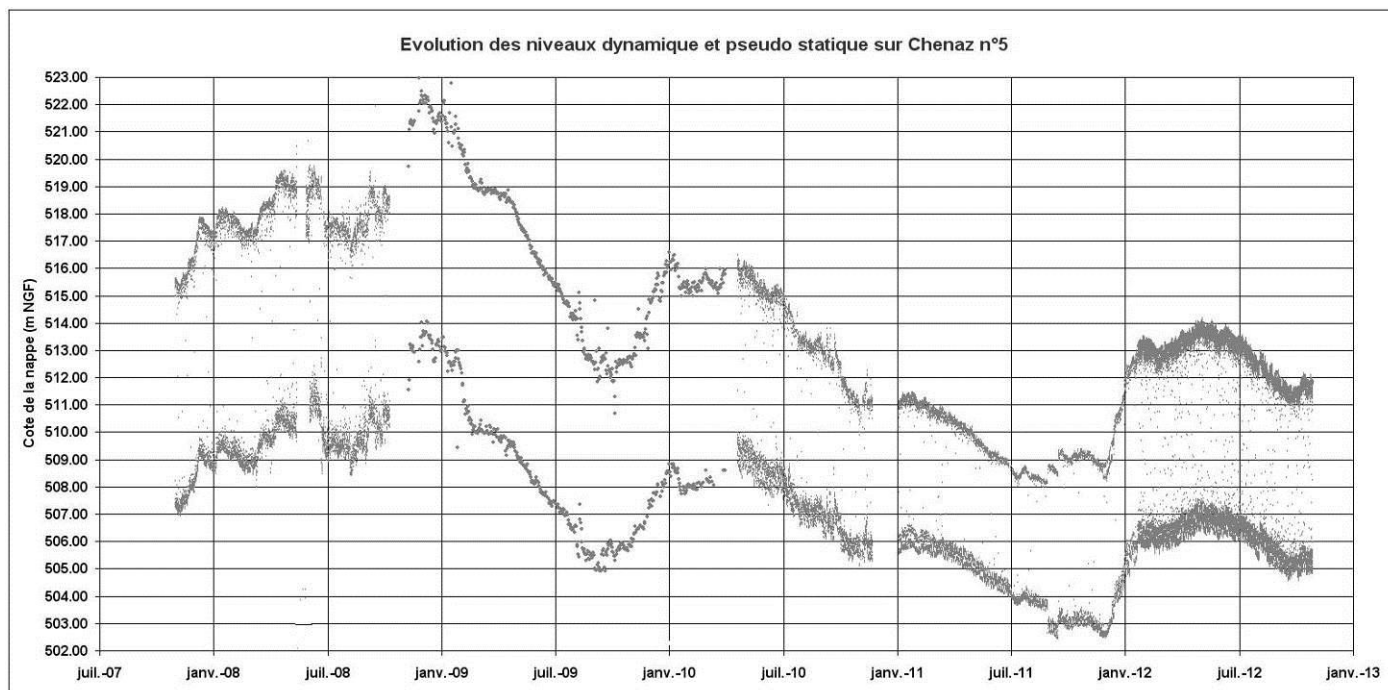
Graphique 36 : Suivi des niveaux piézométriques sur le piézomètre GéoForage et le forage de Chenaz n°5

Le graphique 37 ci-dessous montre l'évolution du niveau de la nappe au F5 pendant la journée du 26 juin 2012 lorsqu'ont été réalisés les jaugeages.



Graphique 37 : Suivi des niveaux piézométriques sur le forage de Chenaz n°5

Compte tenu du contexte hydroclimatique en juin 2012, le niveau de la nappe est significativement plus bas qu'en juillet 2008 (cf. graphique 38 ci-dessous) mais la dynamique reste la même. Le volume pompé du 27/6 à 06h au 28/6 à 06h est de 4 293 m³ pendant les 12 heures de fonctionnement des pompes, soit un débit moyen journalier de 49,7 l/s.



Graphique 38 : Evolution des niveaux dynamiques et pseudostatiques sur le forage de Chenaz n°5

Dans ce contexte relativement défavorable avec un niveau pseudo-statique proche de 513 m NGF, l'impact sur le By est de l'ordre de 14 l/s proche des résultats du modèle hydrogéologique (11 l/s en régime permanent avec des conditions d'alimentations moyennes).

A l'échelle des flux circulant sur le bassin du Journans, cet impact est faible (entre 1,5% pour le QMNA5 et 0,5% sur le module. Malgré tout, localement et temporairement, l'incidence sur l'écologie du By peut être importante et la CCPG devra prendre toute mesure pour la limiter.

3.3.2 La zone de captage du Puits du Marais (puits de Crozet)

On se reportera aux chapitres 6.1.6 et 8.4.2 de la phase 1 pour les données concernant les prélèvements et le fonctionnement de cette zone de captage

La zone de captage du Puits du Marais contribue pour moins de 5% à l'alimentation en eau potable de la CCPG. Le débit moyen prélevé est de l'ordre de 8 ± 1 l/s. La station de référence la plus proche de cette zone de captage est ALN2 avec un module proche de 600 l/s, débit probablement plus élevé au droit de la zone de captage située 1 km à l'aval. Les conditions hydrogéologiques montrent qu'une relation est effectivement possible entre la nappe captée et l'Allondon comme on peut le voir sur le profil électrique ci-dessous même si la rivière est relativement éloignée du puits et que l'épaisseur des alluvions diminue significativement lorsqu'on se rapproche du cours d'eau.

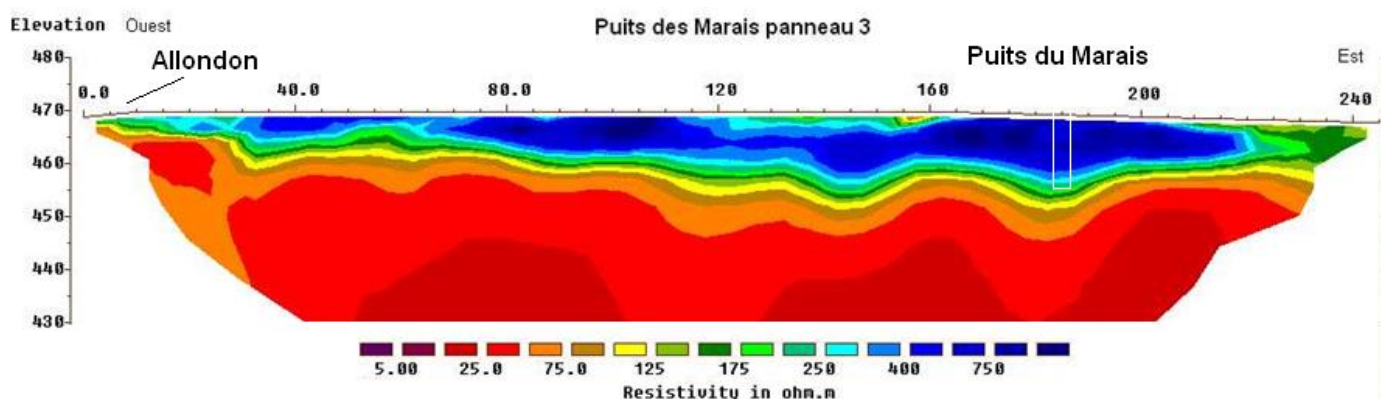


Figure 23 : Coupe du panneau électrique passant par le puits du Marais

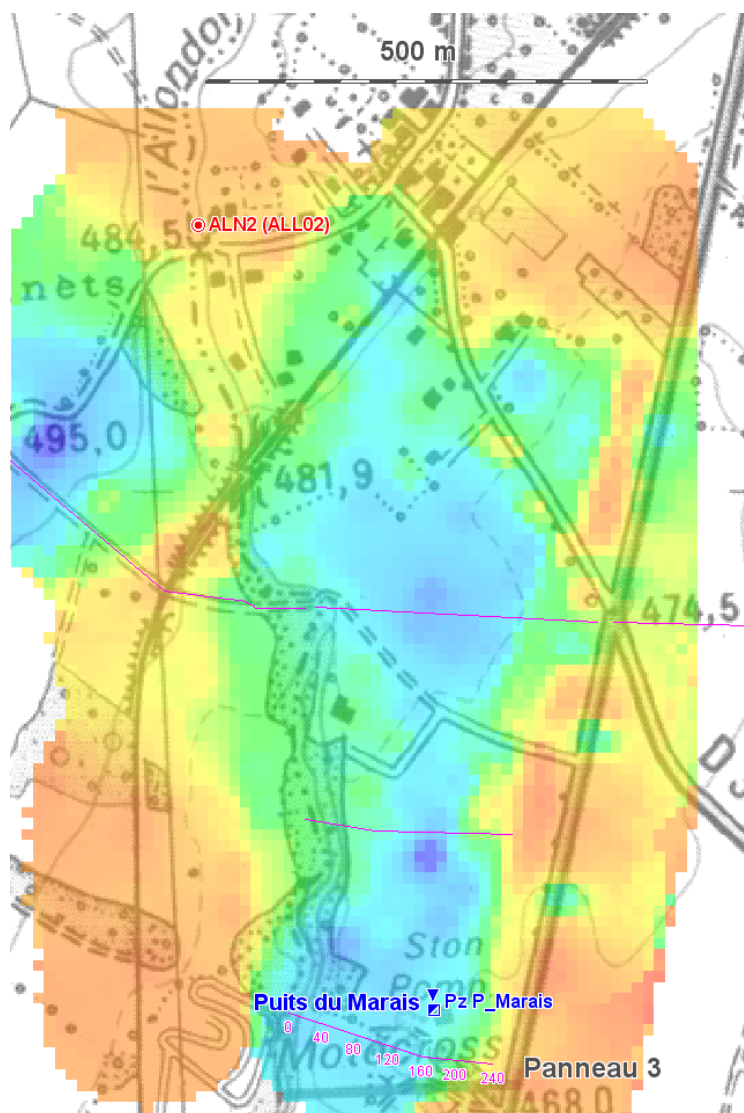
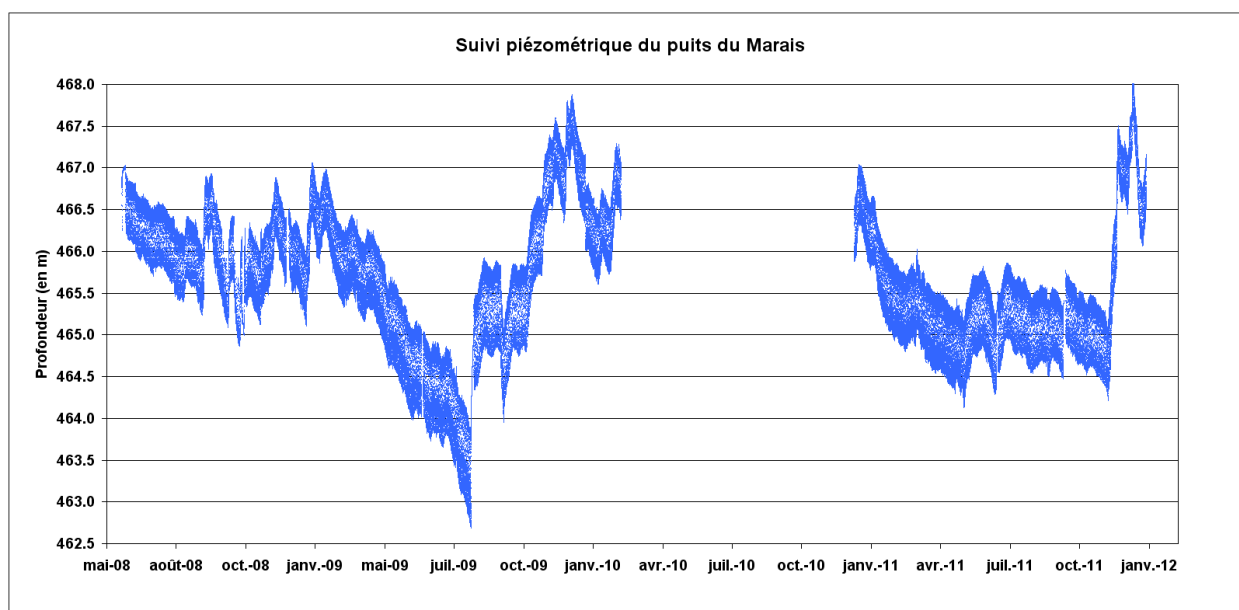


