

# ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVABLES GLOBAUX



SDAGE  
Rhône-Méditerranée

2010 - 2015



## Sous bassin versant du Buëch

Rapport Phase3 • Février 2013





<b>Rédacteur</b>	<b>Approbateur</b>
Denis Quatrelivre Olivier SONNET	Eric Leroi

<b>Numéro de référence</b>	<b>Date de réalisation</b>
RP-D&D-2012/12-DQ-038	Juillet 2012
Février 2013 : Modification	Ajustement des données de débits influencés, et des modèles hydrologiques. Révision de l'ensemble des débits. Modifications de l'ensemble du document.

# Sommaire

<b>1</b>	<b>RAPPEL DES PRINCIPAUX OBJECTIFS DE LA PHASE 3 ET DEFINITIONS</b>	<b>1</b>
1.1	Objectifs de la troisième phase	1
1.2	Rappel des termes et concepts	1
<b>2</b>	<b>DEFINITION DES POINTS DE GESTION</b>	<b>3</b>
2.1	Contexte géographique	4
<b>3</b>	<b>LES RESEAUX DE MESURE HYDROLOGIQUES ET METEOROLOGIQUES</b>	<b>6</b>
<b>3.1</b>	<b>Les stations hydrométriques</b>	<b>6</b>
3.1.1	Bassin versant du Petit Buëch	9
3.1.1.1	Sigouste - Montmaur Château Beylon	9
3.1.1.2	Petit Buëch - Veynes	10
3.1.1.3	Petit Buëch – La Bâtie-Monsaléon	12
3.1.1.4	Maraize - Saix	14
3.1.2	Bassin versant du Buëch	15
3.1.2.1	Buëch – Les Chambons à Serres	15
3.1.2.2	Buëch – Pont de Pierre à Serres	18
3.1.2.3	Buëch – Laragne	20
3.1.2.4	Buëch – Lagrand / Eyguians	22
3.1.2.5	Méouge – Pomet	24
3.1.3	Exploitation ultérieure des séries hydrométriques	25
3.1.3.1	Données exploitables	25
3.1.3.2	Procédure de mise en place d'un modèle hydrologique	25
3.1.3.2.1	Les influences	25
3.1.3.2.2	Procédure de calage des modèles hydrologiques	25
<b>3.2</b>	<b>Les stations météorologiques</b>	<b>28</b>
3.2.1	Les précipitations	31
3.2.2	L'Évapotranspiration (ETP)	32
3.2.3	Les Températures	33
3.2.4	La Neige	33
<b>4</b>	<b>ANALYSE METEOROLOGIQUE</b>	<b>34</b>
4.1	Quelques généralités	34
4.2	Analyse et prise en compte de la niviosité : mise en œuvre d'un module « neige »	35
4.3	Analyse des précipitations liquides et solides	40
4.3.1	Précipitations annuelles	40
4.3.2	Précipitations mensuelles	42

<b>5</b>	<b>LES ETIAGES SUR LE BASSIN VERSANT DU BUËCH</b>	<b>44</b>
5.1	Période d'étiage	44
5.2	Fréquence des mois les plus secs	46
<b>6</b>	<b>LES CAMPAGNES DE MESURE A L'ETIAGE</b>	<b>47</b>
6.1	Mesures ponctuelles	47
6.2	Campagne de mesures du conseil général des Hautes Alpes	53
6.3	Campagne R&D août 2011	55
<b>7</b>	<b>RECONSTITUTION DE L'HYDROLOGIE NON-INFLUENCEE</b>	<b>59</b>
7.1	Mise en place d'un modèle hydrologique global	59
7.2	Bassin versant du Petit Buëch	60
7.2.1	Stratégie de calcul	60
7.2.1.1	Sous-bassin 5 Petit Buëch à Veynes (284 km <sup>2</sup> )	60
7.2.1.2	Sous-bassin 7 Petit Buëch (314 km <sup>2</sup> )	61
7.2.2	Calage et performances des modèles hydrologiques	61
7.2.2.1	Petit Buëch	61
7.2.2.1.1	Calage à la station hydrométrique de Veynes (point 5)	61
7.2.2.2	Les influences	61
7.2.2.3	Synthèse des résultats pour le petit Buëch	61
7.2.2.4	Béoux	62
7.2.2.5	Maraize	63
7.2.2.6	Sigouste	65
7.2.3	Les résultats par station / Bassin versant du Petit Buëch	66
7.3	Bassin versant du Grand Buëch	69
7.3.1	Stratégie de calcul	69
7.3.2	Calage et performances des modèles hydrologiques	69
7.3.2.1	Calage à la station hydrométrique des Chambons	69
7.3.2.2	Cartographie du grand Buëch	70
7.3.2.3	Calage au point de gestion 12 - Chauranne	70
7.3.2.4	Résultats : débits caractéristiques	71
7.4	Buëch aval	73
7.4.1	Stratégie de calcul	73
7.4.2	Calage et performance des modèles hydrologiques	73
7.4.3	Sous-bassin 17 – Aiguebelle	75
7.4.3.1	Calage	75
7.4.3.2	Résultats : débits caractéristiques	76
7.4.4	Sous-bassin 19 – Blaisance	76
7.4.4.1	Calage	76
7.4.4.2	Résultats : débits caractéristiques	77
7.4.5	Les résultats pour les points de gestion 13 à 15	78
7.4.5.1	Station n°13	79
7.4.5.2	Station n°14	80

7.4.5.3	Station n°15	81
7.4.5.4	Station n°17	82
7.4.5.5	Station n°19	83
<b>7.5</b>	<b>Incertitudes</b>	<b>84</b>
7.5.1	Incertitudes sur les données mesurées :	84
7.5.2	Incertitudes sur les éléments de désinfluencement :	84
7.5.3	Incertitudes sur les modèles hydrologiques :	84
<b>8</b>	<b>ANNEXE N°1 : COMPORTEMENT DE LA STATION D'HYDROMETRIE DU BUËCH AUX CHAMBONS / CHRISTIAN PERRET</b>	<b>86</b>
<b>9</b>	<b>ANNEXE N°2 : SYNTHÈSE DES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES DISPONIBLES</b>	<b>87</b>
<b>10</b>	<b>ANNEXE N°3 : MODULE DE PRISE EN COMPTE DE LA NEIGE</b>	<b>88</b>
<b>11</b>	<b>ANNEXE N°4 : EXTRAPOLATION DES DONNÉES DE TEMPÉRATURES ET DE PLUIE</b>	<b>90</b>
<b>12</b>	<b>ANNEXE N°5 : ÉVALUATION DE L'ÉVAPORATION POTENTIELLE (D'APRÈS OUDIN)</b>	<b>91</b>
<b>13</b>	<b>ANNEXE N°6 : MODÈLE GR4J</b>	<b>94</b>

## **Table des illustrations :**

Tableau 2-1 : Points de calcul et points de gestion .....	3
Figure 2-2 : Courbe hypsométrique du bassin versant du Buëch.....	4
Figure 2-3 : Classes d'altitude sur le bassin versant du Buëch .....	5
Figure 3-1 : Localisation des stations hydrométriques sur le bassin du Buëch (stations actives et abandonnées) .....	7
Figure 3-2 Procédure de calage des paramètres du modèle hydrologique .....	26
Figure 3-3 : Procédure de calage des paramètres du modèle hydrologique (suite).....	27
Tableau 3-4 : Stations climatologiques sur le bassin versant du Buëch (périodes disponibles par type de donnée).....	29
Figure 3-5 : Localisation des stations climatologiques sur le bassin versant du Buëch.....	30
Figure 3-6 : Corrélation entre Pluie journalière de Laragne-Montéglin et Serres .....	31
Figure 3-7 : Corrélation entre Pluie jour de Laragne et Séderon .....	31
Figure 3-8 : Variation journalière de l'ETP pour les postes de Séderon, Ribiers, Laragne-Montéglin et Séderon .....	32
Figure 3-9 : ETP annuel à Laragne, Séderon et Lus-la-Croix Haute .....	32
Figure 4-1 : Cumul annuel des précipitations sur les Alpes.....	34
Image 4-2 : Dévoluy le 15/09/2010 (source Google Earth) .....	35
Image 4-3 : Dévoluy le 01/01/2003 (source Google Earth) .....	35
Figure 4-4 : Comparaison des Précipitations neigeuses calculées avec les équivalents en eau de fusion de Météo France.....	36
Figure 4-5 : Coefficient de niviosité / Epaisseur de neige annuel à 1262 m.....	36
Figure 4-6 : Evolution du stock neigeux à 1262 m .....	36
Figure 4-7 : Coefficient de niviosité / Epaisseur de neige annuel à 2500 m.....	37
Figure 4-8 : Cumul annuel des précipitations / Part des précipitations neigeuses à 2500 m .....	37
Figure 4-9 : Evolution du stock neigeux à 2500 m .....	37
Image 4-10 : Enneigement sur le Dévoluy le 11/05/2012.....	37
Figure 4-11 : Précipitations mensuelles liquides et solides (Laragne, Veynes, Lus-la-Croix-Haute et station fictive à 2500 m) .....	39
Figure 4-12 : Cumul annuel des précipitations sur bassin versant du Buëch.....	40
Figure 4-13 : Gradient pluviométrique sur le bassin versant du Buëch .....	40
Figure 4-14 : Cumul de précipitations à 1200 et 2500 m.....	41
Tableau 4-15 : Classement des cinq cumuls annuels les plus faibles depuis 1976 par station .....	41
Figure 4-16 : Cumul annuel au poste de Laragne-Montéglin .....	41
Figure 4-17 : Cumul annuel au poste de Veynes .....	42
Figure 4-18 : Cumul annuel au poste de Lus-la-Croix-Haute.....	42
Figure 4-19 : Précipitation mensuelle moyenne par station.....	42
Figure 4-20 : Précipitation mensuelle – poste de Laragne-Montéglin .....	43
Figure 4-21 : Évolution du cumul annuel à Laragne-Montéglin.....	43
Figure 4-22 : Précipitation mensuelle – poste de Veynes .....	43
Figure 4-23 : Évolution du cumul annuel – poste de Veynes .....	43
Figure 4-24 : Précipitation mensuelle – poste de Lus-la-Croix-Haute.....	43
Figure 4-25 : Évolution du cumul annuel – poste de Lus-la-Croix Haute .....	43
Figure 5-1 : Régime hydrologique Petit Buëch.....	45

Figure 5-2 : Régime hydrologique Méouge.....	45
Figure 5-3 : Régime hydrologique Buëch (Serres) .....	45
Figure 5-4 : Régime hydrologique Buëch (Laragne) .....	45
Figure 5-5 : Fréquence d'apparition des débits moyens mensuels les plus bas .....	46
Tableau 6-1 : Campagne d'étiage de septembre 1978 (source : Direction de la Production et du Transport – Service de la Production Hydraulique) .....	47
Figure 6-2 : Campagne de mesures des débits du 24/08 au 27/08/2010.....	52
Tableau 6-3 : Campagne d'étiage du 27/07/2004 .....	53
Figure 6-4 : Campagne de mesures des débits du 27/07/2004.....	54
Figure 6-5 : Extrait de l'hydrogramme sur le Buëch du 11/08/2011 .....	55
Figure 6-6 : Profil en long de la campagne d'étiage d'août 2011 .....	55
Figure 6-7 : Campagne de jaugeage août 2011 (amont) .....	57
Figure 6-8 : Campagne de jaugeage août 2011 (aval) .....	58
Figure 7-1 : Schéma de principe du modèle hydrologique mis en œuvre.....	59
Figure 7-2 : Point stratégique de référence n°5 .....	60
Figure 7-3 : Hydrogramme Béoux – Point n°8 - 2010.....	62
Figure 7-4 : Hydrogramme Maraize – Point n°9 – 1981 .....	64
Figure 7-5 : Hydrogramme Maraize – Point n°9 – 2010 .....	64
Tableau 7-6 : Analyse de l'étiage de 2005 sur le Petit Buëch .....	66
Figure 7-7 : Adoux entre les points n°5 et n°6 sur le Petit Buëch .....	67
Figure 7-8 : Adoux entre les points n°7 et l'exutoire sur le Petit Buëch .....	68
Tableau 7-9 : QMNA5 sur le Petit Buëch (points autres que les points de gestion.....	68
Figure 7-10 : Schéma de calcul sur le bassin versant du Grand Buëch .....	69
Figure 7-11 : Bassin du point de gestion n°3 et 12 .....	70
Figure 7-12 Hydrogramme comparatif entre débits mesurés et simulés .....	74
Figure 7-13 Exemple de courbe de tarissement comparée aux jaugeages (2006) .....	74
Figure 7-14 Calage du modèle sur l'Aiguebelle (m <sup>3</sup> /s).....	75
Figure 7-15 Calage du modèle de la Blaisance (m <sup>3</sup> /s).....	76
Figure 7-17 : Point stratégique de référence n°13 .....	79
Figure 7-18 : Point stratégique de référence n°14 .....	80
Figure 7-19 : Point stratégique de référence n°15 .....	81
Figure 7-20 : Point stratégique de référence n°17 .....	82
Figure 7-21 : Point stratégique de référence n°19 .....	83

# 1 Rappel des principaux objectifs de la phase 3 et définitions

## 1.1 Objectifs de la troisième phase

L'objectif de cette phase 3 est de **quantifier la ressource en eau superficielle disponible**. Cette quantification implique d'analyser le fonctionnement hydrologique et hydraulique du bassin versant du Buëch, pour en déterminer les débits naturels aux exutoires des sous bassins. Les débits naturels ou non influencés sont les débits en l'absence d'influences anthropiques (prélèvements, restitutions et régulation).

L'étude de l'hydrologie sur des secteurs de moyenne montagne s'avère bien souvent une tâche complexe, du fait des phénomènes hydrologiques (échanges entre les aquifères, infiltrations, stockage sous forme de neige et de glace, ruissellement variable selon les saisons,...) et d'autre part d'une forte variabilité spatiale et temporelle des données météorologiques (notamment des précipitations). Des modélisations hydrologiques ont été mises en place, afin de palier l'absence de suivis hydrologiques sur bon nombre de sous-bassins versants.

La modélisation reste une représentation schématique d'un phénomène physique dans le but de mieux l'étudier, ou d'analyser l'influence qu'il exerce. C'est une approximation du phénomène étudié, et comporte de fait des incertitudes inhérentes au processus.

La modélisation hydrologique permet :

- D'évaluer l'écart entre un étiage naturel reconstitué et l'étiage actuel influencé par les prélèvements et les rejets.
- Pour l'ensemble des points de référence, d'estimer une gamme de débits caractéristiques d'étiage : QMNA5, VCN10, VCN10 (5), VCN3, VCN3 (5), dixième du module, vingtième du module.

## 1.2 Rappel des termes et concepts

**Bassin versant (BV):** Territoire géographique pour lequel les eaux superficielles s'écoulent vers un même exutoire. *Il a été caractérisé en phase 1.*

**Exutoire :** Lieu d'un cours d'eau pour lequel on souhaite déterminer des débits.

**Prélèvements :** Volumes prélevés physiquement dans la ressource en eau naturelle du bassin versant. *Ils ont été inventoriés et estimés en phase 2.*

**Restitutions :** Volumes restitués après mobilisation et usage (AEP, Agricole, Industriel) sur le bassin versant. *Elles ont été inventoriées et estimées en phase 2.*

**Transferts :** Volumes importés ou exportés entre le bassin versant étudié et les bassins voisins. *Ils ont été inventoriés et estimés en phase 2.*

**Influence :** Bilan des prélèvements et restitution ou transferts. Influence = Apports – Prélèvements. Les apports sont issus de restitutions ou de transferts. Les prélèvements peuvent faire l'objet de transferts. Une influence négative caractérise des prélèvements supérieurs aux restitutions.

**Débits naturels (Q<sub>NI</sub>) :** Débits des cours d'eau ou des nappes souterraines en dehors de tout prélèvement ou intervention anthropique (barrages, influences). Les débits naturels sont rarement observables sur un bassin versant. Ils sont estimés à partir d'un modèle hydrologique, ou reconstitués à partir des chroniques de prélèvements ; *Ils ont été reconstitués en phase 3 à partir d'un modèle pluie débit (GR4J) sur la base des influences mensuelles déterminées en phase 2.*

**Débits influencés (Q<sub>I</sub>):** Débits des cours d'eau ou des nappes souterraines intégrant les influences. Le débit influencé correspond au débit observable sur un cours d'eau. *Ils ont été extrapolés en phase 3, à partir du croisement des débits naturels reconstitués et des influences estimées en phase 2 (prélèvements, restitutions transferts) selon l'équation suivante :  $Q_{Influencé} = Q_{naturel} + Apports - Prélèvements$ .*

### Module interannuel (Mod):

- **Définition :** Le module interannuel est la moyenne des modules annuels. Le module est le débit moyen pondéré par le nombre de jours du mois pour chaque mois, calculé sur une année hydrologique et sur l'ensemble de la période d'observation de la station, ou de la simulation réalisée. Ce débit donne une indication sur le volume annuel moyen écoulé et donc sur la disponibilité globale de la ressource. Il a valeur de référence, notamment dans le cadre de l'article L.232-5 du code rural (fixant le débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation, et la reproduction des espèces présentes au moins égal au 1/10 du module).
- **Calcul :** Le module annuel =  $Q_{MA} = (Q_{MM,J} \times 31 + Q_{M,F} \times 29 + Q_{M,M} \times 30, \dots) / 365$ .

**QMM :** Débit mensuel moyen. *Calculé sur les débits restitués par le modèle hydrologique utilisé en phase 3.*

### QMNA :

- **Définition :** « Le débit de référence est défini par le décret nomenclature n°93-743 comme étant le débit moyen mensuel sec de récurrence 5 ans (QMNA 5). Il permet aux services instructeurs d'identifier le régime qui s'applique et d'apprécier les incidences du projet. Le QMNA 5 est une notion statistique correspondant au débit moyen mensuel minimum ayant une chance sur cinq de ne pas être dépassé une année donnée, ou encore n'étant pas dépassé en moyenne vingt fois par siècle. Il est communément appelé débit d'étiage quinquennal ».
- **Calculs actuels :** Les QMNA5 sont calculés à partir des mesures de débit effectuées par la DREAL. Deux types de valeurs peuvent être prises en compte :
  - Les mesures en continu aux stations de la DREAL, qui permettent une bonne estimation des QMNA5 – ajustement généralement à partir d'une loi de Galton (ou loi log-normale). Les paramètres sont déterminés selon la méthode du maximum de vraisemblance. Le test du Khi 2 est ensuite appliqué pour vérifier la qualité de l'ajustement avec un seuil de signification donné (généralement on utilise un seuil de signification à 10 %).
  - Les valeurs mesurées par des jaugeages ponctuels en d'autres lieux. Ils permettent d'évaluer le QMNA5 et le module par des corrélations avec les stations hydrométriques sur de nombreux points supplémentaires (approche des jaugeages épisodiques par exemple sous réserve de manipuler des débits naturalisés ou faiblement influencés).
- **QMM :** Débit mensuel moyen. Ce débit est la base du calcul des modules, et des débits de sécheresse quinquennale sèche.
- **VCN<sub>x</sub> (A) :** Débits de non dépassement sur x jours consécutifs. « A » est la fréquence en années d'apparition de la valeur

**Quinquennale (Q<sub>5</sub>) :** en terme de probabilité, la valeur quinquennale a, chaque année, une probabilité 1/5 d'être dépassée ou sous-passée. On appelle par convention étiage quinquennal, un étiage ayant une probabilité d'apparaître une fois tous les 5 ans.

**VCN<sub>n</sub> :** Débit moyen calculé sur n jours consécutifs. E.g. : VCN3(5) est le débit minimum sur 3 jours consécutifs susceptible d'apparaître tous les 5 ans.

**Débit médian (Q<sub>50</sub>) :** Débit médian sur l'ensemble des mesures disponibles, ou débits calculés.

*Nota : Dans la suite du document, nous serons amenés à comparer des débits journaliers et des débits mensuels. Il est opportun de rappeler que les débits mensuels ont une chance sur cinq de ne pas dépasser le débit mensuel quinquennal sec chaque année, mais que les débits journaliers ou observés à un instant t peuvent sous-passer cette valeur régulièrement.*

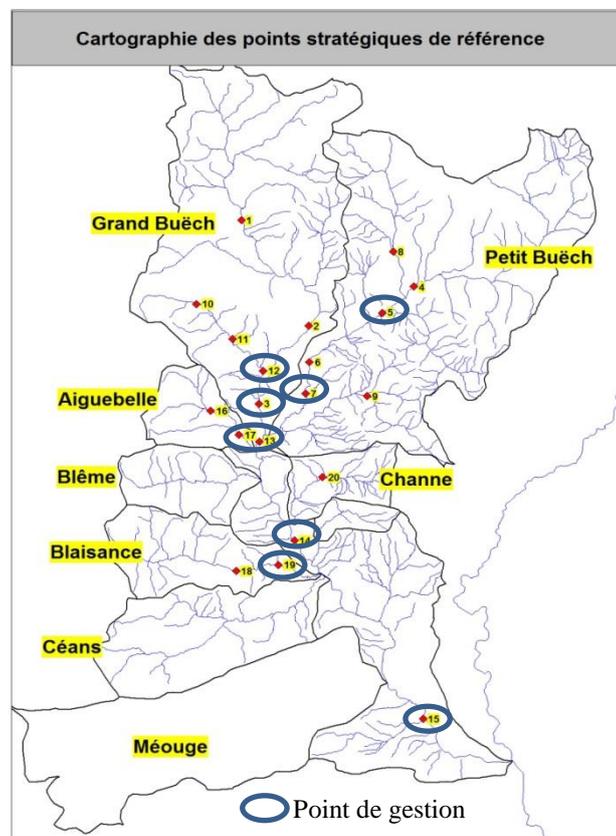
## 2 Définition des points de gestion

Dans le cadre du SDAGE, certains points de mesure existants ont été identifiés en point nodal de référence, et pourront servir aux suivis des étiages. Dans le cadre des études volumes prélevables, « le prestataire a en charge de proposer d'autres points stratégiques de référence, qui doivent assurer à l'échelle du sous bassin superficiel, un suivi des objectifs de bon état et permettre le pilotage des actions de restauration de l'équilibre quantitatif ». En pratique les points stratégiques de référence serviront de support pour le suivi des objectifs de DOE (Débits d'Objectifs d'Étiage, qui seront exploités comme des débits de planification). On parlera par la suite de points de gestion pour les points de calcul des débits caractéristiques.

Sur le bassin versant du Buëch, les stations des Chambons (sur le Buëch) et de Pomet (sur la Méouge) sont identifiées en point nodal dans le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE). Il s'agit de deux stations hydrométriques actuellement gérées par EDF. Lors de la deuxième phase de l'étude, les principales zones de prélèvements ont été ciblées, ont ainsi permis de définir les points stratégiques de référence complémentaires. Les points de calcul et de gestion ci-après sont retenus.

Point de calcul	Points de gestion	SDAGE	Rivière	Sous bassin versant	Localisation
Station 3	Oui	Non	Grand Buëch	Grand Buëch	Aspremont
Station 5	Oui	Non	Petit Buëch	Petit Buëch	amont confluence avec la Béoix
Station 7	Oui	Non	Petit Buëch	Petit Buëch	pont de Chabestan
Station 12	Oui	Non	Chauranne	Grand Buëch	pont du Thioux
Station 13	Oui	Oui	Buëch	Buëch	Les Chambons / SERRES
Station 14	Oui	Non	Buëch	Buëch	aval barrage St Sauveur
Station 15	Oui	Oui	Buëch	Buëch	Ribiers
Station 17	Oui	Non	Aiguebelle	Buëch	Sigottier
Station 19	Oui	Non	Blaisance	Buëch	aval Trescléoux

Tableau 2-1 : Points de calcul et points de gestion



## 2.1 Contexte géographique

Le bassin versant du Buëch est dominé par les massifs du Dévoluy et du Bochaîne, avec des sommets culminants à plus de 2500 m. Ces hauts sommets sont notamment présents sur l'amont du bassin versant, et conditionnent fortement les régimes hydrologiques des bassins du Petit et du Grand Buëch (stock neigeux en altitude / gradient pluviométrique).

Les sous-bassins versants du Petit Buëch et du Grand Buëch ont des temps de concentration tout à fait similaires avec un peu plus de 0.5 jours. Le temps de concentration<sup>1</sup> du bassin versant du Buëch (en totalité) est de l'ordre 1.5 jours.

Sous bassin versant	Superficie (km <sup>2</sup> )	Plus long chemin hydraulique (km)	Alt. max (m)	Alt. min (m)	Temps de concentration (h)	Temps de réponse (h)
Petit Buëch	388,1	44,25	2 650	650	14,0	8,4
Grand Buëch	335,6	41,63	2 450	650	13,1	7,9
Buëch (total)	1490	85,2	2 650	450	35,7	21,4

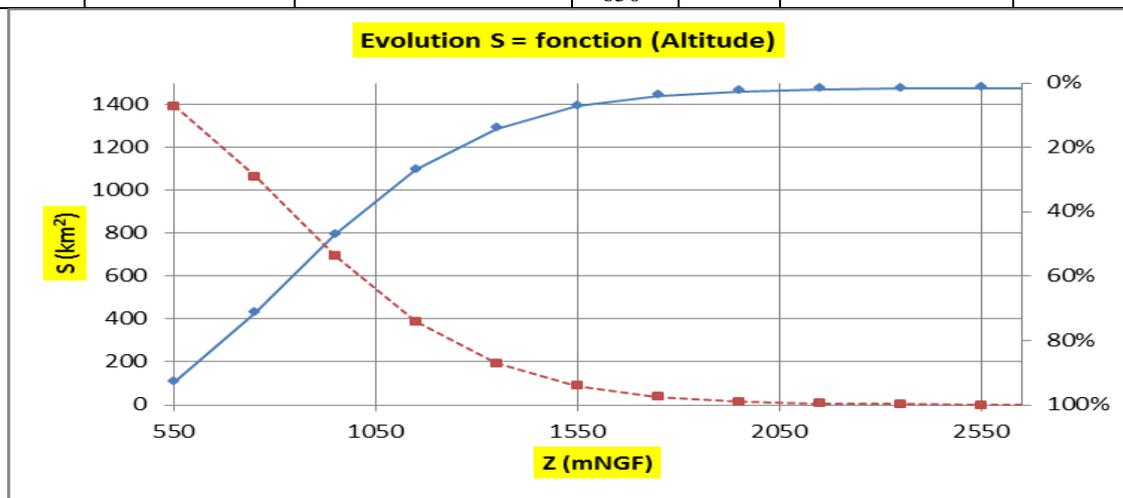


Figure 2-2 : Courbe hypsométrique du bassin versant du Buëch

<sup>1</sup> Temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée hydrologiquement de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. Le temps de réponse est l'intervalle de temps qui sépare le centre de gravité de la pluie nette de la pointe de crue ou parfois du centre de gravité de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface.

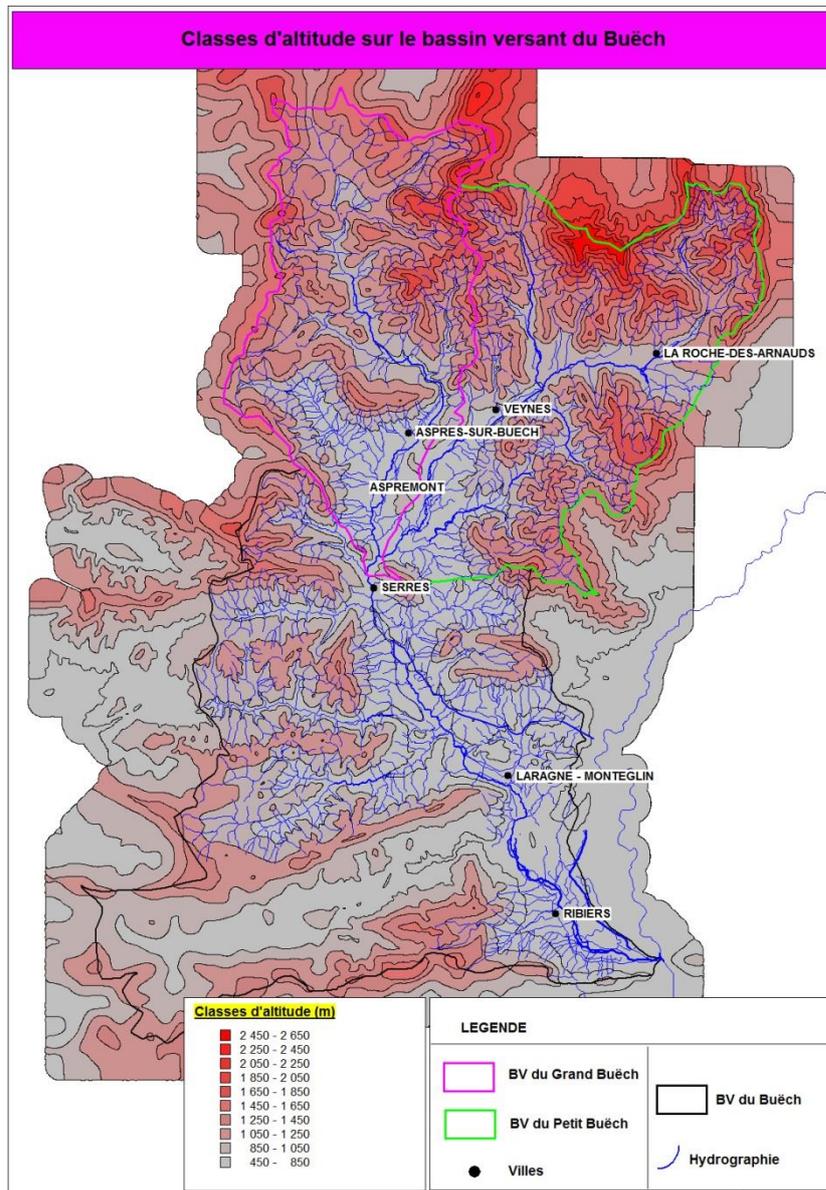


Figure 2-3 : Classes d'altitude sur le bassin versant du Buëch

### 3 Les réseaux de mesure hydrologiques et météorologiques

Ce chapitre présente un état des lieux des moyens de mesures de débits sur le bassin.

Les objectifs sont d'analyser les possibilités d'exploitation des séries hydrométriques pour les débits d'étiage, afin de savoir si ces chroniques sont exploitables dans le cadre du calage d'une modélisation hydrologique, et d'autre part la représentativité spatiale et temporelle des séries météorologiques.

#### 3.1 Les stations hydrométriques

Les stations hydrométriques, sont des stations de mesure automatiques des débits dans les cours d'eau.

**Neuf stations hydrométriques** ont pu être en exploitation sur le bassin versant du Buëch. **Deux de ces stations sont encore en fonctionnement** sous la responsabilité d'EDF. **Trois stations complémentaires** ont été mises en place récemment par le Syndicat Mixte de Gestion du Buëch (SMIGIBA). Les différents suivis hydrométriques effectués ont montré les difficultés d'exploitation. En particulier, le charriage importants en sédiments transforme les radier et fausse les mesures d'étiage basés sur une hauteur d'eau. Il y a donc nécessité de réaliser de nombreux débits de contrôle pour disposer d'une courbe de tarage fiable.

Quelques éléments de contexte complémentaires :

- La plupart des chroniques disponibles sont des débits sous influence des prélèvements (notamment en période estivale avec les irrigations).
- Les débits ciblés par EDF ne sont pas les débits d'étiage, recherchant plutôt à évaluer les apports en cas de crue, pour des raisons de sûreté des aménagements à l'aval. Les stations n'ont donc pas vocation à retranscrire correctement les débits d'étiage.
- Des actions anthropiques, création de petits barrages pour la baignade, altèrent la qualité des enregistrements limnimétriques horaires (la hauteur d'eau retranscrite est faussée et amène à une mauvaise extrapolation du débit). L'incidence de ces actions est impossible à apprécier à partir des débits moyens journaliers. Cette information a été signalée pour les stations des Chambons et de la Méouge (source : EDF).

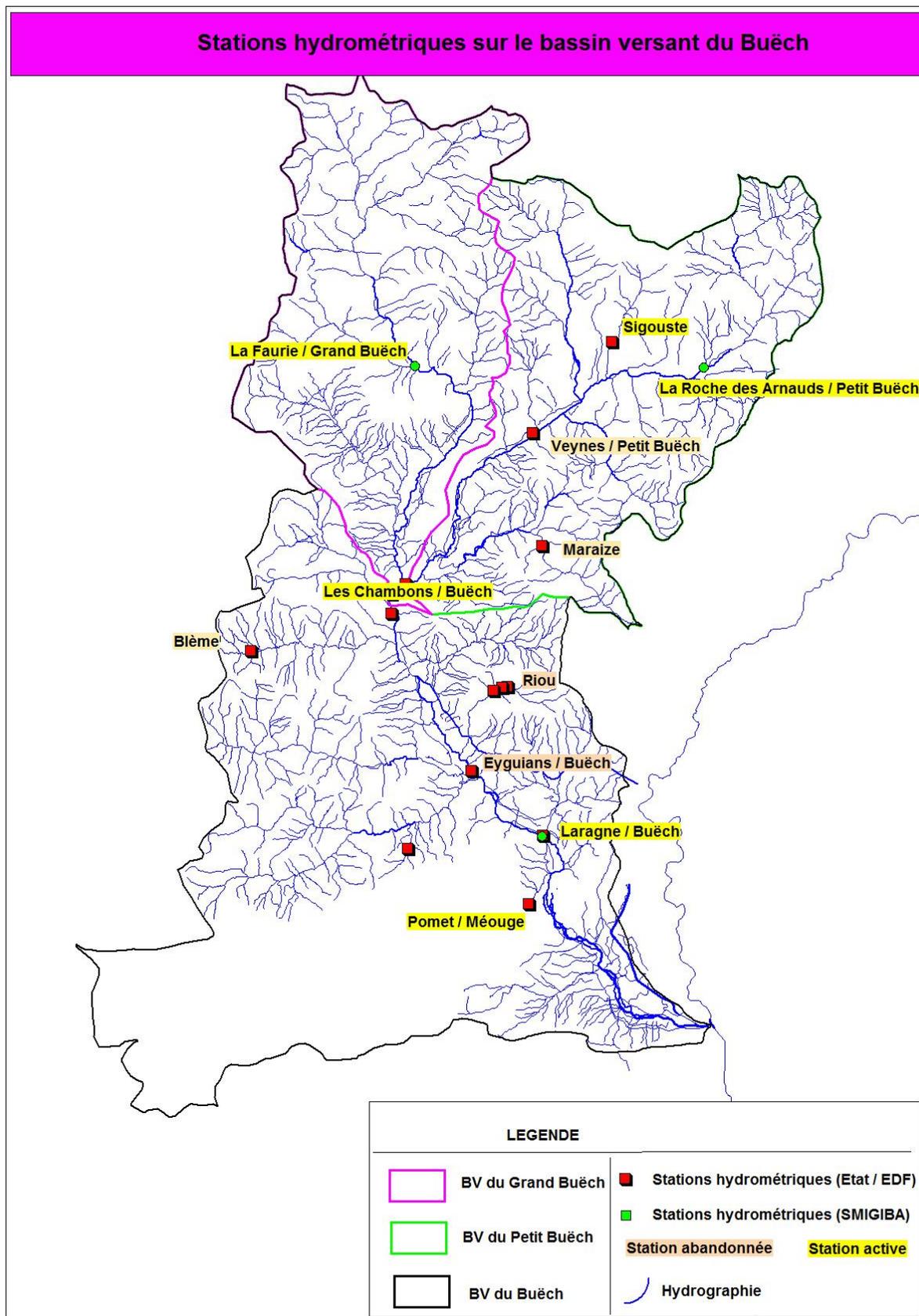


Figure 3-1 : Localisation des stations hydrométriques sur le bassin du Buëch (stations actives et abandonnées)

Producteur	Code station	Nom station	Cours d'eau	Superficie BV (km <sup>2</sup> )	Période	Date_Début	Date_Fin	Donnée mesurée
DREAL PACA	X1025810	Montmaur Château Beylon	Sigouste	16.3	[1979 – 1986]	01/09/1979	01/07/1986	Débit influencé
DREAL PACA	X1025020	Veynes	Petit Buëch	318	[1972 – 1994]	01/10/1972	01/01/1995	Débit influencé
DREAL PACA	X1025010	Bâtie-Montsaléon	Petit Buëch	401	[1971 – 1978]	01/10/1971	01/07/1978	Débit influencé
DREAL PACA	X1027010	Saix	Maraize	16	[1968 – 1980]	01/09/1968	01/12/1980	Débit influencé
EDF	X1034020	Les Chambons à Serres	Buëch	723	[1964 – en cours]	01/09/1964	En fonctionnement	Débit influencé
DREAL PACA	X1034010	Pont de Pierre à Serres	Buëch	771	[1906 – 1990]	01/01/1906	01/01/1990	Débit influencé
	X1044010	Le Buech à Lagrand	Buëch	974	[1970 – 1978]	01/07/1970	01/07/1978	Débit influencé
DREAL PACA	X1044020	Le Buech à Laragne-Montéglin	Buëch	1100	[1977 – 1991]	01/08/1977	01/01/1991	Débit influencé
EDF		Pomet	Méouge	221	[1982 – en cours]	01/01/1982	En fonctionnement	Débit influencé

*NB: trois stations automatiques de mesure des débits sont également en fonctionnement actuellement et gérées par le SMIGIBA. Ces stations sont en cours de calibration, et n'ont donc pas été exploités dans le cadre de la présente étude :*

- sur le Petit Buëch à la Roche des Arnauds,
- sur le Grand Buëch à la Faurie,
- sur le Buëch aval à Laragne.

Les données présentées et exploitées par la suite sont des débits moyens journaliers. Une analyse est réalisée afin de juger de la capacité des stations à restituer correctement les débits, notamment à l'étiage une analyse par station est proposée à partir :

- Des éléments de l'exploitant sur la validité des données (DREAL PACA ou EDF) basés notamment sur les informations accessibles sur la banque Hydro,

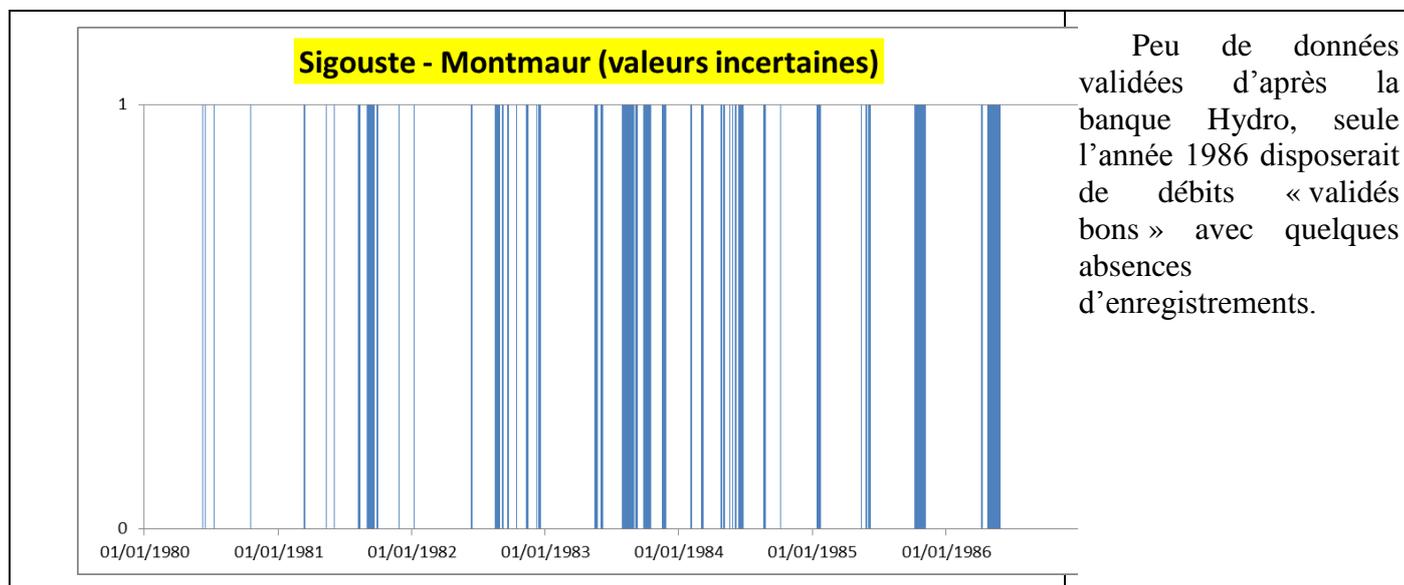
Légende :	
Débits :	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-color: white; margin-right: 5px;"></span> inconnus dans HYDRO</p> <p><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></span> provisoires</p> <p><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; margin-right: 5px;"></span> invalidés</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></span> validés douteux</p> <p><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></span> validés bons</p> </div> </div>

- D'une comparaison des débits journaliers moyens avec les débits de contrôle (éléments mobilisés dans le cadre d'investigations dans les archives de la DREAL PACA et des suivis d'étiage de l'ONEMA). Rappelons que cette analyse repose sur la comparaison des débits moyennés sur la journée et de mesures ponctuelles, pouvant expliquer des écarts. Il est en effet fort probable que l'impact des prélèvements anthropiques et météorologiques en été, soient variables au cours de la journée. Faute de disposer d'autres éléments pour les stations abandonnées, nous avons conservé ce critère, considérant qu'il restait le meilleur indicateur mobilisable dans le cadre de la présente étude. Si l'écart entre le débit de contrôle (mesures instantanée) et le débit moyen journalier est faible, on considèrera par la suite que la station mesurait correctement les débits.
- D'analyses complémentaires réalisées par les exploitants (une note a été réalisée par EDF pour l'étude EVP suite à différents échanges avec la DTG).

