

ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVABLES GLOBAUX



Bassin versant du Loup

Rapport de phase 3
Impact des prélèvements sur la ressource en eau

Novembre 2013



Sommaire

1	Objectifs	1
2	Caractérisation de l'étiage sur le Loup	2
2.1	Hydrologie générale sur le Loup et comparaison avec d'autres bassins versants voisins	2
2.2	Diagnostic des stations de la DREAL	4
2.3	Mise en place d'un réseau de stations hydrométriques mobiles et campagne de suivi CG06	5
2.3.1	Identification des points de suivi	6
2.3.2	Ajustement des courbes de tarage	12
2.3.3	Analyse des profils en long par tronçons et variabilité des débits à l'étiage entre les stations	12
3	Pressions cumulées des prélèvements aux points stratégiques de référence	23
3.1	Les points stratégiques de référence.....	23
3.2	Cumul de la pression moyenne des prélèvements entre juin et septembre au niveau des quatre points stratégiques de référence	23
4	Analyse des chroniques de débit des stations DREAL/CG06 et reconstitution des débits caractéristiques d'étiage	28
4.1	Données hydrologiques observées disponibles	28
4.2	Corrélation entre les stations et reconstitution des chroniques de débits	29
4.3	Naturalisation des débits influencés et détermination des débits caractéristiques d'étiage : 1/10 module et QMNA5	31
4.3.1	Naturalisation des débits influencés.....	31
	Valeurs des prélèvements retenues	31
4.3.2	Débits caractéristiques d'étiage reconstitués : 1/10 module et QMNA5	32
4.4	Limites et perspectives	34
5	Modélisation des écoulements du Loup	35
5.1	Les données	35
5.1.1	Les données SAFRAN	35
5.1.2	Données hydrologiques observées	35
5.2	Le modèle mensuel (GR _{loieau-pixel}) intégrant les données issues du système SAFRAN.....	36
5.2.1	Le modèle.....	36
5.2.2	Procédure de calage- contrôle du modèle	37
5.3	Les résultats	38
5.3.1	Test de calage du modèle sur les débits mesurés aux stations DREAL.....	38

5.3.1.1	Résultats sur les stations présentant des données de chroniques longues (stations DREAL)	38
5.3.1.2	Résultats sur les stations présentant des données de chroniques courtes discontinues (stations CG)	39
5.3.1.3	Discussion.....	40
5.3.2	Naturalisation des débits et régionalisation	41
5.3.2.1	Proposition d'une méthodologie hydrologique pour prendre en compte les effets anthropiques liés aux prélèvements	41
5.3.2.2	Calage validation du modèle	41
5.3.2.3	Résultats de la régionalisation : 1/10 module, QMNA, QMNA5, VCN10jour T _{2ans} , VCN10jour T _{5ans}	45
6	Synthèse des débits caractéristiques d'étiages (1/10 module et QMNA5) aux points stratégiques de référence et analyse de l'impact des prélèvements sur la ressource	48
7	Impact du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique du bassin du Loup	52
7.1	Scénarios climatiques futurs.....	52
7.1.1	Méthode d'obtention des scénarios climatiques futurs.....	52
7.1.2	Résultats des scénarios climatiques	53
7.2	Impact des scénarios climatiques sur les débits simulés sur le Loup.....	54
8	Impact de scénarios de modification des pressions anthropiques liées à l'AEP	56
9	Conclusion générale.....	58
Annexes	59
Annexe n°1 : exemple d'une fiche de suivi hydrologique hebdomadaire des étiages du Loup sur 2007		
Annexe n°2 : résultats de modélisation en mode calage pour les stations DREAL		
Annexe n°3 : tableau récapitulatif des valeurs de QMNA issues de la modélisation des écoulements		

Table des illustrations

Figure 1 : Modules et débits mensuels moyens du Loup à Tourettes-sur-Loup et à Villeneuve-Loubet	3
Figure 2 : comparaison du module du Loup avec d'autres bassins versant aux stations de la dreal....	4
Figure 3 : carte de localisation des stations hydrométriques mobiles du CG06 sur la partie aval du Loup par rapport aux points de prélèvements et à l'hydrogéologie locale.....	7
Figure 4 : photo emplacement station mobile pont cassé	8
Figure 5 : photo emplacement station mobile amont lauron.....	8
Figure 6 : photo emplacement station mobile aval lauron	8
Figure 7 : photo emplacement station mobile base kayak	9
Figure 8 : photo emplacement station mobile ferrayonnes	9
Figure 9 : photo emplacement station mobile pont A8	10
Figure 10 : carte de localisation des stations hydrométriques mobiles du CG06 sur la partie amont du Loup par rapport aux points de prélèvements et à l'hydrogéologie locale.....	11
Figure 11 : coefficient de corrélation des courbes de tarage des stations mobiles	12
Figure 12 : profils des débits du Loup réalisé le 24 août 2011	13
Figure 13 : comparaison des débits jaugés et calculés sur le mois de juillet 2011 entre les stations Cipières, Pont de Bramafan et Aval Bramafan	14
Figure 14 : profil des débits du Loup dans les hautes gorges entre la prise et le rejet EDF	15
Figure 15 : profil des débits du Loup le 22 août 2007 sur la partie aval.....	16
Figure 16 : localisation secteur canal EDF, canal papeterie et zone Lauron	17
Figure 17 : comparaison des débits jaugés et calculés sur le mois de juillet 2007 entre les stations Pont Cassé et amont Lauron.....	18
Figure 18 : comparaison des débits jaugés et calculés sur le mois de juillet 2007 entre les stations amont Lauron et aval Lauron	18
Figure 19 : schéma synthétique de la zone aval du Loup au niveau de Villeneuve-Loubet.....	20
Figure 20 : comparaison des débits jaugés et calculés sur le mois de juillet 2007 entre les stations Ferrayonnes et pont A8.....	20
Figure 21 : évolution des débits journaliers à la station des ferrayonnes et des pompages en nappe alluviale durant l'étiage 2007	21
Figure 22 : cumul des débits moyens mensuels prélevés aux points de référence entre juin et septembre	25
Figure 23 : cumul des débits moyens mensuels sur les points stratégiques des références d'avril à novembre (2005 - 2010).....	26
Figure 24 : cumul des débits moyens mensuels prélevés à aval bramafan et à ferrayonnes entre 2005 et 2010.....	26
Figure 25 : 1/10 du module naturalisé et part prélevée sur les parties aval et amont du loup (l/s)....	33
Figure 26 : QMNA5 naturalisé et part prélevée sur les parties aval et amont du loup (l/s).....	33
Figure 27 : schéma du modèle hydrologique	36
Figure 28 : comparaison des QMNA5 observés et calculés	39
Figure 29 : comparaison des lames annuelles observées et calculées.....	39
Figure 30 : comparaison des débits mensuels observés et calculés	39
Figure 31 : distribution des paramètres du modèle en fonction de la surface des bassins.....	40
Figure 32 : Distribution des coefficients d'écoulement en fonction de la surface des bassins	40
Figure 33 : restitution des débits moyens mensuels en calage et en validation sur les bassins du Loup à Tourettes-sur-Loup et à Villeneuve-Loubet	42
Figure 34 : restitution des débits naturalisés moyens mensuels en calage et en simulation sur les bassins du Loup à Tourettes-sur-Loup et à Villeneuve-Loubet.....	44
Figure 35 : profil du 1/10 du module influencé et naturalisé aux points stratégiques de référence ..	48

Figure 36 : profil du QMNA5 influencé et naturalisé aux points stratégiques de référence	49
Figure 37 : carte de localisation des points stratégiques de référence et débits caractéristiques d'été associés	50
Figure 38 : désagrégation des données climatiques	53
Figure 39 : Synoptique de travail des données climatiques jusqu'aux données Safran	53

Tableaux

Tableau 1 : débit moyen mensuel prélevé par point de captage entre 2005 et 2010 en l/s	24
Tableau 2 : cumul des débits moyens mensuels sur les points stratégiques des références entre 2005 et 2010 en l/s	24
Tableau 3 : période de données disponibles pour les stations DREAL	29
Tableau 4 : périodes disponibles pour les stations DREAL.....	29
Tableau 5 : corrélation entre Qannuels et Q mensuels.....	29
Tableau 6 : corrélation entre stations pour $Q < 2\text{m}^3/\text{s}$	30
Tableau 7 : corrélation des débits mensuels entre la station DREAL de Villeneuve-Loubet et la station CG des Ferrayonnes pour différentes gammes de débits	30
Tableau 8 : 1/10 module et QMNA5 mesurés reconstitués et naturalisés aux stations DREAL et Ferrayonnes.....	32
Tableau 9 : résultats du calage du modèle sur les chroniques des stations de la DREAL (distribution du critère de NASH sur la racine carrée des débits mensuels selon les deux fonctions critères - 1/10 module et QMNA5 selon les deux critères d'optimisation)	38
Tableau 10 : Résultats du calage et de la validation sur les débits observés des bassins du Loup à Tourettes-sur-Loup et à Villeneuve- Loubet.....	42
Tableau 11 : Résultats du calage et de la validation des débits naturalisés sur les bassins du Loup à Tourettes-sur-Loup et à Villeneuve-Loubet.....	43
Tableau 12 : Résultats des simulations en différents points du bassin du Loup sur les débits influencés – comparaison avec les débits observés	46
Tableau 13 : Résultats des simulations en différents points du bassin du Loup sur les débits naturalisés et comparaison avec les débits influences « naturalisés »	46
Tableau 14 : 1/10 modules influencés et naturalisés aux points stratégiques de référence	48
Tableau 15 : QMNA5 influencés et naturalisés aux points stratégiques de référence.....	49
Tableau 16 : rapport entre le QMNA5 et le 1/10 du module aux points stratégiques de référence...51	51
Tableau 17 : Évolution des principales variables climatiques pour différentes périodes, sur les bassins du Loup.....	54
Tableau 18 : Résultats des simulations en différents points du bassin du Loup, débits influencés sur la période P1 (2046 -2065).....	54
Tableau 19 : Résultats des simulations en différents points du bassin du Loup, débits influencés sur la période P2 (2081 – 2100).....	55
Tableau 20 : Résultats des simulations en différents points du bassin du Loup, débits influencés avec hausse des prélèvements moyens de 10%	56
Tableau 21 : Résultats des simulations en différents points du bassin du Loup, débits influencés avec baisse des prélèvements moyens de 10%	56

1 Objectifs

La phase 1 a détaillé le fonctionnement hydrogéologique particulier du bassin du Loup : une rivière soutenue à l'amont par des sources karstiques importantes et déconnectée de la nappe du jurassique sur la partie aval. La phase 2 a mis en évidence le caractère gravitaire des captages AEP sur la partie amont du bassin versant et essentiellement en nappe alluviale sur la partie aval.

Les prélèvements en nappe profonde sur la partie terminale du fleuve ont été exclus du bilan et il a été convenu de s'intéresser spécifiquement à l'hydrologie superficielle du Loup afin de définir des débits biologiquement fonctionnels garantissant notamment la préservation des espèces et de leur habitat.

La présente phase 3 s'intéresse à évaluer l'impact des prélèvements sur la ressource en eau **superficielle uniquement**.

Les objectifs de la phase 3 sont :

- ✓ La caractérisation fine des étiages du Loup
- ✓ L'analyse de la pression cumulée des prélèvements aux points stratégiques de référence
- ✓ L'analyse des chroniques de débit des stations existantes et détermination des débits caractéristiques d'étiages à partir de cette donnée
- ✓ La modélisation des écoulements du Loup
 - Naturalisation des débits
 - Régionalisation : détermination des débits caractéristiques d'étiages en tout point du bassin versant
 - Évaluation de l'impact des prélèvements sur la ressource naturelle à partir des débits caractéristiques d'étiage
- ✓ L'impact du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique du Loup
- ✓ L'impact de scénarios de modification des pressions anthropiques liées à l'AEP

En phase 5, les débits caractéristiques d'étiage évalués dans la présente phase 3 seront confrontés aux débits biologiques déterminés lors de la phase 4 en vue de définir les Débits Objectifs d'Étiage (DOE) et Débits de Crise Renforcée (DCR).

2 Caractérisation de l'étiage sur le Loup

En 2003, le Conseil général des Alpes Maritimes a engagé en partenariat avec l'Agence de l'Eau RMC une démarche visant à améliorer la gestion des ressources en eaux superficielles et souterraines sur le secteur ouest du département. L'objectif étant la sécurisation de l'alimentation en eau potable et l'amélioration de la situation des étiages des fleuves côtiers, conditions nécessaires à l'atteinte du bon état écologique des cours d'eau, fixée par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE).

En 2006, un premier bilan de connaissances des ressources et des usages a été établi par le bureau d'étude *BRL Ingénierie*. Une des conclusions de cette étude est que le réseau de stations hydrométriques de suivi de la DREAL est insuffisant et inadapté pour les mesures de débits d'étiage. Cette situation rend difficile l'analyse qualitative du fonctionnement du cours d'eau en période de déficit (prélèvements et échanges nappes / cours d'eau).

Afin de remédier à cette situation, le Conseil général réalise depuis 2007 un suivi régulier des débits d'étiage par des campagnes de jaugeage et l'installation de stations hydrométriques mobiles.

2.1 Hydrologie générale sur le Loup et comparaison avec d'autres bassins versants voisins

La phase 1 a présenté brièvement l'hydrologie du Loup. Nous allons nous attacher à rappeler ces éléments et comparer les débits d'étiages du Loup avec ceux de bassins versant voisins.

Rappel hydrologie générale sur le Loup

Le Loup présente un régime hydrologique de type pluvio-nival, avec une tendance dominante de régime pluvial complété par un apport nival limité. On distingue deux périodes principales :

- une longue période de hautes eaux s'étendant de l'automne au printemps due aux fortes précipitations automnales sous climat Méditerranéen ainsi qu'au soutien printanier lié d'une part, aux précipitations, et d'autre part, à la fonte des neiges des massifs du Cheiron et de l'Audibergue dans une moindre mesure. Cette période est néanmoins ponctuée par un léger fléchissement hivernal des débits aux mois de janvier/février.
- une période d'étiage estival très marquée en raison des très faibles précipitations lors des mois de juin, juillet et août.

Le bassin du Loup est couvert par deux stations hydrométriques en fonctionnement, gérées par la DREAL :

Communes	Code station	BV spécifique (km ²)	Période	Altitude (m)	Exploitant
Tourettes-sur-Loup	Y5615010	206	1970-2011	124	DREAL PACA
Villeneuve-Loubet	Y5615030	279	1980-2011	2	DREAL PACA
Gourdon	Y5615020	140	1951-2007	443	DREAL PACA - EDF

Le débit du Loup a été enregistré sur ces deux stations pendant une période relativement longue, 42 ans (1970-2011) à Tourettes-sur-Loup et 31 ans (1980-2011) à Villeneuve-Loubet. Ces deux stations sont situées sur la partie aval du bassin et couvrent respectivement une superficie 206 km² et 279 km² (quasi-totalité du bassin).

Il existe également une station située à Gourdon, sur le système amont, qui draine un bassin versant de 140 km². Elle est implantée en amont immédiat de la prise d'eau EDF au lieu dit le Colombier (Bramafan). Sa mise en service date de janvier 1951 par EDF et les données s'arrêtent en 2007. Par ailleurs, sa structure porteuse a été détruite par les crues de novembre 2010.

Les débits moyens mensuels confirment les périodes pluviométriques énoncées précédemment et traduisent la fluctuation saisonnière assez marquée des débits :

- Les valeurs moyennes les plus importantes sont relevées entre les mois d'octobre et mai (automne et printemps), avec des maxima moyens mensuels pour le mois de novembre ; Les valeurs sont 3,86 m³/s à Gourdon, 5,29 m³/s à Tourettes-sur-Loup et 7,96 m³/s à Villeneuve-Loubet, ce qui suit la logique amont/aval en terme de quantité.
- A partir du mois de juin, le Loup subit une longue période d'étiage qui atteint des valeurs critiques généralement au mois d'août. Les moyennes mensuelles sont de 0,46 m³/s à Gourdon, 0,93 m³/s à Tourettes-sur-Loup et 0,56 m³/s à Villeneuve-Loubet. On note que la valeur du débit à Villeneuve-Loubet est inférieure à celui de Tourettes-sur-Loup en juillet et août.

(Source : BanqueHydro – DREAL PACA)

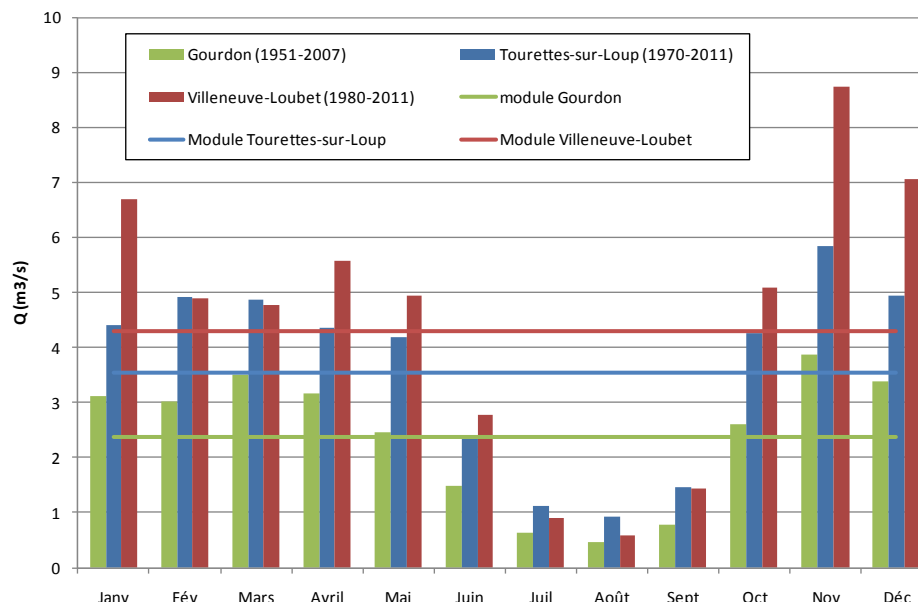


Figure 1 : Modules et débits mensuels moyens du Loup à Tourettes-sur-Loup et à Villeneuve-Loubet

Les modules annuels des stations du Loup sont comparés avec d'autres bassins versants voisins :

Stations	superficie BV km ²	module _{mes} (m ³ /s)	module _{mes} spécifique (l/s/km ²)
Esteron à la Clave (1910-2011)	451	7,00	15,52
Loup à Tourette sur Loup (1970-2011)	206	3,80	18,45
Loup à Gourdon (1951-2007)	140	2,20	15,71
Loup à Villeneuve Loubet (1980-2011)	279	5,05	18,10
Nartuby à Trans-en-provence (1969-2011)	190	1,40	7,37
Cagne à Cagne sur Mer (1987-2011)	95	0,90	9,47
Jabron à Comps (1974-2011)	66	0,60	9,09
Siagne à Ajustadoux (1952-2011)	278	6,50	23,38

Figure 2 : comparaison du module du Loup avec d'autres bassins versant aux stations de la dreal

On note une certaine hétérogénéité dans les tendances hydrométriques des bassins de la région. On constate que les modules annuels spécifiques du Loup, de la Siagne et de l'Esteron sont relativement élevés par rapport à des bassins situés plus à l'ouest. Cela souligne le soutien intense du réseau de karst présent sur ces bassins.

Cependant, ces chiffres sont à relativiser. En plus de l'influence des prélèvements, ils sont à replacer dans le contexte géologique local, notamment le positionnement des stations par rapport aux unités géologiques. En effet, dans le cas du Loup, si la station de Villeneuve Loubet semble, à première vue, souligner le caractère relativement abondant du système aval, la réalité montre qu'elle est située sur une zone d'apport du pliocène et donc ne permet pas d'identifier les assècs plus en amont (zone ferrayonnes). Cette réalité géologique de pertes et d'apports constitue un facteur prépondérant dans le fonctionnement hydrologique du système.

Si la comparaison des modules annuels spécifiques fait ressortir des situations hydrologiques contrastées entre bassins versants, elle ne permet pas de faire ressortir l'impact localisé des karsts et des prélèvements. Pour identifier et évaluer ces effets, il est essentiel de s'intéresser aux périodes déficitaires en eau et notamment à la période d'étiage estival.

Ce comportement du Loup en période de basses eaux a été mis en évidence et analysé dans les études d'investigations et de suivi des débits effectuées par le Conseil Général 06 depuis 2006 sur le fleuve.

Il est à noter le caractère spécifique de la Cagne parmi les côtiers du secteur ouest du département des Alpes-Maritimes qui présente une hydrologie annuelle médiocre sur la partie aval du bassin. Son système karstique aval induit des pertes naturelles importantes. Ce cours d'eau fait l'objet également d'une étude volumes prélevables.

2.2 Diagnostic des stations de la DREAL

Un diagnostic des stations de **Villeneuve-Loubet** et de **Tourettes-sur-Loup** a été réalisé dans le cadre de l'étude BRL en 2006 sur la base des campagnes de jaugeages réalisées, à l'époque, par la DDAF et le CG06.

Les courbes de tarages ont été analysées et les résultats des débits jaugés ont été comparés aux débits mesurés. Chacune des stations a fait l'objet d'un diagnostic qui évalue l'aptitude de la station à fournir des débits d'étiages.

Sur la station de **Gourdon**, la DTG EDF de Grenoble a réalisé une analyse hydrologique en 2008.

Les principaux résultats sont :

Station Moulins du Loup à Villeneuve-Loubet

- Station avec échelle + télégestion (câble téléphonique)
- Substrat dominant : pierres, cailloux / Berges végétalisées - Algues filamenteuses
- Mesure effectuée 150 m à l'amont de la station hydro car section large et vitesses trop faibles au droit de la station hydrométrique

⇒ **Précision douteuse et fiabilité des mesures en étiage mauvaise** : 0 de l'échelle trop haut pour les niveaux d'eau d'étiage et présence d'algues

Remarque : les investigations du CG06 ont mis en évidence des apports des poudingues entre la section de jaugeage et la sonde.

Station Les Valettes à Tourettes-sur-Loup

- Station à une échelle
- Substrat dominant : pierres, cailloux, graviers / Fond colmaté par les limons / Berges végétalisées

Cette station est située sur une zone d'affleurement du Trias moyen assez imperméable qui permet de bien mesurer les débits sortants du système karstique amont (sub-alpin) et les débits rentrants du système aval (avant pays provençal).

⇒ **Précision et fiabilité des mesures en étiage bonne** : échelle bien placée par rapport aux niveaux d'eau d'étiage

Station EDF à Gourdon

- Station avec échelle
- Substrat dominant : cailloux, grosses pierres, bloc rocheux / Berges végétalisées
- Mesure effectuée 100 m à l'amont de la station

⇒ **Précision douteuse en étiage. Les courbes de tarages présentent une dispersion importante pour les bas débits** : cela est notamment dû aux différentes retenues formées par les personnes profitant du lit de la rivière en été.

2.3 Mise en place d'un réseau de stations hydrométriques mobiles et campagne de suivi CG06

Les conclusions de l'étude BRL font apparaître que le réseau de mesure actuel de la DREAL est insuffisant et inadapté pour les périodes d'étiage et il est actuellement très compliqué de discerner les pertes naturelles du cours d'eau (échanges avec les nappes) et les prélèvements. Cette situation rend difficile l'analyse du fonctionnement du cours d'eau en période déficitaire.

Pour déterminer finement ces variations, des jaugeages différentiels ont été effectués, entre 2006 et 2012, sur plusieurs points du cours d'eau afin d'obtenir l'évolution longitudinale du débit du Loup sur tout son linéaire. En totalité, près de **250 jaugeages** ont été réalisés sur cette période.

Par ailleurs, en 2007, une étude a été lancée pour définir, mettre en place et exploiter un dispositif expérimental à partir de stations hydrométriques mobiles (capteurs de pression et de température) placées à des endroits stratégiques d'un point de vue hydrodynamique (zone de changement de

géologie, zone de prélèvements...) afin d'affiner la connaissance du système. Parallèlement, des jaugeages ont permis de construire des courbes de tarage à l'étiage pour chaque station. Par étapes, l'étude a consisté à :

- **Validation** des sites d'implantation du dispositif expérimental (notamment des sites pré-identifiés lors de la campagne de jaugeage 2006), implantation et installation des stations
- **Suivi du dispositif** : récupération, traitement des données et adaptation si nécessaire du matériel. Jaugeages réguliers au courantomètre pour établir une relation hauteur-débit pour chaque station
- **Exploitation et interprétation des résultats** : traitement statistique, analyse de la variabilité dans le temps des débits pour chaque station et entre chaque station (influence des prélèvements), établissement de profils en long des débits et comparaison avec les profils plus anciens, comparaison avec les données des stations DREAL et réflexion sur la pertinence de ces dernières. Analyse des résultats au regard des points de prélèvement et des échanges avec les aquifères karstiques et alluviaux. Bilan du dispositif : efficacité, amélioration possibles, élargissement du dispositif.

En 2007, uniquement le secteur aval (entre Pont-du-Loup et l'embouchure) a été instrumenté par la mise en place de 5 stations hydrométriques. En 2011, c'est le secteur en amont des hautes gorges qui a fait l'objet d'un suivi avec l'installation de 3 stations de mesures.

2.3.1 Identification des points de suivi

Les sites d'accueil des stations mobiles ont été identifiés à partir d'une analyse fine de la géologie des secteurs (zones d'échanges nappe/cours d'eau), et au regard des zones de prélèvements.

Les résultats de ces investigations ont permis de confirmer la localisation des points stratégiques de référence sur lesquels sont définis les débits caractéristiques d'étiage, les débits biologiques et les DOE et DCR.

En 2007, l'étude s'est concentrée uniquement sur la partie aval du bassin versant du Loup, de la sortie des hautes gorges (Pont du Loup) jusqu'à l'embouchure. Cette restriction, dans un premier temps, à cette zone a été décidée pour plusieurs raisons :

- Le nombre de capteurs disponibles (6 unités) ne permettait pas de couvrir l'intégralité du bassin versant
- Il s'agit de la zone où sont présents les prélèvements effectués en nappes alluviales pouvant être très impactant pour le milieu (zone assèchement des Ferrayonnes en 1990 et 2005).
- Elle se situe sur l'unité du karst jurassique de l'avant pays provençal qui est un système indépendant. De ce fait, la zone d'étude est un système unique à lui seul.