Figure 24 : Carte de représentation des formations de surface avec, en superposition, l'emplacement des panneaux électriques dont le panneau 3 de la figure 23

La figure 24 montre l'emplacement des panneaux électriques ainsi que la nature des terrains de surface à dominante argileuse pour les teintes rouges à jaunes et à dominante graveleuse pour les teintes bleues. On voit clairement que le lit mineur de l'Allondon se développe à la limite des formations graveleuses surtout à l'aval de la voie ferrée.

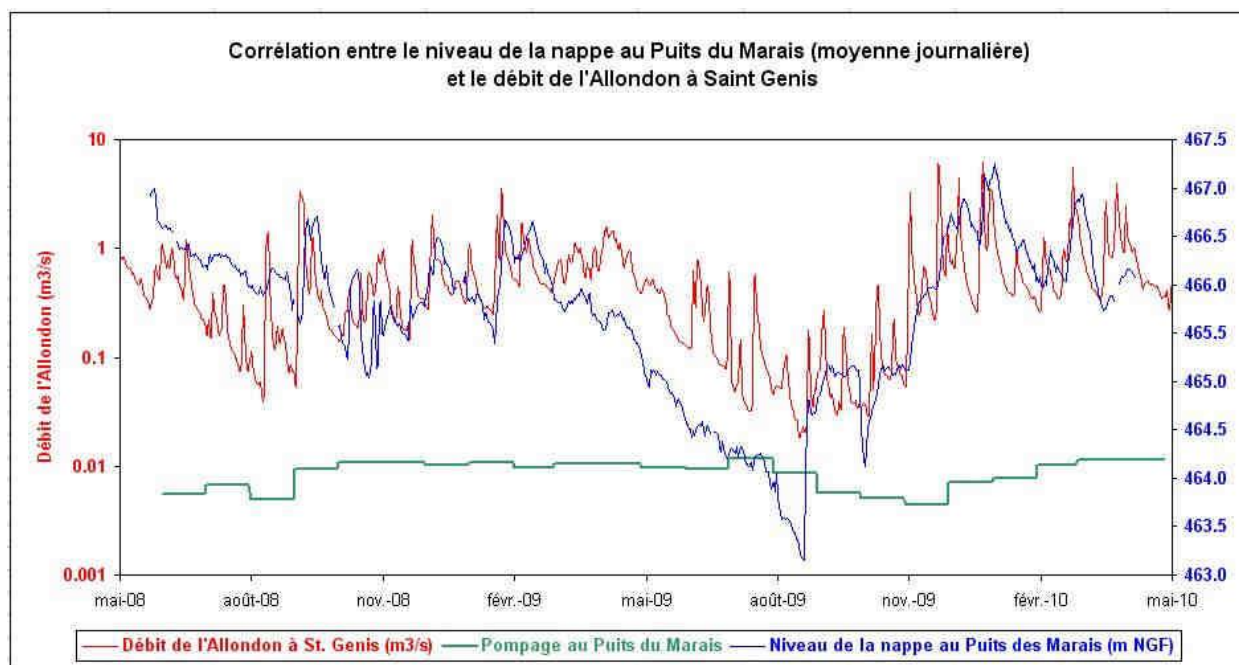
En examinant l'évolution du niveau de la nappe au droit de la zone de captage, on peut voir qu'en exploitation normale, l'amplitude de variation entre les niveaux pseudo-statiques et dynamiques est de l'ordre de 1 m et que, suivant le contexte hydroclimatique, le niveau moyen évolue entre 468 et 465 m NGF.



Graphique 39 : Graphe de l'évolution du niveau de la nappe sur le puits du Marais

L'épisode de juillet 2009 est lié à une surexploitation temporaire pour palier un accident sur le réseau. Il permet néanmoins d'évaluer le risque potentiel d'une incidence entre le prélèvement dans le puits et le débit de l'Allondon.

Bien qu'il soit difficile de faire la relation entre le débit de l'Allondon à station ALE2 (ALL03) à St. Genis, 3,3 km à l'aval du puits (voir figure 24) et le niveau de la nappe au puits du Marais, le graphique 40 ci-dessous montre l'évolution comparée du niveau moyen journalier de la nappe dans le puits et du débit de l'Allondon (en m³/s avec une échelle log) :



Graphique 40 : Evolution comparée du niveau de la nappe au puits du Marais et du débit de l'Allondon

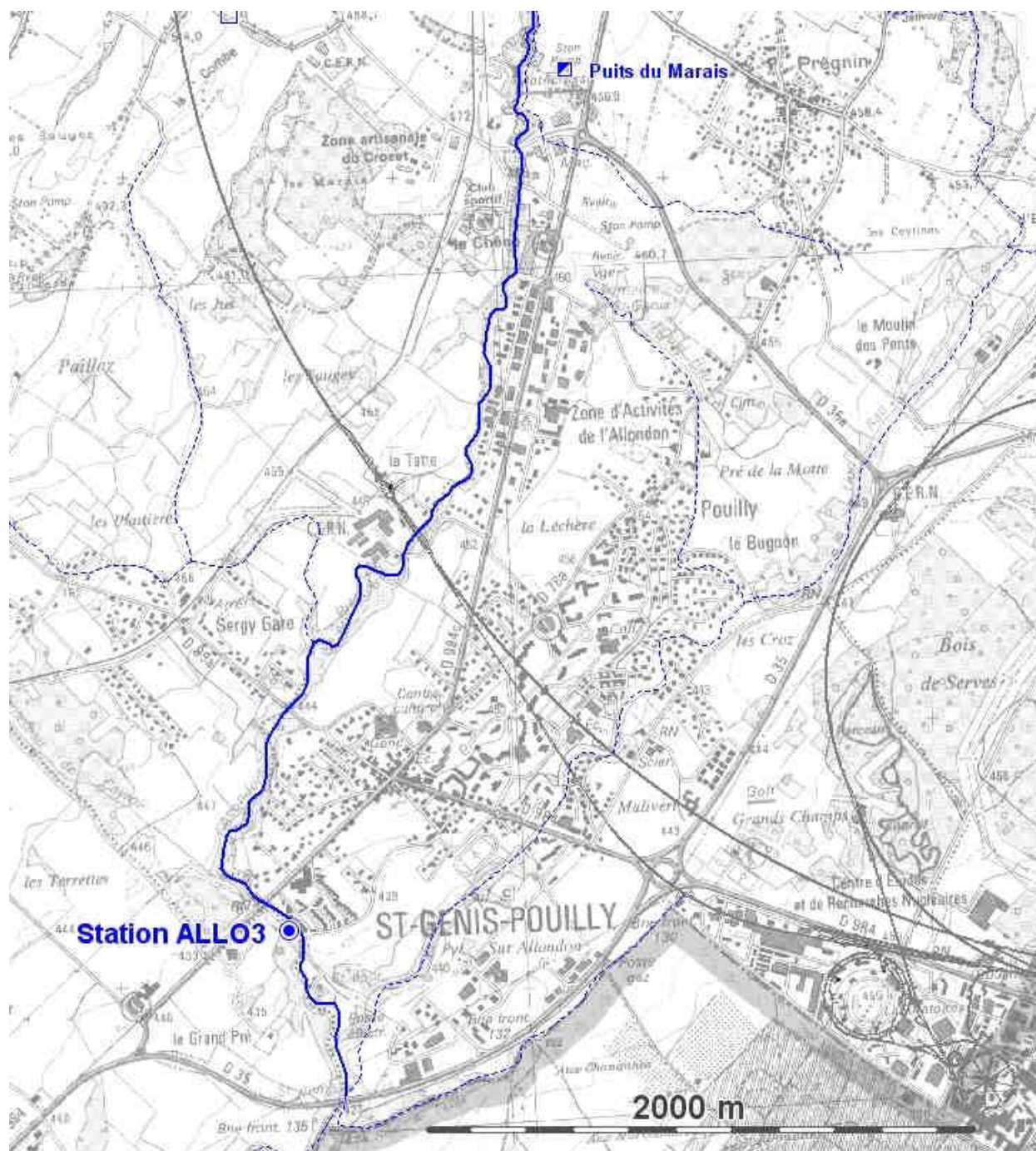
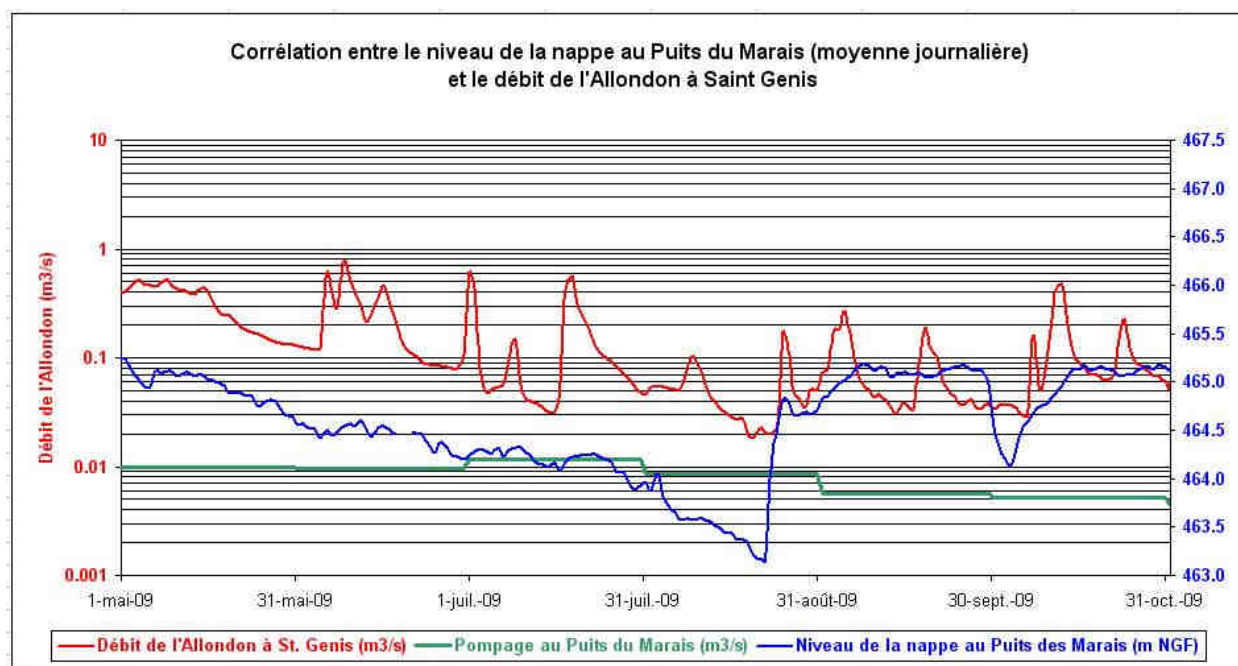


