

ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVABLES GLOBAUX



Sous bassin versant de la Berre

Rapport final phase 3
• Juillet 2012

**ETUDE DE DETERMINATION DES VOLUMES
PRELEVABLES – LOT 2 BASSIN VERSANT DE
LA BERRE**

**RAPPORT - PHASE 3 – IMPACT DES
PRELEVEMENTS ET QUANTIFICATION
DES RESSOURCES EXISTANTES**

JUILLET 2012

**SOCIETE DU CANAL DE PROVENCE
ET D'AMENAGEMENT DE LA REGION PROVENÇALE**



Le Tholonet - CS 70064 - 13182 Aix-en-Provence CEDEX 5
Tél. 04 42 66 70 00 - Fax. 04 42 66 70 80 - www.canal-de-provence.com

ASCONIT
CONSULTANTS

SOMMAIRE

1	CONTEXTE	6
1.1	ETUDES VOLUMES PRELEVABLES	6
1.2	ORGANISATION DE L'ETUDE	6
1.3	BILAN DES PREMIERES PHASES	7
2	ANALYSE DES DONNEES	9
2.1	DONNEES METEOROLOGIQUES	9
2.2	CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	13
2.2.1	Géologie	13
2.2.2	Hydrogéologie	16
2.3	DONNEES HYDROMETRIQUES	19
2.3.1	Observations des assecs	20
2.3.2	Données ponctuelles	23
2.3.3	Stations hydrométriques provisoires	28
2.3.4	Données des stations hydrométriques à proximité	29
2.4	BILAN	31
3	MODELISATION DES DEBITS	32
3.1	DETERMINATION DES PLUIES DE BASSIN	32
3.2	METHODOLOGIE	32
3.3	CALAGE DU MODELE PLUIE-DEBIT SUR LES CHRONIQUES 2011	33
3.3.1	Berre au Logis de Berre	33
3.3.2	Lauzon à Bollène	34
3.3.3	Estimation des débits de référence pour cette approche	34
3.4	UTILISATION DE JEUX DE PARAMETRES GR4J EXISTANTS	35
3.4.1	Berre au Logis de Berre (B3)	37
3.4.2	Berre en amont de la Vence (B2)	39
3.4.3	Berre au pont du Moulin Foulon (B1)	40
3.4.4	Vence au pont de la RD 56 (V1)	42
3.4.5	Lauzon à Bollène (L2)	43
3.4.6	Débits de la Robine, des Echaravelles et de la Raille	43
3.5	DETERMINATION DU QMNA5 A PARTIR DE MESURES PONCTUELLES	44
3.6	BILAN	45
3.6.1	Comparaison entre méthodes	45
3.6.2	Débits influencés par nœuds	47
4	INFLUENCE DES PRELEVEMENTS	48
4.1	PRISE EN COMPTE DES PRELEVEMENTS	48
4.1.1	Prélèvements en cours d'eau	48
4.1.2	Prélèvements souterrains	48
4.1.3	Lissage des prélèvements sur l'année	49
4.2	ESTIMATION DES DEBITS NATURELS ET ANALYSE SUR LE BASSIN DE LA BERRE	50
4.2.1	Estimation des débits naturels	50
4.2.2	Analyse du fonctionnement	52
4.3	ESTIMATION DES DEBITS NATURELS ET ANALYSE SUR LE BASSIN DU LAUZON	53

4.3.1	Estimation des débits naturels.....	53
4.3.2	Analyse du fonctionnement	54
4.4	ESTIMATION DES DEBITS NATURELS ET ANALYSE SUR LES PETITS AFFLUENTS	55
4.4.1	Analyse du fonctionnement	56
4.5	BILAN GENERAL.....	57
5	INFLUENCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	58
5.1.1	Effet du changement climatique en 2030 sur la Berre au nœud B2.....	59
5.1.2	Effet du changement climatique en 2030 sur le Lauzon au nœud L2	59
5.1.3	Bilan.....	59
6	ANNEXES	61
6.1	ANNEXE 1 : DONNEES PONCTUELLES DE DEBIT	62
6.2	ANNEXE 2 : STATIONS HYDROMETRIQUES PROVISOIRES	63
6.3	ANNEXE 3 : DESCRIPTION DU MODELE GR4J	64
6.4	ANNEXE 4 : RESULTATS DETAILLES	67

INDEX DES FIGURES

Figure 1	: Températures estivales moyennes (JJA) 1971-2000 – source Météo France.....	10
Figure 2	: Cumuls mensuels moyens.....	12
Figure 3	: Carte schématique du bassin de Valréas	13
Figure 4	: Extrait de la carte géologique au 1/250000.....	14
Figure 5	: extrait étude Hydratec 1990 – Syndicat de la Berre	15
Figure 6	: Coupe du Cénomaniens entre Saint-Paul-Trois-Châteaux et Clansayes.....	15
Figure 7	: Mesures ponctuelles ONEMA 2009 sur la Berre.....	26
Figure 8	: Mesures ponctuelles Lauzon	27
Figure 9	: Mesures station hydrométrique Berre - 2011	28
Figure 10	: Mesures station hydrométrique Lauzon- 2011	29
Figure 11	: Comparaison hydrogrammes Berre, Roubion et Lauzon	30
Figure 12	: Test de calage en B3 à partir de l'hydrogramme 2011.....	33
Figure 13	: Test de calage en L2 à partir de l'hydrogramme 2011	34
Figure 14	: Berre en B3- GR4J- méthode du meilleur jeu de paramètre	37
Figure 15	: Berre en B3 – GR4J avec paramètres Roubion.....	38
Figure 16	: Modélisation des débits mensuels moyens en B3.....	39
Figure 17	: Prélèvements sur le bassin de la Berre	50
Figure 18	: Débits mensuels moyens naturels et influencés –Berre et Vence.....	52
Figure 19	: Prélèvements Lauzon à Bollène	53
Figure 20	: Débit mensuel moyen – Lauzon à Bollène.....	54
Figure 21	: Prélèvements sur la Riaille et les Echaravelles.....	55
Figure 22	: Prélèvements Robine	55
Figure 23	: Précipitations moyennes par jour horizon 2030 – source MEDCIE	58

INDEX DES CARTES

Carte 1	: Sous bassins à enjeux	8
Carte 2	: Isohyètes sur le Drôme – source SDI – CG26.....	9
Carte 3	: Postes pluviométriques.....	11
Carte 4	: Masses d'eau souterraines	17
Carte 5	: Assecs de la Berre et de la Vence en 1989	20
Carte 6	: Assecs entre 2006 et 2009 – SIVOM du Tricastin	22
Carte 7	: Données de jaugeages	25

Carte 8 : Localisation des nœuds de calcul36

INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1 : Communes des sous bassins à enjeux	7
Tableau 2 : Postes pluviométriques	12
Tableau 3 : Masses d'eau	16
Tableau 4 : Relevés ROCA sur la Vence à Roussas	20
Tableau 5 : Signification du code ROCA	21
Tableau 6 : Données ponctuelles de débit.....	23
Tableau 7 : Jaugeages 2010	24
Tableau 8 : Stations hydrométriques à proximité de la Berre.....	29
Tableau 9 : Station hydrométrique à proximité du Lauzon	30
Tableau 10 : Nœuds de la Berre retenus pour la modélisation	35
Tableau 11 : Détermination des QMNA5 par méthode des jaugeages épisodiques.....	44
Tableau 12 : Comparaison des QMNA5 selon les méthodes	45
Tableau 13 : méthode de calcul du coefficient de robustesse.....	45
Tableau 14 : coefficient de robustesse par noeud	46
Tableau 15 : Méthode pluie débit conservée selon les noeuds.....	46
Tableau 16 : Débits influencés	47
Tableau 17 : Forages agricoles non pris en compte	49
Tableau 18 : Débits naturels et influencés – Berre et Vence.....	51
Tableau 19 : Débits naturels et influencés - Lauzon	54
Tableau 20 : Débits naturels et influencés – petits affluents	56
Tableau 21 : Débits naturels et influencés sur l'ensemble des noeuds	57

1 CONTEXTE

1.1 Etudes Volumes Prélevables

Dans un contexte récurrent de gestion de crise autour de la ressource en eau, le législateur a souhaité un retour à l'équilibre entre l'offre et la demande en eau. La circulaire du MEEDDAT du 30 juin 2008 vise ainsi à une résorption des déficits quantitatifs en matière de prélèvements d'eau et à la gestion collective des prélèvements d'irrigation.

Les autorisations de prélèvements dans les bassins devront être inférieures ou égales aux volumes prélevables au plus tard le 31 décembre 2014.

Les étapes nécessaires à cette démarche sont dès lors :

- l'évaluation des volumes prélevables, au travers de la présente étude,
- la concertation entre les usagers sur la répartition de ces volumes,
- la mise en place de la gestion collective de l'irrigation et la révision des autorisations de prélèvement.

Cette première étape fondamentale, au-delà de la redéfinition technique des seuils (débits ou niveau de nappe), va également permettre d'une part de mobiliser les acteurs et usagers locaux autour de la ressource et d'autre part d'avoir d'une vision globale des usages de l'eau sur le bassin.

1.2 Organisation de l'étude

L'étude se déroule en six phases :

- Phase 1 : Caractérisation des sous bassins et aquifères et recueil de données complémentaires
- Phase 2 : Bilan des prélèvements existants, analyse de l'évolution
- Phase 3 : Impact des prélèvements et quantification des ressources existantes
- Phase 4 : Détermination des débits minimum biologiques
- Phase 5 : Détermination des volumes prélevables et des DOE (débits objectifs d'étiage)
- Phase 6 : Proposition de répartition des volumes entre les usages, périmètre d'organisme unique

Le présent rapport concerne la phase 3.

1.3 Bilan des premières phases

En termes de cohérence de territoire et d'enjeux, les deux premières phases de l'étude ont permis de mettre en évidence deux sous secteurs distincts.

Le secteur de la plaine alluviale du Rhône présente des ressources en eau non limitantes, du fait de la présence de la nappe alluviale du Rhône et des canaux de la CNR alimentés par le Rhône. Les prélèvements en eau sont importants, notamment du fait des industriels.

Sur ces secteurs, les prélèvements agricoles sont réalisés en nappe ou à partir des ouvrages d'irrigation développés à partir de la ressource superficielle du Rhône. Dans ce secteur, la mise en place des canaux a également bouleversé le fonctionnement naturel des cours affluents qui sont interceptés par les contre canaux. Sur ce secteur, il y a donc peu d'enjeux sur la ressource en eau, au contraire, il s'agit d'un secteur exportateur vers les bassins amont plus secs.

Les secteurs en dehors de la plaine alluviale du Rhône, c'est-à-dire à l'Est des canaux de la CNR, présentent des ressources en eau locales plus limitées. Les réseaux d'irrigation issus des canaux du Rhône remontent tout de même les plaines en amont :

- jusqu'à la confluence avec la Vence sur la Berre,
- dans la plaine de St Paul Trois Châteaux sur les Echaravelles et la Roubine.
- sur les plaines de St Restitut et Solérieux pour le Lauzon.

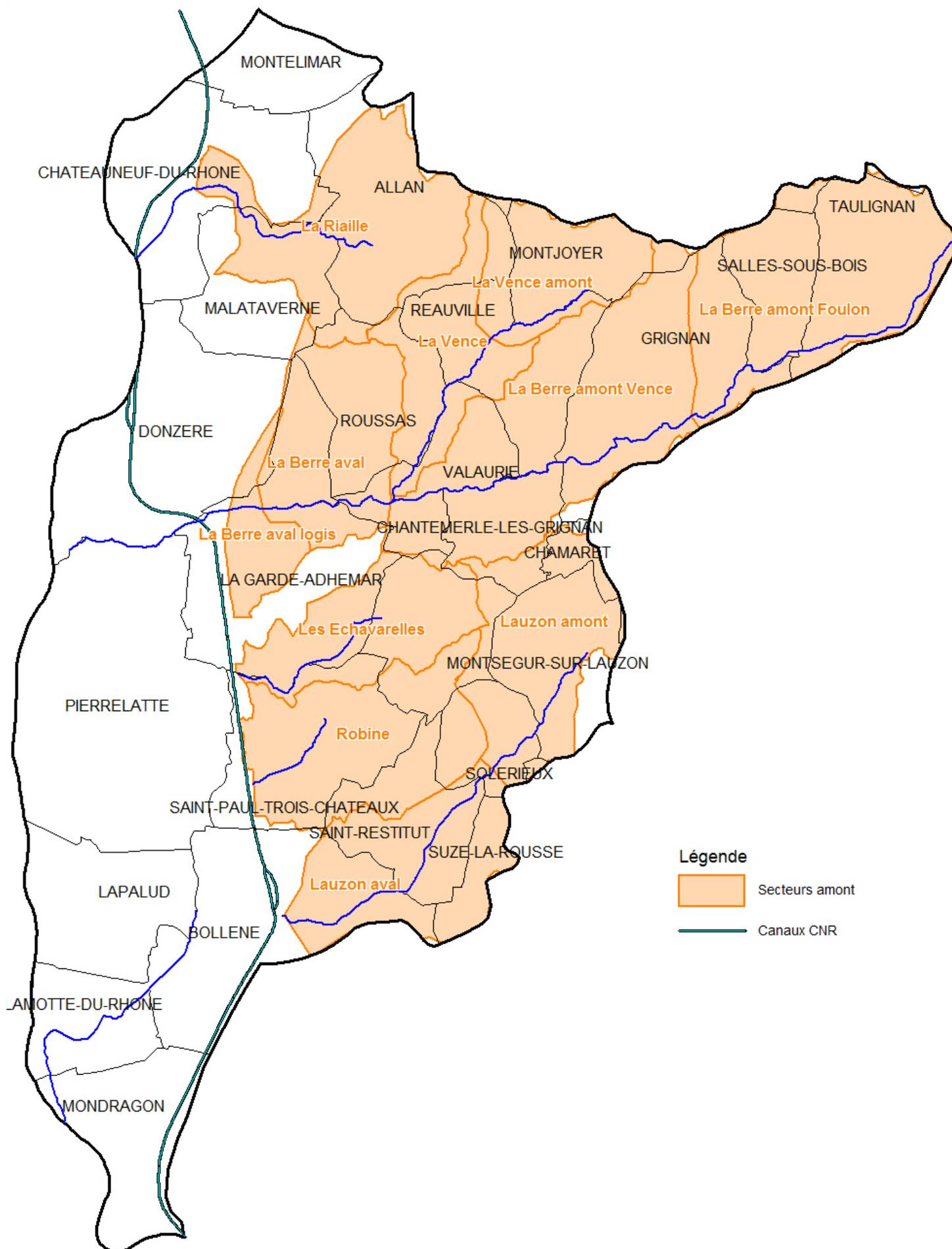
Dans les phases ultérieures, les investigations (DMB notamment) seront donc réalisées à l'Est des canaux de la CNR. Le tableau suivant synthétise les communes par sous bassin à enjeux :

Sous bassin	Communes concernées
Riaille	ALLAN, CHATEAUNEUF DU RHONE, MALATAVERNE
Berre	TAULIGNAN, SALLES SS BOIS, GRIGNAN, REAUVILLE, VALAURIE, ROUSSAS, LA GARDE ADHEMAR, DONZERE, CHANTEMERLE LES GRIGNAN, MONTJOYER, ALEYRAC
Vence	ALLAN, MONTJOYER, REAUVILLE, VALAURIE, ROUSSAS
Echaravelles	LA GARDE ADHEMAR, CLANSAYES
Robine	CLANSAYES, ST PAUL TROIS CHATEAUX, ST RESTITUT, SOLERIEUX
Lauzon	MONTSEGUR SUR LAUZON, CLANSAYES, SOLERIEUX, SUZE LA ROUSSE, SAINT RESTITUT, BOLLENE, CHAMARET

Tableau 1 : Communes des sous bassins à enjeux

SOUS BASSINS A ENJEUX

Bassin versant de la Berre

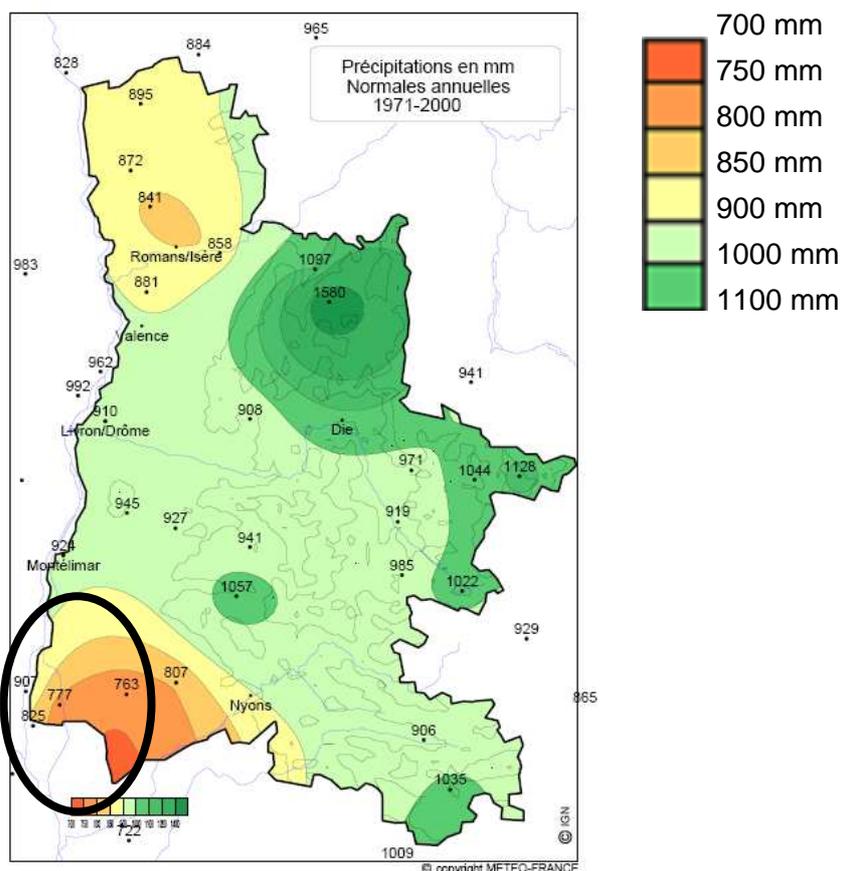


2 ANALYSE DES DONNEES

2.1 Données météorologiques

La carte suivante synthétise les isohyètes sur le département de la Drôme. Elle est extraite du schéma directeur des irrigations de la Drôme.