La carte ci-dessous permet de localiser les sites et l'intérêt de leur choix (de l'amont vers l'aval) est détaillé plus bas :

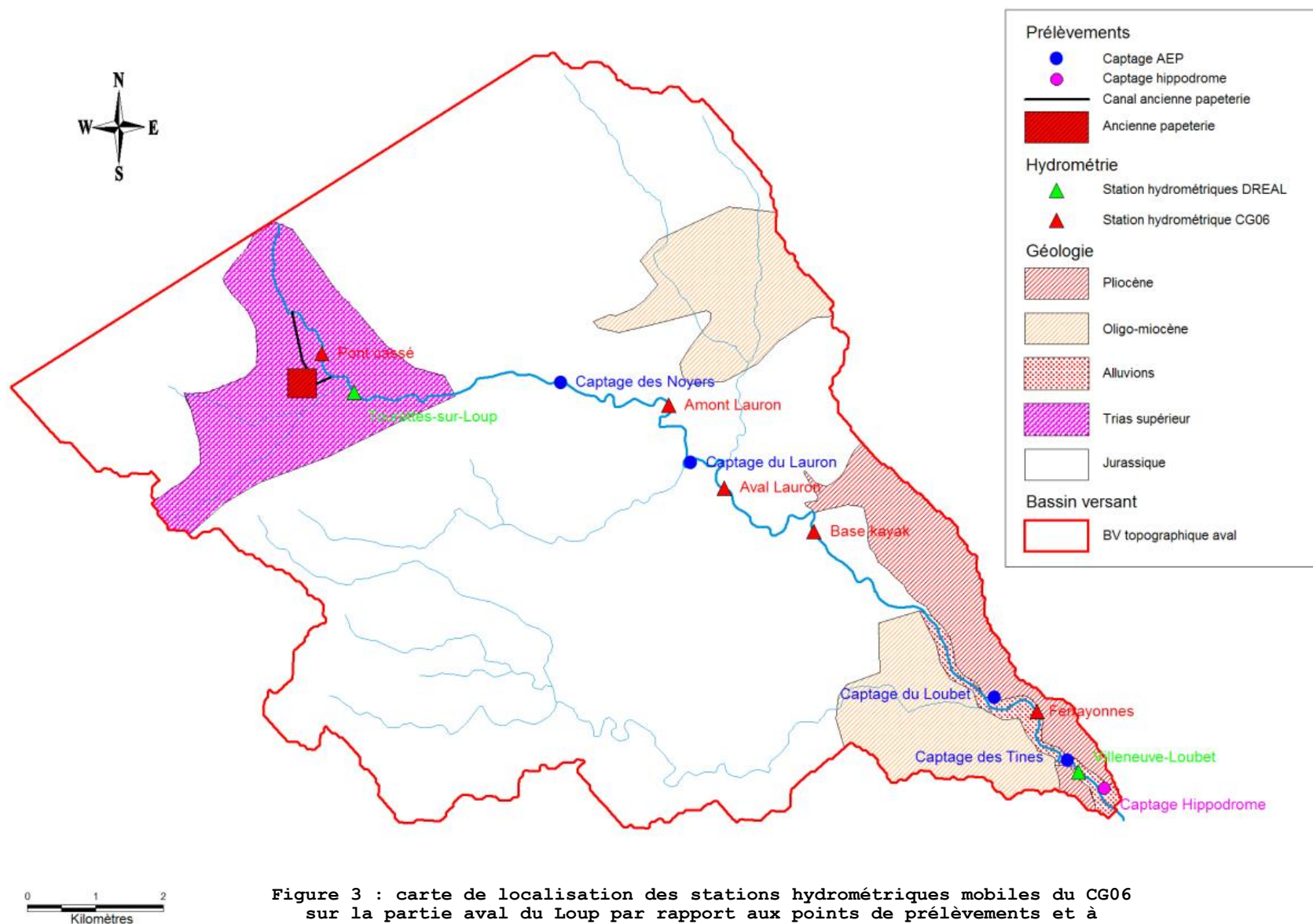


Figure 3 : carte de localisation des stations hydrométriques mobiles du CG06 sur la partie aval du Loup par rapport aux points de prélèvements et à l'hydrogéologie locale

Station Pont Cassé

Cette station est celle qui se trouve le plus en amont du système karstique de l'avant pays provençal, juste en aval de Pont-du-Loup. Se situant juste à la sortie des hautes gorges qui débouche sur la dépression de Bar-sur-Loup, elle permet de mesurer le débit d'entrée du système aval de l'avant pays provençal. Par ailleurs, ce capteur se situe sur une zone d'affleurement du Trias moyen (alternance de calcaires et de marne) assez imperméable donc les échanges nappe/cours d'eau sont réduits.

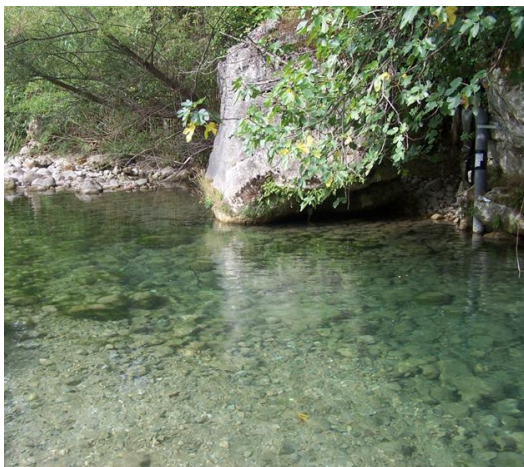


Figure 4 : photo emplacement station mobile pont cassé

Stations Amont Lauron et Aval Lauron

Ces stations se situent au niveau des basses gorges du jurassique, en aval de l'auréole triasique. Sur cette zone, le cours d'eau draine la nappe de façon assez intensive et se traduit par deux zones de convergences (les Noyers et le Lauron) qui donnent lieu à des résurgences qui sont exploitées pour l'AEP. Les deux stations se trouvent sur une zone d'échange importante entre la nappe alluviale et le karst et se situent en amont et en aval du point de captage du Lauron, ce qui permet de mieux appréhender la distinction entre les variations de débits d'origines naturelles et anthropiques. La station aval Lauron constitue une **station stratégique de référence**.



Figure 5 : photo emplacement station mobile amont lauron



Figure 6 : photo emplacement station mobile aval lauron

Station Base Kayak

C'est une station placée au niveau de la zone d'enfoncement des calcaires du jurassique sous les dépôts du quaternaire. Elle se situe à l'entrée des gorges du Mont Mille, zone d'échanges nappe/cours d'eau.



Figure 7 : photo emplacement station mobile base kayak

Station Ferrayonnes

C'est une des stations clés du système qui se situe sur une zone à fort enjeu pour l'alimentation en eau potable de Villeneuve-Loubet. C'est sur ce secteur que le cours d'eau s'est asséché durant les étés 1990 et 2005. Elle constitue une **station stratégique de référence**.



Figure 8 : photo emplacement station mobile ferrayonnes

Station pont A8 (Villeneuve-Loubet)

Cette dernière station est la plus en aval du système. Située à 700 m de l'embouchure et surtout placée en contact direct avec la station DREAL de référence (Moulin du Loup), elle présente deux intérêts :

- étant fixé à proximité de la station DREAL, elle permet de porter un regard critique sur la fiabilité de cette station
- elle se trouve au droit dit du « verrou » du pliocène, zone d'apport des poudingues avec de nombreuses sources.



Figure 9 : photo emplacement station mobile pont A8

En 2011, 3 sites ont été instrumentés sur la partie amont (karst sub-alpin) du cours d'eau afin d'étendre l'analyse à l'ensemble du bassin versant.

Les sites et l'intérêt de leur choix sont détaillés ci-dessous, de l'amont vers l'aval :

Station de Cipières

Il s'agit de la station la plus en amont du bassin (surface BV de 76 km²) qui se situe sur la gouttière synclinale est-ouest constituée de marnes qui isolent le Loup du karst. Elle intègre les prélèvements des sources de Gréolières. Elle constitue une **station stratégique de référence**.

Station Pont de Bramafan (amont captages Bramafan)

Cette station se situe dans une zone très productive du massif calcaire sub-alpin. Elle est située en aval des captages des sources du Foulon et des Fontaniers et en amont des captages de Bramafan.

Station aval Bramafan (amont prise EDF)

Cette station se situe en aval des captages de Bramafan et constitue une **station stratégique de référence**.

La carte ci-dessous permet de localiser les stations sur le bassin versant du Loup :

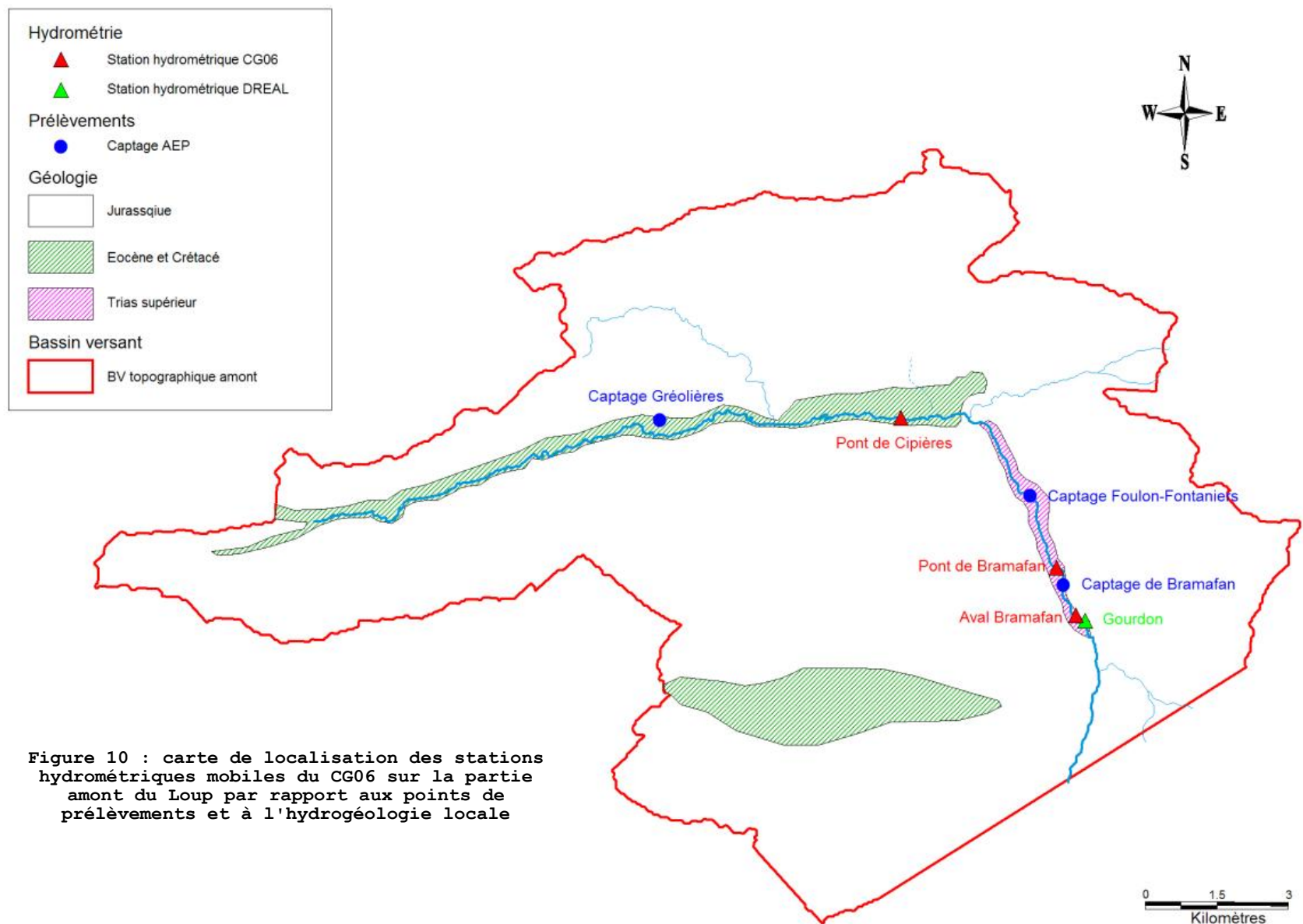


Figure 10 : carte de localisation des stations hydrométriques mobiles du CG06 sur la partie amont du Loup par rapport aux points de prélèvements et à l'hydrogéologie locale

2.3.2 Ajustement des courbes de tarage

Deux ajustements de courbe de tarage ont été utilisés pour la relation pluie-débit suivant les stations : une relation linéaire ou logarithmique selon le cas. La relation n'est valable que pour les bas débits et suivant la gamme de débit la relation peut être différente (changement de section).

Les coefficients de corrélation pour les différentes stations sont présentés dans le tableau suivant :

période	Stations	coefficient de corrélation de la courbe de tarage
2011	Cipières	0,96
2011	pont de Bramafan	0,95
2011	aval Bramafan	0,93
2007	pont Cassé	0,99
2007	amont Lauron	0,96
2007	aval Lauron	0,95
2007	base kayak	0,74
2007 - 2011	Ferrayonnes	0,94 - 0,98
2007	pont A8	0,98

Figure 11 : coefficient de corrélation des courbes de tarage des stations mobiles

Globalement la relation hauteur-débit à l'étiage des courbes de tarage des stations est très correcte sauf pour la station base kayak qui s'explique par la présence d'un seuil construit temporairement pendant l'été entre le capteur et la section de jaugeage en aval.

2.3.3 Analyse des profils en long par tronçons et variabilité des débits à l'étiage entre les stations

Les campagnes de jaugeages de 2007 et 2011 ont permis de déterminer des profils en long des débits du Loup afin de réaliser une analyse de l'hydrologie du Loup par tronçon.

L'année 2007 correspond à un étiage sévère avec un QMNA à Villeneuve-Loubet de 168 l/s de fréquence quinquennale à décennale sèche tandis que 2011 correspond à un étiage soutenu avec un QMNA de 680 l/s de fréquence quinquennale à décennale humide.

Le profil en long du Loup dans son intégralité a été réalisé le 24 août 2011. Il est constitué de 20 jaugeages. Ce profil est représentatif d'un étiage soutenu d'un point de vue des débits et permet d'appréhender le comportement du Loup et de distinguer 5 secteurs d'échanges du fleuve avec le milieu extérieur (voir figure 12 ci-après).

Les jaugeages réalisés en 2007 ont permis de dresser des profils qui caractérisent le comportement du fleuve en période d'étiage sévère. Cependant, les investigations en 2007 se sont focalisées sur la partie aval du massif autochtone de la zone provençale où sont concentrés les prélèvements AEP en nappe. Ces profils font l'objet d'un zoom spécifique sur cette période et sur ce système.

Par ailleurs, les stations hydrométriques mises en place ont permis d'évaluer les variations du débit du cours d'eau de façon plus précise et en continu. Ces valeurs instantanées du débit sur chaque station apportent une information supplémentaire pour différencier les prélèvements des pertes karstiques.

A noter que la station kayak n'a pas été exploitée du fait de la présence d'une retenue temporaire construite durant l'été 2007 située en aval immédiat et qui a abouti à une mauvaise courbe de tarage.

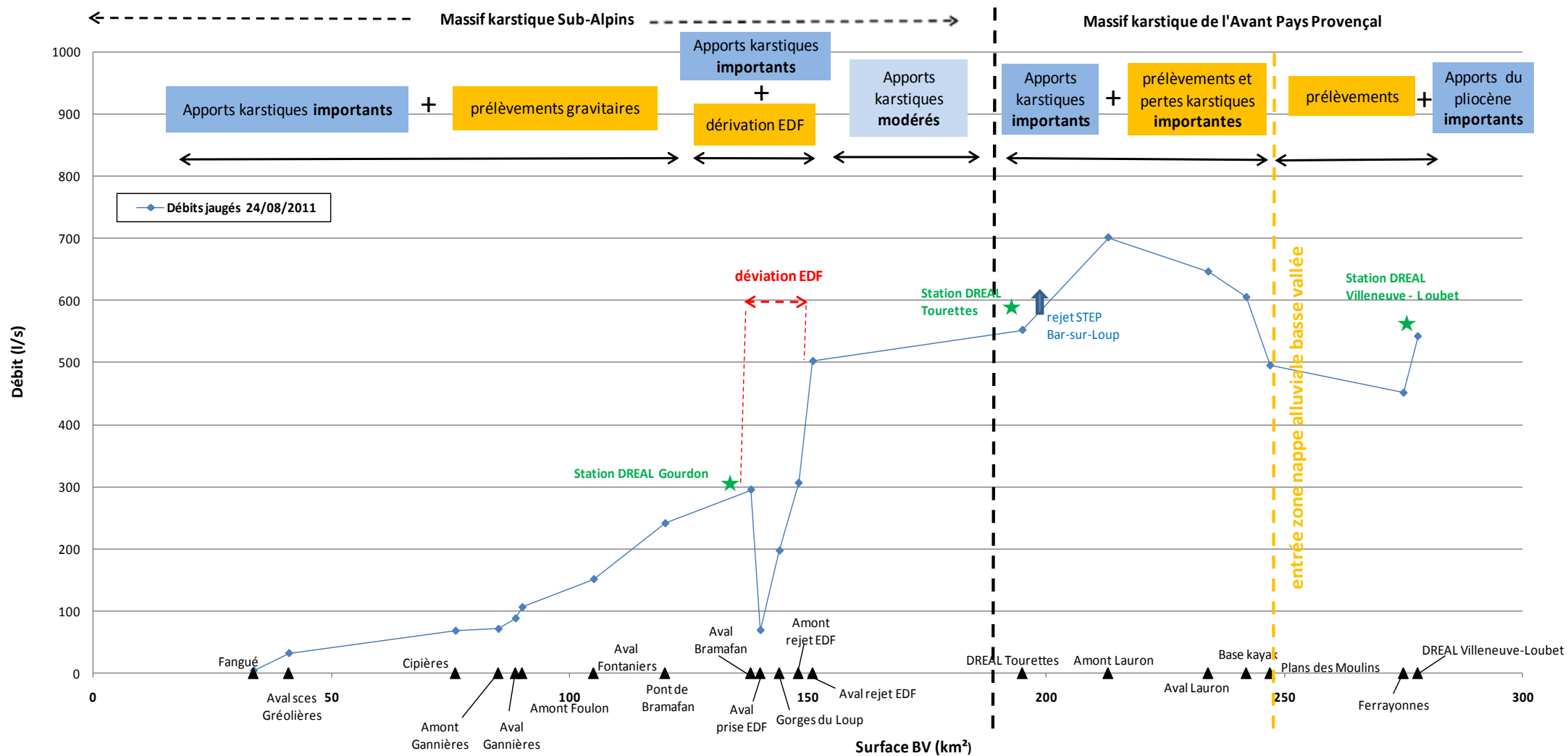


Figure 12 : profils des débits du Loup réalisé le 24 août 2011

Comme indiqué en phase 2, l'analyse suivante portant sur l'hydrologie du Loup est partagée en deux parties qui sont à croiser avec l'hydrogéologie de la zone.

✓ **partie amont** (jusqu'à Pont-du-Loup) :

La partie amont correspond à la zone d'alimentation du Loup par le massif karstique sub-alpin via les exutoires latéraux drainés par le fleuve ou captés en partie pour l'alimentation en eau potable. Sur l'ensemble de cette section, on se trouve dans un système karstique par excellence, extrêmement bien développé.

Le Loup prend naissance dans le synclinal créacé établi au front de la montagne du Cheiron qui canalise son tracé sur son cours amont (cf. phase 1 p21). Il se raccorde ensuite à l'avant-pays provençale par l'intermédiaire des gorges profondes qui entaillent la masse jurassique des unités écaillées suivant une direction Nord-Sud jusqu'à l'auréole triasique des Valettes.

Le réservoir est constitué en totalité par des strates du Jurassique qui présentent une structure en écaille et un réseau avec de grandes failles constituant ainsi une grande réserve. Le niveau de base des écoulements souterrains est fixé par la position du Trias imperméable qui forme son assise. Il apparaît à l'affleurement au fond des gorges profondes entaillées par le réseau hydrographique. Les résurgences se localisent alors très logiquement le long de ce contact sur les flancs de vallée.

Fangué - Aval Bramafan (amont prise EDF) :

Cette zone est caractérisée par l'**apport de sources karstiques très productives** qui sont captées pour l'alimentation en eau potable (sources de Gréolières, sources du Foulon, sources des Fontaniers, sources de Bramafan...). Malgré ces prélèvements importants sur cette partie amont (2/3 des prélèvements sur le bassin), le Loup bénéficie d'un soutien du karst significatif jusqu'à la prise EDF comme l'a démontré le suivi des étiages par le Conseil général depuis 2007.

Le graphique permet de comparer l'évolution des débits instantanés mesurés entre les stations amont sur le mois de juillet 2011.

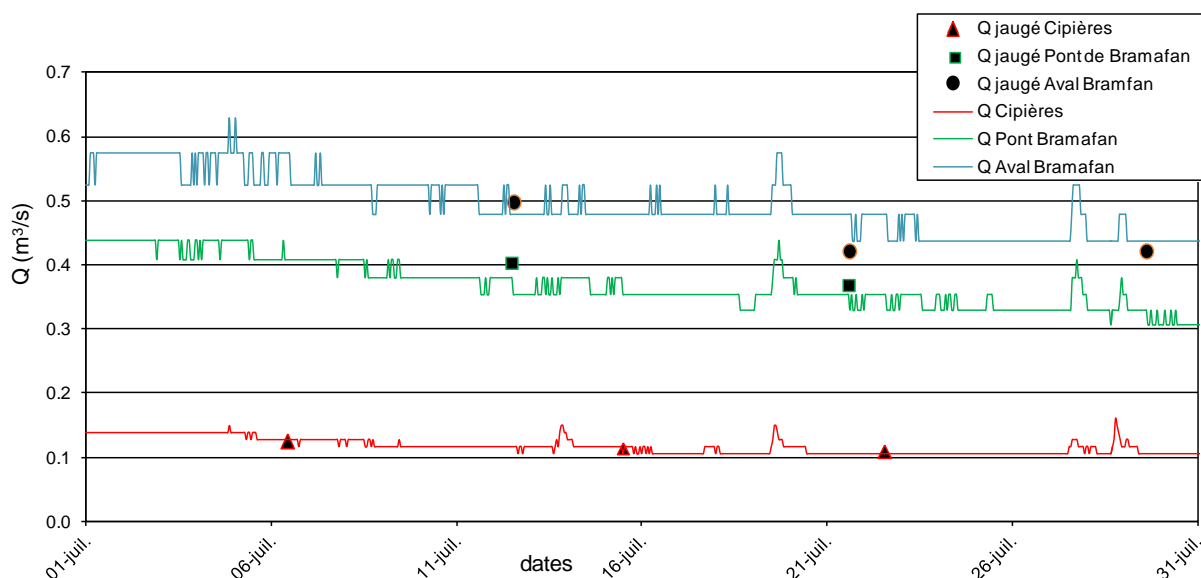


Figure 13 : comparaison des débits jaugés et calculés sur le mois de juillet 2011 entre les stations Cipières, Pont de Bramafan et Aval Bramafan

On remarque que l'écart des débits instantanés entre les stations de pont de Bramafan et aval Bramafan est de l'ordre de 100 l/s sur tout le mois de juillet 2011.

Ce n'est pas le cas entre ces derniers et les débits à Cipières. En effet, entre Cipières et le pont de Bramafan, on constate que l'écart de débit est de 300 l/s au 1 juillet et se réduit à 200 l/s au 31 juillet. Cette diminution plus rapide en continue des débits à Bramafan par rapport au pont de Cipières au cours de l'étiage indique qu'au fur à mesure que les débits baissent, le cours d'eau à Bramafan est moins soutenu qu'en amont. La production du karst diminue significativement.

On note trois pics de débits (les 14, 19 et 29 juillet) qui semblent venir d'une perturbation en amont de Cipières.

Aval Bramafan (amont prise EDF) - aval restitution EDF :

Cette partie du Loup a été explorée fin août 2011 en réalisant des jaugeages amont/aval prise et restitution EDF et un jaugeage à mi-parcours des gorges (tronçon court-circuité).

Le profil ci-dessous indique que le karst apporte environ 200 l/s au débit du Loup dans les gorges. La répartition des apports apparaît uniforme sur le linéaire puisque le débit augmente de 100 l/s à mi-parcours des gorges.

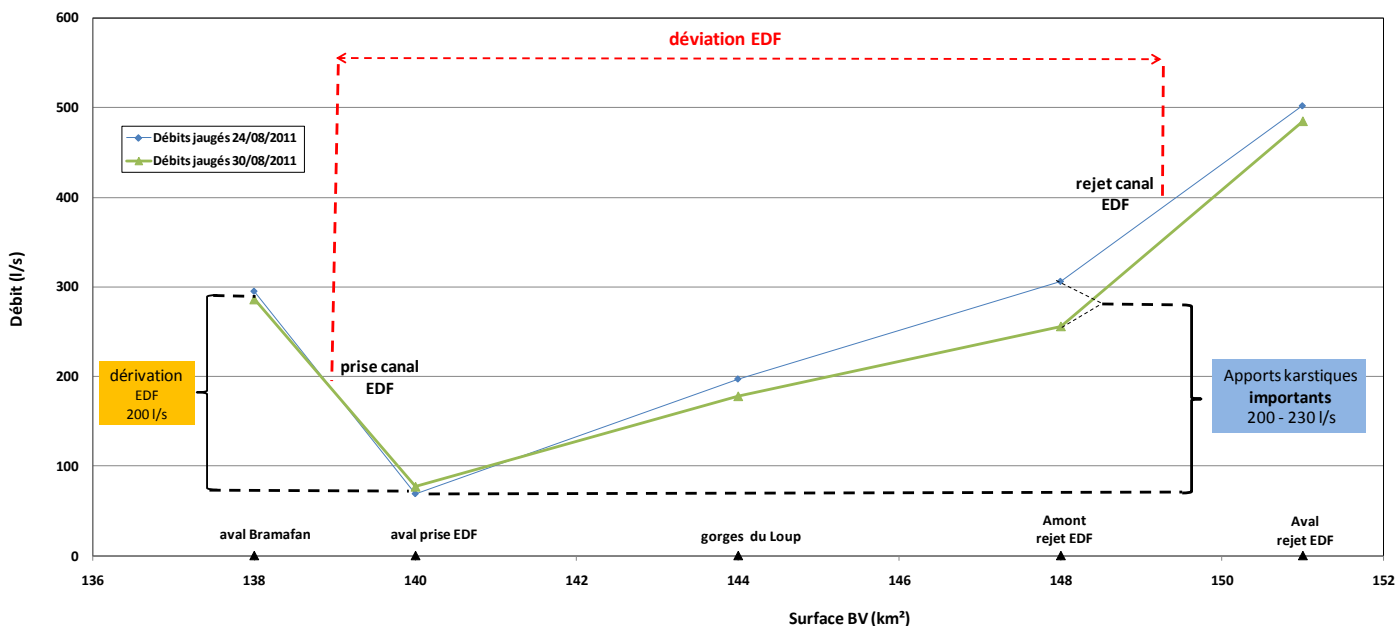


Figure 14 : profil des débits du Loup dans les hautes gorges entre la prise et le rejet EDF

Malgré la dérivation de l'ordre de 200 l/s du canal EDF pour la centrale hydroélectrique, le Loup bénéficie d'apports latéraux importants dans les hautes gorges qui permettent un soutien du milieu en période d'étiage.