### 3.1.1 Bassin versant du Petit Buëch

#### 3.1.1.1 Sigouste - Montmaur Château Beylon

Année	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
Débits		XXX						XXX														
Hauteurs				XXX	XXX																	

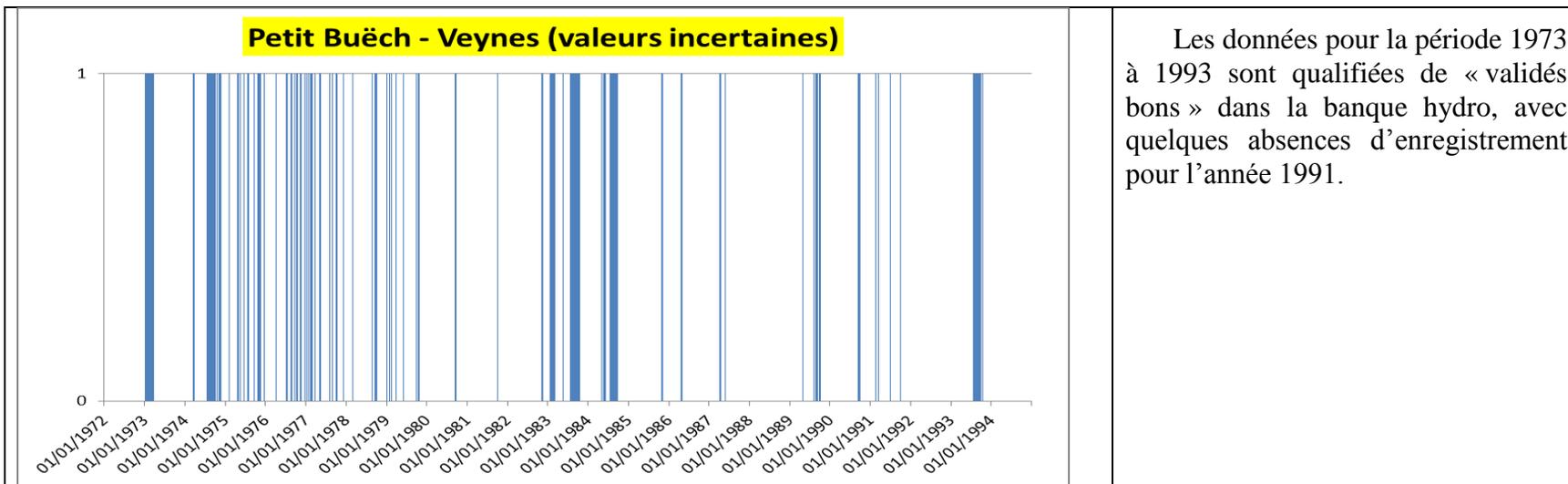


Veynes

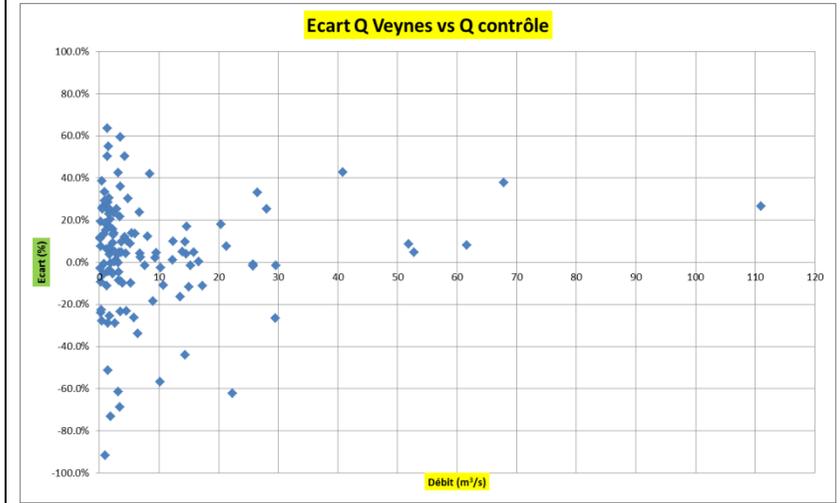
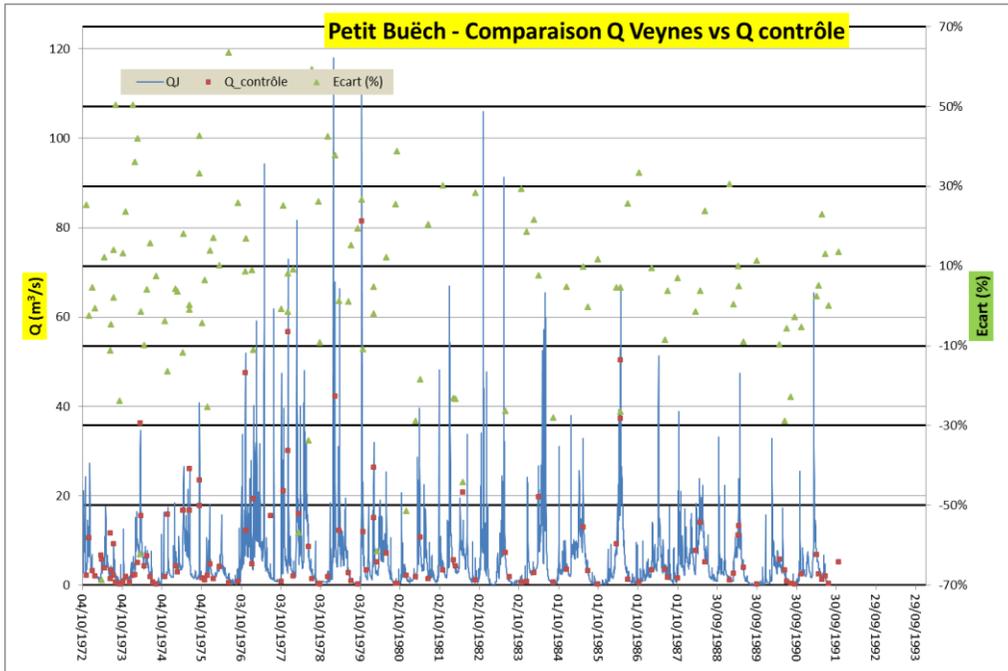
Année	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Débits		XXX																			XXX
Hauteurs			XXX						XXX					XXX			XXX		XXX		XXX

Année	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Débits			XXX																		
Hauteurs																					



Débits de contrôle vs débits moyens journaliers enregistrés



- Les écarts constatés entre les débits journaliers et les mesures de contrôle à disposition, sont globalement inférieurs à 40 %, et **dans 58.1 % (124 valeurs de contrôle) des cas inférieurs à 20 %**.
- 24 mesures de contrôle pour un débit inférieur à 1 m<sup>3</sup>/s ont été réalisées. Dans **46 % des cas**, les écarts entre le débit restitué et la mesure sont inférieurs à 20 %. Le plus bas débit mesuré est de 142 l/s le 27/09/1989.

Qualité

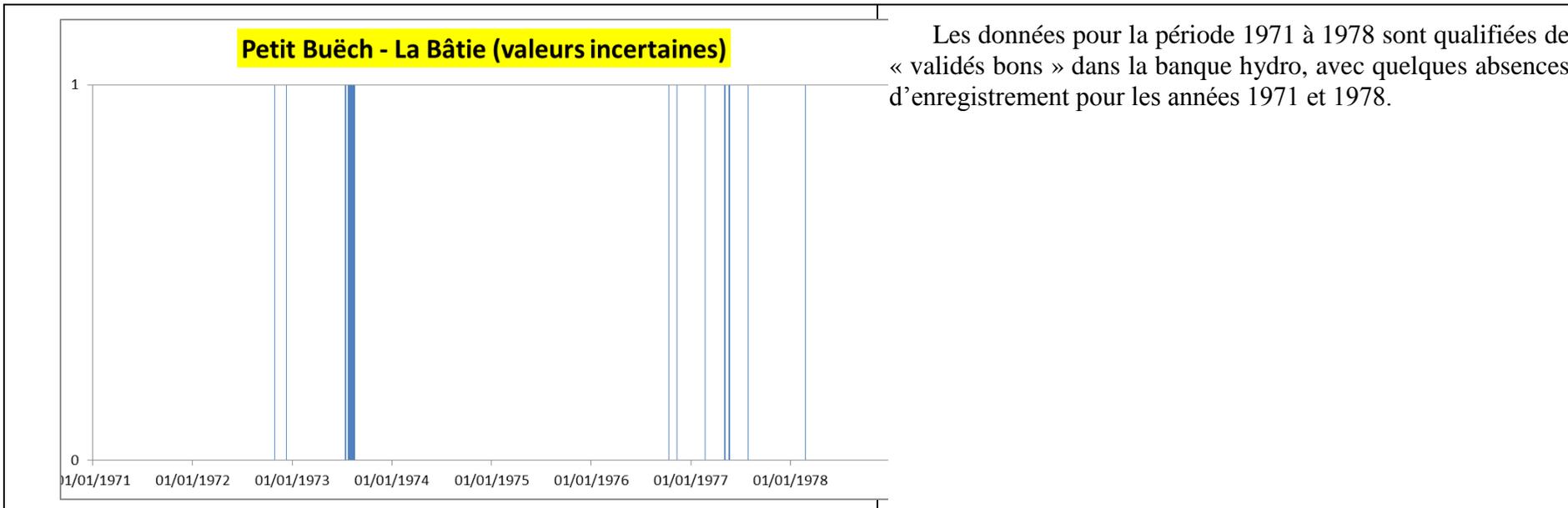
- **Chroniques moyennement fiable à l'été.**
- **Chroniques moyennement fiable sur le cycle annuel** (notamment en fin d'exploitation – les contrôles sont passés de plus 12 mesures de contrôle par an à moins de quatre en fin d'exploitation).

Nature

- **Débits influencés** (notamment en période d'été).

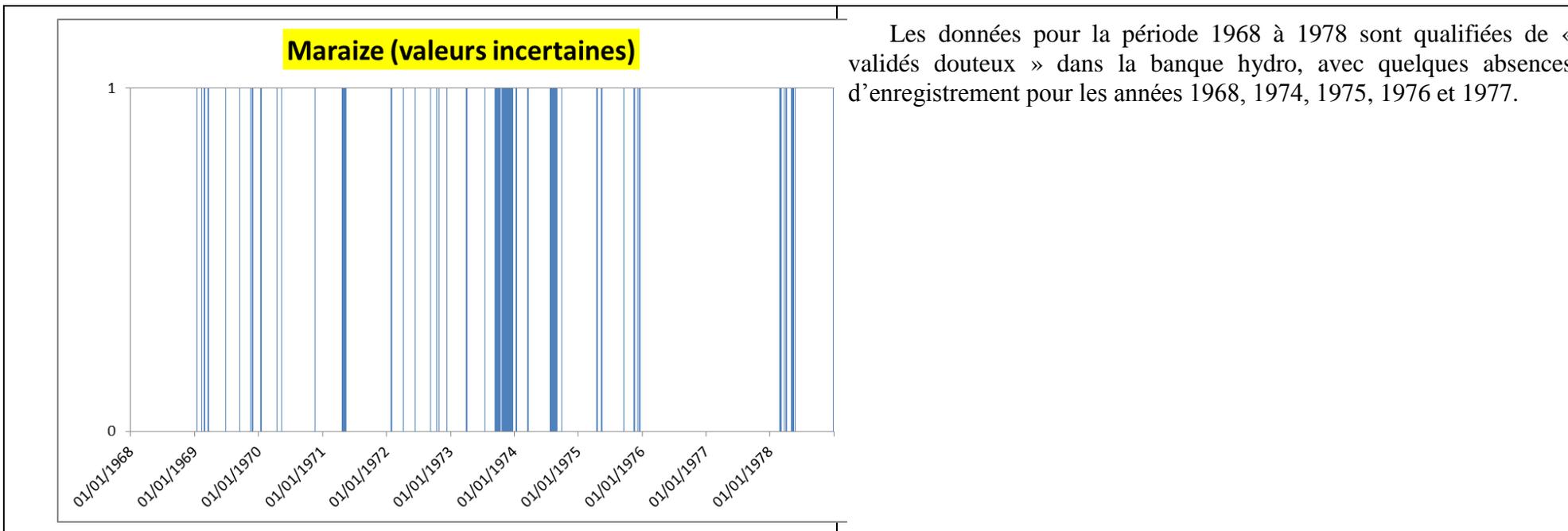
**Bâtie-Monsaléon**

Année	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	
Débits		XXX							XXX													
Hauteurs									XXX													



Débits de contrôle vs débits moyens journaliers enregistrés		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les écarts constatés entre les débits journaliers et les mesures de contrôle à disposition, sont globalement inférieurs à 40 %, et <b>dans 84.5 % (58 valeurs de contrôle) des cas inférieurs à 20 %</b>.</li> <li>– Peu de mesures de contrôle ont été réalisés à bas débit (6 mesures pour des débits inférieurs à 1 m<sup>3</sup>/s), avec des écarts importants après l'année 1972. Le débit contrôlé le plus bas est de 445 l/s le 13/08/1974.</li> </ul>	
Qualité	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Chroniques probablement peu fiables à l'étiage (peu de mesures de contrôle à bas débit).</b></li> </ul>	
Nature	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Débits influencés</b> (notamment en période d'étiage).</li> </ul>	

Année	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Débits		XXX						XXX	XXX	XXX	XXX										
Hauteurs		XXX		XXX				XXX	XXX	XXX											

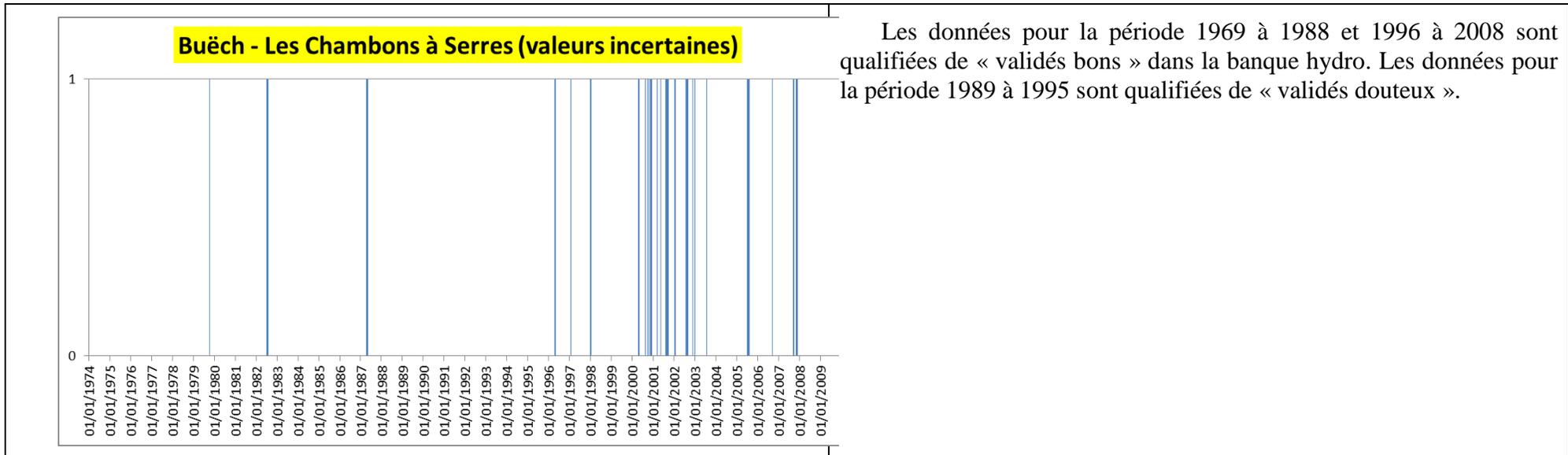


### 3.1.2 Bassin versant du Buëch

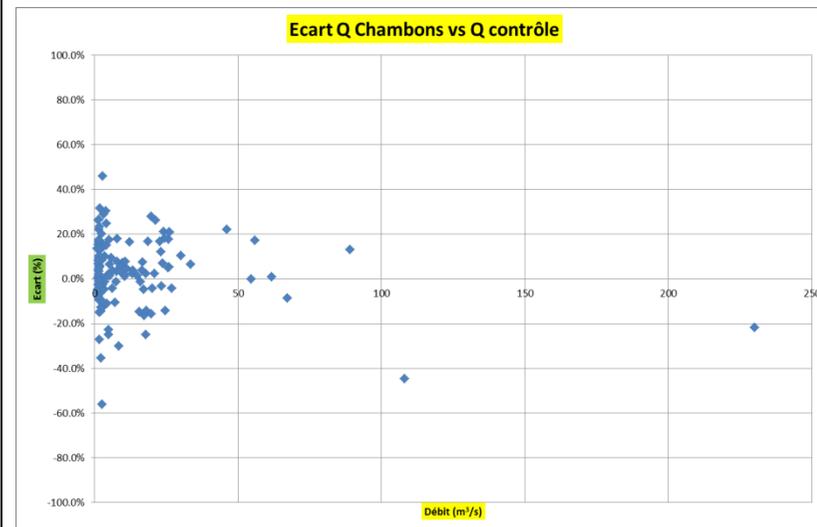
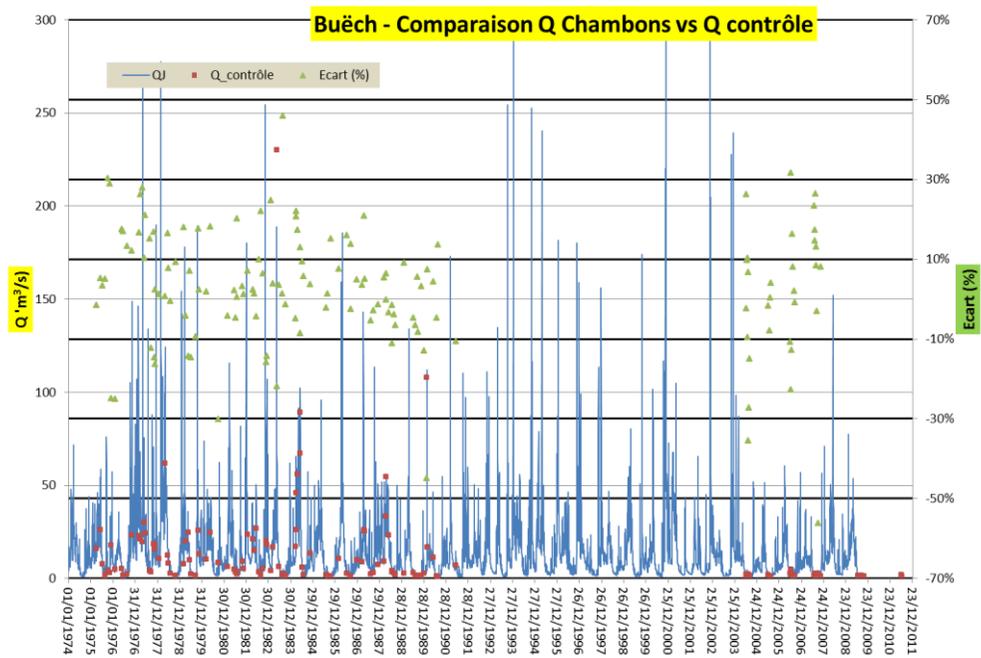
#### 3.1.2.1 Buëch – Les Chambons à Serres

Année	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988		
Débits																							
Hauteurs																							

Année	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
Débits																						XXX
Hauteurs																						



Débits de contrôle vs débits moyens journaliers enregistrés



- Les écarts constatés entre les débits journaliers et les mesures de contrôle à disposition sont globalement inférieurs à 40 %, et dans **81.8 % des cas (137 valeurs de contrôle) inférieurs à 20 %**.
- 41 mesures de contrôle pour un débit inférieur à 2 m<sup>3</sup>/s ont été mobilisées. Dans 85 % des cas, les écarts entre le débit restitué et la mesure sont inférieurs à 20 %. Le plus bas débit mesuré est de 838 l/s le 22/08/1990.

Complément EDF (cf. annexe n°1) : suite à des échanges avec Christian PERRET d'EDF, ce dernier a proposé de réaliser une analyse rétrospective sur le comportement de la station hydrométrique aux Chambons. Les principales conclusions de cette note sont rappelées ci-dessous :

- « La station d'hydrométrie du Buech aux Chambons est gérée par EDF DTG pour le compte de l'Unité d'exploitation Méditerranée principalement pour la surveillance et l'anticipation des crues sur les aménagements du Buëch et de la Moyenne et Basse Durance.
- Lors de la crue de décembre 1996, une brèche supplémentaire s'est ouverte sur la rive gauche du parement. On suppose qu'il s'agissait d'un colmatage d'une ancienne ouverture vannée qui ne faisait pas partie du génie civil initial. Cette brèche oriente aujourd'hui l'écoulement de manière préférentielle, ce qui renvoie le contrôle à bas débit à l'aval de l'ouvrage au niveau d'un banc de sable. Il va de soi que cette situation rend beaucoup plus difficile la détermination des bas débits d'autant plus que l'été, cette zone constitue un lieu particulièrement apprécié par les baigneurs qui modifient le niveau en constituant des barrages de cailloux. On constate évidemment que l'événement de décembre 1996 modifie complètement la relation hauteur débit.

	<p>- La période depuis 1996 a été scindée en deux pour tenir compte de l'instabilité de la relation hauteur débit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• On montre ainsi que la période initiale de la gestion de la station reste la plus favorable puisque les <b>données produites de 1964 à 1996</b> sont estimées avec une <b>incertitude inférieure à 10%</b>.</li> <li>• On peut voir que de <b>1997 à 2003</b>, même au prix de 8 jaugeages annuels, <b>on ne parvient pas à obtenir une incertitude correcte. A partir de 2004, la situation s'est améliorée</b> mais reste cependant non satisfaisante. Dans les deux cas, le renforcement du nombre de jaugeages permettrait de diminuer l'incertitude. On peut penser qu'avec une quinzaine de jaugeages, l'incertitude pourrait être ramenée à ce qu'elle était avant la crue de 1996.</li> <li>• <b>Pour les périodes d'été</b> (juillet à septembre), le constat est un peu similaire, avec une incertitude :             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ proche de <b>10 % de 1983 à 1988, 20 % en 1989</b></li> <li>○ proche de <b>50 % en 1990</b>,</li> <li>○ comprise entre <b>10 et 20 % de 1991 à 1996</b>.</li> <li>○ <b>supérieure à 20 % de 1997 à 2011</b>(avec quelques valeurs au-dessus de 30 %).</li> </ul> </li> </ul>	<p>Le graphique illustre l'évolution de l'incertitude (IC %) sur la station Buech aux Chambons de 1983 à 2011. L'axe vertical représente l'IC % (de 0 à 80) et l'axe horizontal les dates (années). Les données sont regroupées par période mensuelle : Janvier à Mars (noir), Avril à Juin (rouge), Juillet à Septembre (vert), et Octobre à Décembre (bleu). On observe une forte variabilité, avec un pic notable en 1990 (IC % ~50) et une tendance à l'augmentation de l'incertitude après 1996, atteignant jusqu'à 30% ou plus dans certaines années.</p>
<p>Qualité</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Chroniques fiables à l'été avant 1996</b> (avec quelques exceptions pour les années 1989 et 1990).</li> <li>- <b>Chroniques moyennement à peu fiable à l'été après 1996.</b></li> </ul>	
<p>Nature</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Débits influencés (notamment en période d'été).</b></li> </ul> <p><i>Nota : rappelons que cette station a été jusqu'en 2000 sous l'influence directe du canal de Guire. Le prélèvement avant 2000 était réalisé dans le Petit Buëch, tandis que les restitutions de l'irrigation gravitaire s'effectuaient en aval. Le débit autorisé était de 300 l/s d'avril à septembre. Une seule mesure de contrôle a pu être retrouvée, débit prélevé de 346 l/s en septembre 1977.</i></p>	

### 3.1.2.2 Buëch – Pont de Pierre à Serres

Année	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925		
Débits																							
Hauteurs																							

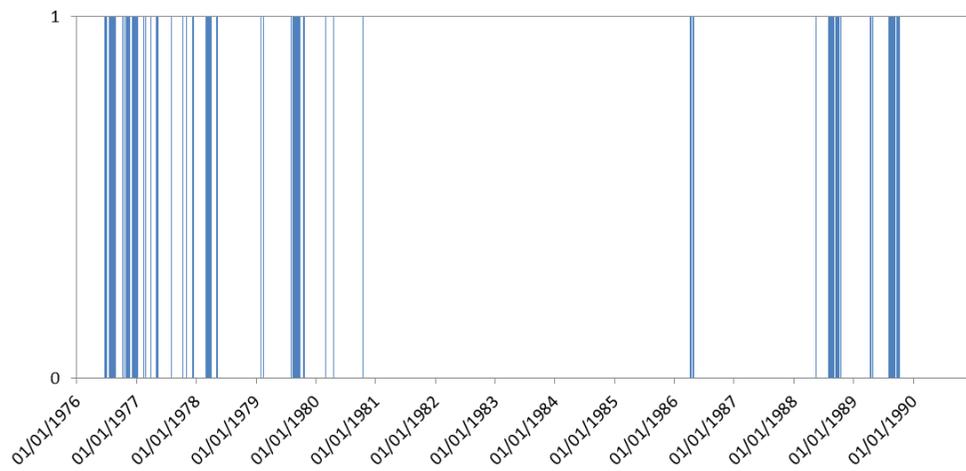
Année	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946		
Débits																							
Hauteurs																							

Année	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967		
Débits										XXX					XXX								
Hauteurs																							

Année	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	
Débits																			XXX			
Hauteurs																			XXX			

Année	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
Débits		XXX																				
Hauteurs																						

**Buëch - Pont de Pierre à Serres (valeurs incertaines)**

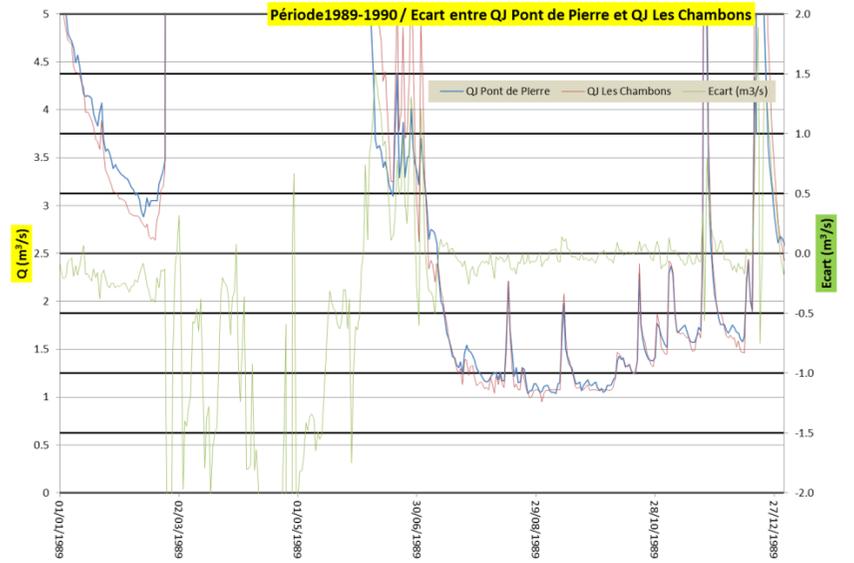


Les données pour l'ensemble de la période sont qualifiées de « validés douteux » ou « invalidés ». Aucun autre élément d'appréciation sur le fonctionnement de la station n'a pu être mobilisé. Il est donc en l'état difficile de porter un avis sur l'exploitabilité des données.

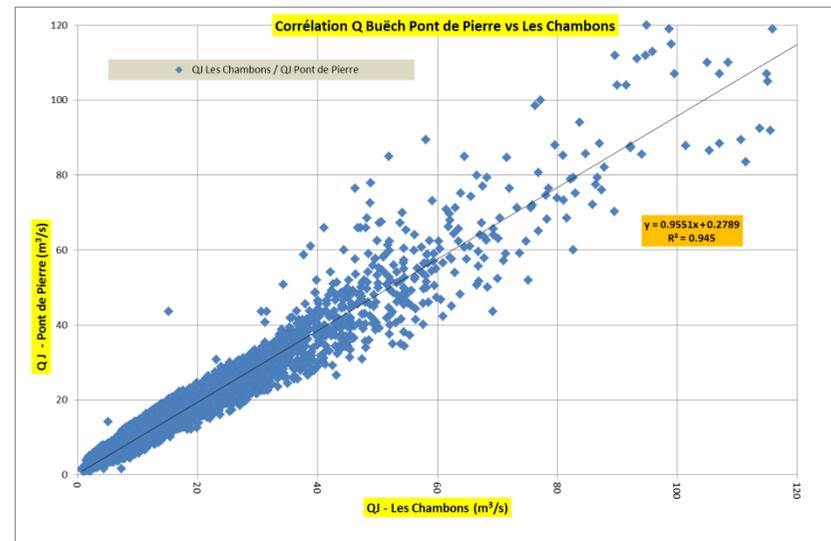
*Nota : Cette station a été exploitée dans plusieurs études pour calculer le QMNA5, notamment l'étude SERET.*

Une bonne corrélation d'ensemble est constatée entre la station de Pont de Pierre et celle des Chambons sur la période de recouvrement (1975 à 1990).

**Période 1989-1990 / Ecart entre QJ Pont de Pierre et QJ Les Chambons**



**Corrélation Q Buëch Pont de Pierre vs Les Chambons**



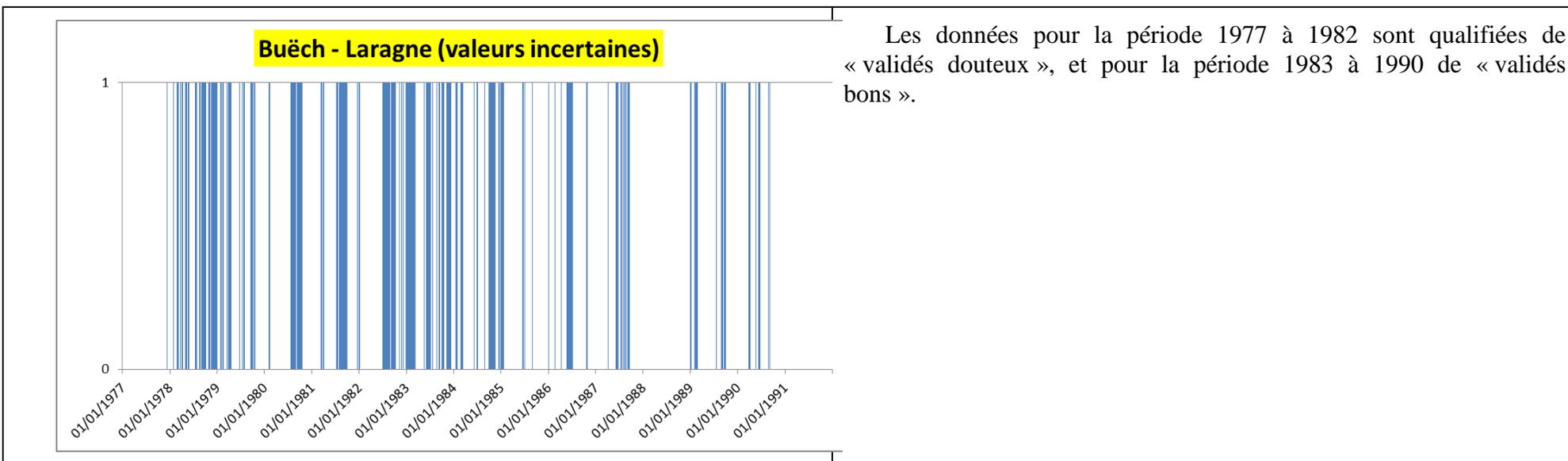
Une comparaison sur l'année 1989 montre des écarts maximums entre les débits de Pont de Pierre et les Chambons sur la période d'étiage de 200 l/s.

### 3.1.2.3 Buëch - Laragne

Année	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Débits									XXX									XXX			
Hauteurs		XXX									XXX			XXX	XXX	XXX		XXX			

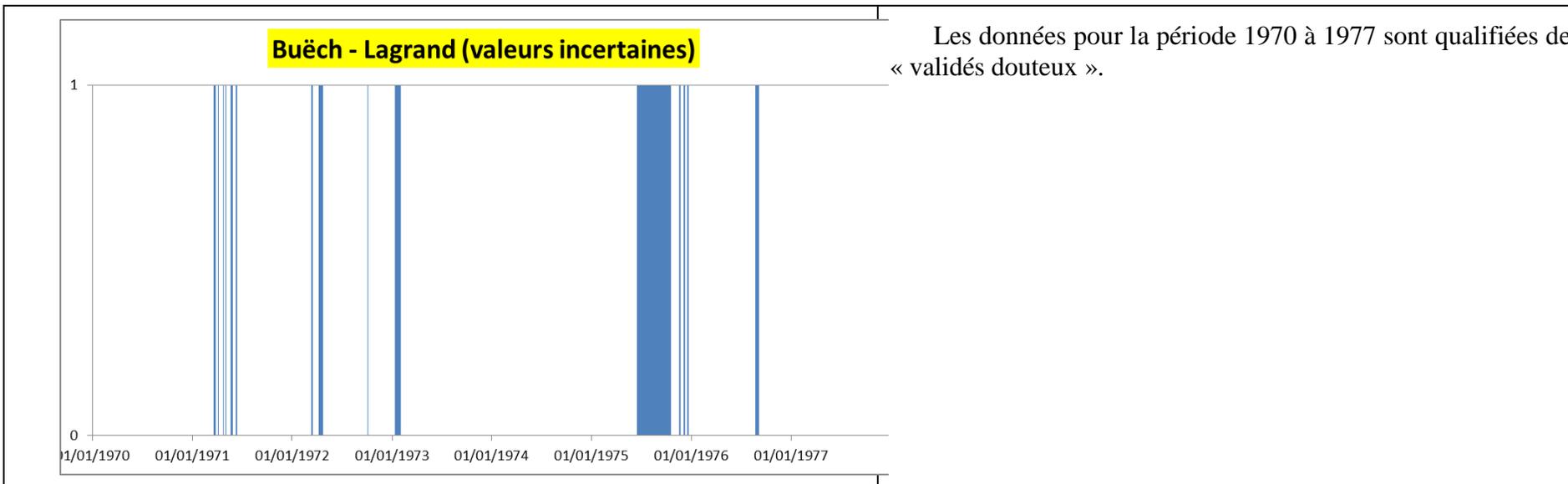
Année	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Débits		XXX																			
Hauteurs																					



Débits de contrôle vs débits moyens journaliers enregistrés		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les écarts constatés entre les débits journaliers et les mesures de contrôle à disposition sont importants, notamment pour certaines mesures à l'étiage. <b>Dans 52.6 % des cas (38 valeurs de contrôle), les écarts sont inférieurs à 20 %.</b></li> <li>– 18 mesures de contrôle pour un débit inférieur à 3 m<sup>3</sup>/s ont été mobilisées. <b>Dans 50 % des cas, les écarts entre le débit restitué et la mesure sont inférieurs à 20 %.</b> Le plus bas débit mesuré est de 197 l/s le 12/09/1990.</li> <li>– A noter que des <b>débits très faibles</b> ont été mesurés en <b>1990</b>, à savoir 318 l/s le 09/08/1990 et <b>197 l/s le 12/09/1990.</b></li> </ul>	
Qualité	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Chroniques peu fiables à l'étiage.</b></li> </ul>	
Nature	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Débits influencés</b> (notamment en période d'étiage).</li> </ul>	

Lagrand / Eyguians

Année	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Débits		XXX							XXX												
Hauteurs			XXX	XXX	XXX		XXX														



<p>Débits de contrôle vs débits moyens journaliers enregistrés</p>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les écarts constatés entre les débits journaliers et les mesures de contrôle à disposition sont globalement inférieurs à 40 %, et dans <b>64.9 % des cas (57 valeurs de contrôle) inférieurs à 20 %</b>.</li> <li>- 10 mesures de contrôle pour un débit inférieur à 3 m<sup>3</sup>/s ont été mobilisées. Dans 70 % des cas, les écarts entre le débit restitué et la mesure sont inférieurs à 20 %. Le plus bas débit mesuré est de 1.004 m<sup>3</sup>/s le 13/08/1974.</li> </ul>	
<p>Qualité</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Chroniques moyennement à peu fiables à l'été.</b></li> </ul>	
<p>Nature</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Débits influencés</b> (notamment en période d'été).</li> </ul>	

### 3.1.2.5 Méouge - Pomét

Débits de contrôle vs débits moyens journaliers enregistrés		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les écarts constatés entre les débits journaliers et les mesures de contrôle à disposition sont globalement inférieurs à 40 %, et dans 72.2 % des cas (36 valeurs de contrôle inférieures à 1 m<sup>3</sup>/s) inférieurs à 20 %.</li> <li>- Certaines mesures réalisées par EDF, ont impliqué un recalage des débits (cas des années 1989, 2004, 2010). A contrario, on constate des écarts relativement importants pour certaines années : 1988, 1994, 1999. En conclusion, les étiages les plus prononcés semblent correctement appréhender avec un écart inférieur à 20 %, voire de très bons résultats ; exemple de l'année 1989, connue pour avoir été marquée par des étiages très forts dans le département de la Drôme notamment.</li> </ul>	
Qualité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Chroniques fiables à l'étiage.</b></li> </ul>	
Nature	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Débits influencés</b> (notamment en période d'étiage).</li> </ul>	

### 3.1.3 Exploitation ultérieure des séries hydrométriques

#### 3.1.3.1 Données exploitables

Bassin versant	Station	Débit d'étiage		Module	
		Période	Exploitation statistique	Période	Exploitation statistique
Petit Buëch	Veynes	/	/	/	/
Petit Buëch	La Bâtie	/	/	/	/
Buëch	Chambons	1976 à 1996 (1989 et 1990 peu fiables)	Calcul du QMNA5 influencé		Calcul du module interannuel
Méouge	Pomet	1982 à 2010	Calcul du QMNA5 influencé	1982 à 2010	Calcul du module interannuel

*Nota : De nombreuses mesures de débit ponctuelles ont pu être mobilisées (passées et actuelles). Ces dernières seront exploitées dans les étapes de modélisation afin de palier à l'absence de chroniques continues fiables sur les sous-bassins versant étudiés.*

La faiblesse des chroniques mesurées en continu sur les cours d'eau principaux et sur les sous-bassins versant nécessitent la mise en œuvre d'une modélisation hydrologique pour créer ou compléter des chroniques de débit. Ces chroniques feront l'objet d'une exploitation statistique par la suite, nécessitant à minima 15 années de mesures (cible : période de retour de 5 ans).

#### 3.1.3.2 Procédure de mise en place d'un modèle hydrologique

Nous souhaitons disposer de chroniques de débit dites « naturelles ou non-influencées », il s'agit donc de proposer un calage des modèles hydrologiques sur des séries « désinfluencées ». En effet, les stations hydrométriques restituent des débits sous influence.

##### 3.1.3.2.1 Les influences

Les influences sont estimées sur des moyennes de volumes déclarés ou mesurés durant la période allant de 2003 à 2009 (se référer au rapport de la phase 2 pour plus de précision). Par contre, les influences demeurent inconnues pour les années antérieures, et seront considérées comme constantes pour l'ensemble de la période de simulation des modèles hydrologiques. Hormis le barrage, plusieurs documents démontrent une structuration différente des secteurs d'irrigation. Par exemple, l'ASA de Guire qui prélevait par le passé sur le bassin versant du Petit Buëch, prélève aujourd'hui sur le Buëch.

Concernant, les débits de prélèvements agricoles, grâce à l'effort consentis par les exploitants, nous disposons de données plus précises depuis 2010.

##### 3.1.3.2.2 Procédure de calage des modèles hydrologiques

Eu égard à la fiabilité des mesures hydrométriques disponibles (cf. chapitre sur les stations hydrométriques) et à notre connaissance des influences actuelles, nous avons appliqué la procédure suivante (illustrée page suivante):

- **Calage d'un premier jeu de paramètres** à partir de **chroniques de débit désinfluencés**,
- **Ajustement / Validation d'un jeu de paramètres** à partir de la **comparaison entre les débits simulés et les débits mesurés pour la période actuelle**,
- Comparaison entre les **chroniques simulées et mesurées (débit moyen mensuel, module, QMNA5)**,
- Exploitation des chroniques de débit simulées pour les calculs statistiques en régime naturel, ou dits non-influencé et notés « NI »,
- Constitution de chroniques de débit influencées à partir des influences moyennes, notés « I »
- Exploitation des chroniques de débit simulées pour les calculs statistiques non influencés.