Elle met en évidence la faible pluviométrie du périmètre ici étudié par rapport au reste du département. La pluviométrie annuelle sur le nord du périmètre est d'environ 900 mm. Sur le sud et l'Est elle est d'environ 700 mm.



Carte 2 : Isohyètes sur le Drôme – source SDI – CG26

Ce caractère de zone de transition entre un climat méditerranéen et « Rhône-alpin » est également observé au niveau des températures. La figure ci-après donne les températures moyennes estivales (mois juin à août) sur le département de la Drôme.

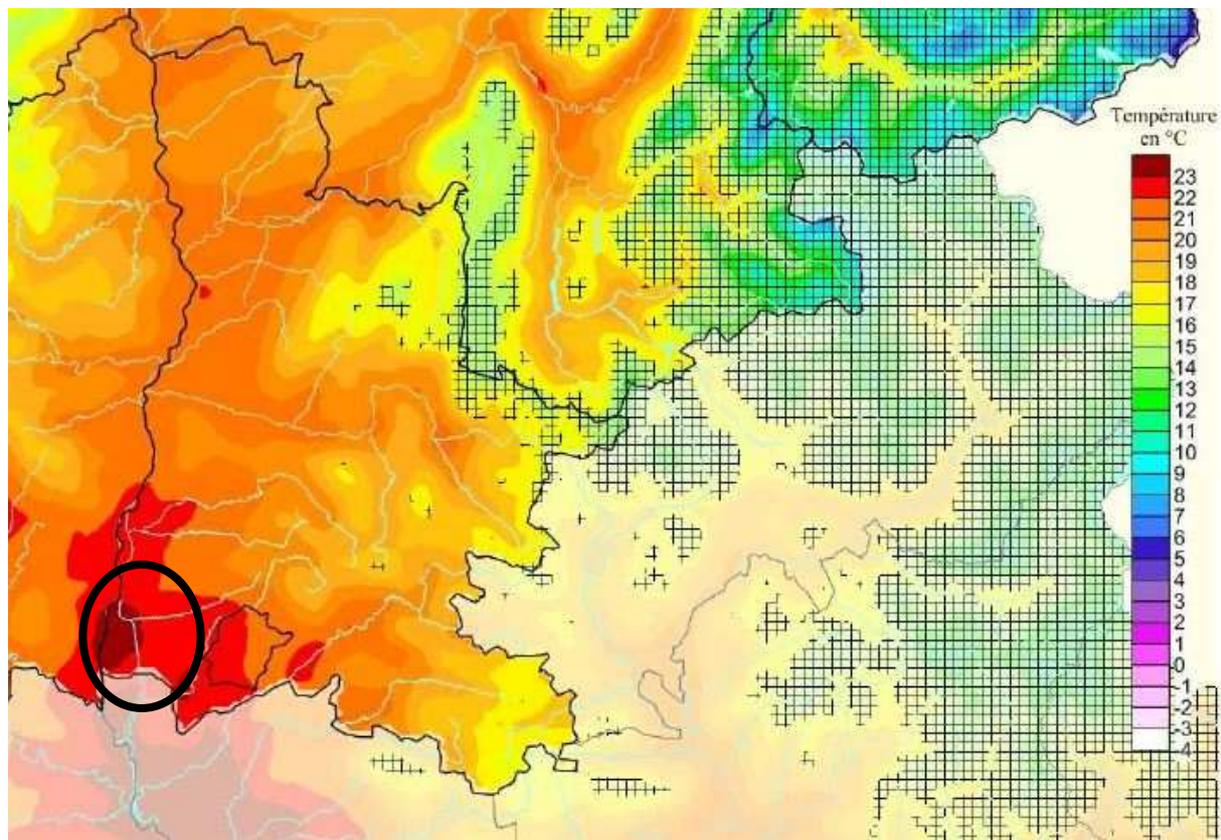


Figure 1 : Températures estivales moyennes (JJA) 1971-2000 – source Météo France

Les postes pluviométriques de Météo-France qui ont été utilisés dans le cadre de cette étude sont localisés sur la carte ci-après.

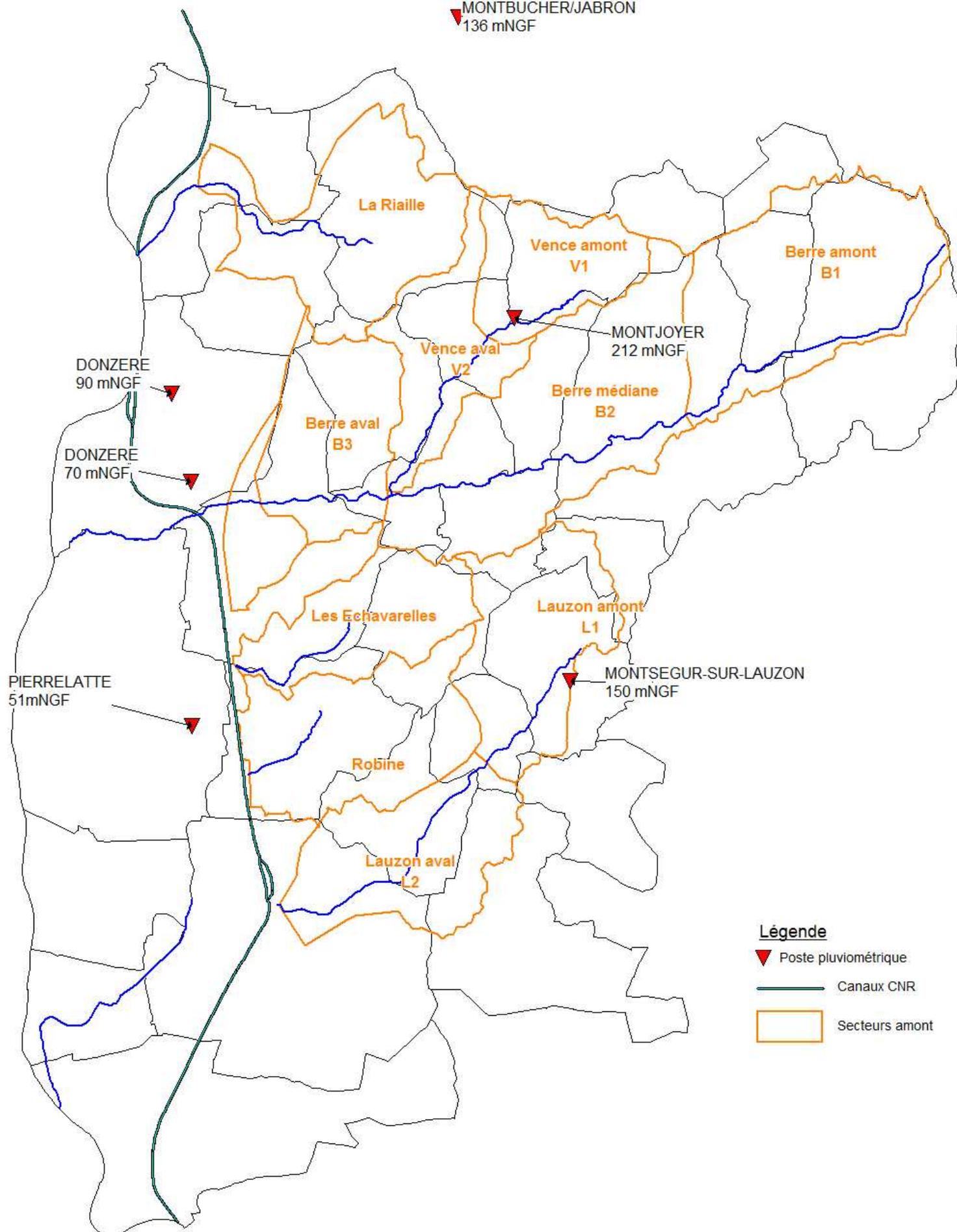
POSTES PLUVIOMETRIQUES

Bassin versant de la Berre



ASCONIT

MONTBUCHER/JABRON
136 mNGF



En termes de cumuls annuels, sur la période 1981-2010, les cumuls sont effectivement décroissants en descendant vers le sud du périmètre.

Poste	Altitude (mNGF)	Période	Cumul annuel moyen (mm)	Min observé (mm)	Max observé (mm)	Cumul dépassé 8 années sur 10
Montbucher sur Jabron	136	1981-2010	914	560	1384	721 mm
Montjoyer	212	1993-2010	1001	655	1440	800 mm
Donzère	70 et 90	1981-2010	820	587	1339	669 mm
Montségur	150	1981-2010	772	555	1235	623 mm
Pierrelatte	51	1981-2010	765	449	1340	601 mm

Tableau 2 : Postes pluviométriques

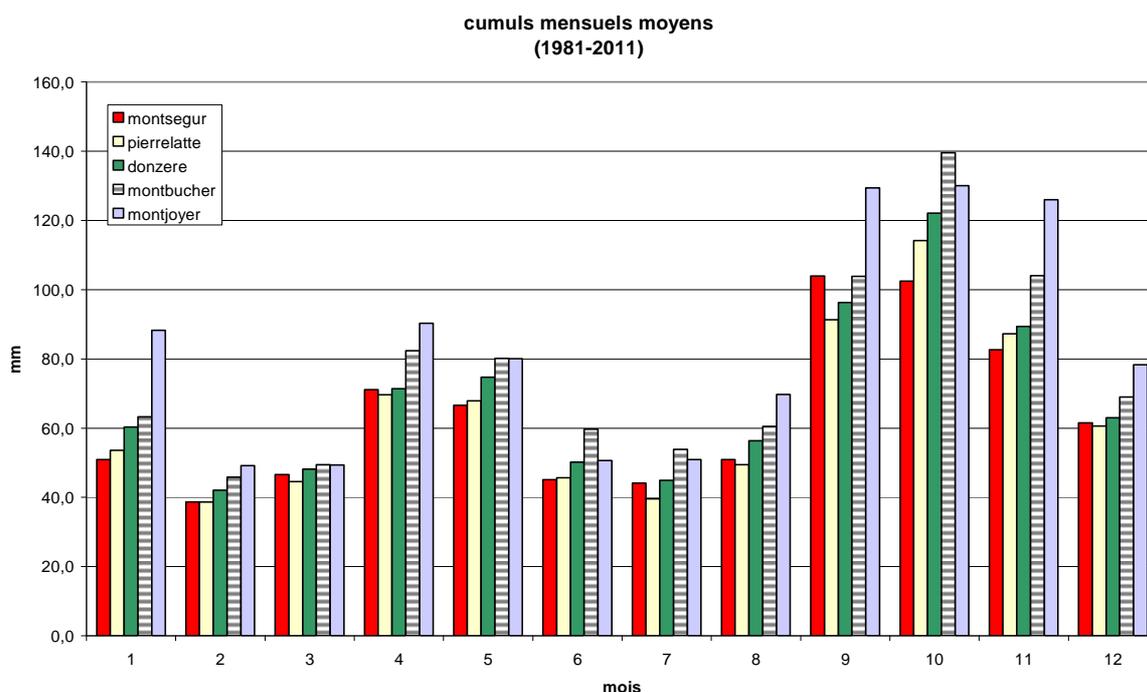


Figure 2 : Cumuls mensuels moyens

Le mois le plus sec est le mois de février pour l'ensemble des stations, avec un cumul d'environ 40 mm.

On retrouve deux périodes pluvieuses, en avril et mai puis à l'automne entre septembre et novembre. Le mois le plus arrosé est le mois d'octobre avec des cumuls moyens de 100 mm à 140 mm selon les postes.

2.2 Contexte hydrogéologique

2.2.1 Géologie

La géologie locale est décrite dans les notices géologiques du BRGM :

- Valréas (0890) pour la majeure partie de la zone d'étude
- Montélimar (0866) pour la partie Nord

Sur le plan géologique, le territoire est occupé en grande partie par le large synclinal miocène de Valréas. Au centre, les terrains tertiaires sont masqués par d'immenses cônes alluviaux würmiens à pente très faible qui s'étalent entre Valréas et Suze-la-Rousse.