✓ **partie aval** (de Pont-du-Loup jusqu'à l'embouchure) :

La partie aval présente deux types de système aquifère : l'un karstique et l'autre de type alluvial complexe. La région de Bar-sur-Loup correspond à l'affleurement du Trias moyen sous un dépôt alluvial récent. Les terrains marneux du Trias supérieur forment une couche imperméable qui isole le Loup des karsts du jurassique. Au-delà du Trias, l'ensemble du système Jurassique affleure jusqu'à la sortie des gorges du Mont Mille puis plonge progressivement sous des formations alluvionnaires et tertiaires (cf. phase 1 p24 à 27).

Pour la partie aval, l'analyse par tronçon porte sur l'étiage de 2007. Le graphique 15 (ci-dessous) présente un profil du 22 août 2007 réalisé pendant la période critique de l'étiage (159 l/s aux

ferrayonnes). Par ailleurs, à cette période les pompages en nappe alluviale des captages du Loubet ont été stoppés temporairement pour éviter l'assec aux Ferrayonnes (voir plus bas). L'analyse des tronçons aval est détaillée ci-après.

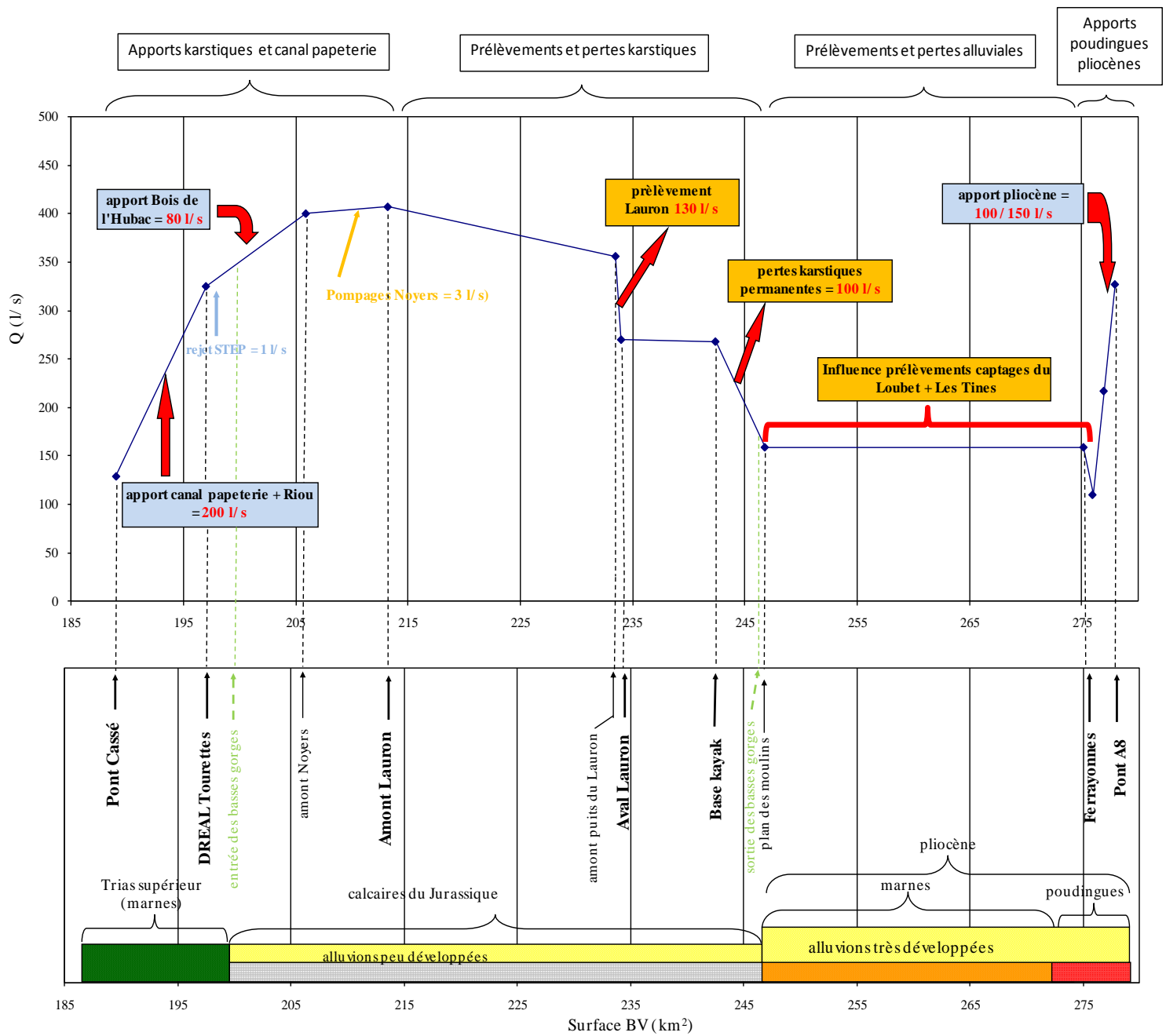


Figure 15 : profil des débits du Loup le 22 août 2007 sur la partie aval

Aval rejet EDF (sortie des hautes gorges) - DREAL Tourettes-sur-Loup (entrée des basses gorges) :

Le Loup lors de son passage sur les calcaires du Trias moyen, s'écoule pour une grande part sur des alluvions récentes ou les marnes du Trias supérieur. Les échanges entre le fleuve et la nappe sont contrariés par ces **horizons imperméables**.

En 2007, le profil entre la station pont Cassé et la station DREAL Tourettes fait apparaître une augmentation du débit de l'ordre de 200 l/s qui correspond au débit dérivé par **le canal de la papeterie qui court-circuite le Loup** sur 1,5 km. En 2011, un apport supplémentaire de 40 l/s (hors canal papeterie) est lié en partie au Ruisseau des Escures et quelques apports latéraux. La station pont Cassé est située dans le secteur court-circuité (figure ci-dessous).

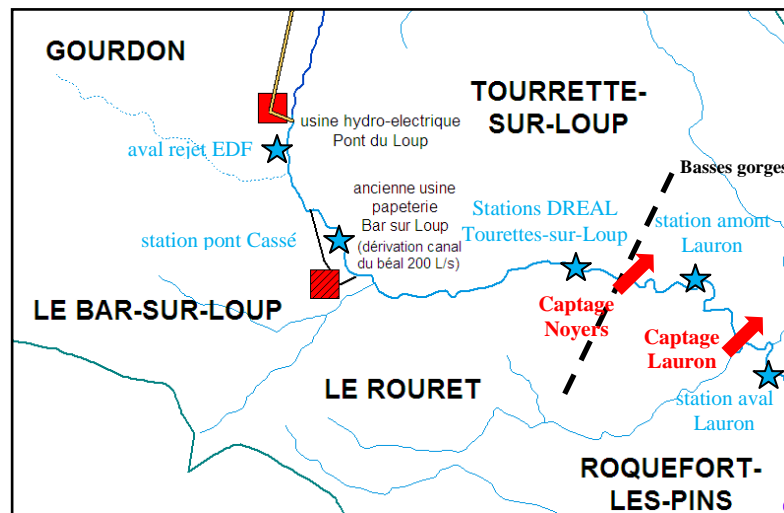


Figure 16 : localisation secteur canal EDF, canal papeterie et zone Lauron

DREAL Tourettes-sur-Loup – Plan des Moulins (sortie basses gorges)

A l'aval de l'auréole triasique des Valettes, le réservoir est plus homogène et la nappe y est abondamment drainée par la vallée du Loup dans les basses gorges qu'elle a creusé. Ce drainage s'effectue principalement vers **deux zones d'apport karstique** :

- La **zone Noyers** : la source des Noyers qui présente un débit de 20 l/s couplée à la grotte de Noyers (exutoire très irrégulier). Lors des jaugeages en août 2007, la différence de débit entre l'amont et l'aval des captages était très faible (entre 3 et 5 l/s). Il existe d'autres exutoires occultes. C'est le cas en amont au niveau du Bois de l'Hubac où une grotte résurge temporairement dans la falaise avec un débit pouvant atteindre 40 à 100 l/s qui correspond à l'augmentation de débit entre la station DREAL de Tourettes et le jaugeage effectué en amont du captage des Noyers.
- La **zone du Lauron** (source du Lauron et puits Merle) avec un débit de l'ordre de 110 l/s soutenu lors d'épisode pluvieux par la source Merle (temporaire) et la grotte du Lauron

La STEP de Bar-sur-Loup rejette dans le Loup juste en aval de la station de la DREAL un débit négligeable de l'ordre de 1 l/s.

Le graphique ci-dessous fait apparaître une différence de débit entre les stations pont Cassé et amont Lauron de l'ordre de 300 l/s qui correspond aux échanges définis au-dessus (apport canal papeterie + résurgences Bois de l'Hubac).

On remarque des variations importantes (200 l/s) et brutales du débit sur les courbes calculées entre le 4 et le 25 juillet 2007, avec une augmentation de la fréquence entre le 9 et le 19 juillet.

A première vue, ces variations semblent être liées au fonctionnement de la centrale EDF. Cependant, EDF nous a confirmé que la centrale fonctionne au fil de l'eau sans phénomène d'éclusés. Par ailleurs, elle a été arrêtée temporairement entre le 12 juillet et le début de l'automne.

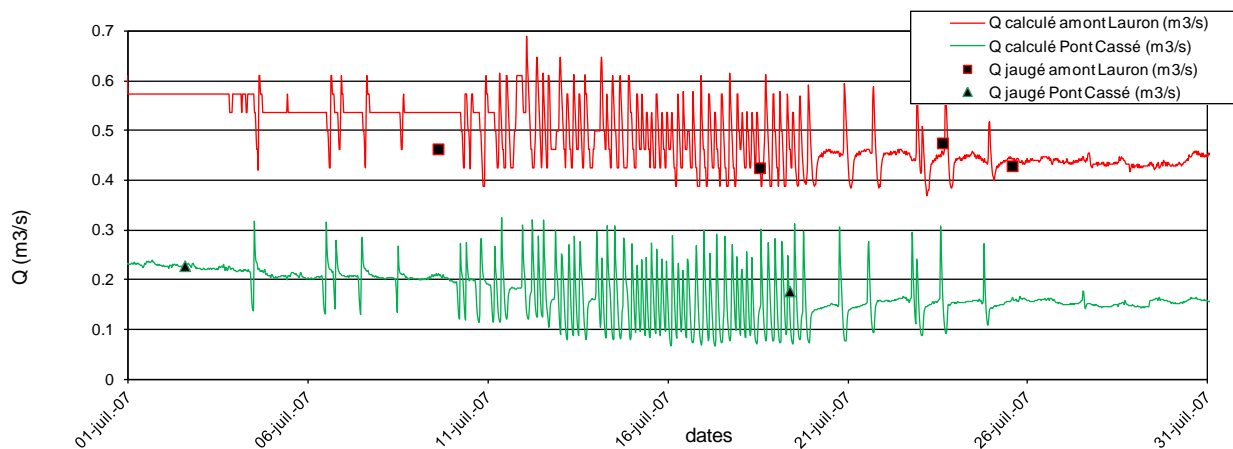


Figure 17 : comparaison des débits jaugés et calculés sur le mois de juillet 2007 entre les stations Pont Cassé et amont Lauron

Le graphique suivant présente les débits entre les stations amont et aval Lauron. On constate les mêmes perturbations qu'en amont. La station aval Lauron a également été perturbée à partir de mi-juillet avec des oscillations fortes du débit dues à des perturbations locales.

On constate que l'information du débit en instantanée permet de mettre en évidence les variations de débit dues aux pompages (voir cercle en pointillé ci-dessous) ce qui n'est pas le cas avec les débits jaugés. On remarque qu'il y a alternance de périodes d'arrêt et de marche des pompages. On retrouve ces variations sur la courbe de la station aval qui ne sont pas présentes en amont. On discerne les prélèvements à l'échelle de la journée, avec en moyenne une à deux phases de prélèvement par jour.

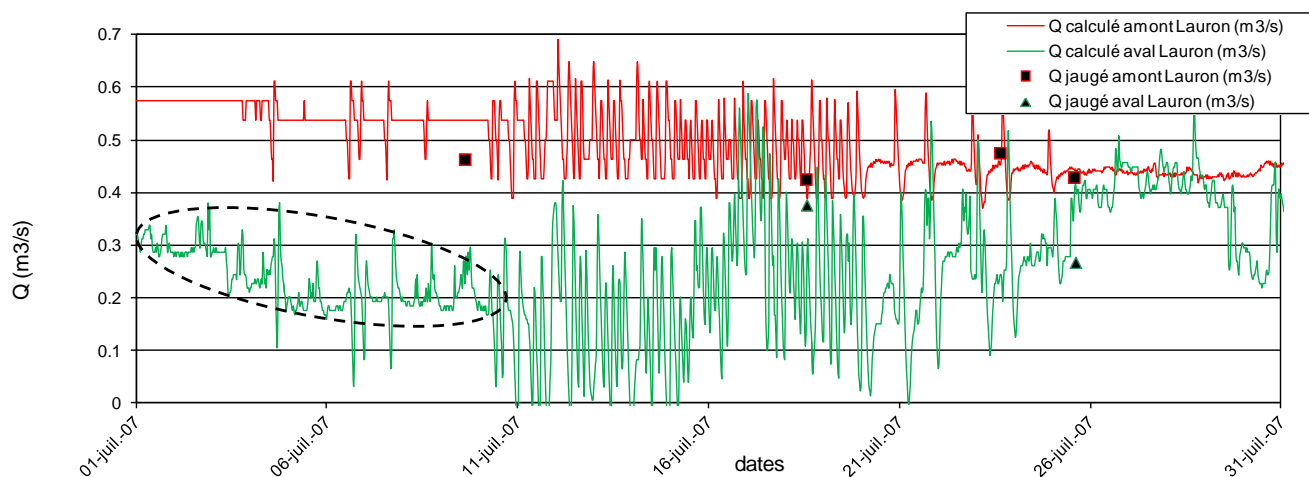


Figure 18 : comparaison des débits jaugés et calculés sur le mois de juillet 2007 entre les stations amont Lauron et aval Lauron

En aval de la zone du Lauron, le Loup traverse une **zone de pertes karstiques** jusqu'à la sortie des basses gorges (plans des moulins). Sur ce secteur, le niveau de base des écoulements souterrains est reporté sous le niveau de la mer et qui se traduit par une situation perchée du réseau hydrographique. Ces pertes karstiques ont été identifiées lors d'investigations par jaugeages différentiels en 2007, notamment sur la zone des gorges du Mont Mille, où une absorption karstique très localisée a été identifiée (voir fig. 15 - profil 2007).

Plan des moulins (sortie basses gorges) – Ferrayonnes/pont A8 :

Dans la basse vallée du Loup, les formations du Jurassique disparaissent progressivement sous des dépôts d'alluvions plus récents. Sortant d'un système hydrogéologique de type karstique, la transition avec cet aquifère alluvionnaire est complexe.

La zone alluvionnaire en aval des gorges du Mont Mille se développe considérablement (largeur de la plaine entre 400 et 500 m et épaisseur de 45 à Villeneuve-Loubet et 100 m à l'embouchure) et se retrouve isolée des calcaires jurassiques.

Sur ce secteur, la confrontation des données piézométriques avec les débits du fleuve a montré que la rivière alimente naturellement la nappe alluviale sur la partie amont (plan des moulins) mais qu'elle draine le fleuve en aval au niveau de la zone du quartier des ferrayonnes.

Sur cette zone, la nappe est sollicitée par deux champs captants publics : les captages du Loubet (4 forages alluviaux) et celui des Tines (5 forages alluviaux).

C'est sur cette zone que le Loup s'est asséché en 1990 et 2005 (voir localisation figure 19 ci-dessous).

Les prélèvements en nappe sur la zone influencent les débits du Loup depuis la sortie des basses gorges jusqu'à 500 m en aval de la station des ferrayonnes. Par ailleurs, un jaugeage effectué en amont du virage pellegrin a mis en évidence que le débit du Loup continue à diminuer en aval de la station ferrayonnes (perte de 60 l/s sur 500 m).

En aval de cette zone, au droit du verrou constitué par les poudingues du pliocène, on trouve des sources et des suralimentations alluviales (sources des Tines, du Figuier, du Logis du Loup et du Loubet). Ces exutoires sont issus des poudingues qui relaient la nappe jurassique par un cheminement souterrain complexe et qui s'identifie par un enrichissement des eaux en chlorure et en sodium (concentration 10 fois plus importante par rapport au secteur ferrayonnes).

La carte ci-dessous met en évidence la position de la station DREAL par rapport à la zone d'assecs et au secteur d'apport du pliocène. On note clairement qu'elle est située au cœur de la zone d'alimentation par les poudingues. Le graphique de la figure 20 met en évidence une augmentation du débit entre la station ferrayonnes et celle de la DREAL de l'ordre de 150 à 200 l/s sur le mois de juillet. On remarque également des variations de débits à la journée liées aux prélèvements qui peuvent être importantes (de 100 à 200 l/s à la station DREAL).

A noter que la DREAL effectue les jaugeages de sa station 100 m en amont de la sonde (voir figure 19). Les jaugeages du CG effectués en août 2007 montrent que le débit du Loup continue d'être soutenu par les poudingues en aval jusqu'au pont de l'A8.

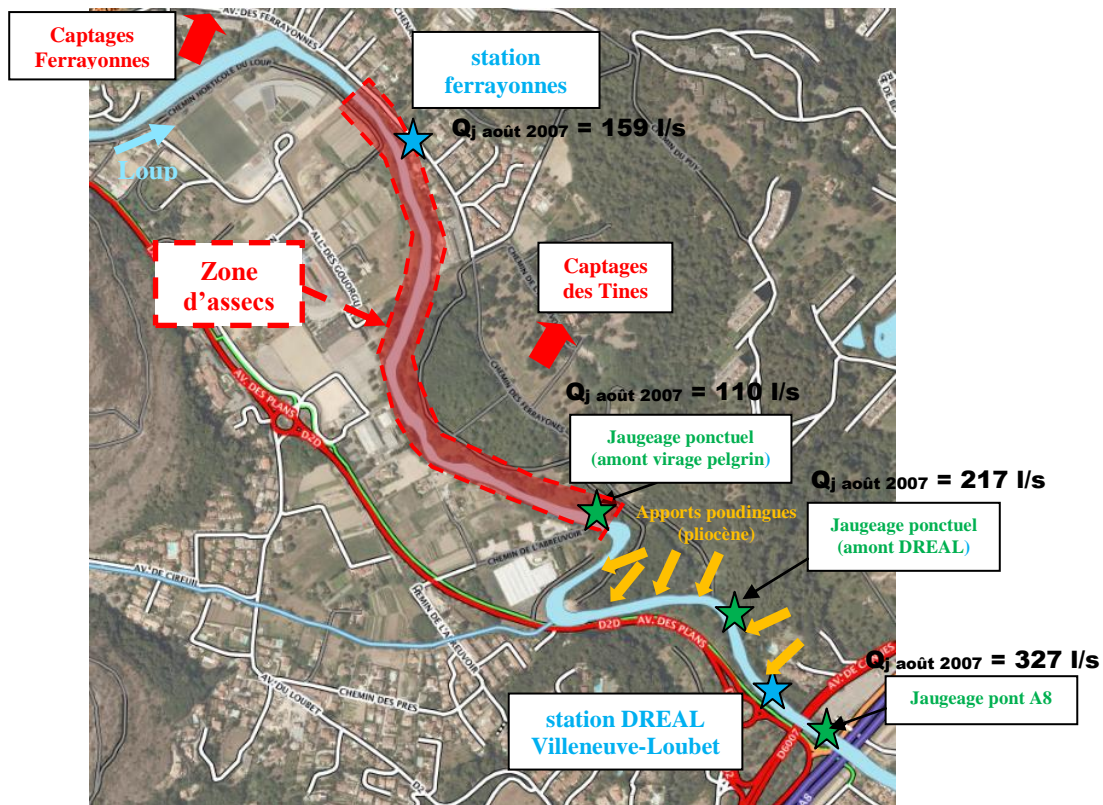


Figure 19 : schéma synthétique de la zone aval du Loup au niveau de Villeneuve-Loubet

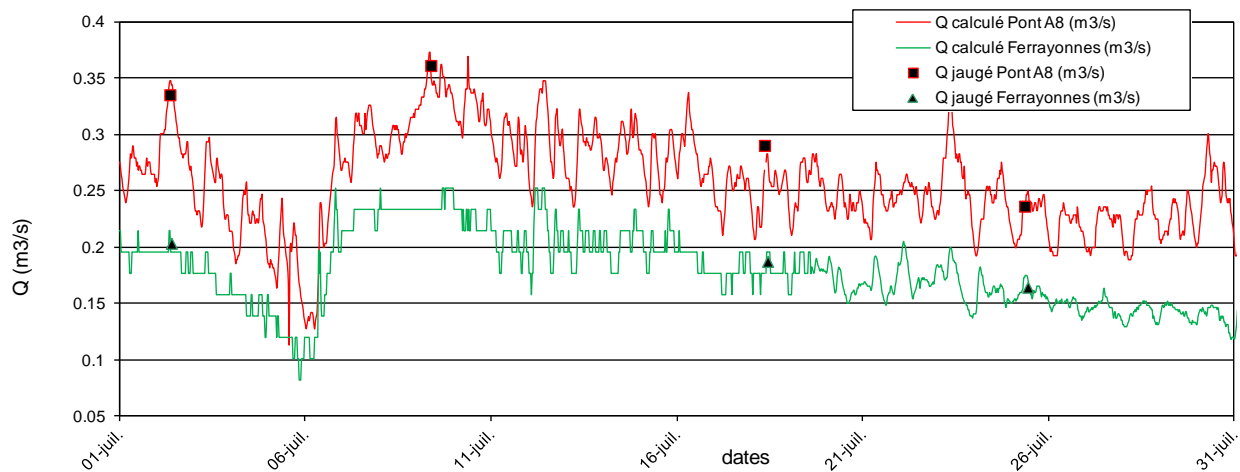


Figure 20 : comparaison des débits jaugés et calculés sur le mois de juillet 2007 entre les stations Ferrayonnes et pont A8

Zoom sur l'épisode de tarissement du Loup lors de l'été 2007

Au cours de l'été 2007, la station CG des ferrayonnes a permis d'alerter les autorités compétentes du passage des débits du Loup en-dessous de 100 l/s, considéré comme le seuil limite d'alerte avant assèchement potentiel du cours d'eau. Ceci a permis d'éviter l'assèchement du cours d'eau.

Le graphique ci-dessous retrace l'évolution des débits du Loup et celui des pompages en nappe alluviale au cours de cet épisode. On distingue 4 périodes :

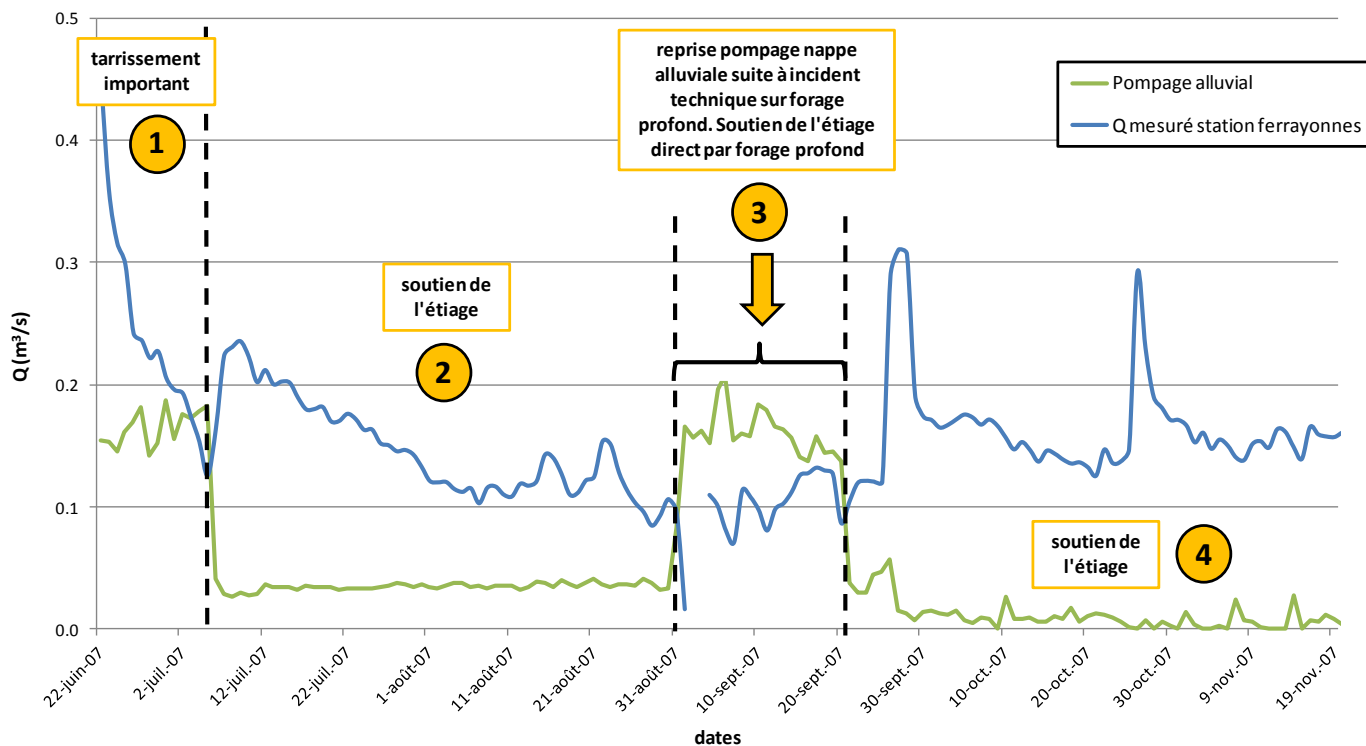


Figure 21 : évolution des débits journaliers à la station des ferrayonnes et des pompages en nappe alluviale durant l'été 2007

① Une période de tarissement important du Loup dont les débits passent de 227 l/s à 126 l/s en une semaine. Le 5 juillet 2007 à 21h, le débit du cours d'eau passe en-dessous de 100 l/s aux ferrayonnes. Les autorités sont alertées et ordonnent immédiatement l'arrêt des pompages en nappe alluviale pour soutenir l'étiage. Le forage profond du Loubet qui dispose d'une autorisation à titre exceptionnel se substitue aux forages alluviaux.