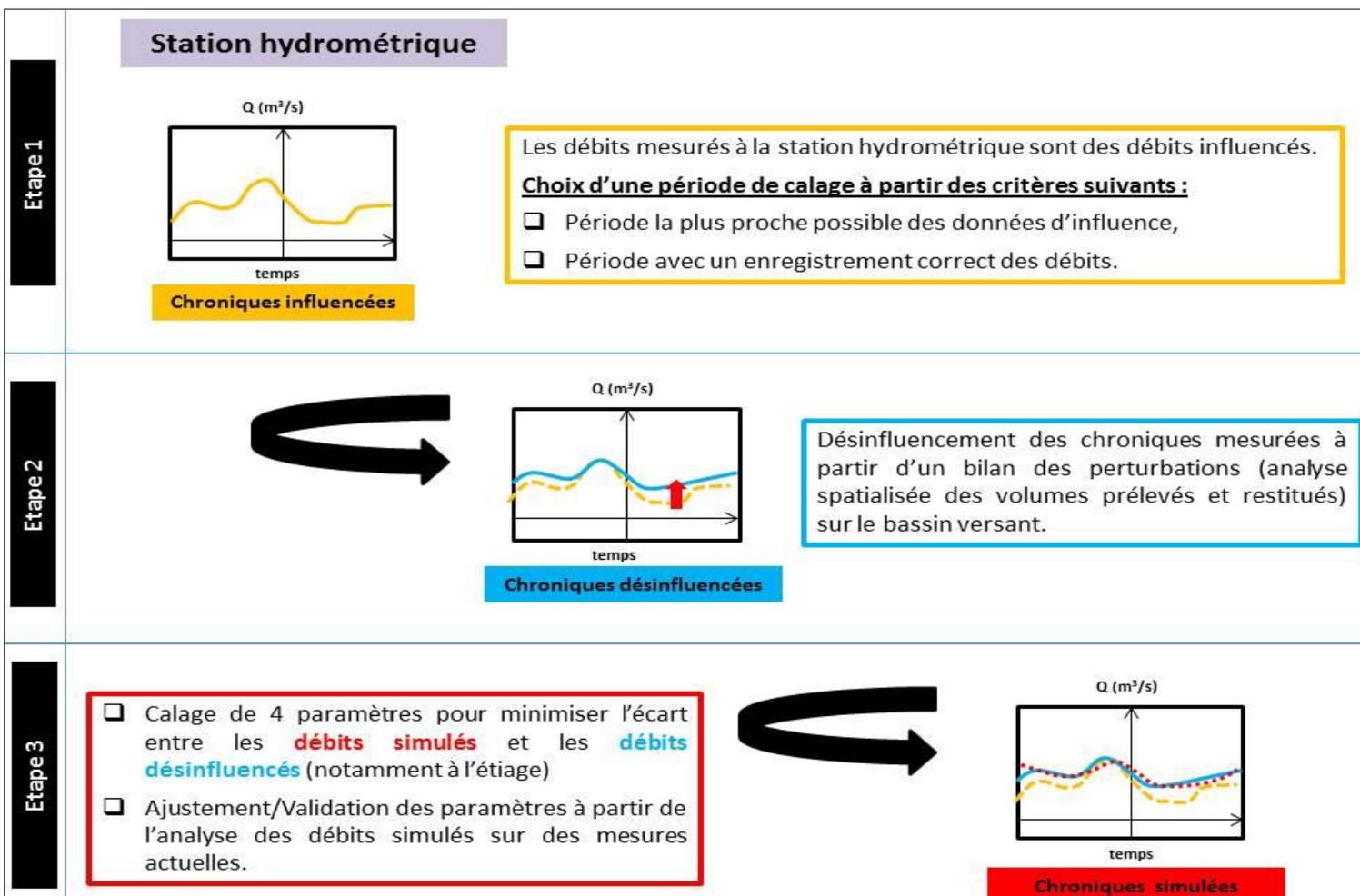
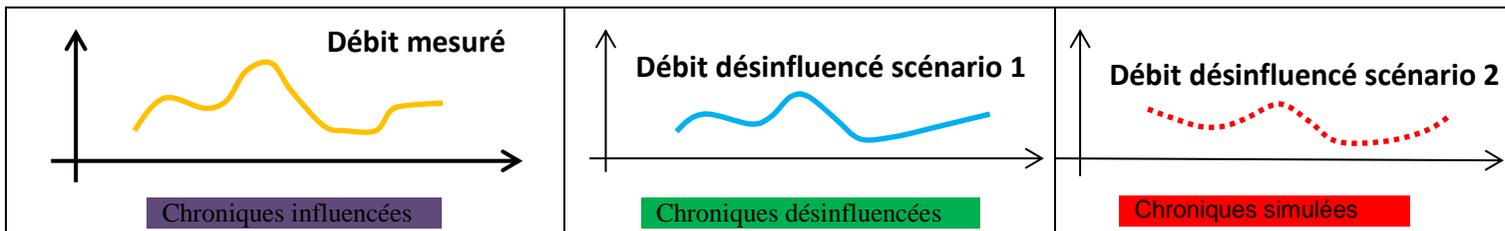


Figure 3-2 Procédure de calage des paramètres du modèle hydrologique

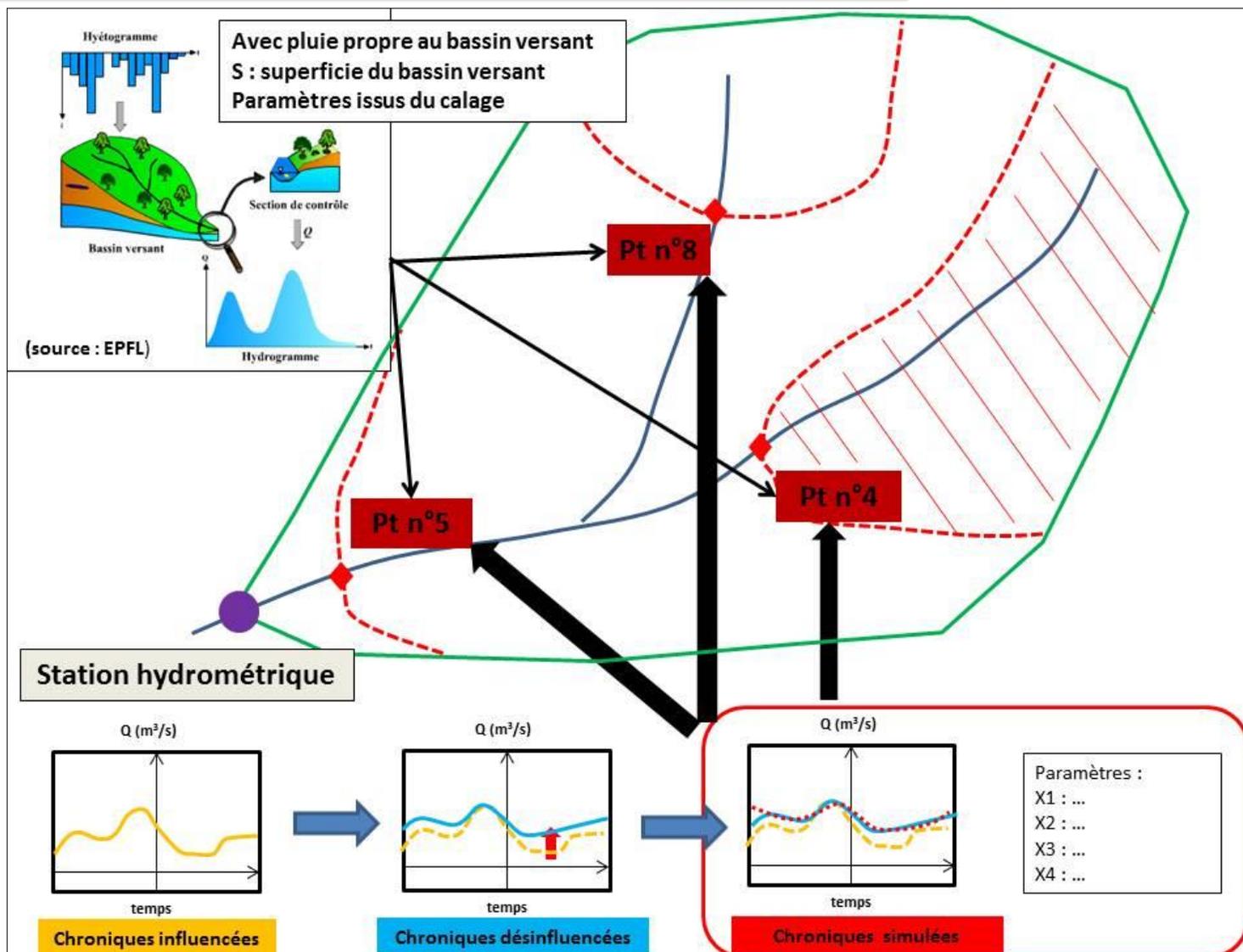


Figure 3-3 : Procédure de calage des paramètres du modèle hydrologique (suite)

### 3.2 Les stations météorologiques

Producteur	Code station	Nom station	Altitude (m)	Données mesurées	Période	Date de mise en service	Fin des mesures
Météo France	4209005	SISTERON	500	Pluie	[1998 – 2010]	01/07/1998	31/12/2010
				ETP	[1998 – 2002] [2004 – 2010]	08/07/1998 01/01/2004	30/06/2002 31/12/2010
				Température	[1998 – 2010]	01/07/1998	31/12/2010
				Neige	[1998 – 2010]	01/07/1998	31/12/2010
Météo France	5070003	LARAGNE-MONTEGLIN	565	Pluie	[1992 – 2010]	01/12/1992	31/12/2010
				ETP	[1993 – 2010]	01/02/1993	31/12/2010
				Température	[1992 – 2010]	01/12/1992	31/12/2010
				Neige	[1992 – 2010]	01/12/1992	31/12/2010
Météo France	5118003	RIBIERS	520	Pluie	[2002 – 2010]	01/04/2002	31/12/2010
				ETP	[2004 – 2010]	01/01/2004	31/12/2010
				Température	[2002 – 2010]	01/04/2002	31/12/2010
				Neige	[2002 – 2010]	01/04/2002	31/12/2010
Météo France	5166001	SERRES	669	Pluie	[1976 – 2010]	01/01/1976	31/12/2010
				ETP	/	/	/
				Température	/	/	/
				Neige	[1976 – 2010]	01/01/1976	31/12/2010
Météo France	5179001	VEYNES	860	Pluie	[1976 – 2010]	01/01/1976	31/12/2010
				ETP	/	/	/
				Température	/	/	/
				Neige	[1976 – 2010]	01/01/1976	31/12/2010
Météo France	26168001	LUS LA CROIX HAUTE	1059	Pluie	[1976 – 2010]	01/01/1976	31/12/2010
				ETP	[1981 – 2010]	13/11/1981 24/06/1992 07/05/1998	30/06/1990 04/05/1993 31/12/2010
				Température	[1977 – 1985]	25/07/1977	28/02/1985
					[1985 – 1995] [1995 – 1996]	01/05/1985 27/07/1995	01/07/1995 13/04/1996

Producteur	Code station	Nom station	Altitude (m)	Données mesurées	Période	Date de mise en service	Fin des mesures
					[1998 – 2010]	01/05/1998	31/12/2010
				Neige	[1976 – 2010]	01/01/1976	31/12/2010
Météo France	5002001	AGNIERES EN DEVOLUY	1262	Pluie	[1976 – 2010]	01/01/1976	31/12/2010
				ETP	/	/	/
				Température	/	/	/
				Neige	/	/	/
Météo France	26340001	SEDERON	814	Pluie	[1976 – 2010]	01/01/1976	31/12/2010
				ETP	/	/	/
				Température	/	/	/
				Neige	/	/	/
Météo France	5139002	SAINT ETIENNE EN DEVOLUY	1300	Pluie	/	/	/
				ETP	/	/	/
				Température	[1986 – 1987] [1987 – 2010]	01/12/1986	31/12/2010
				Neige	/	/	/

Tableau 3-4 : Stations climatologiques sur le bassin versant du Buëch (périodes disponibles par type de donnée)

*Nota : les différentes périodes où des données sont disponibles sont synthétisées par poste et par classe de données en annexe n°2.*

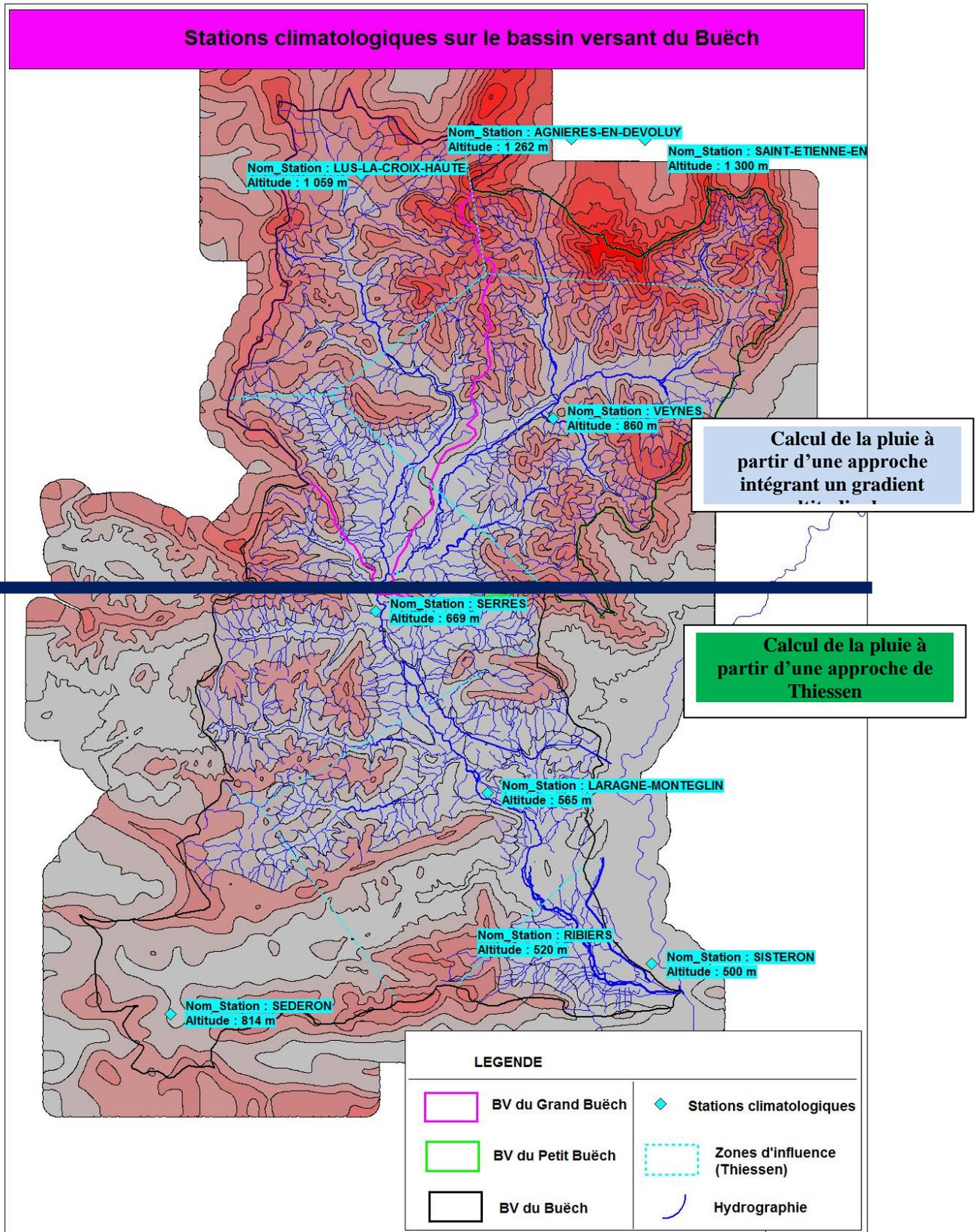


Figure 3-5 : Localisation des stations climatologiques sur le bassin versant du Buëch

### 3.2.1 Les précipitations

Les précipitations sont disponibles pour la plupart des stations amont (bassin versant du Grand Buëch et du Petit Buëch), pour la période analysée, à savoir de 1976 à 2010. À contrario, cette donnée est plus disparate sur l'aval du bassin versant du Buëch (le poste le plus complet, celui de Laragne-Montéglin Montéglin couvre la période de 1993 à 2010).

Aucune station météorologique ne permet de retranscrire les précipitations en haute altitude. Les stations les plus hautes à disposition sont celles de Lus-la-Croix Haute à 1 059 m (bassin versant du Grand Buëch), Agnières-en-Dévoluy et Saint-Etienne en Dévoluy respectivement à 1 262 m et à 1 300 m (situées à l'extérieur du bassin versant du Buëch). La définition des précipitations sur les massifs du Bochaïne et du Dévoluy ont donc nécessité une approche spatialisée intégrant un gradient altitudinal (annexe n°4) à partir des stations de référence suivantes :

- pour le sous-bassin versant du Grand Buëch :
  - o Lus-la-Croix-Haute pour l'amont,
  - o Serres pour l'aval.
- pour le sous-bassin versant du Petit Buëch :
  - o Agnières-en-Dévoluy pour l'amont,
  - o Veynes pour l'aval.

Pour le reste du bassin versant, en aval de Serres la régionalisation des précipitations s'est appuyée sur la méthode de Thiessen.

Nom_Poste_Pluvio	Superficie (km <sup>2</sup> )	% d'influence des stations
SISTERON	63.84	4.3%
AGNIERES-EN-DEVOLUY	91.64	6.2%
LARAGNE-MONTEGLIN	283.84	19.2%
SERRES	331.65	22.5%
VEYNES	332.03	22.5%
LUS-LA-CROIX-HAUTE	193.48	13.1%
SEDERON	180.31	12.2%
<b>Superficie bassin versant du Buëch (km<sup>2</sup>)</b>	<b>1476.79</b>	

On notera toutefois que sur le secteur aval, les données pluviométriques n'ont pu être reconstituées avant 1993. Les coefficients de corrélation entre le poste de Laragne-Montéglin et les autres postes à proximité disposant d'une donnée complète notamment celui de Serres et de Séderon, n'ont pas été jugés assez importants (inférieurs à 75 %) pour envisager une reconstitution journalière sur la période 1976 à 1993.

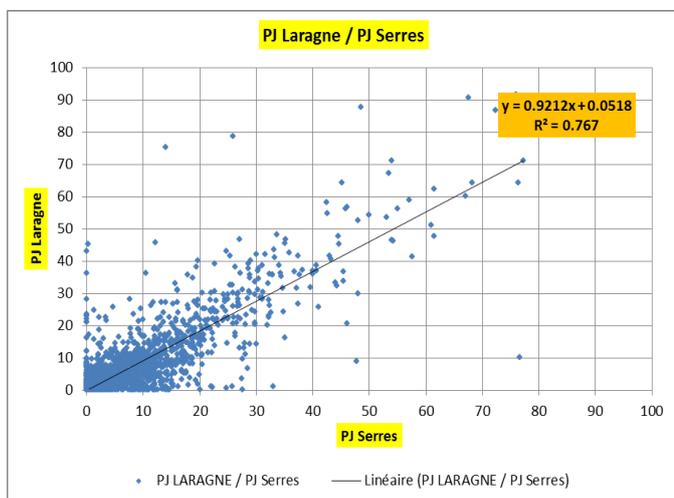


Figure 3-6 : Corrélation entre Pluie journalière de Laragne-Montéglin et Serres

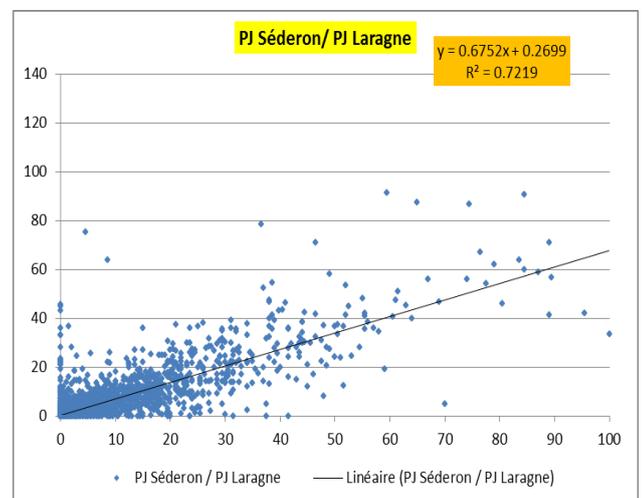


Figure 3-7 : Corrélation entre Pluie jour de Laragne et Séderon

### 3.2.2 L'Évapotranspiration (ETP)

Très peu de données d'ETP sont exploitables sur le bassin versant du Buëch :

- Seule la station de Lus-la-Croix Haute dispose de données d'ETP sur l'amont du bassin de 1981 à 2010.
- Seules les stations de Séderon, Laragne, Ribiers et Sisteron disposent de données d'ETP pour l'aval du bassin versant :
  - o Séderon : du 01/01/2004 au 28/02/2010,
  - o Laragne-Montéglin : du 01/02/1993 au 31/12/2010,
  - o Ribiers : du 01/01/2004 au 31/12/2010,
  - o Sisteron : du 08/07/1998 au 30/06/2002 et du 01/01/2004 au 31/12/2010.

La donnée d'ETP est moins soumise à des fluctuations importantes que les précipitations (écart type faible cf. annexe n°5). On note toutefois une variation de cette dernière selon l'altitude et la latitude considérées :

- 815 mm à Lus-la-Croix Haute,
- 1 154 mm à Laragne.

On peut remarquer que l'altitude semble jouer un rôle plus essentiel dans la valeur d'ETP (exemple avec la station de Séderon localisée sur le bassin de la Méouge, à la même latitude que la station de Laragne-Montéglin. En cumul annuel, l'ETP à Séderon n'est que 12 % supérieur au cumul annuel sur Lus-la-Croix-Haute. La valeur d'ETP de Laragne-Montéglin sera considérée comme étant représentative du fond de vallée.

Deux secteurs ont été pris en compte pour la variation d'ETP entre l'amont, l'aval de la limite d'influence de la station de Laragne-Montéglin (à partir du point n°14).

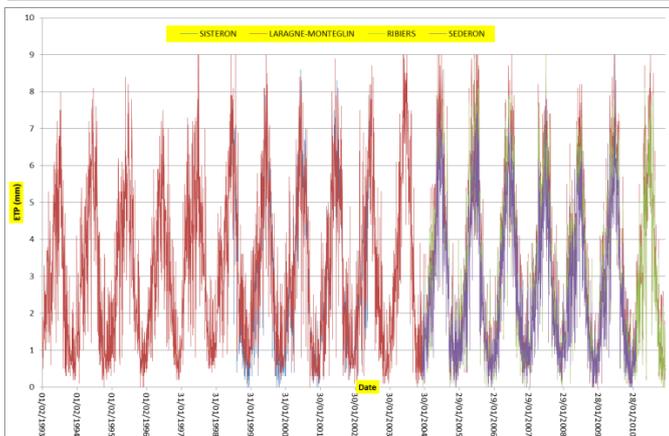


Figure 3-8 : Variation journalière de l'ETP pour les postes de Séderon, Ribiers, Laragne-Montéglin et Séderon

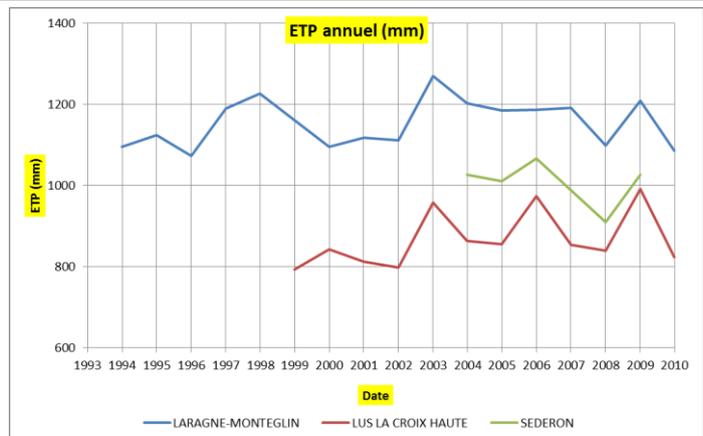


Figure 3-9 : ETP annuel à Laragne, Séderon et Lus-la-Croix Haute

Les données d'ETP restent incomplètes sur la période 1976 à 2010. Afin de les compléter sur l'ensemble de la période, **une approche basée sur la formulation d'Oudin a été mis en œuvre** (annexe n°5).

*Dans le cadre de travaux de recherche sur la formulation de l'évapotranspiration potentielle pour la modélisation hydrologique, 27 formulations d'évapotranspiration potentielle (ETP) pour des applications de modélisation pluie-débit (Oudin 2005) ont été évaluées. Ce travail a conduit à la mise au point d'une formule d'ETP simple et efficace permettant d'obtenir de meilleurs résultats que l'ensemble des formulations existantes, en termes de restitution des débits. La formulation est détaillée par Oudin et al. (2005). Elle utilise comme seule donnée d'entrée la température (le calcul de la radiation extraterrestre est détaillée par Morton (1983)). Ces évaluations d'ETP sont généralement plus pertinentes en zone de plaine.*

### 3.2.3 Les Températures

Les données de température ne sont également pas disponibles sur l'ensemble de la période analysée. Trois stations comportent des séries intéressantes et ont été retenues par la suite :

- Agnières-en-Dévoluy de 1986 à 2010,
- Lus-la-Croix-Haute de 1976 à 2010,
- Laragne-Montéglin de 1992 à 2010.

Un gradient fonction de l'altitude a été considéré pour le calcul des températures, lorsque l'information était indisponible. On peut accepter cette approche considérant que contrairement aux pluies, les températures sont globalement moins soumises à des effets locaux.

### 3.2.4 La Neige

Les données qui ont pu être utilisées dans le cadre de l'étude pour l'enneigement sont :

- Le contexte de la mesure : pluie ou neige (un seul cumul est proposé, et ne permet pas de considérer une répartition entre eau de fusion et eau liquide).
- La hauteur de neige (issue d'une interpolation spatiale) pour les postes d'Agnières-en-Dévoluy et Lus-la-Croix Haute. Il est probable que ces calculs se soient appuyés sur des valeurs mesurées sur site.

Afin de pallier au manque de données mesurées et permettre une estimation sur les secteurs montagneux, nous mettons en œuvre un module de neige (cf. chapitre suivant).

## 4 Analyse météorologique

*Nota : En préambule, rappelons que les données météorologiques analysées couvrent la période de 1976 à 2010. Les conclusions proposées dans de ce chapitre s'inscrivent dans cette période.*

### 4.1 Quelques généralités

Le bassin versant du Buëch est marqué par la présence de deux climats, l'un de caractère montagnard (proximité du massif des Ecrins) sur l'amont du bassin versant (massif du Dévoluy et du Bochaîne), l'autre à caractère méditerranéen en aval. Les sous-bassins versants amont (Grand Buëch et Petit Buëch) ont des altitudes marquées. Le Dévoluy constitue le plus haut des massifs préalpins français. Ses crêtes et de nombreux versants sont situés en haute montagne.

Il existe donc un gradient pluviométrique important sur les hauts massifs avec également la présence de neige sur une partie de l'année. À titre d'exemple, des mesures réalisées dans les années 70 ont montré que les précipitations atteignent 2 000 mm à 2 500 m d'altitude (Nicod 1978) :

« Il n'existe pas de pluviomètre au plateau de Bure. La station météorologique la plus proche est celle de Saint-Etienne-en-Dévoluy (1 265 m) où il tombe 1 380 mm par an en moyenne (données recueillies pour la période entre 1960 et 1994). En admettant un gradient de 55 mm par 100 m pour les Alpes, valeur établie par EDF, le total pluviométrique au plateau de Bure atteindrait 2 000 mm/an. Des mesures ont été effectuées en 1992-1993, 1993-1994 et 1994-1995, avec un pluviomètre branché sur un réservoir. Ce dispositif a permis d'évaluer la hauteur d'eau précipitée environ 1 800 mm par an. Cependant, celle-ci sous-estime les précipitations neigeuses. En utilisant le protocole mis au point par G. Rovera (1990) des pastilles de gypse ont permis d'évaluer les précipitations mais cette fois-ci en intégrant les précipitations neigeuses : on arrive alors à 2 000 mm. »

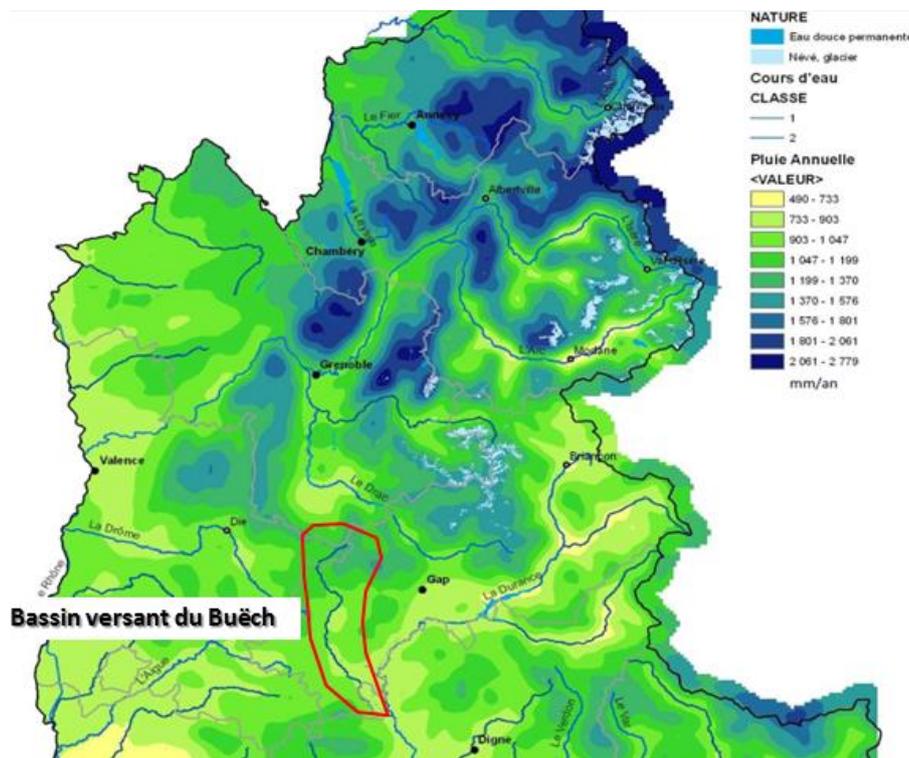


Figure 4-1 : Cumul annuel des précipitations sur les Alpes

## 4.2 Analyse et prise en compte de la nivosté : mise en œuvre d'un module « neige »

Le manteau neigeux atteint 2,31 m à Saint-Etienne-en-Dévoluy et 2,63 m à Agnières-en-Dévoluy (Nicod, 1978). Dans le Bochaîne, Durbon dépasse 200 mm d'eau de fusion annuelle (en épaisseur de neige = 2,00 m / conversion avec 10 %) ; à plus de 1250 m dans le Dévoluy, Agnières atteint 230 mm (en épaisseur de neige = 2,30 m / conversion avec 10 %).

Dans les Préalpes du Sud seuls les massifs du Dévoluy et du Bochaîne possèdent des stations dont le coefficient nivométrique annuel varie de 15 à 18 %. Moyennes aussi élevées que celles des Préalpes du Nord. Nous retrouvons de très forts coefficients mensuels d'hiver avec une moyenne de 60 % pour les trois mois de décembre à février à Saint-Etienne en Dévoluy.



Image 4-2 : Dévoluy le 15/09/2010 (source Google Earth)

### Dévoluy en septembre 2010 :

- La neige est encore présente.
- On peut voir sur certains contreforts que la neige a fondu.

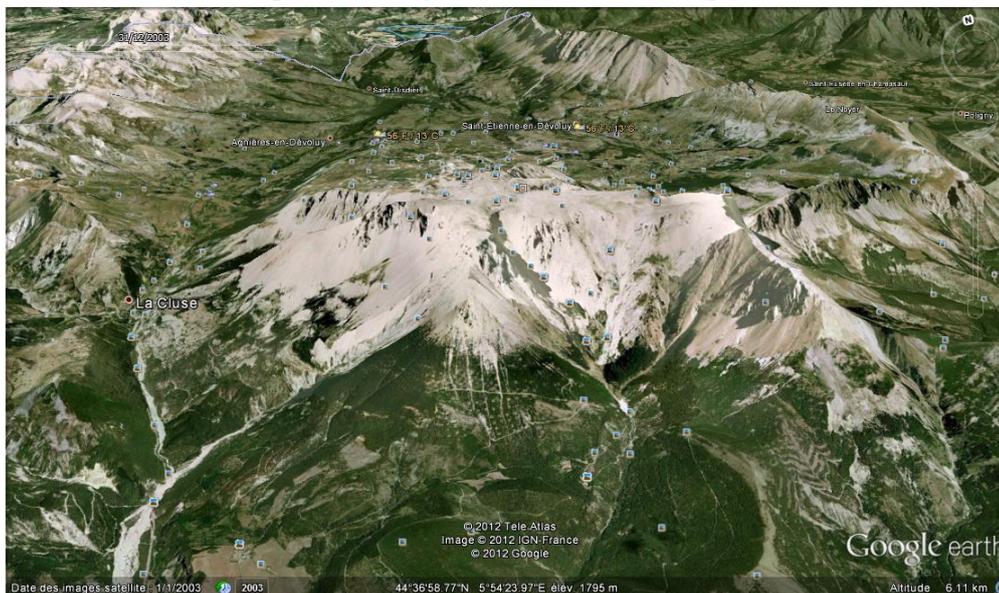


Image 4-3 : Dévoluy le 01/01/2003 (source Google Earth)

### Dévoluy en janvier 2003 :

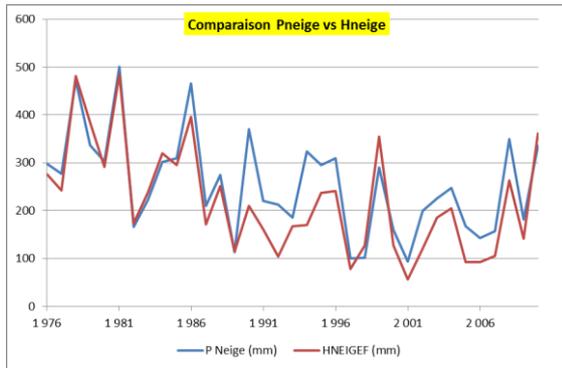
- On remarque en comparant à l'image précédente, la présence d'un important stock neigeux.

Les réseaux de mesure météorologiques actuels ne permettent pas de proposer directement des estimations des précipitations solides à l'échelle des bassins versants. Les données en équivalent eau sont fragmentaires, et issues d'une interpolation (pas de poste en altitude).

Un module de neige a donc été mis en place pour évaluer au mieux les précipitations solides, l'évolution du stock neigeux et sa redistribution sous forme liquide lors des phénomènes de fonte (cf. annexe n°3).

*Nota : les phénomènes d'inertie du manteau neigeux ne sont pas pris en compte dans le cadre de la présente analyse, pouvant créer un biais notamment sur la vitesse de fonte. Les coefficients saisonniers de fonte retenus ne sont pas pondérés en fonction de l'exposition des versants.*

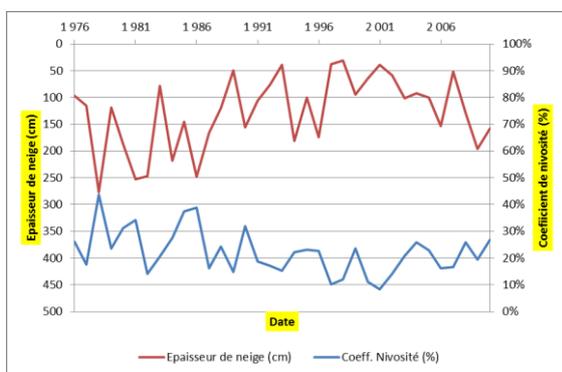
**Validation d'estimation de la neige : station d'Agnières-en-Dévoluy**



**Figure 4-4 : Comparaison des Précipitations neigeuses calculées avec les équivalents en eau de fusion de Météo France**

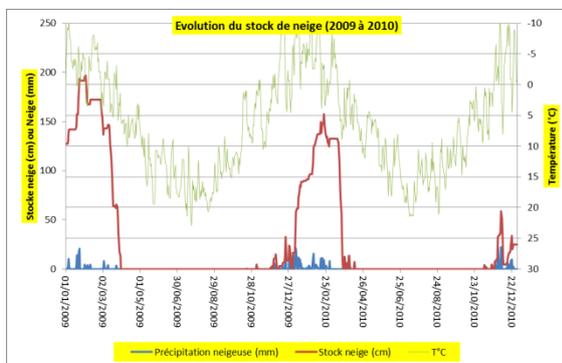
Météo France propose des équivalents en eau de fusion (HNEIGEF) à partir d'un modèle d'interpolation. Les évaluations réalisées avec le module neige mis en place ont été comparées avec ces dernières, et montrent une assez bonne corrélation.

Sur la période 1976-2010, les précipitations solides annuelles sont estimées à environ 254 mm.



**Figure 4-5 : Coefficient de nivosté / Epaisseur de neige annuel à 1262 m**

Le coefficient de nivosté annuel (part des précipitations solides) est variable, et se situe en moyenne à 22 %. Le stock maximal de neige sur la période 1976-2010 varie entre 31 cm et 277 cm, pour une moyenne de 127 cm (conversion avec 10 %).



**Figure 4-6 : Evolution du stock neigeux à 1262 m**

À titre d'exemple pour l'année 2010, le stock neigeux s'amorce fin décembre, pour un déstockage fin mars.

**Validation d'estimation de la neige : station fictive à 2500 m**

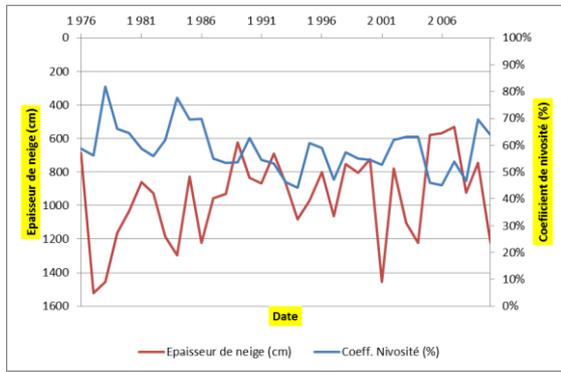


Figure 4-7 : Coefficient de nivrosité / Epaisseur de neige annuel à 2500 m

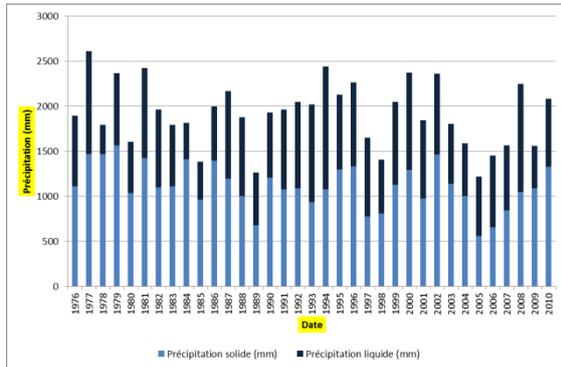


Figure 4-8 : Cumul annuel des précipitations / Part des précipitations neigeuses à 2500 m

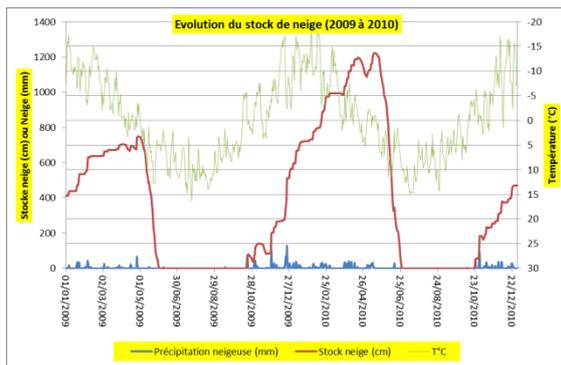


Figure 4-9 : Evolution du stock neigeux à 2500 m

A titre illustratif, les dernières infos en 2012 sur l'enneigement du Dévoluy :

- Bulletin mis à jour : le 11/05/2012
- Dernière chute de neige : le 14/04/2012
- Neige à 1500 m : 20 cm
- Neige à 2500 m : 85 cm

Le coefficient de nivrosité annuelle (part des précipitation solides) est variable, et se situe en moyenne à 58 %. Dans la littérature on retrouve les coefficients de nivrosité suivants.

Altitude	Coefficients moyens de nivrosité (%)			
	Suisse	Alpes dauphinoises du Nord	Valgaudemar	Champsaur et Dévoluy
1000	27	20	16	12
1500	40	33	28	24
2000	55	48	42	38
2500	68	62	57	53
3000	82	76	71	67
3500	92	87	83	79

Ce sont des ordres de grandeur comparables aux valeurs calculées à 2500 m d'altitude.

A titre d'exemple pour l'année 2010, le stock neigeux s'amorce début octobre, pour un déstockage fin juin. La durée du manteau neigeux à 2500 m est en moyenne de 250 jours/an.

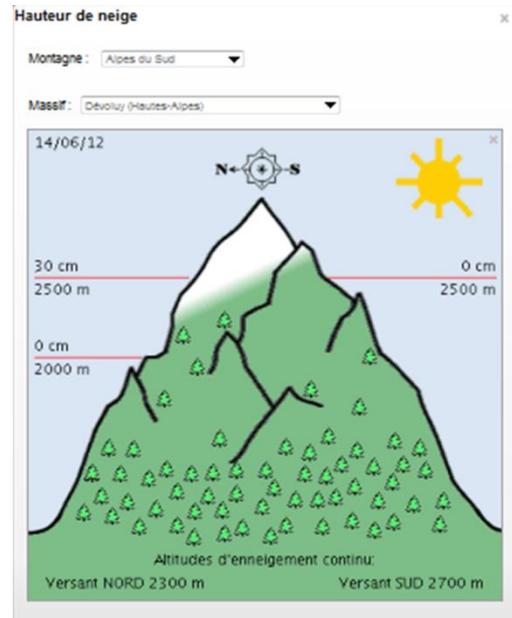


Image 4-10 : Enneigement sur le Dévoluy le 11/05/2012

Le nombre de jours de précipitation solides (neige) varie de 13 à 14 jours sur l'aval du bassin versant (postes de Sisteron et de Laragne), de 20 à 23 jours pour les postes de Veynes et Serres et de 37 à 41 jours sur l'amont du bassin (postes d'Agnières-en-Dévoluy et de Lus-la-Croix Haute).

