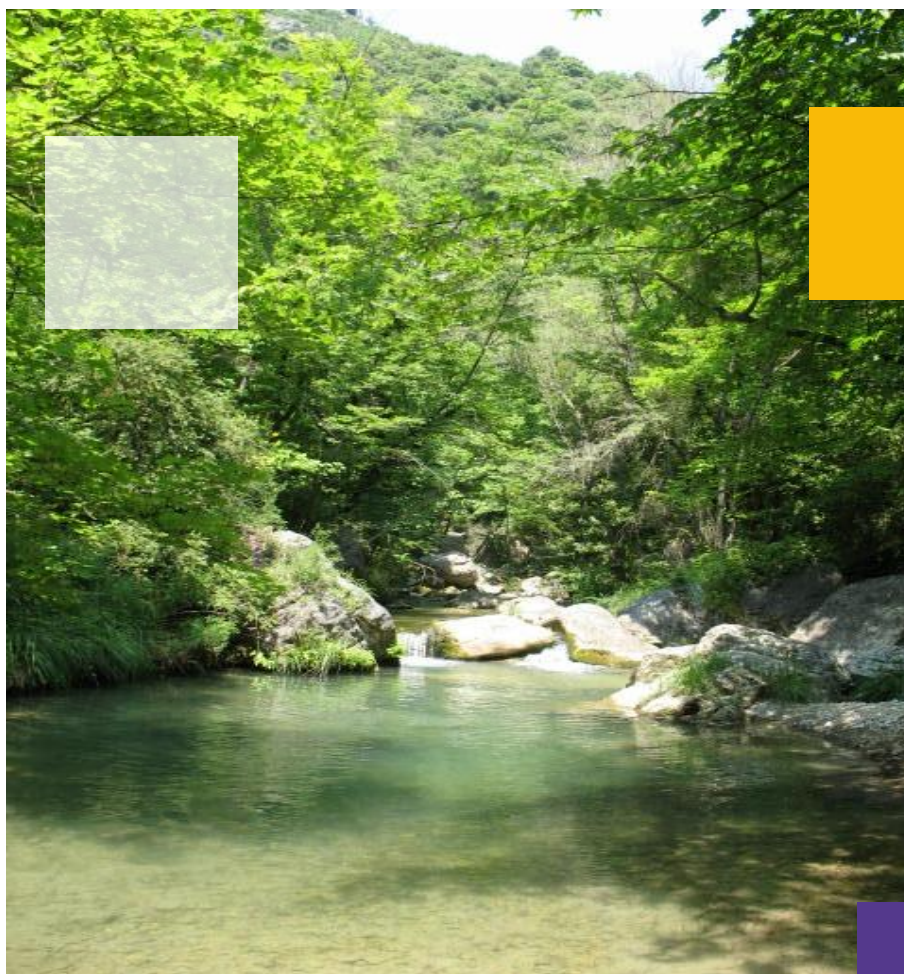


ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVABLES GLOBAUX



Bassin versant de la Cagne

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



Sommaire

1	Objectifs.....	1
2	Caractérisation de l'étiage de la Cagne	2
2.1	Hydrologie générale de la Cagne et comparaison avec d'autres bassins versants voisins....	2
2.2	Diagnostic des stations de la DREAL	5
2.3	Mise en place du réseau de stations hydrométriques mobiles et campagne de suivi CG06..	6
2.3.1	Identification des points de suivi	6
2.3.2	Ajustement des courbes de tarage	8
2.3.3	Analyse des profils en long par tronçons	8
2.3.4	Expérimentation de fermeture de la prise de l'ASA et analyse de l'influence sur les débits au Pont-des-Salles	14
2.3.5	Analyse de la réponse de la Cagne à des épisodes pluvieux.....	16
2.3.5.1	Épisode pluvieux d'avril 2008 (printemps)	16
2.3.5.2	Épisode pluvieux de septembre 2008 (été).....	17
2.3.6	Expérimentation de lâchers d'eau au niveau des sources du Riou/Sourcets pour le soutien d'étiage en juillet 2010.....	18
2.3.6.1	Protocole de mise en œuvre	19
2.3.6.2	Conditions de réalisation de l'expérimentation	19
2.3.6.3	Résultats de l'expérimentation	21
2.3.6.4	Interprétation - discussion.....	23
2.3.7	Analyse de la capacité d'absorption du milieu sur le secteur de perte	25
3	Pressions cumulées des prélèvements aux points stratégiques de référence	29
3.1	Les points stratégiques de référence.....	29
3.2	Cumul de la pression moyenne des prélèvements entre juin et septembre au niveau des deux points stratégiques de référence.....	29
4	Analyse des chroniques de débits des stations DREAL/CG06 et reconstitution des débits caractéristiques d'étiage	33
4.1	Données hydrologiques observées disponibles	33
4.2	Corrélation entre les stations et reconstitution des chroniques de débits	34
4.3	Naturalisation des débits influencés et détermination des débits caractéristiques d'étiage : 1/10 module et QMNA5.....	35
4.3.1	Naturalisation des débits influencés.....	35
4.3.2	Débits caractéristiques d'étiage reconstitués : 1/10 module et QMNA5	35
4.4	Limites et perspectives	38
5	Modélisation des écoulements de la Cagne.....	39

5.1	Les données	39
5.1.1	Les données SAFRAN	39
5.1.2	Données hydrologiques observées	39
5.2	Le modèle mensuel (GR _{loieau-pixel}) intégrant les données issues du système SAFRAN.....	40
5.2.1	Le modèle.....	40
5.2.2	Procédure de calage-contrôle du modèle	41
5.3	Les résultats	42
5.3.1	Test de calage du modèle sur les débits mesurés aux stations DREAL.....	42
5.3.1.1	Résultats.....	42
5.3.1.2	Discussion.....	42
5.3.2	Naturalisation des débits et régionalisation	44
5.3.2.1	Proposition d'une méthodologie hydrologique pour prendre en compte les effets anthropiques liés aux prélèvements	44
5.3.2.2	Calage validation du modèle	45
5.3.2.3	Résultats de la régionalisation : 1/10 module, QMNA, QMNA5, VCN10jour T _{2ans} , VCN10jour T _{5ans}	46
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	50
7	Impact du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique du bassin de la Cagne.....	53
7.1	Scénarios climatiques futurs.....	53
7.1.1	Méthode d'obtention des scénarios climatiques futurs.....	53
7.1.2	Résultats des scénarios climatiques	54
7.2	Impact des scénarios climatiques sur les débits simulés sur la Cagne	55
8	Impact de scénarios de modification des pressions anthropiques liées à l'AEP	57
9	Conclusion générale.....	59
	Annexes	61
	Annexe n°1 : fiche stations	
	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 : extrait carte historique emplacement station St Jeannet (source DREAL PACA).....	3
Figure 2 : répartition mensuelle des lames et pluies moyennes.....	4
Figure 3 : variabilité des précipitations moyennes mensuelles sur chaque période observée	4
Figure 4 : variabilité des lames moyennes mensuelles sur chaque période observée.....	4
Figure 5 : comparaison du module de la Cagne avec d'autres bassins versant aux stations de la DREAL	5
Figure 6 : carte de localisation des stations de mesures du CG06 et des sous-bassins versants associés.....	7
Figure 7 : profils des débits de la Cagne.....	9
Figure 8 : schéma synthétique de la zone d'assec de la Cagne.....	11
Figure 9 : carte de localisation des points de prélèvements en amont du bassin	12
Figure 10 : évolution des débits à Pont-des-Salles et du niveau piézométrique de la nappe alluviale durant l'étiage 2014.....	13
Figure 11 : évolution des débits à Pont-des-Salles et du niveau piézométrique de la nappe karstique durant l'étiage 2014.....	13
Figure 12 : évolution des débits d'étiage à l'aval lors de la fermeture du canal du 20/08/08 au 24/08/08	14
Figure 13 : évolution des débits de crue du 17/04/08 au 22/04/08 pour un épisode pluvieux de printemps.....	16
Figure 14 : évolution des débits d'étiage du 01/09/08 au 05/09/08 pour un épisode pluvieux d'été .	17
Figure 15 : évolution du niveau piézométrique de la nappe des calcaires du Jurassique au piézomètre du Pont-des-Salles	18
Figure 16 : station aval Sourcets (à gauche) et station Pont-des-Salles (à droite).....	21
Figure 17 : jaugeages volants au courantomètre (à gauche), et chimique (à droite).....	21
Figure 18 : évolution des débits de l'expérimentation pendant les lâchers du 26/07/2010 au 30/07/2010	22
Figure 19 : comparaison débit réel et reconstitué aval captage St-Jeannet - juillet 2010.....	22
Figure 20 : comparaison débit réel et débit reconstitué à Pont-des-Salles - juillet 2010.....	23
Figure 21 : évolution du niveau piézométrique de la nappe du Jurassique et de la nappe alluviale à l'amont du Val de Cagnes du 21/07/10 au 02/08/10	24
Figure 22 : comparaison du débit d'étiage de la Cagne à Pont-des-Salles et de l'évolution piézométrique au droit du piézomètre ASA Val de Cagnes dans la nappe jurassique	24
Figure 23 : cumul des débits moyens mensuels prélevés aux points de référence entre juin et septembre	31
Figure 24 : évolution des débits moyens mensuels prélevés à Riou/Sourcets, Féraud/Meynier et 3 Fonts (moyenne 2005 à 2012).....	32
Figure 25 : 1/10 du module naturalisé et part prélevée sur les stations DREAL (l/s)	36
Figure 26 : QMNA5 naturalisé et part prélevée sur les stations DREAL et Pont-des-Salles CG 06 (l/s)	37
Figure 27 : schéma du modèle hydrologique	40
Figure 28 : distribution des paramètres du modèle (débit mesuré influencé) en fonction de la surface des bassins.....	43
Figure 29 : distribution des coefficients d'écoulement en fonction de la surface des bassins	43
Figure 30 : répartition mensuelle des prélèvements moyens annuels sur le bassin versant de la Cagne calculée sur la période 2005 à 2012.....	44
Figure 31 : restitution des débits moyens mensuels en calage (débits mesurés aux stations)	46
Figure 32 : localisation des simulations en différents points le long du réseau hydrographique de la Cagne	47
Figure 33 : profil du 1/10 du module influencé et naturalisé aux points stratégiques de référence ..	50
Figure 34 : profil du QMNA5 influencé et naturalisé aux points stratégiques de référence	51

Figure 35 : désagrégation des données climatiques	54
Figure 36 : synoptique de travail des données climatiques jusqu'aux données Safran	54

Tableaux

Tableau 1 : coefficients de corrélation des courbes de tarage des stations mobiles	8
Tableau 2 : résultats expérimentation fermeture canal ASA du 20/08/08 au 22/08/08	15
Tableau 3 : résultats sur les volumes écoulés pendant l'expérimentation de fermeture du canal ASA	15
Tableau 4 : période, durée, linéaire et secteurs concernés par les événements hydrologiques étudiés	25
Tableau 5 : capacité d'absorption et % de pertes par secteur pour les 3 événements hydrologiques	25
Tableau 6 : débits moyens mensuels prélevés par point de captage entre 2005 et 2012 en l/s.....	30
Tableau 7 : cumul des débits moyens mensuels sur les points stratégiques de références entre 2005 et 2012 en l/s	30
Tableau 8 : période de données disponibles pour les stations DREAL	33
Tableau 9 : périodes disponibles pour les stations CG 06	34
Tableau 10 : corrélation des débits mensuels entre la station DREAL de Cagnes-sur-Mer et la station CG Pont-des-Salles sur les débits mensuels d'été.....	34
Tableau 11 : 1/10 module et QMNA5 mesurés et naturalisés aux stations DREAL et Pont-des-Salles (CG)	36
Tableau 12 : 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).....	42
Tableau 13 : rejets moyens annuels sur la Cagne sur la période 2007 à 2012.....	44
Tableau 14 : résultats du calage et de la validation sur les débits mesurés influencés à la station St-Jeannet.....	45
Tableau 15 : résultats du calage et de la validation sur les débits mesurés influencés à la station Cagnes-sur-Mer.....	45
Tableau 16 : résultats des simulations en différents points du bassin de la Cagne sur les débits influencés – comparaison avec les débits observés	48
Tableau 17 : résultats des simulations en différents points du bassin de la Cagne sur les débits naturalisés et comparaison avec les débits influencés « naturalisés » et les débits mesurés reconstitués.....	48
Tableau 18 : 1/10 modules influencés et naturalisés aux points stratégiques de référence	50
Tableau 19 : QMNA5 influencés et naturalisés aux points stratégiques de référence.....	51
Tableau 20 : rapport entre le QMNA5 et le 1/10 du module à réservoir (point stratégique de référence)	52
Tableau 21 : évolution des principales variables climatiques pour différentes périodes, sur les bassins de la Cagne	55
Tableau 22 : résultats des simulations en différents points du bassin de la Cagne, débits influencés sur la période P1 (2046 -2065).....	56
Tableau 23 : résultats des simulations en différents points du bassin de la Cagne, débits influencés sur la période P2 (2081 – 2100).....	56
Tableau 24 : résultats des simulations en différents points du bassin de la Cagne, débits influencés avec hausse des prélèvements moyens de 10%	57
Tableau 25 : résultats des simulations en différents points du bassin du Cagne, débits influencés avec baisse des prélèvements moyens de 10%	57

1 Objectifs

La phase 1 a détaillé le fonctionnement hydrogéologique particulier du bassin de la Cagne : une rivière soutenue à l'amont par des sources karstiques productives et une partie aval, depuis la confluence avec la Lubiane jusqu'à Cagnes-sur-Mer, qui subit des pertes karstiques et alluviales importantes responsables des étiages sévères. La phase 2 a mis en évidence le caractère gravitaire des captages AEP essentiellement situés sur la partie amont du bassin versant et un prélèvement agricole significatif sur la partie aval situé sur le secteur d'assec de la Cagne (canal de l'ASA Val de Cagnes).

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 de la Cagne
- ✓ L'analyse de la pression cumulée des prélèvements aux points stratégiques de référence
- ✓ L'analyse des chroniques de débits des stations existantes et détermination des débits caractéristiques d'étiage à partir de cette donnée
- ✓ La modélisation des écoulements de la Cagne
 - 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 de la Cagne
- ✓ 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 afin de caractériser les déséquilibres, s'ils existent.

2 Caractérisation de l'étiage de la Cagne

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 sur le bassin de la Cagne est insuffisant et inadapté pour les mesures de débits d'étiage. La seule station présente à l'époque de l'étude (Cagnes-sur-Mer) et dont les données étaient peu fiables pour les faibles débits, n'existe plus aujourd'hui. 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 2008 un suivi régulier des débits d'étiage par des campagnes de jaugeage et par l'installation de stations hydrométriques mobiles.

2.1 Hydrologie générale de la Cagne et comparaison avec d'autres bassins versants voisins

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

Rappel de l'hydrologie générale de la Cagne

Le Cagne 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 du massif du Cheiron. 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.

Aujourd'hui, le bassin de la Cagne n'est couvert par aucune station hydrométrique de la DREAL. La dernière station en fonctionnement était située à Cagnes-sur-Mer, en aval de la confluence avec le Malvan. Elle est arrêtée depuis 2010. Il existe également une chronique de débits sur une station DREAL qui a été en service entre 1981 et 1988 sur la commune de St-Jeannet :

Communes	Code station	BV spécifique (km ²)	Période	Altitude (m)	Exploitant
St-Jeannet	Y5625010	38.7	1981-1988	353	DREAL PACA
Cagnes-sur-Mer	Y5625020	95	1988-2010	1	DREAL PACA

Le débit de la Cagne a été enregistré sur ces deux stations pendant une période courte pour la station de St-Jeannet, 8 ans (1981-1988) et plus longue pour la station de Cagnes-sur-Mer, 19 ans (1988-2010).

La station de St-Jeannet se trouve sur la partie amont du bassin. Elle est située en aval des captages de Vence (Riou/Sourcets) et de St-Jeannet (Féraud/Meynier) mais en amont des captages des 3 Fonts. La carte historique ci-dessous (source DREAL PACA) indique son positionnement :

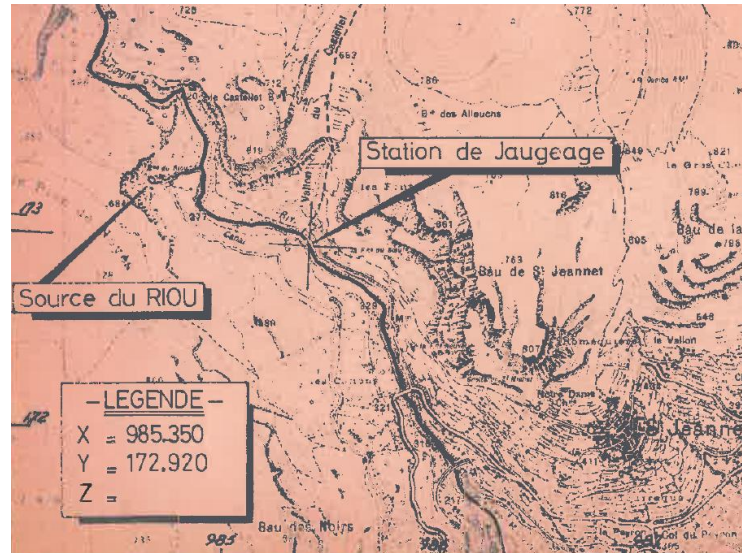


Figure 1 : extrait carte historique emplacement station St Jeannet (source DREAL PACA)

La station de Cagnes-sur-Mer se trouve sur la partie terminale du cours d'eau juste en aval de la confluence avec le Malvan.

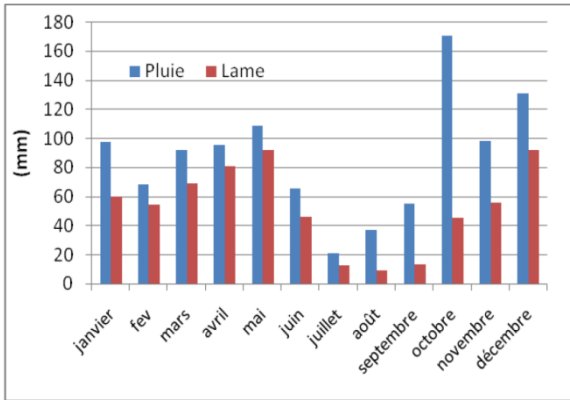
Des chroniques de débits et des données climatiques ont été extraites les données mensuelles moyennes. La lame annuelle du cours d'eau (part de la pluie qui s'écoule dans la rivière) à Cagnes-sur-Mer est estimée à 270 mm sur sa période observée (1988 à 2010). Elle est inférieure de plus de la moitié à celle observée à Saint Jeannet, 560 mm, sur la période 1981 à 1988.

La figure 2 représente les pluies (issues du système SAFRAN* de Météo-France) et lames mensuelles moyennes écoulées. Ainsi on observe :

- deux périodes arrosées par les précipitations, l'automne et le printemps,
- une période sèche estivale avec une variabilité très faible pour les mois de juillet et août, ils sont toujours très secs,
- une variabilité importante des précipitations pour le mois d'octobre (figure 3), ainsi que des écoulements mesurés à Cagnes-sur-Mer pour les mois d'octobre à décembre (figure 4).

*SAFRAN : Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Atmosphériques à la Neige. Il s'agit d'un système d'analyse de l'atmosphère à moyenne échelle développé par Météo-France qui a pour objectif de produire des valeurs en surface de divers variables climatiques et hydrométéorologiques.

La Cagne à St-Jeannet (1981-1988)



La Cagne à Cagnes-sur-Mer (1988-2010)

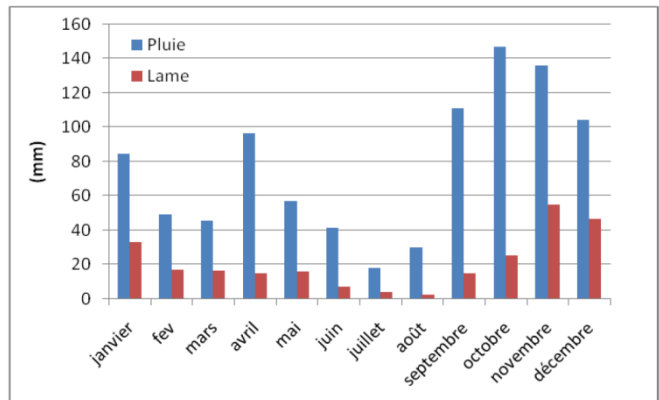


Figure 2 : répartition mensuelle des lames et pluies moyennes

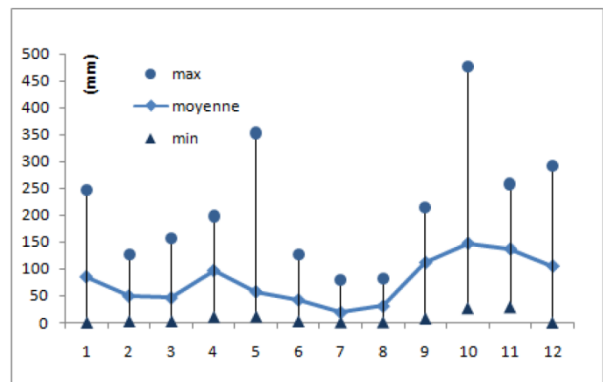
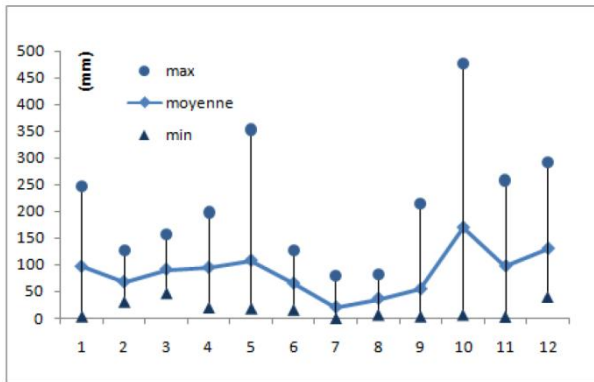


Figure 3 : variabilité des précipitations moyennes mensuelles sur chaque période observée

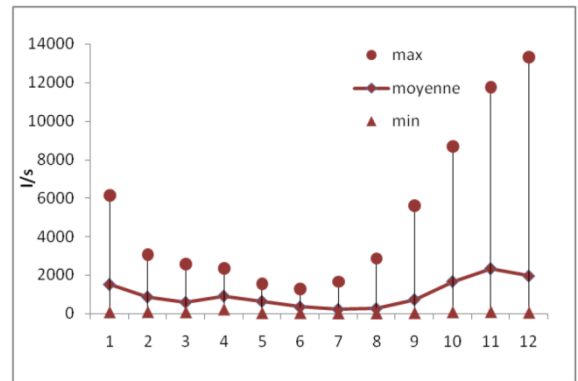
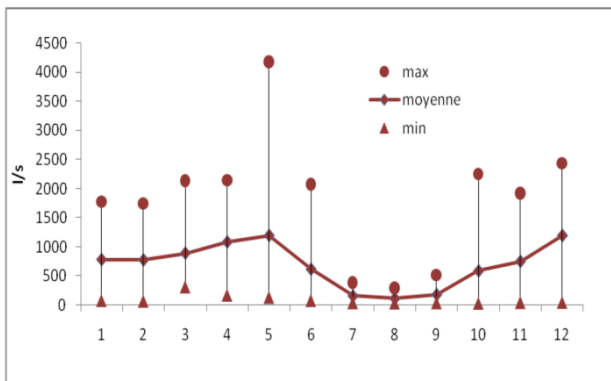


Figure 4 : variabilité des lames moyennes mensuelles sur chaque période observée

Les modules annuels des deux stations de la Cagne 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 (1988-2011)	95	0.81	8.53
Cagne à St Jeannet (1981 - 1988)	39	0.69	17.69
Jabron à Comps (1974-2011)	66	0.60	9.09
Siagne à Ajustadoux (1952-2011)	278	6.50	23.38

Figure 5 : comparaison du module de la Cagne 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 le module annuel spécifique de la **Cagne à St-Jeannet**, du Loup 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 et donc sur la partie amont de la Cagne.

Pour la station de la **Cagne à Cagne-sur-Mer**, on relève que le module annuel spécifique est plus faible et similaire à celui du Jabron à Comps, ce qui révèle que l'apport du milieu diminue sur l'aval avec l'augmentation de la superficie du bassin versant.

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.

L'analyse plus fine du comportement de la Cagne a été réalisée par le CG06 depuis 2008 au travers de campagnes d'investigations et de suivi de débits.

2.2 Diagnostic des stations de la DREAL

Un diagnostic de la station de **Cagne-sur-Mer** 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.

La courbe de tarage a été analysée et les résultats des débits jaugés ont été comparés aux débits mesurés. La station a fait l'objet d'un diagnostic qui évalue son aptitude à fournir des débits d'étiages.

Station de Cagne-sur-Mer

- Station avec échelle + télégestion (câble téléphonique)
- Substrat dominant : pierres, cailloux
- Berges bétonnées avec section du lit mineur trapézoïdal - Algues filamenteuses
- Mesure effectuée 20 m à l'aval de la station car section large et vitesses trop faibles au droit de la station hydrométrique

⇒ **Précision douteuse en période de basses eaux.** Station très fortement influencée nécessitant d'effectuer un suivi régulier et des jaugeages fréquents en période de basses eaux.