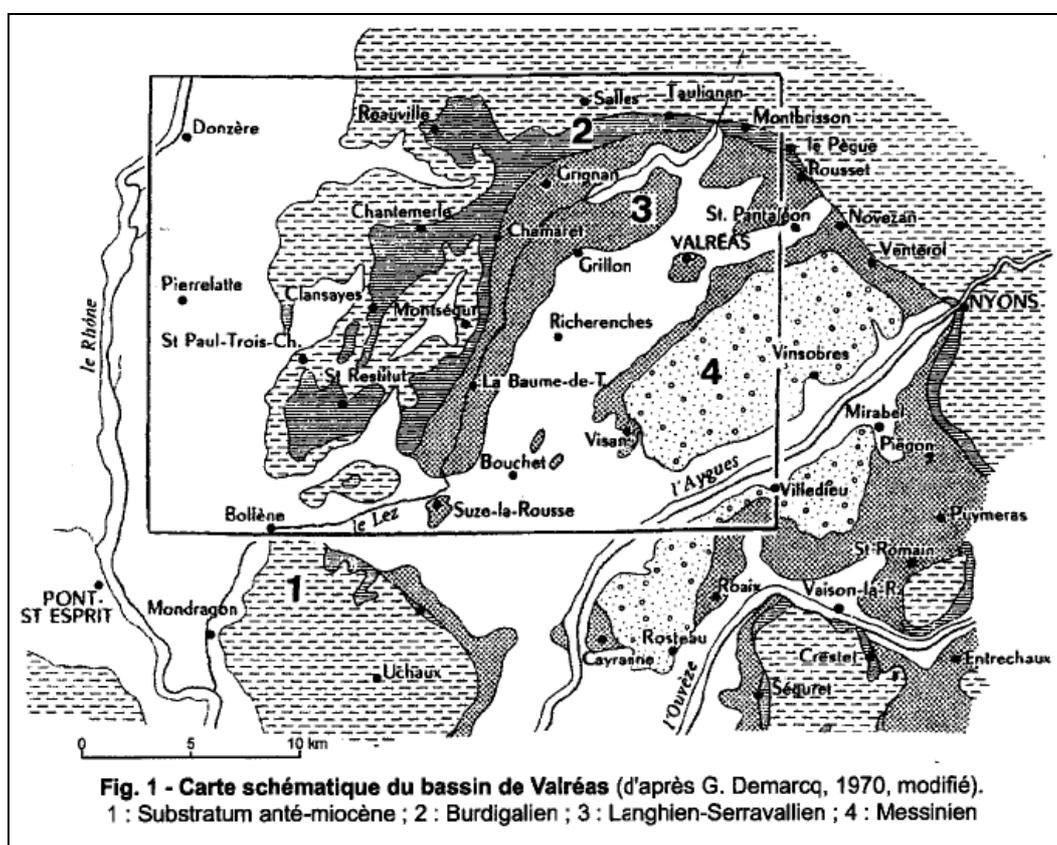


Figure 3: Carte schématique du bassin de Valréas

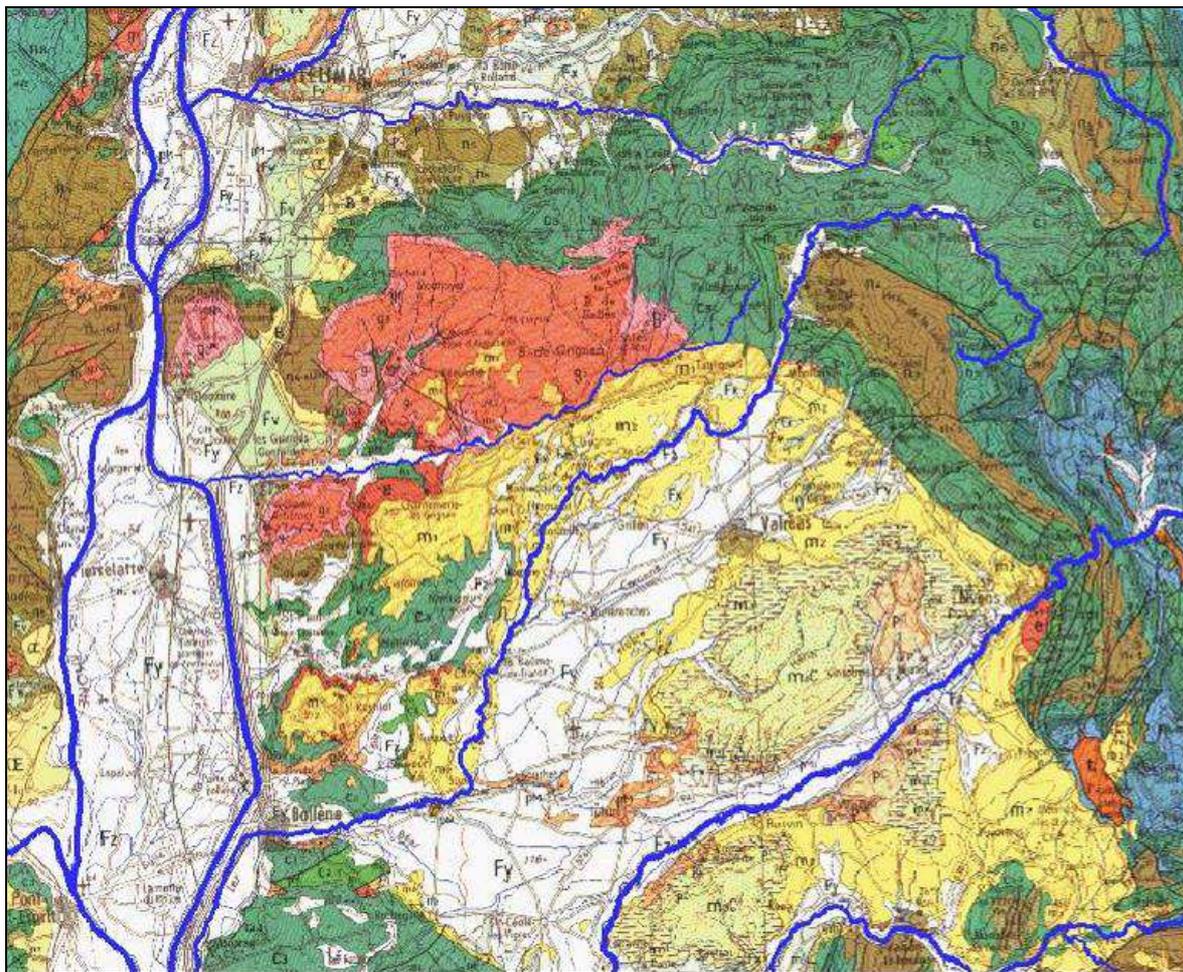


Figure 4: Extrait de la carte géologique au 1/250000

Légende (simplifiée)

 Fy : Alluvions würmiennes	 c3 : calcaires turoniens
 Fz : Alluvions récents	 g2 : calcaires marnes oligocènes
 m1 : Molasse miocène	 m2c : miocène molasse détritique

On distingue au Nord de la zone d'étude le bassin versant de la Berre et au sud/sud-est celui du Lez.

La Berre sépare d'une part les reliefs Urgoniens du Moulon et le pays Oligocène de Réauville et d'autre part le pays Miocène de Chantemerle avec le grand plateau Burdigalien de Rouvergues.

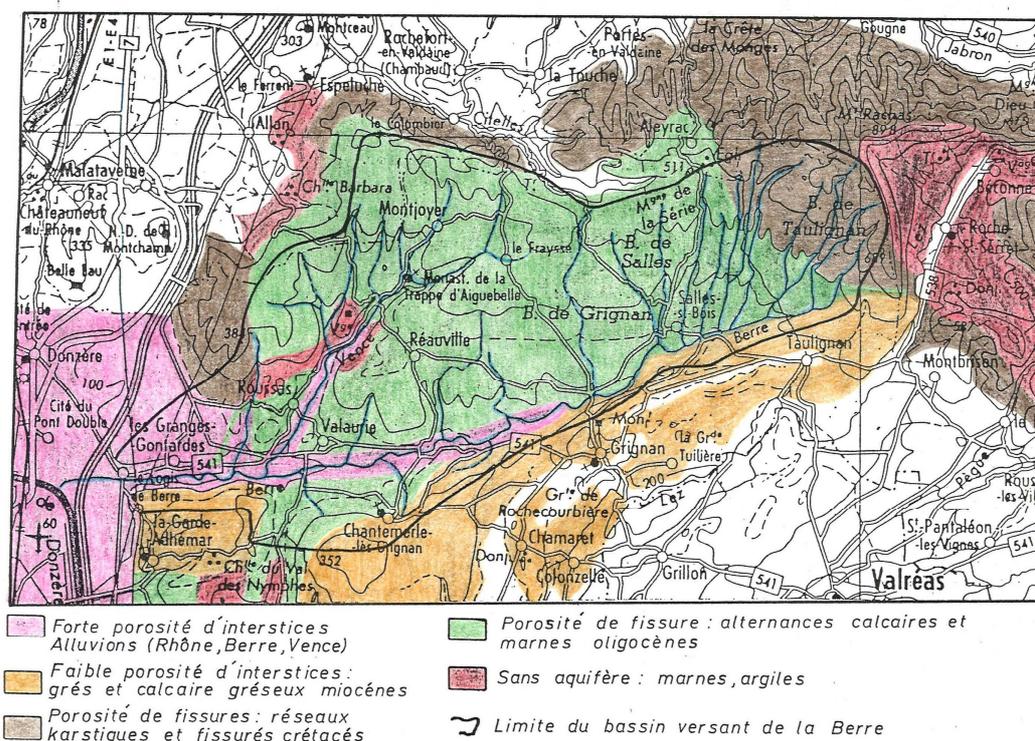


Figure 5 : extrait étude Hydratec 1990 – Syndicat de la Berre

Au sud du territoire, le Lez et ses affluents drainent une large vallée comblée d'épandages würmiens.

Les 2 bassins versant sont séparés par les molasses burdigaliennes transgressives sur le Crétacé supérieur. Ce dernier présente des collines calcaires affleurantes dans le secteur de Châteauneuf-du-Rhône, Donzère, Malataverne, la Garde Adhémar, Saint-Paul-trois-Châteaux, Montségur et St Restitut.

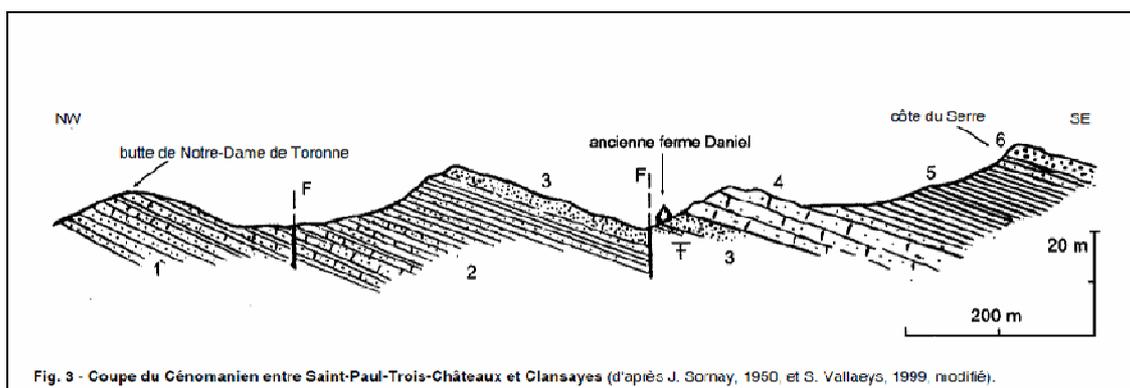


Fig. 3 - Coupe du Cénomanién entre Saint-Paul-Trois-Châteaux et Clansayes (d'après J. Somay, 1950 et S. Vallaeys, 1999 modifié).

Figure 6: Coupe du Cénomanién entre Saint-Paul-Trois-Châteaux et Clansayes

1. Sables glauconieux, jaunâtres à verdâtres, à petits bancs de grès (50 m environ)
2. Marnes sableuses à petits bancs gréseux (50 m)
3. Niveaux gréseux comportant d'abord un banc métrique à graviers noirs puis 8 m de grès et sables jaunes

4. Calcaires gréseux blancs (20-30 m)
5. Marnes gris blanchâtres coupées de petits bancs calcaires discontinus.
6. Bancs de grès grossiers à galets et graviers rattachés au Turonien

A l'ouest, le territoire est bordé par les alluvions de la vallée du Rhône.

2.2.2 Hydrogéologie

Les principaux systèmes hydrographiques sont ceux des vallées du Rhône et de la Berre en aval de Valaurie (FR_DO_324).

Ces vallées contiennent une nappe aquifère alluviale régulière et abondante, déterminée par les marnes du Pliocène marin sous-jacent. Elle est partout abondamment exploitée par pompage (captages AEP du SIE Valaurie Roussas).

D'autres zones alluvionnaires de plus petites tailles sont également recensées autour de St Paul Trois Châteaux (Echaravelles et Roubine), les alluvions de la Roubine étant exploités par les captages AEP de St Paul Trois Châteaux (Gonsard) et St Restitut (St Estève). Des dépôts d'alluvions sont également présents le long du Lauzon, autour de Montségur et sur la Plaine d'Avril (ancienne zone humide drainée par des ouvrages souterrains vers le bassin du Lez).

Il existe ensuite de nombreuses sources liées à des niveaux aquifères particuliers, plus réduits :

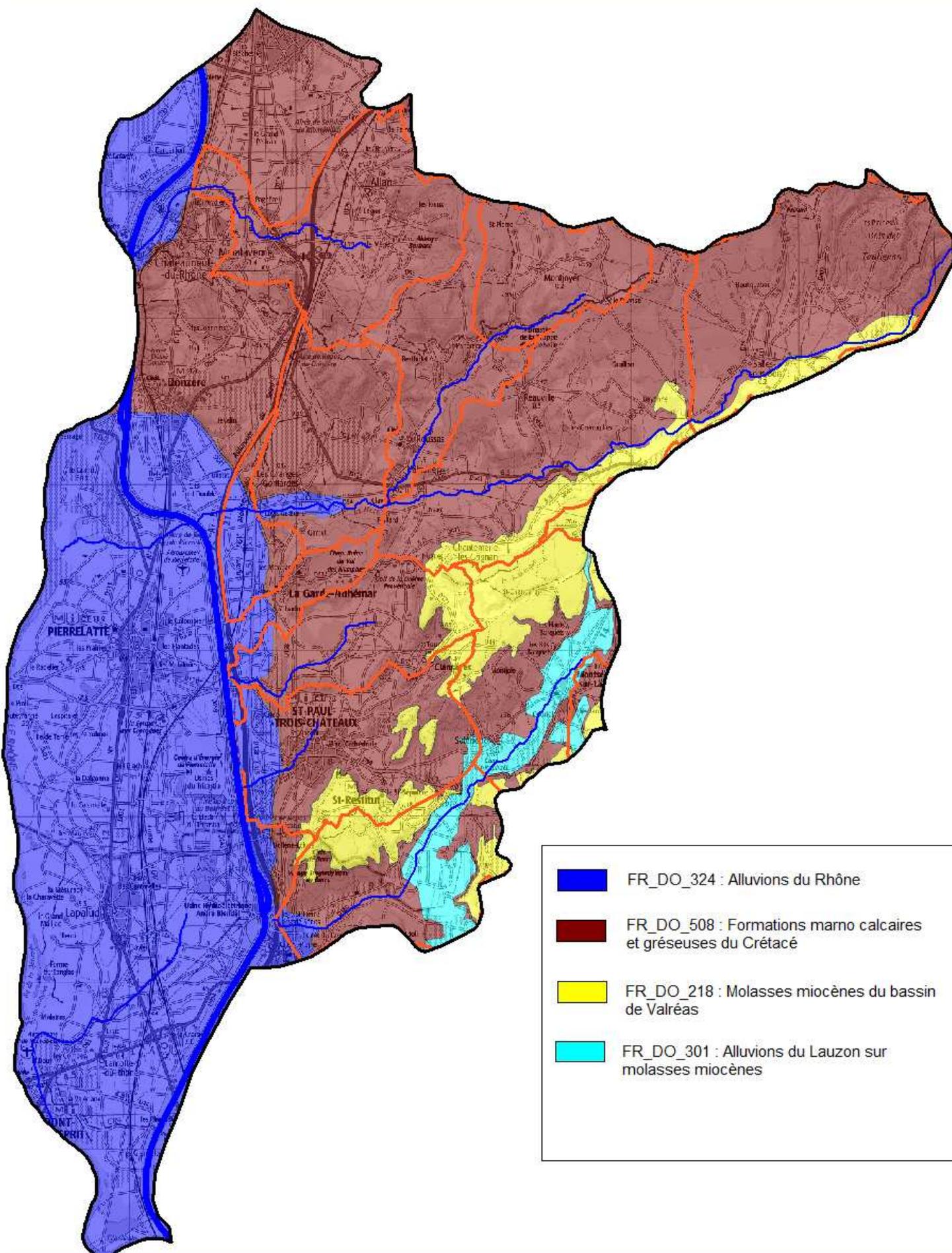
- Au contact des dalles calcaires de l'Oligocène sur les marnes également oligocènes sous-jacentes, dans la partie nord du territoire (source du val des Nymphes, près de la Garde-Adhémar, captages AEP de Reauville),
- de la base des calcaires burdigaliens au contact des Marnes de Salles (captages de Chantemerle, Saint-Restitut) ou du Crétacé supérieur sous-jacent quand il est suffisamment marneux comme dans les environs de Clansaye.

Enfin les sables cénomaniens ou albo-aptiens, à passées marneuses (ces derniers au contact des marnes gargasiennes) contiennent quelques ressources en eau, de faible importance (captages AEP de St Restitut ou de Montségur sur Lauzon). Ces petites sources sont souvent masquées, à leur point d'émergence, par des formations superficielles (éboulis et colluvions) au sein desquelles l'eau peut continuer à circuler avant de sortir plus bas de façon plus ou moins diffuse.

Les sous bassins à enjeux recouvrent plusieurs masses d'eau souterraine (cf. carte en page suivante) :

N° masse d'eau	Nom
FR_DO_324	Alluvions du Rhône du confluent de l'Isère à la Durance + alluvions basses vallée Ardèche, Cèze
FR_DO_508	Formations marno-calcaires et gréseuses dans BV Drôme Roubion, Eygues, Ouvèze
FR_D0_218	Molasses miocènes du Comtat
FR_DO_301	Alluvions des plaines du Comtat et des Sorgues

Tableau 3 : Masses d'eau



FR_DO_508 : Les formations marno-calcaires et gréseuse

Cette masse d'eau représente un vaste domaine de 70 km de long et de 40 km de large. La zone d'étude comprend la partie ouest de cette masse d'eau qui représente tout de même près de 300 km².