Les évaluations réalisées sur une station fictive à 2500 m, concluent à une moyenne de 70 jours de neige par an.

La durée du manteau neigeux est en moyenne de 106 jours/an à 1262 m (évaluation à la station d'Agnières en Dévoluy) et de 250 jours/an à 2500 m.



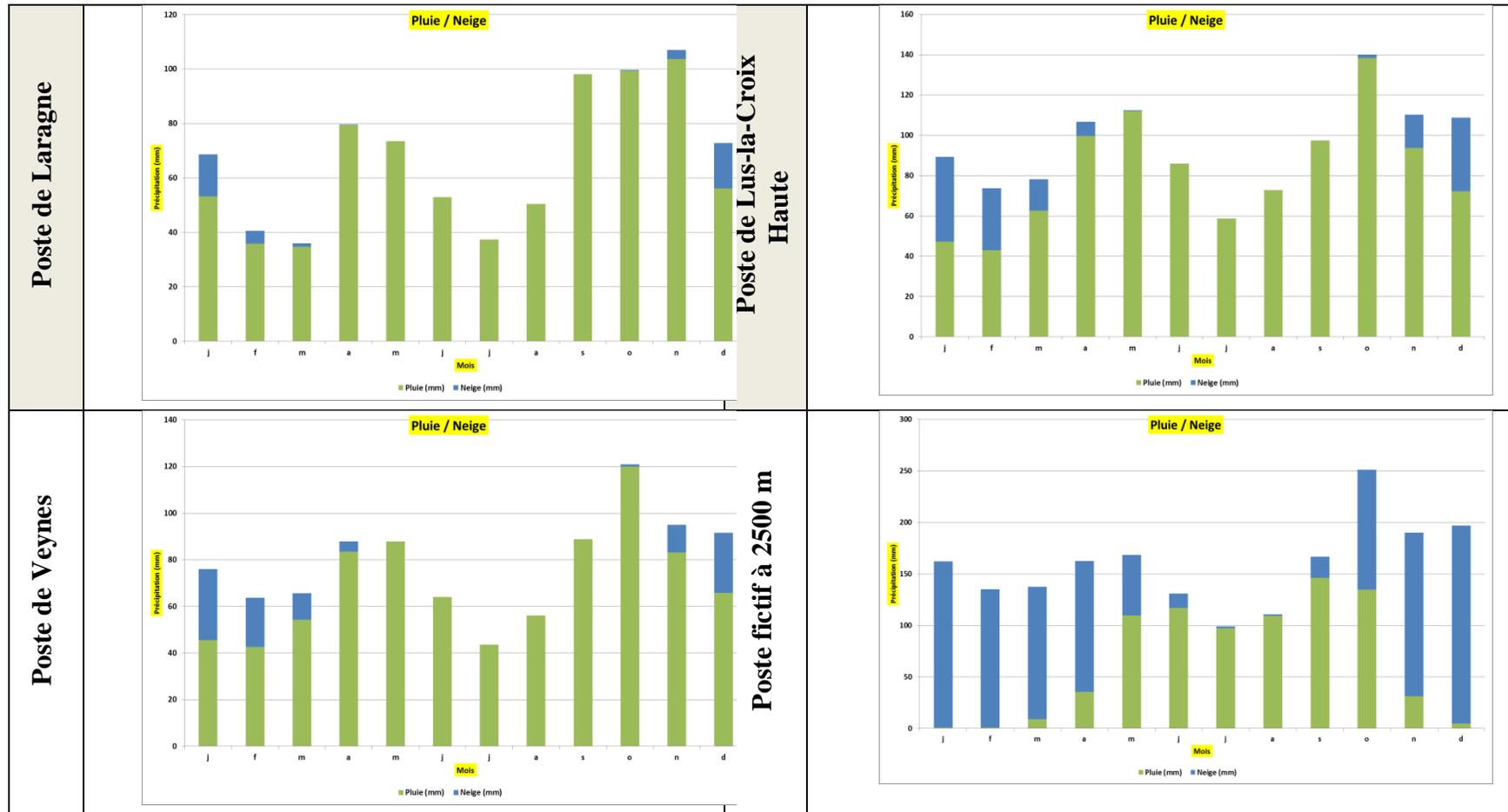


Figure 4-11 : Précipitations mensuelles liquides et solides (Laragne, Veynes, Lus-la-Croix-Haute et station fictive à 2500 m)

### 4.3 Analyse des précipitations liquides et solides

#### 4.3.1 Précipitations annuelles

Les postes météorologiques à disposition montrent une pluie moyenne (1976 à 2010) de l'ordre de 1130 – 1150 mm sur l'amont (à 1 200 m d'altitude), descendant à 816 mm à Laragne-Montéglin (1994 à 2010).

Ces données moyennes cachent de grandes fluctuations interannuelles, avec à titre d'exemple les cumuls pour l'année 2007 :

- 941 mm à Agnières-en-Dévoluy,
- 1011 mm à Lus-la-Croix-Haute,
- 685 mm à Veynes,
- 613 mm à Serres,
- 444 mm à Ribiers,
- 684 mm à Séderon,
- 467 mm à Laragne,
- 510 mm à Sisteron.

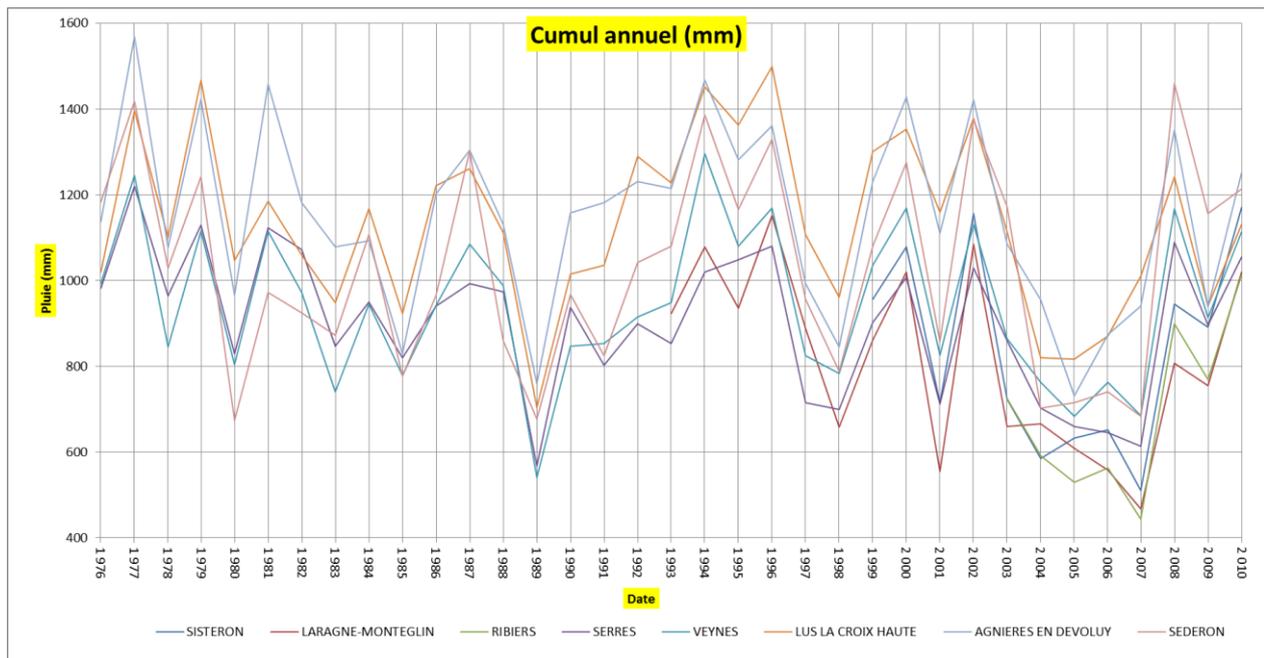


Figure 4-12 : Cumul annuel des précipitations sur bassin versant du Buëch

Le nombre de jours de précipitation est assez homogène à l'échelle du bassin versant, aux alentours de 90 à 100 jours sauf pour le poste de Lus-la-Croix Haute qui atteint une moyenne de 151 jours de pluie.

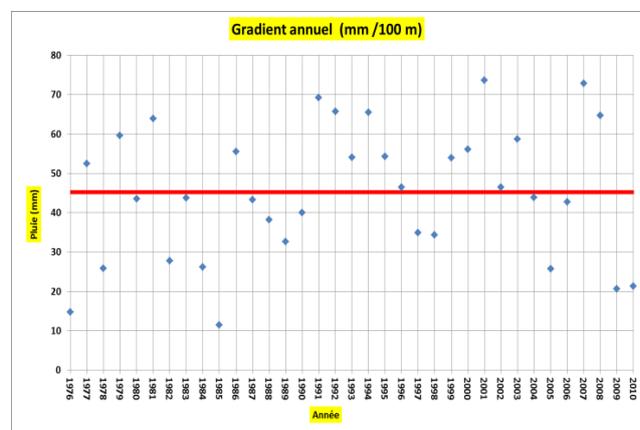
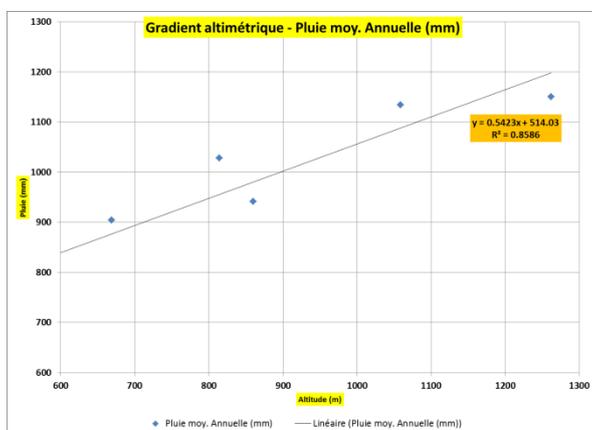


Figure 4-13 : Gradient pluviométrique sur le bassin versant du Buëch

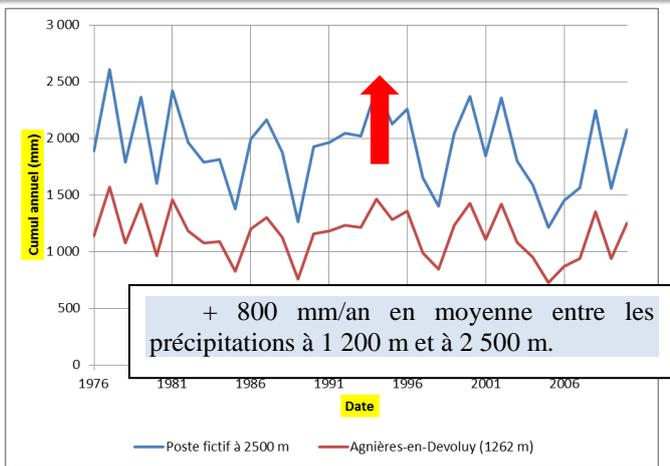


Figure 4-14 : Cumul de précipitations à 1200 et 2500 m

L'analyse des pluies moyennes annuelles confirment un gradient de l'ordre de 55 mm / 100 m, qui correspond à l'ordre de grandeur proposé par EDF pour les Alpes.

Malgré une variation interannuelle du gradient pluviométrique importante, une valeur commune a été appliquée pour les précipitations d'altitude (cf. annexe n°4). A 2500m, sur la période 1976-2010, un cumul moyen des précipitations de l'ordre de 1911 mm est atteint. Il est naturellement difficile de croiser ces résultats avec des mesures en altitude.

Cette valeur apparaît toutefois comme relativement proche des 2000 mm mesurés dans les

années 90.

Les années 1989, 2005 et 2007 se distinguent à l'échelle du bassin versant et font partie des trois cumuls les plus faibles depuis 1976. Le cumul pluviométrique le plus faible est constaté en 1989 (les stations de Sisteron, Laragne-Montéglin et Ribiers ne disposent pas d'enregistrements pour cette année-là).

Poste	5 cumuls annuels les plus faibles depuis 1976				
SISTERON	2007	2004	2005	2006	2001
LARAGNE-MONTEGLIN	2007	2001	2006	2005	1998
RIBIERS	2007	2005	2006	2004	2003
SERRES	1989	2007	2006	2005	1998
VEYNES	1989	2005	2007	1983	2004
LUS LA CROIX HAUTE	1989	2005	2004	2006	1985
AGNIERES EN DEVOLUY	2005	1989	1985	1998	2006
SEDERON	1980	1989	2007	2004	2005

Tableau 4-15 : Classement des cinq cumuls annuels les plus faibles depuis 1976 par station

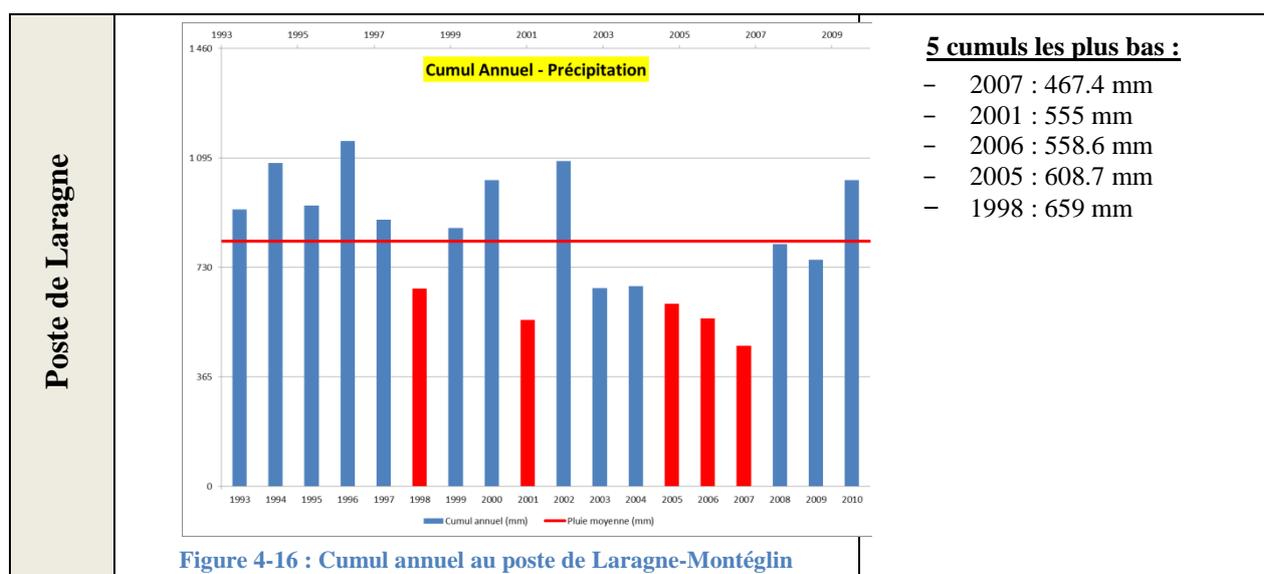
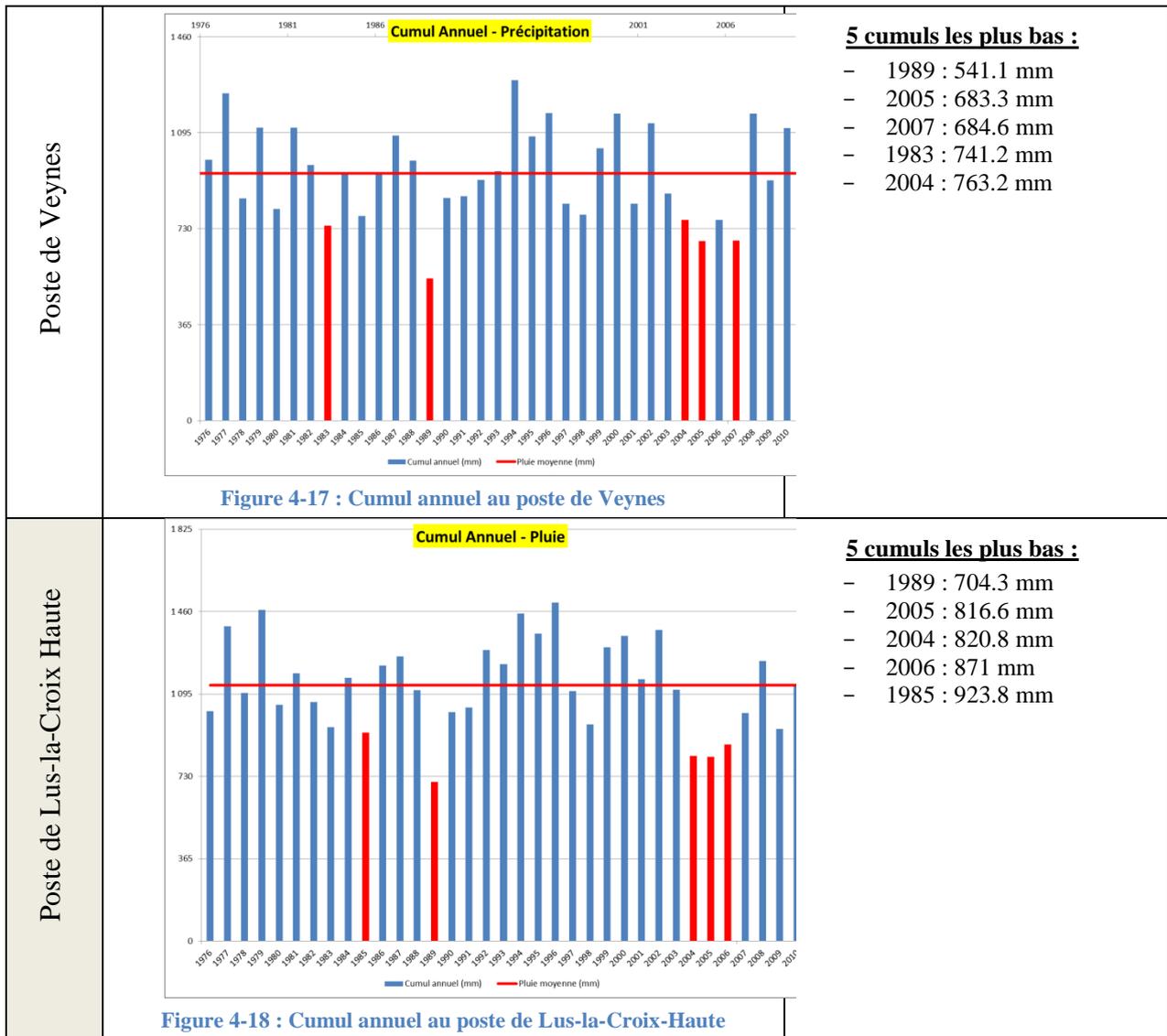


Figure 4-16 : Cumul annuel au poste de Laragne-Montéglin



### 4.3.2 Précipitations mensuelles

Les précipitations sont caractérisées par un maximum en automne, et deux minima, l'un durant la période hivernale (mois de février – mars) et durant la saison estivale (mois de juillet).

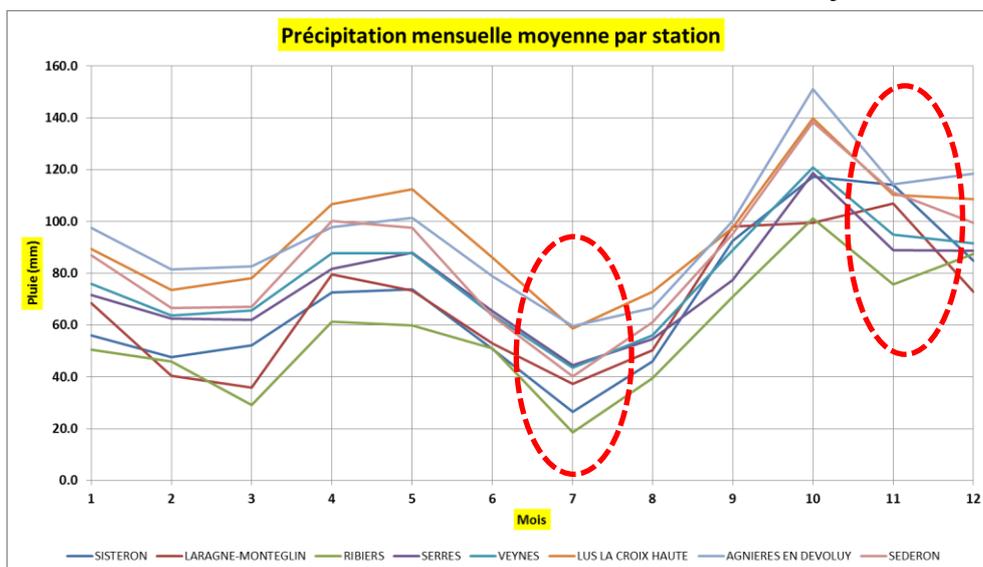


Figure 4-19 : Précipitation mensuelle moyenne par station

Poste de Laragne

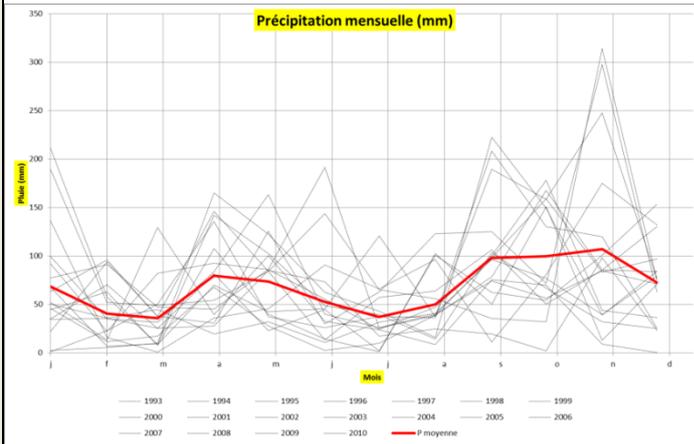


Figure 4-20 : Précipitation mensuelle – poste de Laragne-Montéglin

L'année 2005 reste exceptionnelle avec un déficit de près de 50 % aux normales de juin à août (calculées sur la période 1993 – 2010).

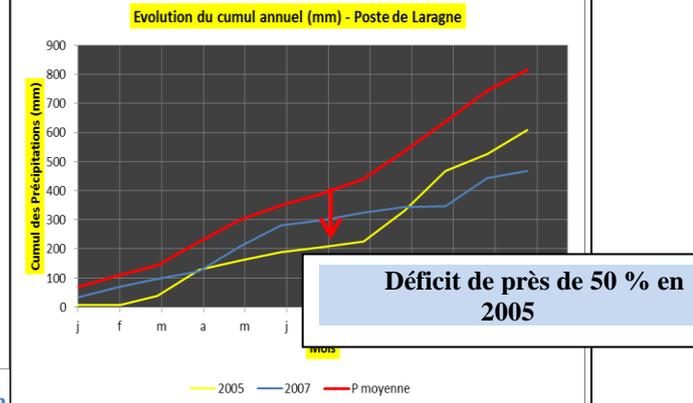


Figure 4-21 : Évolution du cumul annuel à Laragne-Montéglin

Poste de Veynes

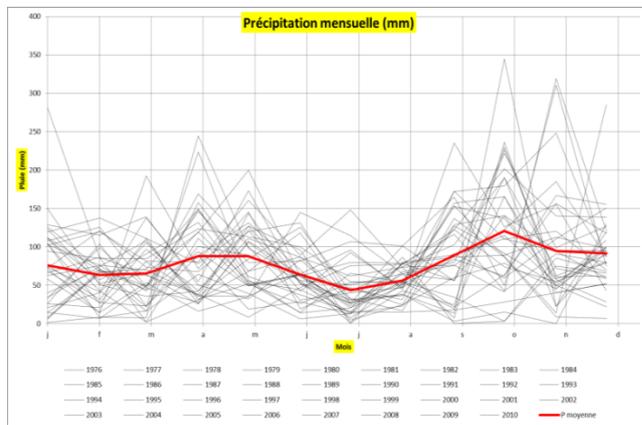


Figure 4-22 : Précipitation mensuelle – poste de Veynes

L'année 2005 reste exceptionnelle avec un déficit de près de 40 % aux normales jusqu'en août (calculées sur la période 1976 – 2010). L'année 1989 reste le cumul annuel le plus faible du fait de pluies automnales moins importantes (inversion avec 2005 à partir de septembre).

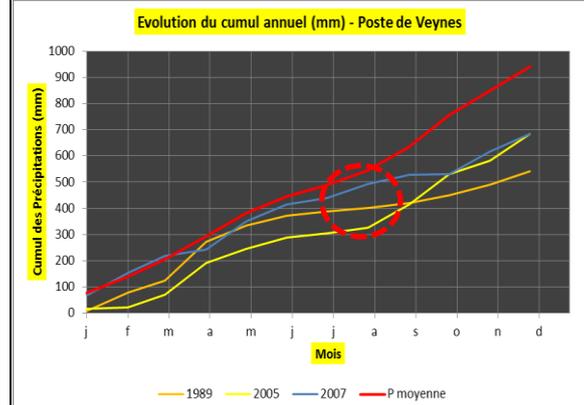


Figure 4-23 : Évolution du cumul annuel – poste de Veynes

Poste de Lus-la-Croix Haute

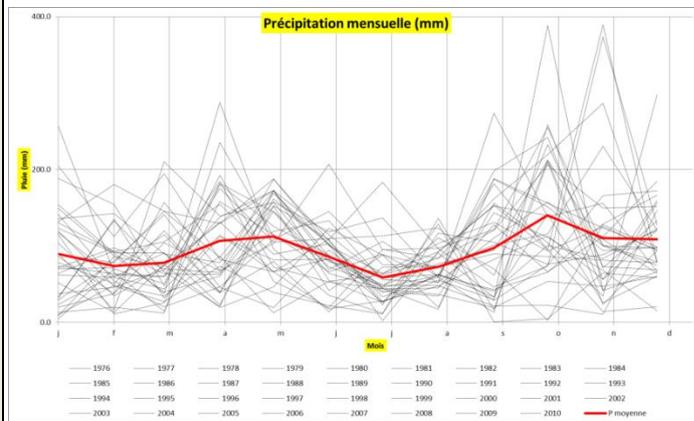


Figure 4-24 : Précipitation mensuelle – poste de Lus-la-Croix-Haute

L'année 2007 apparaît comme une année moyenne. Les années 1989, 2004, et 2005 sont assez proches avec un déficit record avant l'été en 2004, de plus de 50 %.

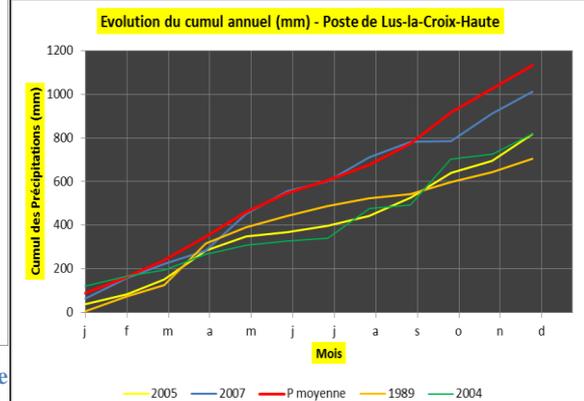


Figure 4-25 : Évolution du cumul annuel – poste de Lus-la-Croix Haute

## 5 Les étiages sur le bassin versant du Buëch

Les éléments présentés ci-après sont définis à partir des enregistrements des stations hydrométriques de Veynes (sur le Petit Buëch) et des Chambons (sur le Buëch), considérant que les suivis réalisés permettent de cibler correctement les périodes de basses eaux.

### 5.1 Période d'étiage

Les écoulements commencent à fortement baisser au cours du mois de juin sur le Buëch et ses principaux affluents. Les étiages estivaux sont les plus marqués, le mois d'août en étant le point critique :

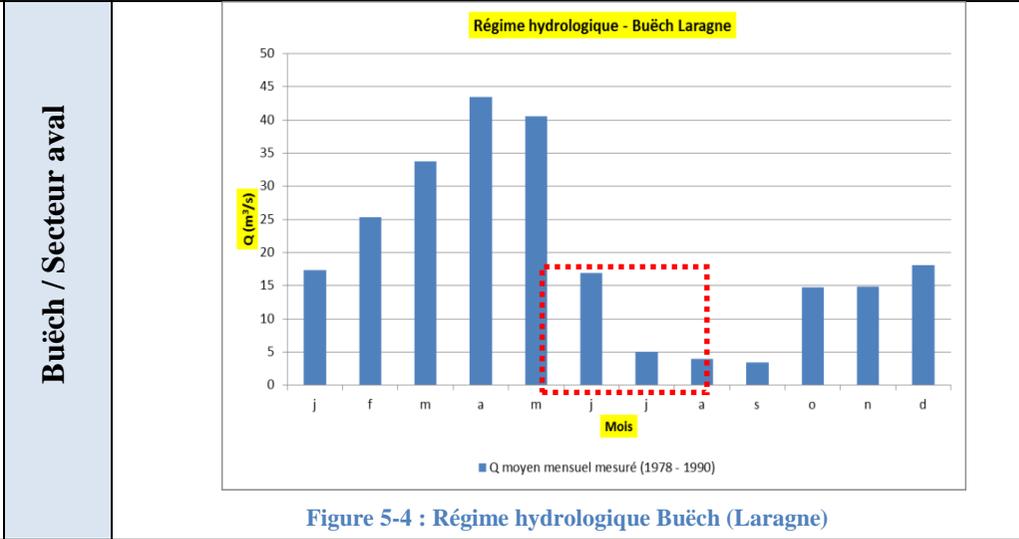
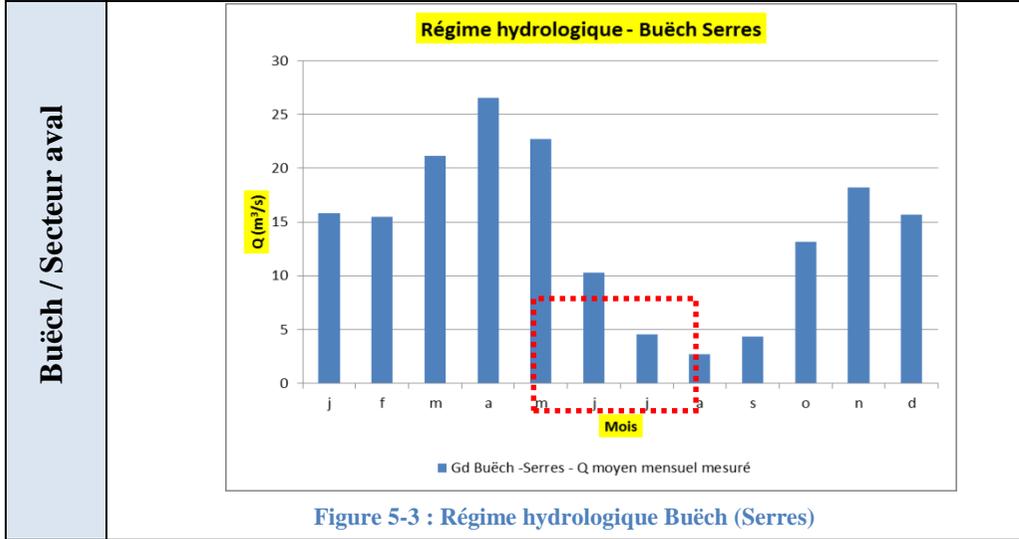
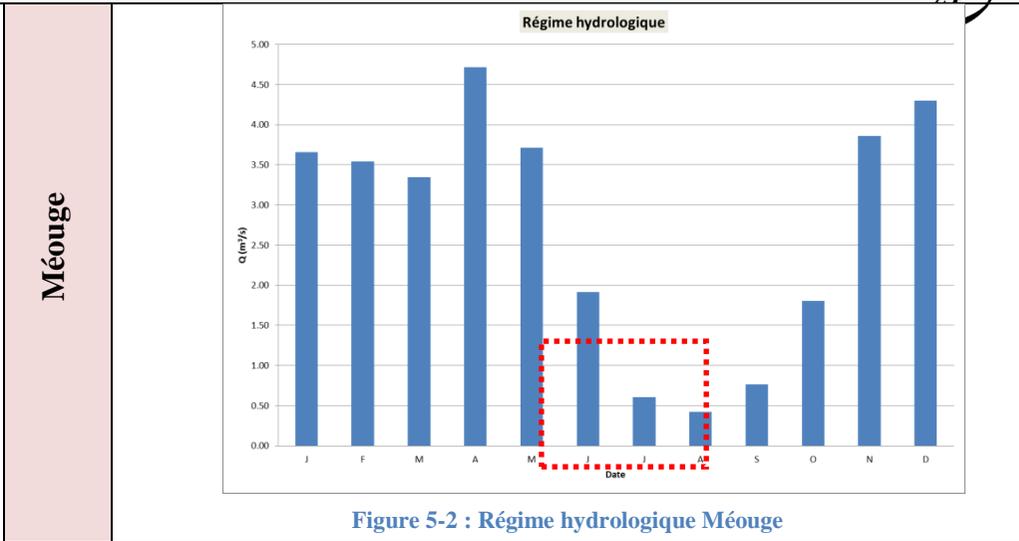
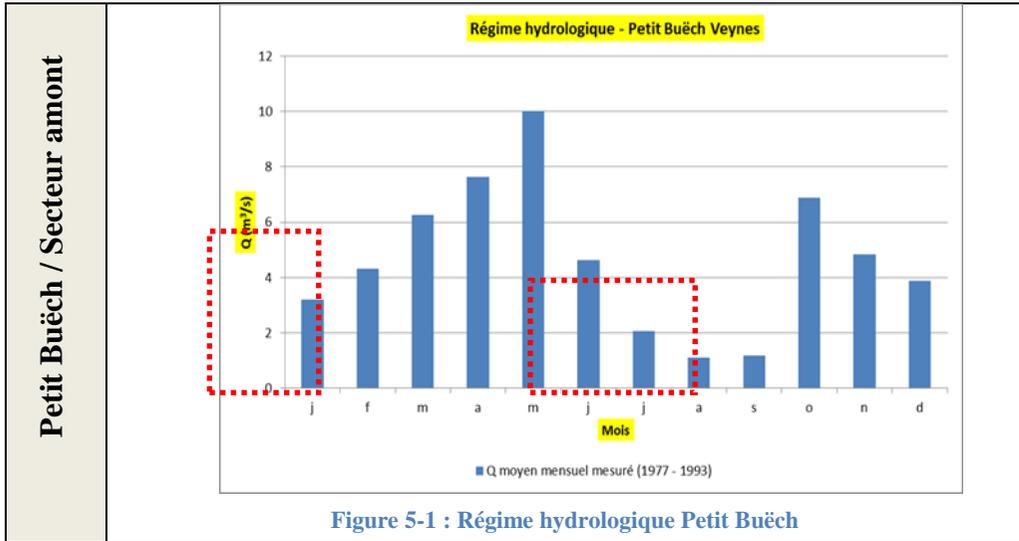
- Sur le Petit Buëch, l'hydraulicité la plus faible se produit en août à la station de Veynes. On retrouve deux périodes d'étiage une première en hiver et une seconde en été plus marquée. La période d'étiage estivale s'étend de juillet à septembre.
- Sur le Buëch à Serres, le mois d'août connaît le débit moyen le plus faible. On retrouve une seule véritable période d'étiage (étiage hivernal moins marqué qu'en amont), qui se produit en été. La période d'étiage estivale s'étend de juillet à septembre.
- Les écoulements de la Méouge commencent à fortement baissés au cours du mois de juin. Le mois d'août connaît le débit moyen le plus faible sur la période de mesures à disposition à la station de Pomet.

Le tableau suivant donne les coefficients de débits moyens obtenus sur toute la période de simulation (34 années). Un coefficient de 0,14 indique que l'on peut s'attendre à ce que les débits du mois correspondant soient de 0,14 x le module de l'année.

Coefficients mensuels moyens	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
<b>3 Grand Buëch amont</b>	0,97	0,93	1,42	1,68	1,78	0,94	0,42	0,23	0,33	1,01	1,22	1,06
<b>5 petit Buëch à Veynes</b>	0,96	0,88	1,41	1,75	1,81	0,96	0,43	0,21	0,34	0,97	1,23	1,05
<b>7 petit Buëch à Veynes</b>	0,95	0,89	1,43	1,74	1,80	0,95	0,42	0,21	0,35	0,97	1,23	1,05
<b>12 Chauranne</b>	1,38	1,29	1,34	1,31	1,00	0,43	0,14	0,09	0,36	1,39	1,70	1,58
<b>13 Buëch</b>	0,97	0,93	1,42	1,68	1,78	0,94	0,42	0,23	0,33	1,01	1,22	1,06
<b>14</b>	0,97	0,90	1,42	1,72	1,77	0,95	0,42	0,21	0,34	0,98	1,24	1,07
<b>15</b>	0,95	0,89	1,48	1,78	1,80	0,99	0,45	0,24	0,41	1,13	1,44	1,11
<b>17 – Aiguebelle</b>	1,82	1,65	1,09	1,03	1,01	0,53	0,17	0,11	0,39	1,61	1,98	1,85
<b>19 – Blaisance</b>	1,86	1,78	1,28	1,18	1,04	0,50	0,16	0,10	0,21	1,15	1,87	1,90

Tableau 1 Coefficients de débits mensuels moyens (inférieurs à 0,8 sur fond orange)

*Nota : La période d'étiage, est dépendante de la pluviométrie et des recharges des nappes souterraines des mois, voire des années précédentes. Aussi, selon les conditions antérieures, on peut avoir une faible hydraulicité dès le mois de juin, qui s'étend en automne si les remontées cévenoles se font attendre.*



## 5.2 Fréquence des mois les plus secs

- Sur le Petit Buëch (à Veynes), les trois mois estivaux regroupent plus de 85 % des débits minima mensuels les plus faibles, avec 77 % pour les seuls mois d'août et de septembre.
- Sur le Buëch (à Serres), les trois mois estivaux regroupent plus de 80 % des débits minima mensuels les plus faibles, avec 77 % pour les seuls mois d'août et de septembre. À noter que plus de 10 % des étiages se produisent en octobre (étiages se produisant lors d'un prolongement du déficit hydrique lié à un décalage des pluies automnales).
- Sur la Méouge, les trois mois estivaux regroupent près de 96.4 % des débits minimums mensuels. Les débits mensuels minimaux sont plutôt centrés sur les mois d'août et de Septembre. L'étiage de l'année 2010 a toutefois été constaté en octobre.

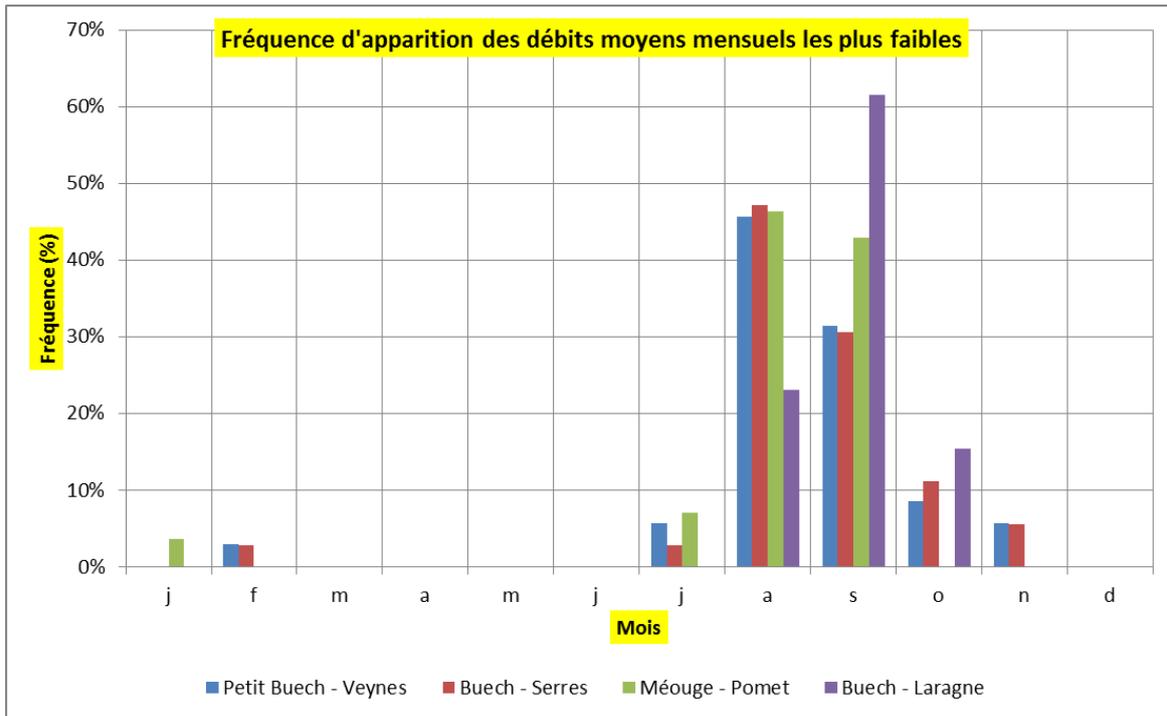


Figure 5-5 : Fréquence d'apparition des débits moyens mensuels les plus bas

## 6 Les campagnes de mesure à l'étiage

Les eaux du Buëch sont depuis longtemps exploitées pour l'hydroélectricité (nombreuses usines présentes dès les années 1910 ; le canal de Ribiers en aval pouvait détourner des débits de 1.7 m<sup>3</sup>/s les 24-25 juillet 1979) et pour l'irrigation gravitaire (le secteur aval était avant la mise en eau du barrage de Saint Sauveur alimenté par des prises d'eau gravitaire). Une note de la SCP<sup>2</sup> concluait qu'un « *volume d'environ 6 m<sup>3</sup>/s peut-être dérivé du Buëch dont la moitié est restituée directement à la rivière, et dont l'autre moitié est effectivement utilisée soit pour l'alimentation en eau des plantes, soit par infiltration pour recharger la nappe* ».