Cette station est située sur la partie canalisée de la Cagne en centre en ville. Le lit est souvent encombré et nécessite un entretien très régulier. L'analyse de la courbe de tarage confirme la difficulté de corrélérer correctement les débits aux hauteurs d'eau pour les débits faibles à moyens.

Nous ne disposons d'aucune information sur la station de St-Jeannet qui était située en aval des captages des sources de Féraud et Meynier.

2.3 Mise en place du réseau de stations hydrométriques mobiles et campagne de suivi CG06

L'analyse de l'étude sur la ressource en eau de BRL a mis en évidence que l'unique station de mesure de la DREAL, à l'époque, était insuffisante et trop peu fiable pour mieux connaître les phénomènes hydrologiques en jeu et différencier le rôle des facteurs anthropiques (prélèvements AEP et agricoles) et des facteurs naturels (zones de pertes et d'apports).

Face à ce constat, le CG 06 a engagé un plan d'action de caractérisation de l'hydrologie de la Cagne en 2008 faisant suite à celui du Loup en 2007. Des jaugeages différentiels ont été effectués, entre 2008 et 2013, sur plusieurs points du cours d'eau afin d'obtenir l'évolution longitudinale du débit de la Cagne sur tout son linéaire. En totalité, près de **180 jaugeages** ont été réalisés sur cette période.

Par ailleurs, en 2008, le CG a installé un dispositif expérimental de suivi des étiages 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, 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. Analyse des résultats au regard des points de prélèvement et des échanges avec les aquifères karstiques et alluviaux. Bilan du dispositif : efficacité, amélioration possible, élargissement du dispositif.

Le dispositif de suivi mis en place en 2008 compte six stations CG06 sur l'ensemble du bassin versant de la Cagne (dont une station dans le canal ASA pour quantifier les prélèvements agricoles).

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 seront définis les débits caractéristiques d'étiage et les débits biologiques.

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

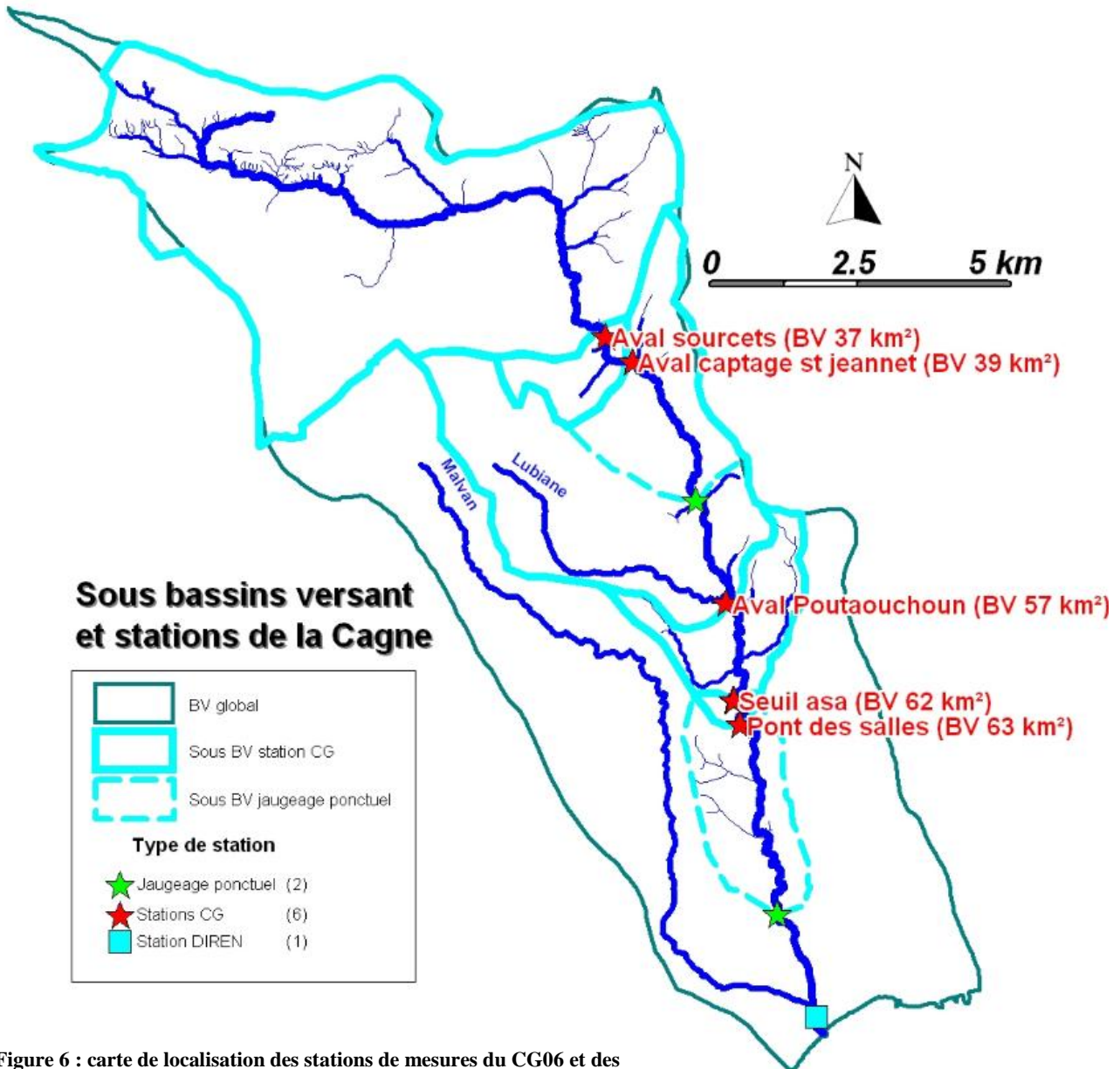


Figure 6 : carte de localisation des stations de mesures du CG06 et des sous-bassins versants associés

Les six points de suivi sont décrits en annexe 1 dans les fiches stations. **Deux points stratégiques de référence** ont été identifiés :

- **point aval St-Jeannet** (situé en aval des captages Riou/Sourcets et juste en aval de Féraud/Meynier)
- **point Pont-des-Salles** (situé en aval des prélèvements de l'ASA sur une zone de pertes importantes et au niveau de la transition système karstique/système alluvial)

2.3.2 Ajustement des courbes de tarage

Deux ajustements de courbe de tarage ont été utilisés pour la relation hauteur-débit suivant les stations : une relation linéaire ou logarithmique selon le cas. La relation n'est valable que pour les bas débits.

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

période	Stations	coefficient de corrélation de la courbe de tarage
2008 et 2010	aval Sourcet	0,98
2008 et 2010	captages St Jeannet	0,96
2008	aval poutaouchoun	0,97
2008	seuil ASA	0,98
2010	canal ASA	0,98
2008-2013	Pont des salles	0,97

Tableau 1 : coefficients de corrélation des courbes de tarage des stations mobiles

On constate des coefficients de corrélation excellents pour l'ensemble des stations de mesures.

2.3.3 Analyse des profils en long par tronçons

Les campagnes de jaugeages de 2008 et 2014 ont permis de déterminer des profils en long des débits de la Cagne afin de réaliser une analyse de l'hydrologie par tronçon. Ceux-ci sont reportés sur la figure ci-dessous :

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

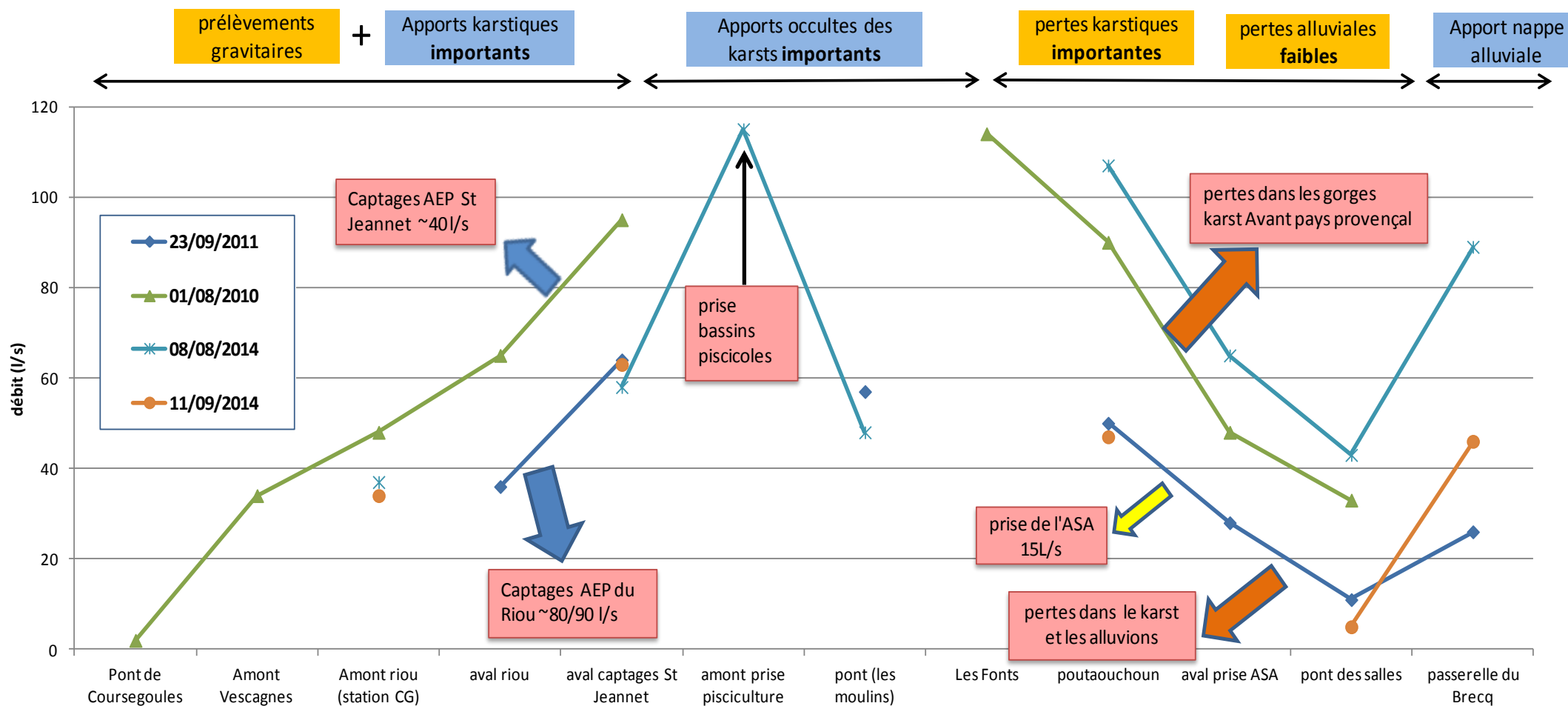


Figure 7 : profils des débits de la Cagne

✓ **Secteur amont jusqu'à l'aval des captages de St-Jeannet :**

Ce secteur correspond à la zone d'alimentation de la Cagne par le massif karstique sub-alpin via les exutoires latéraux situés sur les flancs de vallée. Le niveau de base de ces résurgences est fixé par la position du trias imperméable.

Cette zone est caractérisée par l'**apport de sources karstiques très productives** qui sont captées pour l'alimentation en eau potable (captages Riou/Sourcets et Féraud/Meynier).

Malgré ces prélèvements importants sur cette partie amont, la Cagne bénéficie d'un soutien du karst significatif jusqu'en aval des captages de St-Jeannet comme le révèlent les profils de débit.

On remarque que malgré des prélèvements autour de **150 l/s** (Vence + St-Jeannet) **en période d'étiage**, le cours d'eau bénéficie d'un **apport karstique de 40 à 50 l/s** entre l'amont des captages de Vence et l'aval des captages de St-Jeannet.

✓ **Secteur aval des captages de St-Jeannet jusqu'au lieu dit « Les Fonts » (aval bassins pisciculture) :**

Ce secteur est caractérisé par des apports occultes du karst sur la traversée du crétacé imperméable jusqu'au lieu dit « Les Fonts ». On relève un **apport important du karst de l'ordre de 60 l/s** sur ce secteur entre les captages de St-Jeannet et la prise d'eau des bassins piscicoles.

Par ailleurs, il existe une dérivation historique pour le remplissage de bassins piscicoles dont la prise est située juste en amont du Pont communal qui traverse la Cagne à St-Jeannet (les moulins).

Le débit dérivé varie entre 60 et 70 l/s. Les exutoires des bassins sont multiples et dispersés tout le long de la propriété. Même si les ouvrages ne sont plus utilisés à des fins commerciales, l'eau est toujours dérivée en continue.

✓ **Secteur lieu dit « Les Fonts » jusqu'au Pont-des-Salles :**

Cette zone est caractérisée par des **pertes karstiques importantes** dans la traversée des gorges évaluées à environ **80 l/s** en période d'étiage.

On constate que la Cagne ne bénéficie d'aucun apport de la Lubiane durant cette période de l'année. Même s'il peut exister un apport léger de la Lubiane, il est directement perdu dans le milieu karstique et ne bénéficie pas au milieu superficiel.

Prise de l'ASA Val de Cagnes :

Il existe un seuil à la sortie des gorges qui est utilisé pour alimenter un canal d'irrigation géré par l'ASA Val de Cagnes (voir p.14 phase 2).

Aucun mode de gestion n'existe sur le canal et les débits dérivés varient entre **10 et 15 l/s en période d'étiage sévère**. Le débit de la prise dépend directement du débit de la Cagne en amont du seuil.

Une expérimentation a été menée en août 2008 pour évaluer l'influence de la fermeture du canal sur les débits à Pont-des-Salles en période d'assec. Elle est restituée au paragraphe 2.3.4. plus bas.

Secteur seuil ASA – Pont-des-Salles :

Sur ce secteur, la Cagne s'assèche de manière récurrente en période d'étiage sévère. L'assec débute environ 800 m en aval du Pont-des-Salles dans la zone alluviale, puis s'étend en amont jusqu'en aval du seuil de l'ASA.

La confrontation des données piézométriques avec les débits du fleuve (voir 2.3.6 expérimentation de lâchers d'eau) a montré que la rivière alimente naturellement la nappe jurassique sur ce secteur.

✓ **Secteur Pont-des-Salles jusqu'à l'embouchure :**

Secteur Pont-des-Salles – restitution canal ASA :

Dans la basse vallée de la Cagne, à la sortie des gorges (Pont-des-Salles), les formations du Jurassique disparaissent sous des dépôts d'alluvions plus récents (grave sablo-argileuse). La zone alluvionnaire (largeur de la plaine entre 300 et 400 m et épaisseur de 20 m en aval du Pont-des-Salles et 100 m à l'embouchure) se retrouve isolée des calcaires jurassiques par les marnes et les poudingues du pliocène.

La carte ci-dessous met en évidence la position de la station Pont-des-Salles en sortie des gorges par rapport au point de départ de la zone d'assec qui se situe 800 m plus en aval, au niveau de la restitution du canal ASA.

Il apparaît difficile d'expliquer pourquoi l'assec s'initie systématiquement 800 m en aval de la transition entre le jurassique et la plaine alluviale. On suppose qu'un défaut d'alimentation de la nappe de la plaine alluviale par le karst en amont est à l'origine du processus. L'assec s'étend ensuite vers l'amont et peut remonter jusqu'au seuil de l'ASA (600 m en amont du Pont-des-Salles).

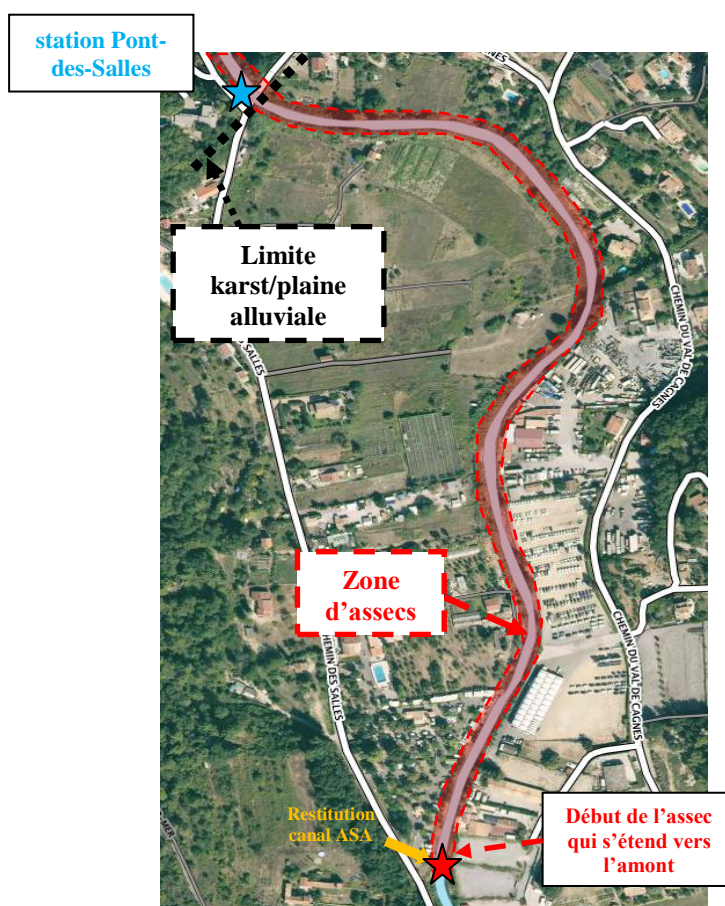


Figure 8 : schéma synthétique de la zone d'assec de la Cagne

Secteur restitution canal ASA – embouchure :

En aval de la restitution du canal ASA, les débits croissent à nouveau jusqu'à l'embouchure. On note une augmentation de 15 l/s à 40 l/s des débits entre la station Pont-des-Salles et la station passerelle du Brecq en étiage. La station de la DREAL de Cagnes-sur-Mer, située juste en aval, bénéficie aussi de l'apport du Malvan.

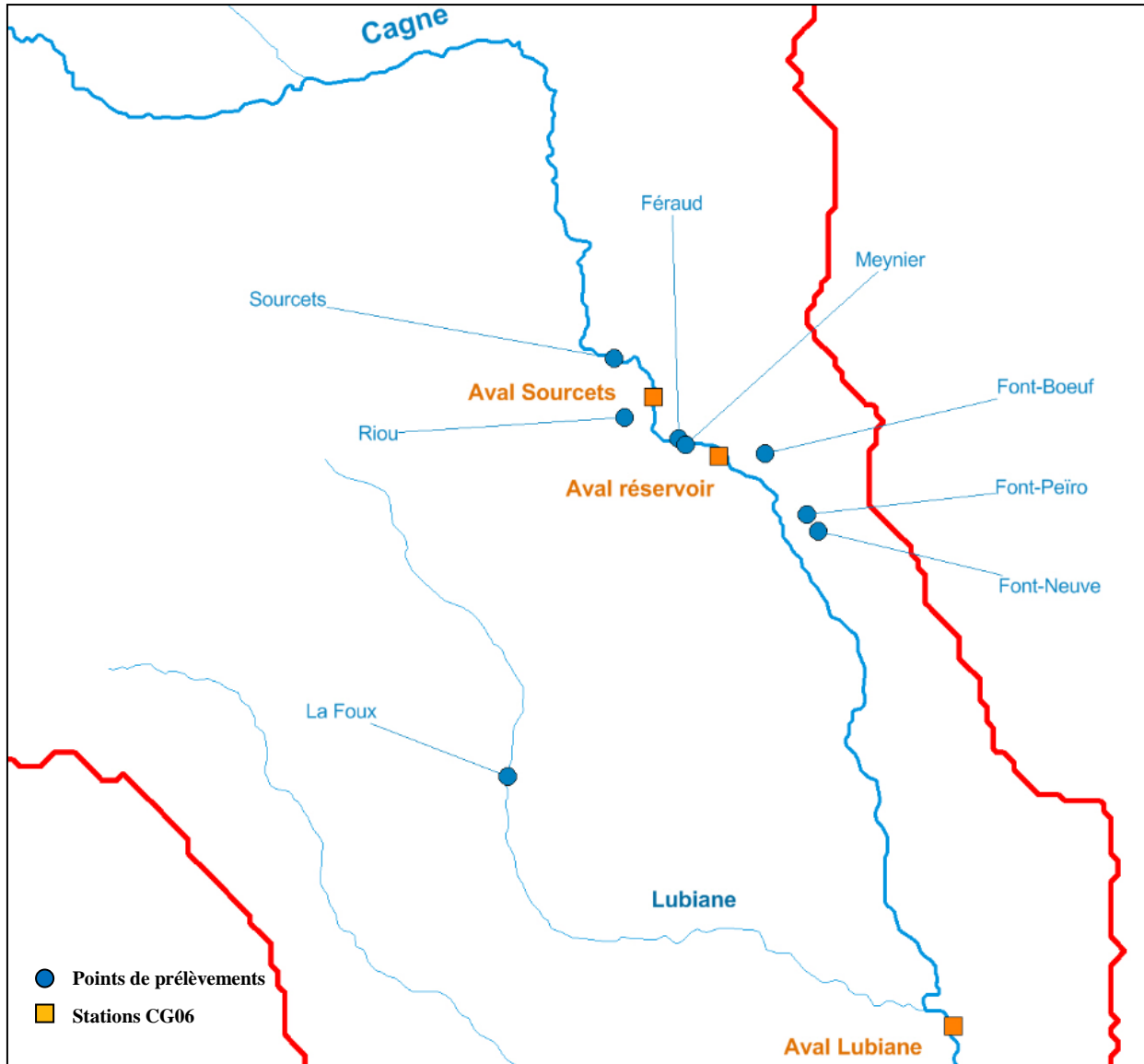


Figure 9 : carte de localisation des points de prélèvements en amont du bassin

La figure ci-dessus permet de localiser les points de prélèvements en amont du bassin versant par rapport aux stations CG.

Relation entre le débit de la Cagne aval et les niveaux piézométriques des nappes alluviales et karstiques :

La comparaison des profils des débits du 8/08/2014 et du 11/09/2014 (cf. p9) met en évidence que le système aval (aval Les Fonts) est déconnecté du système amont et que les débits en aval sont directement liés au niveau piézométrique de la nappe karstique et alluviale de la basse vallée. Le piézomètre de la nappe alluviale est situé au niveau du Pont-des-Salles et le piézomètre de la nappe karstique est situé 500 m en amont. Les graphiques ci-dessous présentent l'évolution des débits de la Cagne et des niveaux piézométriques des nappes karstique et alluviale de la basse vallée entre le 25 juillet 2014 et le 8 septembre 2014.