Figure 25 : Localisation de la station ALLO3 (ALE2)

Il y a une corrélation évidente mais c'est plus le débit de la rivière, et donc le contexte hydrologique général, qui conditionne le niveau de la nappe, que le niveau de la nappe (pour partie influencé par les prélèvements) qui conditionnerait le débit de la rivière d'autant plus que les mesures piézométriques montrent que l'influence du cône de rabattement est de l'ordre de 200 mètres (cf chapitre 1.1.2.3 page 25). Il est en effet difficile d'imaginer que le passage du débit pompé de 12 l/s en juillet 2009 à 6 l/s en septembre 2009 aura fait passer le débit de l'Allondon de 18 à 36 l/s.



Graphique 41 : Zoom sur l'été 2009

Si on fait un zoom sur la période « critique » d'août 2009, on ne dispose pas des débits journaliers au puits mais on voit que la nappe continue de baisser alors que le débit moyen de pompage a diminué et aussi que l'augmentation temporaire du pompage entre le 29/09 et le 4/10/2009, qui s'est traduit par une baisse de 1,2 m du niveau de la nappe, n'a pas eu d'incidence sur le débit de l'Allondon qui est resté à 35 ± 2 l/s ...

Il n'est donc pas possible de confirmer que les pompages sur le Puits du Marais ont une incidence sur le débit de l'Allondon à l'aval de la station de pompage. Néanmoins, pour lever toute ambiguïté, on peut envisager la mise en place de deux stations temporaires sur l'Allondon à l'amont et à l'aval de la zone de captage avec un contrôle continu pendant une période d'étiage prolongée compte tenu du QMNA5 proche de 30 l/s à la station ALN2 (ALL02).

Le point de contrôle proposé est le puits du Marais (déjà instrumenté).

3.4 Mise en place de stations de mesures de débits fixes

Les analyses précédentes montrent que le secteur d'étude présente deux zones critiques pour les échanges nappe rivière.

Dans ces secteurs, afin d'améliorer la connaissance de ces relations et de l'évolution de la ressource tant souterraine que superficielle, des dispositifs de suivi pourraient être mis en place à l'avenir.

Ainsi, dans le secteur du champ captant du Chenaz, la CCPG prévoit la mise en place de sections de contrôle avec piézomètres et seuils de jaugeage sur le By et le Journans à l'amont et à l'aval de la zone de captage. Ce type d'aménagement peut également être envisagé sur l'Allondon au droit du Puits du Marais.

Les emplacements et dimensionnement de ces dispositifs sont à définir avec la CCPG, notamment en fonction des possibilités foncières et de compléments nécessaires en particulier en termes de levés topographiques. Les secteurs potentiels de mise en place de ces dispositifs de suivi sont localisés sur la carte ci-dessous (cercles rouge).

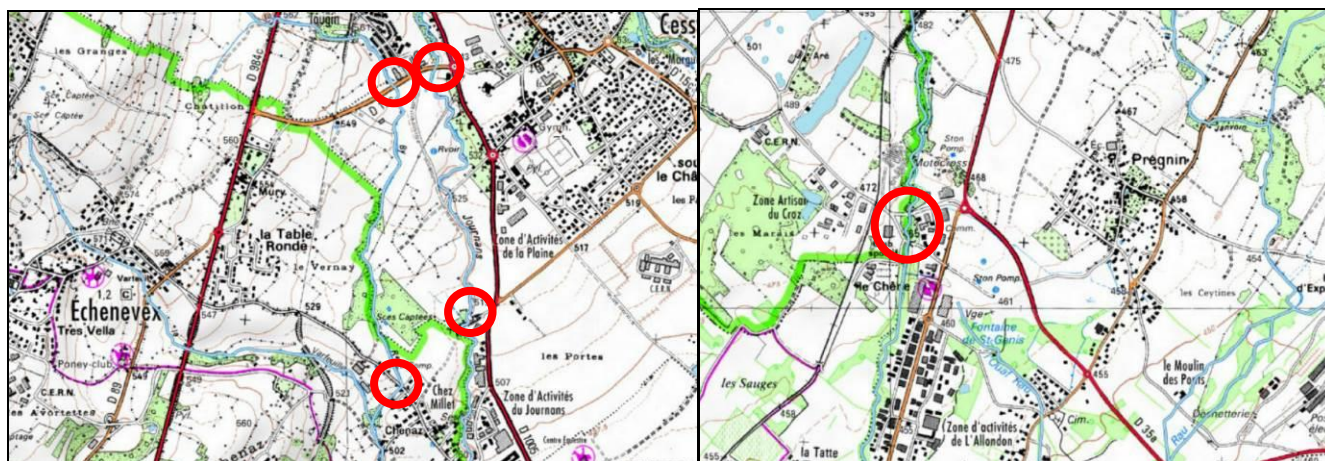


Figure 26 : Localisation des secteurs potentiels de mise en place de stations de mesures de débits fixes sur le By et le Journans (Gauche) et l'Allondon (Droite)

Les éléments qui suivent précisent les modalités de réalisation envisageables pour les seuils de jaugeage sur le By, le Journans et l'Allondon.

3.4.1 Choix des sites d'implantation

Le site d'implantation des stations de mesure doit répondre aux exigences suivantes :

- Offrir une section de contrôle avec une relation biunivoque hauteurs / débits, fixe dans le temps, c'est-à-dire :
 - Pas de modification à prévoir de la condition aval pendant la durée d'exploitation de la station
 - Risques d'embâcles limités
 - Fond du cours d'eau fixe en altitude sur la section et le tronçon aval

L'idéal est un resserrement de la section (tronçon canalisé, pont sans pile centrale) avec un fond bétonné ou enroché : les ponts répondent généralement à ces critères.

- Ne pas être contournées, même partiellement, lors des plus forts débits
- Offrir une variation suffisante de la hauteur d'eau en fonction du débit pour les faibles débits : une section plate pourra conduire à des variations de débit du simple au double pour des variations de hauteur d'eau inférieures à 1 cm. Au besoin un radier trapézoïdal peut être aménagé
- Disposer éventuellement d'une alimentation électrique à proximité ou à défaut d'un ensoleillement suffisant
- Être situées à un emplacement suffisamment accessible pour faciliter le travail des techniciens venus la jauger ou récupérer les données enregistrées
- Ne pas gêner la circulation au moment des manipulations ni mettre en danger la sécurité des techniciens
- Être suffisamment protégées pour limiter les risques de vandalisme.

3.4.2 Choix du positionnement de l'enregistreur

L'enregistreur est relié par câble à la sonde. Il permet d'enregistrer les données, éventuellement de les télétransmettre (alerte crue).

L'enregistreur sera positionné soit sous le tablier (plus discret), soit sur la façade aval du pont (plus accessible).

3.4.3 Matériel

3.4.3.1 Choix du type de sonde

5 types de sondes sont envisageables : Elles sont répertoriées ci-dessous avec leurs avantages ou inconvénients principaux.

- Mesure de la hauteur d'eau
 - par sonde piézométrique – ☺ : coût, faible encombrement, simplicité. ☹ durée de vie limitée (~ 5 ans), sensibilité au gel (pas de problème si sonde immergée en hiver), altération de la mesure avec le temps (dérive)
 - par flotteur – ☺ : fiabilité, en particulier pour les faibles hauteurs d'eau. ☹ : encombrement, risque de blocage du flotteur en décrue par les dépôts de fines particules.
 - par bulle à bulle – ☺ : fiabilité, précision. ☹ nécessité d'un apport d'énergie ou d'une batterie dans un coffret extérieur, prix élevé
- Mesure du tirant d'air : la sonde est fixée au tablier du pont
 - Mesure par ultrasons - ☹ : peu discret, sensible à la température et à l'humidité, prix élevé
 - Mesure par Radar – ☹ : peu discret, prix élevé.

Tableau 21 : avantages / inconvénients des différents systèmes / d'après IRD - Unité OBHI (Observatoires Hydrologiques et Ingénierie)

	Précision	Dérive	Robustesse	Alimentation électrique	Installation	Coût capteur
Codeur à flotteur	qqes mm	non	Sensible à l'envasement	Piles	Tube PVC Ø100	~600 €
Capteur de pression hydrostatique	qqes mm	oui	Sensible à la mise à l'air libre	Piles	Tube PVC Ø25 à 50	~400 €
Bulle à bulle	qqes mm	oui	Sensible à l'envasement	12/24VDC : Batterie ou connexion EDF	Tube PVC Ø50	~1400 €
Capteur à ultra-sons	qqes mm	non		Batterie ou connexion EDF	Fixation au tablier	> 10 000 €
Radar	qqes mm	non		Batterie ou connexion EDF	Fixation au tablier	1500 €



Figure 27 : quelques types de sondes. De gauche à droite : Capteur de pression, flotteur, bulle à bulle, radar. D'après site internet de la société OTT.

Au vu de cet inventaire, la sonde piézométrique nous semble le dispositif le mieux adapté, du fait de sa facilité d'utilisation, de son faible encombrement de sa discrétion et de son coût. Le principal inconvénient de ce dispositif, la dérive du capteur (due à l'altération de la membrane avec le temps), peut être corrigé par des mesures régulières à l'échelle. Les logiciels de traitement intègrent cette correction. Le remplacement du capteur en fin de vie ne pose pas de problème particulier.