Les formations calcaires ou gréseuses du Crétacé peuvent donner naissance, au contact des horizons marneux sur lesquelles elles reposent, à des sources plus ou moins importantes. Cette masse d'eau présente une lithostratigraphie très variée et ne possède pas d'important système aquifère. Cette formation géologique est constituée d'une alternance de marnes, argiles, calcaires marneux, sables, grès, calcaires du Crétacé et du Jurassique.

La recharge de cette masse d'eau s'effectue exclusivement par les précipitations (300 à 350 mm d'infiltration). Les exutoires sont constitués par les cours d'eau. Les écoulements se font globalement d'est en ouest (manque de données piézométriques).

La perméabilité de cette masse d'eau est très variable et dépend des faciès lithologiques rencontrés.

Cette formation est particulièrement vulnérable. Seule la présence localisée d'une couverture d'alluvions argilo-limoneuses à sablo-graveleuses peuvent lui conférer une protection toute relative.

Cette vaste masse d'eau, peu connue, présente donc de faibles ressources mais n'est que peu exploitée. Les prélèvements sont maîtrisés mais ils avoisinent le maximum admissible. Son état général est bon (Risque NABE = 1) et ne présente pas de risque majeur. Seules des pollutions bactériennes ponctuelles peuvent être signalées.

FR_DO_218 : Les molasses miocènes du Comtat s'étendent de Valréas au Nord à Carpentras au Sud. Cette dépression s'est remplie d'une molasse multicouche composée d'une alternance de sables localement grésifiés, sables argileux, argiles. Sa superficie est d'environ 1000 km². Les "safres", terme local, désignent des lentilles sableuses alternant latéralement et verticalement avec des horizons marneux et argileux.

Notre zone d'étude est concernée par un sous-secteur de cette masse d'eau. Il s'agit de la molasse miocène du bassin de Valréas (218a) d'une superficie de 410 km² (dont 35 km² au sud-est du territoire).

La recharge de l'aquifère s'effectue par les précipitations et éventuellement par les niveaux gréseux latéraux du Crétacé supérieur. Les eaux souterraines trouvent leur exutoire dans la "trouée" de Bollène mais également par le drainage des cours d'eau et les prélèvements par pompage.

Les aquifères superficiels sont libres mais au-delà de 30 m de profondeur, les horizons aquifères molassiques sont en charge et souvent à l'origine d'artésianisme. Ce dernier est dû à la couverture argileuse du Pliocène ou aux intercalations argileuses au sein des formations miocènes.

Les variations piézométriques annuelles sont faibles (< 1 m). Les éléments de la bibliographie indiquent une baisse cumulée de 5 à 10 m depuis le début du 20^{ème} siècle.

Les paramètres hydrodynamiques de cette nappe sont les suivants :

- Gradient hydraulique < 1 %

- Vitesse : 0,26 m/an
- Perméabilité : 10^{-6} à 10^{-5} m/s (cette dernière semble plus réaliste)
- Transmissivité intéressante par endroit : 10^{-4} voire 10^{-3} m²/s
- Débit spécifique pouvant atteindre 2 à 3 m³/h/m dans certains secteurs du bassin de Valréas

L'épaisseur de la zone non saturée (comprise entre 5 et 20 m) et l'alternance de niveaux perméables et imperméables lui confèrent une vulnérabilité toute relative (Risque NABE = 3). Cet aquifère ne dispose pas de couverture argileuse. Les alluvions du Lauzon (masse d'eau 6301a) sus-jacentes peuvent améliorer sa protection.

Cette masse d'eau peu connue et les données manquantes concernent la piézométrie, le recensement des ouvrages et le niveau et la vitesse de la recharge.

 **FR_DO_301** : Alluvions des plaines du Comtat et des Sorgues. Cette masse d'eau est de type sédimentaire, avec des alluvions fluviales du Quaternaire composées d'éléments détritiques grossiers dans une matrice sablo-argileuse.

La partie de cette masse d'eau qui nous intéresse ici concerne les alluvions du Lauzon sus-jacentes (6301a) à la molasse miocène du bassin de Valréas.

La recharge par les précipitations est prépondérante devant les pertes des cours d'eau ou l'apport des versants. La nappe est drainée par le Lauzon.

Le gradient hydraulique est de l'ordre de 1 à 3 ‰. Les fluctuations piézométriques annuelles sont de l'ordre de 0,5 à 2 m.

Les paramètres hydrodynamiques de cette nappe sont les suivants :

- Transmissivité : 10^{-2} à 10^{-4} m²/s
- Perméabilité des alluvions très variable en fonction de la granulométrie des graviers = 10^{-3} à 10^{-5} m/s
- Epaisseur relativement faible : < 15m

L'aquifère est libre et possède une faible épaisseur (< 15 m) ce qui est un facteur de vulnérabilité renforcée par la faible épaisseur de la zone non saturée (< 5 m). Malgré la présence d'une couche de limons protectrice, la vulnérabilité de la nappe reste forte.

2.3 Données hydrométriques

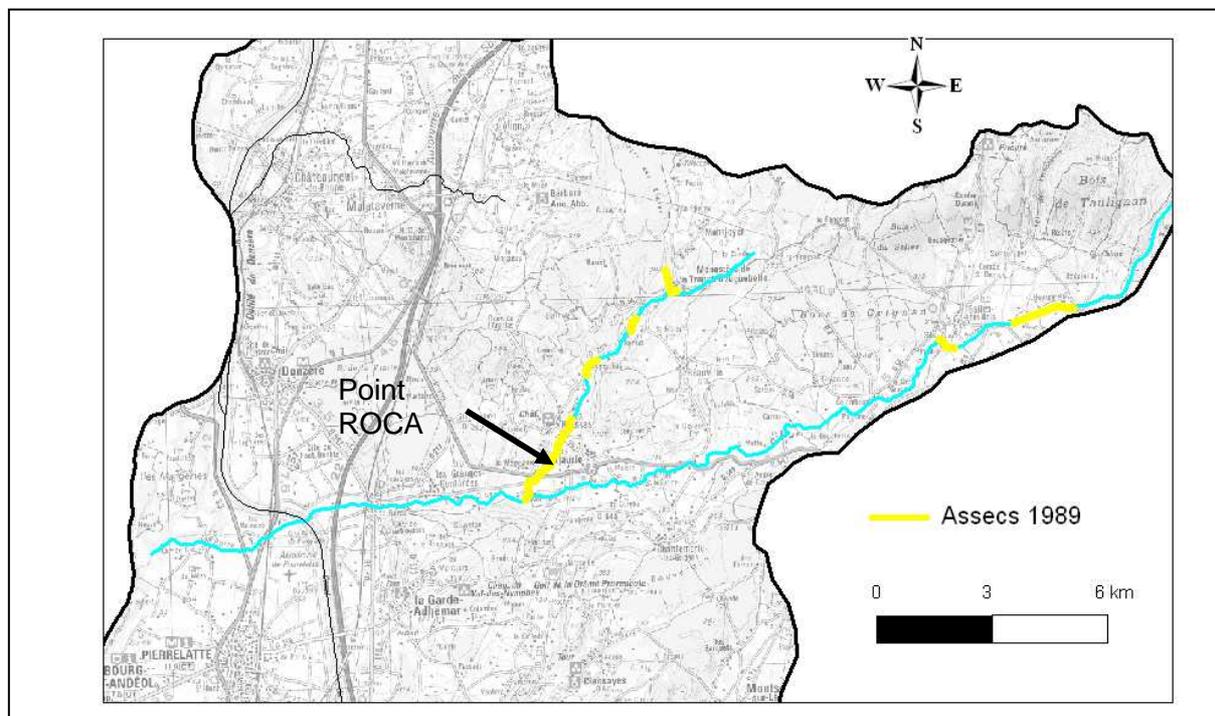
Il n'y a jamais eu de station hydrométrique sur le périmètre d'étude, qui rassemble plusieurs petits bassins versants affluents du Rhône.

Des données ponctuelles de débit ont pu être collectées chez les différents partenaires (DREAL Rhône Alpes, CG26, SIVOM du Tricastin, ONEMA).

Lors de l'été 2011, deux stations hydrométriques provisoires ont été mises en place de mi-juin à début novembre sur la Berre et le Lauzon.

2.3.1 Observations des assecs

En 1989, une cartographie des assecs sur le bassin de la Berre et de la Vence a été réalisée. Les tronçons sont donnés sur la carte suivante :



Carte 5 : Assecs de la Berre et de la Vence en 1989

Les zones d'assecs sur la Berre sont donc localisées au niveau de Salles-sous-Bois. La Vence présente un assec important en aval de Roussas sur son cour aval.

Les relevés du réseau ROCA sur la Vence à Roussas sont synthétisés dans le tableau ci-après. Ils confirment la sensibilité de la portion aval de cet affluent, avec un assec prolongé jusqu'en novembre en 2007.

Année	mai			juin			juillet			août			septembre			octobre			novembre		
2008	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2									
2007	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2006	1	1	1	1	1	2	2	2	4	4	4	4	1	1							
2005	1	1	1	1	1	2	3	3	3	3											
2004							3	3	3	3	1	1	1	1	1						

Tableau 4 : Relevés ROCA sur la Vence à Roussas

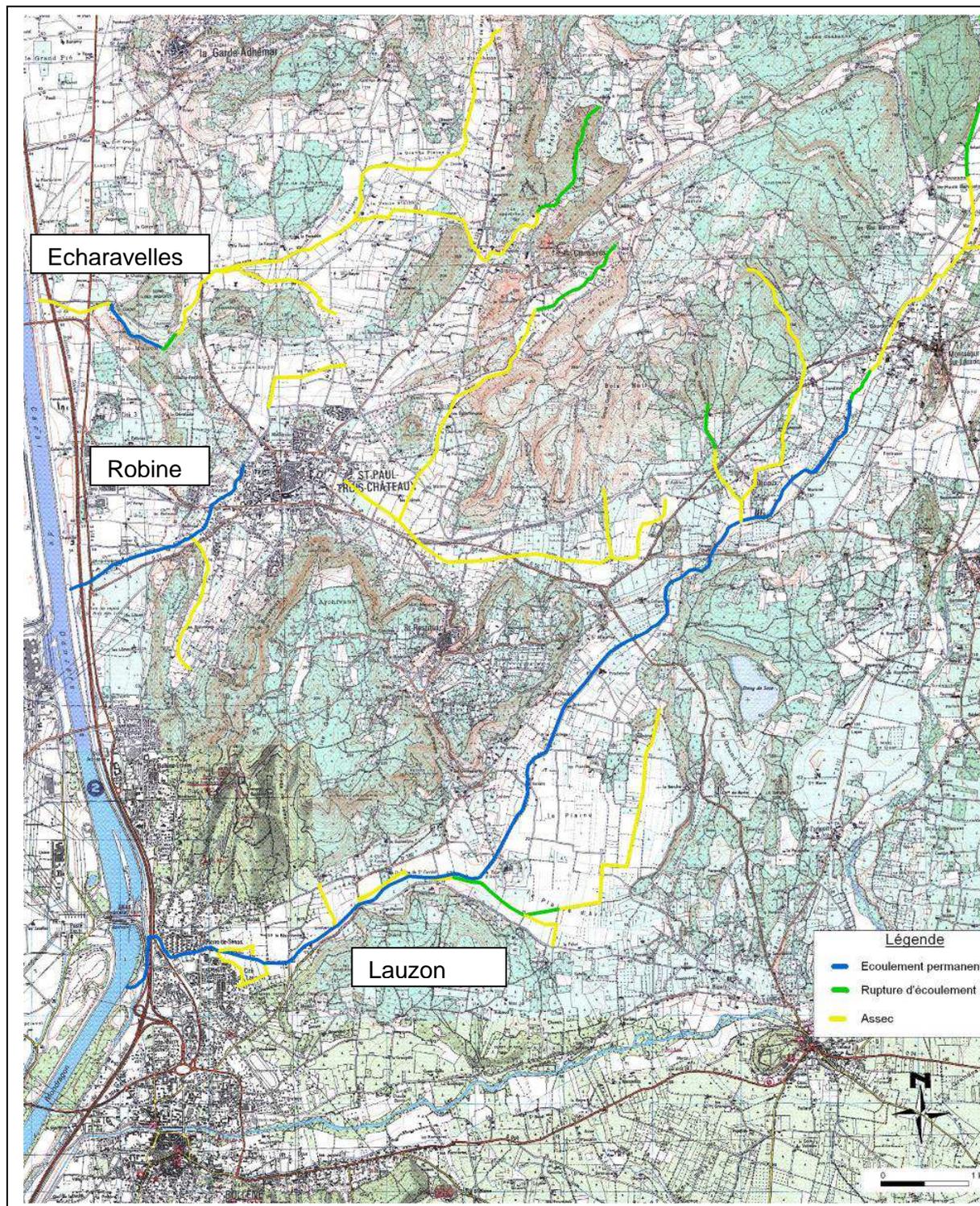
code	Signification avant 2006	Signification depuis 2006
1	Ecoulement visible	écoulement visible acceptable – débit biologique assuré
2	Ecoulement non visible	écoulement visible faible – débit biologique non garanti
3	Assec	écoulement non visible – débit biologique fortement altéré
4		Assec

Tableau 5 : Signification du code ROCA

La carte en page suivante a été réalisée par le SIVOM du Tricastin et donne l'étendu des assecs entre 2006 et 2009 sur le Lauzon, la Roubine et les Echaravelles.

Sur la Riaille, les investigations DMB de 2011 ont mis en évidence :

- un lit à sec au minimum entre le pont SCNF et le hameau de Malataverne,
- un lit de plus très végétalisé qui atteste de la rareté des écoulements.



Carte 6 : Assecs entre 2006 et 2009 – SIVOM du Tricastin

2.3.2 Données ponctuelles

Des jaugeages ponctuels en différents points du périmètre ont pu être collectés. Elles concernent surtout la Berre et la Vence, et dans une moindre mesure le Lauzon (Cf. annexe 1 pour le détail des mesures).

Année	Cours d'eau	Nombre dates	Nombre de stations	Contexte hydrologique	Utilisation
1989	Berre et Vence	17	1 par cours d'eau	Année sèche (T =10 ans)	Données trop anciennes, prélèvements agricoles trop différents – finalement non retenues
1990	Berre et Vence	1	1 par cours d'eau	Année sèche (5ans <T<10 ans)	
1992	Berre et Vence	2	1 par cours d'eau	Année humide (T >50 ans)	
1995	Berre et Vence	2	4 sur la Berre et 2 sur la Vence	Année normale	Données utilisées
2005	Lauzon, Echaravelles, Roubine	3	5 sur le Lauzon, 1 sur la Roubine et 1 sur Echaravelles	Année sèche (T > 10 ans)	
2009	Berre	4	3	Année sèche (2 ans<T<5 ans)	
2010	Berre, Vence, Lauzon	5	1 par cours d'eau	Année sèche (2 ans <T<5 ans)	
2011	Berre, Vence, Lauzon	6	1 par cours d'eau	Année sèche (T > 10 ans)	

Tableau 6 : Données ponctuelles de débit

Aucune donnée de débit n'a pu être collectée sur la Raille.

Une campagne de jaugeage a été réalisée le 16/09/2010, la localisation des points ayant été préalablement validés par le secrétariat technique (cf. carte en page suivante).