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

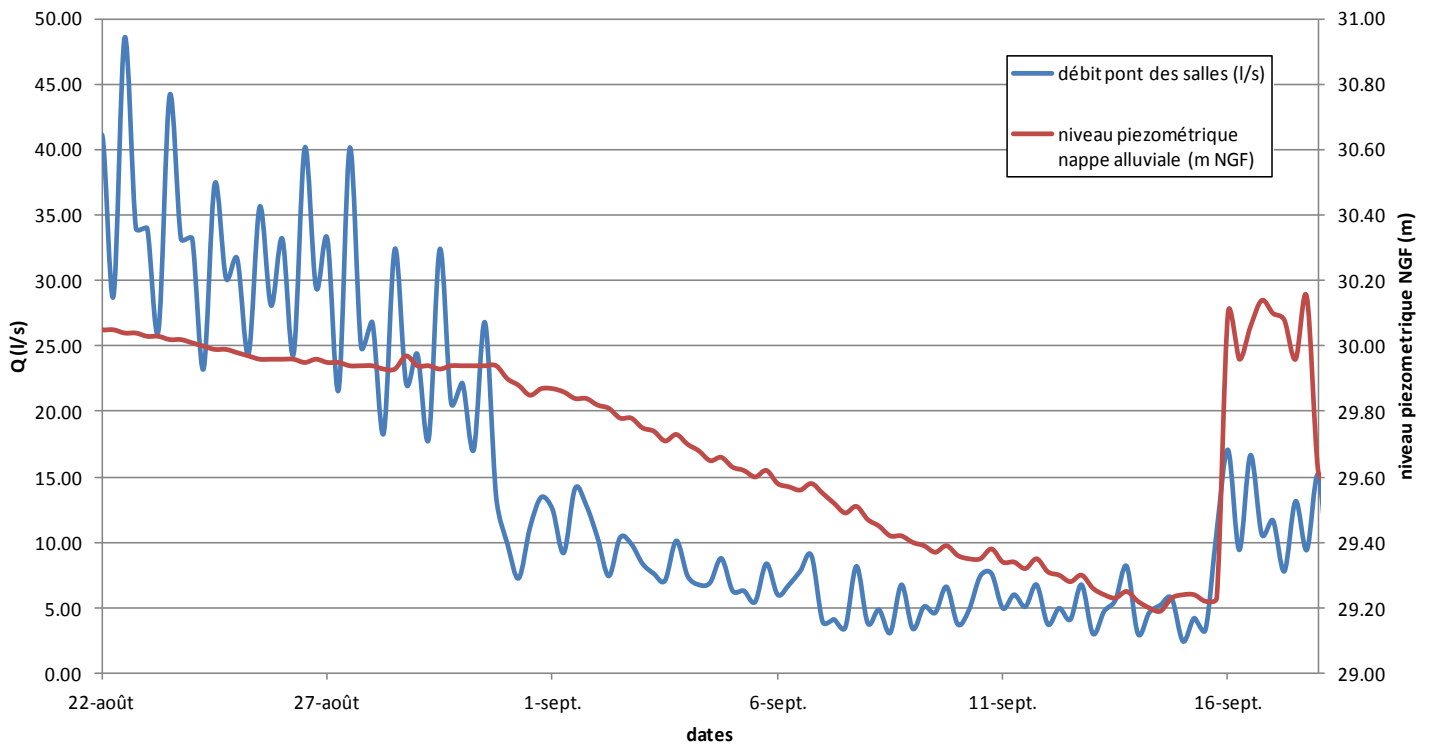


Figure 10 : évolution des débits à Pont-des-Salles et du niveau piézométrique de la nappe alluviale durant l'été 2014

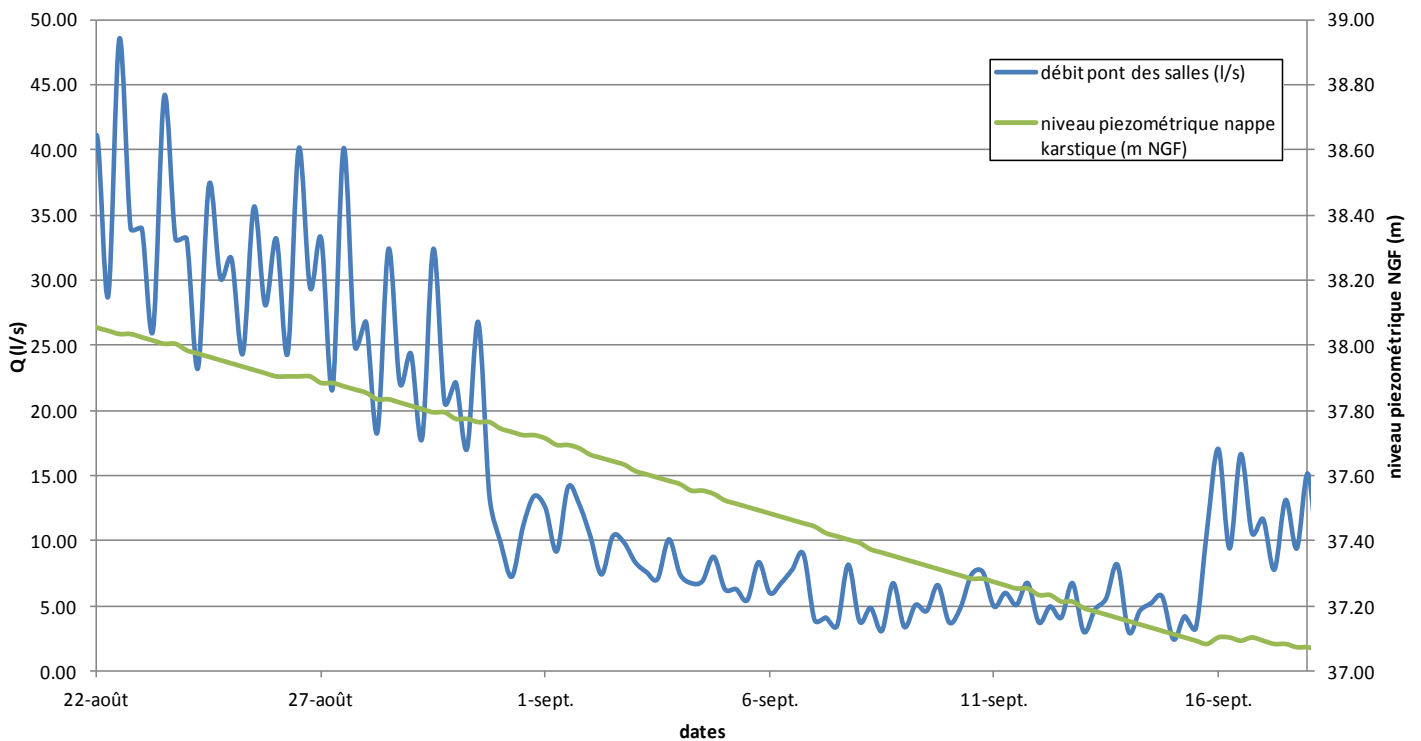


Figure 11 : évolution des débits à Pont-des-Salles et du niveau piézométrique de la nappe karstique durant l'été 2014

On constate que la baisse du débit de la Cagne à Pont-des-Salles est directement en relation avec la baisse du niveau des nappes.

Le 31 août, on observe une baisse du débit de la Cagne qui passe de 25 à 10 l/s. Cette diminution rapide du débit induit une chute du niveau piézométrique de la nappe alluviale qui n'est plus alimentée par le cours d'eau. Cette baisse est visualisable par l'inflexion de la courbe piézométrique sur la figure 10.

En revanche, le niveau de la nappe karstique continue de baisser de manière constante (figure 9) alors que cette dernière est alimentée directement par la rivière. La nappe karstique ne réagit pas à la baisse des débits de la Cagne. Elle est soutenue par un bassin hydrogéologique plus étendue que le bassin versant de la Cagne.

Le 15 septembre, on observe une augmentation des débits de la Cagne liée à un épisode pluvieux qui induit une augmentation conséquent du niveau piézométrique de la nappe alluviale (+1m) et un ralentissement de la baisse du niveau piézométrique de la nappe karstique. Ceci confirme bien la relation entre la Cagne et la nappe karstique.

Il faut ajouter que la position du piézomètre limite l'interprétation du comportement de la nappe karstique. Il faudrait disposer de plus de piézomètres pour mieux analyser les caractéristiques de la nappe.

2.3.4 Expérimentation de fermeture de la prise de l'ASA et analyse de l'influence sur les débits au Pont-des-Salles

Afin d'évaluer l'influence du débit du canal de l'ASA sur les débits de la Cagne, une expérimentation de fermeture/réouverture du canal à 2 reprises, le 20/08/2008 pendant 19 heures et le 22/08/2008 pendant 24 heures, a été réalisée.

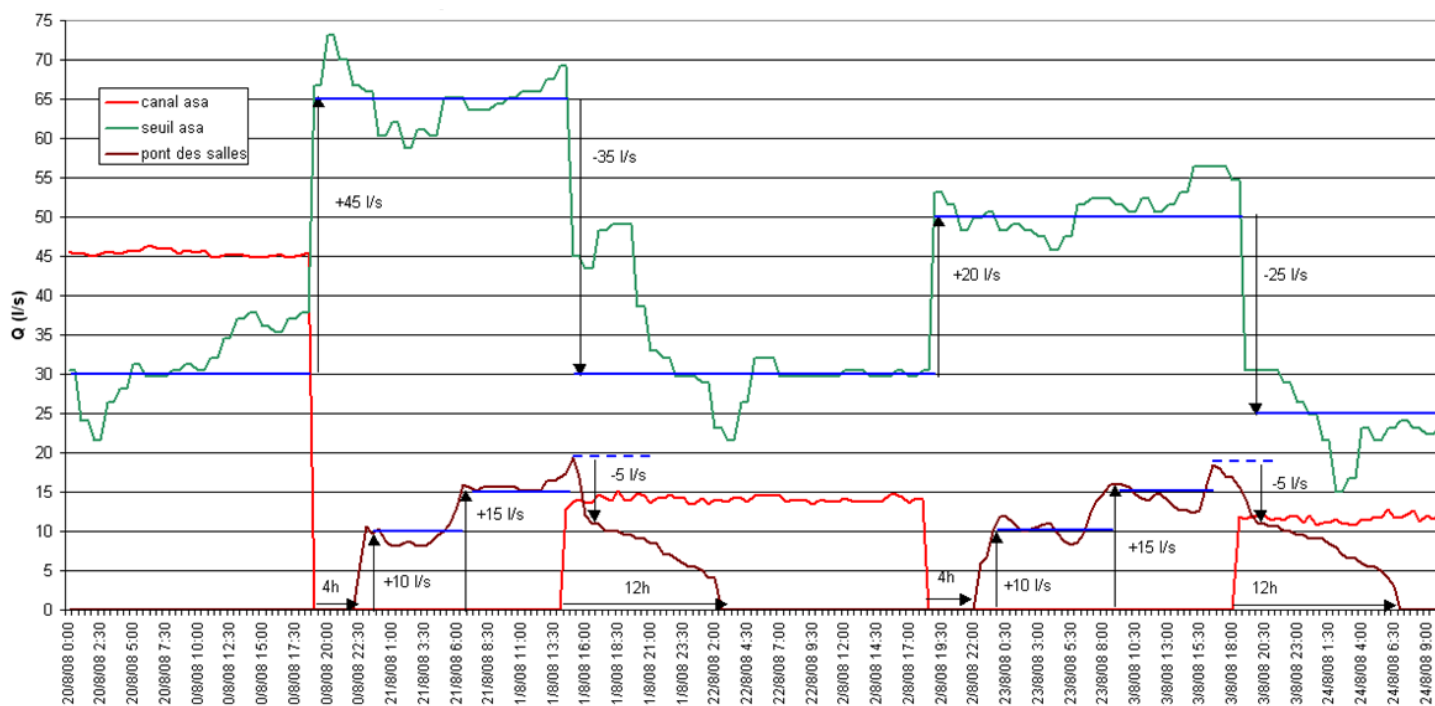


Figure 12 : évolution des débits d'étiage à l'aval lors de la fermeture du canal du 20/08/08 au 24/08/08

Avant l'évènement, le canal prélève un débit de 45 l/s, tandis qu'il s'écoule un débit moyen de 30 l/s au niveau du seuil de l'ASA. Le cours d'eau est assec à Pont-des-Salles depuis 3 jours.

Observations :

	Avant le 20/08	du 20/08 à 19h au 21/08 à 14h : 19 heures	du 21/08 à 14h au 22/08 à 18h : 28 heures	du 22/08 à 18h au 23/08 à 18h : 24 heures	du 23/08 à 18h au 24/08 à 9h : 15 heures
Poutaoutchoun	~80 l/s	~75 l/s	~60 l/s	~60 l/s	~60 l/s
Canal ASA	45 l/s	0 l/s	15 l/s	0 l/s	12 l/s
Seuil ASA	~30 l/s	37 à 73 l/s instantanément puis ~65 l/s	65 à 30 l/s en 12h puis ~30 l/s	30 à 53 l/s instantanément puis ~50 l/s	55 à 30 l/s instantanément puis ~25 l/s
Pont-des-Salles	0 l/s	0 l/s pendant 4h, puis 0 à 20 l/s en 15h	17 à 12 l/s instantanément puis 12 à 0 l/s en 12h	0 l/s pendant 4h, puis 0 à 20 l/s en 20h	17 à 12 l/s instantanément puis 12 à 0 l/s en 12h

Tableau 2 : résultats expérimentation fermeture canal ASA du 20/08/08 au 22/08/08

Cet événement met bien en évidence l'influence du canal ASA sur les débits d'étiage de la partie aval de la Cagne.

A la fermeture du canal, on observe une hausse importante du débit au seuil et à Pont-des-Salles. Le débit prélevé par le canal est restitué à 100% au niveau du seuil. Entre le seuil et Pont-des-Salles, une partie est drainée par la nappe. Le déphasage de 4h observé entre les 2 stations est induit par ce phénomène.

Le débit croît par palier jusqu'à la réouverture du canal. On observe un régime transitoire à Pont-des-Salles, et la tendance d'accroissement du débit laisse penser qu'on peut atteindre un régime permanent si le canal reste fermé plus longtemps. A chaque réouverture du canal, le débit chute instantanément de 5 l/s puis décroît en 12h. Le fait que les déphasages et variations du débit à Pont-des-Salles soient similaires pour différentes restitutions à l'amont laisse penser que le débit complémentaire est toujours drainé par les calcaires du jurassique. Les volumes absorbés par la nappe déterminés à chaque cycle de fermeture du canal appuient cette hypothèse :

	Cycle 1 : 28 heures	Cycle 2 : 32 heures
Volume écoulé au seuil ASA	5385 m ³	4840 m ³
Volume restitué à Pont-des-Salles	1113 m ³	1300 m ³
Pertes	4272 m ³ (80%)	3540 m ³ (73%)
Capacité d'absorption de la nappe (entre seuil ASA et Pont-des-Salles)	~150 m³/h (~40 l/s)	~110 m³/h (~30 l/s)

Tableau 3 : résultats sur les volumes écoulés pendant l'expérimentation de fermeture du canal ASA

Cependant il faut rester prudent avec ces données, car le régime permanent n'a pas été atteint à Pont-des-Salles. Il faudrait fermer le canal plusieurs jours pour avoir un débit constant à Pont-des-Salles, et ainsi mieux comprendre les échanges entre le cours d'eau et la nappe du jurassique sur cette partie.

2.3.5 Analyse de la réponse de la Cagne à des épisodes pluvieux

Afin d'évaluer la sensibilité de la réponse hydrologique de la Cagne aux pluies, deux épisodes pluvieux ont été étudiés. Ils correspondent respectivement à un débit de base à la station Pont-des-Salles de 200 l/s (printemps) et 0 l/s (assec en été).

2.3.5.1 Épisode pluvieux d'avril 2008 (printemps)

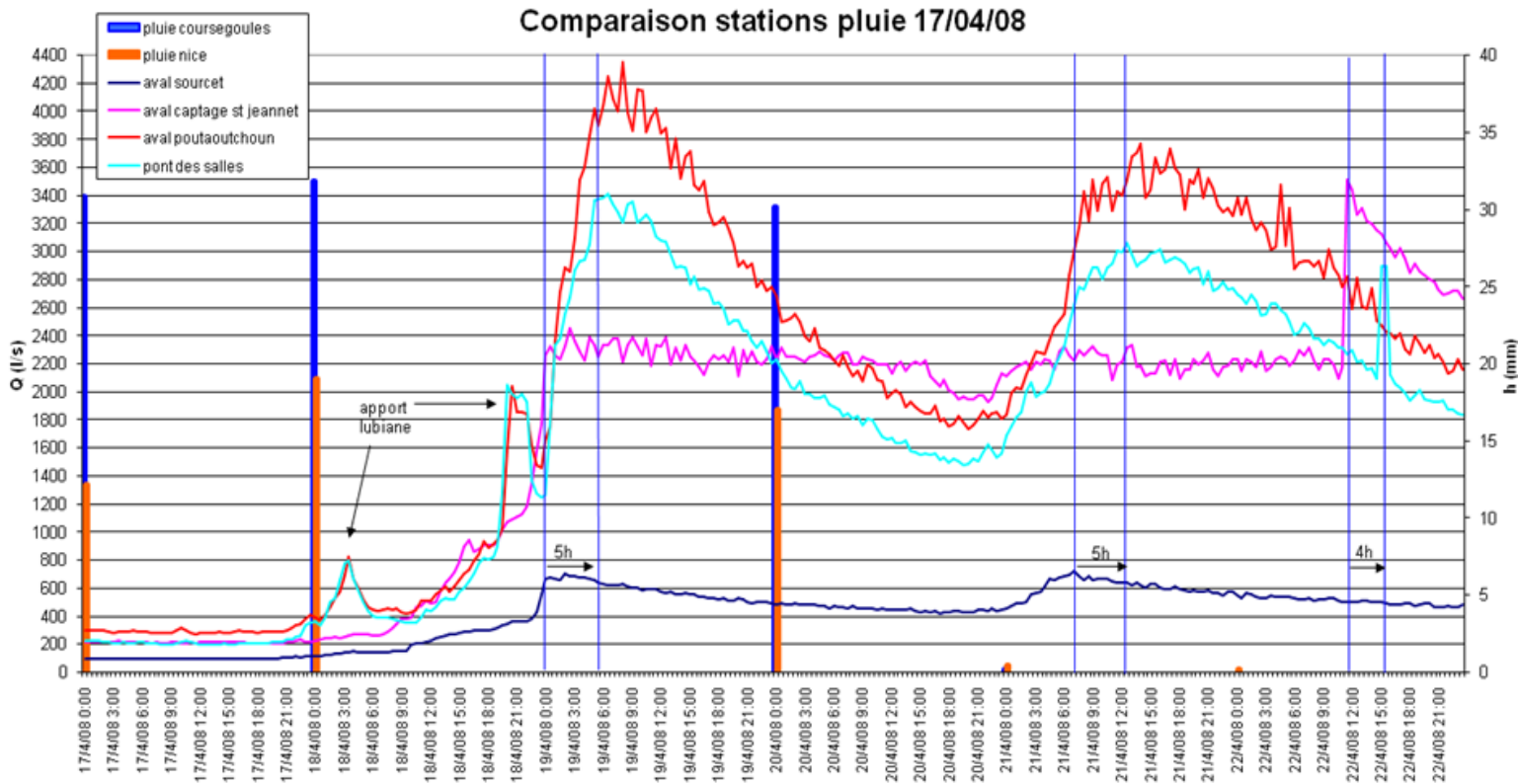


Figure 13 : évolution des débits de crue du 17/04/08 au 22/04/08 pour un épisode pluvieux de printemps

Au printemps, l'événement pluvieux a entraîné une crue de la Cagne. En 2 jours, le 17/04 et le 18/04, on enregistre un cumul de 60 mm à Coursegoules et 32 mm à Nice.

Observations :

- pics le 18/04 sur *Poutaoutchoun (aval Lubiane)* et *Pont-des-Salles*. Il n'y a aucun déphasage entre ces 2 stations car le débit est important et le pas de temps de 30 min n'est pas assez fin. Ces pics ne sont pas observés sur *Aval Sourcet* et *Aval Captage St-Jeannet* : il s'agit donc d'un apport de la Lubiane.
- 1 maximum le 19/04 à minuit sur *Aval Sourcet* et *Aval Captages St-Jeannet*. Il n'y a aucun déphasage entre ces 2 stations compte tenu de leur proximité. Il y a une différence de 1600 l/s entre les 2 stations, provenant de la crue de la source du Riou.
- 1 maximum le 19/04 à 5 h sur *Poutaoutchoun (aval Lubiane)* et *Pont-des-Salles*. La propagation de l'onde sur un tronçon de 2 km a duré environ 5 heures.
- 1 maximum le 21/04 suite à une 3ème pluie. Il y a environ 5 heures de décalage entre *Aval Captage St-Jeannet* et *Pont-des-Salles*.

La crue observée pendant ces 3 jours n'est pas exceptionnelle. Suite à un évènement pluvieux printanier, il est tout à fait normal d'observer une hausse de débit de cette ampleur. Les apports des sources karstiques et de la Lubiane ne sont pas négligeables en temps de pluie, au vu des différences de débits entre les stations. Nous avons mesuré un temps de propagation de l'onde de l'ordre de 5 heures, plus ou moins court selon l'importance des débits et l'état de saturation hydrique du bassin.

2.3.5.2 Épisode pluvieux de septembre 2008 (été)

Comparaison stations pluie 01/09/08

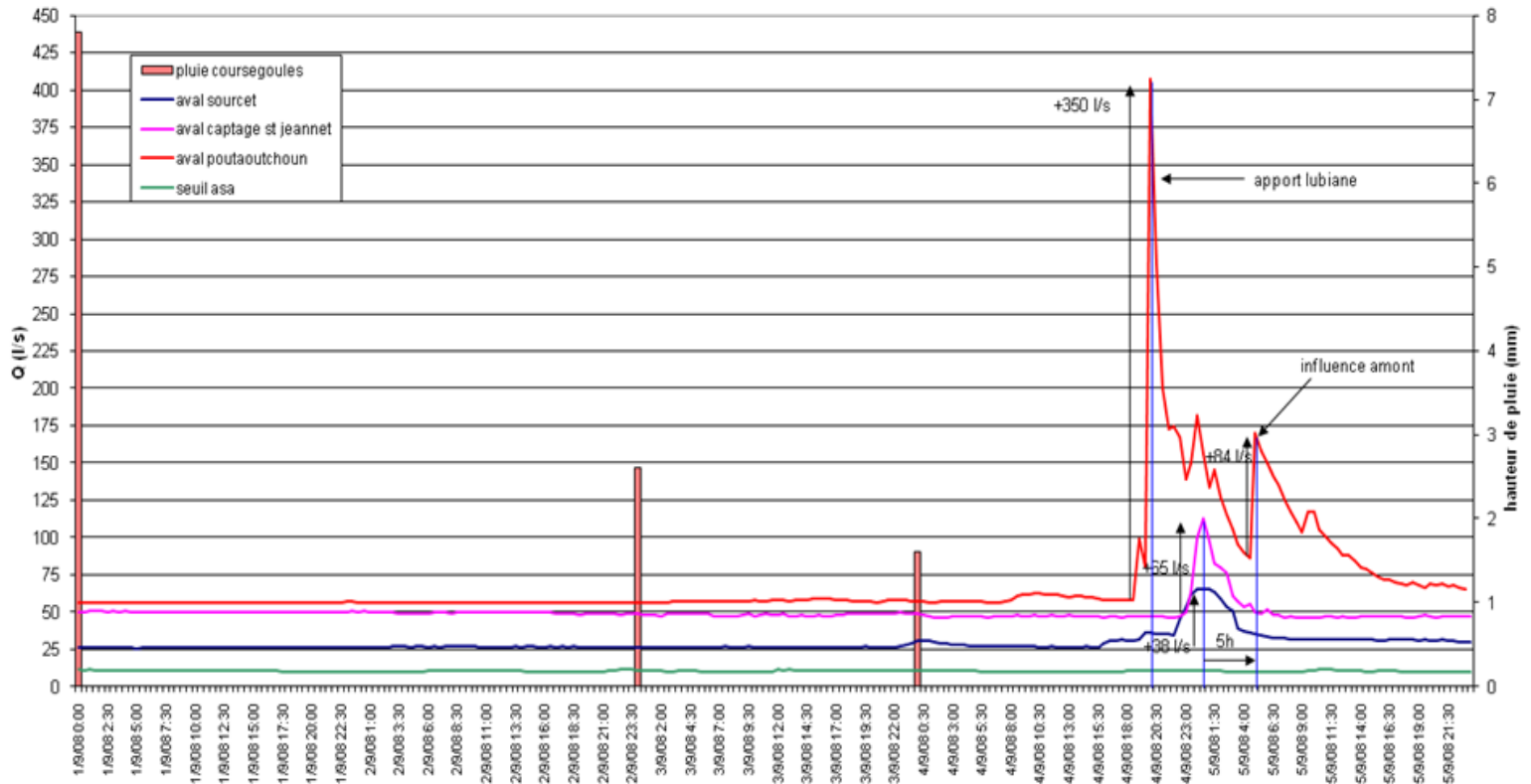


Figure 14 : évolution des débits d'étiage du 01/09/08 au 05/09/08 pour un épisode pluvieux d'été

Cet évènement pluvieux est survenu pendant la période d'étiage de la Cagne. Une première pluie d'une hauteur de 8 mm est enregistrée le 1er septembre 2008 à la station de Coursegoules. Une deuxième de 2,6 mm survient le 3 septembre et une troisième de 1,6 mm le 4 septembre. On n'enregistre aucune pluie sur Nice pendant cette période.

Observations :

- Une hausse des débits sur 3 stations après la 3ème pluie le 04/09. Les 2 premières pluies se sont infiltrées dans le sol.
- Une brusque augmentation du débit de 350 l/s à Poutaoutchoun (aval Lubiane) le 04/09 à 20 h, la seule station à avoir enregistré un pic à cette heure-ci. C'est un apport très important de la Lubiane et du bassin amont jusqu'à St-Jeannet.
- Un pic le 05/09 à minuit sur Aval Saurcet et Aval Captages St-Jeannet, et un pic le 05/09 à 5h à Poutaoutchoun (aval Lubiane). La propagation de l'onde sur cette section a duré 5 heures.
- Un débit constant de 10 l/s au seuil de l'ASA sur toute la période. Au niveau de Pont-des-Salles, le cours d'eau est complètement en assec. Il n'y a pas d'influence des pluies sur l'aval.

Avant l'épisode pluvieux, on mesure une différence de débit de base de l'ordre de 50 l/s entre *Poutaoutchoun (aval Lubiane)* et *seuil de l'ASA*. Le canal ASA dérive 15 l/s à cette période, ce qui explique la perte de 30 % du débit sur cette section. 70 % de la perte totale s'infiltré donc dans le karst.

Pendant l'épisode pluvieux, malgré la hausse importante des débits à l'amont (+ 350 l/s en aval de la Lubiane), il n'y a aucune variation des débits à l'aval au niveau du *seuil de l'ASA*.

Cette zone de perte naturelle alimente-elle directement l'aquifère du Jurassique ? L'analyse du profil piézométrique de la nappe des calcaires du Jurassique, qui s'étend sous la basse vallée de la Cagne, permet d'y répondre.