② Le 6 juillet 2007 à 9h, les débits sont déjà repassés au-dessus de 150 l/s. Malgré l'arrêt des pompages, les débits du fleuve continuent de baisser pour atteindre à nouveau 100 l/s le 31 août 2007.

③ Le 1^{er} septembre 2007, un problème de turbidité intervient sur le forage profond qui oblige le gestionnaire à réutiliser les forages alluviaux. Pour éviter l'assèchement, l'eau turbide du forage profond est réinjectée dans le Loup pour soutenir le débit. Les débits remontent au bout de 2 jours.

④ Le 20 septembre 2007, le problème de turbidité sur le forage profond est résolu. Les prélèvements sur les forages alluviaux sont stoppés et le forage profond est à nouveau utilisé pour l'AEP. Le soutien du Loup se poursuivra jusqu'à fin novembre.

Cet épisode a démontré la pertinence du positionnement de la station des ferrayonnes et son intérêt comme station d'alerte pour le suivi des étiages.

Pendant les étiages de 2007, 2008 et 2009, le Département a émis un compte-rendu hebdomadaire du suivi des débits en destination de l'État (DDTM), le SIRLDV, Véolia, Lyonnaise des Eaux, la commune de Villeneuve-Loubet et la Fédération de Pêche (voir annexe 1 exemple de CR hebdo de suivi des étiages du Loup en 2007).

*La station DREAL de Villeneuve-Loubet, qui sert de station d'alerte pour la surveillance des étiages, est située en aval d'une grande partie des apports des poudingues et **n'est donc pas représentative des débits de la zone d'assecs située en amont***
Elle sous-estime de 150 à 200 l/s la valeur du débit par rapport à la zone d'assecs en amont en période d'étiage fort.

3 Pressions cumulées des prélèvements aux points stratégiques de référence

Ce chapitre concerne l'évaluation de la pression des prélèvements au fil de l'eau et notamment aux points stratégiques de références définis ci-dessous. Les chapitres suivant évaluent l'impact des prélèvements sur la ressource en eau.

3.1 Les points stratégiques de référence

Les points stratégiques de référence ont été définis sur des secteurs où la pression des prélèvements est importante, pouvant présenter des baisses chroniques significatives de débits et présentant des caractéristiques permettant la définition des débits biologiques fonctionnels. Leur rôle est d'assurer, à l'échelle du bassin, un suivi des objectifs de bon état et de permettre le pilotage des actions de restauration de l'équilibre quantitatif si le déséquilibre est avéré.

Sur le bassin du Loup, 4 stations ont été choisies :

- **Cipières**, en aval des sources captées de Gréolières
- **Aval Bramafan**, en aval des captages des sources du Foulon, des Fontaniers et de Bramafan
- **Aval Lauron**, en aval des captages du Lauron et des Noyers
- **Ferrayonnes**, au niveau des captages du Loubet et des Tines. Secteur des assecs de 1990 et 2005 sur la partie aval du cours d'eau

3.2 Cumul de la pression moyenne des prélèvements entre juin et septembre au niveau des quatre points stratégiques de référence

Les tableaux ci-dessous présentent les débits prélevés mensuels sur les différents points de prélèvements et le cumul moyen mensuel aux quatre points stratégiques de référence entre 2005 et 2010 :

EVP Loup - Phase 3 : Impact des prélèvements sur la ressource en eau

points de prélèvements	janv	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	total /an
Gréolières	357	337	330	224	327	317	253	222	241	258	316	358	295
Source de Bramafan	80	88	138	104	112	103	96	50	41	72	97	80	88
Prise à Bramafan	4	0	14	14	13	27	42	48	37	28	9	5	20
Foulon	230	207	227	241	238	239	232	227	236	244	234	231	232
Fontaniers	71	70	73	67	64	62	58	53	50	49	55	69	62
Prise EDF	1 963	1 695	1 890	1 488	1 427	1 042	353	209	410	610	1 217	2 253	1 213
Noyers	1	1	3	6	8	10	13	11	5	2	1	0	5
Lauron	28	24	44	60	85	116	141	131	95	70	43	24	72
Capt. Loubet	76	73	84	99	106	128	158	157	118	89	82	74	104
Tines	140	136	151	160	168	187	208	205	174	149	144	135	163

2 mois les plus impactants

Tableau 1 : débit moyen mensuel prélevé par point de captage entre 2005 et 2010 en l/s

points stratégiques de référence	janv	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	total /an
Pont de cipièrre	357	337	330	224	327	317	253	222	241	258	316	358	295
Aval Bramafan	742	702	781	650	754	747	681	600	604	652	712	744	697
Aval Lauron	771	727	827	715	847	874	834	742	704	724	756	768	774
Ferrayonnes	847	801	911	814	953	1 001	992	899	822	813	838	842	878

2 mois les plus impactants

Tableau 2 : cumul des débits moyens mensuels sur les points stratégiques des références entre 2005 et 2010 en l/s

Remarque : les volumes prélevés par EDF pour l'hydroélectricité ne sont pas pris en compte dans le cumul des débits moyens mensuels prélevés aux points stratégiques de référence (tableau 2). En effet, ils impactent le cours d'eau uniquement sur 4 km dans les hautes gorges (voir phase 2 – 3.1). On remarque que les débits EDF dérivés sont les plus importants pour les mois de décembre et janvier et qu'ils sont jusqu'à 10 fois moins importants en période d'été.

Le graphique ci-dessous représente le cumul des débits prélevés aux points stratégiques de référence entre juin et septembre :

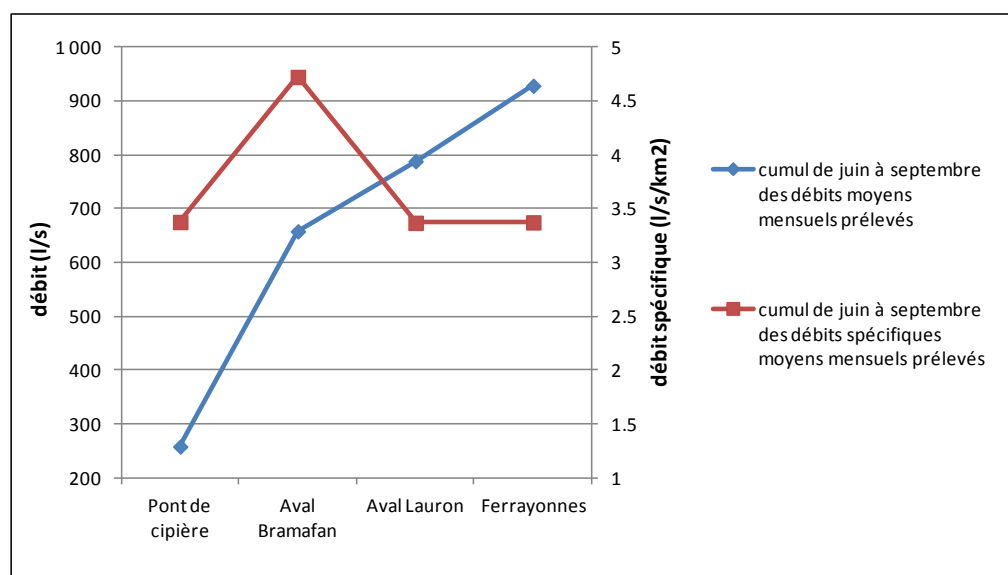


Figure 22 : cumulo des débits moyens mensuels prélevés aux points de référence entre juin et septembre

Principales observations :

- D'après la figure 22, la pression des prélèvements croit logiquement de l'amont vers l'aval. En revanche, en raisonnant en cumulo spécifique (débit rapporté à la surface du bassin), il ressort que les volumes prélevés sur la partie amont sont plus importants que sur la partie aval du bassin (4,7 l/s/km² de prélèvement en aval de Bramafan contre 3,4 l/s/km² en aval du Lauron et des ferrayonnes). Ceci est à mettre en parallèle avec la plus forte productivité du système karstique amont.
- Selon le tableau 1, les débits mensuels de prélèvements les plus importants sur l'année ont lieu sur la période janvier à mai pour la partie amont du bassin (captages gravitaires) et entre juillet et août sur la partie aval (capture en nappe).
- Selon le tableau 2, le cumulo mensuel moyen des débits prélevés est le plus important pour les mois de mai et juin sur la partie amont jusqu'au Lauron et pour les mois de juin et juillet sur la partie aval aux ferrayonnes.

La figure 23 ci-dessous permet de visualiser ce décalage entre l'amont et l'aval au niveau des points stratégiques de référence. Il indique également que la différence entre le maximum mensuel et la moyenne annuelle est relativement faible et varie entre 60 l/s à Pont-de-Cypièrre (+ 20 %) et 120 l/s à ferrayonnes (+ 12 %).

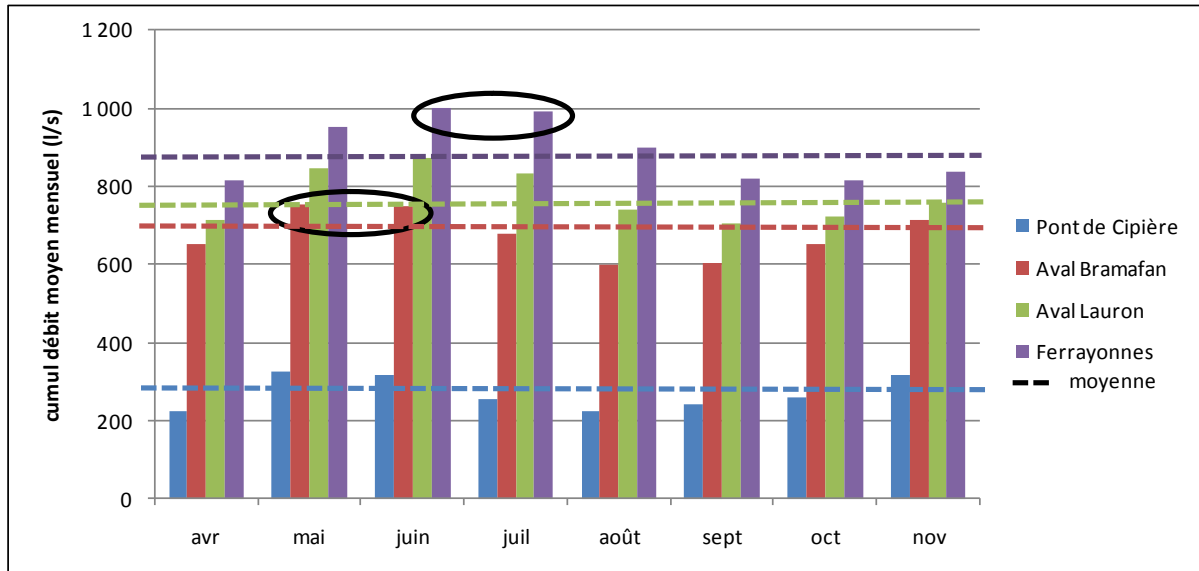


Figure 23 : cumul des débits moyens mensuels sur les points stratégiques des références d'avril à novembre (2005 - 2010)

Cependant, le graphique ci-dessus minimise le décalage dans le temps entre les prélèvements en nappe de la partie aval et les prélèvements gravitaire amont puisque la valeur du cumul des débits mensuels moyens aux ferrayonnes inclut les prélèvements à l'amont qui eux sont plus importants entre janvier et mai.

Le graphique 24 ci-dessous présente les cumuls des débits moyens mensuels prélevés sur la partie amont (de Gréolières à aval bramafan) puis sur la partie aval (d'aval Bramafan aux ferrayonnes). Un décalage de 2 mois ressort très nettement entre les prélèvements amont et aval du bassin du Loup.

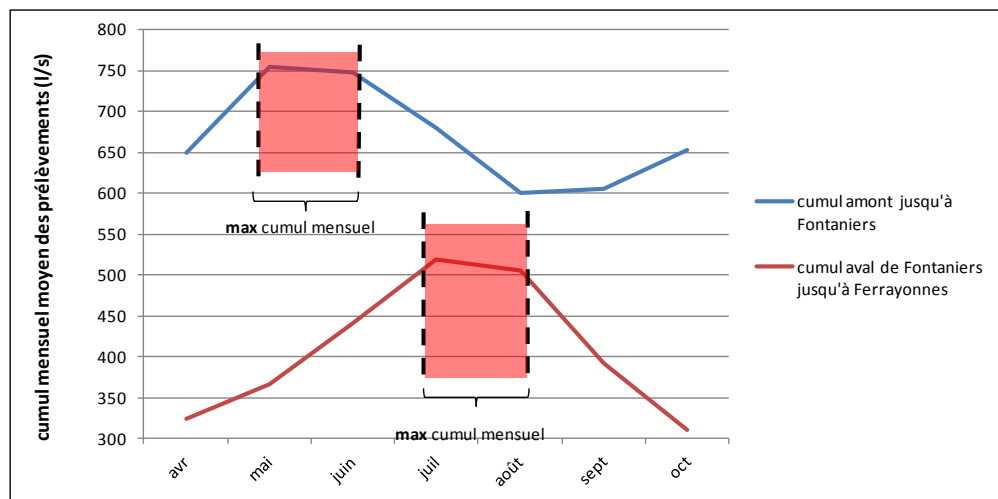


Figure 24 : cumul des débits moyens mensuels prélevés à aval bramafan et à ferrayonnes entre 2005 et 2010

C'est le caractère gravitaire des prélèvements sur la partie amont du bassin et le pompage en nappe sur la partie aval qui explique le décalage dans le temps de la pression des prélèvements. Les prélèvements gravitaires sont dépendants de la production naturelle du karst qui peut être limitée à l'étiage (juillet/août). Pour ce type de prélèvement en gravitaire, la pression est plus importante pour les mois de mai et juin.

A l'inverse, les prélèvements par captage en nappe sur la partie aval du bassin permettent de maintenir une sollicitation continue de la ressource même en cas d'étiage sévère. Pour ce type de prélèvement par pompage, la pression est plus importante pour les mois de juillet et août. Cette analyse rejoint les conclusions du bilan des prélèvements en phase 2.

4 Analyse des chroniques de débit des stations DREAL/CG06 et reconstitution des débits caractéristiques d'été

L'objectif est de déterminer les débits caractéristiques d'été influencés et non-influencés à partir des chroniques de débits et des volumes de prélèvements disponibles.

Dans un premier temps, nous étudions la corrélation entre les stations DREAL/CG06 sur une période commune afin d'évaluer l'intérêt d'une reconstitution de chronique à partir de stations proches.

L'analyse porte uniquement sur les données mensuelles et annuelles. En effet, comme indiqué plus haut, les variations journalières des débits étant importantes sur le Loup (liées aux prélèvements), l'établissement d'une corrélation journalière entre les stations est rendue difficile. Nous écartons donc l'analyse sur les données journalières et la reconstitution des débits types $VCN_{10\text{jour}}$ $T_{2\text{ans}}$ et $VCN_{10\text{jour}}$ $T_{5\text{ans}}$ à partir des données observées.

Par ailleurs, les périodes de données disponibles sur les stations CG06 sont courtes, réduites à une année pour la plupart et sont exploitables uniquement sur la période d'été. En effet, l'intérêt de ces stations mobiles est de pouvoir observer les variations journalières des débits en période de faible débit. Elles ne sont donc pas exploitables pour reconstituer des chroniques de débits mensuelles et annuelles. Seule la station des ferrayonnes dispose de 21 données mensuelles, réparties sur 5 années qui permettent d'envisager une reconstitution des débits mensuels d'été et du QMNA5 à titre indicatif.

Variabilité journalière des débits

Les débits du Loup présentent une variabilité journalière significative qui devient importante en période d'été. Ces variations sont du principalement aux prélèvements AEP. Les mesures effectuées par les **stations CG** amont et aval Lauron en 2007 mettent en évidence une à deux phases de prélèvement par jour (cf. 2.3.3).

On note des variations de débits entre 100 l/s et 200 l/s sur la station située en aval du site de prélèvement du Lauron. Les prises de mesures ont été effectuées toutes les heures.

Pour les **stations de la DREAL**, les prises de mesures aux stations sont réalisées à intervalles discontinus (de 3h à 15h entre les mesures). Cette variabilité a pour conséquence que la comparaison des débits jaugés avec les débits relevés au niveau de la station peut être très différente en fonction de l'heure de jaugeage et de l'heure de prise de mesure. Les débits jaugés sont donc recalés par rapport aux données instantanées disponibles à la station.

4.1 Données hydrologiques observées disponibles

Les débits des stations DREAL sont extraits de la banque de données nationales sur l'eau (Banque HYDRO). Ce sont des stations qui disposent d'une longue chronique continue de données. Les débits des stations CG06 présentent des chroniques de données discontinues et courtes. Les tableaux 3 et 4 récapitulent les périodes disponibles des deux types de stations.

Code hydro	Nom station	Surface (km ²)	Données disponibles
Y5615020	LE LOUP à GOURDON [LOUP AMONT] - EDF	140	QJ 1951 - 2007
Y5615010	LE LOUP à TOURRETTES-SUR-LOUP [LES VALLETES]	206	QJ 1970 -2011
Y5615030	LE LOUP à VILLENEUVE LOUBET [MOULIN DU LOUP]	279	QJ 1981 -2011

Tableau 3 : période de données disponibles pour les stations DREAL

Nom station	Surface (km ²)	Données disponibles
CIPIERES	76	QJ 30/05/2011 au 21/10/2011
PONT BRAMAFAN	120	QJ 30/05/2011 au 30/08/2011
AVAL BRAMAFAN / AMONT PRISE EDF	138	QJ 30/05/2011 au 18/10/2011
PONT CASSE	189	QJ 14/04/2007 au 18/02/2008
AMONT LAURON	213	QJ 30/03/2007 au 25/01/2008
AVAL LAURON	234	QJ 30/03/2007 au 27/02/2008 06/07/2011 au 17/10/2011
FERRAYONNES	275	QJ 19/03/2007 au 31/10/2007 24/07/2008 au 31/10/2008 01/06/2009 au 10/09/2009 30/09/2009 au 30/09/2010 01/04/2011 au 31/10/2011

Tableau 4 : périodes disponibles pour les stations DREAL

4.2 Corrélation entre les stations et reconstitution des chroniques de débits

Pour les **stations de la DREAL**, les corrélations entre les stations pour les débits annuels et mensuels ont été étudiées en vue de calculer les débits caractéristiques d'étiages. Les tableaux suivants synthétisent les résultats :

	Coef. Corr Q annuel		Coef. Corr Q mensuel
	R ² (Q _{périodes communes})	R ² (Q ₁₉₇₀₋₂₀₁₁)	R ² (Q _{périodes communes})
Q _{villeneuve} / Q _{Tourettes}	0,87 (29 valeurs)	0,94 (42 valeurs)	0,92 (404 valeurs)
Q _{villeneuve} / Q _{Gourdon}	0,89 (24 valeurs)	0,93 (42 valeurs)	0,92 (419 valeurs)
Q _{Tourettes} / Q _{Gourdon}	0,94 (31 valeurs)	0,96 (42 valeurs)	0,94 (371 valeurs)

Tableau 5 : corrélation entre Qannuels et Q mensuels

	Q _{mensuel} du même mois villeneuve	Q _{mensuel} du même mois tourettes	Q _{mensuel} du même mois gourdon
Q _{mens} < 2m ³ /s (villeneuve)	/	0,64	0,56
Q _{mens} < 2m ³ /s (tourettes)	0,59	/	0,57
Q _{mens} < 2m ³ /s (gourdon)	0,66	0,70	/

Tableau 6 : corrélation entre stations pour Q < 2m³/s

Principales observations et commentaires :

- Les stations sont bien corrélées pour les *débits annuels* sur les périodes communes (colonne 1 tableau 5), entre 0,87 et 0,94 ce qui permet de reconstituer les valeurs pour une période plus large commune aux stations (colonne 2 tableau 5).
- Les stations sont également bien corrélées pour les *débits mensuels* (tableau 1), entre 0,92 et 0,94. Le tableau 6 met en évidence que la relation se dégrade pour les débits plus faibles inférieurs à 2 m³/s, avec un coefficient de corrélation variant de 0,57 à 0,70. Cette détérioration identifie l'influence et le rôle prépondérant des prélèvements, des échanges nappes/cours d'eau sur les débits en période de basses eaux mais aussi celui des effets de seuils sur les courbes de tarages. La reconstitution de chroniques de débits mensuels à partir d'autres stations est moyenne pour les débits faibles.

On se propose de reconstituer la période de 2007 à 2011 à Gourdon à partir de la chronique de Tourettes-sur-Loup ($R^2 = 0,70$). Pour la station de Villeneuve-Loubet, la meilleure corrélation, avec Tourettes-sur-Loup (0,64), ne permet pas de bien reconstituer les débits de 1970 à 1980. La relation a tendance à sous-estimer fortement les débits à Villeneuve-Loubet sur cette période (-35 % sur le QMNA5).

Sur la chronique de débits de 1970 à 2011 des stations de Tourettes-sur-Loup et Gourdon, on note une diminution de 11 % du QMNA5 par rapport à la période 1980 – 2011. Étant donné que la relation entre la station de Villeneuve-Loubet et ces deux stations est mauvaise pour les débits faibles et ne permet pas de reconstituer convenablement le QMNA5 entre 1970 et 1980, on se propose d'affecter un coefficient de - 11 % sur la valeur du QMNA5 de la station de Villeneuve-Loubet pour la période 1980 - 2011 pour définir le QMNA5 à Villeneuve-Loubet sur la période 1970 - 2011. On considère donc ici que les tendances de fluctuations observées des débits d'étiage peuvent être régionalisées à l'ensemble du bassin versant du Loup.

La **station CG des ferrayonnes** dispose de 21 données mensuelles entre 2007 et 2011 pour des débits faibles à moyen. Le tableau suivant montre les corrélations avec les données mensuelles de la station DREAL de Villeneuve-Loubet pour différentes gammes de débits :

	Coef. Corr Q mensuel
Q _{villeneuve} / Q _{Ferrayonnes}	0,95 (21 valeurs)
pour Q _{mens} < 2m ³ /s (villeneuve)	0,97 (17 valeurs)
pour Q _{mens} < 1m ³ /s (villeneuve)	0,91 (13 valeurs)
pour Q _{QMNA5} (villeneuve)	0,96 (5 valeurs)

Tableau 7 : corrélation des débits mensuels entre la station DREAL de Villeneuve-Loubet et la station CG des Ferrayonnes pour différentes gammes de débits

Contrairement aux stations de la DREAL, la corrélation entre ces deux stations est bonne pour des valeurs de débits faibles. On note une bonne relation entre les valeurs de QMNA5 mesurées sur cette période mais seulement sur 5 valeurs, ce qui n'est pas représentatif statistiquement. Cependant, la reconstitution des débits mensuels de faible hydraulicité aux ferrayonnes est cohérente à partir de la station de Villeneuve-Loubet pour obtenir un QMNA5 indicatif aux ferrayonnes.

La relation pour des débits de forte hydraulicité n'a pas pu être établie. La reconstitution du module entre les deux stations n'a donc pas été possible avec les données disponibles. Cependant, compte tenu de la proximité entre les deux stations, on peut s'attendre à ce que le module à la station des ferrayonnes soit très proche de celui de la station de Villeneuve-Loubet. Ceci sera étudié dans la reconstitution par modélisation plus bas.

4.3 Naturalisation des débits influencés et détermination des débits caractéristiques d'étiage : 1/10 module et QMNA5

Compte tenu des remarques ci-dessus sur la corrélation entre les stations, on choisit de :

- **Reconstituer les modules aux stations DREAL pour disposer de la période 1970 à 2011 (42 années) et calculer le 1/10 module.**
- **Calculer le QMNA5 sur la période 1970 à 2011 (42 années) pour les stations DREAL** en reconstituant la période 1970 à 1980 de Villeneuve-Loubet et la période 2007 à 2011 de Gourdon à partir de la station de Tourettes-sur-Loup.
- **Reconstituer les QMNA à la station des ferrayonnes sur la période 1970 - 2011 et calculer un QMNA5 « indicatif » à la station CG des ferrayonnes** sur cette même période à partir de la station de Villeneuve-Loubet compte tenu de la bonne corrélation des débits mensuels faibles à moyen entre les stations sur la période de mesure disponible de la station ferrayonnes (2007 – 2011).

4.3.1 Naturalisation des débits influencés

Le débit naturel du cours d'eau correspond au débit qui coulerait en l'absence de régulation et de prélèvements.

$$Q_{\text{nat}} = Q_{\text{inf}} + \Delta S_{\text{barrage}} + P$$

avec :

- Q_{nat} = le débit naturel reconstitué,
- Q_{inf} = le débit influencé (mesuré au point considéré),
- $\Delta S_{\text{barrage}}$ = la variation de stock d'eau dans le barrage = $Q_{\text{sortant}} - Q_{\text{entrant}}$. Dans le cas du bassin du Loup, aucun barrage n'influence les cours d'eau.
- P = le prélèvement net global sur le cours d'eau à l'amont du point de référence.

Valeurs des prélèvements retenues

Les prélèvements ont été étudiés en phase 2. Les usages pour l'alimentation en eau potable et pour l'hydroélectricité représente l'essentiel des prélèvements sur le bassin versant du Loup (98 %).

Les débits aux stations de la DREAL et des ferrayonnes n'étant pas concernés par l'usage hydroélectrique, qui concerne seulement 4 km de linéaire de cours d'eau en amont de Pont-du-Loup, seuls les prélèvements AEP sont pris en compte :

- Les prélèvements *gravitaires* par les sources ou la prise d'eau de Bramafan sont considérés comme totalement soustraits au milieu avec un impact direct sur le débit de la rivière et sont intégralement pris en compte dans le calcul du débit naturalisé.
- Les prélèvements *en nappe* sont quasi-continus tout au long de l'année. Une fois la période de mise en route des forages passé (considérée comme négligeable à l'échelle annuelle), on considère que tout ce qui est prélevé impacte directement le cours d'eau.
Pour la naturalisation des débits, on ajoute également intégralement la valeur du débit prélevé à la station de pompage.
Rq : cette règle est maximisante puisque les prélèvements peuvent partiellement être compensés par des aquifères bordiers.

Nous disposons des chroniques de prélèvements mensuels sur la période 2005 – 2011 :

- Pour la période 2005 – 2011, les débits mensuels ont été naturalisés à partir des débits mensuels prélevés sur la même période.
- Pour la période antérieure 1980 – 2005, les débits mensuels ont été naturalisés en prenant la moyenne des débits prélevés du mois considéré sur 2005 – 2011.