En deuxième position, pour un prix légèrement plus élevé, le codeur à flotteur offre un gain en fiabilité. Cependant il peut être sensible à l'envasement. En effet, le flotteur doit être positionné dans une colonne qui peut se remplir de fines particules en crue. Lors de la décrue le flotteur se pose sur la vase au lieu de continuer à descendre avec le niveau d'eau, alors qu'un capteur de pression, même recouvert de fines, continue à fonctionner.

3.4.3.2 Options

Mesure de la température

La température est un paramètre primordial pour l'étude des cours d'eau. L'ajout d'un capteur de température ne pose pas de problème d'encombrement (le capteur est posé à côté de la sonde de pression).

Le surcoût est de 150 à 200€ pour la sonde, 300€ pour passer d'un enregistreur une voie à un enregistreur deux voies.

Télétransmission

La télétransmission se fait au moyen d'un modem intégré au boîtier enregistreur. Elle peut être monodirectionnelle (l'enregistreur envoie des informations mais ne peut en recevoir : envoi régulier et/ou envoi d'alertes pour des seuils de hauteur d'eau déterminés) ou bidirectionnelle (l'enregistreur peut être consulté à distance au moyen d'une connexion internet : avantage du suivi en temps réel).

Gestion à distance

Cette option permet d'avoir une solution « clé en mains » où les données sont recueillies chez le fabricant, qui les gère et les traite.

Les avantages de ce système sont :

- simplifier la collecte de données et éviter les déplacements (y compris leur coût)
- fiabiliser et sécuriser cette récupération des données : la récupération en temps réel des données évite tout ou tous les aléas d'un enregistrement local avec une récupération plusieurs semaines après dans un enregistreur local
- disposer d'alarmes
 - o sur seuil et des données en temps réel, y compris les débits calculés (alerte de crue)
 - o en cas de non fonctionnement ou de dérive du capteur : pas de données perdues

3.4.4 Travaux à réaliser sur les stations

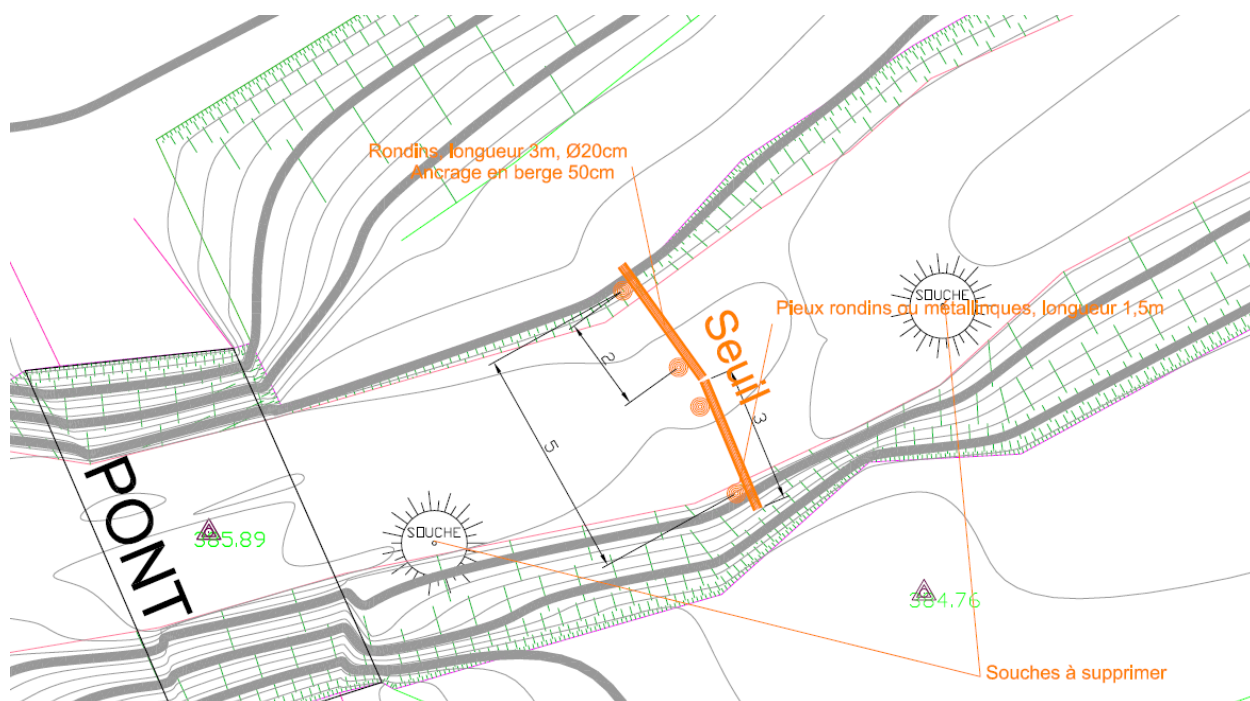
Comme indiqué précédemment, il est nécessaire de maintenir fixe dans le temps la relation hauteur / débit, et donc principalement le profil en long à l'aval du pont.

En l'absence de seuils existants, nous proposons un moyen rustique de maintenir cette cote, en disposant un seuil en rondins de bois (mélèze ou châtaignier), pieux en rondins ou métalliques.

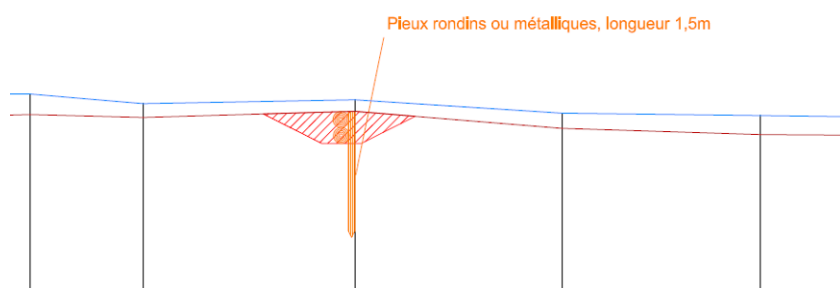
Le coût de cet ouvrage, réalisable par une équipe sans intervention d'engins dans le cours d'eau, est estimé à 2000€.

Par ailleurs, comme indiqué sur les schémas de principes ci-dessous, si les cours d'eau présentent à proximité du seuil de jaugeage des souches volumineuses dans le lit mineur, obstruant partiellement ce dernier, celles-ci seront supprimées.

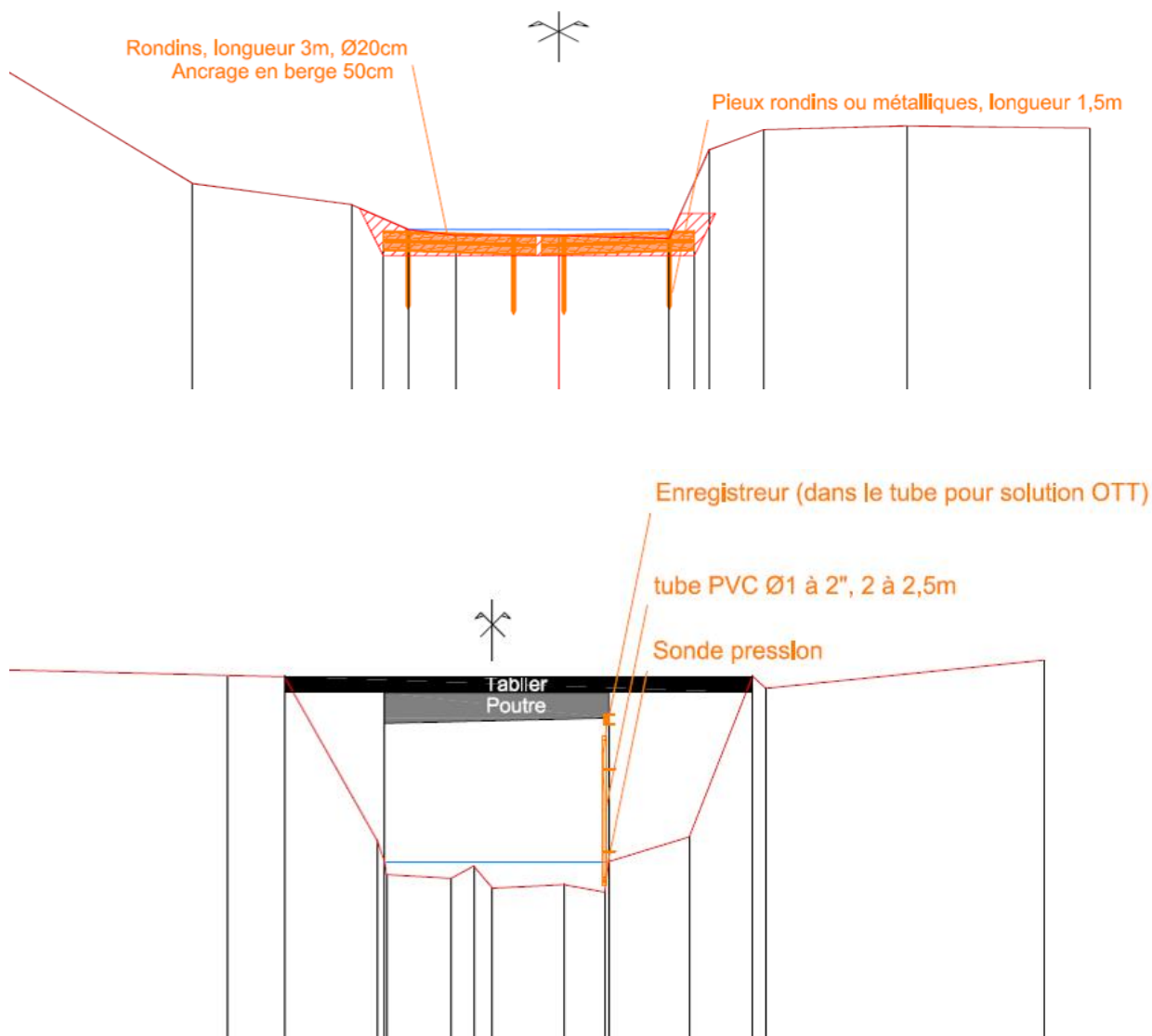
Vue en plan type



Profil en long



Profils en travers (seuil en rondins et sonde piézométrique)