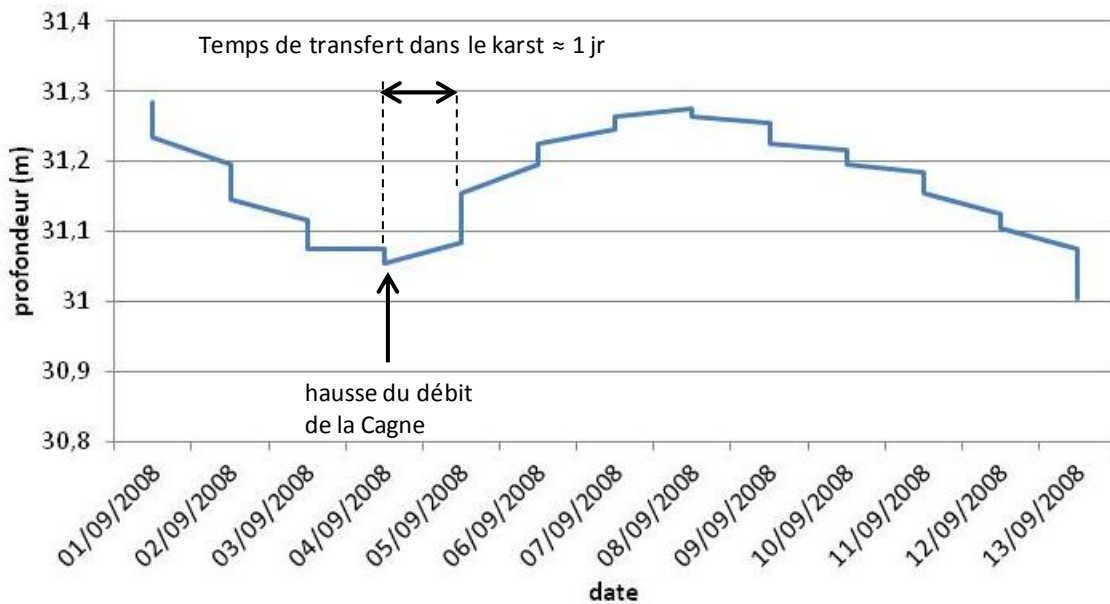


Figure 15 : évolution du niveau piézométrique de la nappe des calcaires du Jurassique au piézomètre du Pont-des-Salles

En effet, les données piézométriques enregistrées au forage de Pont-des-Salles indiquent une hausse du niveau de 22 cm entre le 04/09 et le 08/09, alors que la tendance était à la baisse depuis 2 mois. Cette hausse met en évidence un écoulement souterrain entre la zone de drainage à l'amont et l'aquifère jurassique à l'aval. La pluie à l'amont a alimenté directement la Cagne, qui a subi par la suite des pertes importantes entre *Poutaoutchoun (aval Lubiane)* et le *seuil de l'ASA*. Ces pertes ont en fait alimentées l'aquifère du Jurassique. Le déphasage de 1 jour observé entre la hausse du débit de la Cagne le 04/09 et la hausse du niveau de la nappe le 05/09 induit une vitesse de transfert assez rapide dans l'aquifère.

2.3.6 Expérimentation de lâchers d'eau au niveau des sources du Riou/Sourcets pour le soutien d'étiage en juillet 2010

En juillet 2010, une expérimentation a été menée sur la Cagne afin d'étudier l'effet de lâchers d'eau par le captage des sources Riou/Sourcets sur les débits d'étiages du cours aval de la rivière. Ces sources constituent le point de prélèvement le plus important sur le bassin versant.

Les profils hydrologiques ont mis en évidence des zones de pertes karstiques très importantes dans les moyennes gorges (confluence Lubiane – Pont de Salles) et ce, malgré des apports karstiques conséquents dans la partie amont de la Cagne (St-Jeannet – Vence).

2.3.6.1 Protocole de mise en œuvre

Le protocole de l'expérimentation a été établi sur la base des connaissances acquises lors du suivi de 2008 mené par le Conseil général et sur les échanges avec la Direction de l'Eau de la Communauté d'agglomération Nice Côte d'Azur (NCA) et son délégataire Véolia, afin d'intégrer les contraintes techniques liées au service public d'alimentation en eau potable.

Au final, les principaux éléments cadres de l'expérimentation sont les suivants :

- Période : étiage marqué mais avant l'assèchement de la rivière au Pont-des-Salles.
- Durée des lâchers : au minimum 5 jours continus.
- Débit des lâchés : 50 l/s minimum.
- Seuils / paramètres de déclenchement : débit à Pont-des-Salles voisin de 50 l/s et prévision météo favorable (absence de pluie avant et durant les lâchers).
- Moyen de suivi des débits de la rivière : mesures en continu des débits de la rivière par le Conseil général par l'intermédiaire de 3 stations hydrométriques complétées par des mesures ponctuelles (jaugeages volants sur les 3 points suivis + 3 à 4 points complémentaires). Veille météorologique quotidienne à partir des bulletins de Météo-France, complétée par les données du radar expérimental Hydrix implanté sur le Mont Vial.
- Suivi des prélèvements : données fournies par Véolia pour les captages AEP du Riou de Vence et par la régie communautaire pour les captages de St-Jeannet et La Gaude. Pour les prélèvements agricoles de l'ASA, suivi par le Conseil général via une station de mesure installée dans le canal.
- Organisation : déclenchement de l'expérimentation après concertation en fonction des conditions, échanges quotidiens au téléphone ou par courriel avec NCA, Véolia et l'ASA du Val de Cagne.

La DDTM (service police de l'eau) a été informée de l'expérimentation.

2.3.6.2 Conditions de réalisation de l'expérimentation

L'expérimentation a été menée au cours de la semaine n°30 du 26 au 30 juillet 2010 (12h00) soit durant 4 jours continus. Cette période correspondant à une pointe en matière de demande en eau potable, il n'était pas possible pour NCA de poursuivre plus longtemps les lâchers.

D'un point de vue météorologique, la période a été totalement sèche avant et durant l'expérience (dernière pluie remontant à fin juin). De faibles pluies ont été constatées le 30 juillet en fin de matinée (moins d'1 mm à Nice et Tourettes/Loup, 4 mm à Coursegoules). **Les conditions météorologiques ont donc été optimales** pour les besoins de l'expérimentation. Notons, toutefois que cette semaine était légèrement plus froide que les précédentes, ce qui a influencé les températures de l'eau de la rivière.

D'un point de vue hydrologique, les débits de la Cagne étaient dans une phase de tarissement naturel. Le débit au Pont-des-Salles était voisin de 40 l/s.

Le débit des lâchers était voisin de 50 l/s (48 l/s d'après Véolia). Ce débit, constant au cours de l'expérimentation (mesures en continu), a toutefois nécessité la matinée du 26 juillet pour être ajusté (de 9h00 à 13h00).

Le **suivi des débits de la rivière** a été assuré :

- Par des **mesures en continu au droit des 3 stations hydrométriques (sondes pression)** : une en amont des lâchers, une en aval immédiat des lâchers et des prélèvements AEP et une troisième à Pont-des-Salles. Ces stations ont fonctionné correctement durant l'expérimentation mais également durant toute la période de suivi (7 juillet 2010 /début août 2010 pour les 2 premières, année 2010 complète pour celle de Pont-des-Salles).
- **Des jaugeages au courantomètre** ont permis d'établir et ou de vérifier les courbes de tarage sur ces 3 stations (38 jaugeages réalisés entre le 25/06 et le 11/08). D'autres jaugeages volants (25 environs) ont également été réalisés sur d'autres sites pour affiner l'analyse. Le détail des mesures est donné en annexe.
- Afin d'estimer la précision des mesures de débits d'étiage, plusieurs jaugeages physiques ont été réalisés occasionnellement au droit d'une même section et ont été également comparés à des jaugeages par méthode chimique. La précision des mesures par jaugeages pour ces gammes de débits est de l'ordre de 10%.

Concernant les prélèvements AEP :

- sur les captages du Riou (Sourcets + Riou), Véolia a fourni les volumes journaliers prélevés au cours du mois de juillet 2010 ainsi que les débits instantanés dérivés durant l'expérimentation. Avant expérimentation les débits prélevés étaient voisins de 100 l/s (~370 m³/h, 8600 m³/j) puis 50 l/s (~180 m³/h, 4400 m³/j) durant les lâchers.
- sur les autres captages, la régie communautaire de NCA a fourni les volumes journaliers prélevés sur la source Feraud durant le mois de juillet (1424 m³/j en moyenne soit 17 l/s). Sur la source Meynier, seul le volume mensuel du mois est disponible (47 022 m³ soit 1500 m³/j, 17,5 l/s). Pour les 3 autres petits captages (Font-neuve, Font-Peiro et Font du Bœuf), les données de 2008 ont été utilisées (débit moyen proche de 10 l/s).

Au final, les débits prélevés pour l'eau potable par NCA sont voisins de 145 l/s avant l'expérimentation et proches de 100 l/s durant la période des lâchers.

Concernant les **prélèvements agricoles de l'ASA du Val de Cagnes**, ils ont été suivis en continu par un capteur de pression mis en place par le CG dans le canal (depuis le 7/07) et par des mesures ponctuelles par jaugeages chimiques. **Les débits dérivés sont voisins de 8 à 10 l/s sur la période.** Entre le 28/07 (7h00) et le 29/07 (6h00), l'ASA a stoppé tout prélèvement.



Figure 16 : station aval Sourcets (à gauche) et station Pont-des-Salles (à droite)



Figure 17 : jaugages volants au courantomètre (à gauche), et chimique (à droite)

2.3.6.3 Résultats de l'expérimentation

L'évolution comparée des débits de la Cagne au droit des 3 stations de mesures en continu durant l'expérimentation montre :

- En amont des lâchers (station aval Sourcets) des débits constants, voisins de 60 l/s, confirmant les bonnes conditions de réalisation de l'expérimentation. Notons que la baisse de débit observée (10 l/s) entre le 24 et le 28/07 est liée au barrage aménagé par des baigneurs juste en amont de la station de mesure qui a entraîné une fuite sur un bras secondaire. L'épisode pluvieux du 30/07 en fin d'expérimentation a entraîné une légère et courte augmentation des débits.
- En aval immédiat des lâchers et des captages AEP (station aval St-Jeannet), les débits initiaux voisins de 90 l/s augmentent rapidement consécutivement aux lâchers pour atteindre une valeur de 130 l/s (débits moyens journaliers). La quasi-totalité du débit lâché est donc retrouvé de manière instantanée en aval (à l'erreur de précision près des mesures). On observe des fluctuations de débit au cours d'une même journée (+/-30 l/s avant expérimentation) qui ont tendance à s'amortir durant l'expérimentation (influence des trop pleins des réservoirs AEP ?).

- Au niveau de la basse vallée (station Pont-des-Salles), les débits initiaux voisins de 35-40 l/s augmentent progressivement (débits voisins de 50 l/s au bout de 12 h) pour atteindre et se stabiliser vers 60 l/s (débit moyen journalier) à partir du 27/ 07 matin, au bout de 24 h00 de soutien. Le gain constaté en aval est donc de l'ordre de 20 à 25 l/s. La fermeture du canal de l'ASA explique le pic de débit observé du 28 au 29/07 (un + 7/8 l/s).

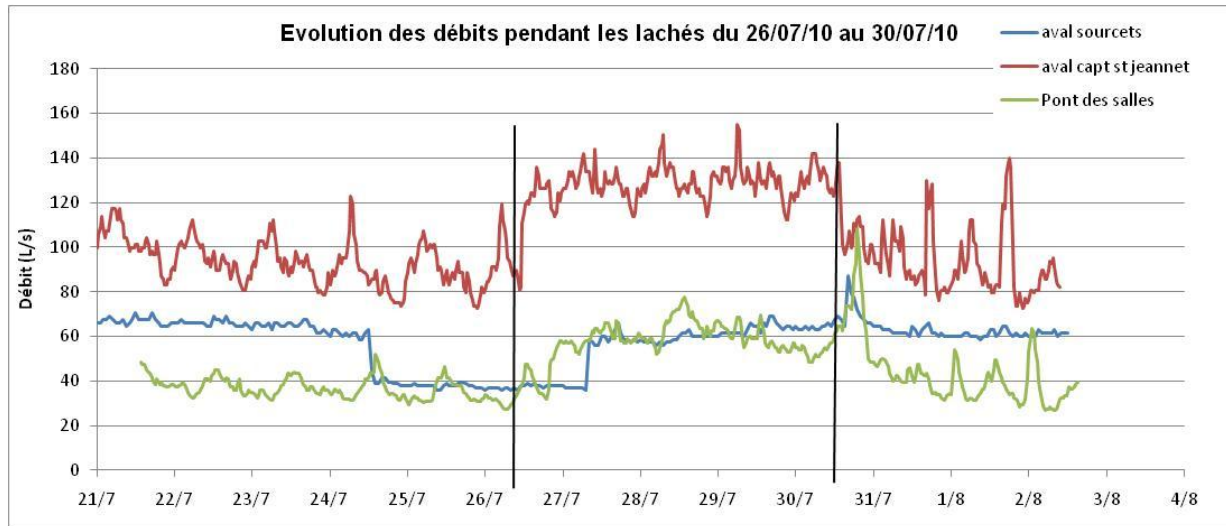


Figure 18 : évolution des débits de l'expérimentation pendant les lâchers du 26/07/2010 au 30/07/2010

Les débits naturels reconstitués (QNR), c'est-à-dire les débits qui s'écouleraient dans la rivière en l'absence de prélèvements, ont été calculés en aval de St-Jeannet et au niveau de Pont-des-Salles ainsi que les volumes d'eau gagnés au droit de ces deux stations au cours de l'expérimentation de lâchers d'eau. La confrontation de ces données avec les débits réels observés met en évidence :

- Station aval Saint-Jeannet, en aval des prélèvements AEP, les débits naturels reconstitués sont de l'ordre de 220 – 230 l/s avant et durant l'expérimentation. Les prélèvements représentent environ 60% des débits naturels reconstitués avant expérimentation et 40% pendant les lâchers. La comparaison des volumes lâchers durant l'expérimentation (15 500 m³) et du volume gagné en aval de St-Jeannet (12 250 m³) confirme que l'essentiel des débits est restitué à la rivière (aux erreurs de mesures près).

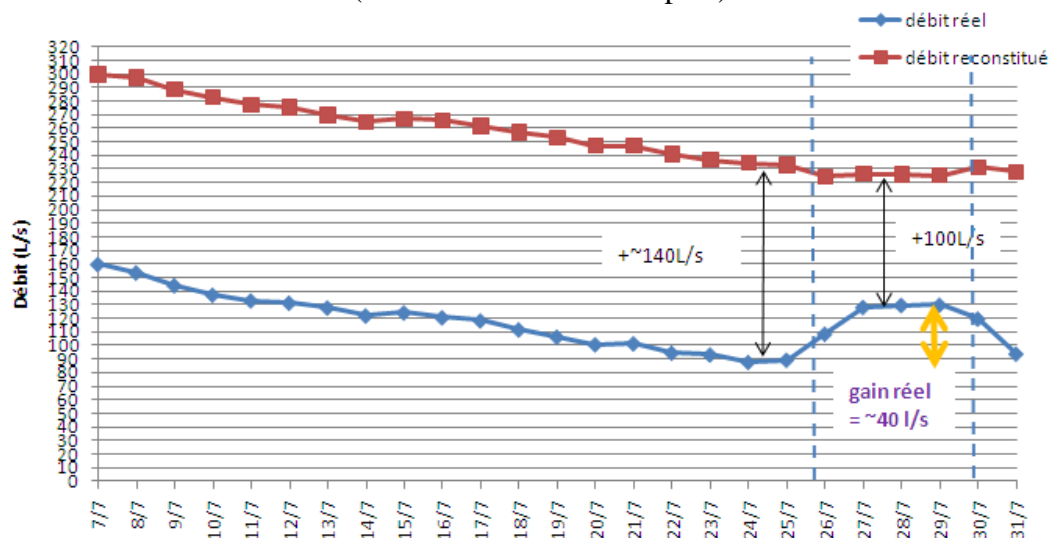


Figure 19 : comparaison débit réel et reconstitué aval captage St-Jeannet - juillet 2010

- Station Pont-des-Salles, les débits naturels reconstitués estimés à 190 l/s avant expérimentation, ne sont que d'environ 160 l/s durant l'expérimentation, révélant **les pertes naturelles qui s'opèrent dans la traversée des gorges** ; le gain de débit en aval n'est que de 25 l/s au maximum. La comparaison des volumes lâchés durant l'expérimentation (15 500 m³) et des volumes gagnés à Pont-des-Salles (7 700 m³) confirme que 50 % des lâchers sont perdus dans les karsts. Par conséquent, les débits naturels reconstitués ne sont pas justes car ils n'intègrent pas les pertes naturelles dans le milieu, qui sont bien supérieures aux 30 l/s perdus provenant des lâchers, ni les apports occultes du tronçon en aval de St-Jeannet. On peut souligner que les prélèvements agricoles de l'ASA du val de Cagne représentent près de 20% des débits résiduels de la Cagne lors de l'expérimentation. Ces prélèvements sont nettement inférieurs à ceux observés en 2008 à la même période (20 à 40 l/s).

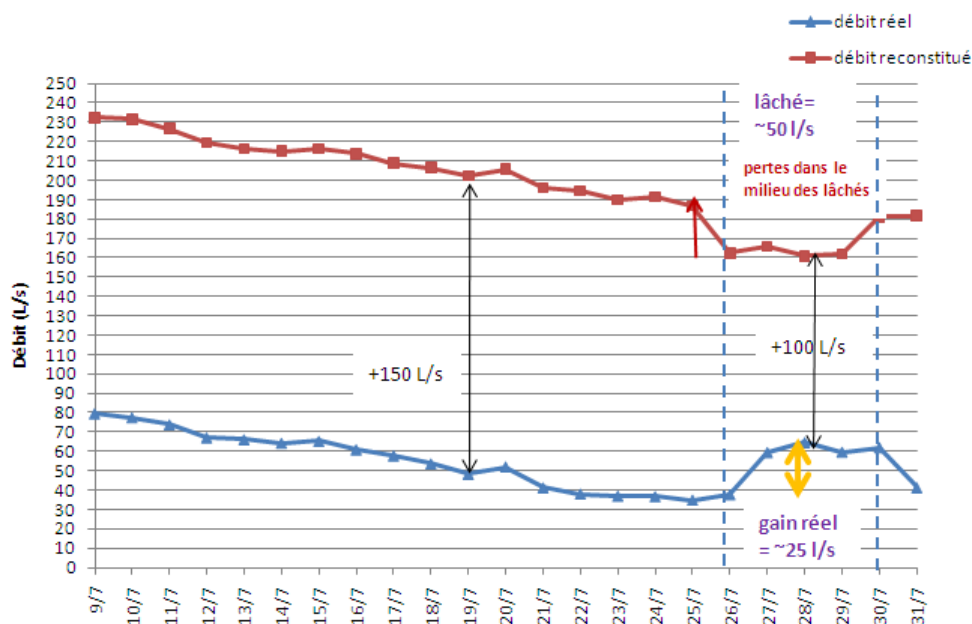


Figure 20 : comparaison débit réel et débit reconstitué à Pont-des-Salles - juillet 2010

2.3.6.4 Interprétation - discussion

L'expérimentation d'un soutien d'étiage de la Cagne par des lâchers à partir des captages du Riou/Sourcets à Vence au cours de la semaine du 26 au 30 juillet 2010 a été réussie et les résultats acquis permettent de mieux connaître le fonctionnement des étiages de la Cagne en période d'étiage. Bien que la durée des lâchers ait été relativement courte, un certain nombre d'enseignements peut en être tiré :

- L'expérimentation montre que seule la moitié des débits lâchés atteignent la plaine de la Cagne (Pont-des-Salles). Une partie se perd définitivement dans la traversée des gorges calcaires en aval de Vence (calcaires de l'avant pays provençal) et également dans les alluvions de la basse vallée (secteur Pont-des-Salles).
- D'après les mesures hydrologiques effectuées (profils hydrologiques amont –aval), les pertes naturelles sont relativement importantes entre l'entrée des gorges (Les Fonts) et Pont-des-Salles : début août 2010, elles sont estimées entre 80 et 100 l/s ; le débit est divisé par 4 sur un linéaire de 4 à 5 km. En outre, 70 % à 90 % des pertes ont lieu entre les Fonts et Poutaouchoun (aval confluence Lubiane). Ces valeurs sont comparables avec celles estimées en 2008 (80 l/s en septembre 2008).

- Le suivi piézométrique réalisé sur la nappe des calcaires jurassiques au niveau de la plaine de la Cagne (piézomètre de l'ASA) et sur la nappe alluviale (piézomètre Pont-des-Salles) atteste que ces pertes alimentent bien les aquifères sous-jacents. Lors de l'expérimentation, la baisse régulière des niveaux d'eaux est ralentie dans le piézomètre captant les calcaires jurassiques et s'inverse même dans le piézomètre captant les alluvions pourtant en l'absence de pluie.

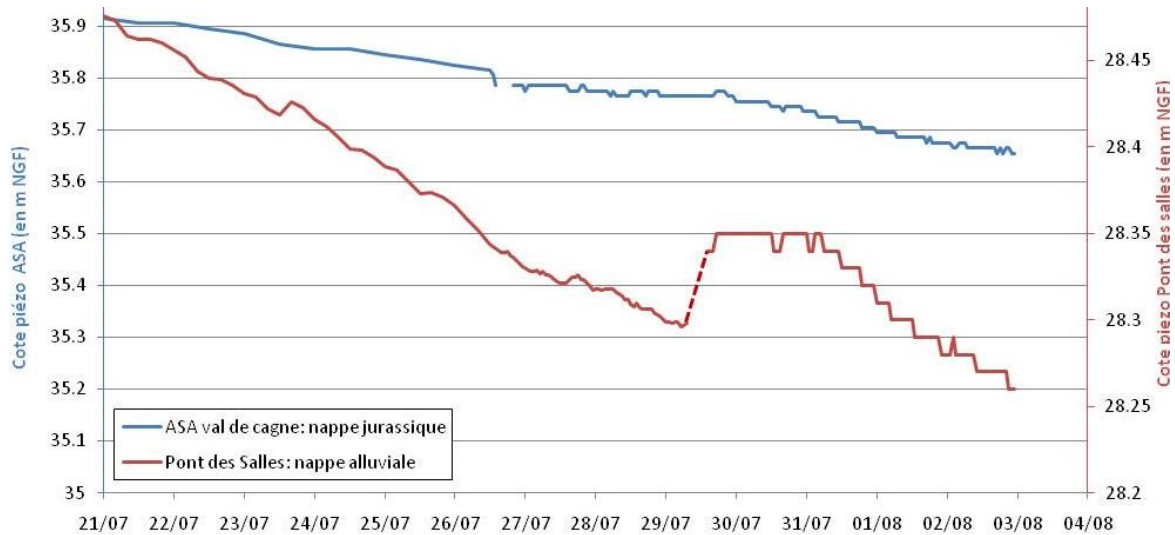


Figure 21 : évolution du niveau piézométrique de la nappe du Jurassique et de la nappe alluviale à l'amont du Val de Cagnes du 21/07/10 au 02/08/10

- L'hydrologie de la Cagne est à comparer aux niveaux des nappes locales, notamment ceux des calcaires jurassiques. Un instantané piézométrique établi par le Conseil général au printemps 2010 montre une situation de hautes eaux par rapport à l'instantané établi en juin 2008 en cohérence avec les chroniques enregistrées sur les piézomètres cités précédemment. Toutefois, il n'a pu être établi de relation simple entre les niveaux de la nappe jurassique et les assècs constatés à Pont-des-Salles. En effet, les niveaux piézométriques de 2009 sont légèrement supérieurs à ceux de 2010. Par contre, il est clair que les pertes naturelles sont d'autant plus importantes que les niveaux piézométriques sont bas. La capacité d'absorption du milieu dans les gorges peut être nettement supérieure à 100 l/s.