Ainsi les perturbations non cessées d'évoluer dans le temps, d'autre part des débits très bas en aval ont pu être constatés par le passé. La campagne réalisée par EDF en septembre 1978 en atteste, avec un débit seulement de 1.25 m<sup>3</sup>/s en sortie du bassin versant du Buëch, soit un débit spécifique inférieur à 1 l/s/km<sup>2</sup> pour une superficie de plus de 1400 km<sup>2</sup>.

Section de la mesure	Débit (m <sup>3</sup> /s)	Observations
Les Chambons	1,23	station de jaugeage EDF-DTG sur l'ancien barrage-aval confluence Grand et Petit Buëch
Serres	0,91	pont de la RN 75 dans Serres canal usinier Rive gauche
Eyguians	1,28	Pont d'Eyguians
Laragne	<b>0,645</b>	Pont de la RN 542
Ribiers	0,712	Pont de la D 122
Sisteron	1,25	200 m environ en amont de la restitution de l'usine de SISTERON

Tableau 6-1 : Campagne d'étiage de septembre 1978 (source : Direction de la Production et du Transport – Service de la Production Hydraulique)

Plusieurs campagnes de mesure ont pu être mobilisées :

Producteur	Date
SMIGIBA	Mesures de contrôle des débits pour l'étalonnage des stations hydrométriques.
ONEMA	Mesures ponctuelles de 2002 à aujourd'hui
CG 05	Campagne d'étiage du 27/07/2004
Brigitte Lambey	Mesures ponctuelles aux points stratégiques de référence en août 2010.
R&D 2011	Mesures ponctuelles réalisées sur 8 jours en août 2011.

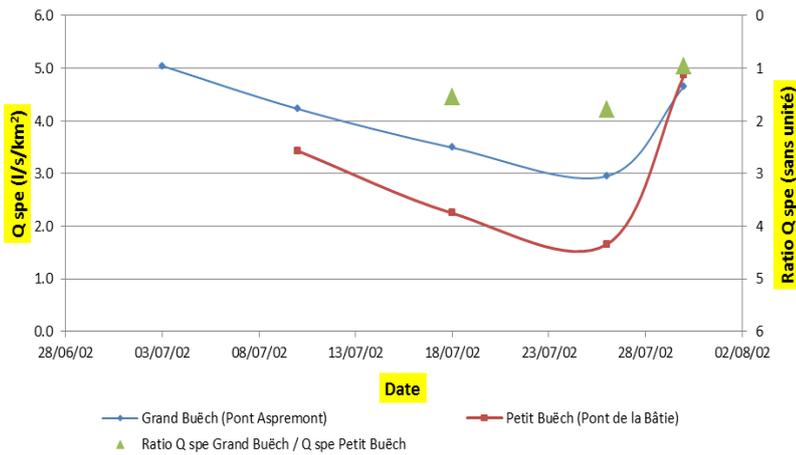
*Nota : Les campagnes de jaugeage sont analysées par année à partir d'une part d'une représentation en plan et d'autre part d'une représentation en long.*

### 6.1 Mesures ponctuelles

Les services de la police de l'eau ont réalisés au cours des années des jaugeages de contrôle. Ces données font l'objet d'une exploitation pour dégager quelques caractéristiques à l'étiage.

<sup>2</sup> Utilisations actuelles de l'eau du Buëch / Incidences du Projet EDF de dérivation du Buëch et propositions de rétablissement - août 77

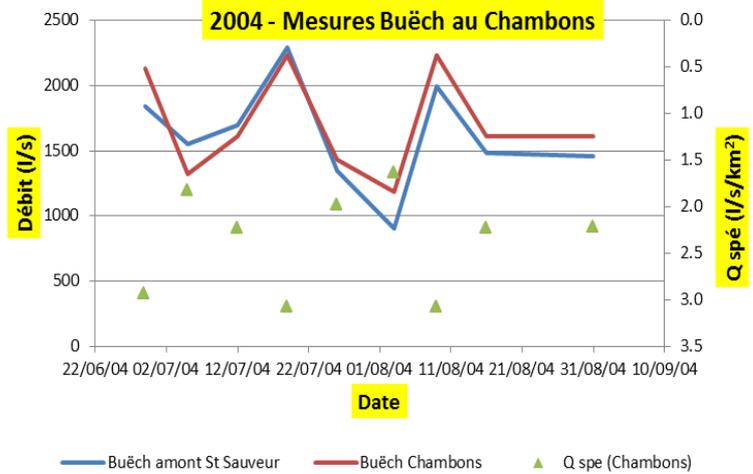
2002



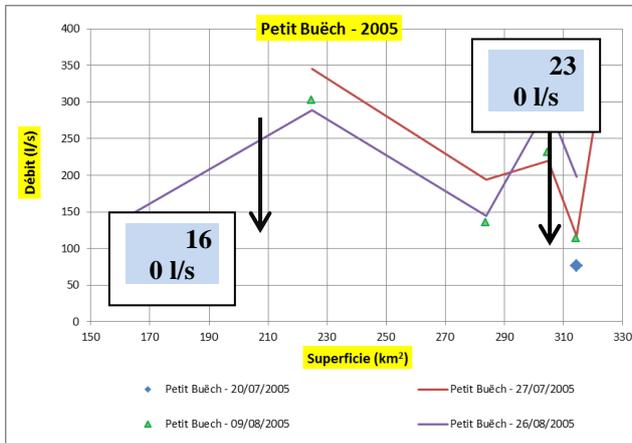
Les mesures réalisées au cours du mois de juillet 2002, montrent une contribution du Petit Buëch moins importante, ratio proche de 2 entre  $Q_{\text{Grand Buëch}}$  et  $Q_{\text{Petit Buëch}}$  pour les plus bas débits mesurés.

2004

Les mesures réalisées au cours de l'été 2004 à la station des Chambons, correspondent à un débit spécifique compris entre 1,5 et 3 l/s/km².



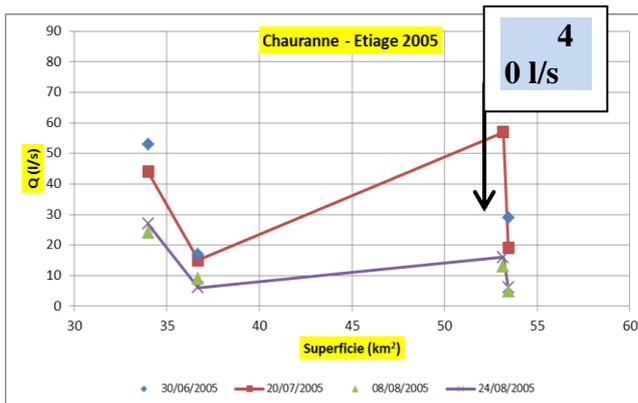
2005 (page suivante)



Les relevés réalisés en 2005 montrent clairement les influences des prélèvements gravitaires et des retours d'irrigation sur le profil d'étiage du Petit Buëch.

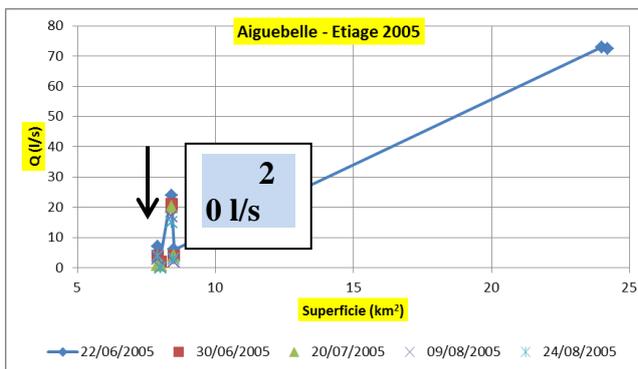
*Nota : Sont également figurés sur le graphique ci-contre les influences moyennes (fourchette haute et basse, fonction du coefficient de retour pour l'irrigation gravitaire – cf. rapport phase 2).*

Il est intéressant de constater que les variations du profil sont comprises entre 160 à 230 l/s, contre une influence moyenne (fourchette basse) comprise entre 40 l/s (en amont) à 880 l/s en aval.



*Nota : des débits très bas ont été mesurés le 17/08/2005 :*

- Buëch au pont de Pierre : 986 l/s (un débit moyen journalier de 1 300 l/s était annoncé à la station des Chambons),
- Grand Buëch à l'aval d'Aspremont : 197 l/s,
- Petit Buëch au pont de Chabestan : 186 l/s.

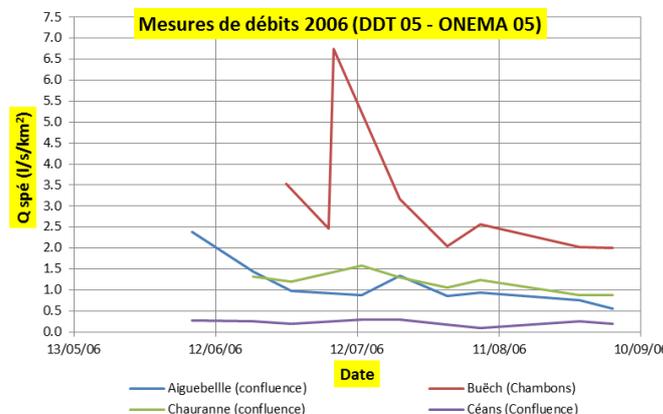


**2006**

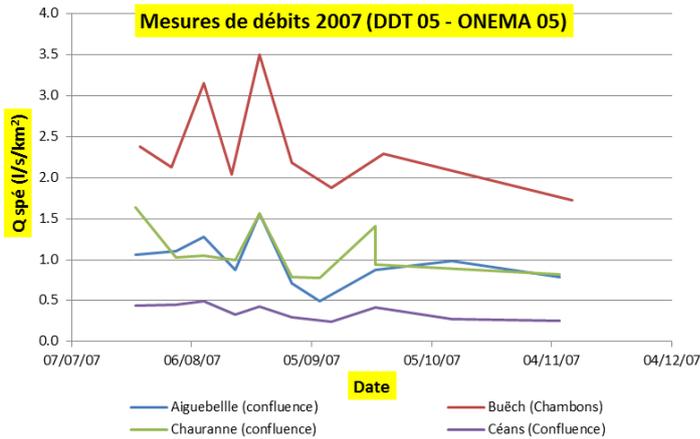
Le débit spécifique le plus bas constaté à la station des Chambons est de 2 m³/s/km².

On remarque que les affluents (Aiguebelle et Chauranne) se situent dans des gammes de débit spécifiques assez proches entre 1.0 et 1.5 m³/s/km² (sauf pour la mesure du 04/09/2006 avec un débit spécifique sur la Chauranne de l'ordre de 0.6 m³/s/km²).

Le Céans apparaît moins productif avec un débit spécifique compris entre 0.1 à 0.3 m³/s/km².



2007



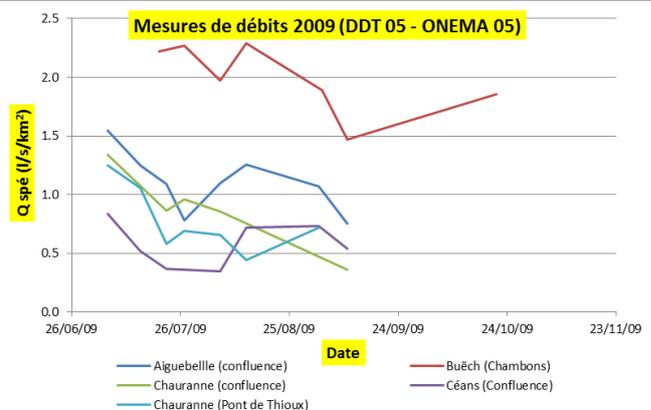
Le débit spécifique le plus bas constaté au Chambons est inférieur à  $2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ , avec  $1.25 \text{ m}^3/\text{s}$  le 09/11/2007 (soit  $1.7 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ).

La Chauranne et l'Aiguebelle sont à nouveau dans des gammes de débits spécifiques comparables, compris entre  $0.8$  et  $1.6 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ .

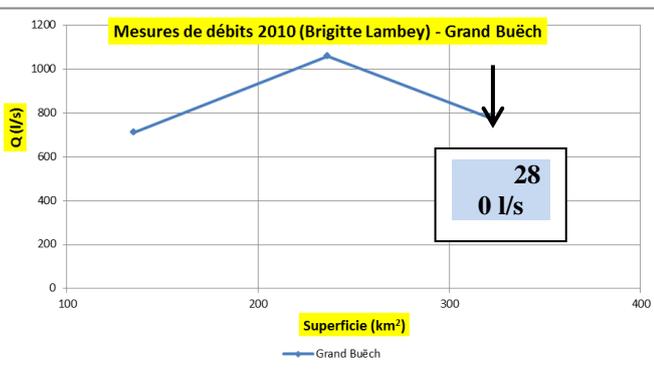
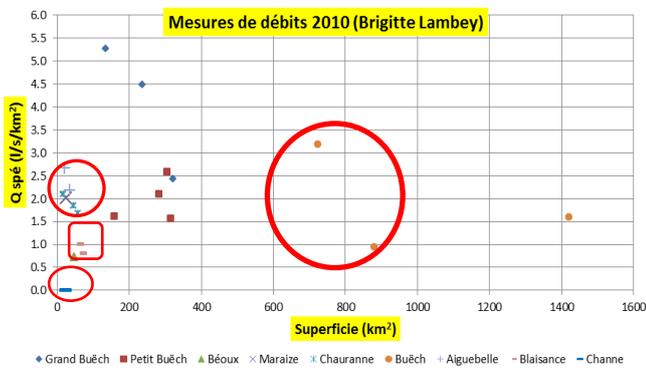
Le Céans apparaît également moins productif avec un débit spécifique compris entre  $0.25$  et  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ .

2009

Le débit spécifique le plus bas constaté à la station des Chambons est de  $1.5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$  (1 064 l/s le 10/09/2009).



2010



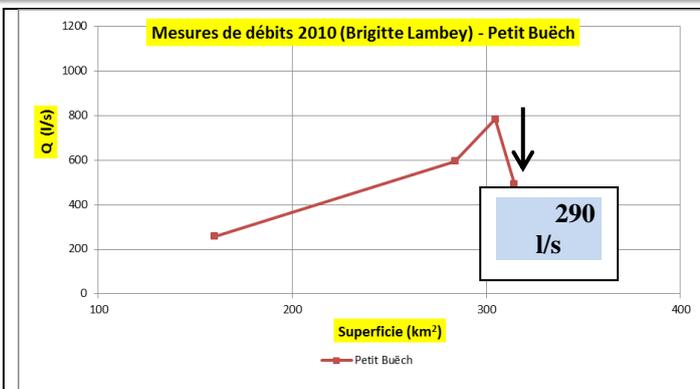
*Nota : les mesures analysées ont été réalisées du 24/08/2010 au 28/08/2010.*

Un débit de 829 l/s a été mesuré sur le Buëch le 27/08/2010 en aval du barrage de Saint Sauveur (débit spécifique de  $1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ). La mesure réalisée en aval (+1 433 l/s) laisse supposer qu'il y a eu une variation du débit lâché au niveau du barrage dans la journée du 27/08/2010. En effet, les apports des affluents en aval du barrage ne permettent pas d'expliquer à eux seuls l'augmentation de débit (361 l/s en débit moyen journalier à la station de Pommet sur la Méouge le 27/08/2010).

Les mesures réalisées sur les affluents permettent de dégager des niveaux de productivité variables :

- Entre  $1,8$  et  $2,2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$  : Maraize, Chauranne, Blaisance et Aiguebelle.
- Entre  $0,7$  et  $1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$  : Béoux et Blaisance.
- $0,1/\text{s}/\text{km}^2$  pour le Channe.

Les débits spécifiques en sortie des bassins versants du Grand Buëch et du Petit Buëch sont



respectivement de  $2,4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$  et de  $1,6 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ .

Les débits spécifiques sur l'amont du bassin versant du Grand Buëch sont prononcés avec des valeurs supérieures à  $4,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ . La mesure réalisée à Aspremont est influencée par le prélèvement de l'ASA des Sétives (entre 92 à 128 l/s d'après les relevés de l'année 2010).

*Nota : la mesure sur le Grand Buëch n'a pas été réalisée le même jour, il peut donc y avoir des conditions d'écoulement ou d'influence différentes.*

La baisse de débit constaté (290 l/s) sur le Petit Buëch entre la Beaumette et le Pont de Chabestan est liée aux prélèvements de l'ASA du grand canal de la Bâtie et de Subteyte. Cette valeur est cohérente avec les valeurs à disposition (89 l/s pour le Canal de Subteyte et entre 100 à 230 l/s pour le Grand canal de la Bâtie).

**Campagne de mesures de débit (du 24/08/2010 au 27/08/2010)**

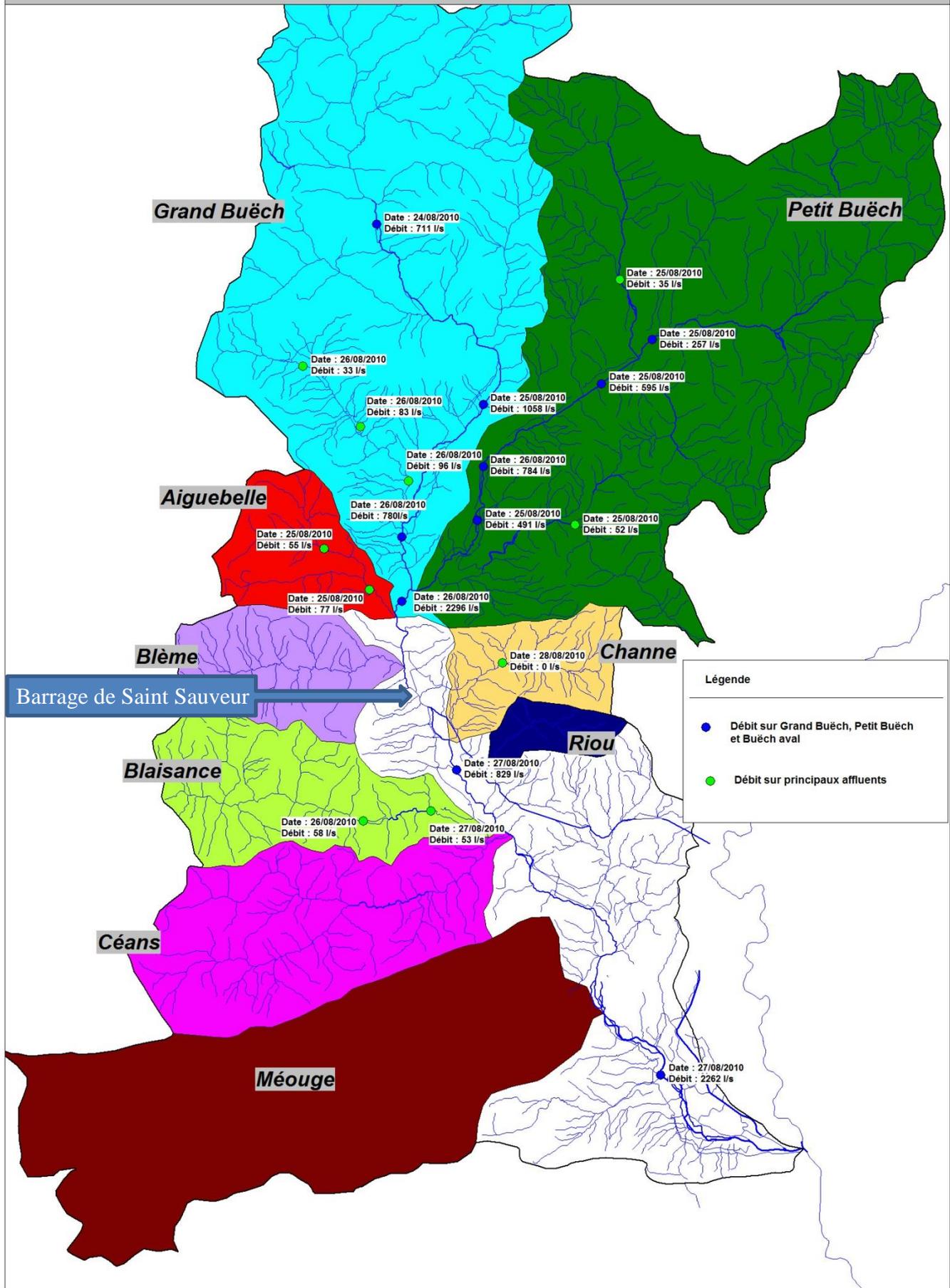


Figure 6-2 : Campagne de mesures des débits du 24/08 au 27/08/2010

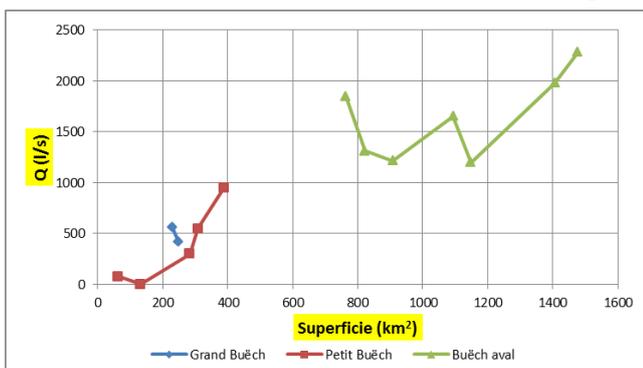
## 6.2 Campagne de mesures du conseil général des Hautes Alpes

Dans le cadre de l'étude d'incidence réalisée par la chambre d'agriculture des Hautes-Alpes (CA 05, par Brigitte Lambey, des mesures de débits relatifs à une campagne d'étiage ont réalisées le 27/07/2004 par le conseil général des Hautes-Alpes (CG 05). Ces données ont été repositionnées en fonction des indices de localisation, et peuvent donc ne pas être localisées aux lieux exacts des mesures. Toutefois, cette imprécision n'entache pas les évaluations de débits spécifiques réalisées par la suite.

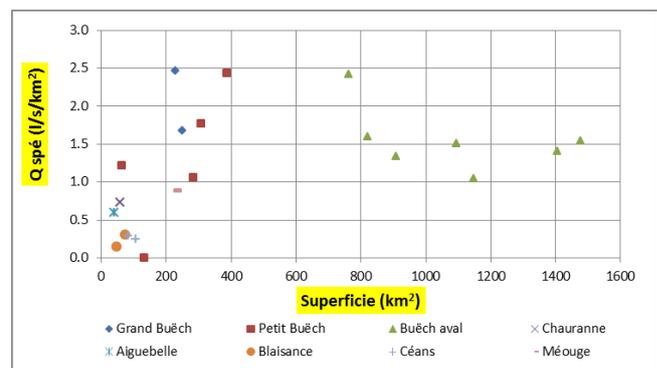
Cours d'eau	Localisation	Débit (l/s)	Superficie (km <sup>2</sup> )	Débit spécifique (l/s/km <sup>2</sup> )
Grand Buëch	Pont de la Dame	564	228,46	2,5
Grand Buëch	amont Aspremont	418	248,88	1,7
Buëch	amont de Serres	1 846	763,28	2,4
Buëch	aval de Serres	1 313	821,61	1,6
Buëch	amont Blaisance	1 217	908	1,3
Buëch	aval Céans	1 652	1093	1,5
Buëch	aval Laragne	1 200	1148	1,0
Buëch	aval Méouge	1 979	1406	1,4
Buëch	amont confluence	2 283	1477	1,5
Petit Buëch	pont de la Barque	946	63,36	1,2
Petit Buëch	pont de Chabestan	546	131,9	0,0
Petit Buëch	pont des Savoyons	299	283,8	1,1
Petit Buëch	amont Sigouste	0	308	1,8
Petit Buëch	amont de la Roche	77	388,1	2,4
Chauranne	pont RD227	42	58	0,7
Aiguebelle	amont Confluence Buëch	23	39,58	0,6
Blaisance	pont de Chanousse	7	46,69	0,1
Blaisance	Lagrand	22	73,23	0,3
Céans	pont du Moulin	23	81,5	0,3
Céans	pont de Saléon	25	105,2	0,2
Méouge	pont RD942	199	224,7	0,9

Tableau 6-3 : Campagne d'étiage du 27/07/2004

Nota : une mesure de 3 452 l/s a été mesurée en aval du barrage de Saint-Sauveur, mais n'est pas cohérente avec les autres valeurs et n'a donc pas été retenue.



Le débit mesuré au Pont de la Barque sur le Petit Buëch représente 50 % du débit mesuré au Chambons. Les débits mesurés en amont et en aval de Serres, montrent une baisse de l'ordre de 530 l/s, liée probablement pour partie aux prélèvements de l'ASA de Guire et de Fontainebleau (prélèvement maximum de l'ordre de 350 l/s). Entre l'aval de la confluence avec le Céans et l'aval de Laragne, une diminution de débit de 435 l/s est observé, sans pouvoir relier cette mesure à des prélèvements particuliers.



Le débit spécifique en sortie du bassin versant du Buëch est de l'ordre de 1.5 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>.

On peut classer les cours d'eau analysés en 3 catégories :  
Débits spécifiques entre **1 et 2.5 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>** : Grand Buëch, Petit Buëch et Buëch aval,  
Débits spécifiques compris entre **0.5 et 1 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>** : Méouge, Chauranne et Aiguebelle,  
Débits spécifiques compris entre **0 et 0.5 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>** : Blaisance, Céans et l'amont du Petit Buëch.

**Campagne de mesures de débit - 27/07/2004**

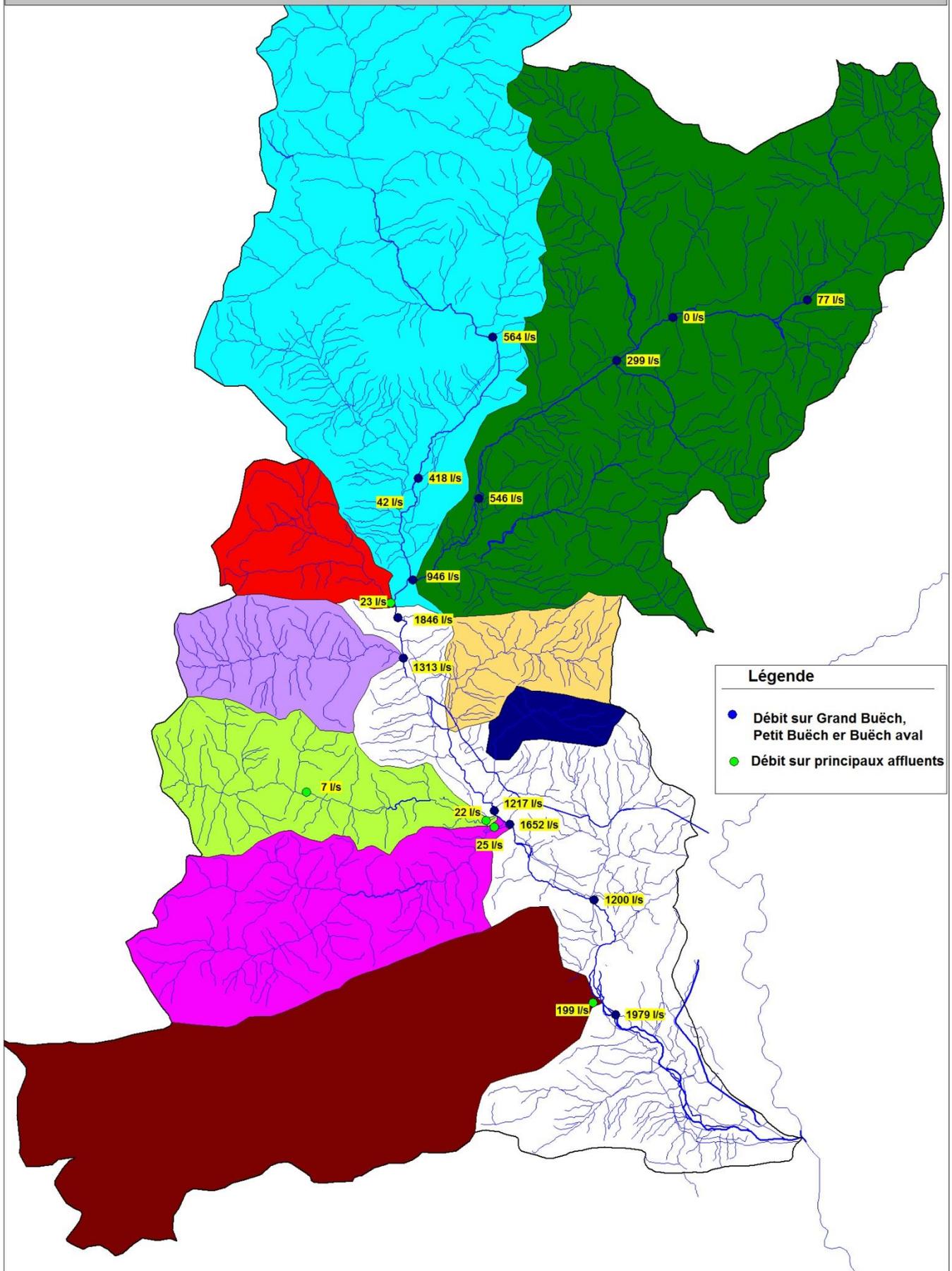


Figure 6-4 : Campagne de mesures des débits du 27/07/2004

### 6.3 Campagne R&D août 2011

Les mesures ont été réalisées du 09 au 12 août 2011, exception faite de deux mesures (à l'exutoire du bassin versant du Buëch et amont de la confluence avec la Méouge) réalisées la semaine suivante, le 16/08/2011. *La mesure réalisée sur le Buëch en amont de la Méouge n'a pas été conservée par la suite.*

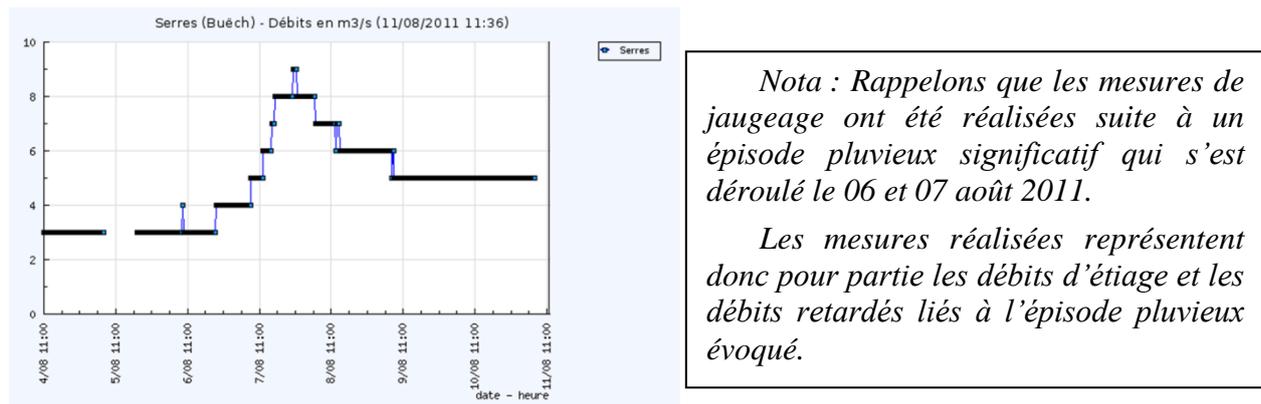


Figure 6-5 : Extrait de l'hydrogramme sur le Buëch du 11/08/2011

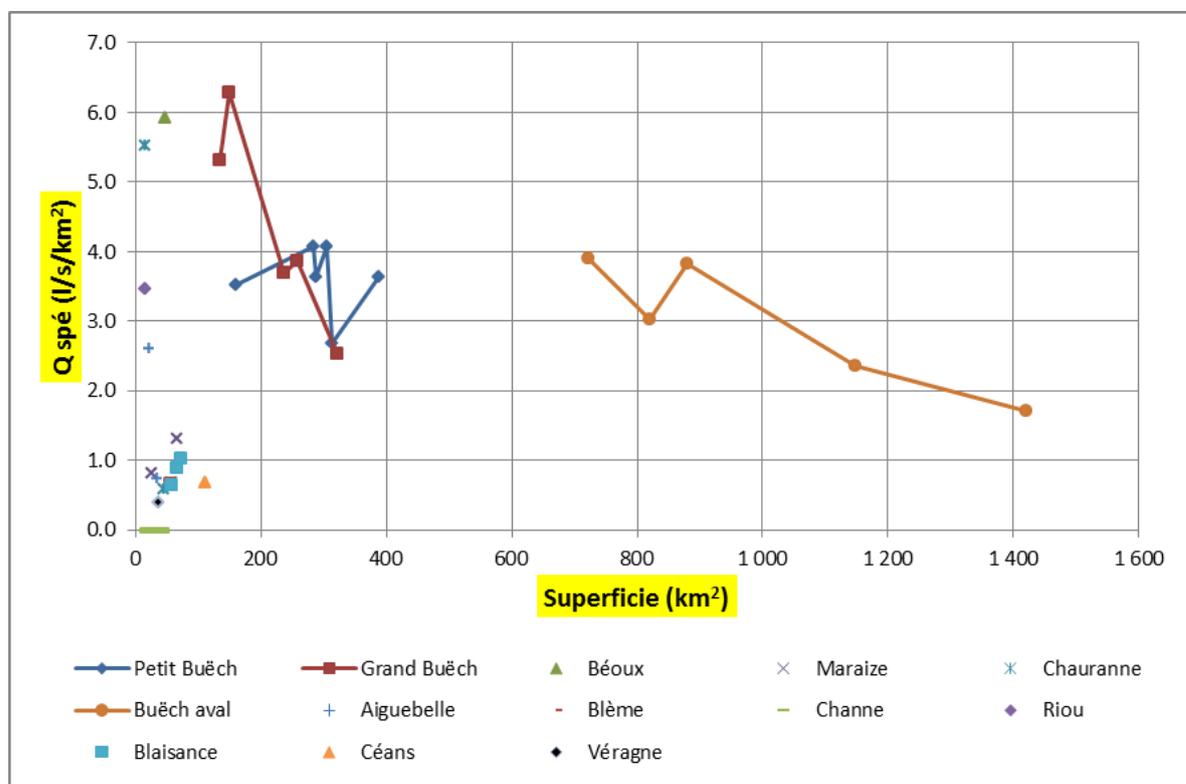
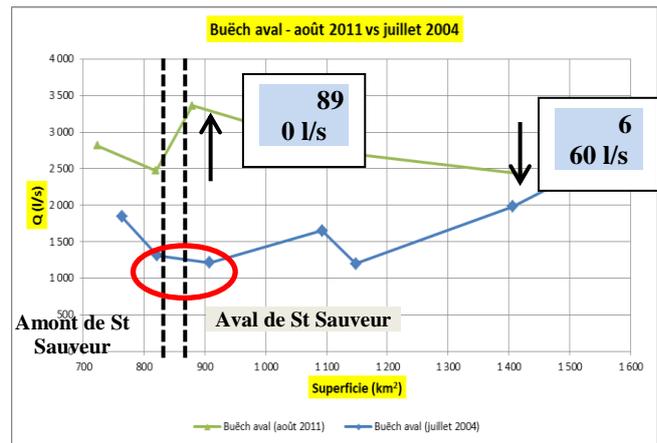
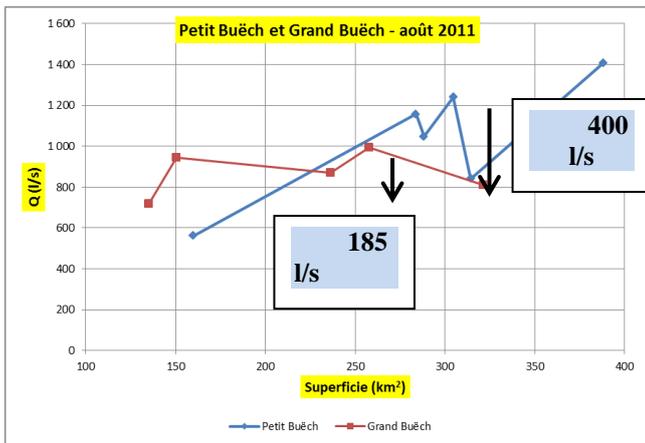


Figure 6-6 : Profil en long de la campagne d'étiage d'août 2011

#### Faits remarquables :

- Les débits spécifiques sur le Petit Buëch apparaissent relativement élevés entre 2,7 et 4 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup> sur l'ensemble du linéaire. Or, le débit spécifique à l'exutoire du Petit Buëch est de 3,6 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>.
- Les débits spécifiques sur l'amont du bassin versant du Grand Buëch sont supérieurs à 5 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>. Le débit spécifique au point stratégique n°3 serait de l'ordre de 2,5 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>. Cette mesure est sous-influence directe de la prise d'eau du canal des Sétives (181 l/s mesuré le 17/08/2011).
- Des débits spécifiques importants (supérieurs à 5 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>) sont constatés sur la Béoux et l'amont de la Chauranne.
- Les deux mesures réalisées sur le bassin de la Channe donnent un débit nul en milieu et sortie de bassin versant.
- Les mesures réalisées sur le Riou et la Veragne sont naturellement influencées par les ouvrages EDF (retenue du Riou et de Lazer). Ces mesures de 54 l/s (aval de la retenue du Riou) et 14 l/s

(exutoire de la Veragne) sont supérieures aux débits réservés respectivement de 20 l/s et de 1 l/s. On peut supposer qu'une partie du débit mesuré sur ces deux cours d'eau correspond soit à un écoulement retardé de l'évènement pluvieux du 07 et 08 août 2011, soit à une régulation des retenues Riou et de Lazer.



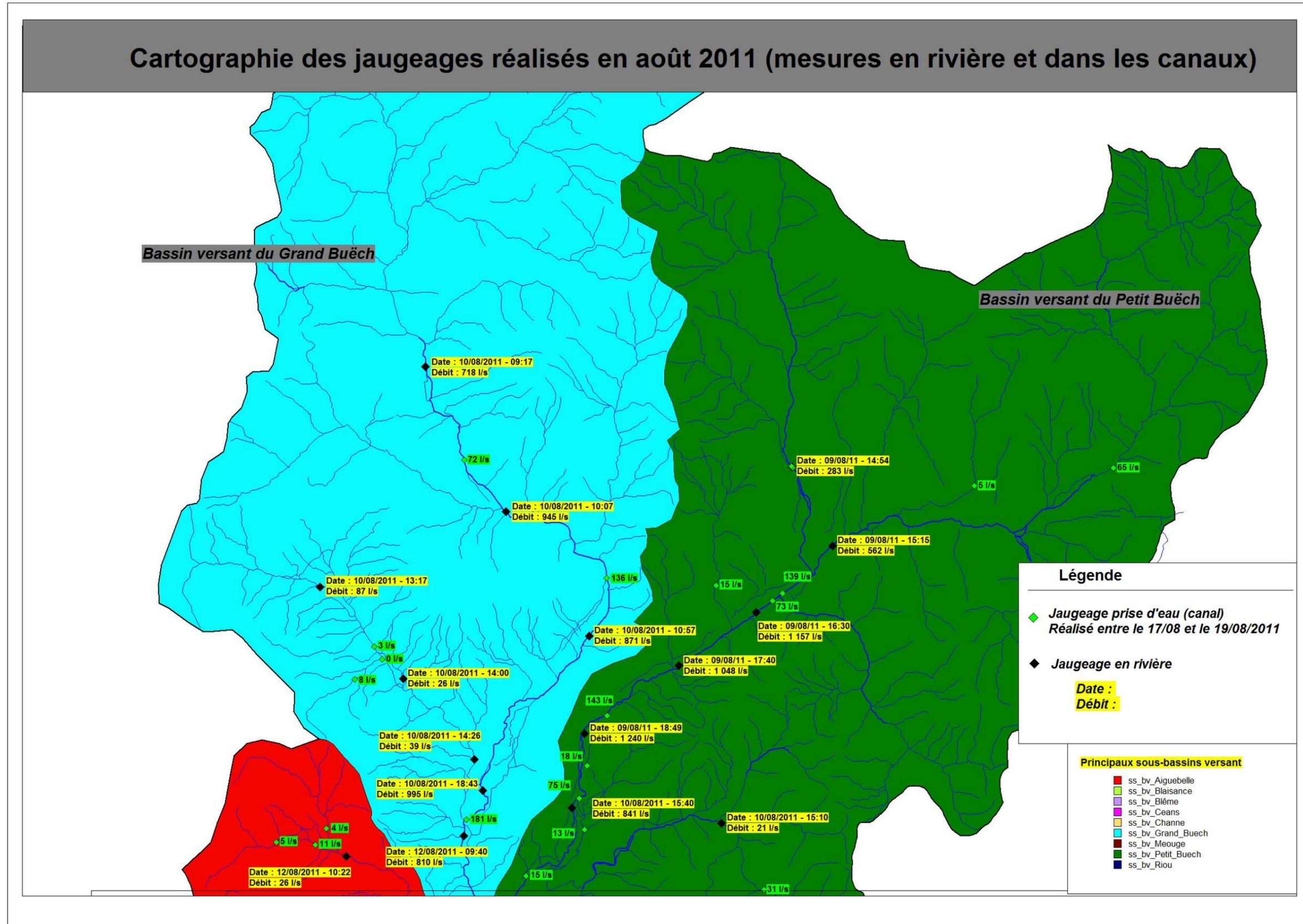
La baisse de débit constaté entre les points 6 et 7 d'environ 400 l/s est liée aux prélèvements des canaux de Subteyte, Champcroze et la Bâtie.