4.3.2 Débits caractéristiques d'étiage reconstitués : 1/10 module et QMNA5

Le tableau et les graphiques suivants présentent le 1/10 du module et le QMNA5 mesurés reconstitués et naturalisés aux stations étudiées :

	DREAL Villeneuve-Loubet	station CG Ferrayonnes	DREAL Tourettes- sur-Loup	DREAL EDF Gourdon
<i>Surface BV (km2)</i>	279	275	195	139
1/10 module mesuré reconstitué (l/s) (1970-2011)	505	/	376	220
1/10 module naturalisé (l/s) (1970-2011)	610	/	446	290
rapport 1/10 module mesuré/naturalisé (%)	83%	/	84%	76%
QMNA5 mesuré reconstitué (l/s) (1970-2011)	230	170	320	160
QMNA5 naturalisé (l/s) (1970-2011)	1160	980	930	760
rapport QMNA5 mesuré/naturalisé (%)	20%	17%	34%	21%
rapport QMNA5/ 1/10 module mesuré reconstitué	46%	/	85%	73%
rapport QMNA5/ 1/10 module naturalisé	190%	/	209%	262%

Tableau 8 : 1/10 module et QMNA5 mesurés reconstitués et naturalisés aux stations DREAL et Ferrayonnes

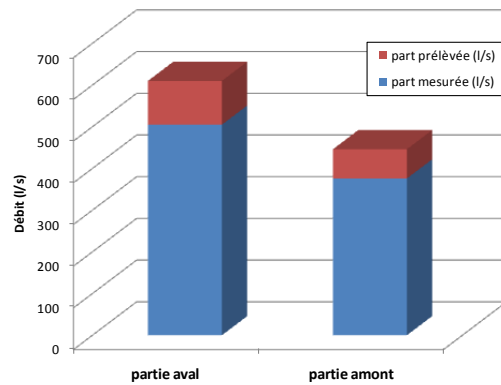


Figure 25 : 1/10 du module naturalisé et part prélevée sur les parties aval et amont du loup (l/s)

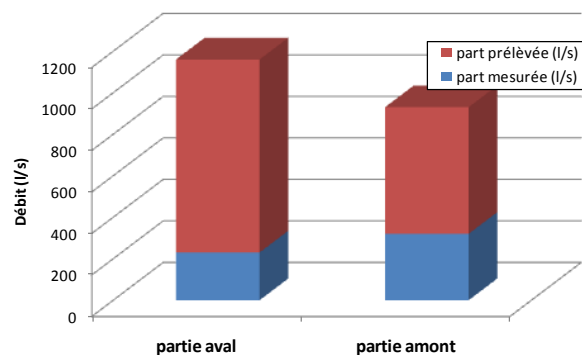


Figure 26 : QMNA5 naturalisé et part prélevée sur les parties aval et amont du loup (l/s)

Principales observations sur les résultats :

- **Comparatif des débits amont/aval** : La logique de croissance du 1/10 de module de l'amont vers l'aval est respectée à la fois pour les débits mesurés et naturalisés, ce qui n'identifie pas de déséquilibre apparent sur le bassin. En revanche, pour le QMNA5, si la croissance des débits d'amont vers aval est vérifiée pour les débits naturalisés, ce n'est pas le cas pour les valeurs mesurées. On constate clairement que le QMNA5 à Villeneuve-Loubet est plus faible que celui de Tourettes-sur-Loup pourtant situé plus en amont (230 l/s à Villeneuve-Loubet contre 320 l/s à Tourettes-sur-Loup) et celui des ferrayonnes est plus faible que celui de Villeneuve-Loubet (160 l/s aux ferrayonnes). Ces chiffres confirment les observations sur les profils en long des jaugeages ponctuels pour les QMNA5.
- **Rapport débits mesurés/naturalisés** : le rapport entre les débits mesurés et naturalisés est de l'ordre de 80 % sur l'ensemble des stations pour le 1/10 de module tandis que pour le QMNA5, il est de l'ordre de 20 % pour les stations DREAL Villeneuve-Loubet, Ferrayonnes (partie aval) et DREAL Gourdon (partie amont), et de 40 % à la station DREAL de Tourettes-sur-Loup.
- **Rapport QMNA5/ 1/10 module** : le rapport QMNA5 par rapport au 1/10 module est largement inférieur à 100 % pour les débits mesurés, notamment pour Villeneuve-Loubet (46 %). Pour les débits naturalisés, il est situé entre 190 % pour Villeneuve-Loubet et 262 % pour Gourdon.

Interprétation :

A ce stade, il est important de souligner que le 1/10 de module est une valeur qui ne permet pas d'appréhender l'impact réel des prélèvements en période d'étiage. Cette valeur lisse et globalise l'impact des prélèvements à l'échelle annuelle.

En revanche, la reconstitution du QMNA5 met en évidence une pression importante des prélèvements en période d'étiage. En effet, on constate que la part soustraite au milieu est très importante sur cette période, entre 81 % (DREAL Villeneuve-Loubet) et 63 % (DREAL Tourette-sur-Loup).

La position du QMNA5 par rapport au 1/10 du module permet d'estimer la sévérité des étiages. D'après la littérature scientifique, dans le cas général (90 % des cours d'eau français), le QMNA5 est supérieur au 1/10 du module (ou QMNA > 10% du module) naturellement.

Comme indiqué ci-dessus, ce rapport est supérieur à 200 % sur toutes les stations du Loup ce qui traduit le caractère **naturellement très abondant** du fleuve à l'étiage et particulièrement à Gourdon (270 %).

Le rapport entre le QMNA5 et le 1/10 module mesuré permet d'évaluer l'impact des prélèvements sur les débits en période d'étiage.

Il atteint 85 % et 73 %, respectivement à Tourettes-sur-Loup et Gourdon, tandis qu'il est de 46 % à Villeneuve-Loubet.

Ces résultats corroborent l'analyse au *chapitre 3* sur la pression cumulée des prélèvements qui indique que **l'impact des prélèvements est important sur la partie aval du bassin versant (secteur Villeneuve-Loubet - ferrayonnes) en période d'étiage**. En effet, les prélèvements en nappe localisés sur la partie terminale permettent de « forcer » la sollicitation de la ressource en étiage contrairement aux prélèvements gravitaires en amont qui, bien qu'étant important à l'échelle annuelle, sont limités en période de basses eaux.

4.4 Limites et perspectives

La démarche de reconstitution des débits d'étiage ci-dessus permet d'obtenir des débits caractéristiques d'étiages cohérents pour le 1/10 de module et le QMNA5, à la fois pour les débits mesurés et naturalisés.

Cependant, la reconstitution des chroniques de débits se limite aux seules stations de référence de la DREAL et les réseaux de mesures hydrologiques disponibles sur le bassin ne permettent pas de s'appuyer sur des observations pour étudier les phénomènes en tout point.

Il s'avère nécessaire de recourir à une modélisation des écoulements pour extrapoler aux stations stratégiques de référence, particulièrement pour les débits d'étiage.

5 Modélisation des écoulements du Loup

Cette étude a été confiée à l'Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA). L'objectif est de définir en divers points du bassin versant (stations stratégiques de référence) du Loup les principaux quantiles caractéristiques d'étiage: QMNA, QMNA2, QMNA5, 1/10 module, 1/20 module, VCN10.

La modélisation des écoulements à partir de la pluie présente l'avantage d'être globale et non limitée à une variable hydrologique. On modélise les processus hydrologiques pour générer des scénarios de débits d'où sont tirées des grandeurs statistiques. La régionalisation est alors reportée sur les paramètres du modèle pluie-débit. Les paramètres régionaux permettent de simuler en divers points du bassin versant, des chroniques datées de débits mensuels, à partir desquelles peuvent être extraites les valeurs caractéristiques d'étiage.

Dans la modélisation hydrologique utilisée (modèle GR_{LOIEAU} – *Folton et Lavabre 2007*), les données utilisées sont issues d'une référence climatique spatialisée: la ré-analyse SAFRAN (Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Atmosphériques à la Neige) mise à disposition par Météo-France. Ce système fournit des précipitations, températures et hauteurs de neige au pas de temps journalier sur la période 1961-2012. Le travail a consisté à étudier les débits observés et à les naturaliser. Les performances du modèle en calage sur ces débits sont très correctes, une régionalisation des paramètres a pu être proposée.

5.1 Les données

5.1.1 Les données SAFRAN

Les précipitations, températures et hauteurs de neige sont issues du système SAFRAN (*Durand et al 1993, Etchevers 2000, Le Moigne, 2002*) mis à disposition par Météo-France. SAFRAN (Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Atmosphériques à la Neige) est un système d'analyse de l'atmosphère à moyenne échelle développé par Météo-France, et qui a pour objectif de produire des valeurs en surface de diverses variables climatiques et hydrométéorologiques. Il fournit à l'échelle de la France entière des données de variables climatiques (rayonnement, vent, température, humidité, précipitation, neige) sur 8700 mailles de 8 km de côté. Les données SAFRAN utilisent toutes les données disponibles, c'est à dire les sorties des modèles utilisés pour les prévisions météorologiques et sont complétées par les observations en altitude et au sol (stations météorologiques et climatologiques, par exemple). Le tout est compilé et interpolé pour produire une première sortie sur 612 zones décrites comme climatologiquement homogènes en France. Ensuite toutes ces variables sont interpolées à partir des gradients topographiques sur une maille régulière de 8 par 8 km au pas horaire. L'ETP moyenne utilisée est calculée à partir de la formule établie par Oudin (*2004*). Il a mis au point une formule d'Évapotranspiration (ETP) adaptée à la modélisation pluie-débit. Cette ETP dépend uniquement de la température de l'air et du rayonnement extraterrestre. L'ensemble de ces informations est disponible sur le territoire national, à la maille de 8 par 8 km sur la période 1961-2012.

5.1.2 Données hydrologiques observées

Les données hydrologiques utilisées sont les mêmes qu'au 4.1, à savoir les débits des stations DREAL extraites de la banque de données nationales sur l'eau (Banque HYDRO) qui disposent d'une longue chronique continue de données et les débits des stations CG06 qui présentent des chroniques de données discontinues et courtes.

5.2 Le modèle mensuel ($GR_{\text{loiveau-pixel}}$) intégrant les données issues du système SAFRAN

5.2.1 Le modèle

Safran permet de disposer d'une information spatiale et temporelle par maille régulière. Afin de valoriser ces données spatialisées, on procède à une modélisation de la fonction de production par pixel, définie selon le maillage du système Safran. Sur chaque pixel les données d'entrée journalières (précipitation, ETP, température, neige) alimentent la fonction de production (figure 27). Cette fonction est donc considérée séparément par pixel. Le niveau (A) du réservoir S a été identifié par pixel, au niveau du territoire national.

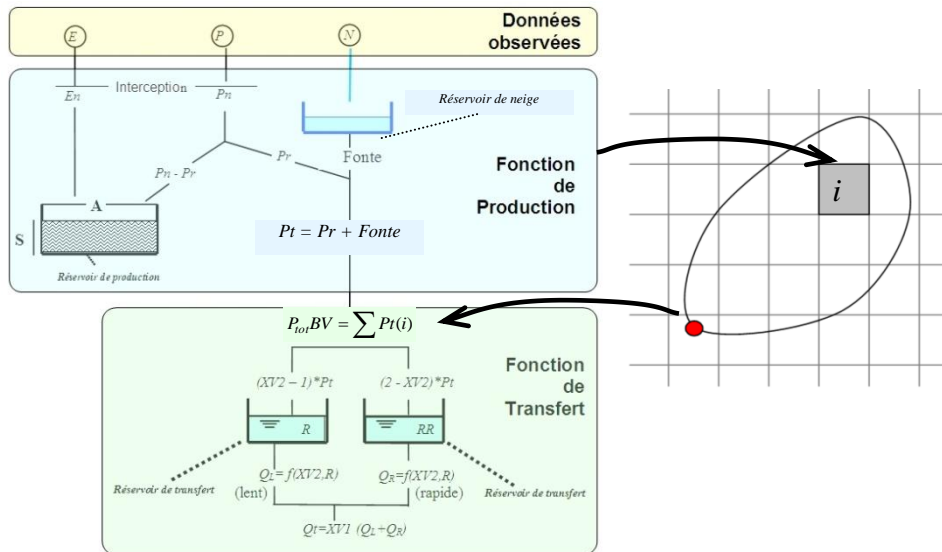


Figure 27 : schéma du modèle hydrologique

En chaque pixel et au pas de temps journalier sont estimés :

- ✓ la quantité de pluie ruisselée (Pr),
- ✓ la fluctuation du réservoir S.
- ✓ le stockage et la fonte de la neige.

La neige (N) est dirigée vers un réservoir qui représente le stock de neige propre à chaque pixel. Ce réservoir est initialisé à 0 mm lors du lancement de la modélisation et alimenté uniquement par la donnée neige de Safran. On s'inspire pour la gestion du stock de neige de la méthode degré-jour, la plus répandue dans la littérature (Valéry, 2010), le coefficient de fonte ayant été préalablement calé.

Les lames de fonte et les pluies ruisselées sont ensuite agrégées pour former une unique lame d'eau écoulee à l'échelle du bassin (P_{tot} BV). Pour effectuer la moyenne sur le bassin, seuls les pixels dont le centre de la maille est contenu dans le contour du bassin sont utilisés. Ce calcul sert à connaître la valeur moyenne de la pluie ruisselée sur le bassin. Le cumul mensuel des lames alimentent la fonction de production qui reste mensuelle.

La modélisation de la pluie en débit est réglée par deux fonctions principales. La fonction de production gère au mieux le bilan en volume du bassin. Elle traduit la plus ou moins bonne aptitude du bassin à produire des écoulements. Elle est réglée par le paramètre XV1. La distribution des débits dans le temps, ici au pas de temps mensuel, est assurée par la fonction de transfert (paramètre XV2). Cette fonction rend compte du décalage dans le temps entre la pluie et les écoulements. Le comportement hydrologique du bassin versant est donc réglé par les deux paramètres XV1 et XV2.

XV1 est le paramètre de réglage de la fonction de production. Il gère le bilan du bassin versant par un facteur multiplicatif des débits de chaque mois. Le paramètre est strictement le même pour tous les mois de toutes les années. Selon la structure imposée par le modèle, ce paramètre ne corrige en fait que le débit total sortant. XV1 est positif et non borné. Des valeurs proches de 0 indiquent une tendance à de faibles écoulements du bassin, alors que des valeurs supérieures à 2 sont généralement le fait de bassins versants pour lesquels les entrées météorologiques, pluie et neige, sont sous-estimées.

XV2 est le paramètre de réglage de la fonction de transfert du modèle. Il règle la partie de l'écoulement qui se répartit entre deux réservoirs de transfert, notés (R) et (RR). Le réservoir (R) est muni d'une vidange lente, à l'opposé du réservoir (RR), qui comporte une vidange rapide. XV2 est compris entre 1 et 2. Le bassin réagit d'autant plus rapidement que XV2 est proche de 1. Si XV2 est égal à 1, toute la pluie nette est directement transférée à la rivière pendant le mois durant lequel elle est observée. Dans ce cas, il n'y a aucun stockage dans le réservoir de transfert rapide. De telles valeurs caractérisent les bassins versants très réactifs, souvent associés à des terrains à fort coefficient de drainage. Si $XV2 = 2$, toute la pluie nette du mois pénètre dans le réservoir de transfert lent. Ce cas concerne des bassins versants qui possèdent une grande inertie, souvent associés à des cours d'eau à fortes contributions souterraines.

5.2.2 Procédure de calage- contrôle du modèle

La fonction critère retenue pour le calage des deux paramètres du modèle est le coefficient proposé par Nash et Sutcliffe (1970) calculé sur les racines carrées des débits. Il s'écrit :

$$Nash_{\sqrt{Q_m}} = \left(1 - \frac{\sum(\sqrt{Q_{obs}} - \sqrt{Q_{cal}})^2}{\sum(\sqrt{Q_{obs}} - \sqrt{Q_{obs}})^2} \right)$$

Il minimise l'écart quadratique entre les valeurs des débits observés et calculés, il est appliqué ici sur la racine carrée des débits mensuels datés. Ce critère calculé sur les valeurs racines des débits permet d'accorder une importance moindre aux fortes valeurs de débits. $Nash = 1$ correspond à une prédiction parfaite, $Nash < 0$ témoigne de performances moins efficaces qu'une simple moyenne des valeurs observées. Elle est dénommée **Fonction critère 1**.

Sur les stations présentant des séries de débits d'au moins une quinzaine d'années, nous avons adopté une démarche multicritères pour aborder le calage des paramètres et obtenir ainsi un modèle robuste pour plusieurs objectifs complémentaires : une bonne restitution des étiages en plus des débits mensuels. En effet comme l'objectif de l'étude est de connaître les évolutions du système en période d'étiage, il est important que le modèle représente bien les faibles débits. La **Fonction critère 2** retenue est composée de plusieurs critères statistiques d'évaluation de la qualité du modèle avec ajout de pondérations. Elle s'écrit :

$$\mathbf{Fonction\ critère\ 2} = 0.5 (1 - Nash_{\sqrt{Q_m}}) + 0.3 \varepsilon_{relative\ QA} + 0.2 \varepsilon_{relative\ QMNA5}$$

avec : $Nash_{\sqrt{Q_m}}$ le critère précédent

L'écart relatif sur la valeur absolue des moyennes annuelles (QA) est donné par :

$$\varepsilon_{QA_{relative}} = \left(\frac{|QA_{cal} - QA_{obs}|}{QA_{obs}} \right)$$

L'écart relatif sur la valeur absolue de la variable d'étiage de référence $QMNA5$ est donné par :

$$\varepsilon_{QMNA_{relative}} = \left(\frac{|QMNA5_{cal} - QMNA5_{obs}|}{QMNA5_{obs}} \right)$$

La *Fonction critère 2* présente un compromis pertinent entre les différents aspects de restitution des débits.

5.3 Les résultats

5.3.1 Test de calage du modèle sur les débits mesurés aux stations DREAL

5.3.1.1 *Résultats sur les stations présentant des données de chroniques longues (stations DREAL)*

Le tableau 9 permet d'apprécier les performances des jeux de paramètres sur la restitution des chroniques de débits mensuels mesurés aux stations hydrologiques (données Banque Hydro) pour les deux critères d'optimisation. Le tableau 9 présente les valeurs de références mesurées et simulées.

Stations	superficie BV km ²	Fct Critère 1 NASH QM	Fct Critère 2 NASH QM	Qannuel mesuré (l/s)	Qannuel calculé FC1 (l/s)	Qannuel calculé FC2 (l/s)	QMNA5 mesuré (l/s)	QMNA5 calculé FC1 (l/s)	QMNA5 calculé FC2 (l/s)
Loup à Gourdon (1951-2007)	140	88,80	88,31	2348	2288	2343	155	195	156
Loup à Tourette sur Loup (1970-2011)	206	90,52	90,28	3590	3503	3571	352	304	330
Loup à Villeneuve Loubet (1980-2011)	279	91,62	91,61	4393	4284	4218	249	252	243

Tableau 9 : résultats du calage du modèle sur les chroniques des stations de la DREAL (distribution du critère de NASH sur la racine carrée des débits mensuels selon les deux fonctions critères - 1/10 module et QMNA5 selon les deux critères d'optimisation)

Les bassins du Loup sont correctement reproduits avec des critères de Nash supérieurs à 90% notamment pour le Loup à Tourettes-sur-Loup et à Villeneuve-Loubet. L'analyse de la performance du modèle sur la restitution des débits de références est synthétisée sur les figures ci-dessous. La figure 29 présente la restitution des débits moyens annuels (QA), et la figure 28 présente la restitution des $QMNA5$.

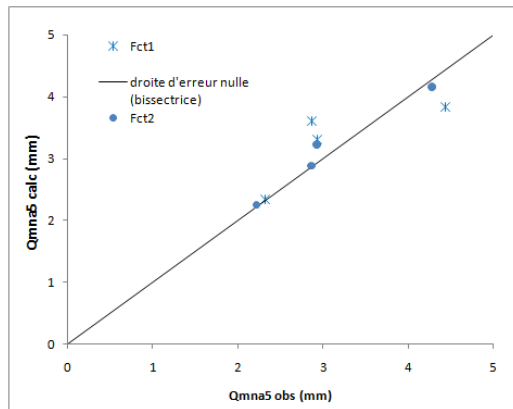


Figure 29 : comparaison des lames annuelles observées et calculées

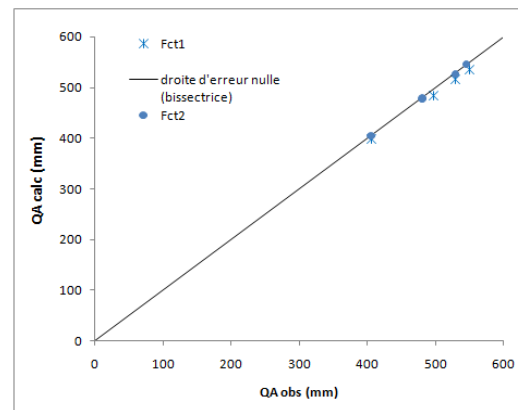


Figure 28 : comparaison des QMNA5 observés et calculés

Les résultats de modélisation pour l'ensemble des stations sont présentés dans l'annexe 2. On remarque que les débits à Tourettes-sur-Loup sont supérieurs à ceux de Villeneuve-Loubet comme observé plus haut. Le modèle permet de restituer ce constat.

5.3.1.2 Résultats sur les stations présentant des données de chroniques courtes discontinues (stations CG)

Le modèle mensuel ne peut être convenablement calé qu'à partir de chroniques disponibles sur au moins 5 années. Ainsi seules les données de la station ferrayonnes ont pu être exploitées pour le calage du modèle. La station dispose de 21 données mensuelles, réparties sur 5 années. Le calage du modèle est effectué uniquement avec la fonction critère 1. En effet la fonction critère 2 fait référence au calcul du QMNA5, et ici les données mensuelles sont trop peu nombreuses pour obtenir un débit statistique représentatif. Le critère de Nash calculé sur la racine carrée des débits mensuels est de 68,5%. Les débits mensuels observés et calculés sont tracés sur la figure 30 ci-dessous.

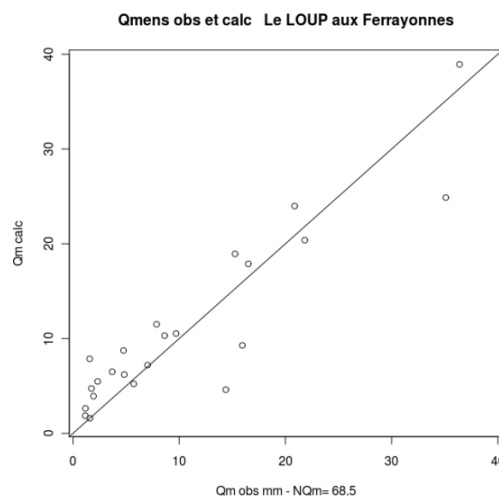


Figure 30 : comparaison des débits mensuels observés et calculés

5.3.1.3 Discussion

Sur la figure 31 ci-dessous est reportée la distribution des deux paramètres en fonction de la surface des bassins versants et selon les deux options de calage. On constate que le choix de la fonction critère pour caler le modèle n'a aucun impact sur les paramètres. Le paramètre XV2 est homogène sur tous les sous bassins du Loup (au alentour de 1.3), à l'inverse XV1 fluctue et croît avec la surface des bassins versants. Les valeurs obtenues sur le bassin versant des Ferrayonnes, avec seulement 21 mois de données (0.91 et 1.3) sont en adéquation avec les valeurs obtenues sur les bassins voisins à Tourettes-sur-Loup et à Villeneuve-Loubet.

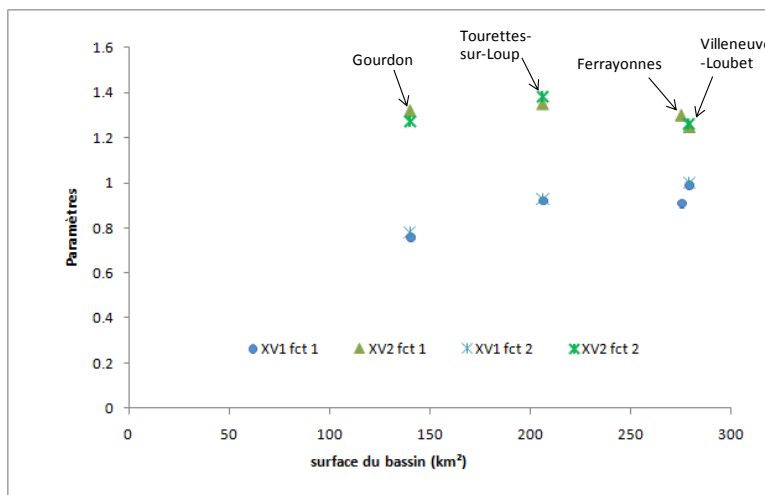


Figure 31 : distribution des paramètres du modèle en fonction de la surface des bassins

Par construction, XV1 assure le bilan en eau du bassin versant. Et, au niveau du réservoir A, on ne tient pas compte des infiltrations, ou d'échanges souterrains potentiels, ni de l'évapotranspiration réelle du bassin. XV1 rend compte de ces échanges par un apport (XV1 >1) ou une perte (XV < 1) autre que la pluie ou l'évapotranspiration. XV1 nous renseigne donc sur la productivité du bassin et il est assez lié au coefficient d'écoulement des bassins (C_e = rapport écoulement annuel sur pluie annuelle). Généralement, les bassins supérieurs, au relief plus prononcé et présentant des sources, confirment des productivités plus importantes que les bassins inférieurs. A priori ce constat ne peut être confirmé sur le Loup. Les coefficients d'écoulement croissent avec la surface du bassin à l'instar de XV1, comme l'illustre la figure 32 ci-dessous.

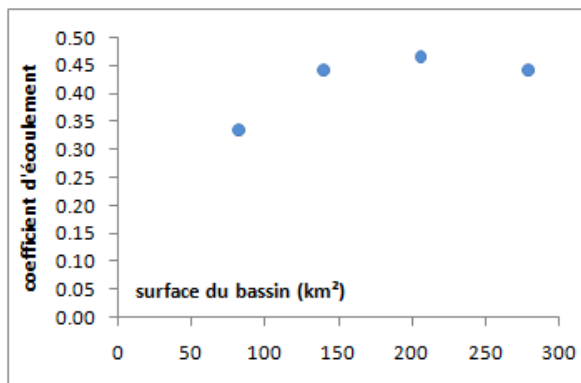


Figure 32 : Distribution des coefficients d'écoulement en fonction de la surface des bassins

On peut penser ici que la modélisation fait ressortir des spécificités locales (comportement karstique du bassin et/ou logiques d'aménagements différents entre l'amont et l'aval, transfert de surface ou souterrain). Pour le bassin du Loup, comme démontré en phase 2, ceci est lié aux prélèvements gravitaire pour l'AEP à l'amont du bassin qui sont deux fois plus important annuellement que sur la partie aval (700 l/s en amont contre 350 l/s sur l'aval).