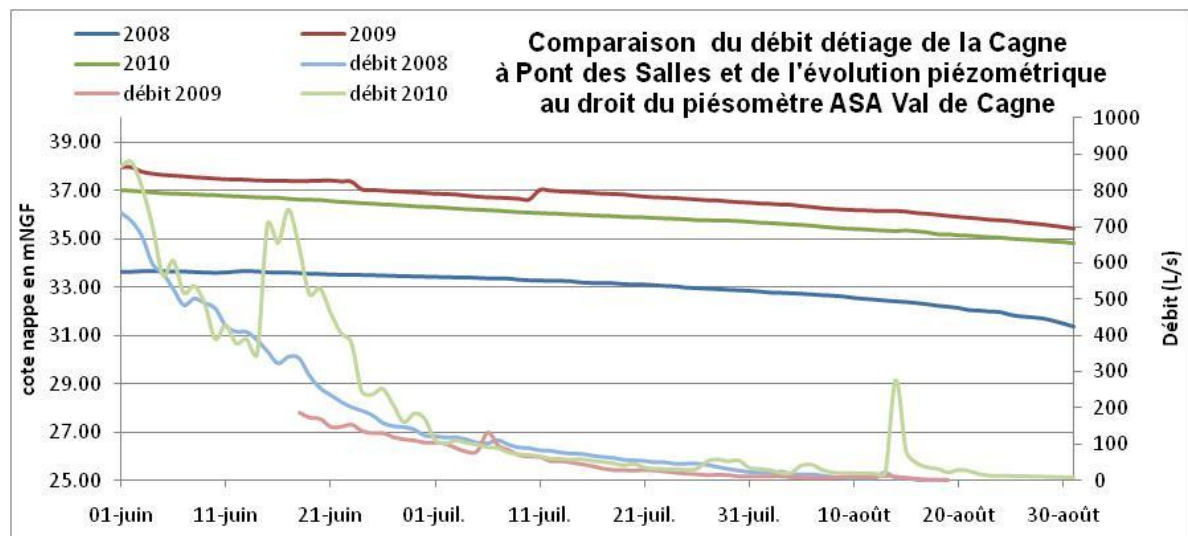


Figure 22 : comparaison du débit d'étiage de la Cagne à Pont-des-Salles et de l'évolution piézométrique au droit du piézomètre ASA Val de Cagnes dans la nappe jurassique

2.3.7 Analyse de la capacité d'absorption du milieu sur le secteur de perte

On se propose d'évaluer la capacité d'absorption du milieu (nappe jurassique et alluviale) dans la traversée des gorges jusqu'au Pont-des-Salles, pour les trois événements étudiés ci-dessous qui ont eu lieu dans des conditions hydrogéologiques différentes. L'analyse permet de mieux sectoriser les pertes.

Le tableau suivant présente la durée de l'évènement et le linéaire impacté :

évènement	période	durée	secteur	linéaire (km)
expérimentation fermeture canal ASA à 2 reprises (août 2008)	20/08/08 au 22/08/08	3 jrs (2 cycles de 28 h et 32 h)	seuil ASA > pont des salles	500 m
épisode pluvieux (septembre 2008)	04/09/08 au 05/09/08	20 h	aval Lubiane > seuil ASA	3 km
expérimentation de lâcher AEP pour soutien d'étiage (juillet 2010)	26/07/10 au 30/07/10	5 jrs	Les Fonts > Aval Lubiane > pont des salles	5 km

Tableau 4 : période, durée, linéaire et secteurs concernés par les événements hydrologiques étudiés

Le tableau suivant présente les conditions hydrogéologiques de l'évènement d'où sont déduits la capacité d'absorption du milieu et le % de pertes par secteur :

évènement	débit de base à pont des salles (l/s)	niveau piézométrique nappe jurassique (m)	capacité d'absorption de la nappe sur le linéaire (l/s)	gain au pont des salles (l/s)	% pertes
expérimentation fermeture canal ASA à 2 reprises (août 2008)	0 l/s	32 m	30 l/s à 40 l/s seuil ASA > pont des salles	20 l/s	75 % à 80 % seuil ASA > pont des salles
épisode pluvieux (septembre 2008)	0 l/s	31,1 m	130 l/s Aval Lubiane > seuil ASA	0 l/s	100 % Aval Lubiane > seuil ASA
expérimentation de lâcher AEP pour soutien d'étiage (juillet 2010)	35 l/s	35,8 m	65 l/s à 85 l/s Les Fonts > Aval Lubiane	25 l/s	50 % à 60 % Les Fonts > Aval Lubiane
			15 l/s à 25 l/s Aval Lubiane > pont des salles		30 % à 50 % Aval Lubiane > pont des salles

Tableau 5 : capacité d'absorption et % de pertes par secteur pour les 3 événements hydrologiques

Résultats par secteurs :

A/ secteur Les Fonts – Aval Lubiane :

Ce secteur n'a été étudié que sur **l'événement de lâcher en 2010** pour des conditions hydrogéologiques favorables :

- Débit de base à Pont-des-Salles = **35 l/s**
- Niveau piézométrique nappe jurassique = **35,8 m**

Capacité d'absorption du milieu = 65 à 85 l/s

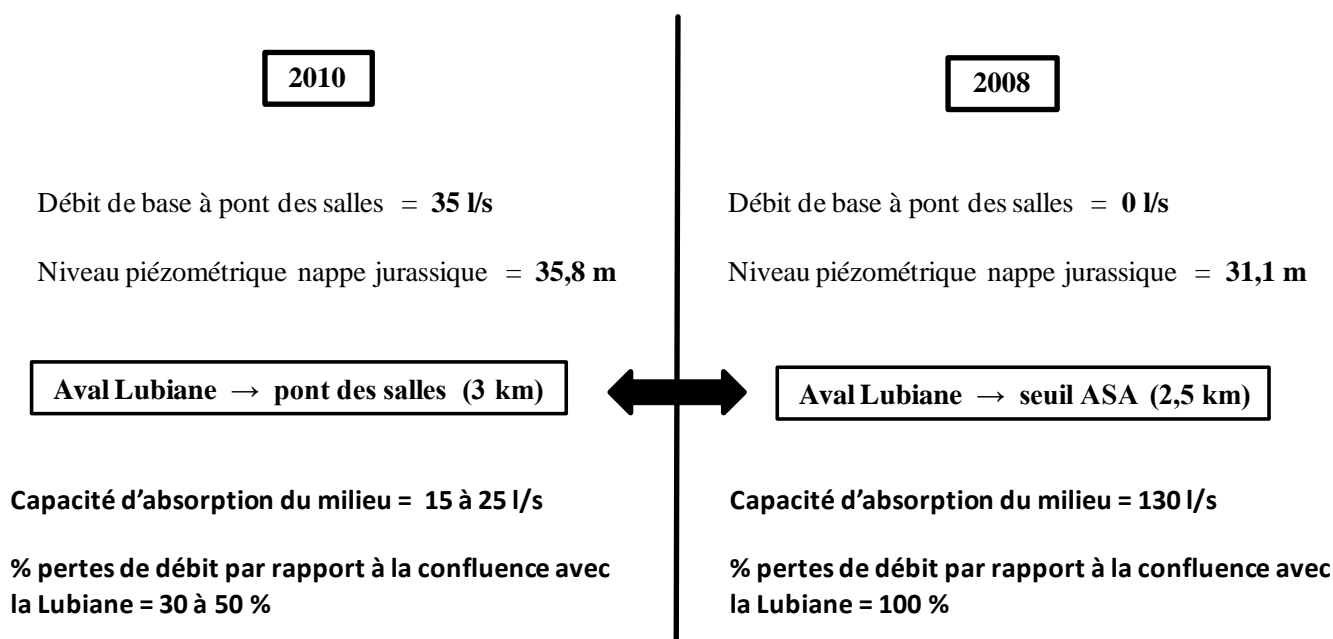
% pertes de débit par rapport à l'entrée des gorges = 50 à 60 %

Le linéaire est court (2 km) mais il s'agit du secteur où les pertes sont maximales. Il représente entre 70 et 90 % des pertes sur le secteur total de pertes (les Fonts – Pont-des-Salles = 5 km) dans les conditions de l'expérimentation.

La capacité d'absorption du milieu est forte malgré des conditions de remplissage de la nappe plus favorables qu'en 2008 (+ 4 m).

B/ secteur Aval Lubiane – Seuil ASA/Pont-des-Salles :

Ce secteur a été étudié sur **l'événement de lâcher en 2010** jusqu'au Pont-des-Salles et sur **l'épisode pluvieux de 2008** jusqu'au seuil ASA uniquement. Les conditions hydrogéologiques étaient défavorables en 2008 :



L'expérience de lâcher de 2010 a été mesurée entre aval Lubiane et Pont-des-Salles. On considère que la capacité d'absorption est la même sur tout le linéaire. Elle peut donc être comparée avec celle de l'évènement pluvieux de 2008 mesuré sur le secteur aval Lubiane – seuil ASA. On constate que :

- la capacité d'absorption du secteur est 5 à 9 fois plus importante pour une situation déficitaire type 2008 que pour une situation de type 2010 (nappe jurassique plus haute de 4 m)
- Considérant les observations en A/ , on peut penser que la capacité d'absorption du secteur amont les Fonts – Aval Lubiane peut dépasser les 200 l/s en cas de conditions type 2008.
- dans les conditions de 2010, on constate également que la capacité d'absorption est 4 fois moins importante sur le secteur aval Lubiane - Pont-des-Salles que le secteur amont les Fonts - aval Lubiane

A noter que l'on considère deux évènements à caractères hydrauliques différents. Pour le lâcher expérimental de 2010, le débit considéré est à flux continu tandis que l'épisode pluvieux de 2008 est un évènement à flux discontinu puisqu'on considère un hydrogramme de crue. La comparaison de ces deux évènements est donc limitée.

C/ secteur Seuil ASA – Pont-des-Salles :

Ce secteur n'a été étudié que sur **l'évènement d'expérimentation de fermeture du canal de l'ASA en août 2008** pour des conditions de nappe basse mais supérieure de 1 m par rapport à septembre :

- Débit de base à Pont-des-Salles = **0 l/s**
- Niveau piézométrique nappe jurassique = **32 m**

Capacité d'absorption du milieu = 30 à 40 l/s

% pertes de débit par rapport à l'entrée des gorges = 75 à 80 %

Le linéaire est très court (500 m) mais les pertes sont importantes puisque seulement 15 à 20 % du volume écoulé moyen au seuil ASA (sur les 2 épisodes de fermeture du canal) arrivent au Pont-des-Salles.

Cependant, la capacité d'absorption sur ce secteur de 500 m apparaît moins forte que sur le secteur amont des gorges.

En l'état des connaissances, il apparaît donc difficile d'éviter les assecs de la Cagne dans la basse vallée durant des épisodes climatiques déficitaires sévères.

Si le soulagement des prélèvements peut contribuer à améliorer l'état des milieux aquatiques sur les tronçons situés en aval (traversées des gorges) et réduire le stress lié aux manques d'eau, l'effet est très largement influencé par le niveau de la nappe jurassique.

Pour aller plus loin dans la connaissance des assecs sur le tronçon de cours d'eau dans la traversée des gorges en aval de la confluence avec la Lubiane, il pourrait être envisagé de parfaire la démarche de caractérisation de ces assecs pour déterminer plus finement leur durée, leur fréquence, leur étendue et leur conséquence. Ainsi, il peut être envisagé de réaliser la même expérimentation avec un débit de base plus important dans la Cagne afin de mieux appréhender la capacité d'absorption du milieu.

Les deux évènements suivants apportent des éléments intéressants sur le comportement hydrogéologique de la Cagne dans la traversée des gorges et sur le secteur d'assec de Pont-des-Salles :

- ***Pour un débit de base de 35 l/s à Pont-des-Salles et un niveau de la nappe jurassique au piézomètre de l'ASA de - 35,8 m, un lâcher de 50 l/s aux captages Riou/Sourcets permet un gain de 25 l/s sur une période de 5 jours.***
- ***Pour un assec à Pont-des-Salles et un niveau de la nappe jurassique au piézomètre de l'ASA de - 31,1 m, une crue en amont d'un volume de 4 600 m³ sur 20 h, et un débit de base de 60 l/s en aval de la confluence avec la Lubiane, ne génèrent aucun gain de débit du seuil de l'ASA au Pont-des-Salles. La nappe jurassique bénéficie intégralement du volume d'eau avec une hausse locale du niveau piézométrique de 22 cm. On observe un déphasage de 1 jour entre la hausse du débit de la Cagne et celle du niveau de la nappe karstique.***

Ces éléments mettent en évidence la difficulté d'appréhender quantitativement et statistiquement les phénomènes sur ce secteur.

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 référence définis ci-dessous. Les chapitres suivant évaluent l'impact des prélèvements sur la ressource en eau.

3.1 Les points stratégiques de référence

Les deux points stratégiques de référence choisis sur la Cagne sont :

- **Aval captages St-Jeannet** (réservoir), en aval des sources captées de Riou/Sourcets et Féraud/Meynier
- **Pont-des-Salles**, en sortie des gorges et en aval de tous les captages. Situé dans la zone d'assec de la Cagne

La station **aval captages St-Jeannet** a été choisie car elle est située juste en aval des deux principaux captages AEP, la station **Pont-des-Salles** car elle est située sur la zone de baisses chroniques des débits de la Cagne. 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.

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

Les tableaux ci-dessous présentent les débits prélevés mensuellement aux différents points de captages et le cumul moyen mensuel aux deux points stratégiques de référence entre 2005 et 2012 :

points de prélèvements	janv	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	total /an
Riou/Sourcet	92	92	92	92	91	94	88	75	65	69	65	86	84
Féraud	12	11	13	14	16	18	23	22	17	14	11	11	15
Meynier	10	9	11	12	14	15	18	18	13	12	10	10	13
3 Fonts	14	14	16	14	15	15	15	13	11	10	12	12	13
La Foux	12	11	12	11	12	11	12	12	11	12	11	12	11

 2 mois les plus impactants

Tableau 6 : débits moyens mensuels prélevés par point de captage entre 2005 et 2012 en l/s

points stratégiques de référence	janv	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	total /an
Aval Captage St-Jeannet	114	112	116	118	121	127	129	115	95	95	86	107	112
Pont-des-Salles	140	137	144	143	148	153	156	140	117	117	109	131	136

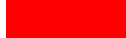
 2 mois les plus impactants

Tableau 7 : cumul des débits moyens mensuels sur les points stratégiques de références entre 2005 et 2012 en l/s

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

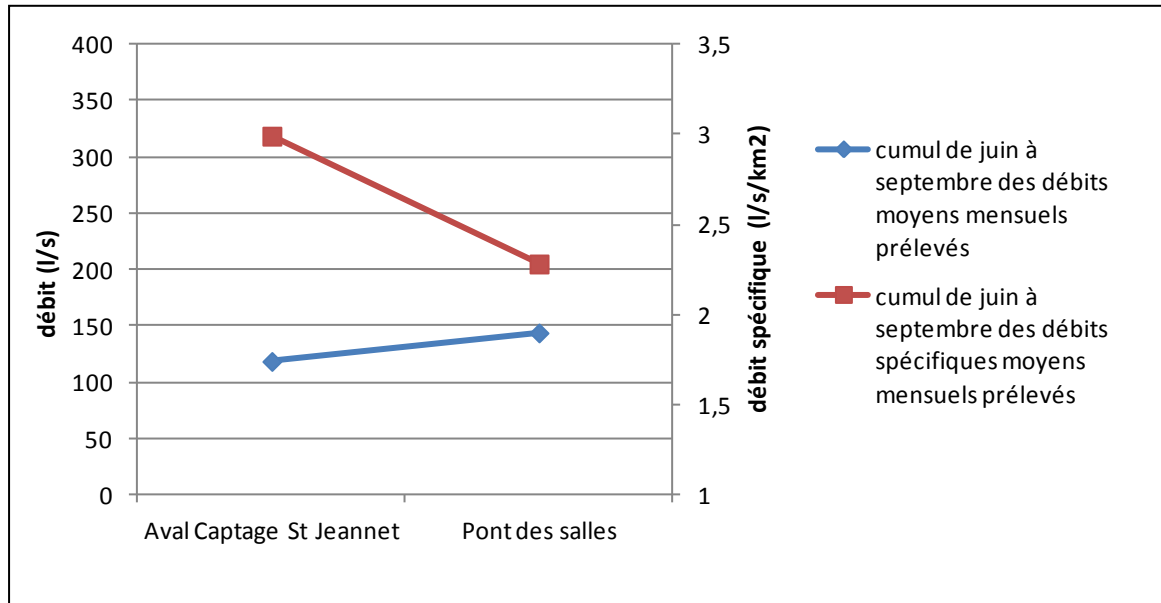


Figure 23 : cumul des débits moyens mensuels prélevés aux points de référence entre juin et septembre

Principales observations :

- La figure 23 montre que la pression des prélèvements croît logiquement de l'amont vers l'aval. En revanche, en raisonnant en cumul 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 (3 l/s/km² de prélèvement en aval des captages de St-Jeannet contre 2,3 l/s/km² à Pont-des-Salles). Ceci est logique étant donné que les principaux captages sont situés en amont.
- Le tableau 6 reprend les informations de la phase 2 (bilan des prélèvements), à savoir que les sources de Féraud et Meynier sont plus sollicitées pendant la période estivale tandis que le système Riou/Sourcets et 3 Fonts sont autant voire moins captés pendant l'été que de janvier à mai. Le tableau 7 ne permet pas de mettre en évidence cette tendance au niveau des points stratégiques de référence.

La figure 24 ci-dessous présente l'évolution des débits moyens mensuels prélevés entre avril et octobre sur les principaux points de captage.

On relève le décalage de pression des prélèvements dans le temps entre les sources Féraud/Meynier qui permettent de répondre à une sollicitation plus importante à l'été et les sources Riou/Sourcets et 3 Fonts dont la sollicitation est limitée pendant l'été.

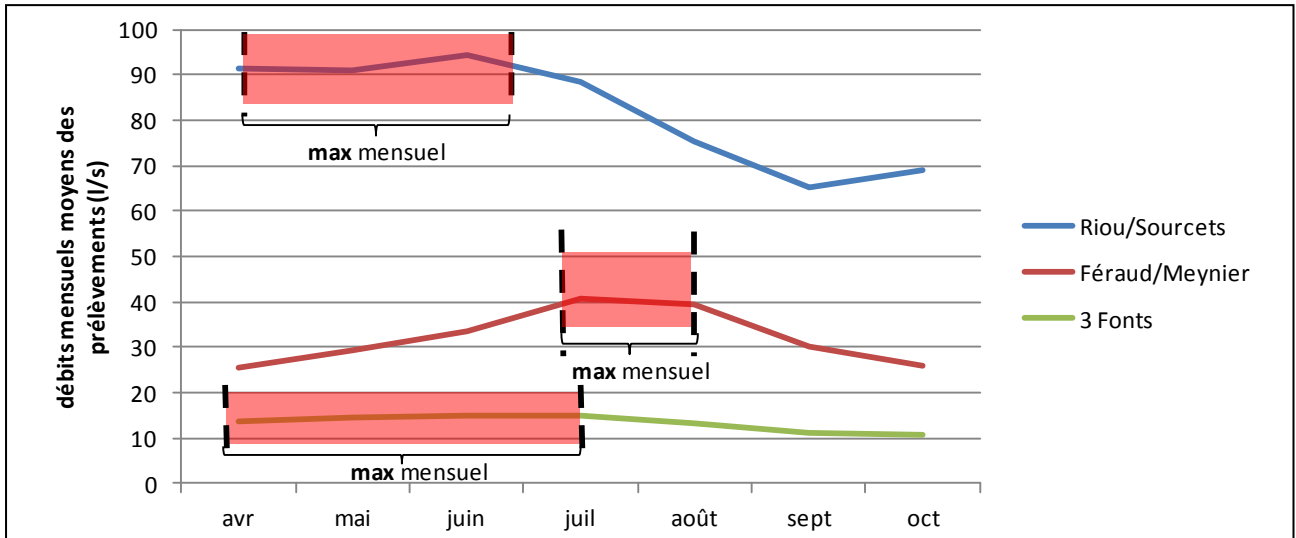


Figure 24 : évolution des débits moyens mensuels prélevés à Riou/Sourcets, Féraud/Meynier et 3 Fonts (moyenne 2005 à 2012)

Tous les prélèvements sur le bassin versant de la Cagne sont de **type gravitaire** donc limités à la production naturelle du milieu.

La pression des prélèvements est située essentiellement sur la partie amont des gorges, sur les communes de St-Jeannet et Vence.

Sur le système **Féraud/Meynier**, les prélèvements sont maximums pour la période juillet/août. **Ils permettent de répondre à une sollicitation estivale plus importante que le reste de l'année.**

Sur le système **Riou/Sourcets** et **3 Fonts**, les prélèvements sont limités à l'été. **Les sources ne peuvent pas répondre à une augmentation de la demande par rapport à la période hivernale.**

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

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

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

L'analyse porte sur les données annuelles, mensuelles mais également journalières. En effet, contrairement à un bassin comme le Loup où les variations journalières des débits sont importantes (liées aux prélèvements), ce n'est pas le cas sur la Cagne où l'établissement d'une corrélation journalière entre les stations est possible.

Cependant, 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'étiage. En effet, l'intérêt de ces stations mobiles est de pouvoir observer les variations journalières en période de faible débit. Elles ne sont donc pas exploitables pour reconstituer des chroniques de débits sur plusieurs années. Seule la station Pont-des-Salles dispose de 25 données mensuelles, réparties sur 6 années (2008-2013), qui permettent d'envisager une reconstitution des débits mensuels et journaliers d'étiage.

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 8 et 9 récapitulent les périodes disponibles des deux types de stations.

Code hydro	Nom station	Surface (km ²)	Données disponibles
Y5625010	LA CAGNE A ST-JEANNET	39	QJ 1981 - 1988
Y5625020	LA CAGNE A CAGNES-SUR-MER	95	QJ 1988 -2010

Tableau 8 : période de données disponibles pour les stations DREAL

Nom station	Surface (km ²)	Données disponibles
AVAL SOURCETS	37	QJ 19/03/2008 au 08/12/2008 QJ 07/07/2010 au 11/08/2010
AVAL CAPTAGES SOURCETS	39	QJ 19/03/2008 au 31/10/2008 QJ 07/07/2010 au 11/08/2010
AVAL POUTAOUCHOUN	57	QJ 27/03/2008 au 30/11/2008
SEUIL ASA	62	QJ 18/03/2008 au 31/10/2008 07/07/2010 au 11/08/2010
PONT-DES-SALLES	63	QJ 15/04/2008 au 17/08/2008 18/06/2009 au 19/08/2009 01/10/2010 au 30/09/2010 01/05/2011 au 30/09/2011 1/07/2012 au 30/09/2012 01/08/2013 au 31/10/2013

Tableau 9 : périodes disponibles pour les stations CG 06

4.2 Corrélation entre les stations et reconstitution des chroniques de débits

Pour les deux **stations de la DREAL**, il n'y a pas de périodes de données disponibles communes, elles ne se recoupent pas. Il est donc impossible de reconstituer une période de données plus longues pour ces deux stations.

La **station CG de Pont-des-Salles** dispose de 25 données mensuelles entre 2008 et 2013 pour des débits faibles à moyens. La reconstitution d'une période de données plus large sur cette station est intéressante puisqu'elle correspond à un point stratégique de référence et se situe sur la zone d'assec de la Cagne.

Cependant, elle ne possède que 2 années de données communes avec la station DREAL de Cagnes-sur-Mer et 7 valeurs de données mensuelles :

	Coef. Corr Q mensuel
Q_{pont des salles} / Q_{Cagne-sur-Mer}	0,18 (7 valeurs)

Tableau 10 : corrélation des débits mensuels entre la station DREAL de Cagnes-sur-Mer et la station CG Pont-des-Salles sur les débits mensuels d'étiage

Un coefficient de corrélation de 0,18 met en évidence que la relation entre les débits des deux stations est très complexes. On peut expliquer cela par les phénomènes hydrogéologiques particuliers du secteur avec la zone de pertes karstiques et alluvionnaires localisée au niveau de la station Pont-des-Salles et juste en aval.

Il n'est donc pas envisageable de compléter la chronique de débit (mensuel et journalier) de la station Pont-des-Salles (CG) à partir de la station DREAL de Cagnes-sur-Mer.

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

Compte tenu des éléments ci-dessus sur l'impossibilité de reconstituer des chroniques de débits sur une période plus longue que la période effective d'observation des stations, nous nous limiterons à :

- Calculer le **1/10 module** aux stations DREAL sur les périodes disponibles (1981-1987 pour St-Jeannet et 1988-2008 pour Cagnes-sur-Mer)
- Calculer le **QMNA5** aux stations DREAL sur les périodes disponibles (1981-1988 pour St-Jeannet et 1988-2008 pour Cagnes-sur-Mer) et à la station Pont-des-Salles du CG (2008-2013)

Rq 1: La station de St-Jeannet (DREAL) et Pont-des-Salles (CG) dispose respectivement de 9 et 7 années de données, ce qui représente un échantillon faible pour établir une statistique représentative.

Rq 2 : La station Pont-des-Salles (CG) dispose d'une courbe de tarage uniquement pour les débits d'étiages. Il n'est pas possible de calculer le 1/10 de module à cette station.

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.

$$Q_{\text{nat}} = Q_{\text{inf}} + P$$

avec :

- Q_{nat} = le débit naturel reconstitué,
- Q_{inf} = le débit influencé (mesuré au point considéré),
- 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. L'usage alimentation en eau potable représente la totalité des prélèvements sur le bassin versant de la Cagne.

Les prélèvements sont uniquement de type *gravitaire* et sont considérés comme totalement soustraits au milieu avec un impact direct sur le débit de la rivière en aval du secteur de prélèvement.

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

Cette reconstitution simplifiée des écoulements naturels part de l'hypothèse que si l'ensemble des prélèvements est restitué au cours d'eau, il n'y a aucune perte dans le milieu naturel et l'intégralité du volume restitué se retrouve au droit des stations aval.

Ceci constitue une hypothèse de travail qui ne prend pas en compte les pertes karstiques qui sont fortes en étiage, notamment au niveau du secteur des gorges comme démontré lors de l'expérimentation de soutien par lâchers en 2010 (voir 2.3.6).