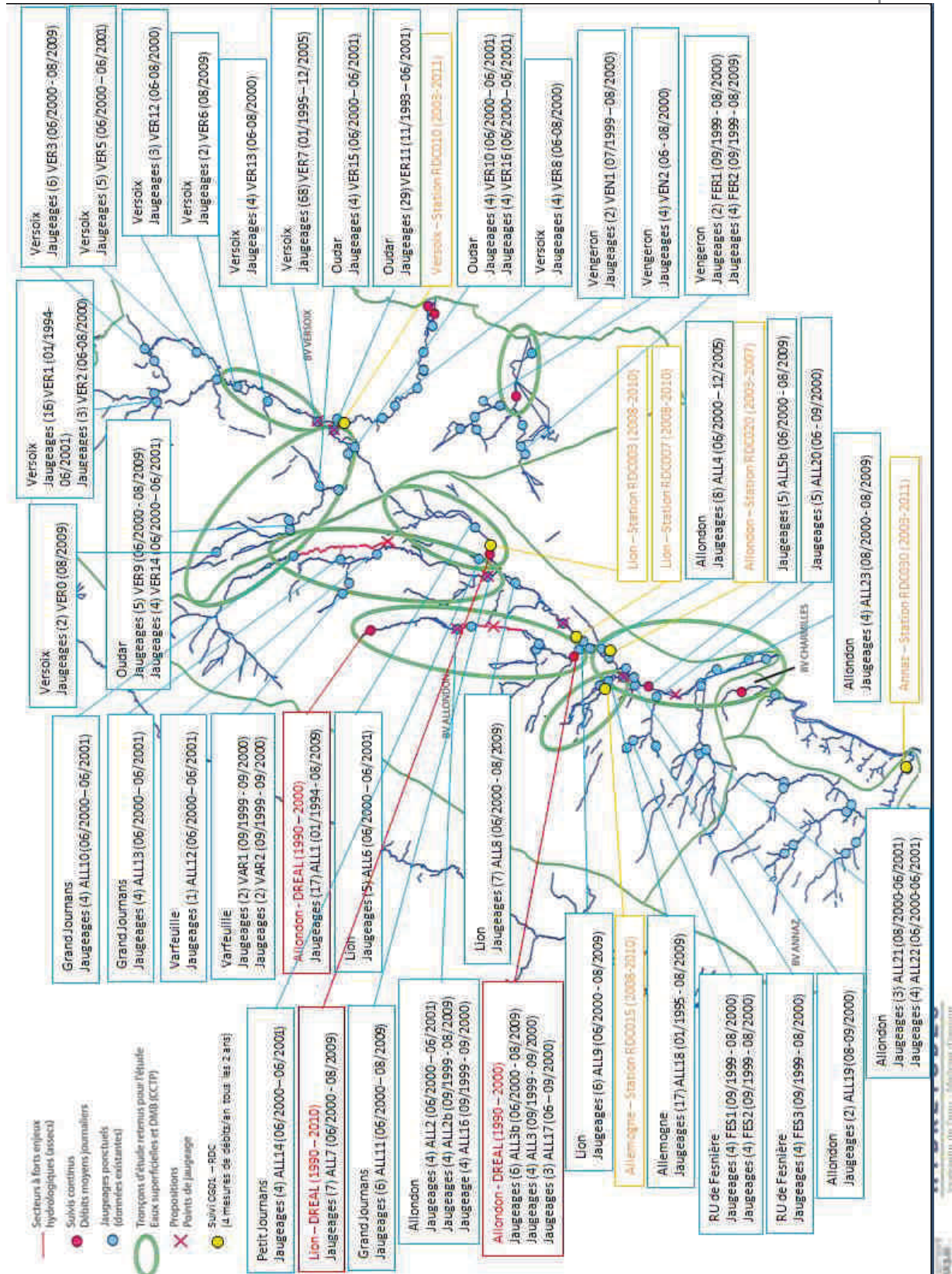
3.4.1 Coût des stations de mesures fixes

Sur la base des coûts indiqués précédemment, et d'un aménagement de stations s'appuyant sur les hypothèses suivantes, le coût de la mise en place d'une station de mesures de débits sera de l'ordre de 5 000 €HT, soit un investissement total de 25 000 €HT pour l'ensemble des 5 stations envisagées :

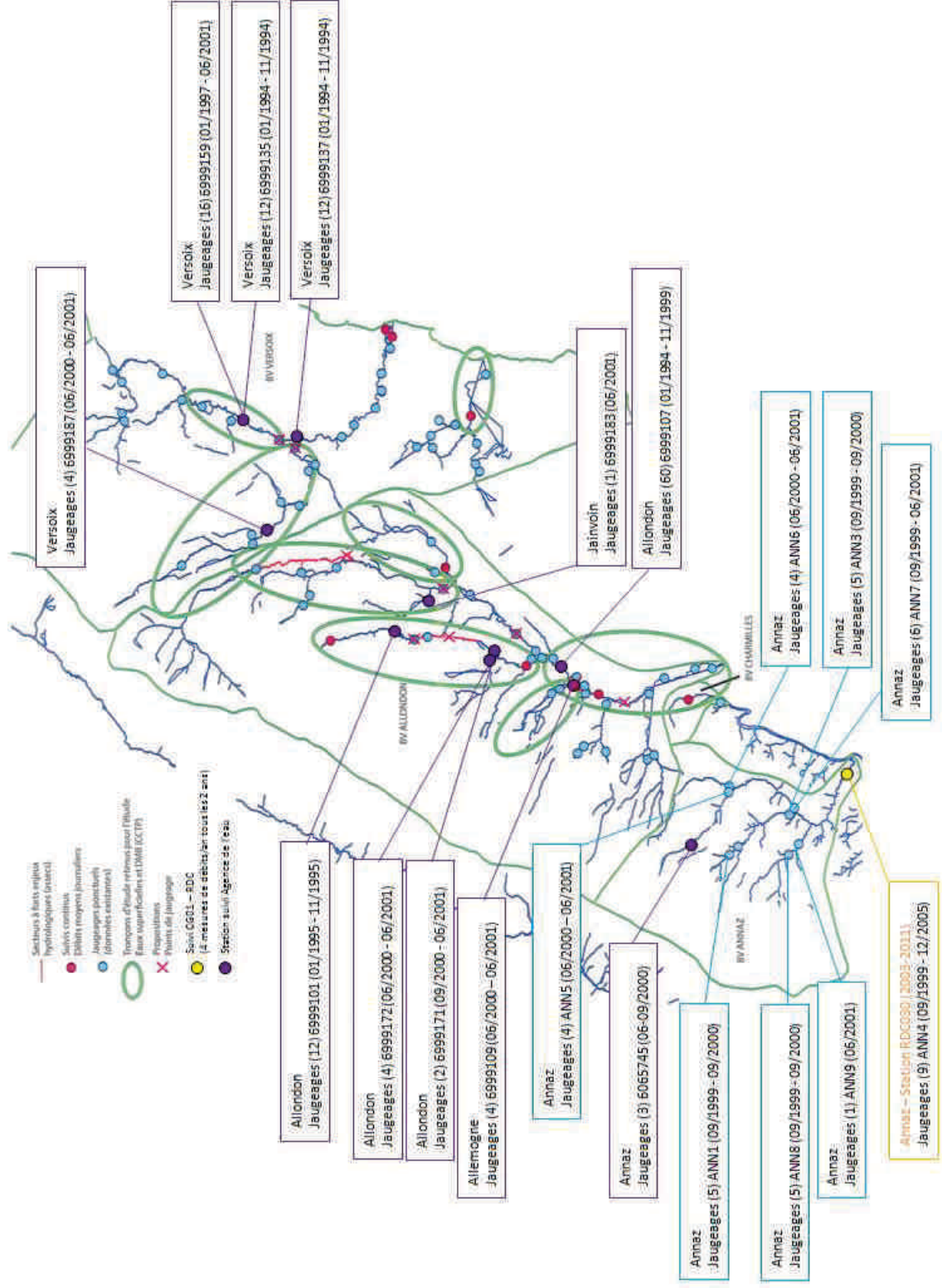
- Système d'enregistrement : Capteur de pression hydrostatique
- Télétransmission par modem GSM monodirectionnel
- Aménagement de la station avec seuil rustique en rondins de bois.