*Nota : Les mesures réalisées sur les prises d'eau et rejets ont été effectuées la semaine suivante et permettent de conclure à une influence de l'ordre de 182 l/s.*

Les mesures réalisées en amont et en aval du barrage de Saint Sauveur montrent un différentiel de l'ordre de +890 l/s entre l'aval et l'amont (débit réservé de 500 l/s).

Les baisses de débit importantes constatées en aval du barrage (mesures réalisés le 12/08 et le 16/08) sont probablement liées à une variation des débits déversés au niveau de Saint Sauveur (des déversements sont en effet indiqués dans les relevés de suivis du barrage de Saint Sauveur fournis par EDF).

Figure 6-7 : Campagne de jaugeage août 2011 (amont)



## Cartographie des jaugeages réalisés en août 2011 (mesures en rivière et dans les canaux)

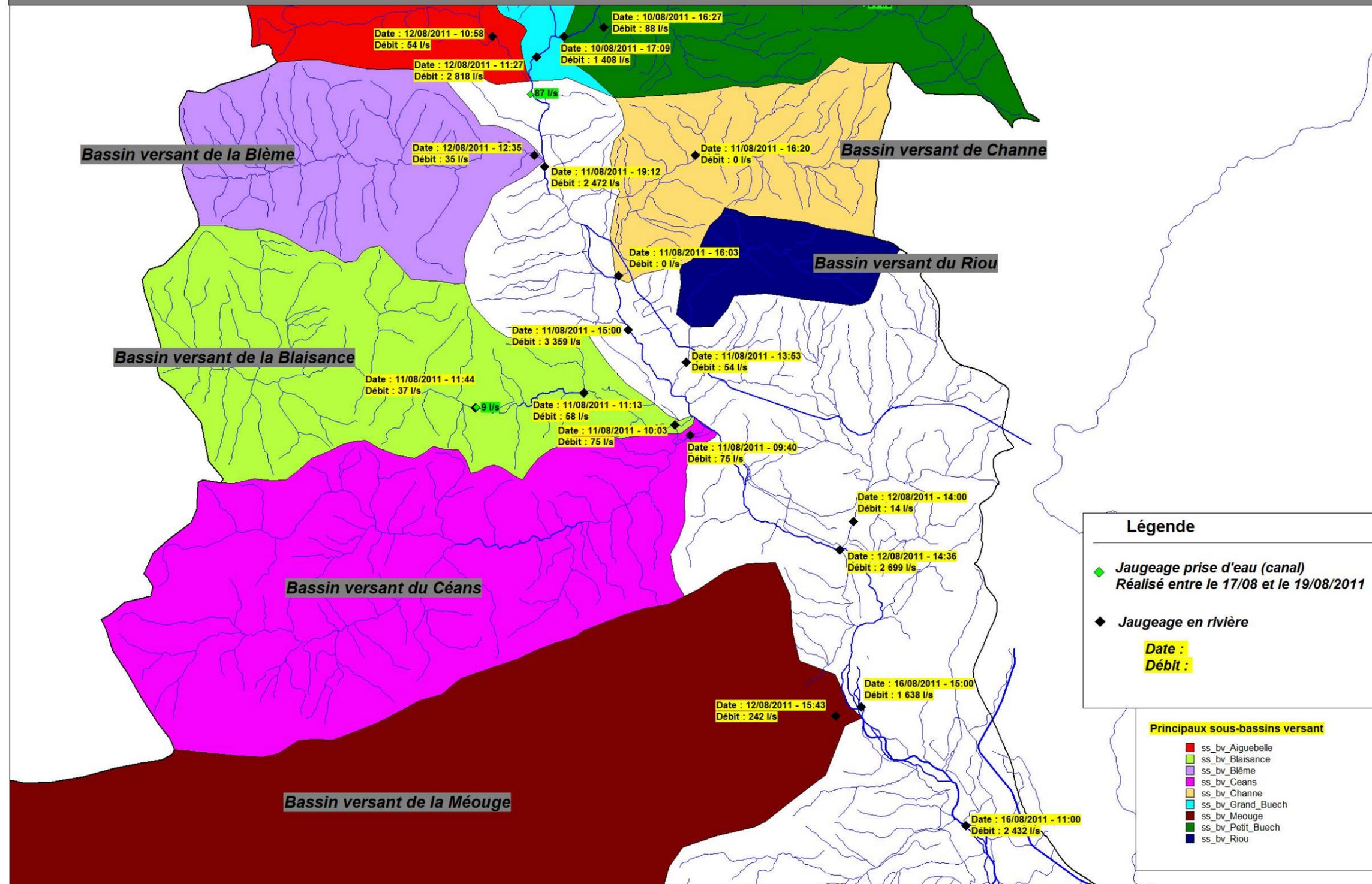


Figure 6-8 : Campagne de jaugeage août 2011 (aval)

## 7 Reconstitution de l'hydrologie non-influencée

### 7.1 Mise en place d'un modèle hydrologique global

Le choix a été fait de retenir le modèle du Cemagref GR4j, modèle hydrologique dit « global ». Les évolutions informatiques, notamment le développement depuis les années 90 des SIG ont favorisés l'émergence de modèles hydrologiques distribués. Les retours d'expérience sur l'emploi de ces modèles ont montré qu'ils n'apportaient pas forcément de meilleurs résultats, du fait de la nécessité de préciser un grand nombre de paramètres (souvent peu accessibles) ou difficiles à caler de manière objective. La pratique consiste en effet souvent à généraliser de manière assez globale les paramètres retenus.

Les modèles distribués sont appropriés pour de petits bassins versants, pour lesquels tous les paramètres nécessaires peuvent être déterminés avec une bonne précision, selon un maillage inférieur à 100 m.

L'utilisation d'un modèle global n'a pas pour autant limité l'approche spatialisée, à la fois pour la prise en compte des données météorologiques d'entrée (spécification pour chaque sous-bassin versant analysé), des mesures disponibles et caractéristiques supposées de chaque sous-bassin.

Le schéma de principe ci-dessous illustre le procédé de mise en œuvre d'un modèle hydrologique GR4J.

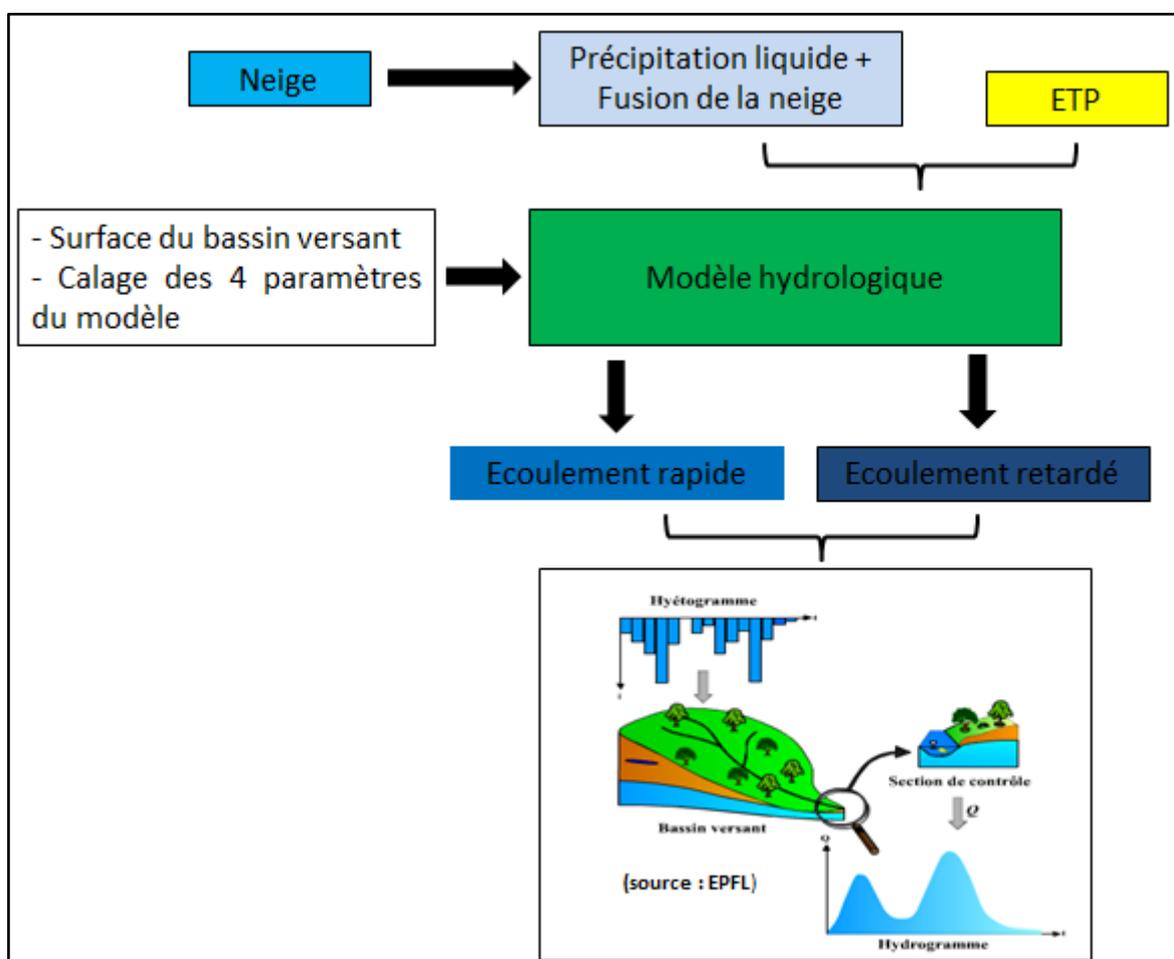


Figure 7-1 : Schéma de principe du modèle hydrologique mis en œuvre

## 7.2 Bassin versant du Petit Buëch

Deux points de gestion sont présents sur le bassin versant du Petit Buëch :

- 5 à Veynes
- 7 en amont de la confluence avec le Maraize.

Deux stations hydrométriques ont été en exploitation sur le Petit Buëch, à Veynes (proche du point 5) et à la Bâtie (exutoire du bassin versant du Petit Buëch).

*Nota : Une station hydrométrique a été en exploitation quelques années sur la Sigouste. Aucun point de calcul n'est présent sur la Sigouste, toutefois au vu du contexte particulier de ce bassin versant (alimentation depuis le plateau de Bure par des réseaux karstiques), il a été jugé intéressant de proposer une analyse sur ce sous-bassin versant.*

Une station hydrométrique était également présente sur le bassin de la Maraize. Les chroniques et mesures disponibles n'ont pas été exploitées.

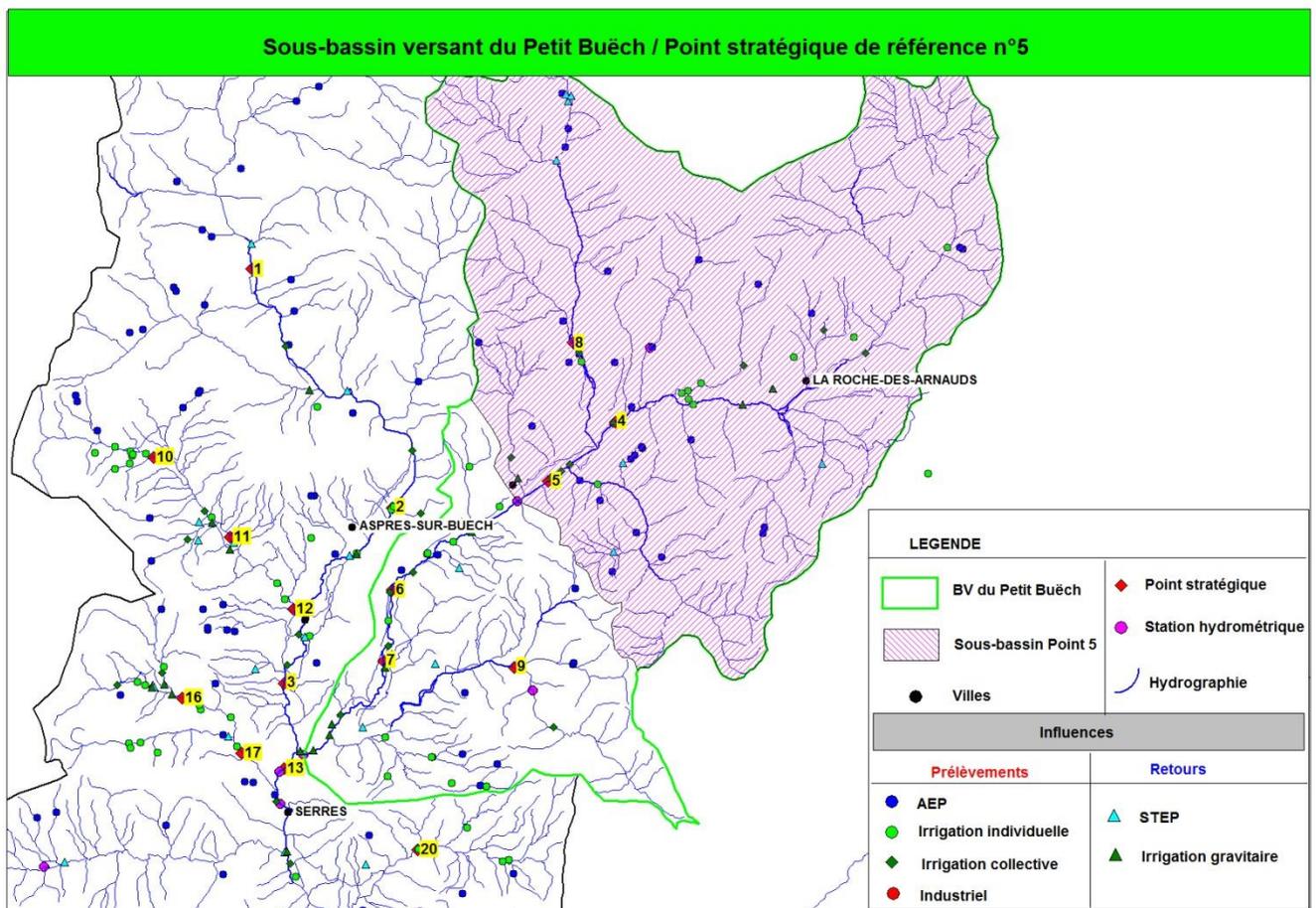


Figure 7-2 : Point stratégique de référence n°5

### 7.2.1 Stratégie de calcul

#### 7.2.1.1 Sous-bassin 5 Petit Buëch à Veynes (284 km<sup>2</sup>)

Le modèle est calibré sur la station de Veynes (X1025020) à 1,2 km en aval. Les contributions entre le point de gestion 5 et la station sont le Torrent de Courbelon et Torrent de Glaisette<sup>3</sup>. Nous faisons l'approximation que ces deux cours d'eau ne contribuent pas de façon significative aux débits d'étiages et aux courbes de tarissement observées au droit de la station.

<sup>3</sup>Le torrent de la Glaisette représente 9,3 km<sup>2</sup>, soit 3,27 % de la superficie du sous-bassin.

### 7.2.1.2 Sous-bassin 7 Petit Buëch (314 km<sup>2</sup>)

Compte tenu des points suivants :

- Les incertitudes liées aux mesures de débits par les stations, en particulier lors des étiages, sont importants. Caler le modèle sur la différence de deux stations distinctes cumule ces erreurs.
- Du fait que d'un point de vue hydrologique, il est difficile de considérer que les caractéristiques temporelles des chaque sous-bassin soient égales (temps de concentration).
- Le point 7 est situé à 9 km de la station de Veynes (X1025020) et 5km de la station de la Bâtie (X1025010) qui reçoit en amont les eaux du Maraize, et d'adoux de façon importante (débits supérieurs à 285 l/s) et mal définie.

Nous avons décidé de caler le modèle sur la station de Veynes, donc avec les paramètres du point 5 sur le petit Buëch, plutôt que sur la station de la Bâtie (avec soustraction des débits mesurés sur le Maraize). La contribution des adoux sur ce tronçon (entre 5 et 7) sont de l'ordre de 180 l/s et sont mal connus.

## 7.2.2 Calage et performances des modèles hydrologiques

### 7.2.2.1 Petit Buëch

#### 7.2.2.1.1 Calage à la station hydrométrique de Veynes (point 5)

Le modèle hydrologique global mis en place sur le Petit Buëch et a été calé sur la station de Veynes. L'écart entre les séries simulées et désinfluencées est minimisé à l'étiage pour le jeu de paramètres suivants :

Paramètres du modèle	
x1: Capacité réservoir de production (mm)	395,75
x2: Paramètre d'échange (mm)	-2,26
x3: Capacité réservoir de routage (mm)	72,81
x4: Délai (jours)	1,64

Les performances ont ensuite été analysées à partir de plusieurs critères :

- Comparaison avec des mesures ponctuelles influencées et désinfluencées (désinfluence des mesures ponctuelles à partir des perturbations reconstituées sur 2003 à 2009),
- Comparaison avec les débits moyens mensuels sur la période d'exploitation de la station,
- Comparaison avec le module sur la période d'exploitation.

Les écarts entre les débits mensuels naturels (issus de la simulation) et les débits mensuels mesurés (influencés) est de l'ordre de 100 l/s pour la période 1977 à 1993 en août.

### 7.2.2.2 Les influences

Les influences sont considérées en moyenne mensuelles constantes sur toute la période de simulation. Une synthèse est présentée dans le tableau ci-dessous.

#### 7.2.2.3 Synthèse des résultats pour le petit Buëch

Les débits sont notés « Q » et leurs définitions sont données à la page 1.

5 – Petit Buëch à Veynes												
Débits naturels (m <sup>3</sup> /s)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Quinquennale sèche</b>	1,667	2,010	3,242	3,839	4,297	2,21	0,9224	0,479	0,532	0,9268	1,422	1,701
<b>Mensuel moyen</b>	4,204	3,762	6,147	7,579	7,977	4,177	1,922	0,973	1,687	4,723	6,118	4,841

Coefficient mensuel	96% 43% 21% 34%											
<b>QMNA5</b>	<b>0,371</b>	<b>Module</b>	<b>4,63</b>	<b>Q50</b>	<b>2,773</b>	<b>VCN3(5)</b>	<b>0,284</b>	<b>VCN10(5)</b>	<b>0,299</b>	<b>DB (l/s)</b>	<b>500 – 600</b>	<b>280 – 330</b>

influences (l/s) = Restitutions – prélèvements avec 84 % de restitution en gravitaire

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Influence moyenne</b>	-43	-52	-44	-44	-84	-236	-432	-233	-100	-64	-42	-43

## 7 Petit Buëch, amont du Maraize

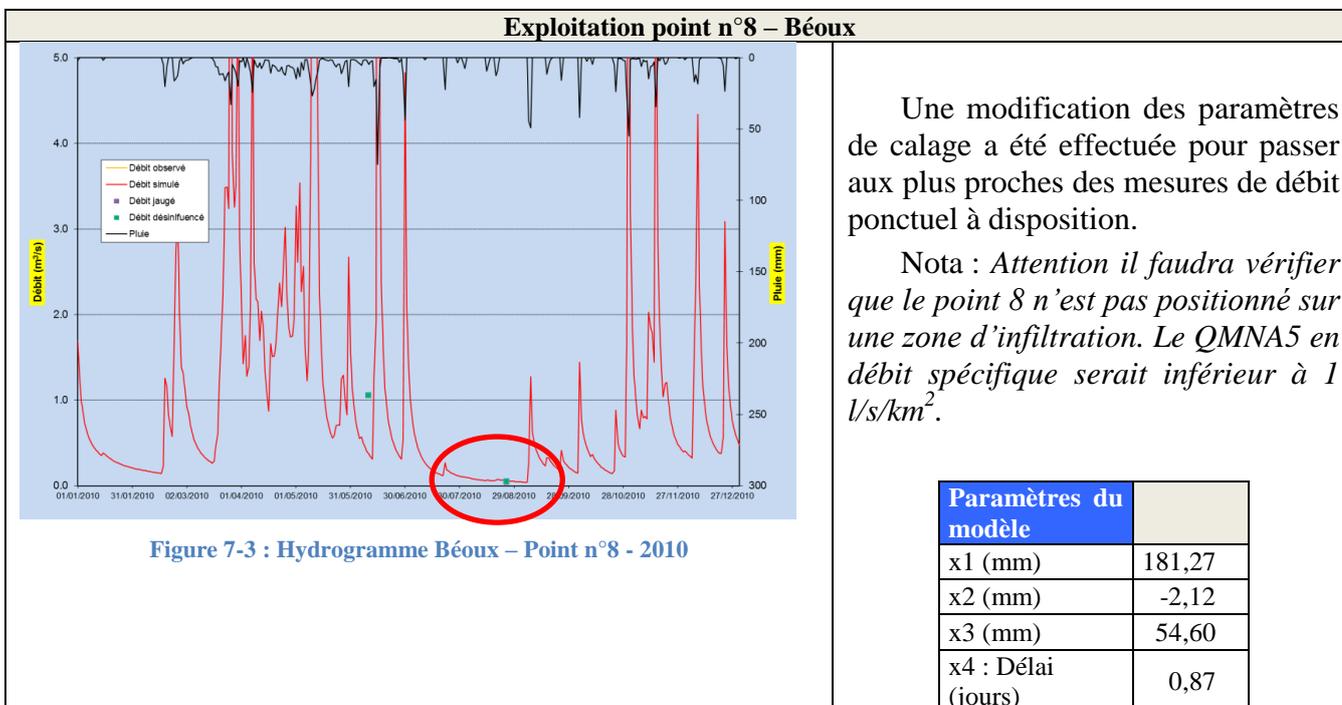
Débit naturel (m3/s)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Quinquennale sèche</b>	1,843	2,232	3,587	4,248	4,706	2,414	1,006	0,531	0,589	1,033	1,571	1,903
<b>Mensuel moyen</b>	4,625	4,227	6,874	8,301	8,765	4,57	2,099	1,062	1,901	5,236	6,747	5,347
Coefficient mensuel	42% 21% 35%											
<b>QMNA5</b>	<b>0,405</b>	<b>Module</b>	<b>5,11</b>	<b>Q50</b>	<b>3,061</b>	<b>VCN3(5)</b>	<b>0,316</b>	<b>VCN10(5)</b>	<b>0,333</b>	<b>DB (l/s)</b>	<b>520 – 620</b>	<b>300 – 350</b>

influences (l/s) = Restitutions – prélèvements – 84 % de restitution en gravitaire

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Influence moyenne</b>	-39	-47	-40	-40	-247	-606	-881	-401	-178	-125	-38	-40

### 7.2.2.4 Béoux

Une analyse et l'application d'un modèle hydrologique à été réalisé sur le Béoux, bien qu'il ne constitue pas un point de gestion.



### 7.2.2.5 Maraize

Faute de disposer de chroniques enregistrées fiables à l'étiage au niveau de la station du Saix, les paramètres obtenus sur le bassin versant du Petit Buëch ont été appliqués. Rappelons au préalable que le débit de Maraize est influencé par le lac de Peyssier et le prélèvement de l'ASA de Maraize (prise d'eau de la Vierge), avec une autorisation datant de 1974 de 60 l/s de mai à septembre. Une campagne de contrôle réalisée en 1981 tendrait à confirmer ce niveau de prélèvement (amont de la prise d'eau pour irrigation : 80 l/s le 07/07/1981 et aval prise d'eau pour irrigation : 19 l/s le 07/07/1981). La mesure réalisée en août 2011 au niveau de la prise d'eau était de l'ordre de 30 l/s.

*Le lac de Peyssier dispose d'une capacité actuelle de 450 000 m<sup>3</sup>, ce stockage permettant pour partie d'assurer un débit ponctuel suffisant dans le cours d'eau pour alimenter la prise d'eau du canal de Maraize. Le débit réservé est de l'ordre de 8 l/s.*

Exploitation point n°9 (1981 et 2010) – Maraize

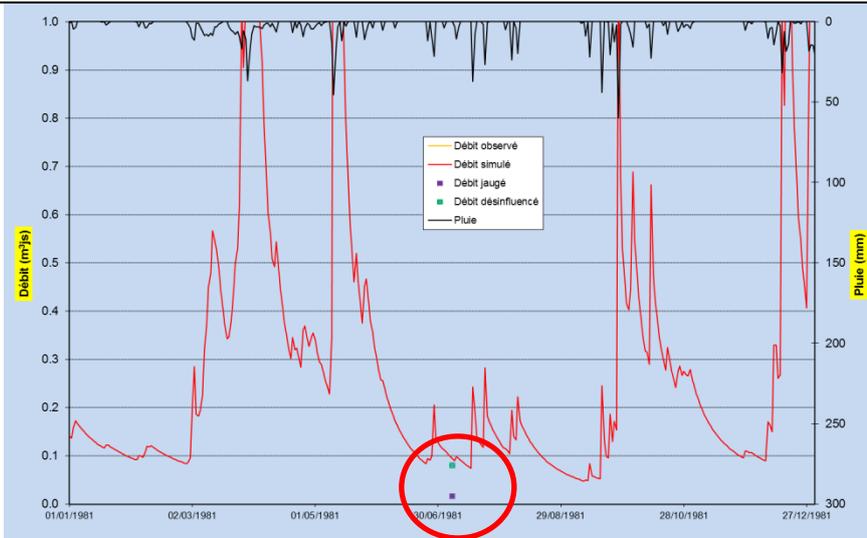


Figure 7-4 : Hydrogramme Maraize – Point n°9 – 1981

Les mesures de contrôle réalisées en juillet 1981, ont permis de d'évaluer un débit influencé de l'ordre de 16 l/s pour un prélèvement 60 l/s.

Les débits simulés pour l'année 2010 sont légèrement plus bas que le débit mesuré (peut-être n'y avait-il pas de prélèvements ?).

Avec le bassin de la Maraize, on touche de près la difficulté à fiabiliser des simulations sur bassins versants avec des débits d'étiage de quelques dizaines de litres secondes.

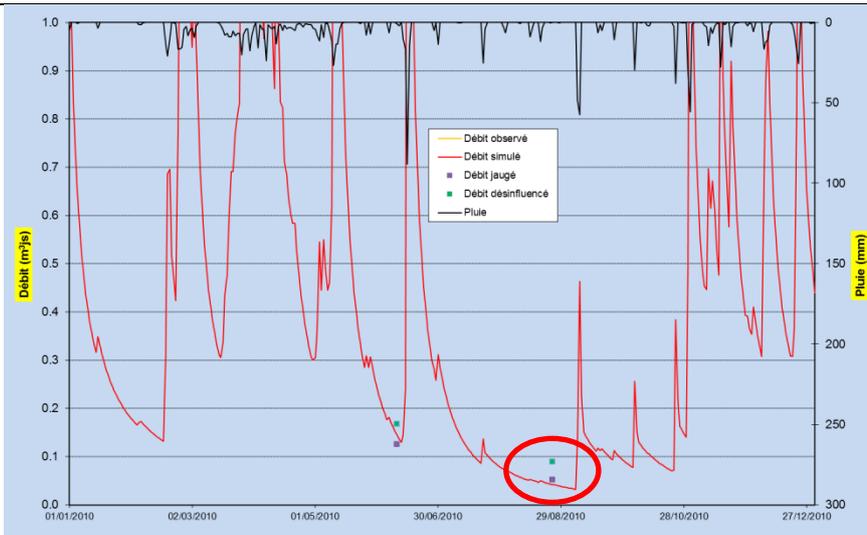
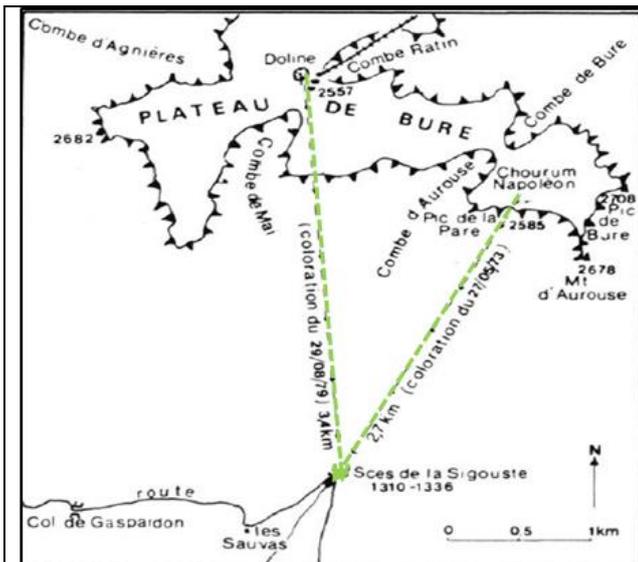


Figure 7-5 : Hydrogramme Maraize – Point n°9 – 2010

*Nota : A titre d'exemple, un calage du modèle hydrologique optimisé sur la valeur désinfluencée de 2010 conduirait à un QMNA5 de 37 l/s contre 21 l/s en l'état actuel.*

### 7.2.2.6 Sigouste

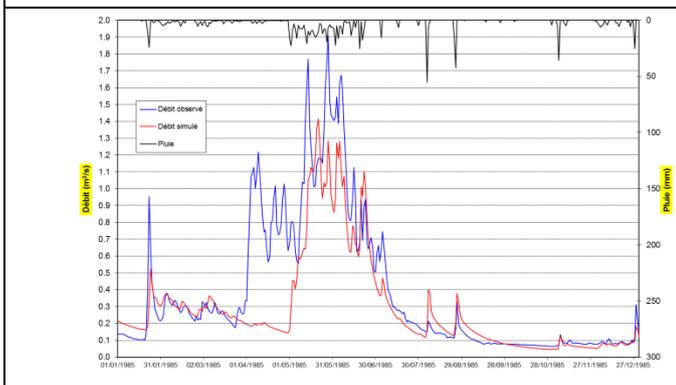
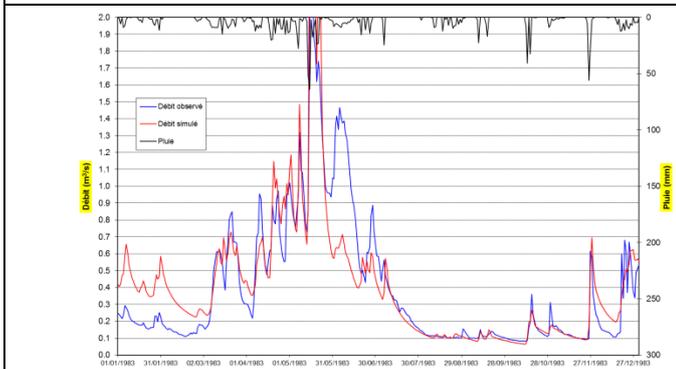
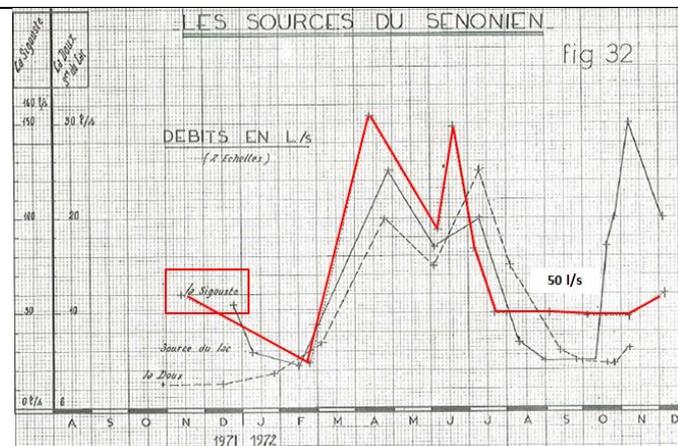


« Le Chourum Napoléon est en communication avec les sources de la Sigouste.

Une partie au moins du plateau de Bure est drainée vers le Sud, c'est-à-dire vers le bassin du Petit Buëch, et non vers le Nord, c'est-à-dire l'exurgence des Gillars et le bassin du Drac. (source : Etude hydrogéologique du bassin versant du Petit Buëch 1972) »

Dans le cadre des travaux précédemment cités, des suivis des débits des émergences de la Sigouste ont été réalisées de 1971 à 1972 :

- le débit moyen de la source est de 60 à 70 l/s,
- l'étiage de 1972 s'établit à partir du mois de juillet jusqu'en octobre-novembre. On notera que le débit d'étiage cette année-là semble s'être maintenu à 50 l/s sur l'ensemble de la période.



Paramètres modèle	du	
x1 (mm)		5,48
x2 (mm)		-
x3 (mm)		2,13
x4 : Délai (jours)		0,04

Nota : le paramètre x2 du modèle est positif, signifiant la présence d'apports de l'extérieur.

Le QMNA5 naturel serait de 124 l/s pour une superficie de 26.25 km<sup>2</sup>, soit un débit spécifique de 4.7 l/s/km<sup>2</sup>.

Le sous-bassin versant de la Sigouste est probablement l'un des sous-bassins les plus productifs en situation d'étiage marqué.

### 7.2.3 Les résultats par station / Bassin versant du Petit Buëch

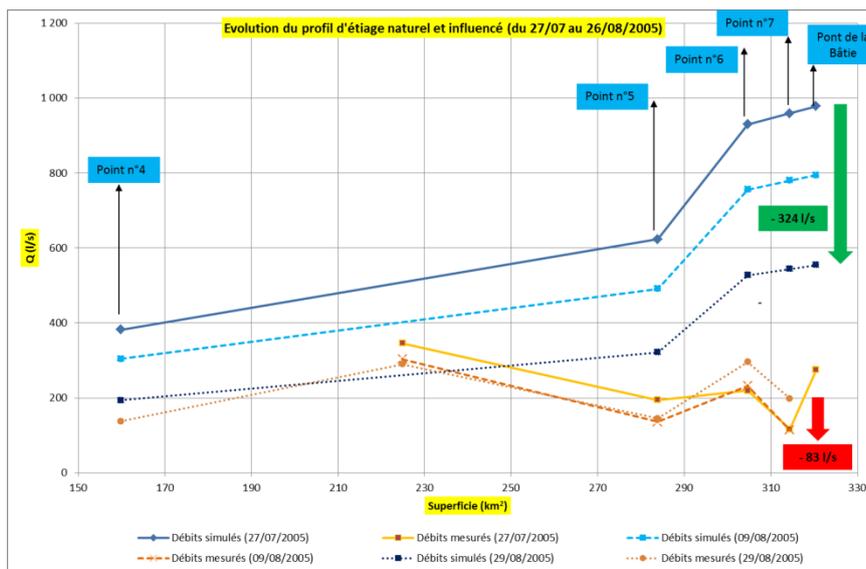
Afin d'illustrer plus concrètement les différentes valeurs calculées ou mesurées sur le Petit Buëch, un retour sur les étiages de 2005 et 2010 est proposé :

- La décroissance des débits naturels sur le mois analysé se produit au rythme moyen de  $-10$  l/s par jour.
- Le profil influencé diminue légèrement sur les 30 jours considérés, perdant au total environ  $80$  l/s. Cette légère diminution correspond probablement à une période de restrictions des usages.

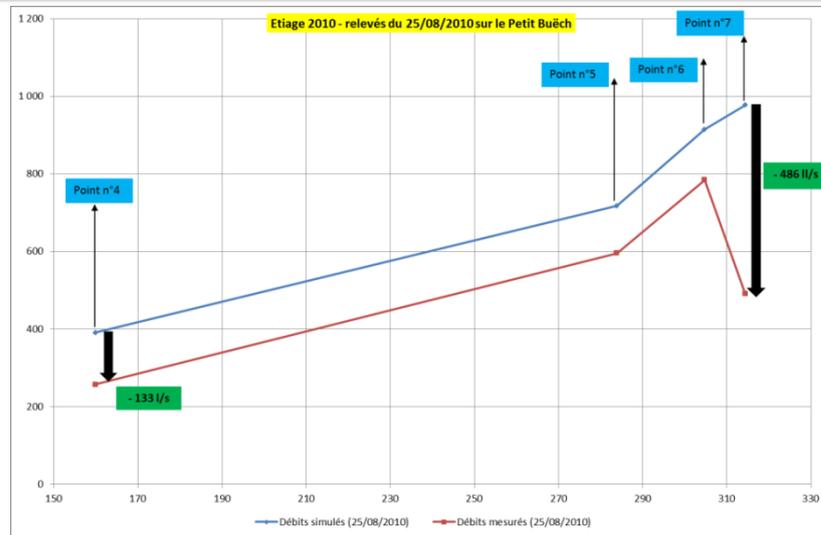
S (km <sup>2</sup> )	Point de gestion	Date	Q (m <sup>3</sup> /s)	Influence constatée (l/s)	Influence moyenne			
					min	max	min	max
283,85	5	27/07/05	0,623	-429	262	412	385	577
314,4	7	27/07/05	0,960	-843	492	811	696	1124
320,44	La Batié	27/07/05	0,978	-704				
283,85	5	09/08/05	0,491	-355	262	412	385	577
314,4	7	09/08/05	0,780	-666	492	811	696	1124
283,85	5	26/08/05	0,322	-177	262	412	385	577
314,4	7	26/08/05	0,544	-346	492	811	696	1124

Tableau 7-6 : Analyse de l'étiage de 2005 sur le Petit Buëch

On constate une diminution dans le temps des niveaux d'influence et donc probablement des prélèvements. Les influences constatées le 27/07/2005 et le 09/08/2005 sont globalement dans les fourchettes médiane à haute des scénarios d'influence considérés.



Une comparaison entre l'amont et l'aval du Petit Buëch montre une influence calculée comprise entre  $133$  et  $486$  l/s.



La légère augmentation du débit spécifique d'étiage entre l'amont et l'aval peut apparaître surprenante. Il est difficile en l'état de relier ce fait avec une spécificité du bassin versant. Toutefois, rappelons la **présence de plusieurs adoux en aval du point n°5, présentant des apports importants (adoux de fontenil par exemple)** :

- adoux de fontenil : 100 l/s le 20/08/2004,
- adoux de la baumette : 78 l/s le 13/08/2004,
- adoux des casses : faible débit,
- adoux de la Virginie : 17.7 l/s le 18/08/2004,
- adoux de la Garenne : 26 l/s le 18/08/2004,
- adoux de Maraize : 63 l/s le 22/07/2004.

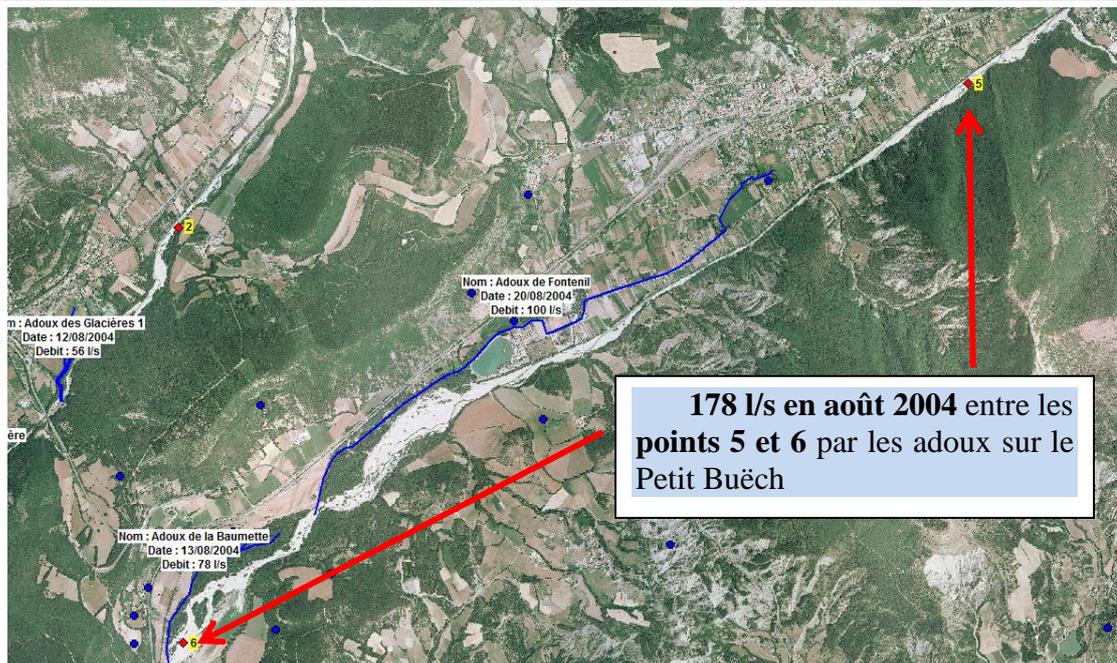


Figure 7-7 : Adoux entre les points n°5 et n°6 sur le Petit Buëch

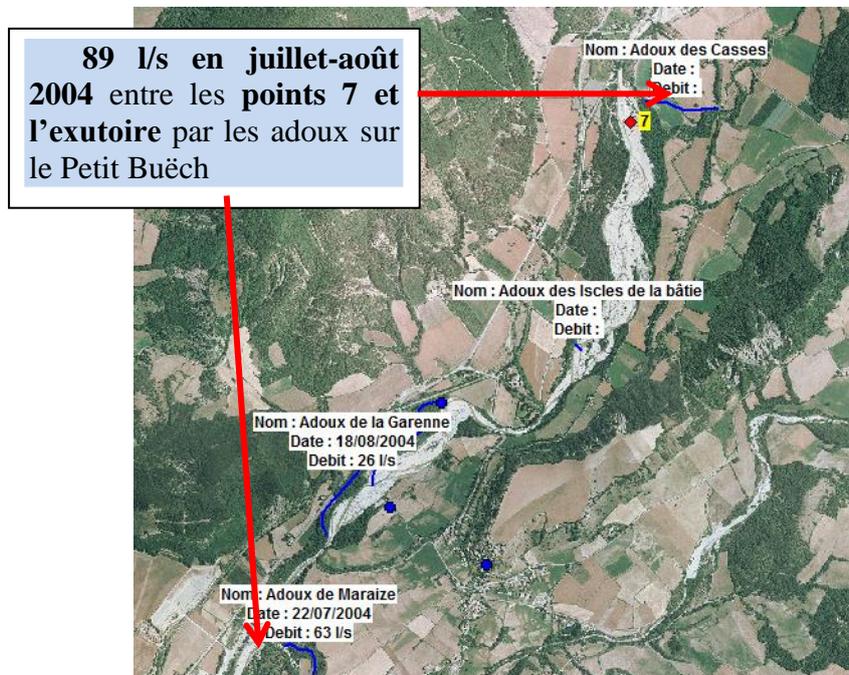


Figure 7-8 : Adoux entre les points n°7 et l'exutoire sur le Petit Buëch

Les mesures réalisées pendant l'été 2004 (du 22/07/2004 au 08/08/2004) ont permis d'estimer le **débit fournis ou restitués par les adoux à 285 l/s**, représentant près du tiers du débit moyen calculé sur le Petit Buëch en sortie de bassin pour la période du 22/07/2004 au 08/07/2004 (débit moyen calculé de 727 l/s). Selon l'ONEMA, il est probable que ces valeurs soient en réalité plus importantes notamment pour l'adoux de Fontenil, pour lequel le débit n'aurait pas été mesuré en totalité en 2004.