Les mesures se sont déroulées au moment du ressuyage des bassins versants, à la suite d'un épisode orageux. Les données mesurées sont présentées dans le tableau ci-après :

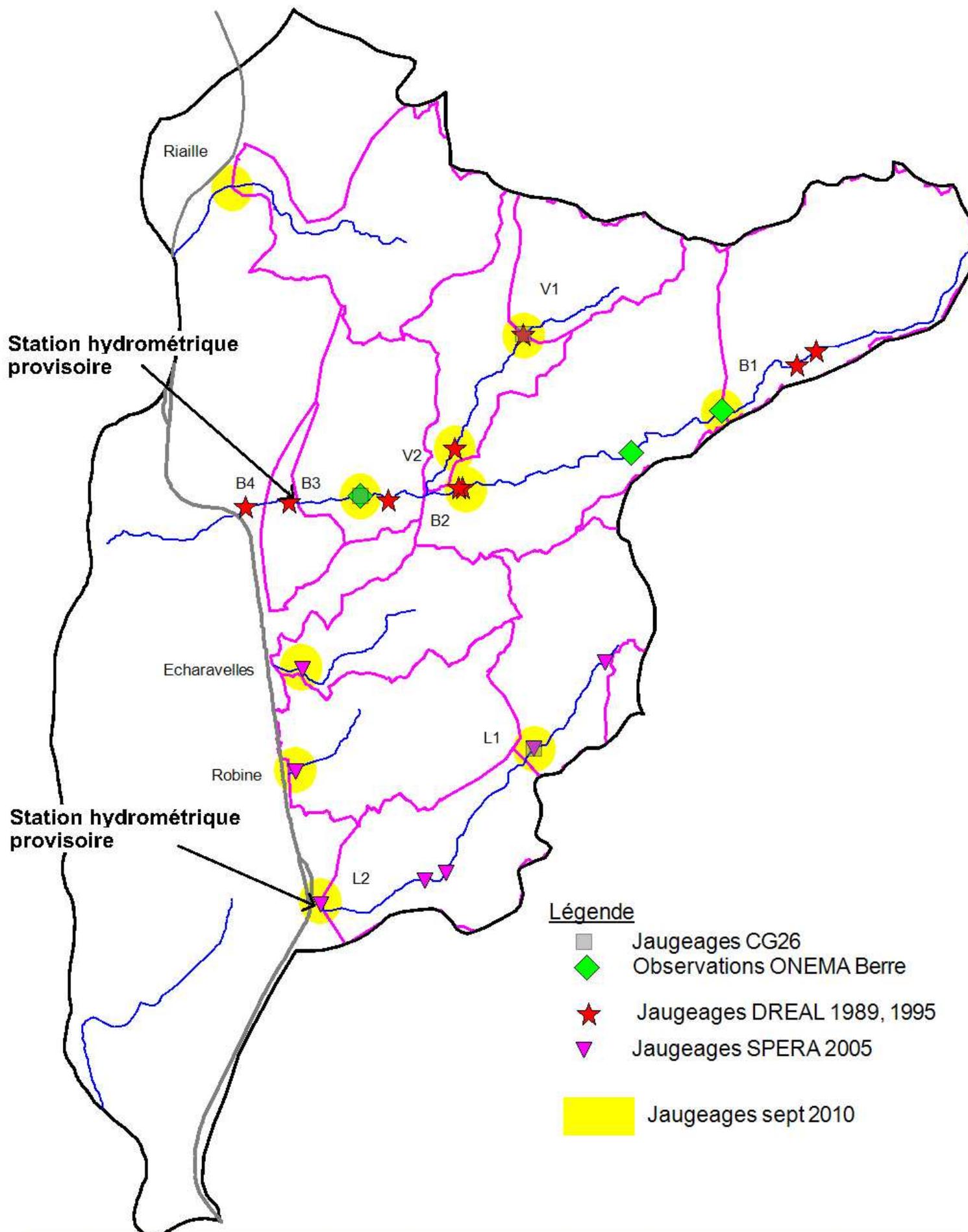
Station	Description	Débit (l/s) le 16/09/2010
Riaille	Amont du franchissement RD73 pour 90% du BV contrôlé	14,3
Vence amont	Franchissement RD56 pour 50% du BV contrôlé	19,3
Vence aval	Amont confluence Berre pour 100% du BV	12,4
Berre amont	Pont du Moulin Foulon pour 45 km2 contrôlés	43,8
Berre intermédiaire	Pont STEP Valaurie pour 80 km2 contrôlés	64,7

Berre aval	Pont immergé Grandes Gontardes pour 120 km ² contrôlés	65,5
Echavareilles	Amont canal CNR (100% BV)	1,3
Roubine	Amont Canal CNR (100% BV)	20,8
Lauzon amont	Aval confluence Fontbelle à Solérieux (50% du BV)	19
Lauzon aval	Amont franchissement A7 (environ 100% du BV)	65

Tableau 7 : Jaugeages 2010

Le 10/11/2010, une visite de terrain a permis de mettre en évidence des assecs sur les tronçons amont des Echaravelles et de la Roubine, ainsi que sur le Lauzon à Montsegur.

Une première analyse peut être conduite pour les principaux cours d'eau à partir des données disponibles (en termes de débits influencés).



Analyse sur la Berre

Les données récentes de l'ONEMA (2009) permettent d'avoir une vision de l'évolution des débits de l'amont vers l'aval de début juin à fin juillet, comme figuré ci-après. En abscisse sont portés les surfaces de bassin versant dominé au point de jaugeage (croissantes vers l'aval) et en ordonnée le débit jaugé. Chaque courbe représente une journée (avec plusieurs points jaugés dans la même journée).

L'accroissement des débits vers l'aval diminue petit à petit quand on avance dans la saison, jusqu'à s'inverser sur la portion aval entre le Pont du Grand Cordy et les Grandes Gontardes à fin juillet.

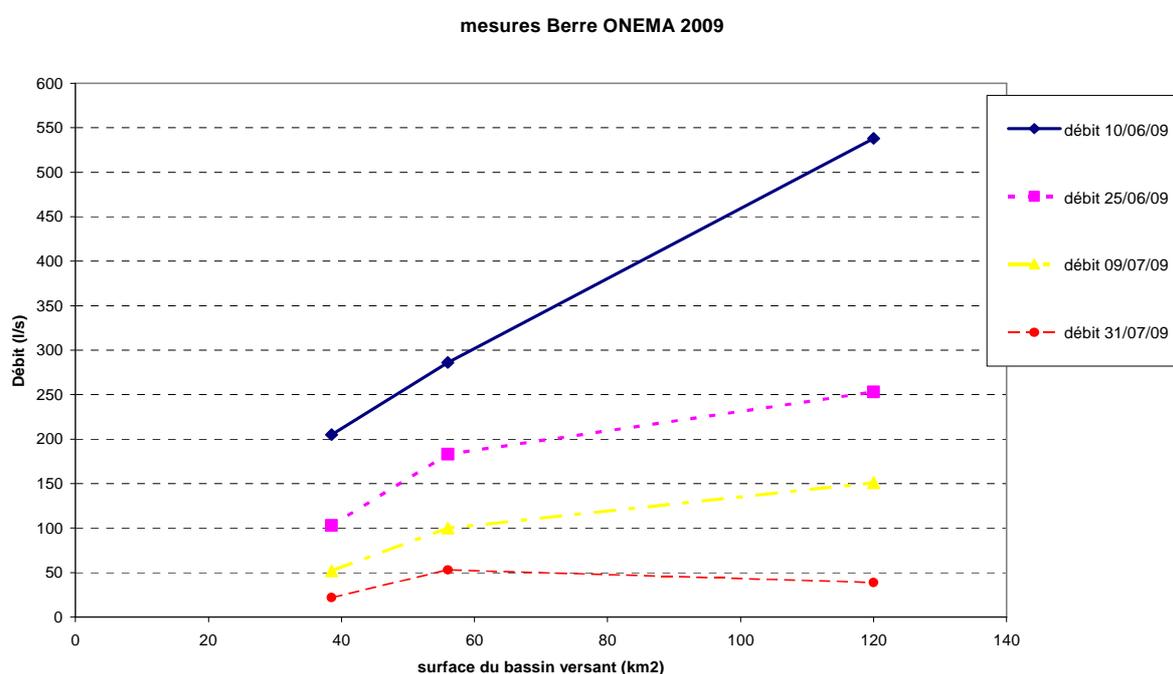


Figure 7 : Mesures ponctuelles ONEMA 2009 sur la Berre

Les observations de septembre 2010 confirment cette tendance avec un débit de 65 l/s identique entre la STEP de Valaurie et les Granges Gontardes.

Les observations estivales de 1995 suivent le même schéma, avec une augmentation des débits entre Salles-sous-Bois et Valaurie, puis des débits constants jusqu'aux Granges Gontardes.

Sur la portion en aval de Valaurie, en période d'étiage, les débits de la Berre évoluent peu vers l'aval et diminuent même, notamment en année sèche. Cet écart peut s'expliquer par :

- les prélèvements le long du cours d'eau,
- des écoulements réalisés au travers des alluvions (de façon similaire à la Vence, mais de façon moins marquée).

Analyse sur la Vence

Les mesures effectuées en 1995 montrent une diminution des débits entre le pont de la RD56 à Réauville (V1) et Roussas (V2), de même que les mesures effectuées en septembre 2010.

Au-delà des prélèvements, cette diminution de débit s'explique par une disparition des écoulements de surface, la portion de la Vence en aval de Roussas est ainsi connue pour ses assècs (point ROCA).

Analyse sur le Lauzon

En 2005, plusieurs jaugeages ont été effectués sur le Lauzon :

- juin 2005 : 3 l/s à Solérieux, 11 l/s à Bollène,
- août 2005 : 0,17 l/s à Solérieux, 8 l/s à Bollène.

En septembre 2010, les débits atteignaient 19 l/s à Solérieux et 65 l/s à Bollène.

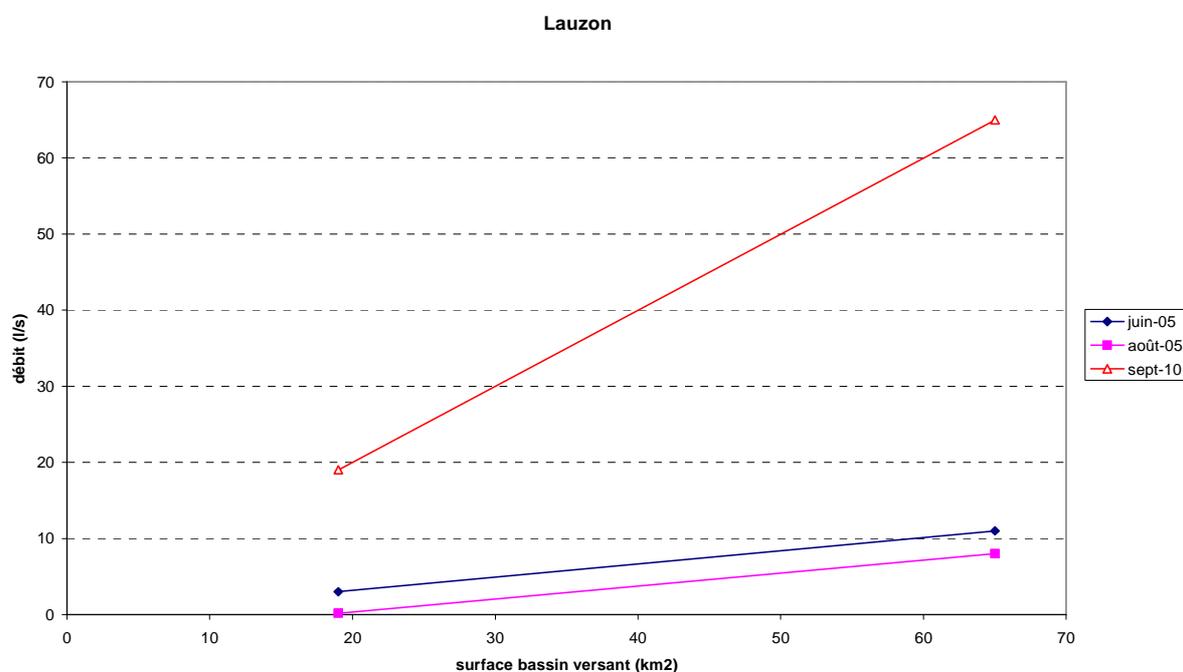


Figure 8 : Mesures ponctuelles Lauzon

Même en période d'étiage, les débits sur le Lauzon augmentent de l'amont vers l'aval. A noter qu'il n'y a pas d'écoulement permanent en amont de Montségur.

En 2011, les mesures du CG26 à St Restitut (Lauzon amont) n'ont pas montré de rupture d'écoulement (minimum de 4 l/s fin juillet puis 6 l/s en août) par rapport aux mesures sur la Berre.

2.3.3 Stations hydrométriques provisoires

Deux stations hydrométriques ont été mises en place entre le 14/06/2011 et le 21/11/2011 dans le cadre de la présente étude (cf. carte 6), la première sur la Berre au Logis de Berre et la seconde sur le Lauzon à Bollène. Dans les deux cas de figure, une sonde mesurait la hauteur d'eau (sensibilité de 5 mm). Une série de jaugeages a permis de caler la loi hauteur débit (cf. annexe 2).

La station de la Berre a été installée sous le pont de la RD458 au Logis de Berre (limite de communes de la Garde Adhémar et des Granges Gontardes). Le bassin versant contrôlé est de 138 km².

La figure ci-dessous synthétise la chronique des débits journaliers enregistrés. L'étiage 2011 a été particulièrement marqué, avec un débit pratiquement nul du mois d'août au mois de novembre.

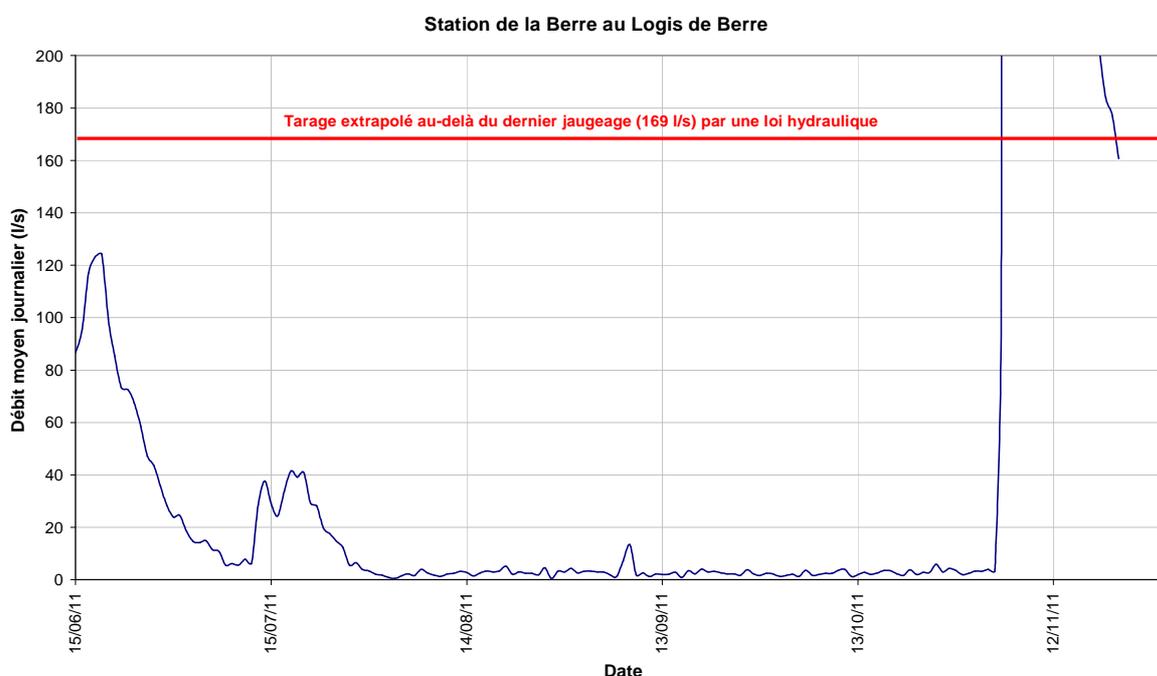


Figure 9 : Mesures station hydrométrique Berre - 2011

La station du Lauzon a été installée à Bollène sous un pont routier, en amont immédiat du franchissement de l'A7, contrôlant une surface de 50 km². La figure ci-dessous donne les débits journaliers enregistrés. Il convient de noter que la mesure sur le Lauzon, du fait de la présence d'un seuil, est plus précise que la mesure sur la Berre.