Au niveau de la régionalisation des deux paramètres, on peut alors soit intégrer ces contrastes, soit les exclure, soit calculer leur influence.

5.3.2 Naturalisation des débits et régionalisation

5.3.2.1 *Proposition d'une méthodologie hydrologique pour prendre en compte les effets anthropiques liés aux prélèvements*

La phase 2 (bilan des prélèvements) a permis de quantifier et d'identifier l'ensemble des prélèvements effectués sur la ressource en eau du Loup, à la fois les prélèvements non-restitués (AEP) et restitués (hydroélectricité). Ces derniers étant trop variables d'une année à l'autre (11,2 Mm³ dérivés en 2007 contre 69,4 Mm³ en 2010 – cf. 3.2 phase 2), ils ne sont pas considérés pour la régionalisation du modèle. Seuls les prélèvements AEP, de part leur relative stabilité annuelle, permettent une régionalisation du modèle.

La détermination des prélèvements AEP sur les années 2005 à 2011, permet de calculer à partir des débits mesurés, des débits naturalisés aux deux stations du Loup présentant des observations sur cette période (Tourettes-sur-Loup et Villeneuve-Loubet).

La méthodologie de la modélisation hydrologique en calage/validation est la suivante:

- **Étape 1** : Le calage du modèle est réalisé sur la période 2005 - 2011 avec les débits influencés et avec les débits naturalisés. Cette période correspond à l'estimation connue des prélèvements liés à l'AEP et permet la naturalisation des débits.
- **Étape 2** : La phase de validation ou de contrôle consiste à tester le modèle avec des observations sur des périodes différentes de celles utilisées pour le calage. On vérifie la robustesse du modèle. Elle est réalisée sur la période 1981 à 2004 pour la station de Villeneuve-Loubet et de 1971 à 2004 pour la station de Tourettes-sur-Loup. La validation sera effectuée sur les deux types de débits : observés et naturalisés. Pour ces derniers, on estimera des prélèvements mensuels moyens déduits de la période (2002 - 2011) compte tenu de leur faible variabilité temporelle, en portant du postulat qu'ils sont globalement les mêmes.
- **Étape 3** : Si le modèle se montre robuste, on procédera alors à son extrapolation sur des bassins non jaugés. La régionalisation des paramètres portera alors sur un calage du modèle sur toute la chronique de débits disponibles influencés et naturalisés, afin de bénéficier de toute la variabilité temporelle.

5.3.2.2 *Calage validation du modèle*

Les résultats de l'étape 1 et 2 issus des débits influencés, sont consignés dans le tableau suivant (tableau 10). Il permet de comparer les débits annuels, le QMNA5, et la restitution des débits mensuels (critère de Nash calculé sur les racines des débits mensuels).

La figure 33 permet de comparer les débits mensuels moyens observés et calculés sur les deux périodes.

Y5615010 Le Loup à Tourettes - "Débits influencés "							
	XV1	XV2	Nash (%)	Qannuel obs(mm)	Qannuel calc(mm)	QMNA5 obs (mm)	QMNA5 calc(mm)
Calage 2005 - 2011	1.04	1.33	90.2	491	488	4.4	3.2
Validation 1971 - 2004	1.04	1.33	87.6	568	640	4.9	4.6
Y5615030 Le Loup à Villeneuve Loubet - "Débits influencés"							
	XV1	XV2	Nash (%)	Qannuel obs (mm)	Qannuel calc (mm)	QMNA5 obs (mm)	QMNA5 calc (mm)
Calage 2005 - 2011	1.12	1.22	93.3	462	466	2.1	1.9
Validation 1981 - 2004	1.12	1.22	89.5	508	587	2.3	2.2

Tableau 10 : Résultats du calage et de la validation sur les débits observés des bassins du Loup à Tourettes-sur-Loup et à Villeneuve- Loubet

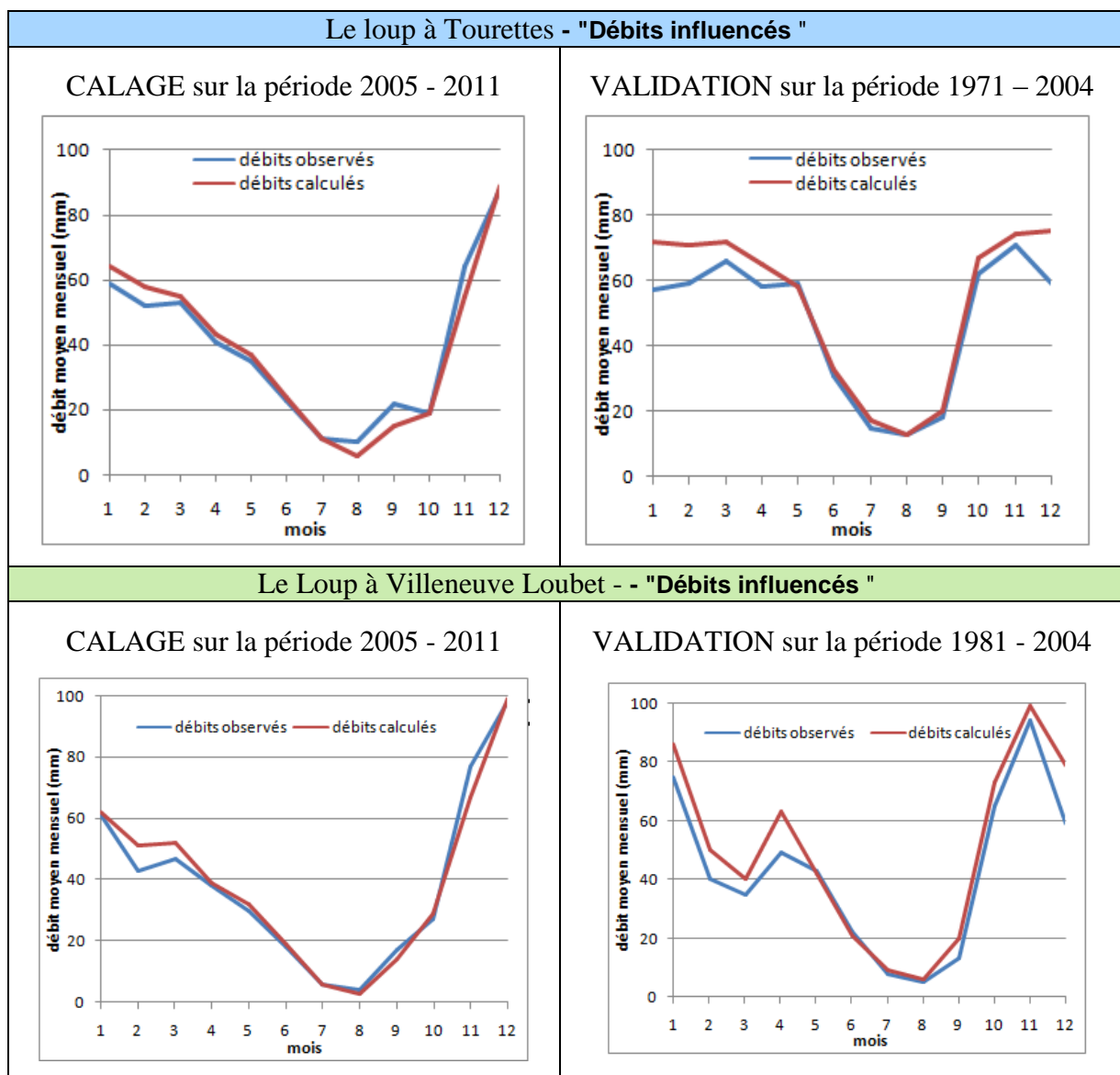


Figure 33 : restitution des débits moyens mensuels en calage et en validation sur les bassins du Loup à Tourettes-sur-Loup et à Villeneuve-Loubet

On constate qu'il n'y a pas de dégradation du modèle sur la période de validation. Les débits annuels calculés et observés demeurent proches. Les étiages sont bien reproduits mais les débits hivernaux de décembre à mars sont toujours surestimés.

Les résultats de l'étape 1 et 2 concernant la modélisation des débits naturalisés sur la période de calage et la restitution sur la période de validation, sont présentés dans le tableau 11. Les deux fonctions critères ont été utilisées pour le calage, car la première fonction ne permettait pas de restituer des débits naturalisés d'étiage corrects. Les restitutions de débits annuels moyens demeurent très correctes et les critères de Nash sur les racines carrées des débits sont satisfaisants. On remarque de forts débits d'étiage naturalisés qui sont en cohérence avec les observations du chapitre 4. Le modèle hydrologique calé à l'aide de la fonction critère 1 ne peut les restituer correctement. La fonction critère 2 les restitue mais dégrade plus légèrement les débits mensuels moyens, comme on peut le constater sur la figure 34. Les paramètres issus de cette fonction critère sont retenus pour la simulation des débits sur la seconde période (années inférieures à 2005). Afin de valider cette simulation, des débits naturalisés ont été reconstitués sur ces années à partir des données de prélèvements mensuels moyens obtenus sur 2005-2011. Ils ne représentent pas une reconstitution exacte des débits naturalisés, car les prélèvements sont inconnus sur cette période, mais ils permettent de préciser avec cohérence un ordre de grandeur de ces valeurs.

Y5615010 Le Loup à Tourettes - débits naturalisés							
Calage 2005 - 2011	XV1	XV2	Nash (%)	Qannuel Obs (mm)	Qannuel calc (mm)	QMNA5 Obs (mm)	QMNA5 Calc (mm)
Débits calculés -fc1	1.27	1.47	88.2	599	594	11.1	6.7
Débits calculés -fc2	1.29	1.59	84.0	599	597	11.1	10.9
Validation 1971-2004	1.29	1.59	-	676 *	797	12.9 *	15.8
Y5615030 Le Loup à Villeneuve Loubet - débits naturalisés							
Calage 2005-2011	XV1	XV2	Nash (%)	Qannuel Obs (mm)	Qannuel calc (mm)	QMNA5 Obs (mm)	QMNA5 Calc (mm)
Débits calculés -fc1	1.32	1.35	91.2	553	544	8.8	3.9
Débits calculés -fc2	1.35	1.55	84.6	553	556	8.8	8.5
Validation 1988-2004	1.35	1.55	-	608 *	708	9.7 *	11.3

Tableau 11 : Résultats du calage et de la validation des débits naturalisés sur les bassins du Loup à Tourettes-sur-Loup et à Villeneuve-Loubet

(*) Débits naturalisés reconstitués à partir des prélèvements mensuels moyens connus sur la période (2005-2011)

La dégradation des débits naturalisés moyens mensuels, sur la période de validation est plus marquée que sur la restitution des débits influencés. Cela est du à l'incertitude des "réels débits naturalisés" sur cette période. L'ordre de grandeur demeure acceptable.

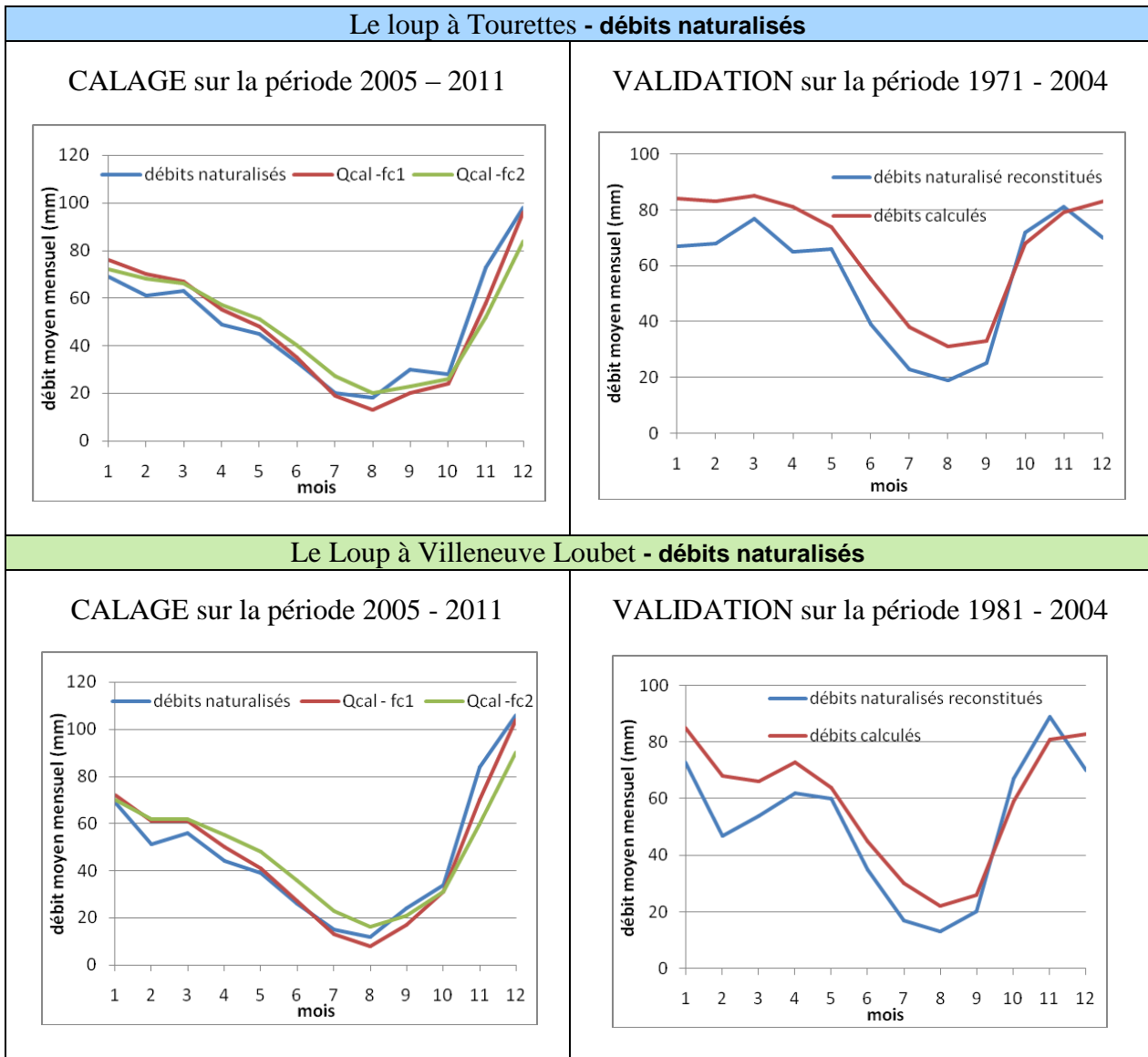


Figure 34 : restitution des débits naturalisés moyens mensuels en calage et en simulation sur les bassins du Loup à Tourettes-sur-Loup et à Villeneuve-Loubet

On retiendra, que les paramètres progressent de 20 à 25% entre les calages réalisés sur les débits influencés et les débits naturalisés sur la période 2005-2011.

Afin de prendre en compte toute la variabilité temporelle et spatiale des données (pluie et débits), la régionalisation du modèle débit influencé va porter sur les paramètres obtenus lors du calage sur toute la chronique des débits influencés. Le modèle régional débit naturalisé sera déduit du précédent par une progression de l'ordre de 20% sur les paramètres. Comme de fortes incertitudes résident sur cette dernière modélisation, on compare ces résultats à la modélisation régionale des débits influencés auxquels on ajoute les prélèvements moyens mensuels.

5.3.2.3 *Résultats de la régionalisation : 1/10 module, QMNA, QMNA5, VCN10jour T_{2ans}, VCN10jour T_{5ans}*

Méthodologie :

La régionalisation du modèle à partir des débits influencés consiste à obtenir une cartographie des deux paramètres du modèle en tout point de la zone d'étude, afin de pouvoir l'activer sur l'ensemble des cours d'eau de la zone. L'homogénéité des deux paramètres calés (figure 31) sur l'ensemble des débits influencés du bassin du Loup, ne nous permet pas de rechercher des liens avec des caractéristiques physiques ou descriptifs des bassins versants. On peut juste retenir que l'amont du bassin du Loup, présente un paramètre de production (XV1) un peu plus faible que l'aval. On procède donc à un découpage du bassin selon la localisation des deux grands ensembles karstiques. On propose pour XV1, la valeur de 0.8 pour la zone de Karst Sub-Alpin et la valeur de 1.0 pour la zone du karst jurassique de l'avant pays provençal. Pour le paramètre XV2, on privilégie une tendance régionale globale. La valeur de 1.3 est retenue.

Le modèle régional débit naturalisé sera doté d'un paramètre XV1 de l'ordre de 1.0 pour l'amont et de 1.2 pour l'aval, le paramètre XV2 gardera une valeur unique de 1.5.

Ces valeurs étant fixées, on procède à une simulation des débits influencés et des débits reconstitués pour différents points exutoires du Loup sur la période 1970-2011. De ces chroniques sont extraits les débits de références : **1/10 module, QMNA5 et QMNA influencés et naturalisés** pour les exutoires demandés.

Le modèle hydrologique ne peut restituer des **chroniques journalières**. L'idée est donc de déduire les variables statistiques d'étiage journalières de la variable statistique mensuelles. On établit la liaison entre les variables statistiques d'étiage journalières (**VCN10jour T_{2ans} et T_{5ans}**) et mensuelles (QMNA5) calculées sur les observations exprimées en l/s. On ne considère pas la liaison avec les débits naturalisés étant donné l'incertitude évoquée plus haut sur cette donnée. La liaison de ces variables est fortement marquée pour ces 3 bassins, on obtient un coefficient de détermination de 0.99. Cependant, on vérifie que la liaison est marquée aussi pour les variables exprimées en mm, et que la surface n'intègre pas toute la variabilité de la liaison (le r^2 est de 0.95). On en déduit donc les quantiles du VCN10jour selon :

$$\text{VCN10jour } T_{2\text{ans}} \text{ (l/s)} = 1.255 * \text{QMNA5 (l/s)}$$

$$\text{VCN10jour } T_{5\text{ans}} \text{ (l/s)} = 0.816 * \text{QMNA5 (l/s)}$$

Résultats :

Les résultats concernant la simulation des débits influencés issus du modèle régional ^{débit influencé} sont présentés dans le tableau 12.

Le tableau 13 présente les débits simulés naturalisés par le modèle régional ^{débit naturalisé} ainsi que les résultats des simulations du modèle régional ^{débit influencé} auxquelles on a ajouté les prélèvements moyens mensuels, afin de reproduire des débits influencés "naturalisés" pour comparaison.

DEBITS CALCULES					
Stations	superficie BV km ²	1/10 module (l/s)	QMNA5 (l/s)	VCN10j T=2ans (l/s)	VCN10j T=5ans (l/s)
Cipières	76	124	90	114	74
Bramafan	120	189	140	170	111
Aval Bramafan	138	217	160	197	128
Pont cassé	189	295	210	260	169
Amont Lauron	213	401	270	344	224
Aval Lauron	234	434	290	367	239
Ferrayonnes	275	486	320	399	260
DREAL Gourdon	140	222	160	200	130
DREAL Tourette- sur-Loup	206	395	270	343	223
DREAL Villeneuve- Loubet	279	490	320	401	261

DEBITS OBSERVES				
1/10 module (l/s)	QMNA5 (l/s)	VCN10j T=2ans (l/s)	VCN10j T=5ans (l/s)	
235	155	214	140	
359	352	434	287	
439	249	314	198	

Tableau 12 : Résultats des simulations en différents points du bassin du Loup sur les débits influencés - comparaison avec les débits observés

Stations	superficie BV km ²	1/10 module (l/s)	QMNA5 (l/s)	1/10 module (l/s)	QMNA5 (l/s)
Cipières	76	154	260	154	340
Bramafan	120	236	400	249	680
Aval Bramafan	138	271	460	288	790
Pont cassé	189	368	610	365	850
Amont Lauron	213	481	780	472	920
Aval Lauron	234	520	840	512	1040
Ferrayonnes	275	583	920	574	1190
DREAL Gourdon	140	278	470	278	770
DREAL Tourette- sur-Loup	206	474	780	476	940
DREAL Villeneuve- Loubet	279	588	930	598	1360

Tableau 13 : Résultats des simulations en différents points du bassin du Loup sur les débits naturalisés et comparaison avec les débits influences « naturalisés »

Les QMNA sont indiqués dans les tableaux en annexe 2.

Il faut noter que le modèle régional ne permet pas de restituer des valeurs aussi précises que le modèle en mode calage (cf. tableau 9). Les paramètres régionaux sont issus d'une synthèse régionale. Certaines particularités hydrologiques ne peuvent donc être restituées correctement.

C'est le cas pour les **débits influencés**. La valeur du QMNA5 à Tourettes-sur-Loup est supérieur à celui de Villeneuve-Loubet pour les débits observés et les débits influencés en mode calage tandis que la régionalisation des débits influencés fait apparaître un QMNA5 à Tourettes-sur-Loup qui est inférieur à celui de Villeneuve-Loubet. C'est également le cas pour le VCN10j qui est estimé à partir du QMNA5 du modèle régional ^{débit influencé}.

Pour les stations où les débits sont connus, il faut privilégier cette information.

Concernant les **débits naturalisés**, les valeurs issues du modèle régional ^{débit naturalisé} et les valeurs influencées "naturalisées" (débits du modèle régional ^{débit influencé} auxquelles on a ajouté les prélèvements moyens mensuels) sont très similaires pour le 1/10 du module mais divergent significativement pour le QMNA5. On note une augmentation entre 20 % et 70 % du QMNA5 avec les débits influencés "naturalisés" par rapport aux débits issus du modèle régional ^{débit naturalisé}. Ces deux estimations peuvent donner un intervalle de confiance de la valeur estimée.

Cette méthode est une méthode régionale d'estimation de l'aléa hydrologique basée sur la régionalisation de paramètres de modèle. Elle propose une estimation homogène et cohérente (issue d'une seule régionalisation) de l'ensemble des caractéristiques statistiques de l'aléa (module, QMNA5...).

*La méthode en **mode local** est capable de se caler avec peu de paramètre et produire des résultats justes.*

*La **régionalisation** est ici assez simple, elle s'appuie sur l'information qui se veut la plus homogène et la plus exhaustive possible. Et comme toute méthode régionale, les estimations fournies peuvent être entachées d'incertitudes. Cette incertitude est d'autant plus grande que l'on s'intéresse aux débits extrêmes. Ces quantiles restent donc une estimation régionale.*

6 Synthèse des débits caractéristiques d'étiages (1/10 module et QMNA5) aux points stratégiques de référence et analyse de l'impact des prélèvements sur la ressource

Les tableaux et graphiques suivants synthétisent les résultats des débits du 1/10 du module et du QMNA5 aux points stratégiques de référence :

Stations	superficie BV km ²	DEBITS INFLUENCES		DEBITS NATURALISES	
		1/10 module (l/s)		1/10 module (l/s)	DEBITS INFLUENCES "NATURALISES"
Cipières	76	124	154	154	
Aval Bramafan	138	217	271	288	
Aval Lauron	234	434	520	512	
Ferrayonnes	275	486	583	574	

Tableau 14 : 1/10 modules influencés et naturalisés aux points stratégiques de référence

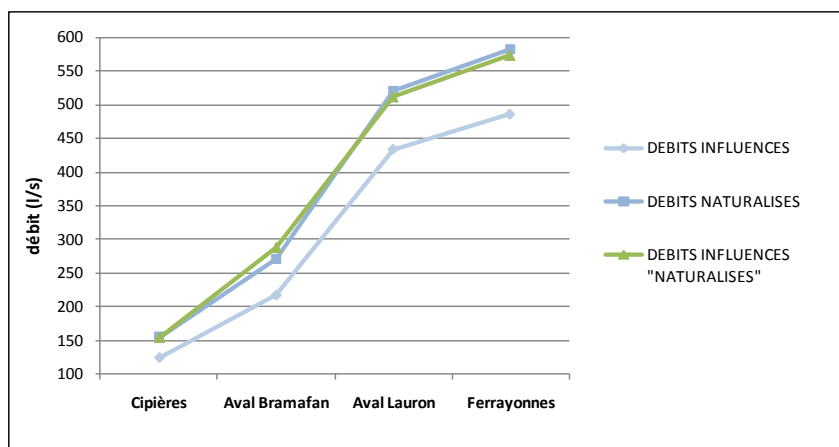


Figure 35 : profil du 1/10 du module influencé et naturalisé aux points stratégiques de référence

Le 1/10 de module croît de l'amont vers l'aval à la fois pour les débits mesurés et naturalisés, ce qui n'identifie pas de déséquilibre apparent sur le bassin.

L'impact des prélèvements sur le 1/10 du module par rapport au volume écoulé naturellement est :

- Impact de **20 %** des prélèvements sur le **1/10 du module** au **pont de Cipières**
- Impact de **20 %** des prélèvements sur le **1/10 du module** en **aval de Bramafan**
- Impact de **16 %** des prélèvements sur le **1/10 du module** en **aval du Lauron**
- Impact de **16 %** des prélèvements sur le **1/10 du module** aux **Ferrayonnes**

Les valeurs de débit issues du modèle régional naturalisés et du modèle régional influencé auquel les prélèvements sont rajoutés sont très proches. On note un écart maximum de 5,9 % entre les deux valeurs aux Ferrayonnes.

Stations	superficie BV km ²	DEBITS INFLUENCES		DEBITS INFLUENCES "NATURALISES"	
		QMNA5 (l/s)	DEBITS MESURES RECONSTITUES	QMNA5 (l/s)	QMNA5 (l/s)
Cipières	76	90	170	260	340
Aval Bramafan	138	160		460	790
Aval Lauron	234	290		840	1040
Ferrayonnes	275	320	170	920	1190

Tableau 15 : QMNA5 influencés et naturalisés aux points stratégiques de référence

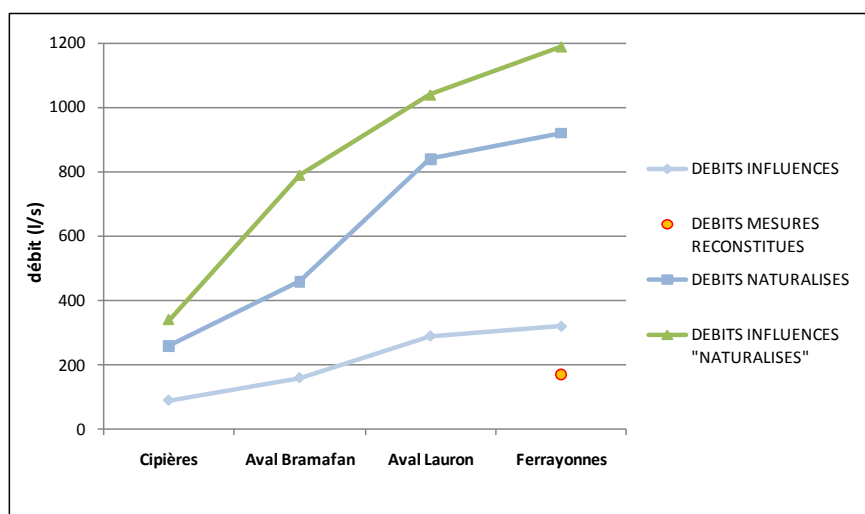


Figure 36 : profil du QMNA5 influencé et naturalisé aux points stratégiques de référence

Pour le QMNA5, on constate que le modèle régional ne permet de restituer la baisse des débits sur la zone des ferrayonnes (voir 5.3.2.3). En effet, le QMNA5 influencé aux ferrayonnes est de 170 l/s à partir de la reconstitution des débits de la station des ferrayonnes contre 320 l/s dans la restitution du modèle régional influencé. Cette différence est moins importante en naturalisant les débits.