Cette méthode est donc valable pour le 1/10 module mais réellement maximisante pour le QMNA5 de Pont-des-Salles (CG) et Cagnes-sur-Mer (DREAL)

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

	DREAL St Jeannet (1981 - 1988)	CG Pont des salles (2008 - 2013)	DREAL Cagnes- sur-Mer (1988 - 2008)
<i>Surface BV (km²)</i>	39	63	95
1/10 module mesuré (l/s)	68	/	81
1/10 module naturalisé (l/s)	76	/	92
rapport 1/10 module mesuré/naturalisé (%)	89%	/	88%
QMNA5 mesuré (l/s)	32	10	31
QMNA5 naturalisé (l/s)	131	116	124
rapport QMNA5 mesuré/naturalisé (%)	24%	9%	25%
rapport QMNA5/ 1/10 module mesuré	47%	/	38%
rapport QMNA5/ 1/10 module naturalisé	172%	/	135%

Tableau 11 : 1/10 module et QMNA5 mesurés et naturalisés aux stations DREAL et Pont-des-Salles (CG)

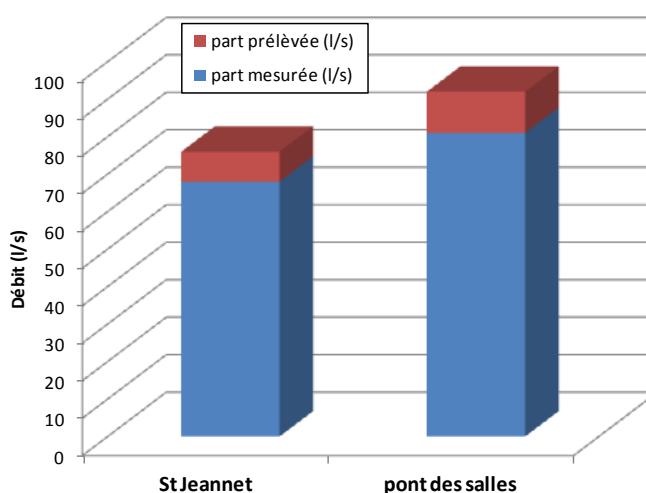


Figure 25 : 1/10 du module naturalisé et part prélevée sur les stations DREAL (l/s)

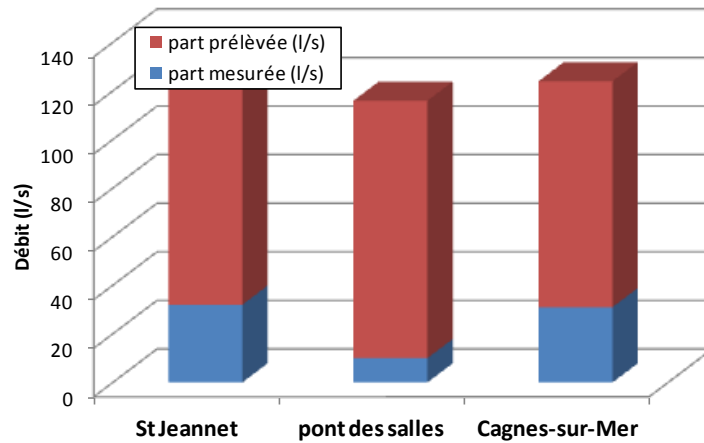


Figure 26 : QMNA5 naturalisé et part prélevée sur les stations DREAL et Pont-des-Salles CG 06 (l/s)

Principales observations sur les résultats :

- **Comparatif des débits amont/aval** : La logique de croissance du **1/10 de module** de l'amont (St-Jeannet) vers l'aval (Cagnes-sur-Mer) est respectée à la fois pour les débits mesurés et naturalisés, ce qui n'identifie pas de déséquilibre apparent sur le bassin. On peut noter que si la période de données des débits diffère d'une station à l'autre, ce paramètre n'a pas beaucoup de poids. En effet, nous avons analysé le module de la station de Tourettes-sur-Loup qui couvre la période de donnée des deux stations de la Cagne. Sur cette dernière, le module calculé sur la période 1981 – 1988 est légèrement supérieur de 3 % à celui calculé sur la période 1988 – 2008. En revanche, pour le **QMNA5**, les débits naturalisés sont globalement constants sur tout le linéaire avec un léger minimum à Pont-des-Salles. Les débits mesurés sont quasiment identiques entre St-Jeannet et Cagnes-sur-Mer et plus faibles de 70 % au Pont-des-Salles, secteur de pertes karstiques importantes.
- **Rapport débits mesurés/naturalisés** : le rapport entre les débits mesurés et naturalisés est de l'ordre de 90 % sur les deux stations DREAL pour le 1/10 de module tandis que pour le QMNA5, il est de 25 % pour les stations de St-Jeannet et de Cagnes-sur-Mer et 9 % pour la station Pont-des-Salles.
- **Rapport QMNA5 / 1/10 module** : le rapport entre le QMNA5 et le 1/10 module est très largement inférieur à 100 % pour les débits mesurés, respectivement 47 % et 38 % pour les stations DREAL de St-Jeannet et Cagnes-sur-Mer. Pour les débits naturalisés, il est de 172 % pour St-Jeannet et 135 % pour Cagnes-sur-Mer.

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.

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 75 % (DREAL Cagnes-sur-Mer) et 91 % (CG Pont-des-Salles).

Cependant, comme évoqué plus haut, il faut garder à l'esprit que le QMNA5 naturalisé est surestimé au niveau des stations de Pont-des-Salles et de Cagnes-sur-Mer dans la mesure où l'on fait l'hypothèse qu'il n'y a pas de perte dans le milieu pour la reconstitution.

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 de 172 % à la station de St-Jeannet et de 135 % à Cagnes-sur-Mer (surévalué) ce qui traduit le caractère **naturellement bien soutenu** du fleuve à l'étiage.

Pour comparaison, sur le Loup, ce rapport est de l'ordre de 200 % et 270 % sur sa partie amont.

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 47 % et 38 %, respectivement à St-Jeannet et Cagnes-sur-Mer.

Ces résultats mettent en évidence que **les prélèvements situés essentiellement sur la partie amont de la Cagne ont un impact important sur le reste du linéaire jusqu'à Cagnes-sur-Mer en période d'étiage**.

Le calcul du rapport entre le QMNA5 et le 1/10 module ne peut être effectué à Pont-des-Salles (pas de valeur de module) mais on peut considérer qu'il serait encore plus faible dans la mesure où la Cagne à la station de Cagnes-sur-Mer bénéficie d'apports naturels alluviaux et du débit du Malvan qui coule même en période d'étiage sévère.

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 sauf pour le QMNA5 naturalisé à Pont-des-Salles (CG) et Cagnes-sur-Mer (DREAL) qui est surestimé.

Cependant, la reconstitution des chroniques de débits se limite seulement à ces trois stations et les réseaux de mesures hydrologiques disponibles sur le bassin ne permettent pas d'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 de la Cagne

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) de la Cagne 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.

Cependant, comme démontré plus bas, la modélisation ne permet pas de mettre en évidence les spécificités locales.

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.

5.2 Le modèle mensuel (GR_{loicau-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.

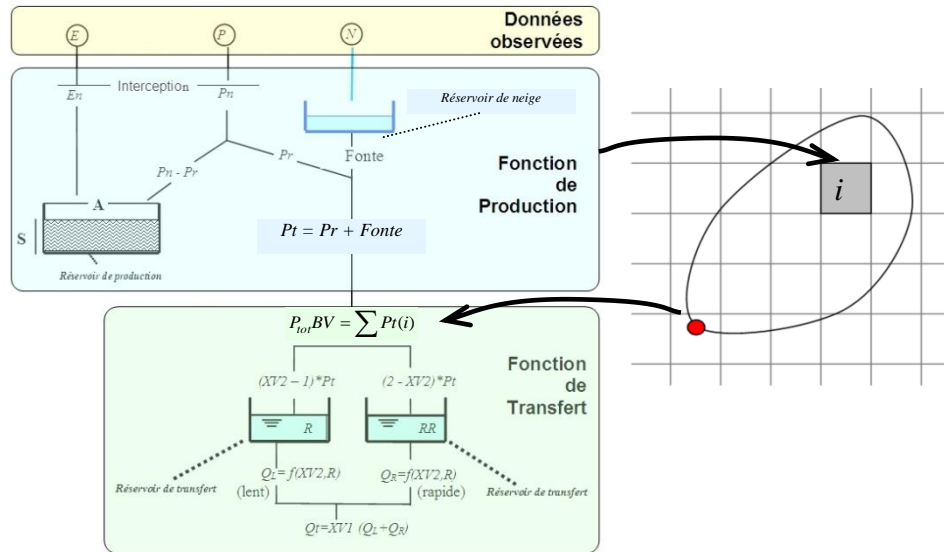


Figure 27 : schéma du modèle hydrologique

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 :

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

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 :

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

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

Le tableau 8 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 12 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)
Cagne à Saint Jeannet (1981 - 1988)	39	81,80	82,90	682	649	684	32	33	29
Cagne à Cagnes-sur-Mer (1988-2008)	95	83,70	83,90	815	751	809	31	27	32

Tableau 12 : 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 de la Cagne sont correctement reproduits avec des critères de Nash supérieurs à 80%. L'analyse de la performance du modèle sur la restitution des débits de références est synthétisée sur le tableau ci-dessus.

Les résultats de la modélisation pour l'ensemble des stations sont présentés dans l'annexe 2.

5.3.1.2 Discussion

Sur la figure 28 est reportée la distribution des deux paramètres en fonction de la surface des bassins versants et selon les deux options de calage. Les valeurs obtenues lors de l'étude de la modélisation hydrologique du bassin versant du Loup sont aussi reportées, car ce bassin présente un contexte climatologique et hydrogéologique similaire. Il dispose en outre de 4 stations hydrométriques qui permettent de caler le modèle et d'enrichir la réflexion sur les valeurs des paramètres. On constate que le choix de la fonction critère pour caler le modèle n'a que peu d'impact sur les valeurs des paramètres.

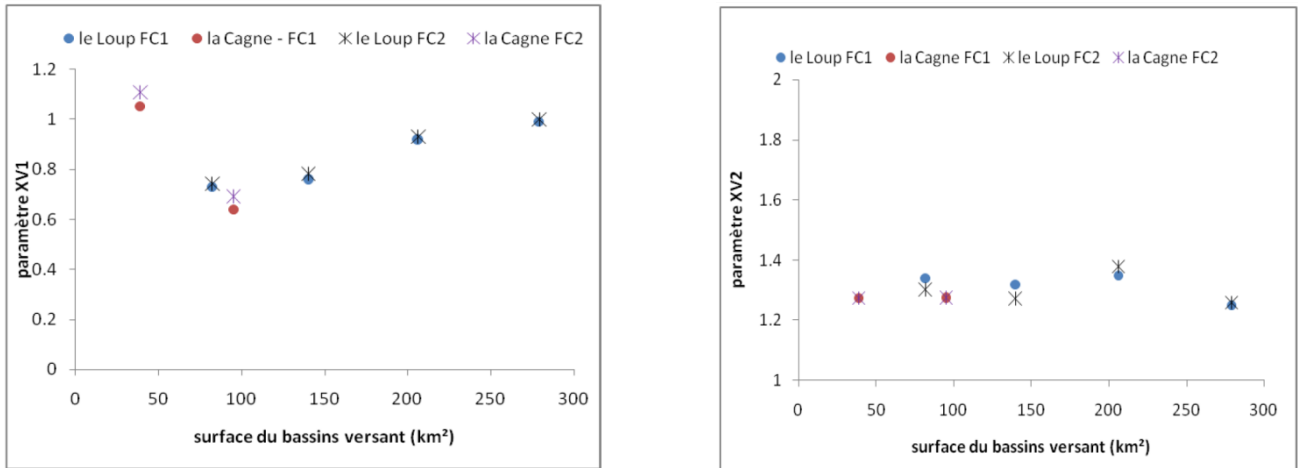


Figure 28 : distribution des paramètres du modèle (débit mesuré influencé) en fonction de la surface des bassins

Par construction, XV1 assure le bilan en eau du bassin versant. 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. Les coefficients d'écoulement de la Cagne décroissent avec la surface du bassin, comme l'illustre la figure 29, mais le constat est différent sur le Loup. 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, c'est lié aux prélèvements pour l'AEP plus important à l'amont. Au niveau de la régionalisation des deux paramètres, on peut alors soit intégrer ces contrastes, soit les exclure, soit calculer leur influence. Le paramètre XV2 est homogène sur tous les bassins du Loup et de la Cagne, de l'ordre de 1,3.

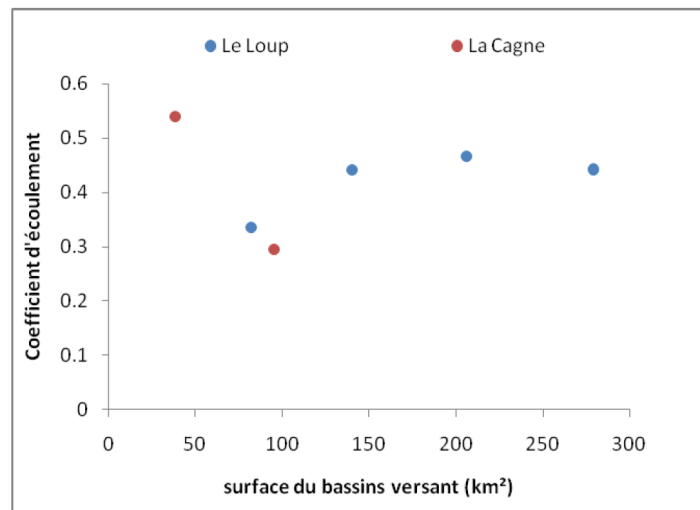


Figure 29 : distribution des coefficients d'écoulement en fonction de la surface des bassins

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 de la Cagne qui sont uniquement des prélèvements AEP. La détermination des prélèvements et des restitutions sur les années 2000 à 2008, permet de calculer à partir des débits mesurés influencés, des débits dits "naturalisés". Ces débits correspondent aux valeurs de débits que l'on aurait dans le cours d'eau en l'absence d'effets anthropiques. La méthode algébrique est la suivante:

$$Q \text{ naturalisé} = Q \text{ mesuré influencé} + Q \text{ prélevé} - Q \text{ rejet}$$

Les débits correspondants aux prélèvements mensuels sont moyennés sur la période 2005 à 2012 (figure 30), et les débits correspondant aux rejets sont estimés à partir de la valeur moyenne, seule connue (tableau 13).

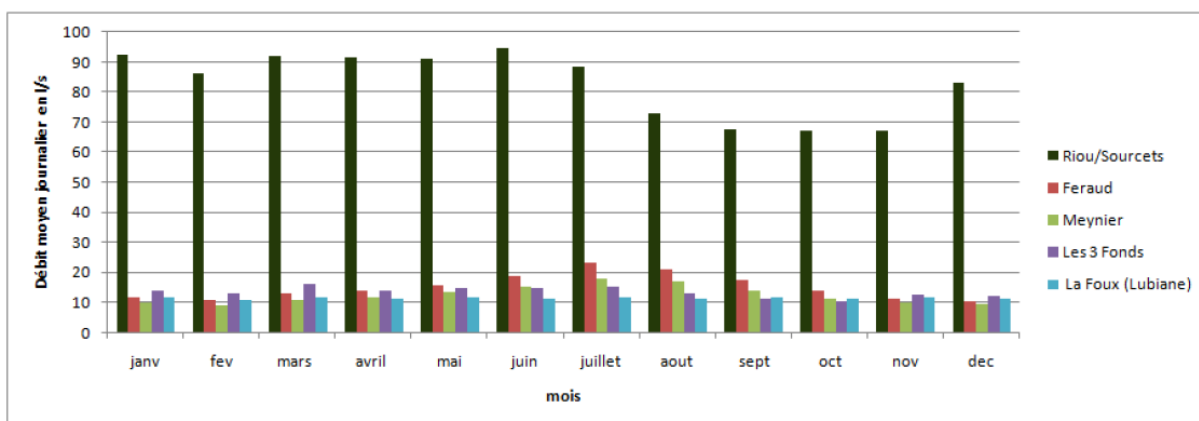


Figure 30 : répartition mensuelle des prélèvements moyens annuels sur le bassin versant de la Cagne calculée sur la période 2005 à 2012

Rejets	Volume annuel moyen rejeté	
	l/s	Milliers m3
Vence Malvan	14.9	471
Vence Vosgelade	11.9	450

Tableau 13 : rejets moyens annuels sur la Cagne sur la période 2007 à 2012

Le calage du modèle est réalisé sur la période d'observation des débits, c'est à dire de 1980 à 1988 pour la station amont et de 1988 à 2008 pour la station aval, avec les débits influencés et avec les débits naturalisés. Les débits naturalisés ne représentent pas une reconstitution exacte, car les prélèvements sont inconnus sur la période d'observation des débits, mais ils permettent de préciser avec cohérence un ordre de grandeur de ces valeurs.

5.3.2.2 Calage validation du modèle

Les résultats de l'étape 1 et 2 issus des débits influencés, sont consignés dans les tableaux suivant (tableau 14 et 15). 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 31 permet de comparer les débits mensuels moyens observés et calculés sur les deux périodes.

Y5625010 La Cagne à St-Jeannet - calage sur 1981 – 1988 (FCT 1)							
	XV1	XV2	Nash (%)	Qannuel obs (l/s)	Qannuel calc (l/s)	QMNA5 obs (l/s)	QMNA5 calc(l/s)
Débits mesurés influencés	1.05	1.30	81.8	682	649	33	33
Débits naturalisés	1.23	1.42	82.2	792	762	122	72
Y5625010 La Cagne à St-Jeannet – calage sur 1981 – 1988 (FCT 2)							
	XV1	XV2	Nash (%)	Qannuel obs (l/s)	Qannuel calc (l/s)	QMNA5 obs (l/s)	QMNA5 calc (l/s)
Débits mesurés influencés	1.12	1.28	82.9	682	694	33	30
Débits naturalisés	1.29	1.52	78.9	792	801	122	124

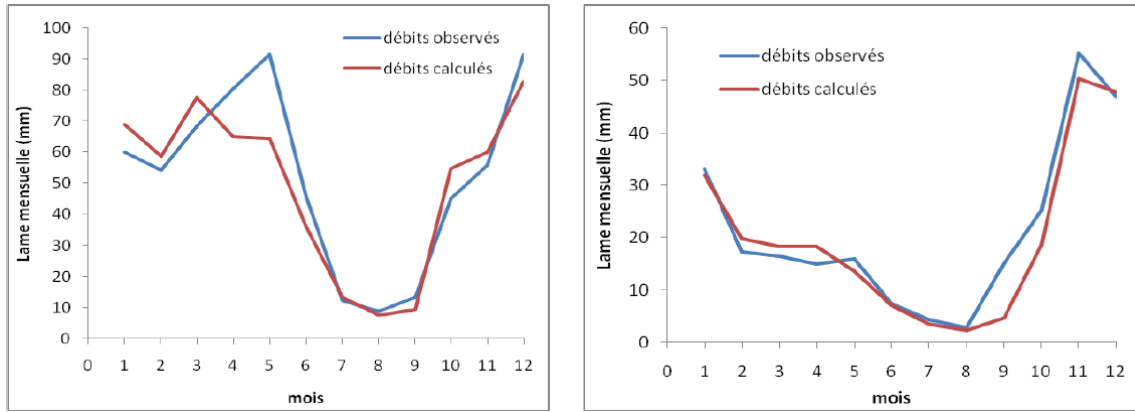
Tableau 14 : résultats du calage et de la validation sur les débits mesurés influencés à la station St-Jeannet

Y5625020 La Cagne à Cagnes-sur-Mer - calage sur 1988 – 2008 (FCT 1)							
	XV1	XV2	Nash (%)	Qannuel obs (l/s)	Qannuel calc (l/s)	QMNA5 obs (l/s)	QMNA5 calc(l/s)
Débits mesurés influencés	0.64	1.26	83.7	815	751	32	28
Débits naturalisés	0.73	1.37	82.2	914	611	147	59
Y56Y5625020 La Cagne à Cagnes-sur-Mer - calage sur 1988 – 2008 (FCT 2)							
	XV1	XV2	Nash (%)	Qannuel obs (l/s)	Qannuel calc (l/s)	QMNA5 obs (l/s)	QMNA5 calc (l/s)
Débits mesurés influencés	0.69	1.27	83.8	815	809	32	33
Débits naturalisés	0.79	1.53	74.2	914	914	147	147

Tableau 15 : résultats du calage et de la validation sur les débits mesurés influencés à la station Cagnes-sur-Mer

L'étude sur le Loup avait permis de mettre en évidence la même augmentation des paramètres entre les deux calages réalisés sur les débits mesurés influencés naturalisés, et ce quelque soit la fonction critère.

La fonction critère 2 est retenue car elle permet une restitution plus satisfaisante des débits d'étiage, sans dégrader la restitution du bilan. Le calage sur les débits naturalisés des deux bassins versants de la Cagne permet d'obtenir un paramètre XV2 de 1.5, du même ordre de grandeur que ceux obtenus sur les bassins modélisés du Loup.



La Cagnes à Saint Jeannet (1980 à 1988)

La Cagne à Cagnes sur mer (1988 à 2008)

Figure 31 : restitution des débits moyens mensuels en calage (débits mesurés aux stations)

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 mesurés 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. Les paramètres calés sur deux bassins ne nous permettant pas de rechercher des liens avec des caractéristiques physiques ou descriptifs des bassins versants. On peut juste retenir que l'amont du bassin de la Cagne, présente un paramètre de production (XV1) un peu plus fort que l'aval. D'un point de vue hydrogéologique, le bassin situé à l'amont de la station St-Jeannet apparaît homogène, il est composé pour l'essentiel de calcaire du Jurassique. On propose donc de fixer sur l'ensemble de cette zone amont, le paramètre XV1 à 1.1 pour le modèle débit mesuré influencé, et XV1 à 1.3 pour le modèle débit naturalisé. Ensuite on propose de faire décroître le paramètre XV1 avec la surface du bassin versant, pour obtenir à l'aval du bassin un paramètre de l'ordre de 0.7 pour le modèle débit mesuré influencé, et de l'ordre de 0.8 pour le modèle débit naturalisé. Pour le paramètre XV2, on privilégie une valeur régionale, fixée à 1.3 pour l'application du modèle en débit mesuré influencé et à 1.5 pour l'application du modèle en débit naturalisé. Ces valeurs sont en adéquation avec celles obtenues sur le bassin du Loup.

Ces valeurs étant déterminées, on procède à une simulation des débits influencés et des débits naturalisés pour différents points exutoires de la Cagne sur la période 1970 à 2011. Les exutoires sont localisés sur la figure 32.

Les prélèvements pris en compte par rapport aux bassins versant définis dans la modélisation sont :

- BV1 intègre les prélèvements de Riou
- BV2 intègre les prélèvements de Riou , Féraud et Meynier
- BV3, BV4 et BV5 intègrent les prélèvements de Riou , Féraud, Meynier et les 3 Fonts.
- BV6 à BV 10 intègrent les prélèvements de Riou , Féraud, Meynier, les 3 Fonts et la Foux

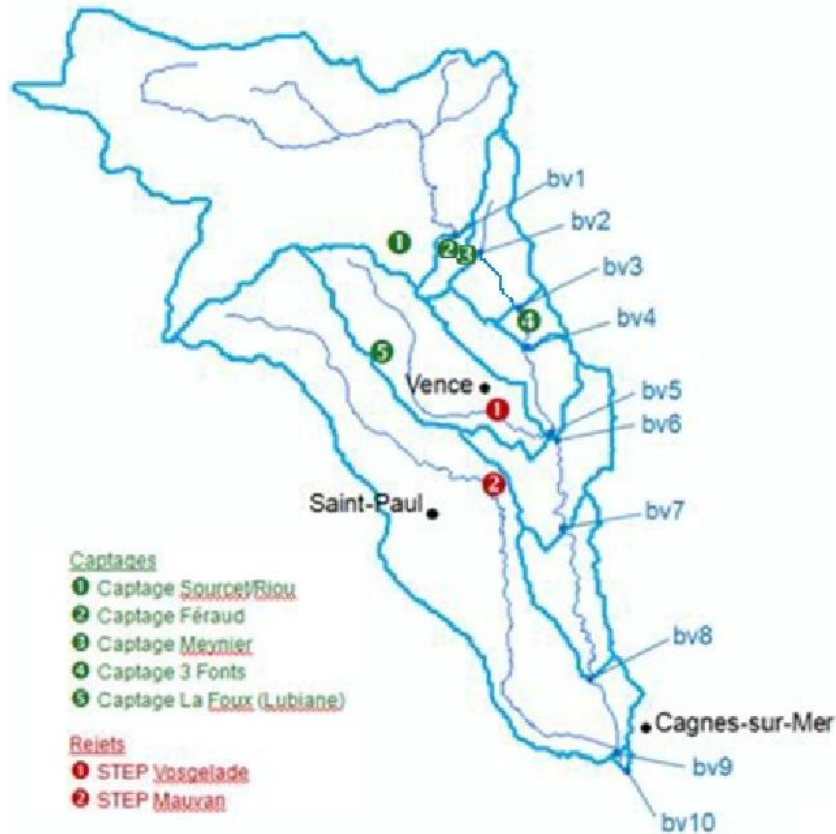


Figure 32 : localisation des simulations en différents points le long du réseau hydrographique de la Cagne

Résultats :

De ces chroniques sont extraits les débits de référence : **1/10 module** et **QMNA5 influencés et naturalisés**.