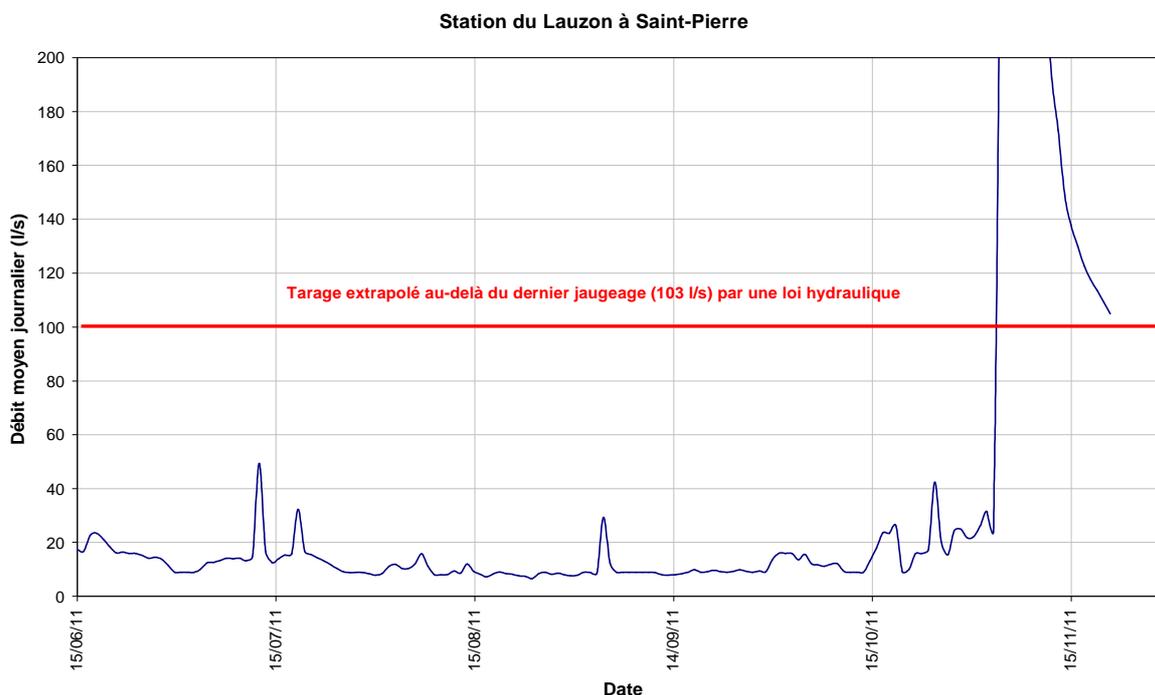


Figure 10 : Mesures station hydrométrique Lauzon- 2011

Malgré un bassin versant inférieur à celui de la Berre, les débits enregistrés ont été légèrement supérieurs en période d'étiage.

2.3.4 Données des stations hydrométriques à proximité

Au nord du périmètre, deux stations hydrométriques sont situées à proximité de la Berre :

Station	Altitude de la station	Bassin versant contrôlé	Période	Module	QMNA5
Jabron à Souspierre	245 mNGF	85 km ²	Depuis 1965	9,3 l/s/km ²	1,7 l/s/km ²
Roubion à Soyans	264 mNGF	186 km ²	Depuis 1965	10,2 l/s/km ²	0,2 l/s/km ²

Tableau 8 : Stations hydrométriques à proximité de la Berre

La station du Roubion est généralement retenue comme référence pour la Berre et la Vence. L'extrapolation des débits de référence doit cependant être nuancée, en raison des cumuls de précipitation plus importants sur ces bassins, en raison :

- de leur localisation au nord du périmètre étudié,
- d'une altitude moyenne beaucoup plus importante (points hauts à plus de 1500 mNGF sur le bassin du Roubion et 1100 mNGF sur le bassin du Jabron).

A titre d'illustration, le graphique ci-après compare sur la saison 2011 les mesures effectuées sur la Berre, le Lauzon et le Roubion à Soyans en l/s/km². Les débits spécifiques¹ du Roubion sont ainsi nettement supérieurs aux débits mesurés sur la Berre. Les débits du Lauzon sont très proches de ceux du Roubion de fin-juillet à fin septembre (période normalement représentative de l'étiage, très sévère cette année là car perdurant jusqu'en novembre).

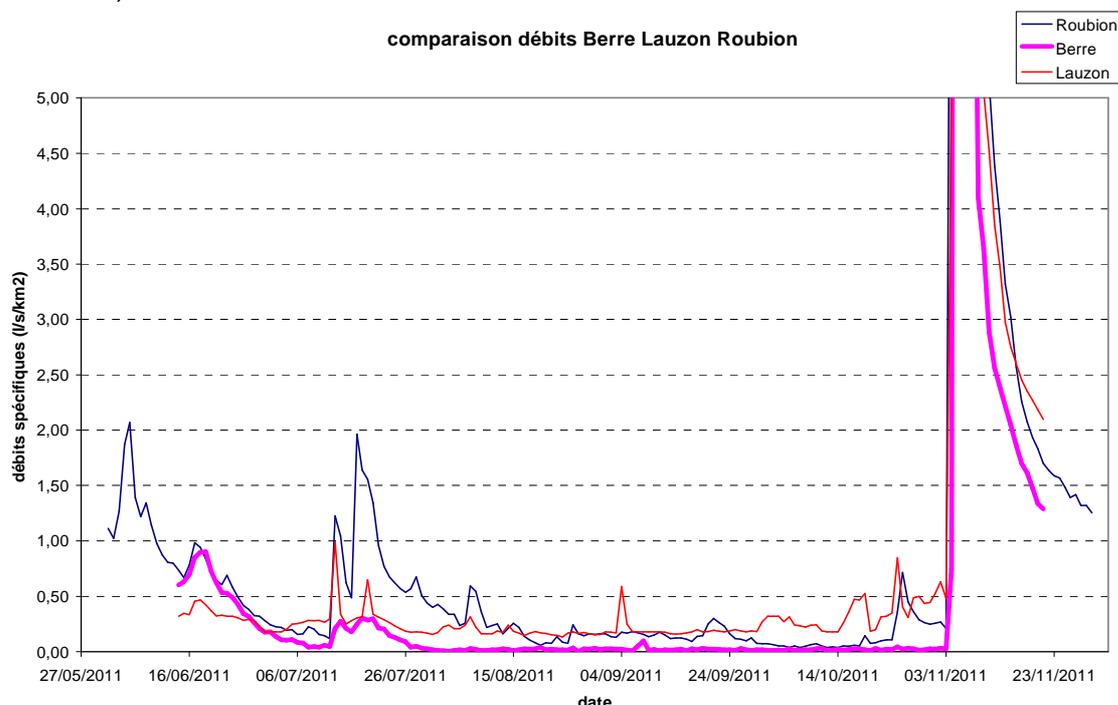


Figure 11 : Comparaison hydrogrammes Berre, Roubion et Lauzon

Au sud-est, la station du Lez à Montségur a été exploitée de 1969 à 1993. Une station est en service à Taulignan depuis 2000 mais les données de débit ne sont pas disponibles.

Station	Altitude de la station	Bassin versant contrôlé	Période	Module	QMNA5
Lez à Montségur	130 mNGF	156 km ²	1969 - 1993	8,3 l/s/km ²	0,1 l/s/km ²

Tableau 9 : Station hydrométrique à proximité du Lauzon

Elle est généralement utilisée comme référence pour le Lauzon. Là encore, l'extrapolation doit être nuancée, en raison de la différence d'altimétrie entre les deux bassins versants entraînant des cumuls de précipitations plus importants (points hauts à plus de 1300 m pour le Lez).

¹ Débit spécifique : débit ramené à l'unité de surface (km² ici) permettant de comparer des débits de cours d'eau présentant des bassins versants de superficie différentes.

2.4 Bilan

Les observations de débits disponibles montrent qu'en période d'étiage :

- sur la Berre, les débits n'augmentent plus vers l'aval à partir de Valaurie. En année sèche ils tendent même à diminuer.
- Sur la Vence, le phénomène est accentué, avec des zones d'assecs réguliers en aval de Roussas,
- Sur le Lauzon ce fonctionnement n'est pas observé.

3 MODELISATION DES DEBITS

3.1 Détermination des pluies de bassin

La méthode des polygones de Thiessen a été utilisée afin de déterminer les pluies de bassin sur la période 1981-2011 à partir des postes pluviométriques de :

- Montjoyer,
- Pierrelatte,
- Donzère 1 et 2,
- Montségur-sur-Lauzon.

La mise en service du poste pluviométrique de Montjoyer ne débutant qu'au 01/02/1993, les pluies journalières sur la période 1981-1993 ont été reconstituées à partir du poste de Montbucher-sur-Jabron par une (régression linéaire simple).

3.2 Méthodologie

En règle générale, les chroniques de pluie sur les bassins versants sont plus abondantes et mieux distribuées que les chroniques de débit. Un modèle pluie-débit permet de reconstituer des chroniques de débits à partir des données météorologiques. Le calage d'un modèle pluie débit nécessite cependant a minima plusieurs années de chroniques de débit, ce qui fait défaut sur le périmètre étudié.

Au vu des données disponibles, plusieurs approches ont donc été mises en œuvre pour estimer les débits d'étiage :

- Calage d'un modèle pluie-débit GR4J sur la base de la chronique de débit mesurée en 2011 sur la Berre et le Lauzon,
- Utilisation de jeux de paramètres de GR4J existants,
- Détermination du QMNA5 à partir de mesures ponctuelles et d'une station hydrométrique proche.

Un coefficient de robustesse sera attribué en fonction du nombre de données disponibles et des différences de résultats sur l'estimation du QMNA5 entre les approches.

Les différentes approches sont détaillées par la suite.

3.3 Calage du modèle pluie-débit sur les chroniques 2011

Le modèle pluie-débit utilisé est le modèle GR4J du CEMAGREF, qui permet une modélisation au pas de temps journalier. C'est un modèle global à réservoirs qui repose sur 4 paramètres de calage x1 à x4 qui n'ont pas de réel sens physique.

Dans notre cas particulier, seulement 6 mois de données de débit sont disponibles à partir de juin 2011 à novembre 2011 sur la Berre et le Lauzon uniquement. Le modèle nécessitant une période de mise en route d'un an pour caler les conditions initiales, le calage a été réalisé sur la chronique de pluie et de débit en deux temps :

- 1/ utilisation du jeu de paramètre x1-x4 issu du Roubion sur la chronique 1980 à 2011 pour déterminer des conditions initiales cohérentes,
- 2/ calage de nouveaux paramètres x1-x4 sur la période juin 2011 – novembre 2011.

La fiabilité de la modélisation peut ensuite être approchée en comparant les résultats sur les données ponctuelles existantes (hors 2011).

3.3.1 Berre au Logis de Berre

Le calage obtenu est satisfaisant sur la chronique 2011 mais sous-estime complètement les observations de 2009 et 2010 (cf. figure ci-après). Les données ponctuelles d'avant 2011 figurent sur le graphique mais uniquement pour comparaison.

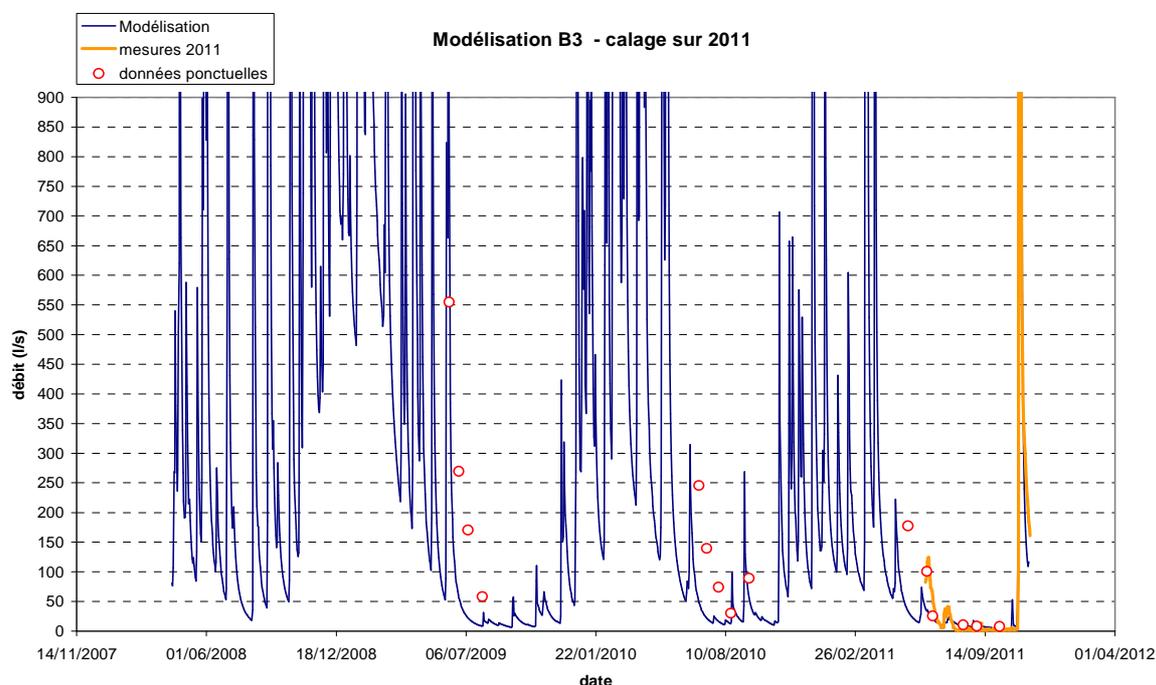


Figure 12 : Test de calage en B3 à partir de l'hydrogramme 2011

La faible durée de calage et la longue période de débits nuls faussent les résultats. Le calage obtenu n'est pas retenu par la suite.

3.3.2 Lauzon à Bollène

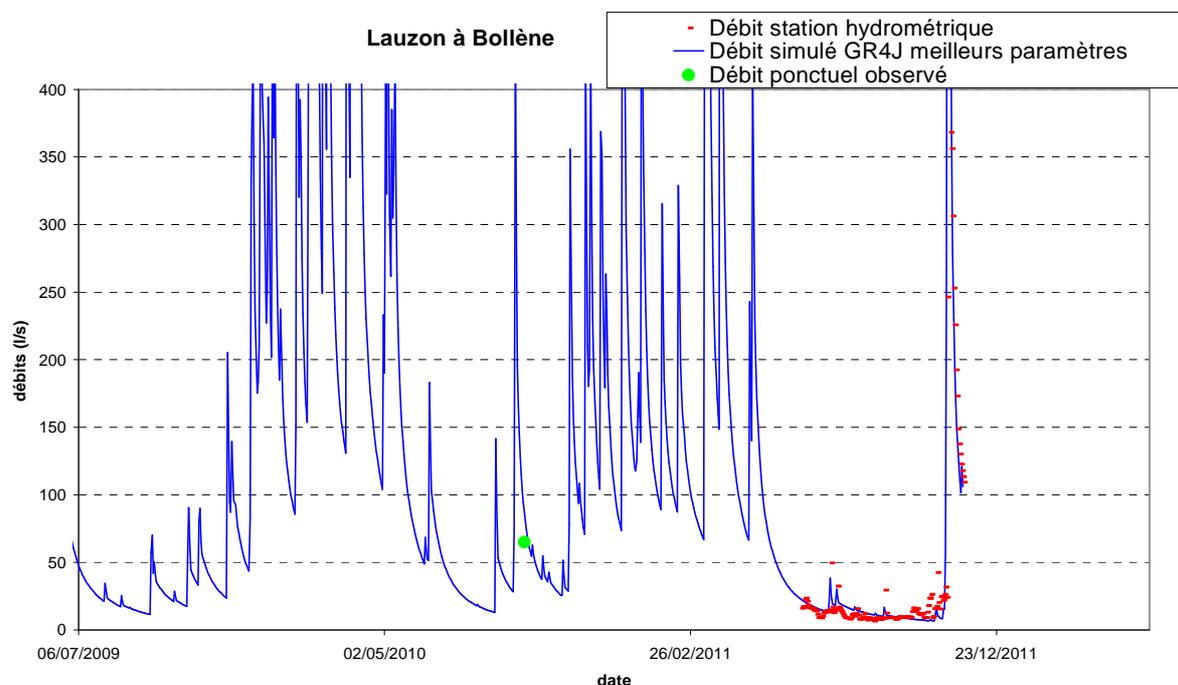


Figure 13 : Test de calage en L2 à partir de l'hydrogramme 2011

Les débits observés apparaissent plus stables que les débits modélisés. Le débit de 65 l/s observé en septembre 2010 (unique observation hors 2011) est cohérent avec le résultat du modèle (87 l/s) dans période de ressuyage après un épisode pluvieux.

3.3.3 Estimation des débits de référence pour cette approche

Le calage du modèle pour la Berre au Logis de Berre n'est pas satisfaisant, l'analyse fréquentielle des débits d'étiage n'est donc menée que pour le Lauzon à Bollène (calage sur une loi de Galton).