Par ailleurs, les valeurs de débit issues du modèle régional naturalisés et du modèle régional influencé auquel les prélèvements sont rajoutés présentent des disparités significatives. Cet écart varie de 14 % aux ferrayonnes jusqu'à 42 % en aval de Bramafan.

Ces résultats font apparaître les difficultés du modèle à restituer les réalités locales et notamment pour les débits faibles d'été.

L'impact des prélèvements sur le QMNA5 par rapport au volume écoulé naturellement est :

- Impact entre **50 % et 74 %** des prélèvements sur le **QMNA5** au **pont de Cipières**
- Impact entre **40 % et 80 %** des prélèvements sur le **QMNA5** en **aval de Bramafan**
- Impact entre **53 % et 72 %** des prélèvements sur le **QMNA5** en **aval du Lauron**
- Impact entre **56 % et 70 %** des prélèvements sur le **QMNA5** aux **ferrayonnes**. Cet impact monte à **82 %** à partir de la reconstitution du QMNA5 à la station CG des ferrayonnes

La carte ci-dessous permet de localiser les valeurs de débits caractéristiques aux points stratégiques de référence sur le bassin du Loup :

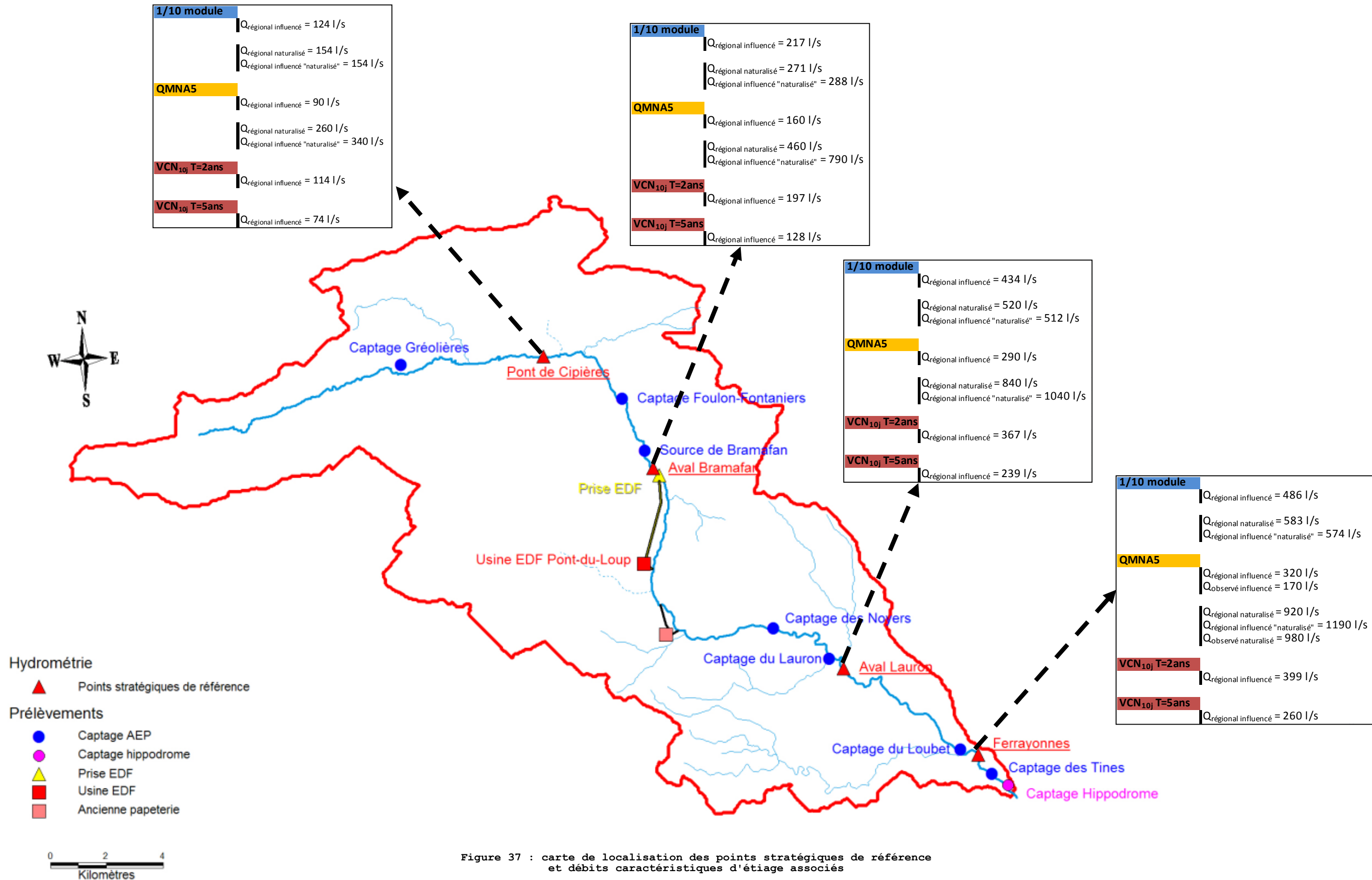


Figure 37 : carte de localisation des points stratégiques de référence et débits caractéristiques d'étiage associés

Le tableau ci-dessous fait apparaître le rapport entre le QMNA5 et le 1/10 du module aux points stratégiques de référence :

	Ferrayonnes	Aval Lauron	Aval Bramafan	Cipières
Surface BV (km2)	275	234	138	76
rapport QMNA5/ 1/10 module influencé	66% - 35%*	67%	74%	73%
rapport QMNA5/ 1/10 module [naturalisé - influencé "naturalisé"]	[158% - 190%]	[162% - 203%]	[170% - 274%]	[169% - 221%]

*QMNA5 influencé reconstitué à partir de la station CG des ferrayonnes

Tableau 16 : rapport entre le QMNA5 et le 1/10 du module aux points stratégiques de référence

Le rapport QMNA5 par rapport au 1/10 du module est en moyenne égal à 70 % pour les débits mesurés aux stations de référence à l'exception du secteur des ferrayonnes où le rapport descend à 35 % en se basant sur la valeur reconstituée du QMNA5 à partir de la station CG. Pour les débits naturalisés, il est situé entre un minimum de 160% à la station des ferrayonnes et un maximum de 274% pour la station aval Bramafan.

Les résultats permettent de conclure que :

- ✓ *L'impact des prélèvements sur le 1/10 du module naturel est considéré comme faible aux points stratégiques de référence.*
- ✓ *L'impact des prélèvements sur le QMNA5 naturel est considéré comme fort aux points stratégiques de référence voir très fort aux ferrayonnes. Le modèle régional restitue difficilement la particularité locale du secteur d'assecs des ferrayonnes et notamment en ce qui concerne les débits extrêmes.*
- ✓ *Le rapport naturalisé entre le QMNA5 et le 1/10 du module permet d'affirmer que les étiages naturels du Loup sont fortement soutenus par la ressource.*

En revanche, le rapport influencé entre le QMNA5 et le 1/10 du module indique que les étiages influencés du Loup sont très fortement impactés par les prélèvements avec une dégradation du rapport de l'ordre de 150 % en moyenne comparativement aux débits naturalisés.

7 Impact du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique du bassin du Loup

L'étude de l'impact du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique de bassin versant de Loup se base sur les données météorologiques élaborées et mises à disposition par le CERFACS.

7.1 Scénarios climatiques futurs

Les conclusions du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) dans son rapport AR4 (4^{ième} Assessment Report) anticipe un réchauffement maximal sur les terres émergées et dans la plupart des régions des hautes latitudes de l'hémisphère Nord et un réchauffement minimal au-dessus de l'océan Austral et d'une partie de l'Atlantique Nord. D'importantes incertitudes existent sur les changements du cycle hydrologique dans le climat futur, même dans les scénarios les plus récents. Ces incertitudes sont néanmoins très variables selon les zones géographiques. L'Europe est une zone où les modèles s'accordent relativement bien, avec une augmentation des précipitations au nord et une diminution au sud du continent. Cependant, la limite est variable selon les saisons (plus au nord en été et plus au sud en hiver). La France se situant dans la zone de changement de signe, les incertitudes y sont fortes. Les impacts les plus importants risquent d'avoir lieu en été avec une importante diminution des précipitations sur le Sud de l'Europe, France incluse, une forte diminution du ruissellement ainsi qu'un assèchement des sols. Ceci n'exclut pas une augmentation d'intensité des événements extrêmes, en Hiver notamment.

7.1.1 Méthode d'obtention des scénarios climatiques futurs

Un scénario climatique futur est la combinaison d'un scénario d'émission de gaz à effet de serre (GES), d'un modèle climatique et d'une méthode de descente d'échelle.

Le GIEC a simulé plusieurs scénarios d'émission de gaz à effet de serre (GES), liés à différentes hypothèses sur les évolutions socio-économiques, démographiques et agricoles possibles au cours du 21^{ème} siècle. Ces émissions ont été converties en concentrations et ont servi de données d'entrée aux modèles climatiques. Le scénario A1B a été choisi de part sa position médiane dans la palette des scénarios possibles.

Deux modèles climatiques simulant le climat sur la région considérée sont disponibles: il s'agit du modèle CNRM-CM3 et du modèle ARPEGE V4. Ces deux modèles ont été réalisés par le Centre National de Recherches Météorologiques de Météo France.

Les données climatiques produites par les modèles climatiques ne sont pas suffisantes pour conduire une étude d'impact à échelle fine sur un territoire étudié, une étape supplémentaire est nécessaire. Elle met en œuvre des techniques dites de " régionalisation " des données climatiques. La méthode de descente d'échelle ou de désagrégation utilisée ici est la méthode des types de temps ou régimes de temps (figure 38). Elle permet d'affiner spatialement les données climatiques en essayant de prendre en compte des hétérogénéités spatiales non ou mal résolues. Elle est bien adaptée à l'étude des impacts hydrologiques. Ces modèles permettent de produire des chroniques perturbées pour le futur à l'échelle des mailles SAFRAN. Elles constituent les données d'entrées du modèle hydrologique. La figure 39 présente un récapitulatif de l'obtention des données climatiques futures.

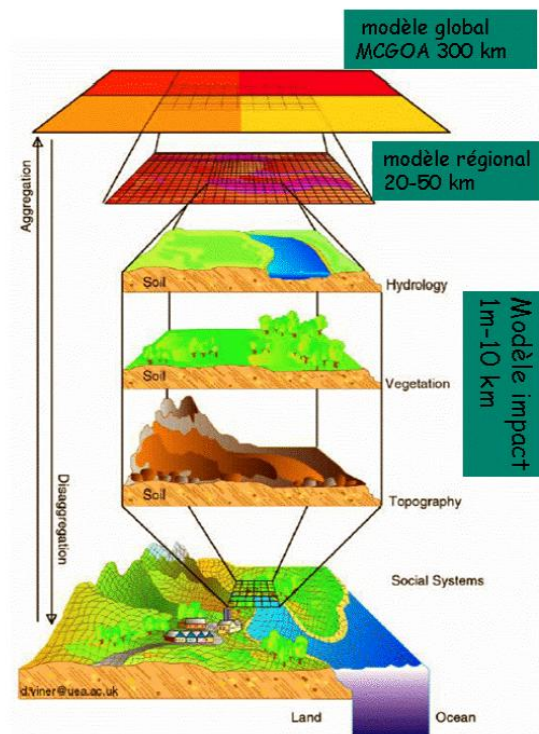


Figure 38 : désagrégation des données climatiques

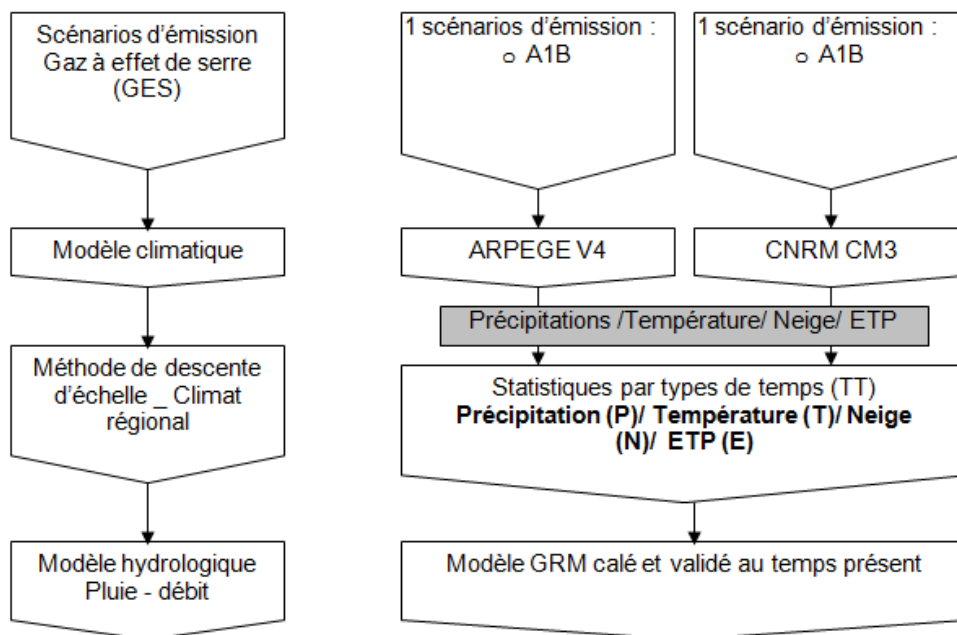


Figure 39 : Synoptique de travail des données climatiques jusqu'aux données Safran

7.1.2 Résultats des scénarios climatiques

Les résultats des scénarios climatiques sont présentés dans le tableau 17. Les bilans annuels sont calculés pour deux périodes futures et la période 1981 à 2000 pour les données issues de l'observation (SAFRAN).

Afin de ne garder que le signal climatique moyen et de pouvoir comparer les différentes périodes entre elles, nous avons considéré la moyenne multi-modèle pour les périodes futures.

Le tableau montre que la température augmenterait en moyenne de 2°C entre les périodes 1980-2000 et 2046-2068 et d'à peine 1°C entre les périodes 2046-2068 et 2081-2100. A l'horizon 2046-2065, les précipitations moyennes annuelles diminueraient d'environ 20 % à 25 % par rapport à la période 1981-2000. Quant aux précipitations neigeuses, les modèles prévoient une décroissance plus marquée de l'ordre de 12 à 13 % par décennie. Les modèles prévoient également une augmentation de l'ETP à court et moyen terme, de l'ordre de 3 % à 2 % par décennie.

	Stations	superficie BV km ²	SAFRAN	Moyenne multimodèle	
			1981 - 2000	2046-2065	2081-2100
pluie (mm/an)	DREAL Gourdon	140	1067,2	837,9	777,3
	DREAL Tourette-sur-Loup	206	1062,4	817,6	756
	DREAL Villeneuve-Loubet	279	1027,4	773,8	713
neige (mm/an)	DREAL Gourdon	140	88,1	22,2	12,3
	DREAL Tourette-sur-Loup	206	71,8	17,4	9,5
	DREAL Villeneuve-Loubet	279	54,2	12,8	7,1
ETP (mm/an)	DREAL Gourdon	140	672,8	918,3	947,3
	DREAL Tourette-sur-Loup	206	697,1	906,7	935,3
	DREAL Villeneuve-Loubet	279	737,5	903,3	932,4
température de l'air °C	DREAL Gourdon	140	9,5	11,6	12,4
	DREAL Tourette-sur-Loup	206	10,2	12,2	12,9
	DREAL Villeneuve-Loubet	279	11,1	13,2	13,9

Tableau 17 : Évolution des principales variables climatiques pour différentes périodes, sur les bassins du Loup

7.2 Impact des scénarios climatiques sur les débits simulés sur le Loup

Dans le cadre de simulations pour le temps futur, les données d'entrée sont celles obtenues par les modèles climatiques générées à partir de différents scénarios. La régionalisation du modèle retenue est celle obtenue sur les débits influencés qui représentent les débits observés sur le temps actuel. Les simulations obtenues sous ces scénarios de changement climatique en différents exutoires du bassin du Loup permettent d'en déduire les débits de référence d'étiage et les débits moyens mensuels présentés dans les tableaux 18 et 19.

Stations	superficie BV km ²	1/10 module (l/s)	QMNA5 (m ³ /s)
Cipières	76	53	40
Bramafan	120	102	70
Aval Bramafan	138	116	80
Pont cassé	189	152	100
Amont Lauron	213	150	110
Aval Lauron	234	164	120
Ferrayonnes	275	197	150

Tableau 18 : Résultats des simulations en différents points du bassin du Loup, débits influencés sur la période P1 (2046 -2065)

Stations	superficie BV km ²	1/10 module (l/s)	QMNA5 (m ³ /s)
Cipières	76	29	20
Bramafan	120	54	30
Aval Bramafan	138	62	30
Pont cassé	189	81	40
Amont Lauron	213	80	50
Aval Lauron	234	88	50
Ferrayonnes	275	106	60

Tableau 19 : Résultats des simulations en différents points du bassin du Loup, débits influencés sur la période P2 (2081 - 2100)

Les résultats font apparaître qu'en 2065, les scénarios des modèles climatiques prédisent :

- *Une diminution du 1/10 du module entre 45 % et 60 %*
- *Une diminution du QMNA5 entre 50 % et 58 %*

Les résultats font apparaître qu'en 2100, les scénarios des modèles climatiques prédisent :

- *Une diminution du 1/10 du module de l'ordre de 75 %*
- *Une diminution du QMNA5 de l'ordre de 80 %*

La modélisation climatique des variables, comme nous avons pu le constater, est complexe et incertaine. L'incertitude sur les variables climatiques obtenues est donc importante. Les estimations de débits influencés à partir de ces scénarios constituent donc un ordre de grandeur.

8 Impact de scénarios de modification des pressions anthropiques liées à l'AEP

Une modification des usages peut être envisagée dans ce type de modélisation. Les deux scénarios retenus, sont une baisse de 10 % des prélèvements moyens mensuels, et une augmentation de 10 %.

Méthodologie :

A partir de la chronique simulée des débits influencés sur la période actuelle (voir 5.3), on impacte une hausse des prélèvements moyens mensuels de 10 %. Les prélèvements moyens mensuels référents sont ceux mis à notre disposition sur la période 2005-2011, que l'on répercute sur toute la chronique. La baisse des prélèvements est calculée à l'identique. De ces chroniques impactées sont déduits le QMNA5 et le 1/10 module pour les deux scénarios envisagés.

Les résultats sont présentés dans les tableaux 20 et 21 :

Stations	superficie BV km ²	1/10 module (l/s)	QMNA5 (l/s)
Cipières	76	121	60
Bramafan	120	183	80
Aval Bramafan	138	210	90
Pont cassé	189	288	140
Amont Lauron	213	393	210
Aval Lauron	234	426	210
Ferrayonnes	275	478	240
DREAL Gourdon	140	215	90
DREAL Tourette-sur-Loup	206	388	200
DREAL Villeneuve-Loubet	279	480	210

Tableau 20 : Résultats des simulations en différents points du bassin du Loup, débits influencés avec hausse des prélèvements moyens de 10%

Stations	superficie BV km ²	1/10 module (l/s)	QMNA5 (l/s)
Cipières	76	127	120
Bramafan	120	195	190
Aval Bramafan	138	224	220
Pont cassé	189	302	270
Amont Lauron	213	408	340
Aval Lauron	234	441	370
Ferrayonnes	275	494	390
DREAL Gourdon	140	229	220
DREAL Tourette-sur-Loup	206	402	340
DREAL Villeneuve-Loubet	279	501	420

Tableau 21 : Résultats des simulations en différents points du bassin du Loup, débits influencés avec baisse des prélèvements moyens de 10%

*Les résultats font apparaître qu'une **baisse des prélèvements de 10 %** se traduirait par :*

- *Une **augmentation minime du 1/10 du module de l'ordre de 2 %***
- *Une **augmentation significative du QMNA5 entre 22 % et 45 %***

*Le scénario d'**augmentation des prélèvements de 10 %** se traduirait par :*

- *Une **baisse minime du 1/10 du module de l'ordre de 2 %***
- *Une **baisse significative du QMNA5 entre 18 % et 26 %***

Il ne faut pas oublier que ces résultats restent des estimations. En effet la démarche régionale de notre méthode contient des incertitudes qui se cumulent avec l'hypothèse forte de la stabilité des prélèvements sur toute la longueur de la chronique.

9 Conclusion générale

Cette phase a pour objectif de confronter la pression des prélèvements effectués sur le bassin avec la ressource en eau disponible et d'en quantifier l'impact. L'étude a permis d'aboutir à la détermination des débits caractéristiques d'étiage tels que le 1/10 du module, le QMNA5, les QMNA, les VCN, à la fois en régime influencé et naturalisé.

L'exploitation des données issues des investigations menées par le Conseil général depuis 2006 a permis de caractériser finement les étiages du Loup et mettre en lumière les spécificités locales du fonctionnement hydrogéologique du cours d'eau.

Les données disponibles aux stations ont également montré leurs limites pour extrapoler les débits caractéristiques en tout point du bassin versant et notamment aux points stratégiques de référence.

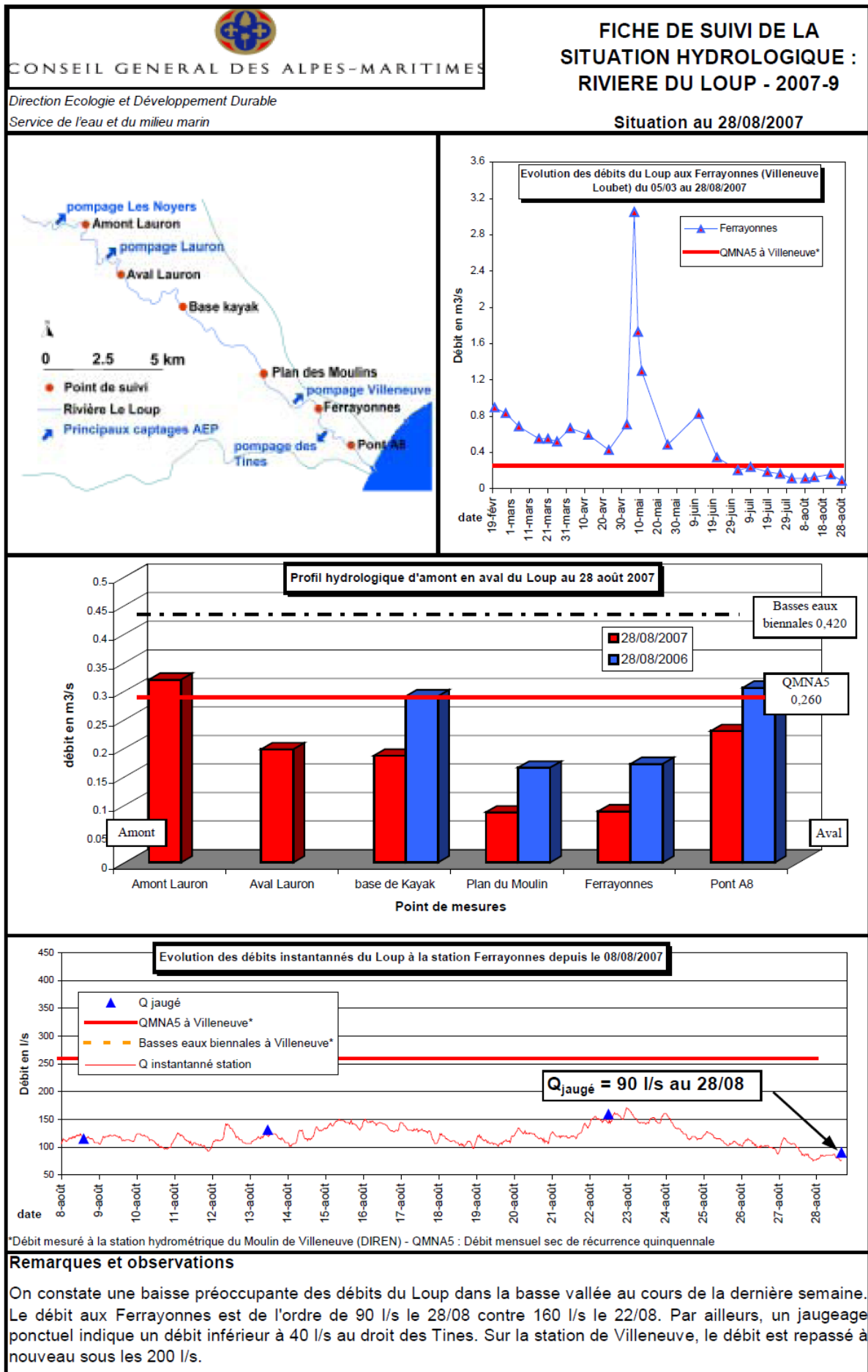
Le recours à la modélisation des écoulements par le modèle GR_{LOIEAU-PIXEL} développé par l'IRSTEA répond efficacement à ce souci d'extrapolation de l'information. Cependant, la régionalisation de la donnée montre les limites de la modélisation qui ne permet pas restituer des valeurs aussi précises qu'en mode calage. Certaines singularités hydrologiques locales, à l'instar du secteur des ferrayonnes, ne peuvent être restituées correctement.