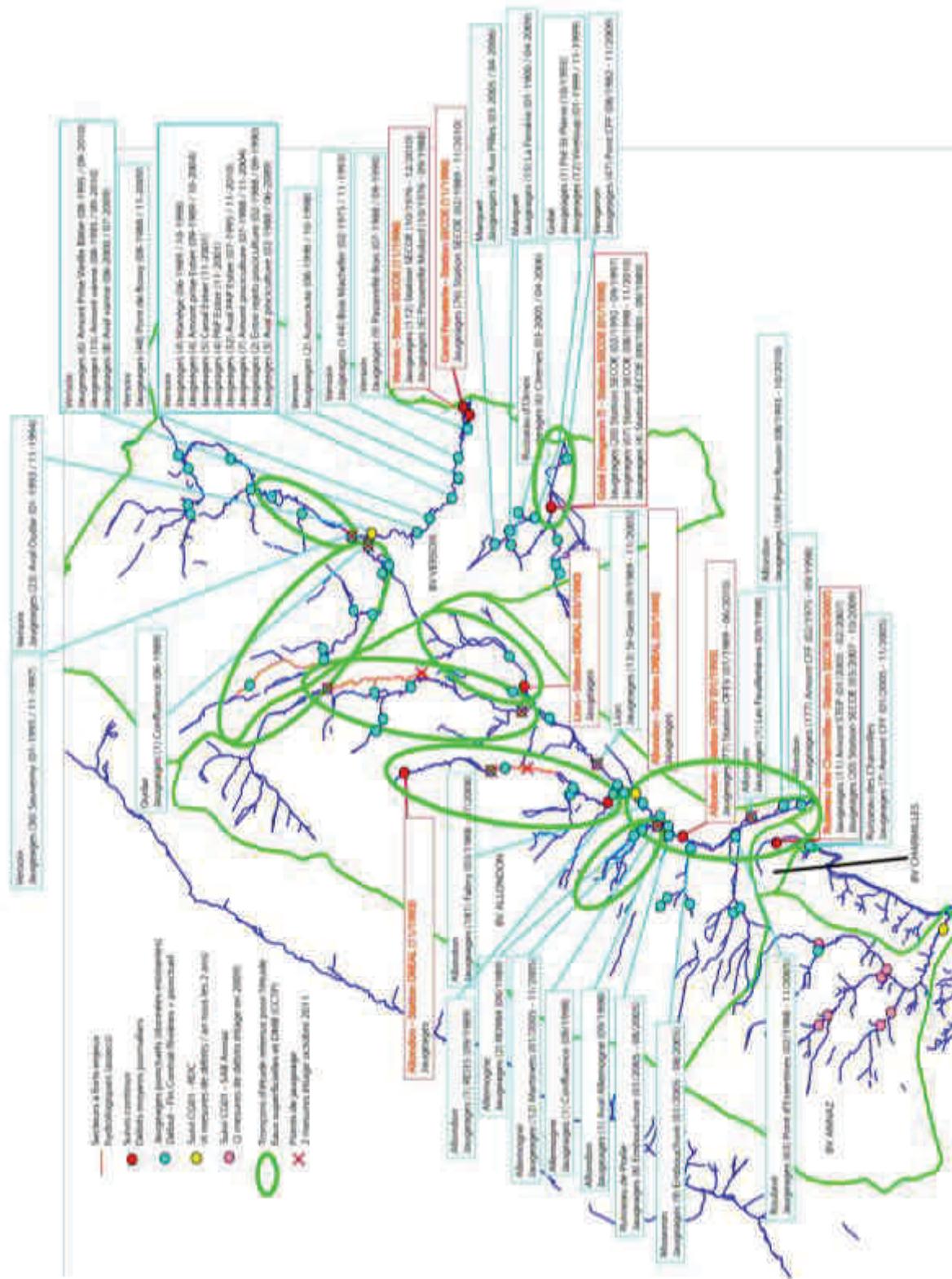
ANNEXES

ANNEXE 1 : LOCALISATION DES STATIONS DE MESURES PONCTUELLES FRANÇAISES ET SUISSES

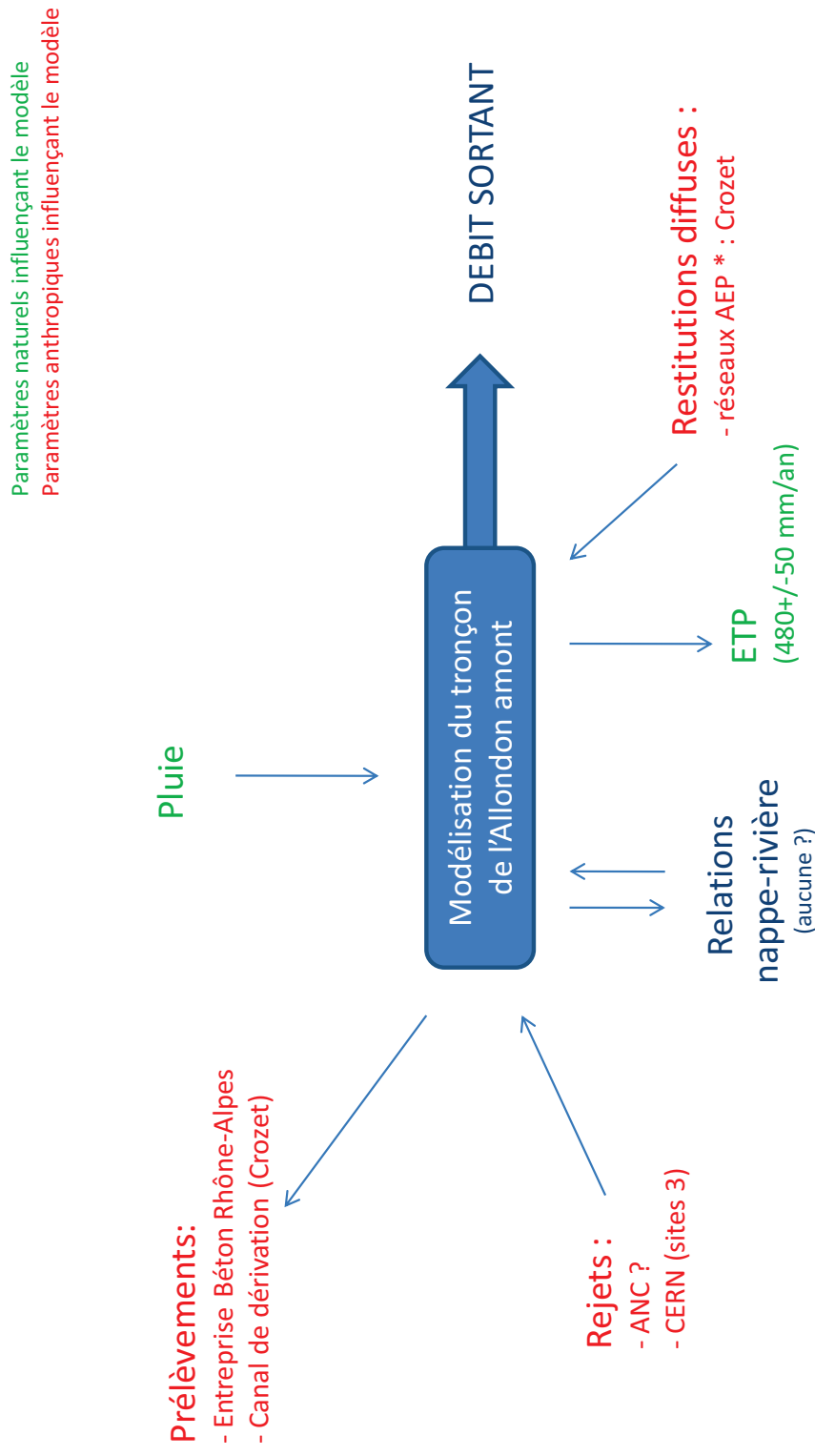


PHASE 3 : IMPACT DES PRELEVEMENTS ET QUANTIFICATION DES RESSOURCES EXISTANTES



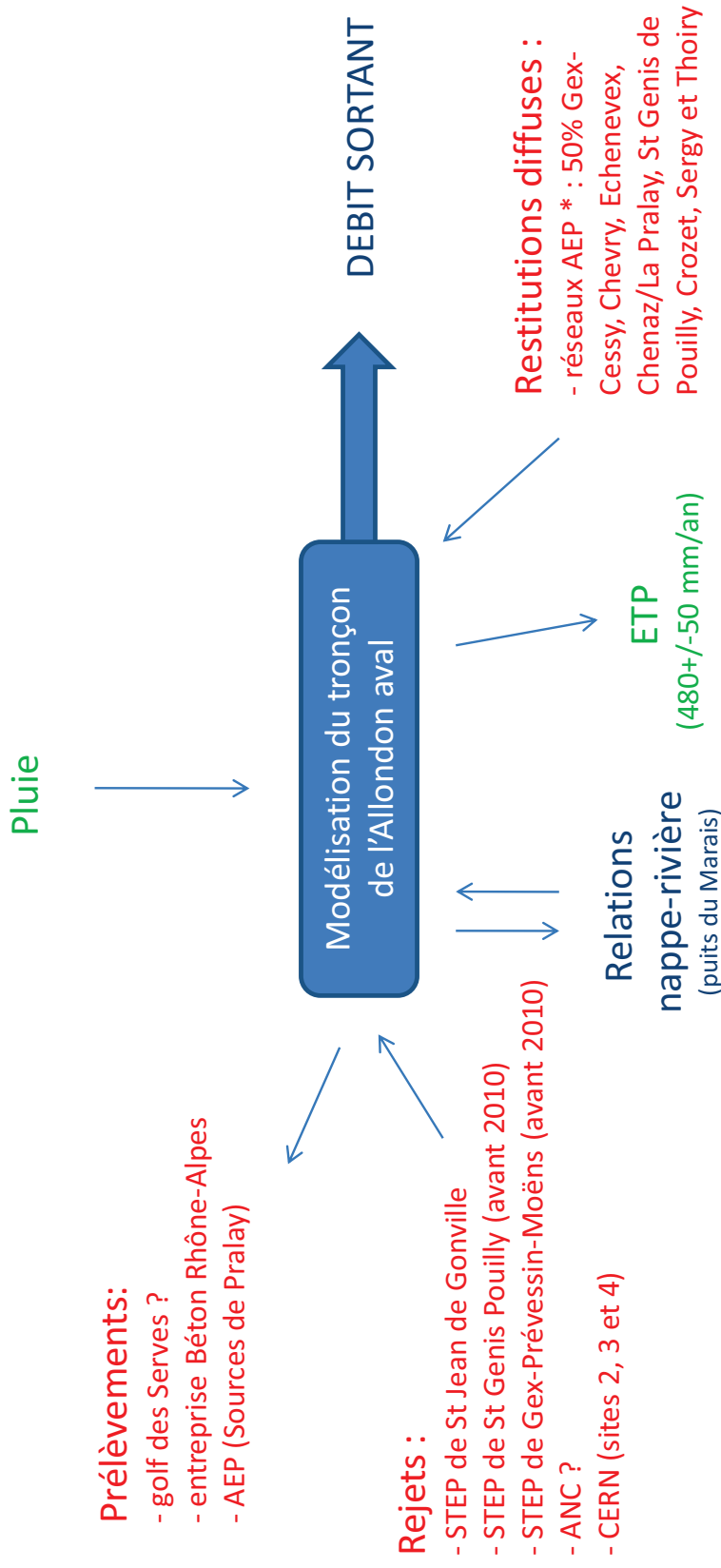


ANNEXE 2 : PRELEVEMENTS ET REJETS ANTHROPIQUES PAR SOUS-BASSINS VERSANTS



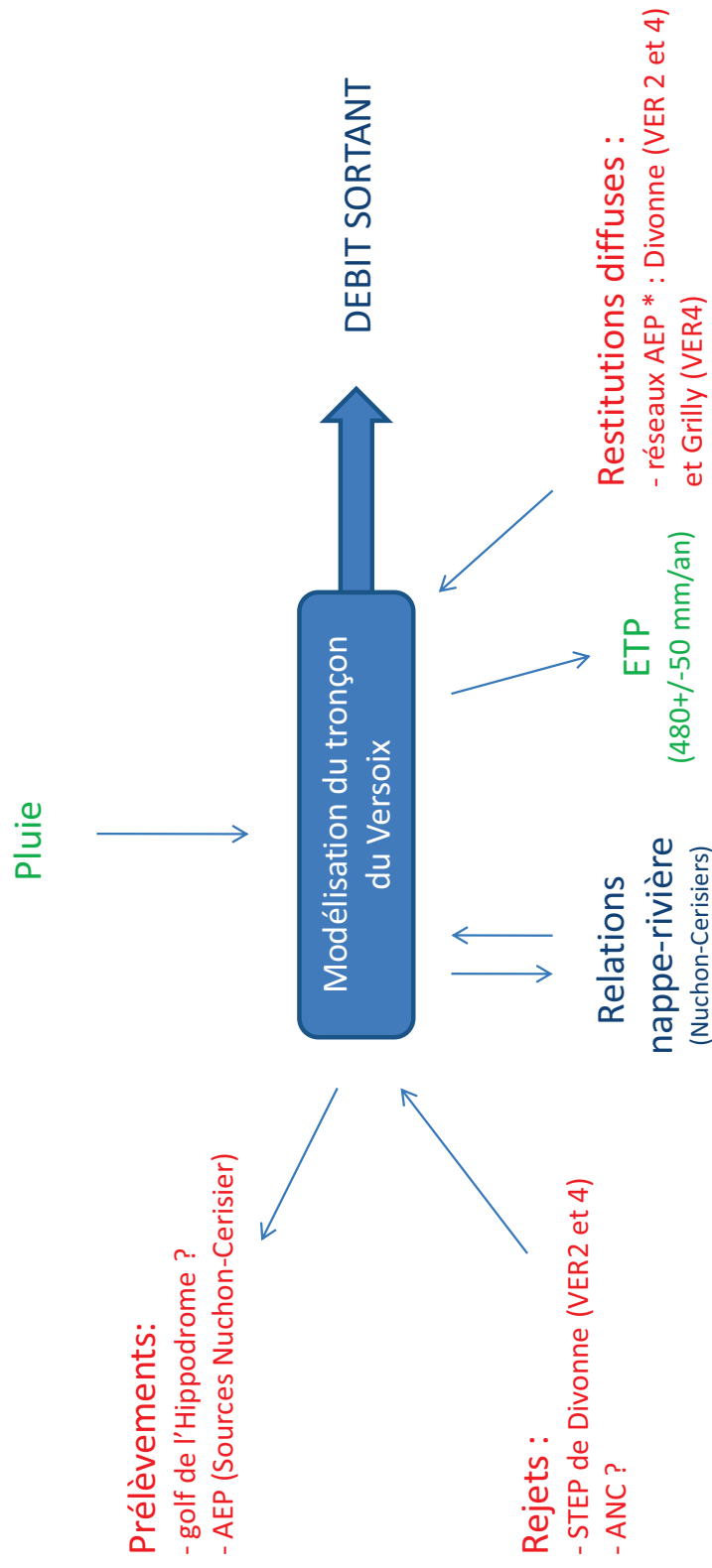
* « Compte tenu de la profondeur des canalisations, l'essentiel des pertes du réseau AEP intéressent la nappe des graviers superficiels (lorsqu'elle existe...). Dans le contexte hydroclimatique local (ETP), on peut considérer que 30 à 40% de cette eau s'évapore et **60 à 70% sont restitués au milieu naturel (ici les rivières alimentées par la nappe superficielle)**. » Issu du Rapport de Phase 2