Nœud	Approche	Module	QMNA5 avec intervalle à 80%
B3 – Berre au Logis de Berre	Calage sur 2011	Résultat non satisfaisant	
L2 – Lauzon à Bollène	Calage sur 2011	240 l/s soit 4,8 l/s/km ²	16 l/s [13 l/s – 19 l/s]

3.4 Utilisation de jeux de paramètres GR4J existants

Une approche récente développée² par le CEMAGREF permet en effet d'obtenir un modèle pluie-débit relativement fiable à partir de quelques mesures ponctuelles de débit. Elle repose sur l'utilisation de jeux de paramètres du modèle pluie débit GR4J déjà calés sur des bassins existants, qui sont testés sur le bassin ici étudié afin de reproduire au mieux les quelques débits observés. Le meilleur jeu de paramètre est ensuite retenu sur le bassin étudié. Cette approche a été testée et validée par le CEMAGREF sur plusieurs centaines de bassin versant, chaque bassin versant étant considéré à son tour comme non jaugé et les résultats de cette approche étant comparés aux mesures réelles de débit.

Une bibliothèque de près de 4000 paramètres a été testée sur la base des mesures de débit disponibles (débits influencés) sur la période 1981-2011. L'idée sous-jacente à cette méthode est que les jeux de paramètres présentent une cohérence puisque calés sur des bassins existants.

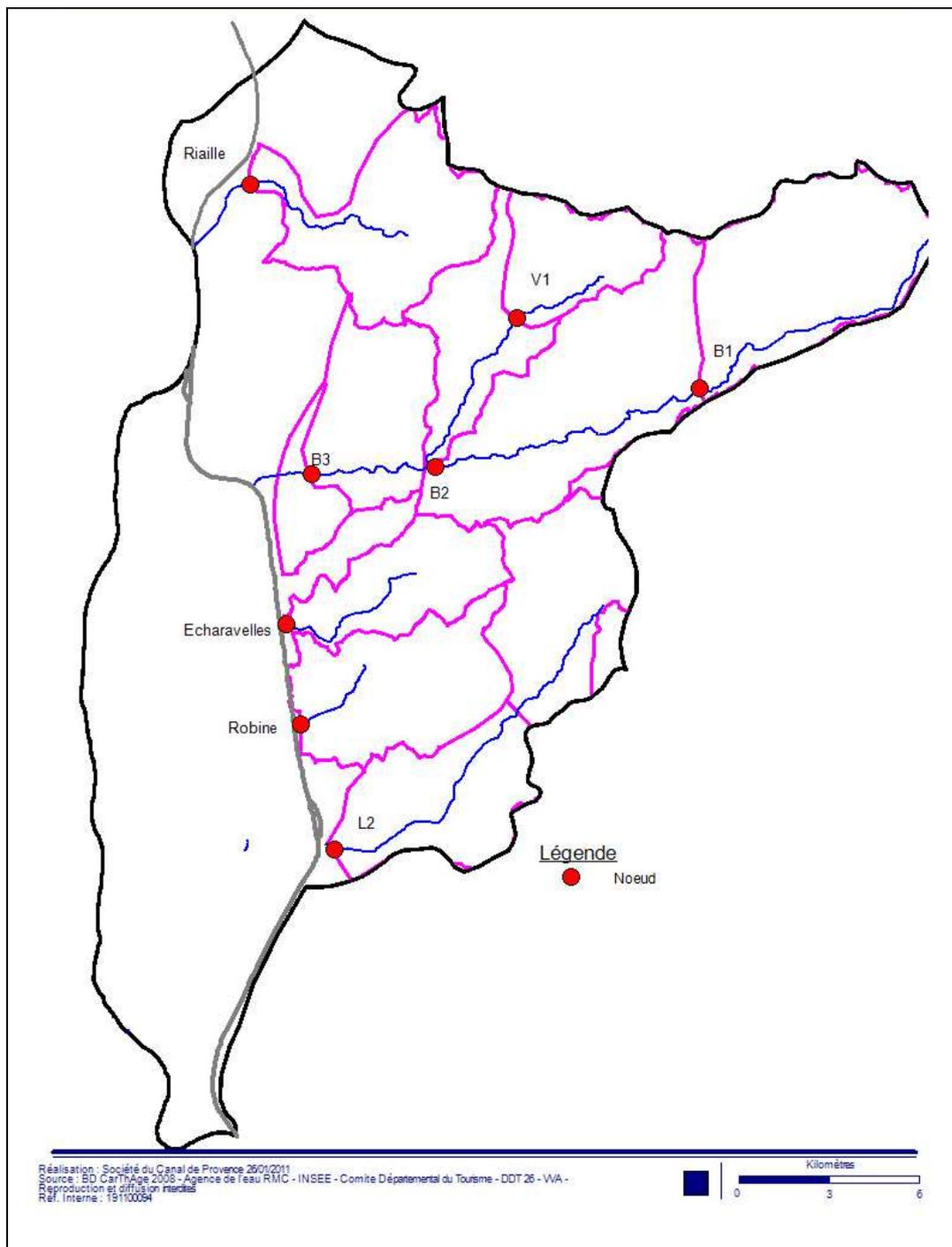
Le tableau ci-après synthétise les données ponctuelles utilisées :

Localisation	Bassin versant	Données de débit utilisées	Remarques
B1 - Berre au Pont du Moulin Foulon	38 km ²	7 données (1995, 2009, 2010)	station DMB validée
B2 - Berre en amont de la confluence avec la Vence	83 km ²	8 données (1995, 1996, 2009, 2010)	station DMB validée données débits de 1989 non retenues ³
B3 - Berre au Logis de Berre	138 km ²	17 données (1995, 2009, 2010, 2011)	Pas de station DMB
V1 - Vence au Pont RD56 - Reauville	16 km ²	14 données (1995, 2010, 2011)	station DMB validée
L2 – Lauzon à Bollène	50 km ²	6 données (2010, 2011)	station DMB validée
Riaille – amont SNCF Châteauneuf du Rhône	27 km ²	une donnée en 2009	Pas de station DMB
Robine - amont RD458 St Paul Trois Châteaux	28 km ²	une donnée en 2009	station DMB validée
Echaravelles – amont RD458 La Garde Adhémar	18 km ²	une donnée en 2009	Pas de station DMB

Tableau 10 : Nœuds de la Berre retenus pour la modélisation

² « Quelle connaissance hydrométrique minimale pour définir les paramètres d'un modèle pluie-débit »
 Thèse de CR Rojas CEMAGREF ENGREF– décembre 2005

³ Voir explications dans le § 3.4.2



Carte 8 : Localisation des nœuds de calcul

Le choix du meilleur jeu de paramètre est réalisé sur un critère de minimisation de la somme des carrés des erreurs. Plus le nombre de données ponctuelles est élevé, plus la modélisation est robuste.

En parallèle, les paramètres issus du calage du Roubion à Soyans sont également testés sur les bassins étudiés.

Sur la Riaille, la Robine et les Echaravelles seules la modélisation issue des paramètres du Roubion est retenue, faute de données ponctuelles suffisantes.

3.4.1 Berre au Logis de Berre (B3)

La figure ci-dessous donne les résultats de la modélisation de la Berre au Logis de Berre à partir du meilleur jeu de paramètre GR4J:

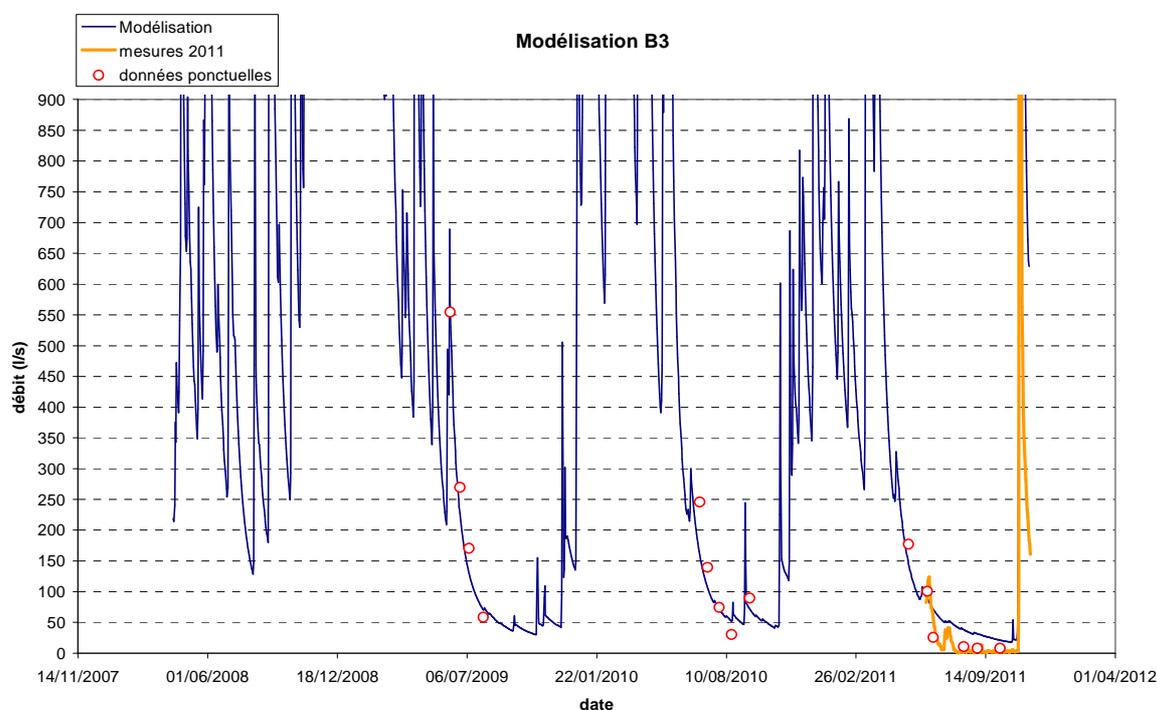


Figure 14 : Berre en B3- GR4J- méthode du meilleur jeu de paramètre

Les débits sont bien simulés pour les valeurs supérieures à 50 l/s. Pour les valeurs inférieures le modèle a tendance à surestimer les débits, notamment en 2011. Le débit moyen sur la période 1982-2011 est de 744 l/s.

La simulation utilisant les paramètres GR4J du Roubion à Soyans amène un débit moyen de 860 l/s et des débits d'étiages légèrement inférieurs à l'approche précédente mais toujours supérieurs aux débits observés.

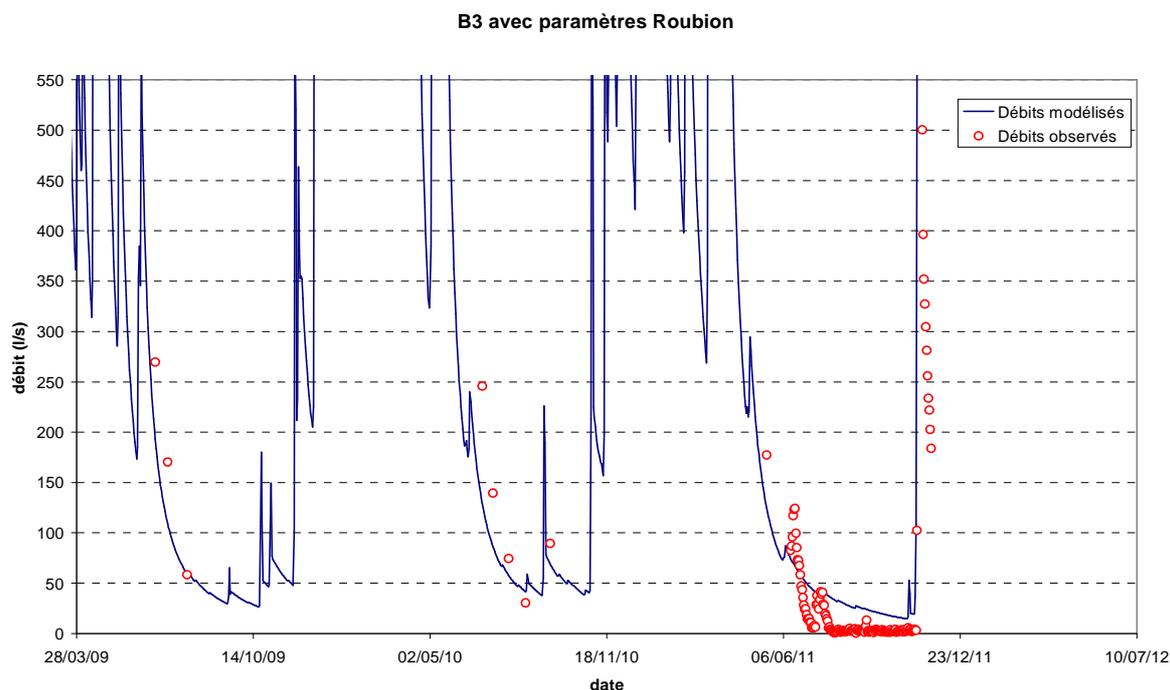


Figure 15 : Berre en B3 – GR4J avec paramètres Roubion

Pour les deux approches, une analyse fréquentielle des débits d'étiage est menée (calage loi de Galton) sur la période 1981-2011. Le tableau synthétise les résultats pour les deux approches :

Méthode	Module	QMNA5 [intervalle de confiance 80%]
Meilleurs paramètres	744 l/s soit 5,4 l/s/km ²	36 l/s [30 l/s – 41 l/s]
Paramètres Roubion	860 l/s soit 6,2 l/s/km ²	31 l/s [25 l/s – 35 l/s]

Les débits moyens mensuels sont donnés sur la figure ci-après. Le débit mensuel moyen minimum est atteint en août. Cependant, pour les années sèches, les minimums sont atteints en septembre lorsque les pluies d'automne tardent (exemple de l'année 2011).

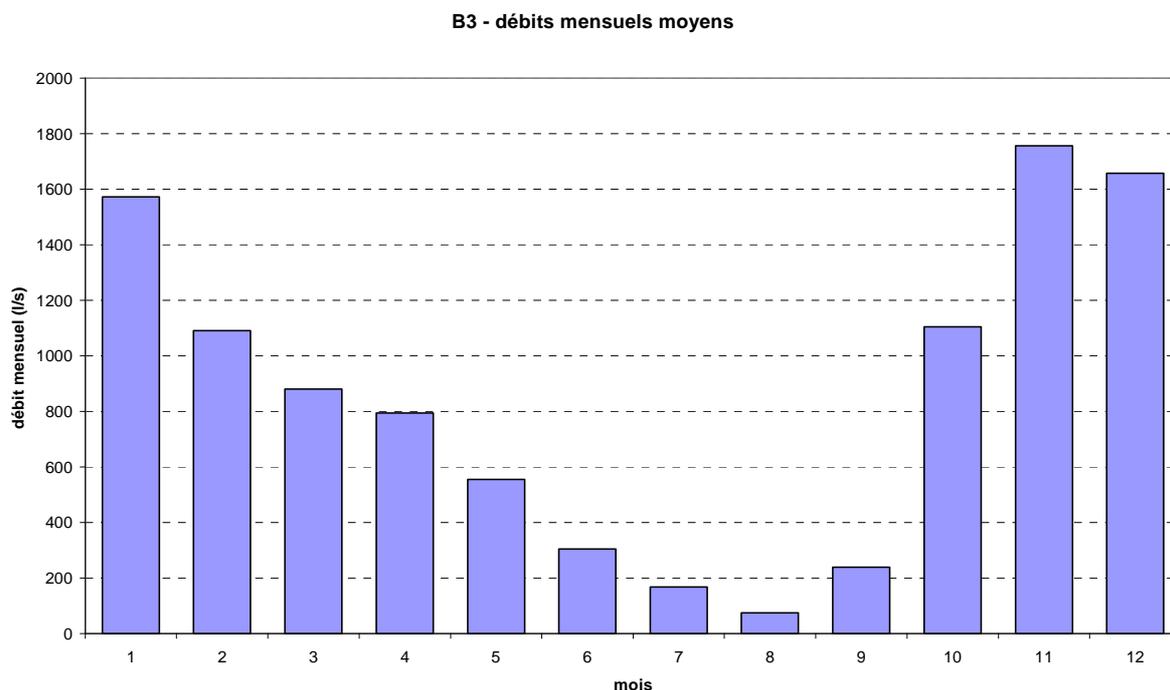
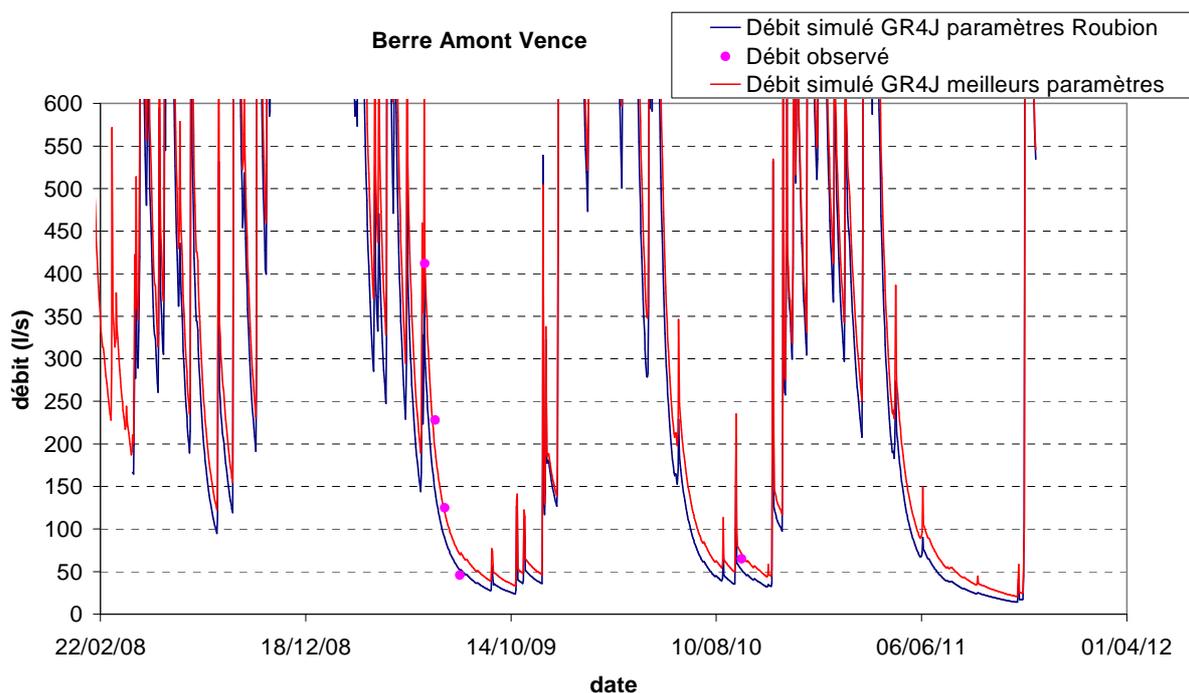