Les débits moyens mensuels sont aussi calculés. Les résultats concernant la simulation des débits mesurés influencés issus du modèle régional débit influencé sont présentés dans le tableau 16. Le tableau 17 présente les débits simulés naturalisés par le modèle régional débit naturalisé.

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

Stations	superficie BV km ²	DEBITS CALCULES				DEBITS OBSERVES																											
		1/10 module (l/s)	QMNA5 (l/s)	VCN10j T=2ans (l/s)	VCN10j T=5ans (l/s)	1/10 module (l/s)	QMNA5 (l/s)	VCN10j T=2ans (l/s)	VCN10j T=5ans (l/s)																								
BV1 Amont captage Sourcet	38.7	78	46	58	38	<table border="1"> <tr> <td colspan="4">station DREAL St Jeannet</td> </tr> <tr> <td>68</td> <td>33</td> <td>47</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td colspan="4">station CG pont des salles</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td colspan="4">station DREAL Cagne-sur-Mer</td> </tr> <tr> <td>81</td> <td>32</td> <td>31</td> <td>10</td> </tr> </table>				station DREAL St Jeannet				68	33	47	24	station CG pont des salles				10				station DREAL Cagne-sur-Mer				81	32	31	10
station DREAL St Jeannet																																	
68	33	47	24																														
station CG pont des salles																																	
10																																	
station DREAL Cagne-sur-Mer																																	
81	32	31	10																														
BV2 Réservoir	39.7	78.5	46	58	38																												
BV3 pont des moulins	43.7	81	47	59	38																												
BV4 Les Fonts	44.7	82	48	60	39																												
BV5 Amont Lubiane	48.6	84	48	61	39																												
BV6 Aval Lubiane	57.7	93.5	53	67	43																												
BV7 Pont des salles	63	94	53	66	43																												
BV8 Passerelle du Brecq	67	93.7	52	65	42																												
BV9 Station DREAL Cagnes-sur-Mer	95	98	52	66	43																												
BV10 Exutoire en mer	95.8	99	53	66	43																												

Tableau 16 : résultats des simulations en différents points du bassin de la Cagne sur les débites influencés – comparaison avec les débits observés

Stations	superficie BV km ²	DEBITS NATURALISES		DEBITS INFLUENCES "NATURALISES"		DEBITS MESURES RECONSTITUES													
		1/10 module (l/s)	QMNA5 (l/s)	1/10 module (l/s)	QMNA5 (l/s)	1/10 module (l/s)	QMNA5 (l/s)												
BV1 Amont captage Sourcet	38.7	92	132	86	115	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">station DREAL St Jeannet</td> </tr> <tr> <td>76</td> <td>131</td> </tr> <tr> <td colspan="2">station CG pont des salles</td> </tr> <tr> <td>116</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">station DREAL Cagnes-sur-Mer</td> </tr> <tr> <td>92</td> <td>124</td> </tr> </table>		station DREAL St Jeannet		76	131	station CG pont des salles		116		station DREAL Cagnes-sur-Mer		92	124
station DREAL St Jeannet																			
76	131																		
station CG pont des salles																			
116																			
station DREAL Cagnes-sur-Mer																			
92	124																		
BV2 Réservoir	39.7	93	133	87	145														
BV3 pont des moulins	43.7	96	137	92	157														
BV4 Les Fonts	44.7	97	137	95	157														
BV5 Amont Lubiane	48.6	99	139	96	158														
BV6 Aval Lubiane	57.7	109	152	105	159														
BV7 Pont des salles	63	109	151	106	159														
BV8 Passerelle du Brecq	67	108	148	107	158														
BV9 Station DREAL Cagnes-sur-Mer	95	111	148	109	145														
BV10 Exutoire en mer	95.8	112	149	109	146														

Tableau 17 : résultats des simulations en différents points du bassin de la Cagne sur les débits naturalisés et comparaison avec les débits influences « naturalisés » et les débits mesurés reconstitués

Les QMNA sont indiqués dans les tableaux en annexe 3.

- Les bassins versants 2 et 9 correspondent respectivement aux stations DREAL St-Jeannet et Cagnes-sur-Mer.
Pour le 1/10 du module, le QMNA5 et les VCN, on constate que les débits simulés sont supérieurs aux débits observés aux stations dans la mesure où la période simulée (1970-2011) est plus pluvieuse.
Le modèle restitue mal les débits d'étiages observés à la station de Cagnes-sur-Mer : - 40% pour le QMNA5, - 50% pour le VCN_{2ans} et -75% pour le VCN_{5ans}.
- Le bassin versant 7 correspond à la station CG de Pont-des-Salles. Le modèle ne permet pas de restituer le QMNA5 à cette station avec une surestimation de 80 %.

Les paramètres régionaux sont issus d'une synthèse régionale, le modèle ne permet pas de restituer les spécificités locales. Les valeurs statistiques restituées au Pont-des-Salles (BV7) sont identiques à la station de Cagnes-sur-Mer (BV9) alors que la réalité hydrologique est tout autre, avec des pertes karstiques importantes en amont.

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 et pour le QMNA5.

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 paramètres et produire des résultats justes. C'est le cas sur la Cagne qui présente pourtant des chroniques de débits courtes.*

*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.*

Par ailleurs, le modèle est très limité quant à la représentativité des spécificités hydrologiques locales. L'exploitation de la station CG06 de Pont-des-Salles a permis d'obtenir des valeurs plus justes et représentatives des conditions locales particulières.

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 du 1/10 du module et du QMNA5 aux points stratégiques de référence :

Stations	superficie BV km ²	DEBITS INFLUENCES		DEBITS MESURES		DEBITS NATURALISES		DEBITS INFLUENCES "NATURALISES"		DEBITS MESURES RECONSTITUES	
		1/10 module (l/s)		1/10 module (l/s)		1/10 module (l/s)		1/10 module (l/s)		1/10 module (l/s)	
BV2 Réservoir	39.7	78.5	68	93	87	76					
BV7 Pont des salles	63	94		109	106						

Tableau 18 : 1/10 modules influencés et naturalisés aux points stratégiques de référence

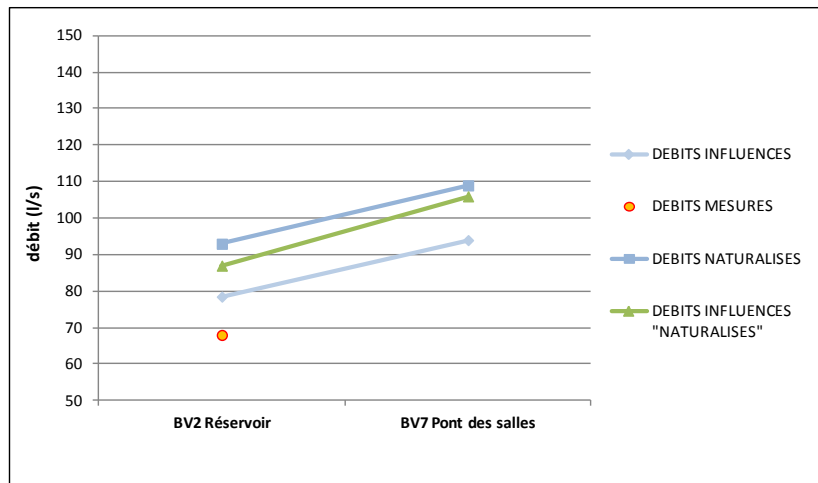


Figure 33 : profil du 1/10 du module influencé et naturalisé aux points stratégiques de référence

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.

Étant donné que le 1/10 du module est une moyenne annuelle qui lisse le phénomène d'étiage sévère, on peut considérer que les valeurs indiquées au Pont-des-Salles (secteur d'assec) sont cohérentes.

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

- Impact de **16 %** des prélèvements sur le **1/10 du module à réservoir (aval captages St-Jeannet)**
- Impact de **14 %** des prélèvements sur le **1/10 du module au Pont-des-Salles**

Stations	superficie BV km ²	DEBITS INFLUENCES		DEBITS MESURES		DEBITS INFLUENCES "NATURALISES"		DEBITS MESURES RECONSTITUES	
		QMNA5 (l/s)		QMNA5 (l/s)		QMNA5 (l/s)		QMNA5 (l/s)	
BV2 Réservoir	39.7	32	32	133	145	131			
BV7 Pont des salles	63	53	10	151	159	116			

Tableau 19 : QMNA5 influencés et naturalisés aux points stratégiques de référence

Les valeurs de débit issues du modèle régional naturalisé et du modèle régional influencé auquel les prélèvements sont rajoutés sont très proches. On note un écart maximum de 8 % à réservoir et de 5 % au Pont-des-Salles.

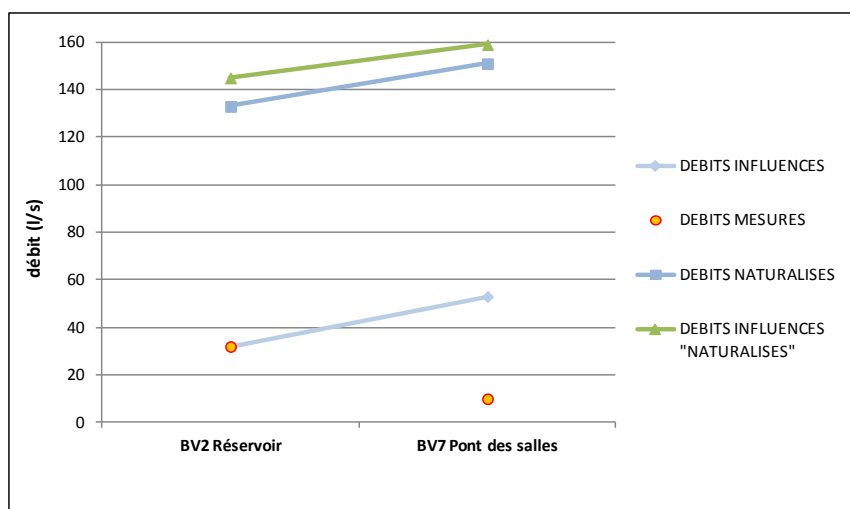


Figure 34 : profil du QMNA5 influencé et naturalisé aux points stratégiques de référence

Pour le QMNA5, on constate que le modèle régional ne permet pas de restituer la baisse des débits observé sur le terrain au niveau du Pont-des-Salles (surestimation de 80 % du QMNA5).

Ces résultats font apparaître les difficultés du modèle à restituer les réalités locales et notamment pour les faibles débits d'été comme dans le cas du Loup aux Ferrayonnes.

On ne peut donc pas considérer les valeurs de QMNA5 du modèle comme cohérentes au Pont-des-Salles. Elles sont exclues des résultats. On prend la valeur mesurée à la station CG Pont-des-Salles.

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

- Impact de l'ordre de **75 %** des prélèvements sur le **QMNA5 à Réservoir (aval captage St-Jeannet)**
- Impact de l'ordre de **91 %** des prélèvements sur le **QMNA5 à Pont-des-Salles. Très maximisant puisque n'intègre pas les pertes karstiques dans les gorges en amont**

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

	Réservoir
<i>Surface BV (km²)</i>	39,7
rapport QMNA5/ 1/10 module influencé	44%
rapport QMNA5/ 1/10 module [naturalisé - influencé "naturalisé"]	147%

Tableau 20 : rapport entre le QMNA5 et le 1/10 du module à réservoir (point stratégique de référence)

On obtient des valeurs similaires à la méthode par reconstitution (tab.11).

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 : réservoir (aval captages St-Jeannet) et Pont-des-Salles*
- ✓ *L'impact des prélèvements sur le QMNA5 naturel est considéré comme fort à réservoir.*
- ✓ *L'impact cumulé des prélèvements et des pertes karstiques sur le QMNA5 naturel est considéré comme très fort à Pont-des-Salles.*
- ✓ *Le rapport naturalisé entre le QMNA5 et le 1/10 du module permet d'affirmer que les étiages naturels de la Cagne sont fortement soutenus par la ressource sur la partie amont du bassin.*
- ✓ *En revanche, le rapport influencé entre le QMNA5 et le 1/10 du module indique que les étiages influencés de la Cagne sont fortement impactés par les prélèvements avec une dégradation du rapport de l'ordre de 100 % en moyenne comparativement aux débits naturalisés.*
- ✓ *Le manque de données et les limites de la modélisation ne permettent pas de se prononcer sur le rapport entre le QMNA5 et le 1/10 du module à Pont-des-Salles.*

7 Impact du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique du bassin de la Cagne

L'étude de l'impact du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique de bassin versant de la Cagne 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 35). 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 36 présente un récapitulatif de l'obtention des données climatiques futures.

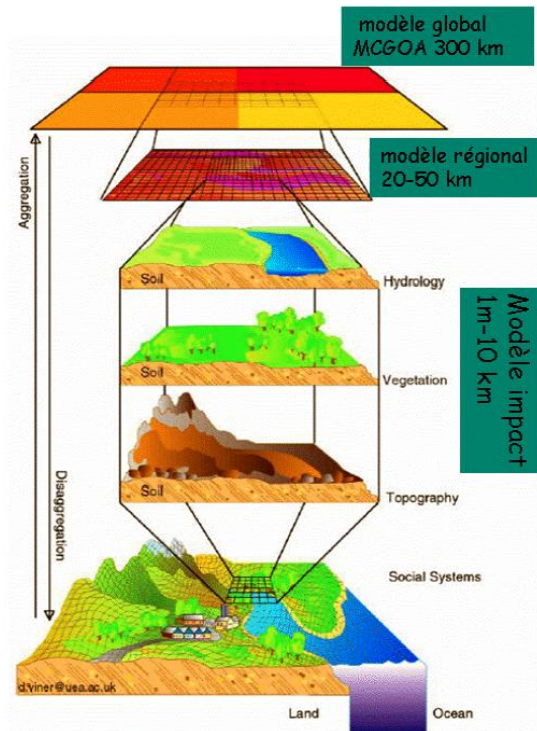


Figure 35 : désagrégation des données climatiques

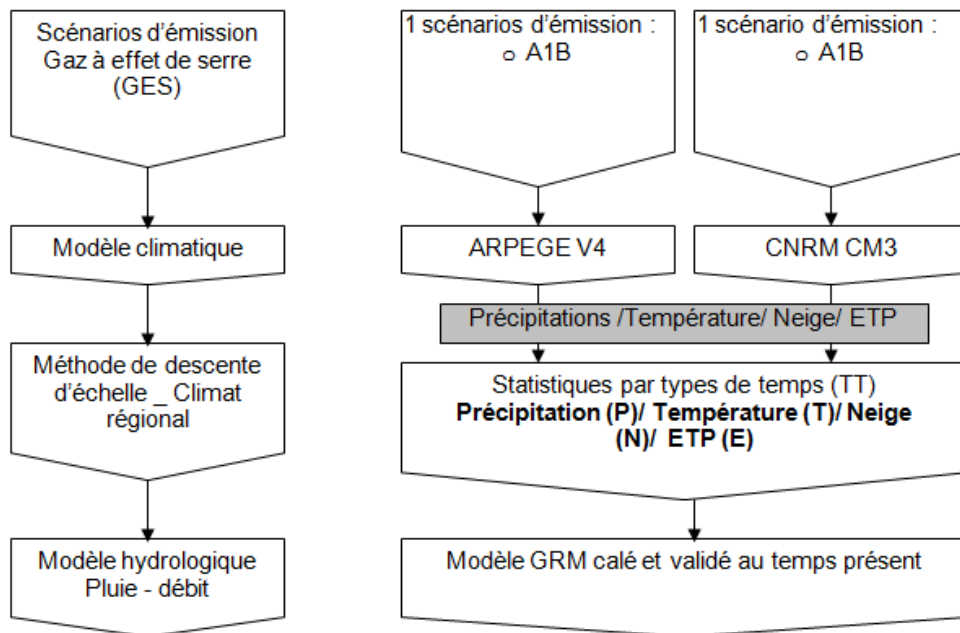


Figure 36 : synoptique de travail des données climatiques jusqu'aux données Safran

7.1.2 Résultats des scénarios climatiques

Les résultats des scénarios climatiques sont présentés dans le tableau 21. 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 2 % à 3 % par décennie.

		SAFRAN 1970 - 2011	Moyenne multimodèle 2046/2065 2081-2100	
Pluie (mm/an)	BV1	1116.2	786.0	715.9
	BV2	1109.6	781.1	711.2
	BV3	1086.2	763.8	694.8
	BV4	1081.0	759.9	691.1
	BV5	1062.3	746.1	678.0
	BV6	1056.4	740.3	672.3
	BV7	1033.9	724.0	657.0
	BV8	1013.4	709.2	643.2
	BV9	987.2	688.5	624.0
	BV10	987.2	688.5	624.0
ETP (mm/an)	BV1	738.2	909.9	924.0
	BV2	740.6	910.2	924.4
	BV3	749.0	911.1	925.8
	BV4	750.9	911.3	926.1
	BV5	757.6	912.1	927.2
	BV6	760.9	914.1	929.5
	BV7	770.3	920.4	936.3
	BV8	779.1	927.1	943.4
	BV9	794.0	938.1	955.2
	BV10	794.0	938.1	955.2
Température (°C/an)	BV1	14.0	13.3	14.0
	BV2	14.0	13.3	14.0
	BV3	14.2	13.5	14.2
	BV4	14.3	13.6	14.3
	BV5	14.4	13.8	14.4
	BV6	14.5	13.8	14.5
	BV7	14.8	14.1	14.8
	BV8	15.0	14.3	15.0
	BV9	15.3	14.7	15.3
	BV10	15.3	14.7	15.3

Tableau 21 : évolution des principales variables climatiques pour différentes périodes, sur les bassins de la Cagne

7.2 Impact des scénarios climatiques sur les débits simulés sur la Cagne

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 de la Cagne permettent d'en déduire les débits de référence d'étiage et les débits moyens mensuels présentés dans les tableaux 22 et 23.

		surf (km ²)	Qa l/s	Q5 l/s
BV1	Amont Captage Sourcet	38.68	360	23
BV2	Réservoir	39.66	362	23
BV3	Pont des moulins	43.71	372	24
BV4	Les Fonts	44.75	378	24
BV5	Amont Lubiane	48.61	385	24
BV6	Aval Lubiane	57.73	427	26
BV7	Pont des salles	63.08	428	26
BV8	Passerelle du Brecq	67.27	423	25
BV9	Station DREAL	95.0	439	26
BV10	Exutoire en mer	95.8	442	26

Tableau 22 : résultats des simulations en différents points du bassin de la Cagne, débits influencés sur la période P1 (2046 -2065)

		surf (km ²)	Qa l/s	Q5 l/s
BV1	Amont Captage Sourcet	38.68	289	16
BV2	Réservoir	39.66	290	16
BV3	Pont des moulins	43.71	297	16
BV4	Les Fonts	44.75	301	16
BV5	Amont Lubiane	48.61	306	17
BV6	Aval Lubiane	57.73	338	18
BV7	Pont des salles	63.08	338	18
BV8	Passerelle du Brecq	67.27	333	18
BV9	Station DREAL	95.0	345	18
BV10	Exutoire en mer	95.8	347	18

Tableau 23 : résultats des simulations en différents points du bassin de la Cagne, 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 et du QMNA5 de l'ordre de 50 %*

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

- *Une diminution du 1/10 du module et du QMNA5 de l'ordre de 65 %*

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, on impacte une hausse des prélèvements moyens mensuels de 10 %. Les prélèvements moyens mensuels référents sont ceux mis à notre disposition sur la période 2005-2012, 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 24 et 25 :

		surf (km ²)	Qa l/s	Q5 l/s
BV1	Amont Captage Sourcet	38.68	772	39
BV2	Réservoir	39.66	774	35
BV3	Pont des moulins	43.71	799	34
BV4	Les Fonts	44.75	811	35
BV5	Amont Lubiane	48.61	830	35
BV6	Aval Lubiane	57.73	922	38
BV7	Pont des salles	63.08	929	38
BV8	Passerelle du Brecq	67.27	924	37
BV9	Station DREAL	95.0	967	37
BV10	Exutoire en mer	95.8	975	38

Tableau 24 : résultats des simulations en différents points du bassin de la Cagne, débits influencés avec hausse des prélèvements moyens de 10%

		surf (km ²)	Qa l/s	Q5 l/s
BV1	Amont Captage Sourcet	38.68	789	54
BV2	Réservoir	39.66	796	57
BV3	Pont des moulins	43.71	823	59
BV4	Les Fonts	44.75	836	59
BV5	Amont Lubiane	48.61	855	60
BV6	Aval Lubiane	57.73	949	66
BV7	Pont des salles	63.08	956	66
BV8	Passerelle du Brecq	67.27	951	65
BV9	Station DREAL	95.0	994	66
BV10	Exutoire en mer	95.8	1002	66

Tableau 25 : résultats des simulations en différents points du bassin du Cagne, 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 15 % et 20 %***

*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 15 % et 28 %***

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 eu pour objectifs 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 2008 a permis de caractériser finement les étiages de la Cagne et de mettre en lumière les spécificités locales du fonctionnement hydrogéologique du cours d'eau.

Le bassin versant de la Cagne dispose uniquement de deux stations de mesures de la DREAL qui sont aujourd'hui arrêtées et dont les chroniques sont courtes et ne se recoupent pas. Ce manque de donnée induit une difficulté à extrapoler les débits caractéristiques en tout point du bassin versant, notamment au niveau des singularités hydrologiques locales comme sur le secteur de Pont-des-Salles qui présente un fonctionnement complexe avec des pertes très importantes dans le karst. Toutefois, sur ce secteur le CG a installé une station de mesure depuis 2008 qui permet de suivre les débits d'étiage et de reconstituer un QMNA5 cohérent.

Le recours à la modélisation des écoulements par le modèle GR_{LOIEAU-PIXEL} développé par l'IRSTEA permet de répondre dans une certaine mesure à ce souci d'extrapolation de l'information sur l'ensemble du bassin versant. Cependant, la régionalisation de la donnée montre également les limites de la modélisation qui ne permet pas restituer des valeurs aussi précises qu'en mode calage. Le comportement particulier du secteur de Pont-des-Salles ne peut être restitué correctement par le modèle.

Les investigations et les expérimentations menées par le CG06 depuis 2008 ont toutefois permis d'apporter des éléments intéressants sur le comportement du secteur Pont-des-Salles en appréhendant la relation entre la capacité d'absorption du milieu karstique dans la traversée des gorges, le débit du cours d'eau et le niveau piézométrique de la nappe karstique.

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 mesures actuel des stations de la DREAL pour les valeurs d'étiage qui aujourd'hui n'existent plus. Notamment, **la station de Cagnes-sur-Mer (en aval de la confluence avec le Malvan) qui présentait des problèmes de mesures à l'étiage et peu représentative des phénomènes de pertes en amont.**
- ✓ La pression des prélèvements est située essentiellement sur la partie amont des gorges sur les communes de St-Jeannet et Vence.