Paramètres naturels influençant le modèle
Paramètres anthropiques influençant le modèle



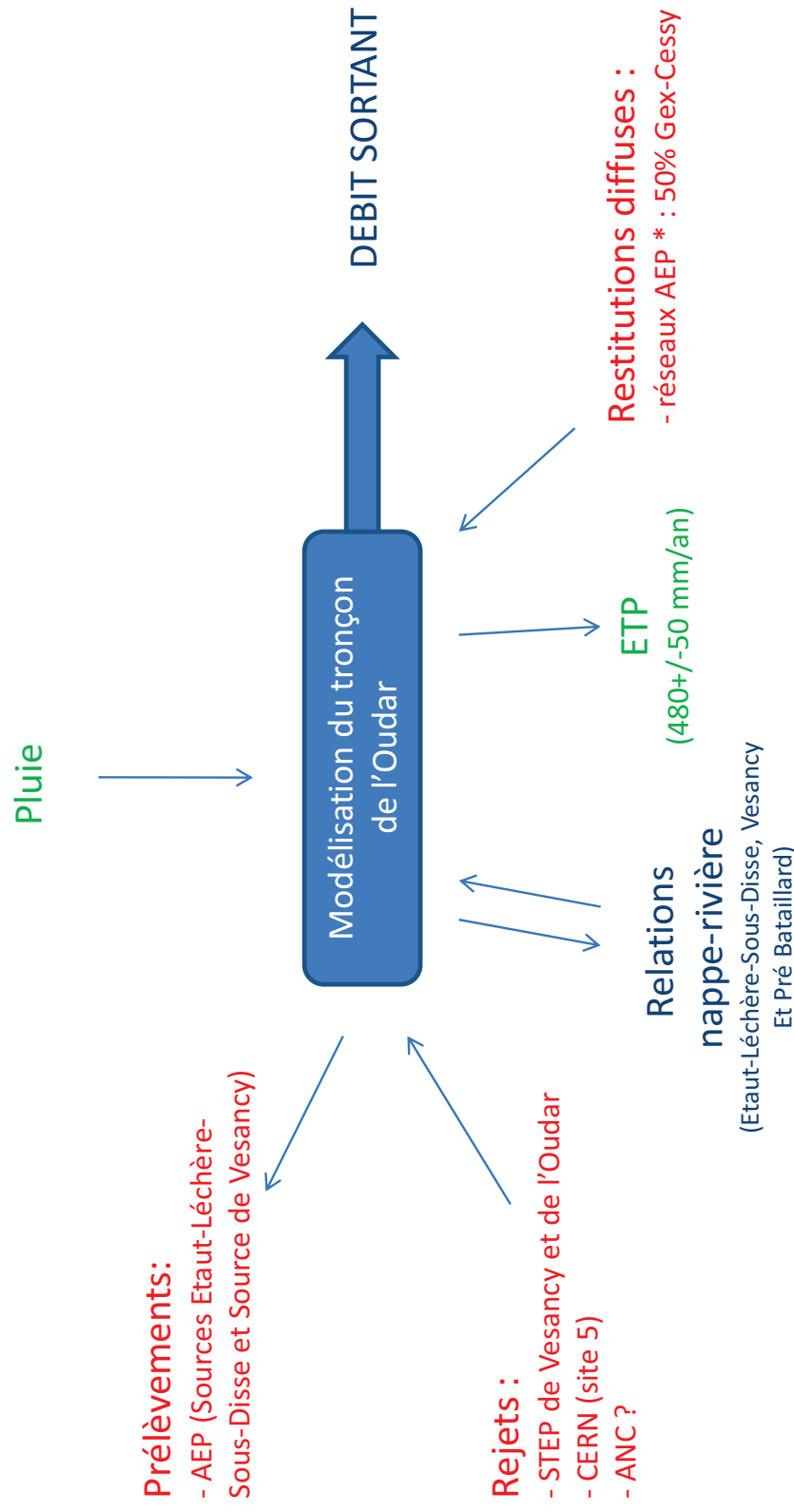
* « Compte tenu de la profondeur des canalisations, l'essentiel des pertes du réseau AEP intéressent la nappe des graviers superficiels (lorsqu'elle existe...). Dans le contexte hydroclimatique local (ETP), on peut considérer que 30 à 40% de cette eau s'évapore et **60 à 70% sont restitués au milieu naturel (ici les rivières alimentées par la nappe superficielle)**. » Issu du Rapport de Phase 2

Paramètres naturels influençant le modèle
Paramètres anthropiques influençant le modèle



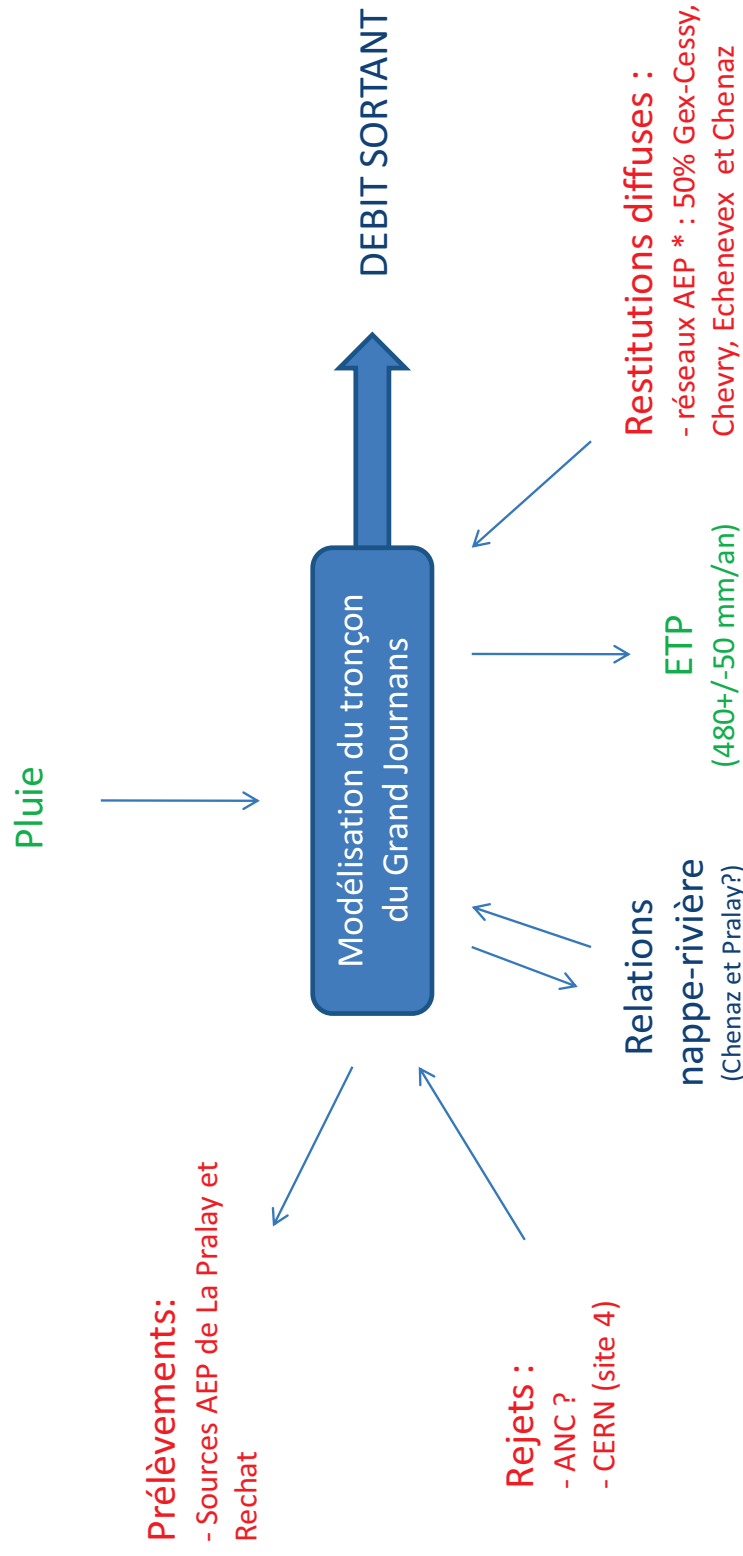
* « Compte tenu de la profondeur des canalisations, l'essentiel des **pertes du réseau AEP** intéressent la nappe des graviers superficiels (lorsqu'elle existe...). Dans le contexte hydroclimatique local (ETP), on peut considérer que 30 à 40% de cette eau s'évapore et **60 à 70% sont restitués au milieu naturel (ici les rivières alimentées par la nappe superficielle)**. » Issu du Rapport de Phase 2

Paramètres naturels influençant le modèle
Paramètres anthropiques influençant le modèle