*Nota : rappelons que l'origine de l'eau des adoux provient soit de la nappe alluviale, soit de sources de versant.*

Cours d'eau	SBV (km <sup>2</sup> )	Point	QMNA5 Naturel (m <sup>3</sup> /s)	QMNA5 Naturel spécifique (l/s/km <sup>2</sup> )
Petit Buëch	320,44	La Batie	0,738	2,3
Petit Buëch	388,12	La Barque	0,893	2,3
Béoux	47,8	8	0,036	0,8
Maraize	25,83	9	0,0213	0,8

Tableau 7-9 : QMNA5 sur le Petit Buëch (points autres que les points de gestion)

## 7.3 Bassin versant du Grand Buëch

Plusieurs points de référence stratégique sont présents sur le bassin versant du Grand Buëch :

- Grand Buëch : points 1, 2 et 3.
- Chauranne : points 10, 11 et 12.

### 7.3.1 Stratégie de calcul

Aucune chronique de débit n'est disponible sur le Grand Buëch (une station hydrométrique sur le site de La Faurie est en cours de calibrage et sera exploitée par le SMIGIBA). La station des Chambons située en aval de la confluence du Grand Buëch et du Petit Buëch a servi d'étalonnage pour le modèle hydrologique mis en place sur le bassin versant du Grand Buëch., en tenant compte par ailleurs des apports déjà modélisés du Petit Buëch.

*Nota : Les bassins versants du Petit Buëch et du Grand Buëch ayant des temps de concentration inférieurs au pas de temps de calcul, on a considéré que au prorata des superficies, la contribution du petit et du grand Buëch aux débits des Chambons étaient comparable.*

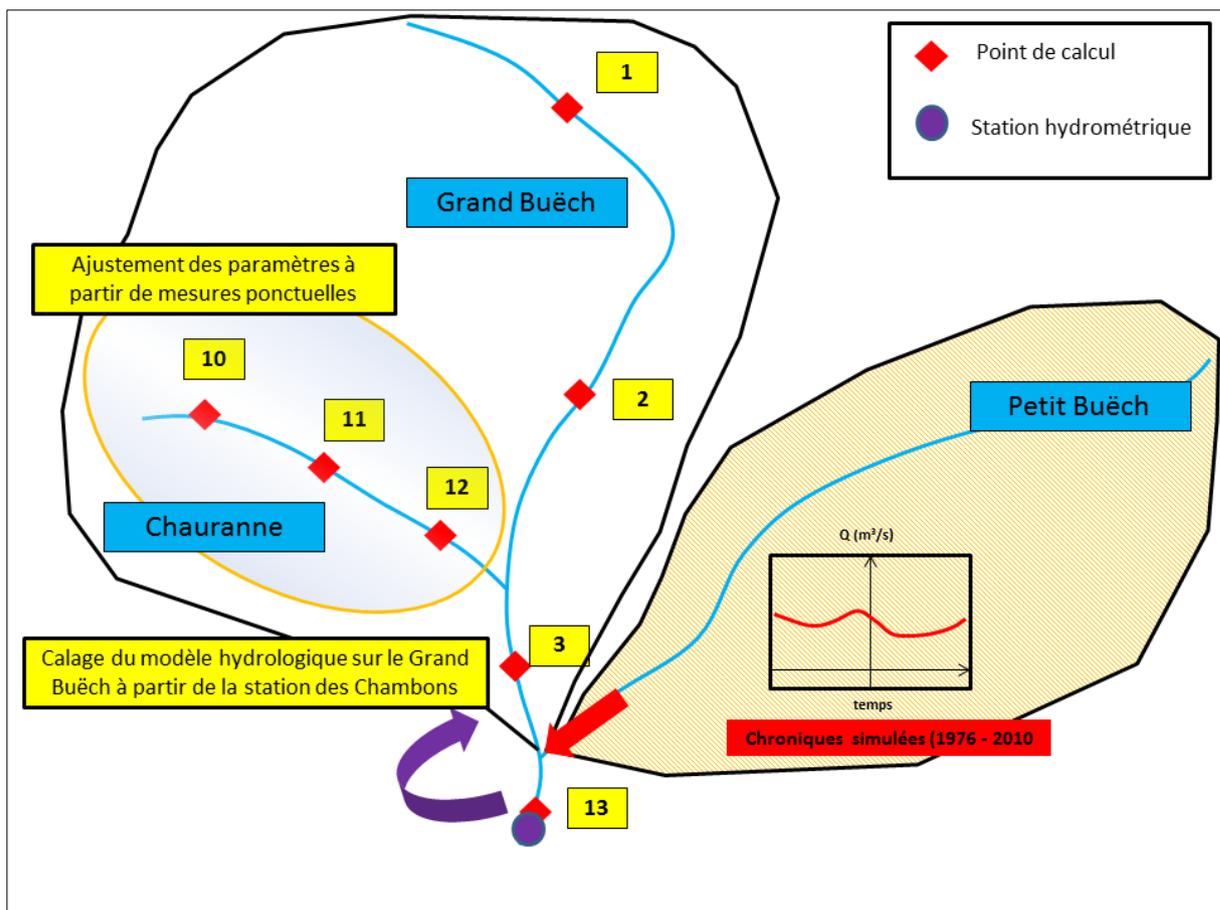


Figure 7-10 : Schéma de calcul sur le bassin versant du Grand Buëch

## 7.3.2 Calage et performances des modèles hydrologiques

### 7.3.2.1 Calage à la station hydrométrique des Chambons

Un modèle hydrologique global a été mis en place sur le Grand Buëch et a été calé à partir des enregistrements de la station des Chambons (pour la période 1976 à 1996). L'écart entre les séries simulées et désinfluencées est minimisé à l'étiage pour le jeu de paramètres suivants :

Paramètres modèle	
x1: Capacité réservoir de production (mm)	332,43
x2: Paramètre d'échange (mm)	-0,27
x3: Capacité réservoir de routage (mm)	80,66

x4: Délai (jours)	1,47
-------------------	------

Les performances ont ensuite été analysées à partir de plusieurs critères :

- Comparaison avec des mesures ponctuelles influencées et désinfluencées (désinfluence des mesures ponctuelles à partir des perturbations reconstituées sur 2003 à 2009),
- Comparaison avec les débits moyens mensuels sur la période d'exploitation de la station,
- Comparaison avec le module sur la période d'exploitation.

### 7.3.2.2 Cartographie du grand Buëch

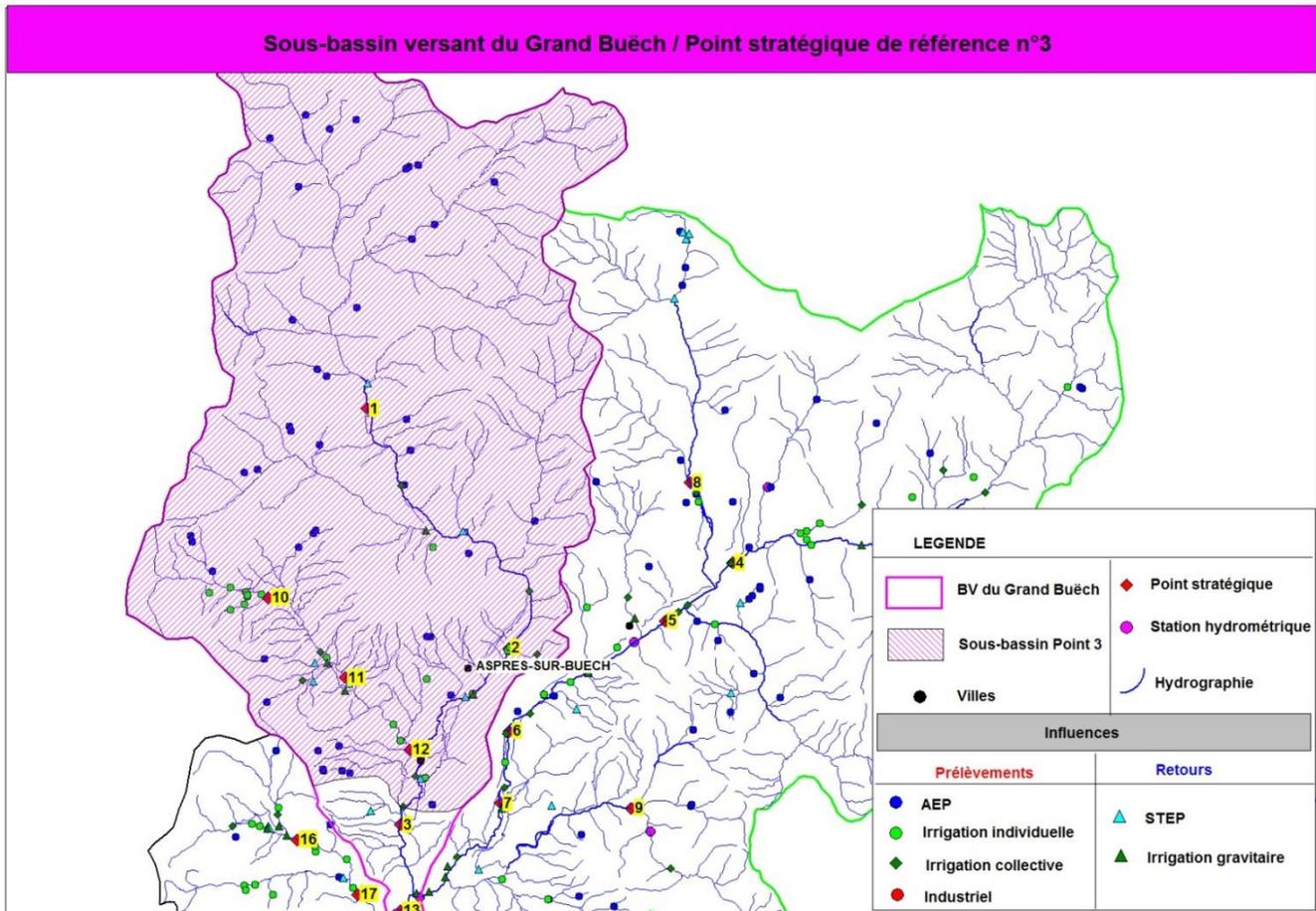


Figure 7-11 : Bassin du point de gestion n°3 et 12

### 7.3.2.3 Calage au point de gestion 12 - Chauranne

Paramètres modèle	
x1: Capacité réservoir de production (mm)	90
x2: Paramètre d'échange (mm)	-1
x3: Capacité réservoir de routage (mm)	51
x4: Délai (jours)	2

Le calage est effectué sur une période allant de 2007 à 2009, sachant les hydrogrammes simulés sont basés sur une appréhension qualitative de la réponse attendue du bassin : observation des caractéristiques morphologiques et géologiques, des jaugeages en fonction des précipitations supposées (calculées comme énoncé page 7).

La tableau ci-après révèle des écarts relativement faibles, excepté pour deux valeurs qui correspondent à des épisodes pluvieux (graphique ci-dessous, points entourés). L'on peut en déduire que selon le modèle, calibré sur les débits d'étiage, restitue mal la réponse du bassin aux crues. En particulier dans ce cas précis, le modèle restitue un débit de crue immédiat, alors que si l'on extrapole les jaugeages, la réponse réel du

bassin fut plus lente. Par contre, la courbe de tarissement du modèle semble suivre correctement la pente moyenne des jaugeages avant cet épisode pluvieux (de même pour le dernier point de jaugeage). Les écarts constatés sont de l'ordre de grandeur des influences.



Hydrogramme 1: Simulé sur la période des jaugeages disponibles (m<sup>3</sup>/s)

Les influences à considérer pour les mois de juillet et août, sont respectivement de -14 et -8 l/s.

Date	simulés (m <sup>3</sup> /s)	Jaugeages (m <sup>3</sup> /s)	Écarts (l/s)
06/07/09	0,052	0,071	-19
15/07/09	0,041	0,06	-19
22/07/09	0,035	0,033	2
27/07/09	0,031	0,039	-8
06/08/09	0,026	0,038	-12
13/08/09	0,275	0,025	250
02/09/09	0,168	0,041	127

### 7.3.2.4 Résultats : débits caractéristiques

12 La Chauranne												
Débit naturel (m <sup>3</sup> /s)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Quinquennale sèche</b>	0,304	0,332	0,295	0,249	0,165	0,074	0,0374	0,025	0,039	0,108	0,214	0,379
<b>Mensuel moyen</b>	0,97	0,907	0,933	0,871	0,688	0,293	0,101	0,069	0,253	1,021	1,269	1,106
Coefficient mensuel	43% 14% 9% 36%											
<b>QMNAS</b>	0,02	Module	0,717	Q50	265,871	VCN3(5)	0,017	VCN10(5)	0,018	DB (l/s)	65 – 75	35 – 40

influences (l/s) = Restitutions – prélèvements – 84 % de restitution en gravitaire

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Influence moyenne</b>	-1	-2	-1	-1	-4	-9	-14	-8	-3	-2	-1	-1

3 Grand Buëch, amont du Grand Béal												
Débit naturel (m <sup>3</sup> /s)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre

<b>Quinquennale sèche</b>	2,616	3,094	4,864	5,591	6,226	3,227	1,369	0,747	0,8	1,433	2,197	2,654
<b>Mensuel moyen</b>	6,161	5,609	8,954	10,823	11,278	6,007	2,762	1,419	2,423	6,918	8,806	7,071
Coefficient mensuel	94% 42% 23% 33%											
<b>QMNA5</b>	0,589	<b>Module</b>	6,68	<b>Q50</b>	4,138	<b>VCN3(5)</b>	0,46	<b>VCN10(5)</b>	0,484	<b>DB (l/s)</b>	650 – 750	350 – 400

influences (l/s) = Restitutions – prélèvements – 84 % de restitution en gravitaire

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Influence moyenne</b>	-16	-23	-17	-16	-114	-265	-367	-182	-78	-59	-12	-16

## 7.4 Buëch aval

Plusieurs points de référence stratégique sont présents sur la partie aval du bassin versant du Buëch :

- Buëch aval : points 13, 14 et 15,
- Aiguebelle : 17,
- Blaisance : points 19.

Les stations hydrométriques (Laragne-Montéglin et Eyguians) localisées en aval sur le Buëch ne sont plus exploitées depuis les années 90 (avant la mise en place du barrage de Saint-Sauveur). Les données enregistrées à la station de Laragne-Montéglin sont sujettes à une incertitude importante. En outre, et c'est probablement la principale limite à l'exploitation des débits enregistrés, les influences (prélèvements et retours) ont énormément évoluées sur ce secteur.

### 7.4.1 Stratégie de calcul

Les modélisations hydrologiques mises en place sur les bassins versants de l'Aiguebelle et de la Blaisance, ont été calées à partir des mesures ponctuelles à disposition.

Pour les points 14 et 15, c'est le calage en 13 qui a servi de référence.

Remarque : le bassin de la Méouge représente 15,05 % de la superficie du bassin du Buëch. Les débits issus de ce cours d'eau sont de l'ordre de 2,5 m<sup>3</sup>/s, soit 10 % des débits calculés par le modèle à l'exutoire du point de gestion 15 sur le Buëch. Son importance sur les résultats statistiques est donc faible.

D'autre part, il convient de noter qu'à partir du point 13 et en aval de ce dernier, l'influence des barrages gérés par Électricité De France (EDF) est très approximative (voir le rapport de phase 2).

En conséquence, les valeurs sont proposées à titre indicatif. En effet, nous ne disposons pas des prélèvements pour l'hydroélectricité et l'irrigation. Ces volumes ont une très grande variabilité, fonction de l'hydraulique du moment. Les valeurs moyennes de la période 2003 – 2009 ne peuvent être représentatives des prélèvements réels sur la période de production hydroélectrique.

### 7.4.2 Calage et performance des modèles hydrologiques

Le calage du modèle hydrologique sur l'Aiguebelle et la Blaisance a été réalisé à partir des mesures de débit ponctuelles (les ordres de grandeur des facteurs de production ayant été conservés).

Concernant le calage du modèle sur la station des Chambon, comme l'ensemble des modèles utilisés, est basé sur les débits d'étiages. La figure ci-après, représente l'ensemble de la simulation sur une période de 33 ans. Il est clair que les débits de crue ne sont pas restitués. Autrement dit, les débits moyens et d'étiages devraient être représentatifs du bassin, mais pas sa réponse en termes de crues possibles. Cette limitation ne remet pas en question les résultats de débits de sécheresse ni les débits de type « moyens » (Q50 et modules par exemple, ou coefficients mensuels).

En observant de plus près les restitutions des courbes de tarages (Figure 7-13), nous avons sur l'exemple donné un épisode orageux début juillet 2006 partiellement restitué par le modèle (ce qui concorde avec ce qui est mentionné dans le paragraphe précédent). Par contre le deuxième survenu en août n'est pas restitué, ce qui est plus en accord avec une recherche des restitutions des courbes de tarissement. Ce qui permet de rendre correctement les débits issus des restitutions propres au bassin, abstraction faite des variations ponctuelles (point cerclés en bleu, de A à B on retombe sur de bonnes valeurs de débits).

Un

Débites mesurés aux Chambons et débits simulés

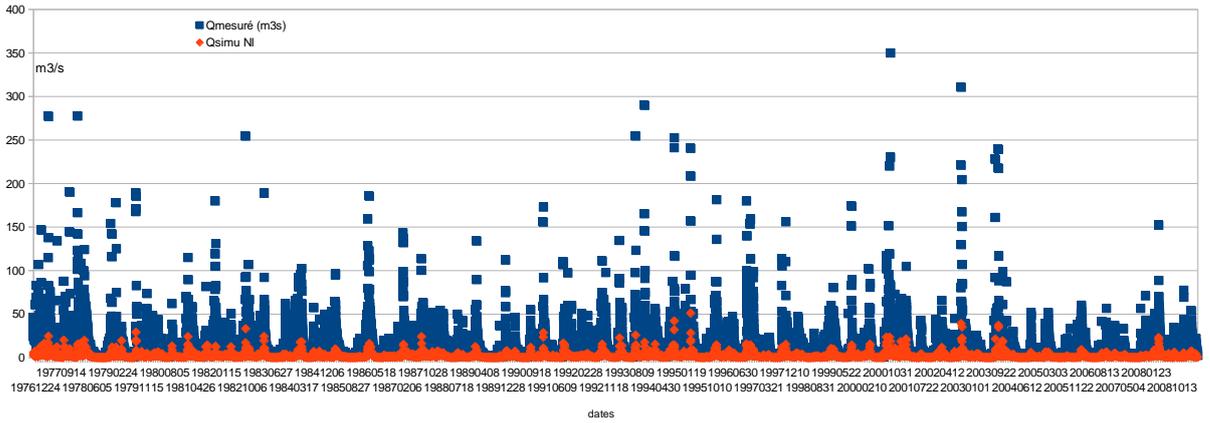


Figure 7-12 Hydrogramme comparatif entre débits mesurés et simulés

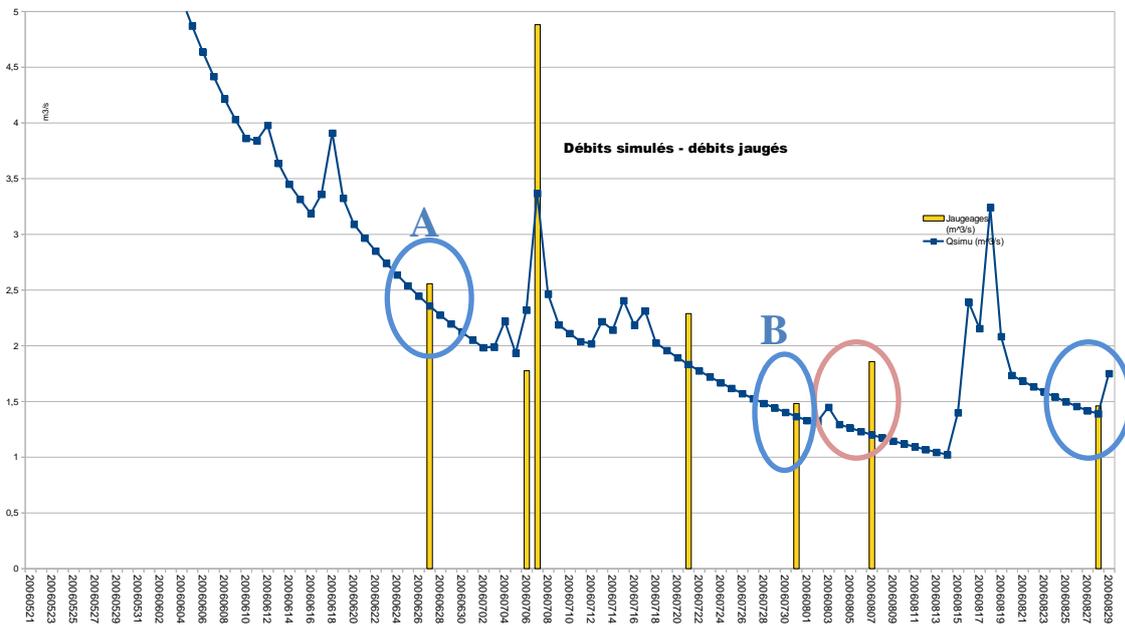


Figure 7-13 Exemple de courbe de tarissement comparée aux jaugeages (2006)

## 7.4.3 Sous-bassin 17 – Aiguebelle

### 7.4.3.1 Calage

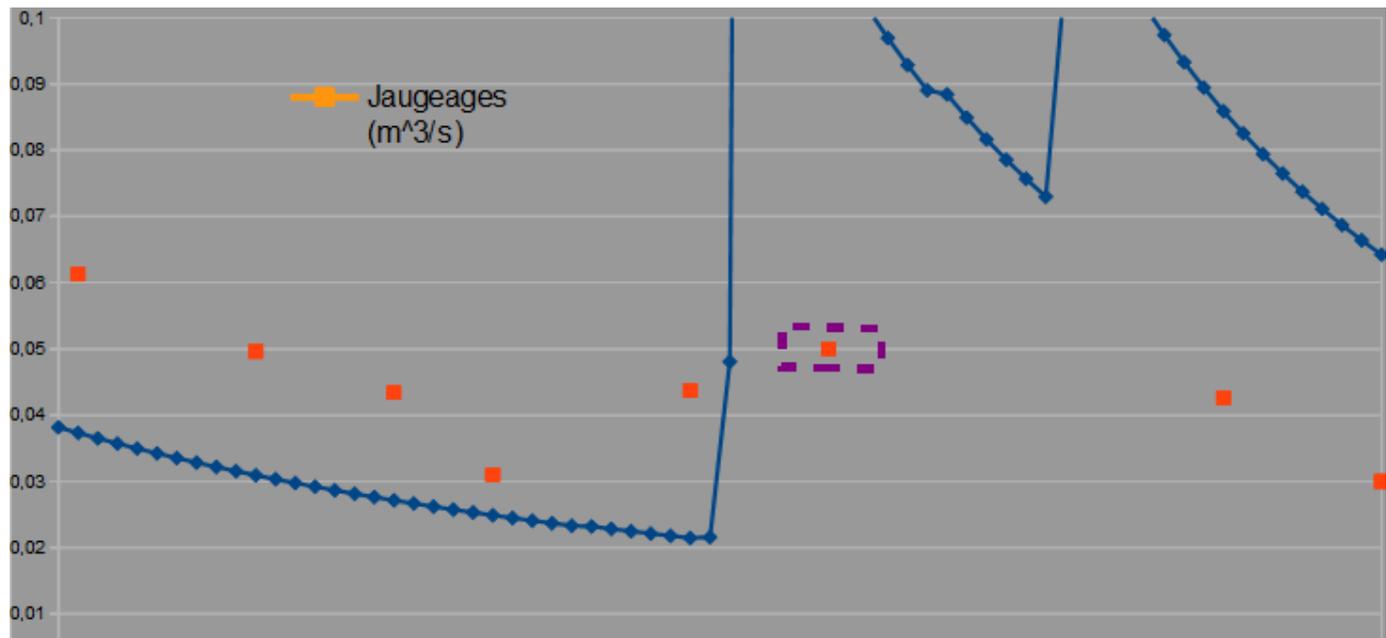


Figure 7-14 Calage du modèle sur l'Aiguebelle (m<sup>3</sup>/s)

La tableau ci-après révèle des écarts relativement faibles, de l'ordre de grandeur des influences, excepté pour la valeur du 13 août, qui correspondent probablement à un orage (graphique ci-dessous, point entouré). La réactivité réelle du bassin lors de cet événement ne correspond pas au modèle. Il en va de même pour les valeurs de jaugeage de Septembre (à droite sur l'hydrogramme). Si l'on se réfère uniquement à ses points de jaugeage, le modèle minore les débits d'été de 30 l/s environ (cela reste une appréciation). Ce choix est avantageux pour les irrigants.

Date	simulés (m <sup>3</sup> /s)	Jaugeages (m <sup>3</sup> /s)	Écarts (l/s)
06/07/09	0,037	0,061	-24
15/07/09	0,031	0,05	-19
22/07/09	0,027	0,043	-16
27/07/09	0,025	0,031	-6
06/08/09	0,021	0,044	-23
13/08/09	0,111	0,05	61
02/09/09	0,053	0,086	-33
10/09/09	0,064	0,03	34

Tableau 2 Aiguebelle - écarts entre débits simulés et mesurés

Globalement, la pente de la courbe de tarissement est conforme à celle des débits jaugés.

Les influences à considérer pour les mois de juillet et août, sont respectivement de -13 et -7 l/s, ce qui est en deçà de la précision du modèle.

### 7.4.3.2 Résultats : débits caractéristiques

Ces débits sont calculés sur des simulations effectuées entre 1976 et 2010.

17 Aiguebelle												
Débit naturel (m <sup>3</sup> /s)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Quinquennale sèche	0,232	0,217	0,148	0,133	0,094	0,052	0,0295	0,021	0,028	0,0711	0,14	0,265
Mensuel moyen	0,652	0,62	0,45	0,39	0,341	0,17	0,067	0,046	0,135	0,58	0,716	0,714
Coefficient mensuel	53% 17% 11% 39%											
QMNA5	0,017	Module	0,412	Q50	0,51	VCN3(5)	0,015	VCN10(5)	0,016	DB (l/s)	42 – 50	25 – 30

influences (l/s) = Restitutions – prélèvements – 84 % de restitution en gravitaire												
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Influence moyenne	-1	-1	-1	-1	-4	-10	-13	-7	-3	-2	0	-1

### 7.4.4 Sous-bassin 19 – Blaisance

#### 7.4.4.1 Calage

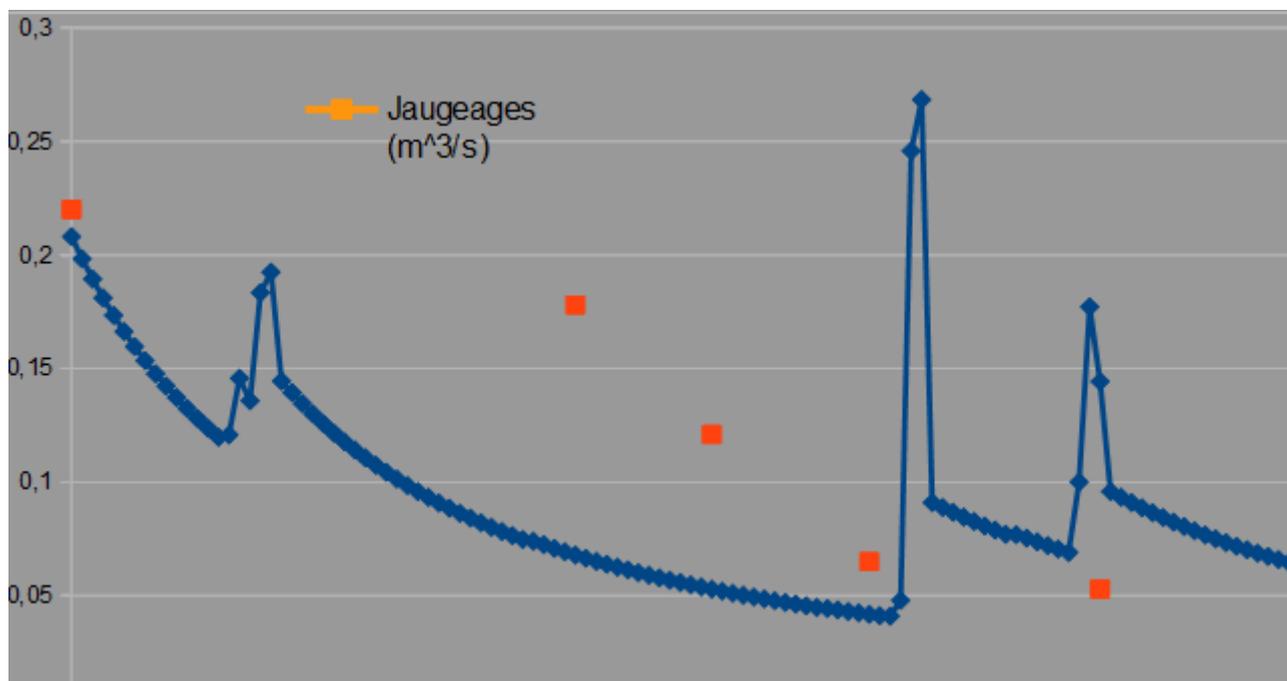


Figure 7-15 Calage du modèle de la Blaisance (m<sup>3</sup>/s)

Le tableau ci-après révèle des écarts importants pour trois valeurs qui correspondent à une courbe de tarissement suite à un épisode pluvieux. Cependant, globalement, avant et après la pointe de crue correspondante, le modèle restitue correctement les débits d'étiage probables (le 1<sup>ier</sup> et le 4<sup>ième</sup> point de jaugeage).

Les influences à considérer pour les mois de juillet et août, sont respectivement de -16 et -10 l/s.

Date	simulés (m <sup>3</sup> /s)	Jaugeages (m <sup>3</sup> /s)	Écarts (l/s)
21/05/09	0,208	0,22	-12
08/07/09	0,068	0,178	-110
21/07/09	0,053	0,121	-68
05/08/09	0,042	0,065	-23
27/08/09	0,144	0,053	91

Tableau 7: Blaisance - écarts entre débits simulés et jaugés.

### 7.4.4.2 Résultats : débits caractéristiques

Ces débits sont calculés sur des simulations effectuées entre 1976 et 2010.

19 Blaisance												
Débit naturel (m3/s)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Quinquennale sèche</b>	0,575	0,623	0,441	0,368	0,252	0,12	0,0633	0,04	0,045	0,109	0,244	0,51
<b>Mensuel moyen</b>	1,388	1,381	1,06	0,918	0,746	0,342	0,129	0,077	0,148	0,857	1,384	1,491
Coefficient mensuel	50% 16% 10% 21%											
<b>QMNA5</b>	0,034	Module	0,837	Q50	0,387	VCN3(5)	0,029	VCN10(5)	0,03	DB (l/s)	75 – 90	45 – 50

influences (l/s) = Restitutions – prélèvements – 84 % de restitution en gravitaire												
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Influence moyenne</b>	-3	-4	-3	-3	-4	-13	-16	-10	-4	-3	-2	-3

### 7.4.5 Les résultats pour les points de gestion 13 à 15

13 Buëch à Serres												
Débit naturel (m3/s)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Quinquennale sèche	5,876	6,950	10,92	12,56	13,98	7,248	3,076	1,678	1,796	3,219	4,933	5,96
Mensuel moyen	13,836	12,596	20,109	24,307	25,329	13,491	6,204	3,186	5,442	15,537	19,778	15,881
Coefficient mensuel				42%			23%		33%			
QMNA5	1,32	Module	15,002	Q50	9,294	VCN3(5)	1,03	VCN10(5)	1,09	DB (l/s)	1400 – 1600	800 – 900

influences (l/s) = Restitutions – prélèvements – 84 % de restitution en gravitaire												
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Influence moyenne	-56	-71	-57	-57	-170	-403	-604	-306	-142	-98	-51	-56

14 Buëch en aval du torrent des Champs (aval Mereuil)												
Débit naturel (m3/s)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Quinquennale sèche	7,163	8,473	13,32	15,31	17,05	8,836	3,75	2,046	2,189	3,924	6,014	7,266
Mensuel moyen	16,868	15,357	24,515	29,633	30,88	16,447	7,563	3,884	6,634	18,942	24,111	19,36
Coefficient mensuel				42%			21%		34%			
QMNA5	1,61	Module	18,289	Q50	11,33	VCN3(5)	1,26	VCN10(5)	1,33	DB (l/s)	1700 – 1900	1000 – 1100

influences (l/s) = Restitutions – prélèvements – 84 % de restitution en gravitaire												
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Influence moyenne	-61	-77	-63	-79	-294	-753	-1198	-656	-287	-134	-55	-61

15 Buëch, amont du torrent de Clarescombes												
Débit naturel (m3/s)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Quinquennale sèche	11,57	13,69	21,51	24,73	27,54	14,28	6,058	3,305	3,536	6,339	9,716	11,74
Mensuel moyen	27,25	24,809	39,604	47,872	49,886	26,57	12,218	6,275	10,717	30,6	38,952	31,277
Coefficient mensuel				45%			24%		41%			
QMNA5	2,61	Module	29,546	Q50	18,304	VCN3(5)	2,03	VCN10(5)	2,14	DB (l/s)	2500 – 2800	1500 – 1700

influences (l/s) = Restitutions – prélèvements – 84 % de restitution en gravitaire												
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Influence moyenne	-79	-98	-81	-110	-391	-924	-1501	-876	-375	-181	-73	-79