Cette phase d'analyse a permis de dégager plusieurs informations importantes :

- ✓ Les investigations du CG et l'étude BRL de 2006 ont mis en évidence les limites du système de mesure actuel des stations de la DREAL pour les valeurs d'étiage. Notamment, **la station de Villeneuve-Loubet ne permet pas d'identifier les assecs du cours d'eau sur le secteur des ferrayonnes situé plus en amont**. En période d'étiage sévère, elle sous-estime de 150 à 200 l/s la valeur du débit par rapport à la zone d'assec en amont.
- ✓ En moyenne, la **pression des prélèvements gravitaires** en amont du bassin est la **plus importante pour les mois de mai et juin**. Pour les **prélèvements en nappe** de la partie aval, la pression est **plus importante pour les mois de juillet et août**.
- ✓ Le Loup est un cours d'eau **naturellement très soutenu par son karst** avec un rapport entre le QMNA5_{naturel} et le 1/10 du module _{naturel} qui varie entre 160 % et 270 %. Cependant, **la pression des prélèvements sur le cours d'eau est forte**. Elle est la plus forte juste en aval de Bramafan.
- ✓ Aux points stratégiques de référence, **l'impact des prélèvements sur le 1/10 du module naturalisé est considéré comme faible** sur l'ensemble du bassin versant tandis que **l'impact des prélèvements sur le QMNA5 naturalisé est jugé comme fort** sur l'ensemble du bassin versant voir **très fort sur le secteur des ferrayonnes**. La valeur du 1/10 du module ne permet pas de mettre en évidence la pression forte des prélèvements en été.
- ✓ Le modèle climatique qui permet de déduire les débits caractéristiques d'étiages à des horizons lointain (jusqu'à 2100) est **complexe** et les variables climatiques obtenues présentent des **incertitudes importantes**. Les débits caractéristiques obtenus donnent un **ordre de grandeur estimatif** et doivent être pris avec prudence.
- ✓ Les scénarios de modification de la pression des prélèvements montrent qu'une **variation de 10 % des volumes prélevés** induirait une **variation minimale de +/- 2 % du 1/10 du module** et **variation significative de +45/- 26 % du QMNA5**.

Annexes

Annexe n°1

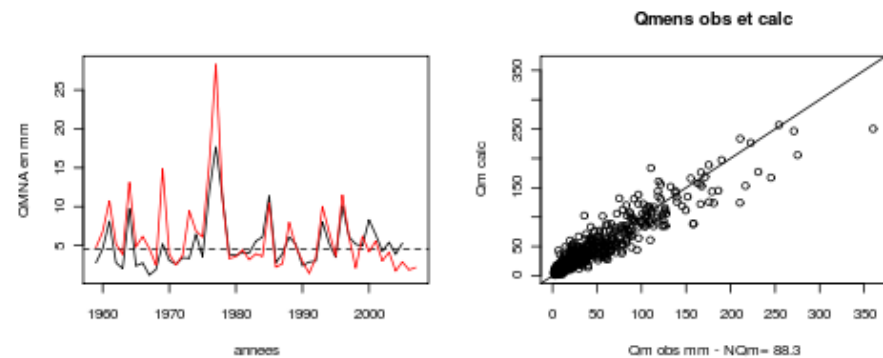
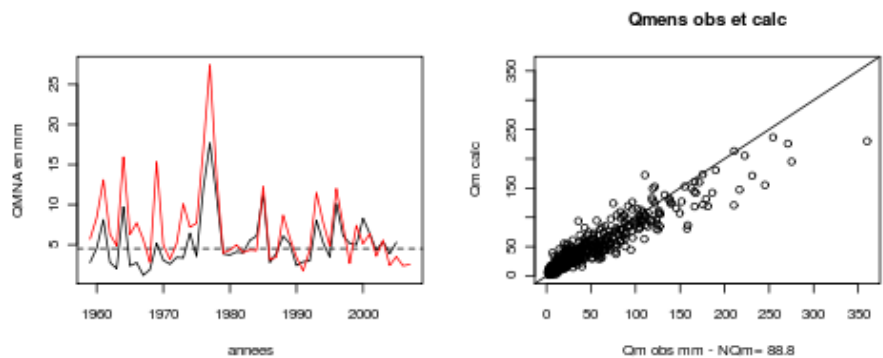
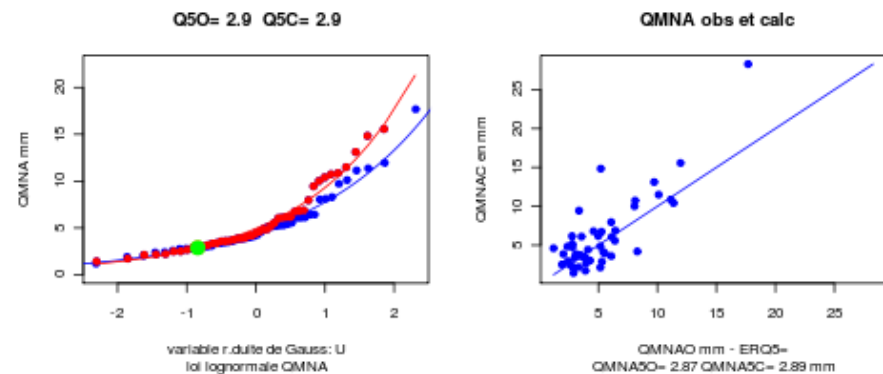
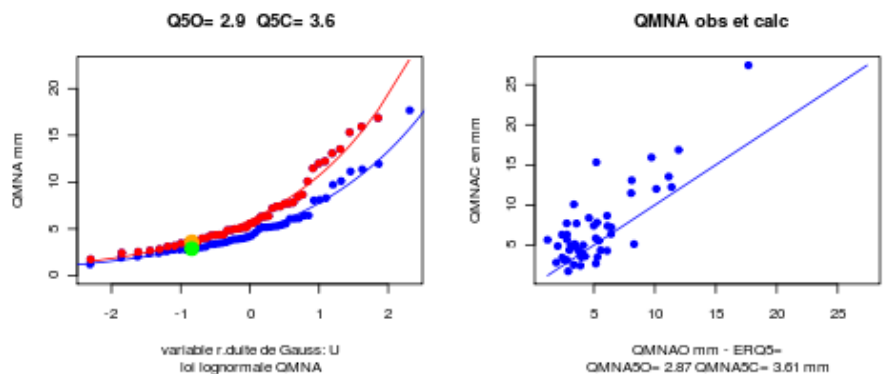
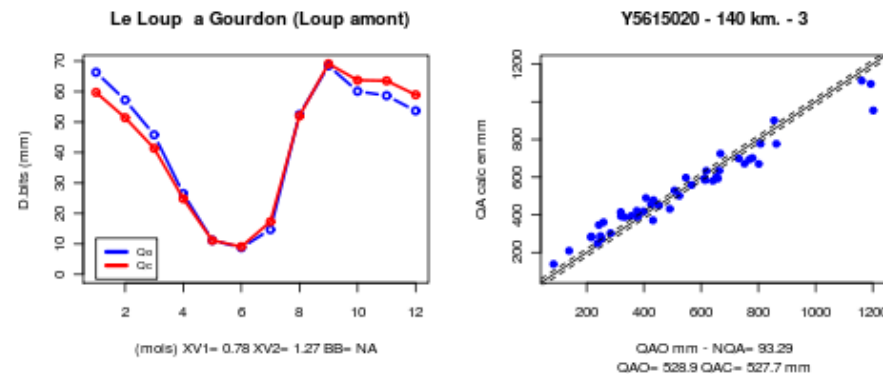
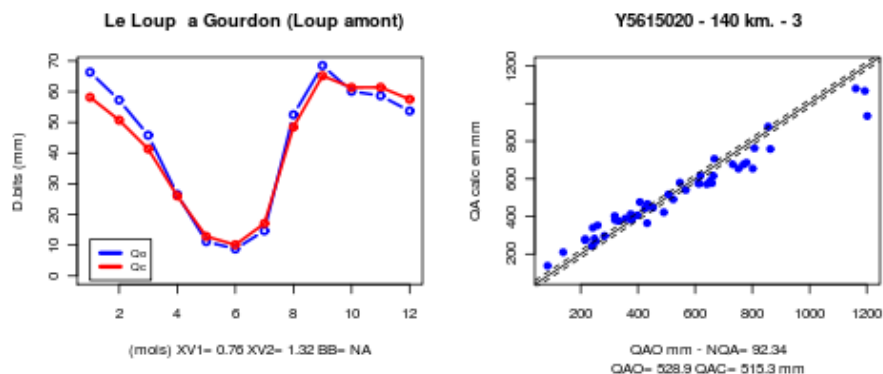


Annexe n°2

Résultats du calage sur le bassin du LOUP à GOURDON - Y5615020

Fonction critère 1

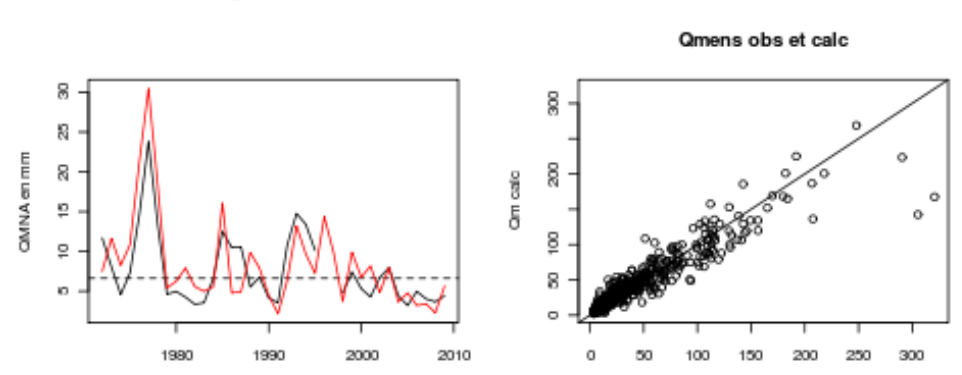
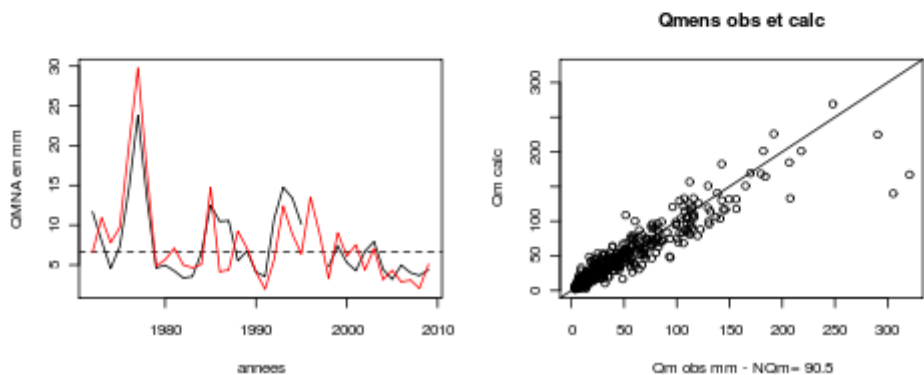
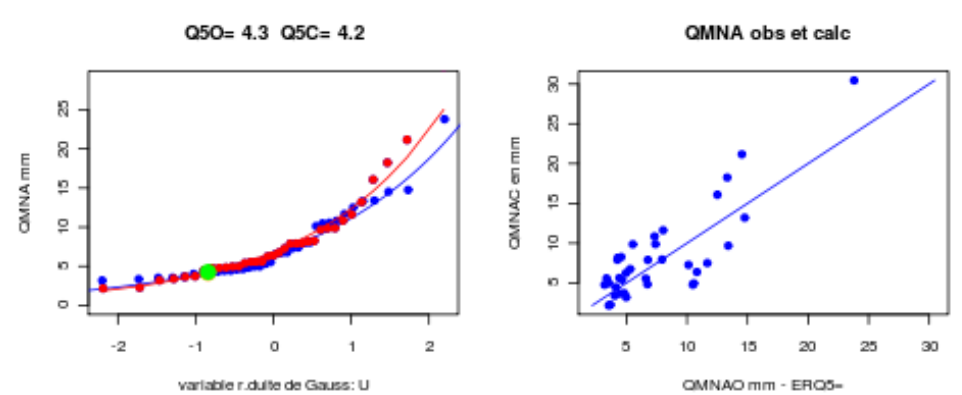
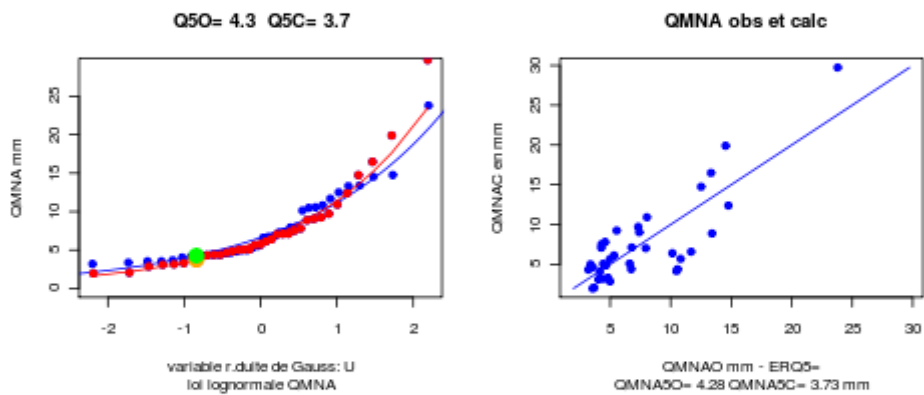
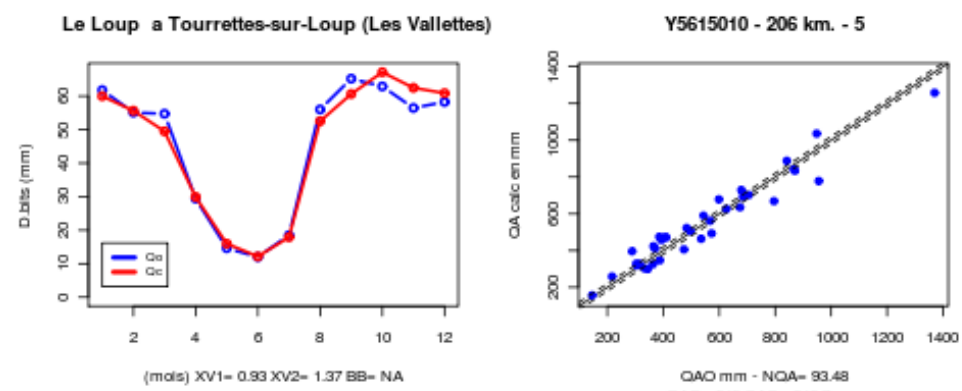
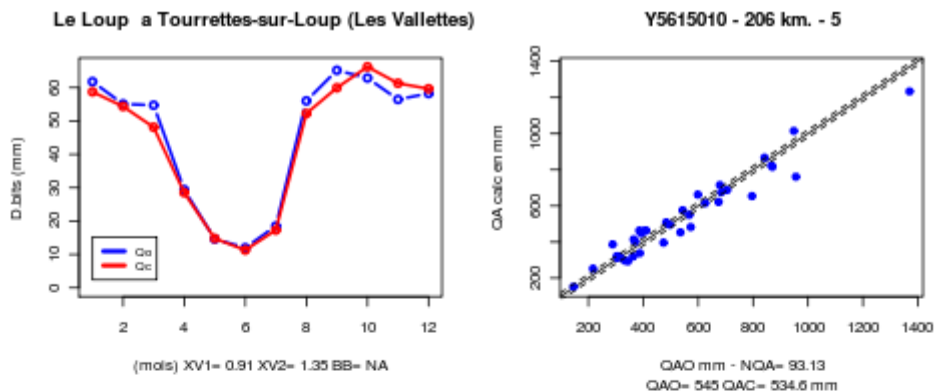
Fonction critère 2



Résultats du calage sur le bassin du LOUP à **TOURRETTES SUR LOUP** [LES VALLETES] - Y5615010

Fonction critère 1

Fonction critère 2



Résultats du calage sur le bassin du LOUP à **VILLENEUVE LOUBET** [MOULIN DU LOUP] - Y5615030

Fonction critère 1

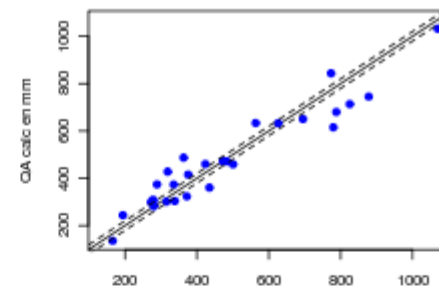
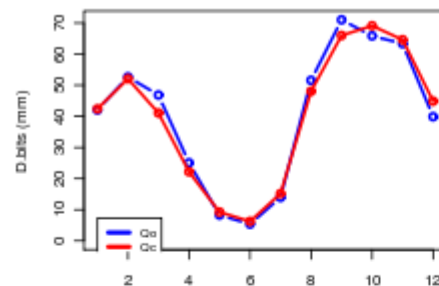
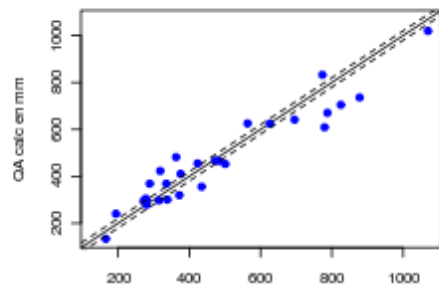
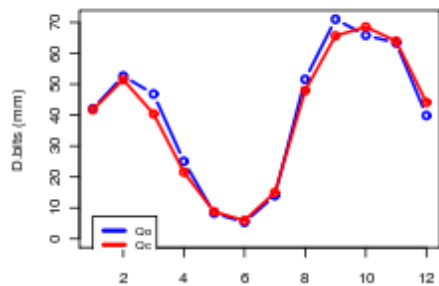
Fonction critère 2

Le Loup a Villeneuve-Loubet (Moulin du Loup)

Y5615030 - 279 km. - 4

Le Loup a Villeneuve-Loubet (Moulin du Loup)

Y5615030 - 279 km. - 4



(mois) XV1= 0.98 XV2= 1.25 BB= NA

QAO mm - NQA= 90.39
QAO= 481.8 QAC= 470.9 mm

(mois) XV1= 0.98 XV2= 1.27 BB= NA

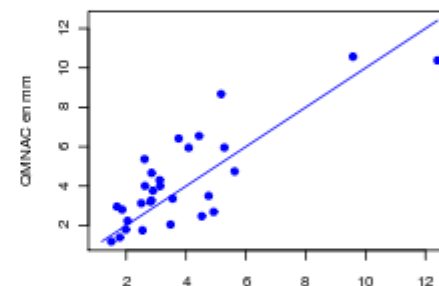
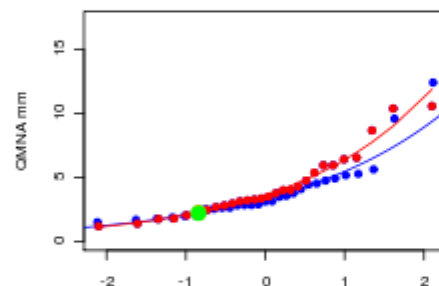
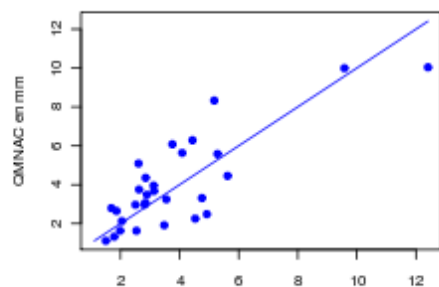
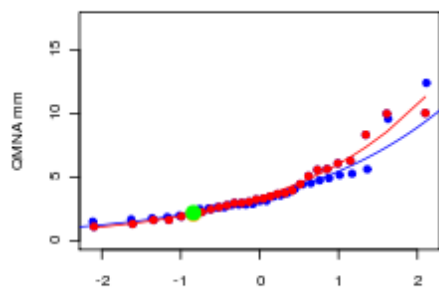
QAO mm - NQA= 90.75
QAO= 481.8 QAC= 476.8 mm

Q50= 2.2 Q5C= 2.1

QMNA obs et calc

Q50= 2.2 Q5C= 2.3

QMNA obs et calc



variable r.duite de Gauss: U
loi lognormale QMNA

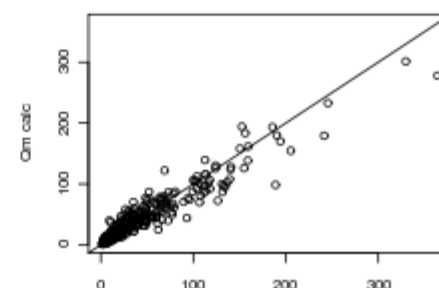
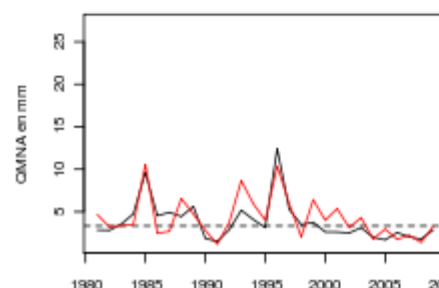
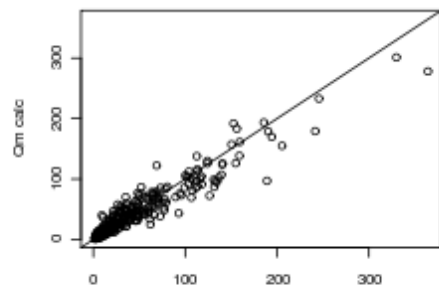
QMNAO mm - ERQ5=
QMNA5O= 2.21 QMNA5C= 2.11 mm

variable r.duite de Gauss: U
loi lognormale QMNA

QMNAO mm - ERQ5=
QMNA5O= 2.21 QMNA5C= 2.26 mm

Qmens obs et calc

Qmens obs et calc



annees

Qm obs mm - NQm= 91.6

annees

Qm obs mm - NQm= 91.6

Annexe n°3

DEBITS INFLUENCES		Débits moyens mensuels en m3/s											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
LOUP0007	Cipières	1.80	1.70	1.68	1.52	1.31	0.78	0.37	0.29	0.48	1.39	1.78	1.76
LOUP0006	Bramefan	2.81	2.62	2.52	2.30	1.99	1.17	0.56	0.43	0.71	2.11	2.74	2.72
LOUP0005	Aval bramefan	3.23	3.02	2.91	2.65	2.29	1.35	0.64	0.50	0.82	2.43	3.15	3.13
LOUP0001	Pont cassé	4.53	4.17	3.91	3.57	3.01	1.75	0.82	0.63	1.07	3.30	4.31	4.36
LOUP0002	Amont Lauron	6.30	5.77	5.32	4.84	4.00	2.32	1.08	0.81	1.40	4.47	5.86	6.01
LOUP0003	Aval Lauron	6.89	6.29	5.75	5.23	4.29	2.48	1.14	0.86	1.49	4.84	6.35	6.55
LOUP0004	Ferrayonnes	7.85	7.14	6.46	5.84	4.73	2.71	1.25	0.93	1.62	5.39	7.11	7.41
Y5615020	Gourdon	3.36	3.11	2.97	2.71	2.30	1.35	0.64	0.49	0.82	2.50	3.24	3.25
Y5615010	Tourettes sur Loup	6.17	5.65	5.24	4.78	3.98	2.31	1.07	0.82	1.40	4.42	5.78	5.90
Y5615030	Villeneuve Loubet	7.94	7.22	6.52	5.89	4.76	2.73	1.26	0.94	1.63	5.44	7.18	7.49

Résultats des débits de simulation des QMNA en différents points du bassin du Loup – DEBITS INFLUENCES

DEBITS RECONSTITUES		Débits moyens mensuels en m3/s											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
LOUP0007	Cipières	2.10	1.90	2.02	1.85	1.70	1.18	0.75	0.59	0.68	1.49	1.90	2.02
LOUP0006	Bramefan	3.27	2.94	3.06	2.82	2.59	1.78	1.14	0.88	1.02	2.26	2.90	3.11
LOUP0005	Aval bramefan	3.76	3.38	3.52	3.25	2.98	2.05	1.31	1.02	1.17	2.60	3.34	3.58
LOUP0001	Pont cassé	5.25	4.68	4.78	4.40	3.96	2.71	1.72	1.33	1.54	3.52	4.55	4.95
LOUP0002	Amont Lauron	6.98	6.20	6.25	5.74	5.09	3.48	2.20	1.69	1.96	4.57	5.94	6.52
LOUP0003	Aval Lauron	7.61	6.75	6.78	6.21	5.48	3.73	2.36	1.80	2.09	4.94	6.43	7.10
LOUP0004	Ferrayonnes	8.65	7.66	7.63	6.95	6.08	4.13	2.61	1.98	2.29	5.49	7.19	8.01
Y5615020	Gourdon	3.90	3.49	3.61	3.32	3.01	2.07	1.32	1.02	1.18	2.67	3.43	3.70
Y5615010	Tourettes sur Loup	6.84	6.08	6.15	5.66	5.05	3.45	2.18	1.68	1.95	4.52	5.86	6.41
Y5615030	Villeneuve Loubet	8.74	7.74	7.70	7.01	6.12	4.16	2.63	2.00	2.31	5.54	7.25	8.09

Résultats des débits de simulation des QMNA en différents points du bassin du Loup – DEBITS NATURALISES

DEBITS RECONSTITUES		Débits moyens mensuels en m3/s											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
LOUP0007	Cipières	2.17	1.87	2.02	1.65	1.64	1.64	1.07	0.63	0.52	1.65	2.05	2.13
LOUP0006	Bramefan	3.48	2.98	3.17	2.72	2.63	2.63	1.74	1.11	0.95	2.67	3.26	3.40
LOUP0005	Aval bramefan	3.98	3.42	3.69	3.15	3.06	3.06	2.04	1.33	1.11	3.08	3.75	3.89
LOUP0001	Pont cassé	5.28	4.46	4.70	4.04	3.77	3.77	2.43	1.51	1.24	3.96	4.86	5.11
LOUP0002	Amont Lauron	7.05	5.90	6.10	5.27	4.77	4.77	2.99	1.78	1.44	5.13	6.37	6.77
LOUP0003	Aval Lauron	7.66	6.39	6.58	5.71	5.15	5.15	3.25	1.98	1.61	5.56	6.88	7.33
LOUP0004	Ferrayonnes	8.63	7.17	7.29	6.30	5.59	5.59	3.48	2.09	1.68	6.12	7.62	8.19
Y5615020	Gourdon	4.04	3.41	3.54	3.01	2.82	1.88	1.24	1.02	1.29	2.97	3.64	3.89
Y5615010	Tourettes sur Loup	6.78	5.78	6.21	5.37	5.05	3.18	1.90	1.55	2.09	5.18	6.38	6.60
Y5615030	Villeneuve Loubet	8.96	7.46	7.61	6.63	5.93	3.82	2.46	2.05	2.57	6.43	7.92	8.51

Résultats des débits de simulation des QMNA en différents points du bassin du Loup – DEBITS NATURALISES
DEDUITS DE LA CHRONIQUE DES DEBITS INFLUENCES AUXQUELS ON AJOUTE LES
PRELEVEMENTS MOYENS MENSUELS