Sur le système **Féraud/Meynier**, les prélèvements sont maximums pour la période juillet/août. **Il permet de répondre à une sollicitation estivale plus importante que le reste de l'année.** Sur le système **Riou/Sourcets et 3 Fonds**, les prélèvements sont limités à l'étiage. **Les sources ne peuvent pas répondre à une augmentation de la demande en été.**

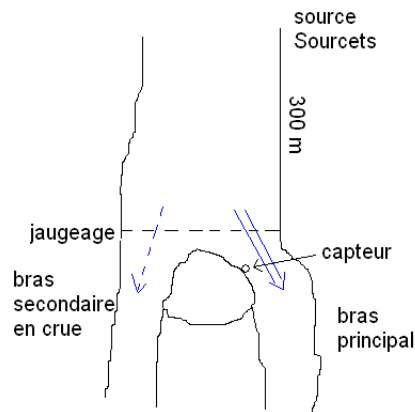
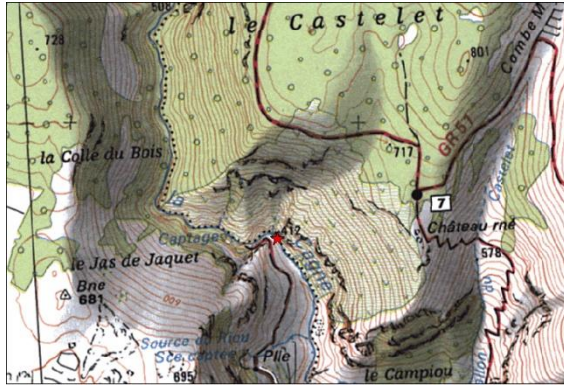
- ✓ La Cagne est un cours d'eau **naturellement bien soutenu par son karst** avec un rapport entre le QMNA5_{naturel} et le 1/10 du module_{naturel} qui varie entre 135 % et 172 %. Cependant, **la pression des prélèvements sur le cours d'eau est forte. Les prélèvements situés essentiellement sur la partie amont de la Cagne ont un impact important sur le reste du linéaire jusqu'à Cagnes-sur-Mer en période d'étiage.**

- ✓ Les campagnes de suivi réalisées par le CG06 et l'analyse des trois événements hydrauliques étudiés dans l'étude (2.3) mettent en avant un comportement complexe de la Cagne au niveau du secteur de pertes karstiques des gorges. L'analyse de ces événements met en évidence que, pour des conditions piézométriques défavorables de la nappe karstique (type 2008), **la capacité d'absorption du secteur amont des gorges peut dépasser les 200 l/s.**
- ✓ Si un apport par lâcher d'eau permet de soulager temporairement le cours d'eau, l'effet dépend directement du niveau de la nappe du jurassique. La solution de soutien d'étiage par lâcher apparaît comme limitée et nécessiterait d'**approfondir la démarche** de caractérisation des assecs de la Cagne par des études plus poussées et notamment **d'évaluer l'incidence du lâcher sur les débits du cours d'eau au-delà de 5 jours et pour des conditions de recharge de la nappe différentes.**
- ✓ Au niveau des points stratégiques de référence :
 - Réservoir (aval captage St-Jeannet) qui représente la partie amont du bassin : **l'impact des prélèvements sur le 1/10 du module naturalisé est considéré comme faible** tandis que **l'impact des prélèvements sur le QMNA5 naturalisé est jugé comme fort.** La valeur du 1/10 du module ne permet pas de mettre en évidence la pression forte des prélèvements en été.
 - Pont-des-Salles, qui représente le secteur d'asec en aval : **l'impact des prélèvements sur le 1/10 du module naturalisé est considéré comme faible** tandis que **l'impact des prélèvements et des pertes karstiques sur le QMNA5 naturalisé est jugé comme très fort.**
- ✓ Le modèle climatique qui permet de déduire les débits caractéristiques d'étiage à des horizons lointains (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 considéré 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

Fiche station aval Sourcets



Commune : Saint-Jeannet

Type de capteur : Orpheus Mini
Capteur de pression : 0-4 b
Date d'installation : 19/03/2008

N° du capteur : 218610
Longueur du système : 15 m

Contexte géologique : Marnes dolomitiques à gypse (Keuper)
Hydrogéologie : les marnes dolomitiques du Trias occupent un rôle de barrière hydraulique entre l'aquifère karstique subalpin et l'aquifère jurassique provençal.

Objectif: quantifier les débits venant en amont de la source des Sourcets, afin d'évaluer les débits de la Cagne lorsqu'elle n'est pas influencée. Cette station est localisée entre la source des Sourcets et celle du Riou.

Fiche station Aval captage St Jeannet (Féraud-Meynier)

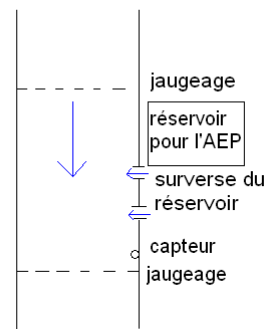
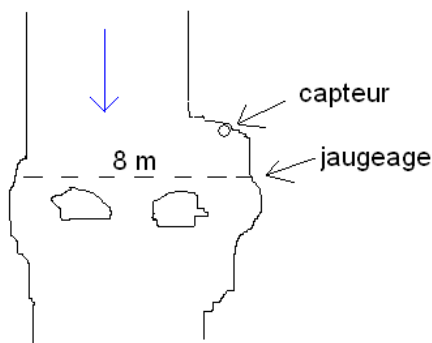


Schéma aval captage Féraud

Schéma captage Féraud

Commune : Saint-Jeannet

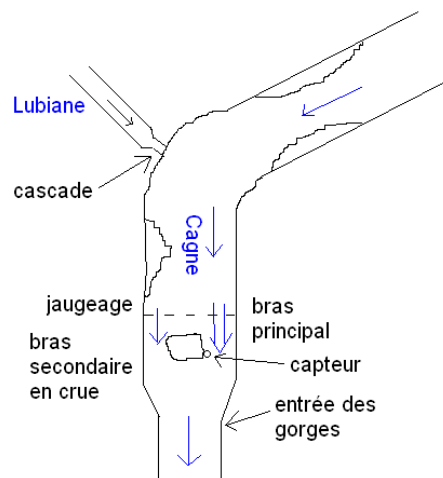
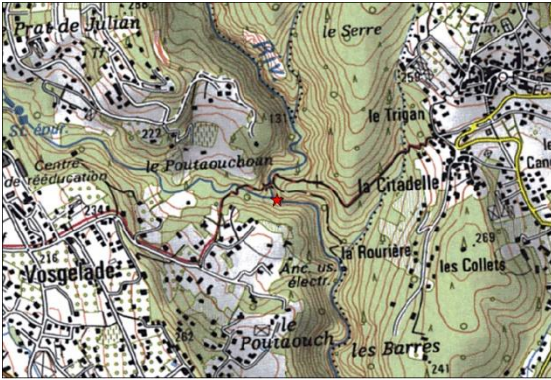
Type de capteur : Orpheus Mini
Capteur de niveau : 0-1b
Date d'installation : 19/03/2008

N° capteur : 223641
Longueur du système : 10 m

Contexte géologique : Marnes dolomitiques à gypse (Keuper)
Hydrogéologie : les marnes dolomitiques du Trias occupent un rôle de barrière hydraulique entre l'aquifère karstique subalpin et l'aquifère jurassique provençal.

But : estimer les débits venant du Riou, ainsi que ceux venant des surverses du captage de la source Féraud.

Fiche station Poutaouchoun



Commune : Vence

Type de capteur : Orpheus Mini

N° du capteur : 214940

Capteur de niveau : 0-2 b

Longueur du système : 15 m

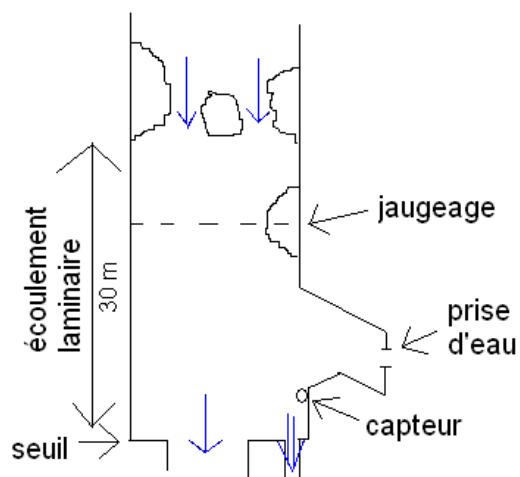
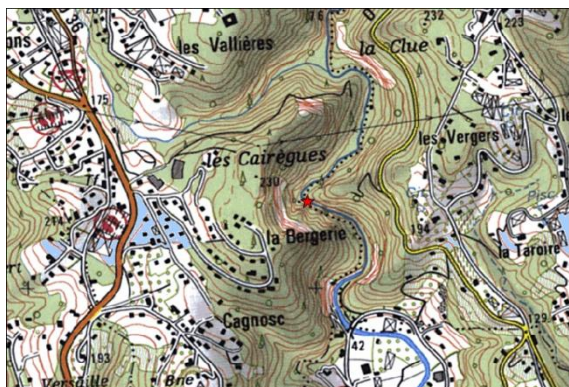
Date d'installation : 16/04/2008

Contexte géologique : calcaires et dolomies du Malm

Aquifère capté : aquifère karstique jurassique de l'avant-pays provençal

Objectif : Elle est placée en aval de toutes les sources captées pour l'AEP et juste en aval de la confluence avec la Lubiane. Elle est située juste en amont d'une zone de perte karstique importante.

Fiche station Seuil ASA



Commune : Cagnes/Mer

Type de capteur : Orpheus Mini

Capteur de niveau : 0-1 b

Date d'installation : 17/03/2008

N° capteur : 223640

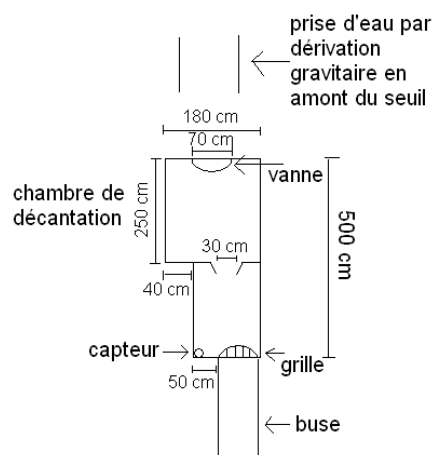
Longueur du système : 10 m

Contexte géologique : calcaires et dolomies du Malm

Hydrogéologie : aquifère karstique jurassique de l'avant-pays provençal

Objectif : Station permettant de connaître les débits juste en aval de la prise d'eau du Canal de l'ASA.

Fiche station Canal ASA



Commune : Cagnes/Mer

Type de capteur : Orpheus Mini

Capteur de niveau : 0-0.4 b

Date d'installation : 21/03/2008

N° capteur : 217226

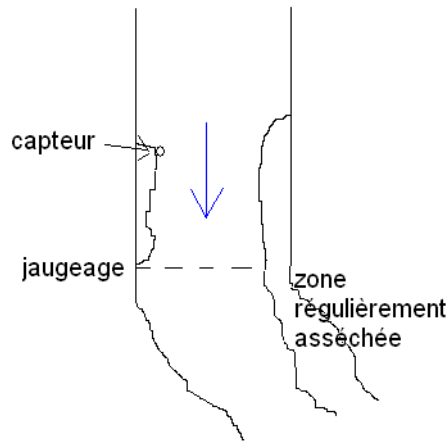
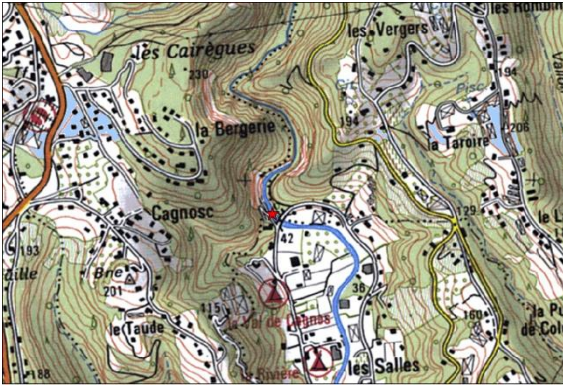
Longueur du système : 15 m

Contexte géologique : calcaires et dolomies du Malm

Hydrogéologie : aquifère karstique jurassique de l'avant-pays provençal

Objectif : voir avec détail les prélèvements en eau effectués par l'ASA.

Fiche station Pont des Salles



Commune : Cagnes/Mer

Type de capteur : Orpheus Mini

Capteur de niveau : 0-0.4 b

Date d'installation : 15/04/2008

N° de capteur : 217185

Longueur du système : 15 m

Contexte géologique : calcaires et dolomies du Malm

Hydrogéologie : aquifère karstique jurassique de l'avant-pays provençal

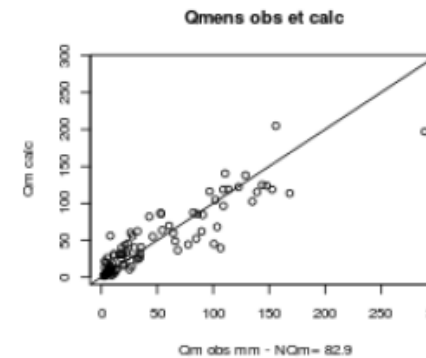
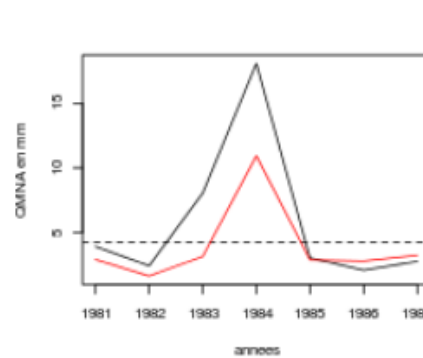
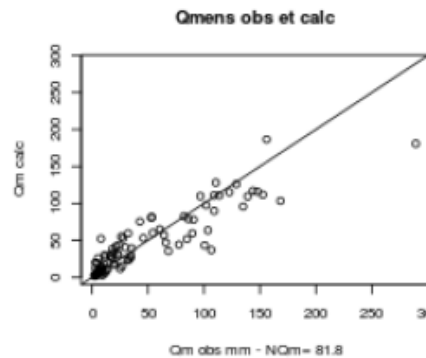
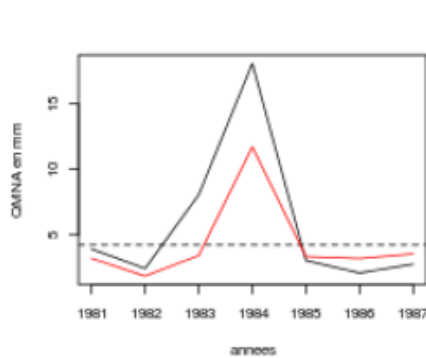
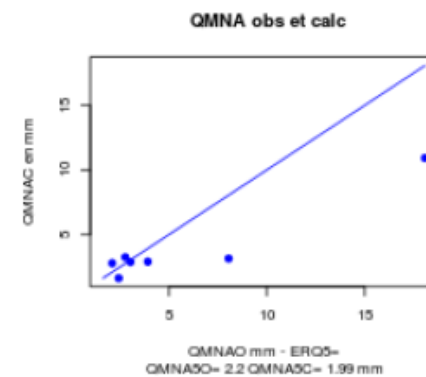
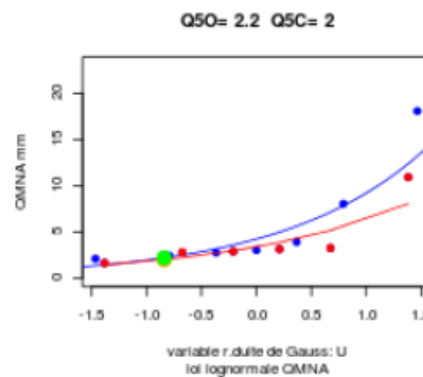
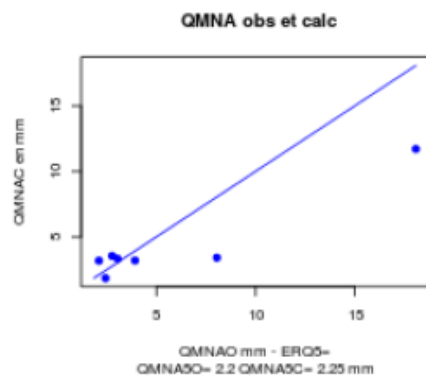
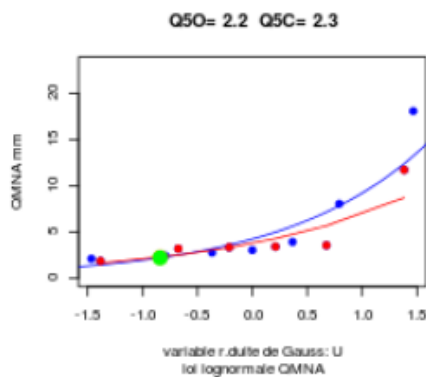
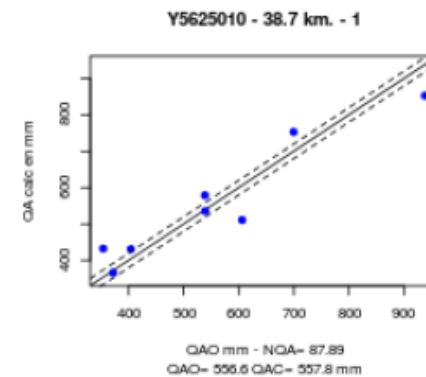
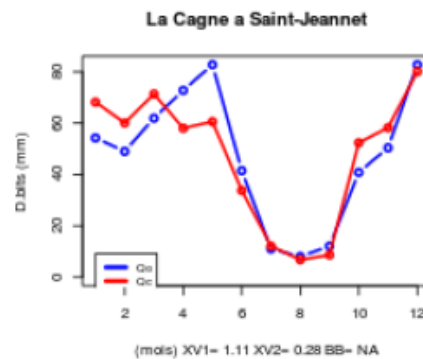
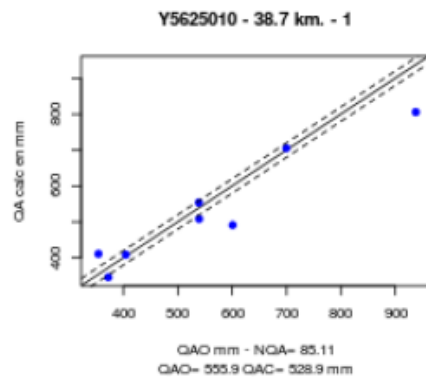
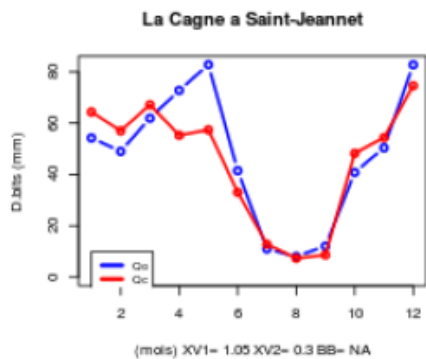
Objectif : observation des débits en aval des prélèvements de l'ASA, afin de voir si les pertes observées sont exclusivement anthropiques. De plus, zone asséchée en période d'été. La station se situe au niveau de la transition entre l'aquifère jurassique et la nappe alluviale de la basse-vallée de la Cagne.

Annexe n°2

Résultats du calage sur le bassin de la Cagne à St Jeannet - Y5615020

Fonction critère 1

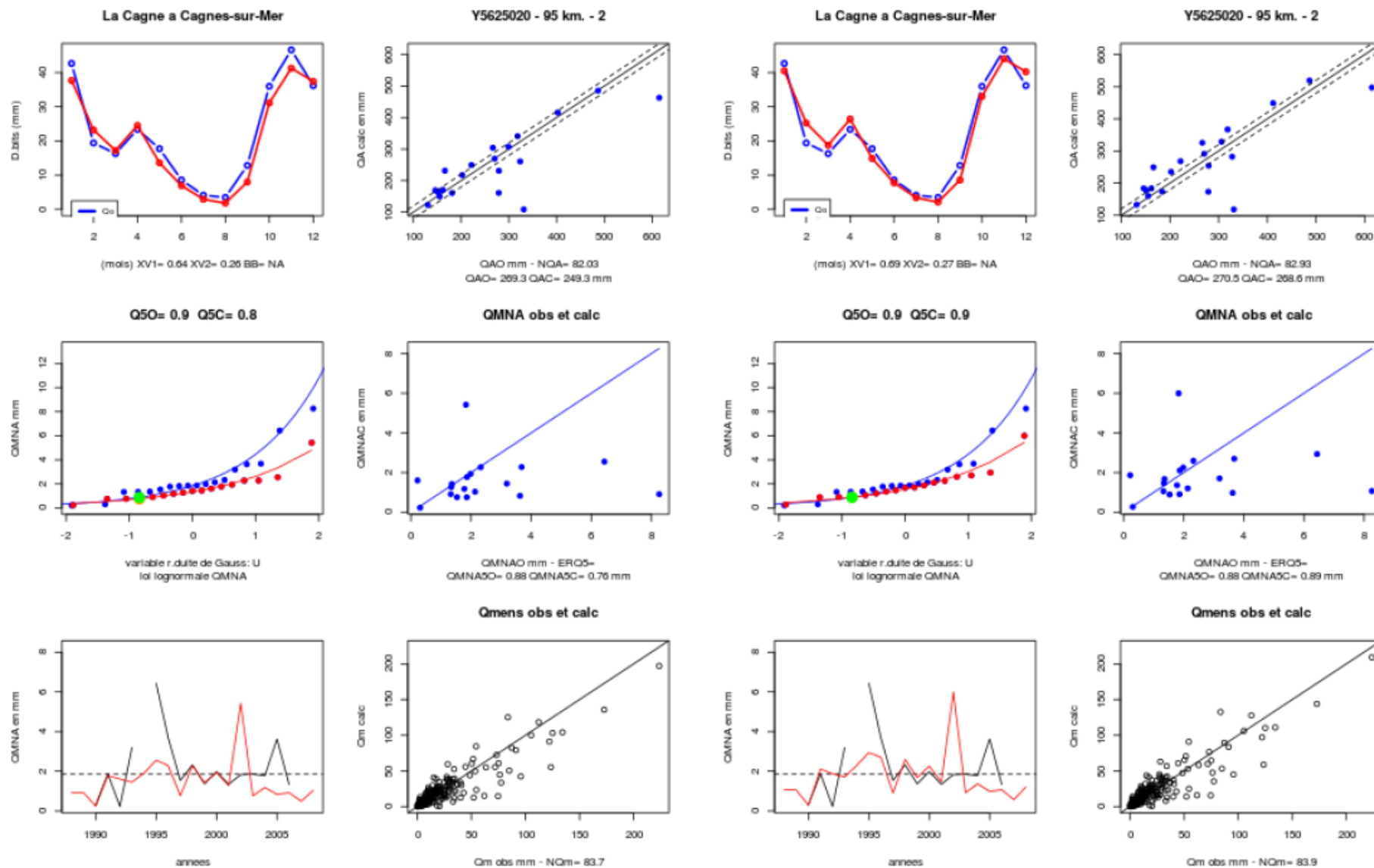
Fonction critère 2



Résultats du calage sur le bassin de la Cagne à **Cagnes-sur-Mer** - Y5625020

Fonction critère 1

Fonction critère 2



Annexe n°3

DEBITS INFLUENCES			Débits moyens mensuels en l/s											
		surf (km ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BV1	Amont Captage Sourcet	38.68	1302	1164	1020	934	722	409	181	130	250	886	1162	1231
BV2	Réservoir	39.66	1312	1173	1027	938	725	410	182	130	251	891	1168	1239
BV3	Pont des moulins	43.71	1364	1219	1066	967	744	419	186	132	256	918	1204	1283
BV4	Les Fonts	44.75	1387	1239	1084	981	754	425	188	134	259	932	1221	1303
BV5	Amont Lubiane	48.61	1428	1275	1114	1002	767	431	191	135	262	952	1248	1336
BV6	Aval Lubiane	57.73	1590	1418	1240	1111	846	475	210	148	290	1059	1385	1486
BV7	Pont des salles	63.08	1611	1436	1254	1116	847	474	209	147	288	1064	1393	1500
BV8	Passerelle du Breccq	67.27	1610	1436	1252	1107	837	468	206	144	284	1055	1383	1493
BV9	Station DREAL	95.0	1701	1516	1317	1154	863	481	212	147	291	1101	1445	1570
BV10	Exutoire en mer	95.8	1716	1529	1328	1163	870	485	214	148	293	1110	1457	1583

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

DEBITS NATURALISES			Débits moyens mensuels en l/s											
		surf (km ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BV1	Amont Captage Sourcet	38.68	1394	1251	1112	1025	813	503	269	203	318	953	1229	1315
BV2	Réservoir	39.66	1426	1280	1143	1055	845	538	311	241	349	983	1257	1342
BV3	Pont des moulins	43.71	1492	1338	1198	1098	878	562	330	256	365	1021	1305	1398
BV4	Les Fonts	44.75	1515	1359	1215	1112	889	568	332	257	369	1034	1322	1418
BV5	Amont Lubiane	48.61	1556	1394	1246	1133	902	574	335	259	372	1055	1349	1451
BV6	Aval Lubiane	57.73	1714	1533	1368	1238	977	614	350	268	396	1158	1483	1598
BV7	Pont des salles	63.08	1735	1551	1382	1243	978	614	350	267	395	1163	1490	1611
BV8	Passerelle du Breccq	67.27	1734	1551	1380	1234	968	607	347	265	390	1154	1480	1605
BV9	Station DREAL	95.0	1811	1616	1432	1267	980	606	338	253	383	1185	1528	1667
BV10	Exutoire en mer	95.8	1826	1629	1443	1276	987	610	340	254	385	1194	1540	1680

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

DEBITS NATURALISES			Débits moyens mensuels en l/s											
		surf (km ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BV1	Amont Captage Sourcet	38.68	1408	1365	1197	1134	931	648	391	292	361	882	1192	1303
BV2	Réservoir	39.66	1421	1376	1208	1142	937	652	394	294	362	888	1199	1312
BV3	Pont des moulins	43.71	1482	1435	1259	1184	968	673	406	303	373	919	1241	1363
BV4	Les Fonts	44.75	1494	1448	1269	1192	974	677	409	304	375	925	1250	1373
BV5	Amont Lubiane	48.61	1531	1483	1299	1215	990	687	415	308	379	941	1272	1402
BV6	Aval Lubiane	57.73	1689	1635	1433	1337	1085	752	454	337	416	1037	1400	1546
BV7	Pont des salles	63.08	1704	1650	1445	1342	1086	752	454	337	414	1039	1403	1553
BV8	Passerelle du Breccq	67.27	1693	1640	1435	1327	1071	741	448	332	407	1025	1386	1538
BV9	Station DREAL	95.0	1744	1689	1475	1355	1085	749	453	334	410	1043	1413	1577
BV10	Exutoire en mer	95.8	1759	1703	1488	1366	1094	755	456	337	413	1052	1425	1590

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