7.4.5.1 Station n°13

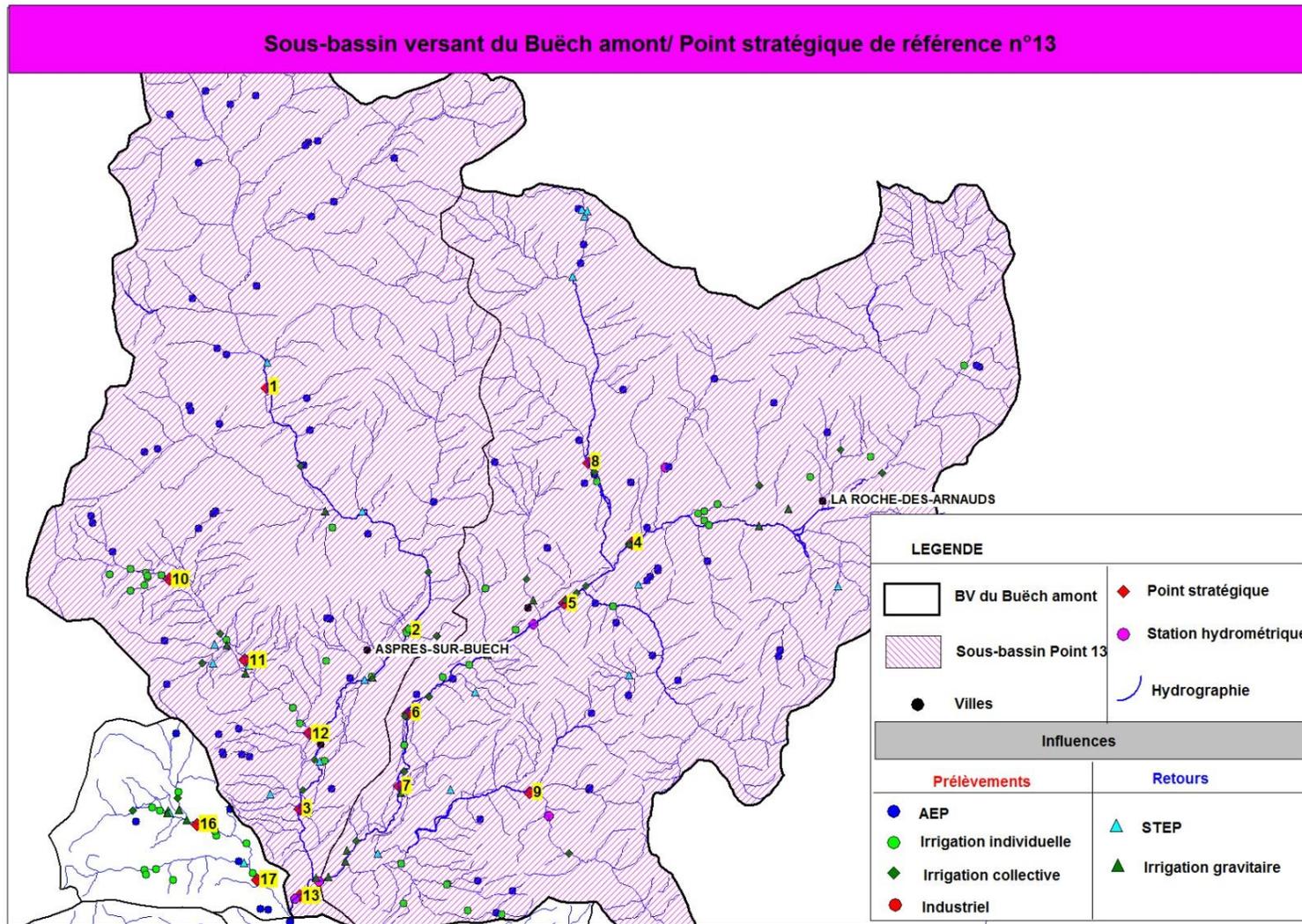


Figure 7-16 : Point stratégique de référence n°13

7.4.5.2 Station n°14

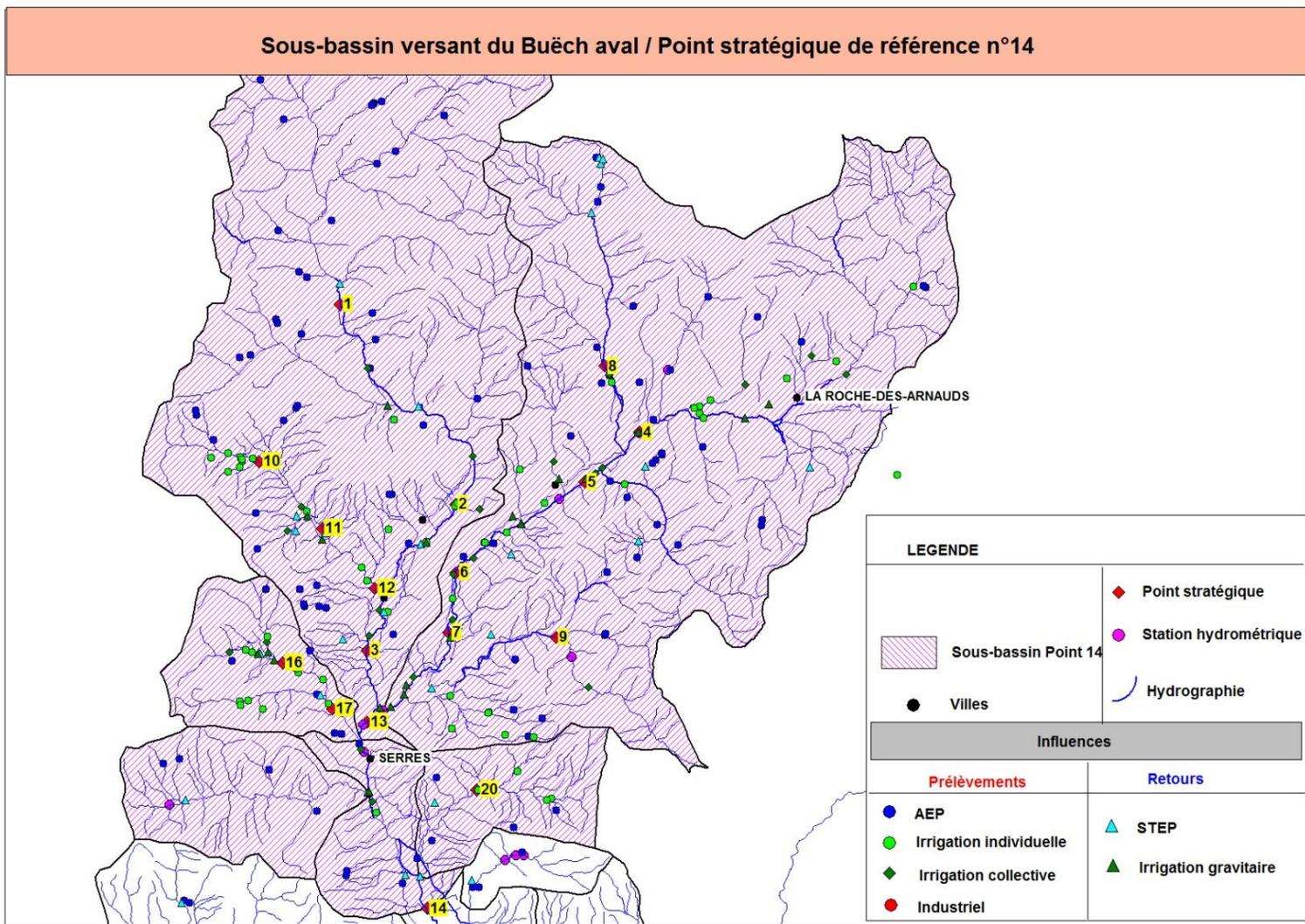


Figure 7-17 : Point stratégique de référence n°14

7.4.5.3 Station n°15

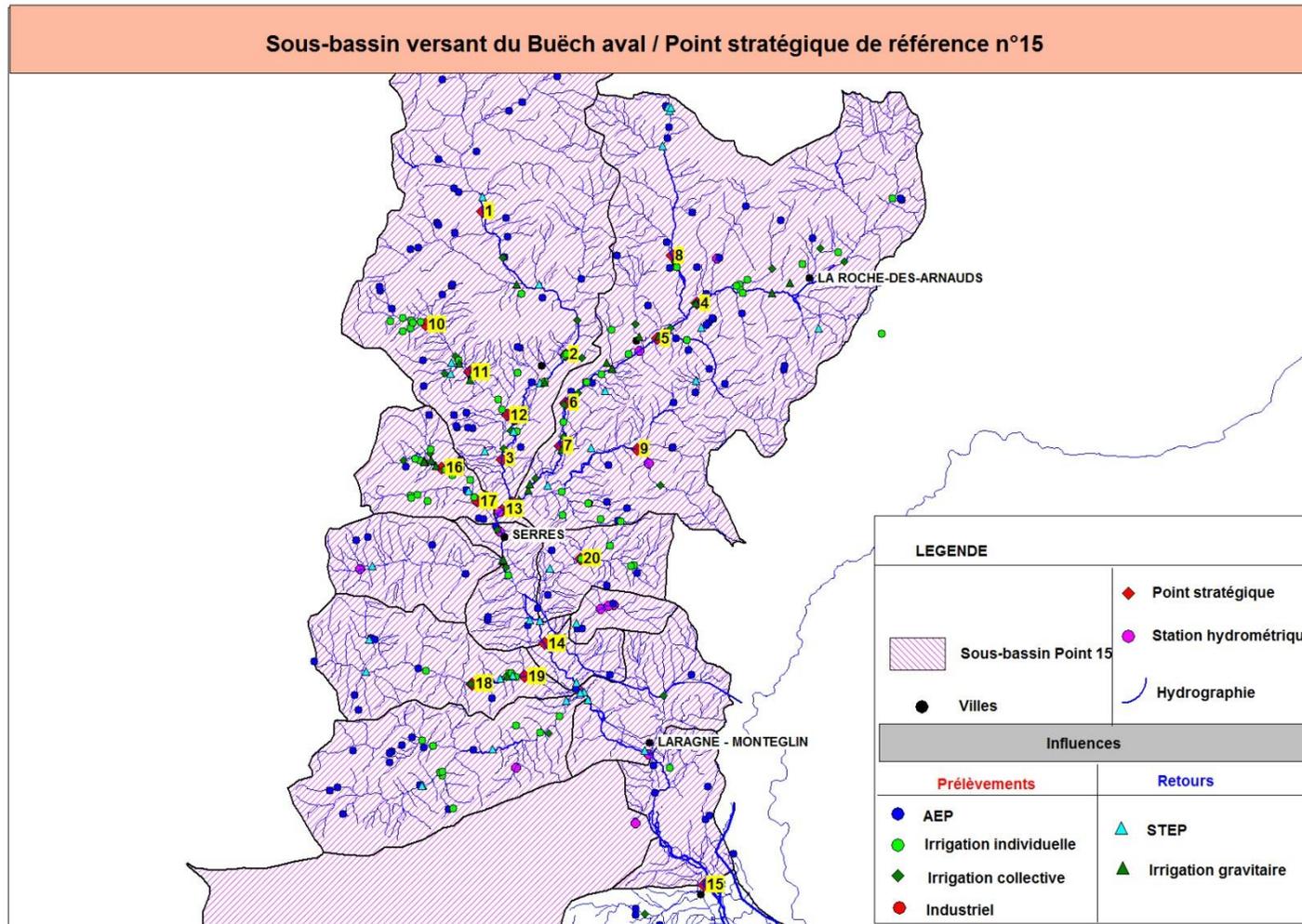


Figure 7-18 : Point stratégique de référence n°15

7.4.5.4 Station n°17

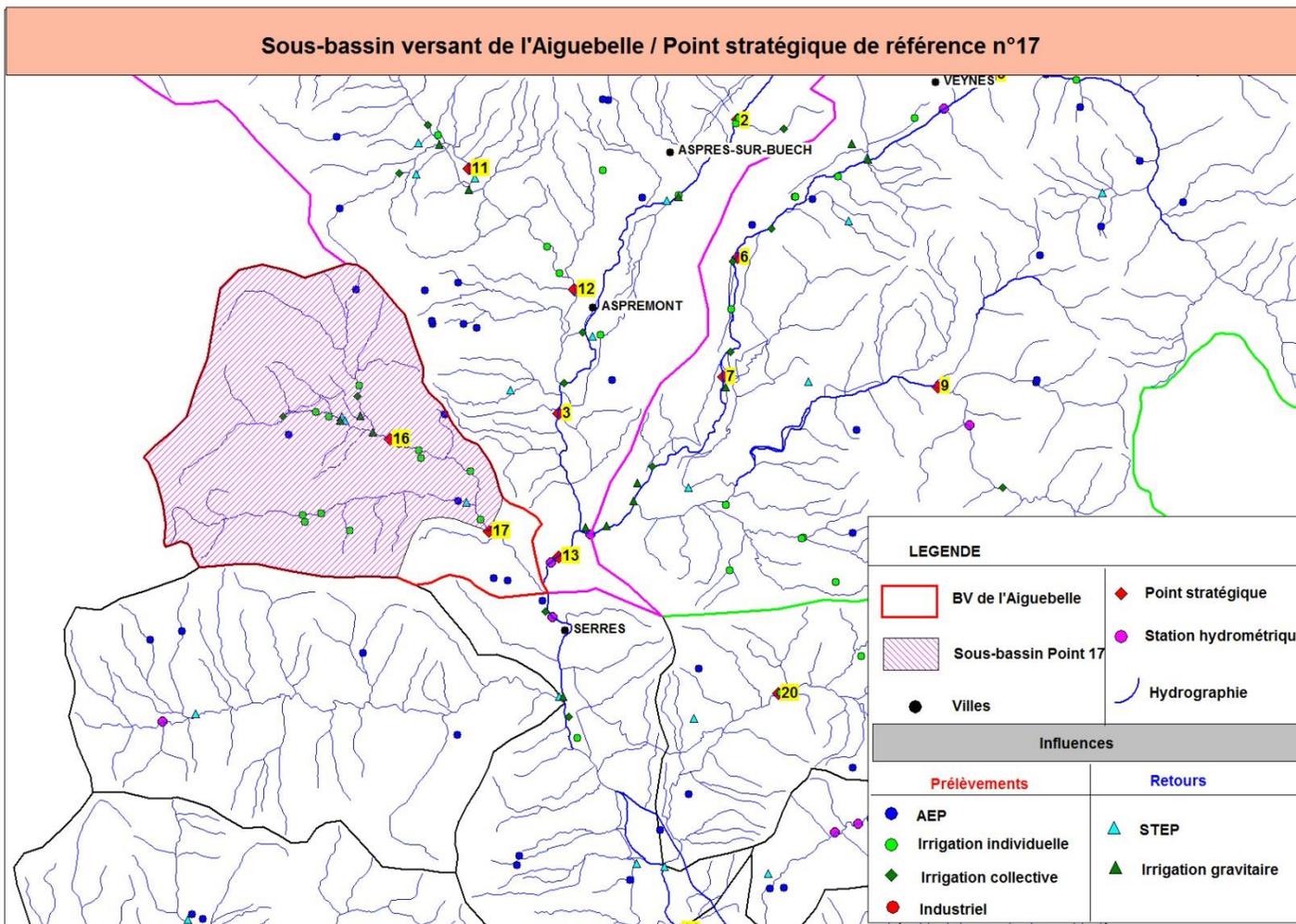


Figure 7-19 : Point stratégique de référence n°17

7.4.5.5 Station n°19

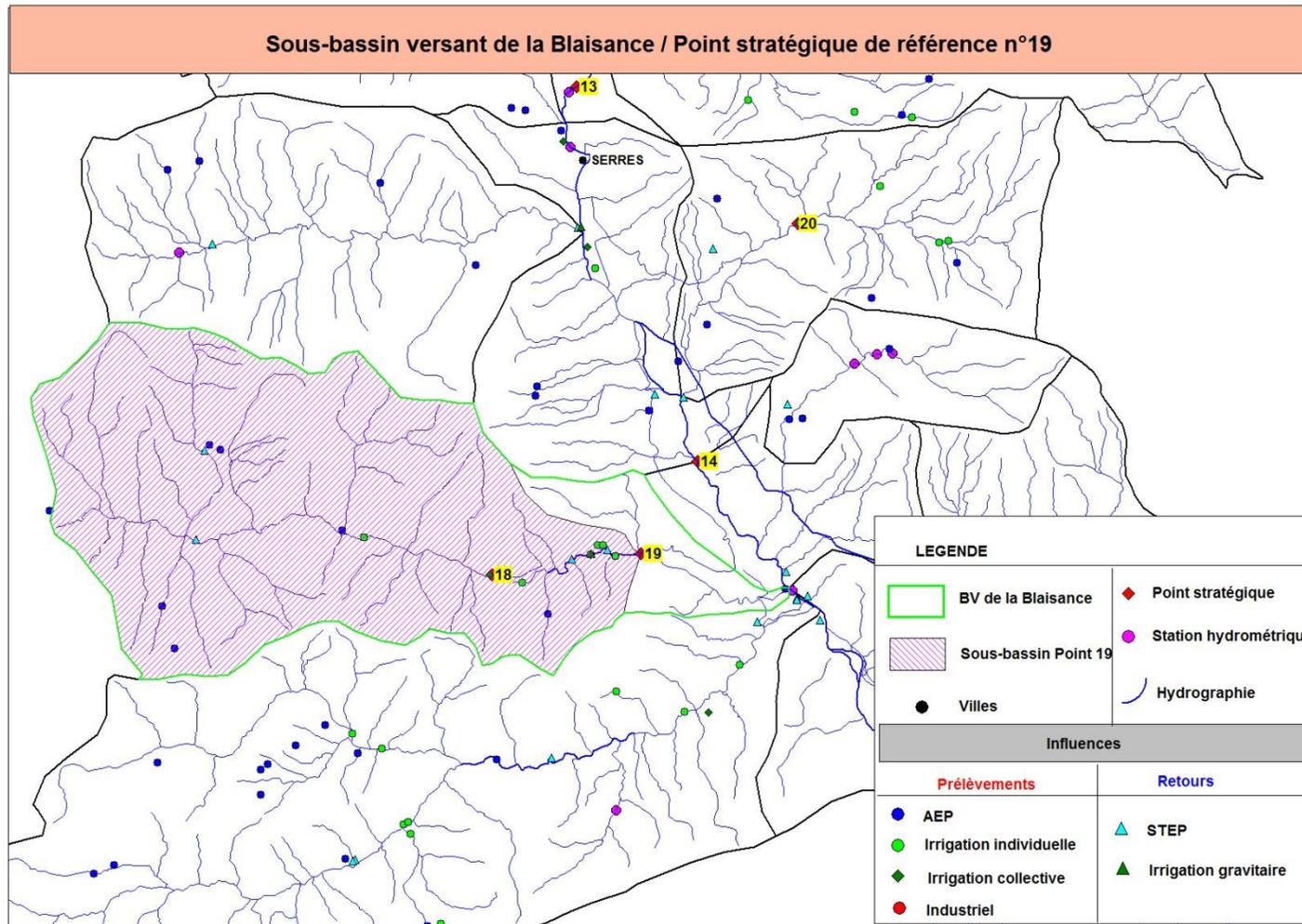


Figure 7-20 : Point stratégique de référence n°19

## 7.5 Incertitudes

### 7.5.1 Incertitudes sur les données mesurées :

Ce point a notamment été évoqué dans le cadre de l'analyse des séries hydrométriques. On a pu voir qu'il est nécessaire de réaliser de nombreuses mesures de contrôle pour mettre à jour la courbe de tarage. La station des Chambons qui a bénéficié au fil des années du nombre de contrôle le plus important proposait jusqu'en 1996 des incertitudes comprises entre **10 et 20 %**. On peut supposer que la marge d'erreur pour les autres chroniques enregistrées est certainement au moins supérieur à 20 %.

### 7.5.2 Incertitudes sur les éléments de désinfluencement :

Prélèvements nets : les prélèvements ne sont pas toujours bien connus dans le temps cf. le rapport de la phase2, faute d'un véritable suivi structuré). Les retours pour l'irrigation gravitaire sont difficilement personnalisables à chaque ASA et restent quant à eux basés sur des ratios de retours généraux qui introduisent des biais difficilement quantifiables. Cependant un effort important de la part des usagers irrigants à été accompli et permet d'avoir bonne estimation des prélèvements mensuels moyens depuis 2010.

Ouvrage de régulation : on pense naturellement au barrage de Saint Sauveur et à l'ensemble de l'aménagement (Riou + Lazer). Les chroniques de suivi des ouvrages ont pu être mobilisées pour la période 2007 à 2011, mais ne peuvent être parfaitement représentatives pour les autres années. Les débits évalués au niveau du module à masque (alimentation pour l'irrigation) comportent également une incertitude.

### 7.5.3 Incertitudes sur les modèles hydrologiques :

Les calages des modèles hydrologiques ont été réalisés soit à partir de l'analyse du critère de Nash lorsque des séries hydrométriques étaient exploitables, soit à partir de mesures ponctuelles. Le processus de calage comporte nécessairement une imprécision notamment pour le calage sur des mesures ponctuelles qui n'est en l'état pas quantifiable. Les débits spécifiques à l'étiage permettent de contrôler la cohérence des ordres de grandeurs retenues sur les sous-bassins versant. Ce qu'il est intéressant de préciser, c'est qu'il existe naturellement plusieurs jeux de paramètres qui permettent de minimiser les écarts (entre débits simulés et débits désinfluencés). **L'opérateur fait donc un choix dans le processus de modélisation.** Sur deux jeux de paramètres à la station des Chambons aboutissant à un critère de Nash équivalent, on a pu ainsi mettre en évidence **un écart de l'ordre de 15 % sur les OMNA5 naturel.**

Les niveaux d'incertitudes évoquées ci-dessous ne sont pas issus d'un calcul d'incertitude classique. Ils ont vocation à proposer un ordre de grandeur à dire d'expert.

Les modules sont probablement correctement approchés sur les cours d'eau principaux. Il est probable qu'une incertitude de l'ordre de 30 % peut être retenue sur l'évaluation des débits d'étiage naturel sur les cours d'eau principaux. Cette dernière est certainement plus importante sur certains affluents pour lesquels seules des mesures ponctuelles ont pu être exploitées.

## ANNEXES

- 1) Annexe n°1 : Comportement de la station d'hydrométrie du Buëch aux Chambons / Christian Perret**
- 2) Annexe n°2 : Synthèse des données météorologiques disponibles**
- 2) Annexe n°3 : Module de prise en compte de la neige**
- 3) Annexe n°4 : Extrapolation des données de température et de pluie**
- 4) Annexe n°5 : Évaluation de l'évaporation potentielle d'après Oudin (2005)**
- 5) Annexe n°6 : Modèle GR4J**

## 8 Annexe n°1 : Comportement de la station d'hydrométrie du Buëch aux Chambons / Christian Perret

## 9 Annexe n°2 : Synthèse des données météorologiques disponibles



## 10 Annexe n°3 : Module de prise en compte de la neige

*Nota : La démarche de calcul mise en place est inspirée des travaux de Valery (Cemagref) et de l'Army Corps. Le terme "solide" sera utilisé par la suite pour désigner la précipitation neigeuse.*

### Approche degré jours pour le module de fonte de la neige :

Une approche basée sur les degrés-jour a été mis en place. Il suppose que la neige qui tombe s'accumule, pour fondre lorsque la température dépasse un seuil  $T_0$ , à un taux  $M$  proportionnel à l'écart entre la température de l'air et ce seuil. Il s'agit d'un modèle de fonte type degré jour.

Elle a été décrite dans les années 30 et a été largement utilisée :  $F = M \times (T_m - T_0)$ .

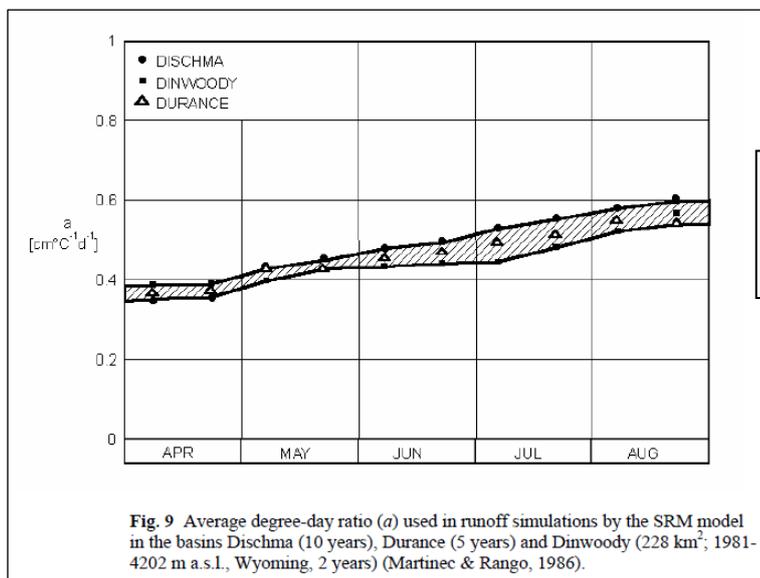
- Avec  $F$  est la quantité d'eau de fonte produite chaque jour en mm,  $T_m$  la température de l'atmosphère et  $T_0$  la température seuil au-dessus de laquelle la fonte se produit.  $M$  est le facteur de fonte ou facteur degré/jour en mm par degré Celsius.
- $T_0$  a été fixée par convention à  $0^\circ\text{C}$ .

Ce module permet de prendre en compte la fonte progressive de la neige à partir des données de températures. Les données de neige fondue ainsi calculées au pas de temps journalier puis agrégées au pas de temps mensuel seront ajoutées aux pluies en entrée du modèle pluie-débit.

Des valeurs saisonnières du facteur de fonte ont ensuite été définies à partir des travaux engagés par WMO (1964). Sur la base de nombreuses mesures au lysimètre, des valeurs moyennes du rapport entre la fonte ponctuelle de la neige et le nombre de degrés-jours pour diverses régions montagneuses des latitudes moyennes en Amérique du Nord, exprimées en millimètres de fonte.

Mois	Régions modérément boisées	Régions partiellement boisées	Régions non boisées
Avril	2	3	4
Mai	3	4	6
Juin	4	6	7

Les valeurs de  $M$  sont couramment comprises entre 2 et 6  $\text{mm}/^\circ\text{C}/\text{j}$ , et peuvent atteindre  $10\text{mm}/^\circ\text{C}/\text{j}$  pour les glaciers.



Des tests sur le bassin versant de la Durance ont abouti à des valeurs comprises entre 3.8 et 5.4  $\text{mm}/^\circ\text{C}/\text{j}$

Les coefficients ont été fixés par sous-bassins versant à partir de l'occupation des sols, et notamment du pourcentage de couvert forestier.

### Nature des précipitations :

Il s'agit dans un premier temps de pouvoir quantifier la part solide et liquide, lors des précipitations. Faute de disposer des températures minimales et maximales aux postes météorologiques analysés, la fraction neigeuse a été calculée à partir d'une formule habituellement retenue pour les bassins versants

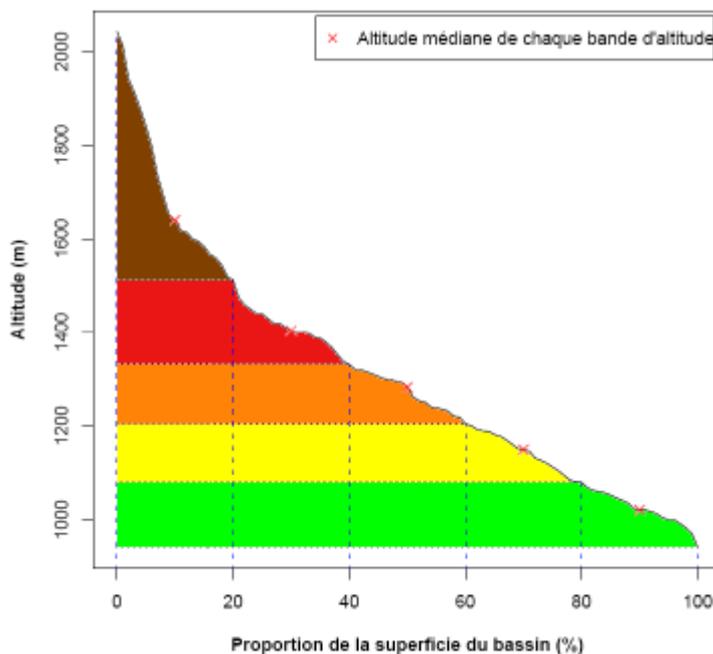
d'altitude médiane supérieure à 1 500 m (US Army Corps of Engineers – 1956). La fraction neigeuse des précipitations est fonction de l'intervalle de température  $[-1 ; 3^{\circ}\text{C}]$  à partir de l'équation suivante :

- Si  $T_z < -1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{Fraction\_Neige}_z = 1$ ,
- Si  $T_z > 3^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{Fraction\_Neige}_z = 0$ .
- $T_z \in [-1;3]^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{Fraction\_Neige}_z = 1 - [T_z - (-1)]/[3 - (-1)]$

Où  $T_z$  est la température moyenne journalière de la bande d'altitude  $z$  considérée. Dès lors, il est possible de calculer la quantité de précipitations liquides et solides de chaque bande d'altitude  $z$ .

### Prise en compte de l'altitude :

Une discrétisation spatiale des sous-bassins versants analysés par l'altitude a également été intégrée, ce paramètre étant essentiel pour la neige. Les bassins versants ont été découpés en bande d'altitude de 200 m, chaque bande d'altitude ayant une altitude médiane associée.



## 11 Annexe n°4 : Extrapolation des données de températures et de pluie

$$P_z = P \times \exp [\text{Beta} \times (Z - Z_{\text{median\_BV}})]$$

avec :

- $P_z$  la quantité précipitée sur la bande d'altitude  $z$ ,
- $Z^z$  l'altitude médiane de la bande d'altitude  $z$ ,
- Beta facteur de correction altitudinal constant (égal à  $4.1.10^{-4}$  en France d'après VALERY 2010).

Z (m)	P(z)	Gradient P(z) pour 100 m
1262	1150.4	
1400	1217.4	48.5
1600	1321.4	50.6
1800	1434.3	52.8
2000	1556.9	55.1
2200	1689.9	57.5
2400	1834.3	60.1
2600	1991.1	62.8

Les précipitations moyennes (1976 à 2010) sont de l'ordre de 1150 mm à la station d'Agnières-en-Dévoluy à 1262 m.

La formule retenue produirait une précipitation moyenne de l'ordre de 1990 mm à 2600 m d'altitude (proche des 2000 mm mesurés dans les années 1970). Le gradient est légèrement supérieur à l'estimation fournie par EDF dans les années 70 pour les Alpes françaises à savoir environ 60 mm/100 m contre 50 mm/100m.

$$T_z = T + \text{Teta} (j) \times (Z_z - Z_{\text{median\_bv}})$$

avec :

- $T_z$  la température sur la bande d'altitude  $z$ ,
- $T$  la température moyenne sur le bassin,
- Teta un gradient altitudinal compris entre  $-0.428$  °C/100 m en décembre et  $-0.602$  °C/100 m en juin d'après VALERY 2010 ou être pris constant sur l'année (dans ce cas la valeur de  $-0.54$  °C/100m est indiquée par VALERY pour la France).

Z (m)	T°C	Gradient P(z) pour 100 m
1200	0	
1400	-1.1	-0.56
1600	-2.2	-0.56
1800	-3.4	-0.56
2000	-4.5	-0.56
2200	-5.6	-0.56
2400	-6.7	-0.56
2600	-7.8	-0.56

Des mesures effectuées sur le massif de Bochaîne vers Lus-la-Croix Haute ont montrées un gradient de température de  $-0.56$ °C/100 m.

## 12 Annexe n°5 : Evaluation de l'évaporation potentielle (d'après Oudin)

« Extrait des travaux de Ludovic Oudin :

*L'objectif de notre recherche est d'améliorer les performances des modèles pluie-débit par une meilleure prise en compte de l'ETP au sein de ces modèles. Pour cela, l'échantillon de bassins versants étudiés devait représenter diverses conditions climatiques et hydrologiques. L'assemblage des différentes données collectées (pluie, débit et paramètres climatiques) a permis l'élaboration d'un échantillon de 308 bassins versants dont 221 français, 79 nord-américains et 8 australiens. L'avantage de travailler sur un échantillon assez vaste est de tirer des conclusions relativement libres de toute dépendance vis à vis des caractéristiques particulières de tel ou tel bassin. De plus, quatre modèles pluie-débit ont été utilisés: le modèle GR4J et des versions globales des modèles HBV, IHACRES et TOPMODEL. Tout d'abord, une étude de sensibilité de ces modèles pluie-débit à l'entrée d'ETP a été entreprise. Deux aspects ont été traités en particulier. La première motivation était de tester l'impact d'une connaissance fine du climat par rapport à une connaissance des normales (moyennes interannuelles). Les résultats ont confirmé le manque d'utilisation judicieuse de l'information datée contenue dans les formules d'ETP par les modèles pluie-débit. Le deuxième aspect était de tester plusieurs formules pour représenter les variations de l'ETP au sein des modèles pluie-débit. Les résultats ont montré là aussi une faible sensibilité des modèles quant au choix fait pour la formule d'ETP. Nous avons porté en particulier notre attention sur la formule de Penman, couramment utilisée en modélisation, car elle est la plus satisfaisante d'un point de vue physique, à l'échelle de la parcelle. En modélisation pluie-débit, elle est dépassée par d'autres formules plus simples (utilisant moins de données climatiques). Ainsi, nous pouvons parler de la pertinence d'autres formules que Penman pour la modélisation: des formules simples faisant intervenir uniquement la température de l'air sont aussi performantes que la formule de Penman. D'un point de vue opérationnel, ces résultats sont extrêmement rassurants puisqu'ils suggèrent qu'une entrée d'ETP simple à obtenir peut être utilisée à la place de formules d'ETP plus demandeuses en données. Cependant, d'un point de vue scientifique, le constat d'apparente insensibilité des modèles pluie-débit à l'entrée d'ETP est préoccupant. En effet, le modèle semble se contenter d'une représentation extrêmement simplifiée de la demande évaporatoire. Pourtant, il est légitime de penser que le modèle serait plus performant s'il prenait mieux en compte cette information supplémentaire.*

Les hypothèses avancées pour expliquer la faible sensibilité des modèles à l'entrée d'ETP sont multiples :

- S'agit-il d'un phénomène naturel que le modèle retranscrit assez fidèlement ?
- Faut-il remettre en cause la structure du modèle, notamment la partie traitant l'évaporation ? - Les formules d'ETP traditionnelles sont-elles inadaptées à la modélisation pluie-débit ? Alors que la première interrogation nous semblait difficile à investiguer, les deux autres étaient plus à la portée d'un utilisateur de modèles pluie-débit conceptuels. Pour cela, nous avons utilisé une approche par données synthétiques d'ETP qui permet notamment de lever toute incertitude sur la pertinence des données d'ETP.

Les résultats ont montré que les différences entre ETP datées et interannuelles étaient presque totalement absorbées par les réservoirs de production des modèles pluie-débit. Le modèle se comporte donc comme un filtre passe-bas pour les données atmosphériques, atténuant ainsi la variabilité temporelle des entrées climatiques. »

LARAGNE-MONTEGLIN													
Mois / année	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
1993		42,6	74,4	82,3	103,9	145,3	161,7	166,5	81,8	49,7	27,8	28,1	
1994	39,1	37,1	104,1	87,2	127,0	159,1	184,5	166,9	77,7	48,1	34,7	29,2	1094,7
1995	40,6	42,3	89,6	108,2	128,2	159,1	178,3	151,0	100,3	57,5	47,8	20,8	1123,7
1996	24,9	42,3	79,1	99,6	122,5	148,4	168,0	132,4	102,4	78,4	45,2	29,0	1072,2
1997	26,6	55,8	117,4	134,3	131,4	135,4	174,0	147,5	111,9	81,8	34,9	38,2	1189,2
1998	33,7	59,4	100,1	82,2	130,2	167,6	215,8	180,5	105,3	68,4	43,3	39,2	1225,7
1999	37,8	57,6	88,1	100,6	136,1	165,1	187,1	156,2	97,6	57,7	38,8	37,2	1159,9
2000	35,8	57,3	91,2	83,7	125,4	166,0	175,7	150,6	112,9	49,1	23,1	24,4	1095,2
2001	24,0	58,2	60,4	104,3	116,2	169,1	169,5	167,3	111,5	53,7	44,9	37,9	1117,0
2002	27,2	45,9	91,1	104,5	117,1	166,7	196,2	146,6	87,9	62,7	39,7	24,6	1110,2
2003	30,4	39,6	79,3	100,0	150,4	201,8	236,3	189,8	119,1	64,2	26,6	32,4	1269,9
2004	32,8	44,7	83,2	97,0	123,3	190,4	218,5	162,9	130,3	53,9	40,7	24,3	1202,0
2005	35,8	47,6	72,4	93,8	152,7	187,6	203,5	191,7	91,3	50,2	32,1	26,3	1185,0
2006	23,7	36,0	70,4	110,3	147,9	177,8	188,6	198,1	103,7	62,6	44,2	22,5	1185,8
2007	34,3	35,7	74,9	100,3	139,7	147,0	204,9	163,9	130,0	73,0	55,1	32,4	1191,2
2008	33,5	36,3	94,6	101,7	107,0	152,2	189,0	171,3	100,8	58,0	30,7	23,2	1098,3
2009	21,5	50,1	92,6	91,8	145,0	172,2	225,2	171,3	100,1	74,9	37,2	25,8	1207,7
2010	21,0	26,4	69,3	98,3	118,6	146,7	203,7	172,9	108,0	62,7	33,3	24,4	1085,3
<b>ETP moy.</b>	<b>30,7</b>	<b>45,3</b>	<b>85,1</b>	<b>98,9</b>	<b>129,0</b>	<b>164,3</b>	<b>193,4</b>	<b>166,0</b>	<b>104,0</b>	<b>61,5</b>	<b>37,8</b>	<b>28,9</b>	
<b>Écart1 Type</b>	<b>6,3</b>	<b>9,5</b>	<b>14,2</b>	<b>12,2</b>	<b>14,2</b>	<b>17,5</b>	<b>21,2</b>	<b>17,1</b>	<b>14,3</b>	<b>10,4</b>	<b>8,2</b>	<b>6,0</b>	
LUS LA CROIX HAUTE													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
1982	22,0	25,5	37,5	78,4	89,0	96,0	135,5	104,4	74,5	35,1	26,1	15,1	739,1
1983	31,2	16,3	46,0	64,4	63,4	104,5	159,0	101,6	75,3	44,7	23,4	23,6	753,4
1984	14,8	17,3	33,6	70,9	57,1	104,6	163,1	101,0	60,2	39,7	42,2	17,8	722,3
1985	9,2	23,8	35,1	79,5	64,0	91,8	139,9	110,0	79,3	57,0	17,6	29,1	736,3
1986	17,6	16,3	36,5	40,6	87,9	110,6	138,8	116,5	84,4	37,7	28,6	15,5	731,0

- ETP moyenne de 1157 mm.
- Ecart type maximal de l'ordre de 20 mm en juillet pour une ETP moyenne mensuelle de 193 mm.

- ETP moyenne de 815 mm.
- Ecart type maximal de l'ordre de 19 mm en mai pour une ETP moyenne mensuelle de 90.5 mm.
- ETP moyenne en juillet de 146 mm (-24 % par rapport à l'ETP de Laragne).

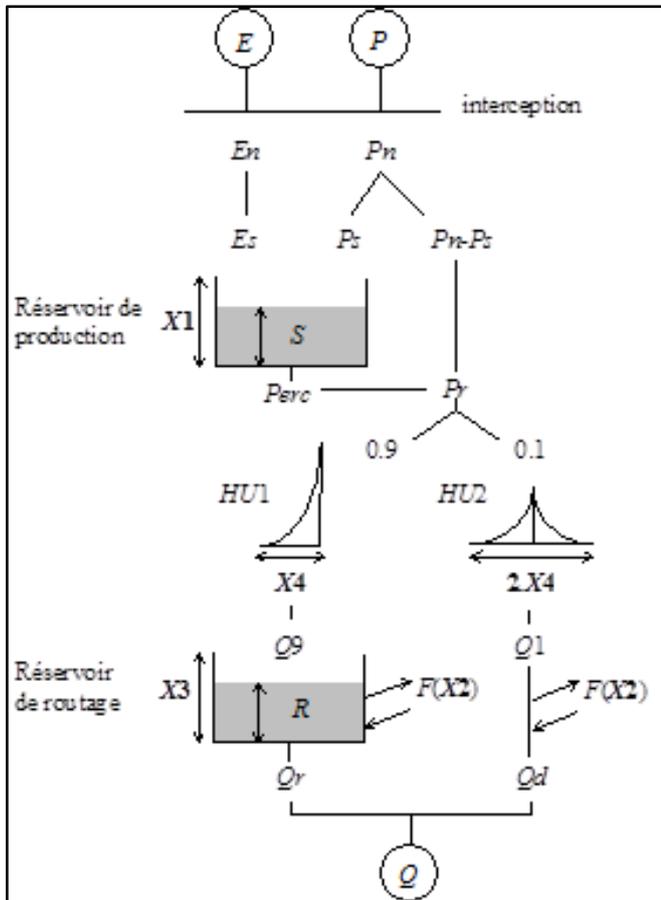
1987	8,9	15,7	34,1	63,3	70,5	80,4	98,1	101,5	74,6	40,8	19,6	19,9	627,4
1988	20,5	19,3	37,3	50,2	83,0	97,4	144,0	131,1	71,2	47,1	20,9	23,3	745,3
1989	24,2	35,5	62,8	49,6	89,8	113,9	140,6	138,2	76,8	56,0	31,6	30,3	849,3
1999	28,8	22,2	58,9	62,5	102,2	115,9	133,9	111,1	75,6	40,9	20,8	19,9	792,7
2000	20,1	31,9	55,0	67,8	92,9	129,7	133,7	126,3	86,2	42,4	24,5	31,5	842,0
2001	24,1	39,6	49,1	63,4	86,4	119,5	130,8	125,1	66,3	60,5	26,0	21,8	812,6
2002	29,4	32,2	63,4	77,4	88,0	122,3	127,3	101,8	57,0	53,4	26,9	18,2	797,3
2003	17,1	28,4	63,3	77,5	113,9	150,9	176,0	150,6	80,6	38,1	31,4	30,3	958,1
2004	18,0	31,1	55,6	66,9	85,9	128,0	163,5	122,2	84,8	52,3	31,7	23,5	863,5
2005	25,4	25,2	53,7	66,5	112,5	136,3	153,6	119,9	72,8	48,4	24,6	15,9	854,8
2006	20,2	27,9	44,5	79,5	113,9	152,8	163,1	132,8	101,6	70,0	43,0	24,1	973,4
2007	25,6	25,5	48,4	84,1	101,8	110,8	155,6	107,3	83,7	55,1	33,6	21,5	853,0
2008	35,1	38,5	55,7	74,0	94,9	111,3	138,8	124,7	71,8	46,6	28,6	20,1	840,1
2009	21,1	33,5	60,7	77,3	133,0	125,9	174,1	150,9	91,5	71,1	35,1	17,7	991,9
2010	16,6	18,8	46,5	79,5	80,5	116,7	151,6	131,5	85,8	55,9	24,5	16,1	824,0
<b>ETP moy.</b>	<b>21,5</b>	<b>26,2</b>	<b>48,9</b>	<b>68,7</b>	<b>90,5</b>	<b>116,0</b>	<b>146,1</b>	<b>120,4</b>	<b>77,7</b>	<b>49,6</b>	<b>28,0</b>	<b>21,8</b>	
<b>Écart Type</b>	<b>6,8</b>	<b>7,5</b>	<b>10,5</b>	<b>11,6</b>	<b>19,0</b>	<b>18,4</b>	<b>18,3</b>	<b>15,7</b>	<b>10,4</b>	<b>10,3</b>	<b>6,9</b>	<b>5,2</b>	
<b>SEDERON</b>													
<b>Année</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>Total</b>
2004	28,1	38,2	62,3	79,2	105,1	158,8	184,5	145,9	108,3	52,8	36,1	27,6	1026,9
2005	32,1	34,1	57,7	78,5	127,5	157,0	180,9	159,5	80,8	55,7	27,9	18,2	1009,9
2006	25,3	30,1	55,7	98,6	128,4	163,9	177,7	153,7	100,4	63,4	43,0	26,8	1067,0
2007	32,0	32,4	59,2	85,0	114,7	125,5	172,0	137,4	102,2	53,9	42,7	30,6	987,6
2008	32,3	31,9	66,3	85,4	99,9	127,8	155,8	136,6	78,0	45,4	28,4	22,3	910,1
2009	21,1	40,1	70,0	76,1	133,8	142,4	186,7	154,8	88,3	61,4	30,3	21,6	1026,6
<b>ETP moy.</b>	<b>28,5</b>	<b>34,5</b>	<b>61,9</b>	<b>83,8</b>	<b>118,2</b>	<b>145,9</b>	<b>176,3</b>	<b>148,0</b>	<b>93,0</b>	<b>55,4</b>	<b>34,7</b>	<b>24,5</b>	
<b>Ecart Type</b>	<b>4,6</b>	<b>3,9</b>	<b>5,4</b>	<b>8,1</b>	<b>13,8</b>	<b>16,6</b>	<b>11,3</b>	<b>9,6</b>	<b>12,4</b>	<b>6,5</b>	<b>6,9</b>	<b>4,6</b>	

- ETP moyenne de 1005 mm.
- Ecart type maximal de 17 mm en juin pour une ETP moyenne mensuelle de 146 mm.

### 13 Annexe n°6 : Modèle GR4J

Le modèle GR4J permet de faire des simulations de débit au pas de temps journalier (cf. schéma du modèle ci-dessous). La version utilisée ici est celle présentée par Perrin (2002) et Perrin et al. (2003). On se référera à ces articles pour une explication des notations utilisées :

- Perrin, C. (2002). Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. La Houille Blanche, n°6/7, 84-91.
- Perrin, C., Michel, C., Andréassian, V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. Journal of Hydrology 279(1-4), 275-289.



Quatre paramètres sont utilisés dans le modèle GR4J :

- x1: Capacité du réservoir de production (mm),
- x2: Paramètre d'échange (mm),
- x3: Capacité du réservoir de routage (mm)
- x4: Délai (jours)

Un calage maximisant Nash (ln(Q)) permet de diminuer l'influence des forts débits et d'obtenir ainsi un meilleur calage en période d'étiage. C'est donc 'optimisation de ce critère qui a été privilégiée pour le calage des quatre paramètres, accompagné d'une vérification graphique des résultats.

Un tel modèle nécessite idéalement que ses paramètres soient calés, en comparant ses données de sortie à des données mesurées naturalisées par une approche du type équation (1). L'opération de calage visa à rechercher les paramètres qui permettent d'avoir la différence la plus faible possible entre les données de sortie du modèle et les débits naturalisés approchés à partir des débits mesurés.

En pratique, le calage du modèle peut être fait de façon à maximiser le critère de Nash (Nash et Sutcliffe, 1970). Ce critère est sans dimension et est défini par :

$$Nash = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \right] \times 100$$

où  $Q_i$  et  $\hat{Q}_i$  sont respectivement les débits observés et simulés durant la période de calage; et où  $\bar{Q}$  est la moyenne des débits simulés. Si le critère de Nash est de 100%, l'ajustement est parfait, par contre s'il est négatif, le débit calculé par le modèle est une plus mauvaise estimation que le simple débit moyen.