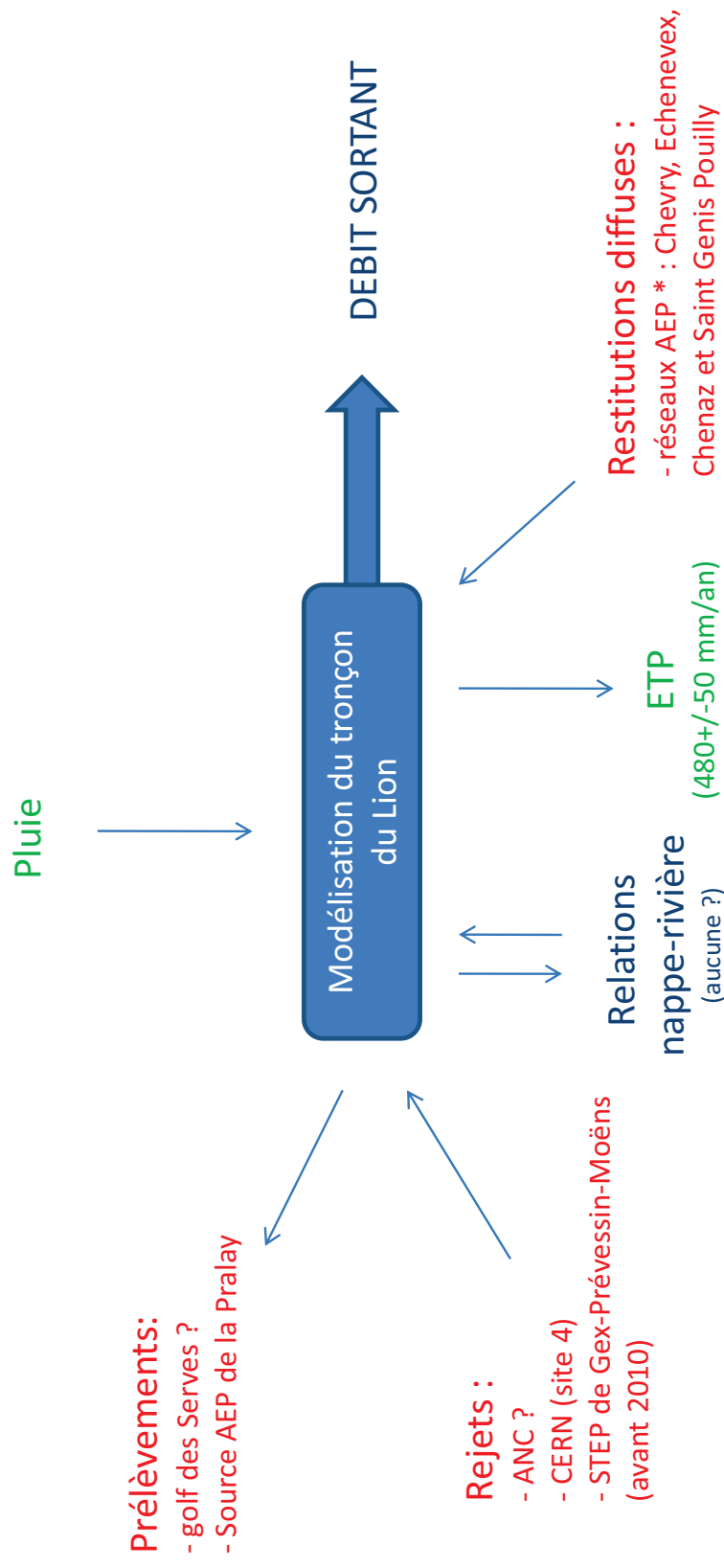
* « Compte tenu de la profondeur des canalisations, l'essentiel des **pertes du réseau AEP** intéressent la nappe des graviers superficiels (lorsqu'elle existe...). Dans le contexte hydroclimatique local (ETP), on peut considérer que 30 à 40% de cette eau s'évapore et **60 à 70% sont restitués au milieu naturel (ici les rivières alimentées par la nappe superficielle)**. » Issu du Rapport de Phase 2

Paramètres naturels influençant le modèle
Paramètres anthropiques influençant le modèle



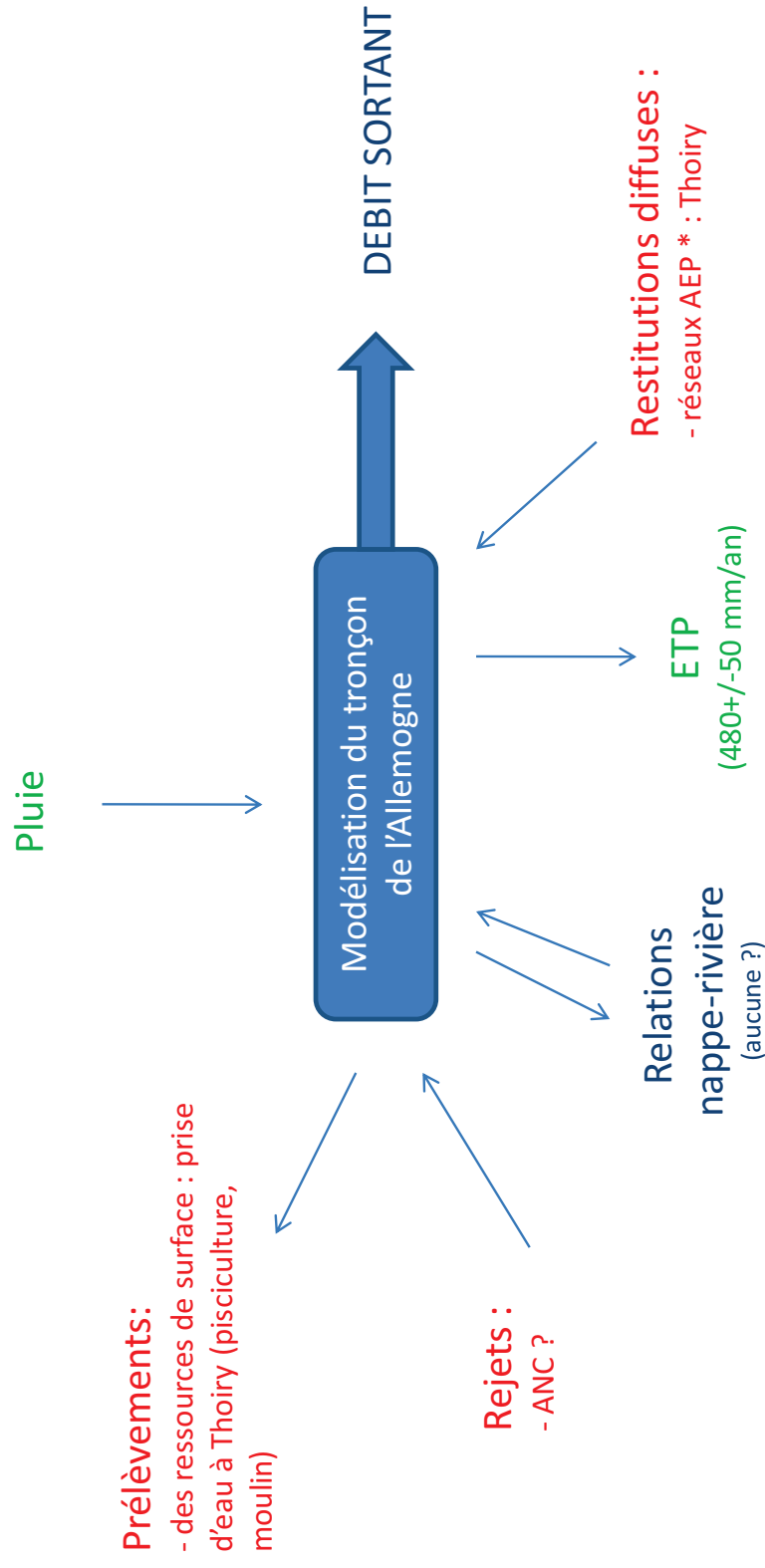
* « Compte tenu de la profondeur des canalisations, l'essentiel des **pertes du réseau AEP** intéressent la nappe des graviers superficiels (lorsqu'elle existe...). Dans le contexte hydroclimatique local (ETP), on peut considérer que 30 à 40% de cette eau s'évapore et **60 à 70% sont restitués au milieu naturel (ici les rivières alimentées par la nappe superficielle)**. » Issu du Rapport de Phase 2

Paramètres naturels influençant le modèle
Paramètres anthropiques influençant le modèle



* « Compte tenu de la profondeur des canalisations, l'essentiel des **pertes du réseau AEP** intéressent la nappe des graviers superficiels (lorsqu'elle existe...). Dans le contexte hydroclimatique local (ETP), on peut considérer que 30 à 40% de cette eau s'évapore et **60 à 70% sont restitués au milieu naturel (ici les rivières alimentées par la nappe superficielle)**. » Issu du Rapport de Phase 2

Paramètres naturels influençant le modèle
Paramètres anthropiques influençant le modèle



* « Compte tenu de la profondeur des canalisations, l'essentiel des **pertes du réseau AEP** intéressent la nappe des graviers superficiels (lorsqu'elle existe...). Dans le contexte hydroclimatique local (ETP), on peut considérer que 30 à 40% de cette eau s'évapore et **60 à 70% sont restitués au milieu naturel (ici les rivières alimentées par la nappe superficielle)**. » Issu du Rapport de Phase 2

OCTOBRE 2012 – ETUDE11-027/01



**ATTEINDRE
L'ÉQUILIBRE QUANTITATIF
EN AMÉLIORANT
LE PARTAGE
DE LA RESSOURCE EN EAU
ET EN ANTICIPANT
L'AVENIR**

ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVABLES GLOBAUX

Les études volumes prélevables visent à améliorer la connaissance des ressources en eau locale dans les territoires en déficit de ressource.

Elles doivent aboutir à la détermination d'un volume prélevable global sur chaque territoire. Ce dernier servira par la suite à un ajustement des autorisations de prélèvement dans les rivières ou nappes concernées, en conformité avec les ressources disponibles et sans perturber le fonctionnement des milieux naturels.

Ces études sont également la première étape pour la définition de plans de gestion de la ressource et des étiages, intégrant des règles de partage de l'eau et des actions de réduction des prélèvements.

Les études volumes prélevables constituent une déclinaison opérationnelle du SDAGE et répondent aux objectifs de l'Orientation fondamentale 7 « Atteindre l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir ».

Elles sont menées par des bureaux d'études sur 70 territoires en déficit du bassin Rhône-Méditerranée.

Maître d'ouvrage :

- Communauté de Commune Du Pays de Gex

Financeurs :

- Agence de l'eau Rhône-Méditerranée & Corse
- Communauté de Commune Du Pays de Gex

Bureaux d'études :

CPGF-HORIZON Centre-Est
& ENVHYDRO
HYDRETUDES
& GAY ENVIRONNEMENT