Figure 16 : Modélisation des débits mensuels moyens en B3

3.4.2 Berre en amont de la Vence (B2)

Le nœud B2 présente une série importante de données ponctuelles en 1989. L'approche à partir de la bibliothèque de paramètres GR4J montre cependant une incompatibilité entre les débits de 1989 et les débits plus récents, ce qui peut s'expliquer par l'évolution des prélèvements, notamment agricoles, très différents à l'époque. Il est retenu d'écarter ces mesures anciennes, en ne conservant que les mesures plus récentes cohérentes avec la connaissance des prélèvements.



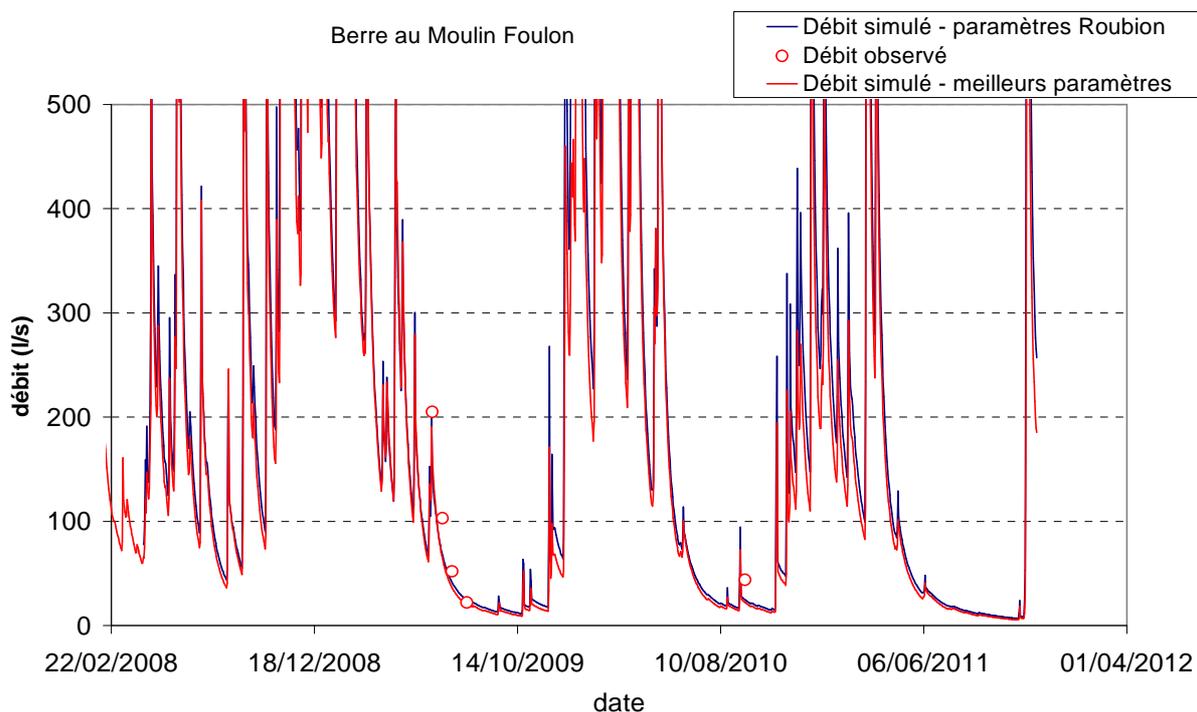
L'approche à partir des paramètres du Roubion a tendance à donner des débits plus faibles en étiage, mais cohérents avec les rares débits observés. Le minimum atteint fin octobre 2011 est dès lors de 14 l/s.

Le tableau suivant donne les résultats de l'analyse fréquentielle :

Méthode	Module	QMNA5 [intervalle de confiance 80%]
Meilleurs paramètres	606 l/s soit 7,3 l/s/km ²	39 l/s [33 l/s – 44 l/s]
Paramètres Roubion	547 l/s soit 6,6 l/s/km ²	28 l/s [23 l/s – 32 l/s]

3.4.3 Berre au pont du Moulin Foulon (B1)

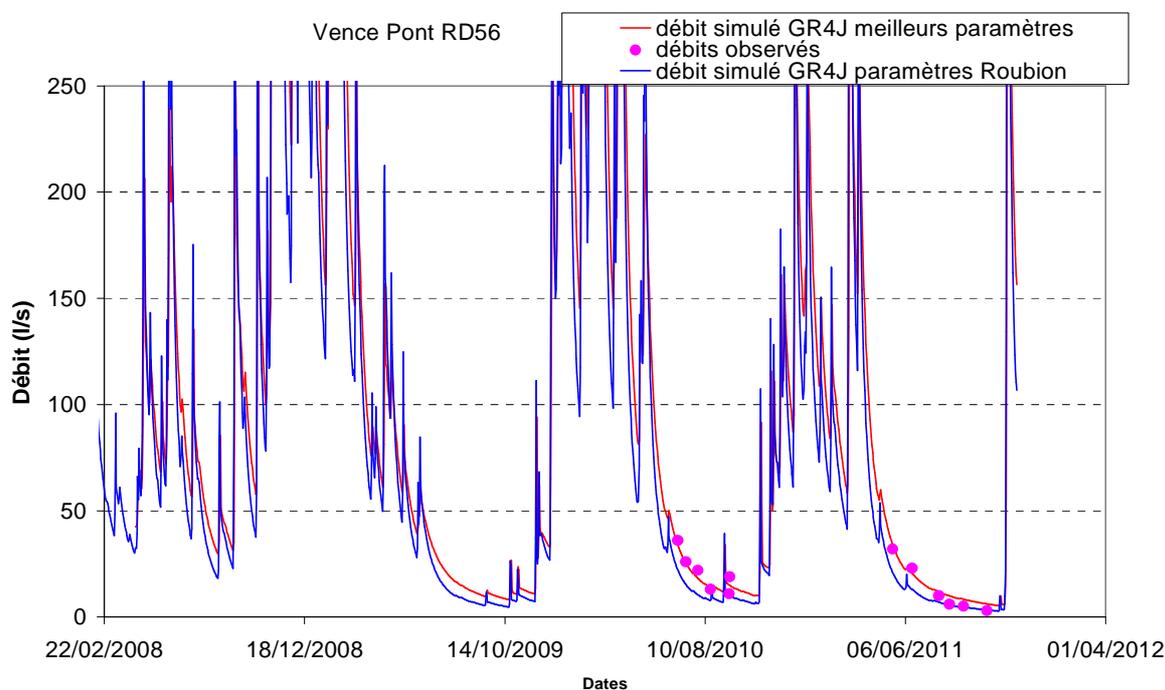
La figure ci-après donne les deux modélisations GR4J avec le meilleur jeu de paramètre et avec le jeu de paramètre du Roubion. Les résultats sont très proches, les paramètres du Roubion donnant des débits d'étiage très légèrement supérieurs.



Le tableau suivant donne les résultats de l'analyse fréquentielle.

Méthode	Module	QMNA5 [intervalle de confiance 80%]
Meilleurs paramètres	224 l/s soit 5,9 l/s/km ²	10 l/s [9 l/s – 12 l/s]
Paramètres Roubion	262 l/s soit 6,9 l/s/km ²	13 l/s [11 l/s – 15 l/s]

3.4.4 Vence au pont de la RD 56 (V1)

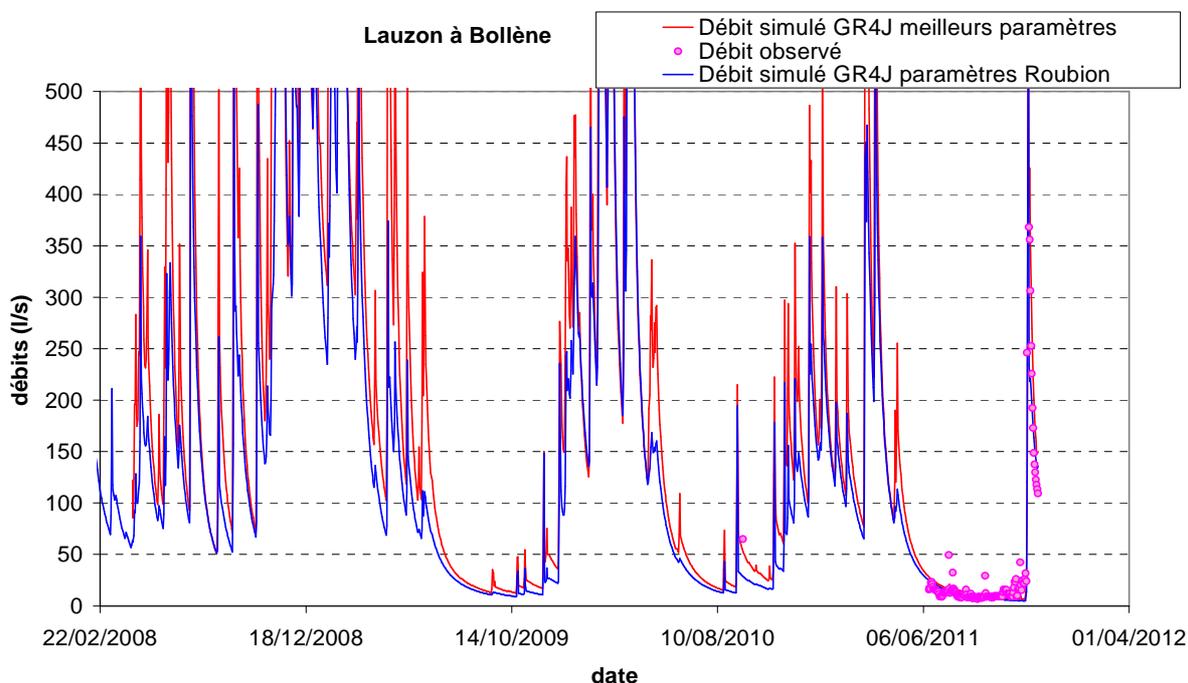


La reprise des coefficients du Roubion donne des débits légèrement inférieurs aux observations lorsque ces dernières sont supérieures à 10 l/s et cohérentes avec les observations pour des débits inférieurs. La méthode des meilleurs paramètres modélise bien les débits supérieurs à 10 l/s mais surestime les débits inférieurs.

Le tableau suivant donne les résultats de l'analyse fréquentielle après l'application des méthodes A2 et A3 au nœud V1 (Pont RD56) :

Méthode	Module	QMNA5 [intervalle de confiance 80%]
Meilleurs paramètres	121 l/s soit 7,6 l/s/km ²	9 l/s [8 l/s – 11 l/s]
Paramètres Roubion	109 l/s soit 6,8 l/s/km ²	5 l/s [5 l/s – 6 l/s]

3.4.5 Lauzon à Bollène (L2)



L'application des coefficients du Roubion donne des débits d'étiage cohérent avec les mesures de 2011 mais sousestime les débits plus importants. La méthode du meilleur jeu de paramètre donne des débits d'étiage proches et des débits moyens plus importants.

Le tableau suivant donne les résultats de l'analyse fréquentielle au nœud L2 (Bollène) :

Méthode	Module	QMNA5 [intervalle de confiance 80%]
Meilleurs paramètres	237 l/s soit 4,7 l/s/km ²	14 l/s [12 l/s – 16 l/s]
Paramètres Roubion	179 l/s soit 3,6 l/s/km ²	10 l/s [9 l/s – 11 l/s]

3.4.6 Débits de la Robine, des Echaravelles et de la Raille

Etant donné le faible nombre de données de débits sur ces cours d'eau, il est préférable de n'utiliser que les paramètres GR4J du Roubion.

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats « théoriques ».

Cours d'eau	Module	QMNA5 [intervalle de confiance 80%]
Robine	81 l/s soit 3 l/s/km ²	5 l/s [5 l/s – 6 l/s]
Echaravelles	54 l/s soit 2 l/s/km ²	3 l/s [3 l/s – 4 l/s]
Riaille	140 l/s soit 5,2 l/s/km ²	7 l/s [6 l/s – 8 l/s]

Les données de débit du 16/09/2010 sont cohérentes avec les simulations précédentes sur la Raille (12 l/s simulés pour 14 l/s observés) mais pas sur la Robine (10 l/s simulés pour 21 l/s observés) ni les Echaravelles (10 l/s simulés pour 1 l/s observé).

3.5 Détermination du QMNA5 à partir de mesures ponctuelles

Cette dernière approche a été développée par le CEMAGREF⁴. La méthode dite « des jaugeages épisodiques » calcule le QMNA5 en un site cible (peu jaugé) en multipliant la valeur de QMNA5 d'une station hydrométrique voisine par un coefficient k. Ce coefficient k est obtenu à partir d'observations concomitantes au site cible et à la station d'appui.

De préférence, les observations doivent être réalisées en période d'étiage, et le coefficient k doit être le rapport des moyennes des débits synchrones.

La méthode a été testée sur 133 stations hydrométriques du bassin Seine Normandie pour au minimum 5 données de jaugeage.

Le tableau suivant synthétise à chaque nœud le nombre de données ponctuelles utilisées et l'estimation du QMNA5 correspondante.

Nœud	Nombres de mesures ponctuelles	QMNA5 en l/s
Berre au Logis de Berre (B3)	Chronique 15-06 au 01/11/2011 + 12 mesures	14
Berre en amont de la Vence (B2)	8	24
Berre au Pont du Moulin Foulon (B1)	7	11
Vence R56 (V1)	13	5
Lauzon à Bollène (L2)	Chronique 15-06 au 01/11/2011	9
Raille	1	8
Robine	1	12
Echaravelles	1	1

Tableau 11 : Détermination des QMNA5 par méthode des jaugeages épisodiques

Le nombre limité de données sur les petits affluents ne garantit pas la fiabilité de l'estimation. L'estimation du QMNA5 sur la Berre au Logis de Berre conduit à une valeur deux fois plus faible que les résultats issus des modèles pluie-débit, mais qui est plus conforme aux observations.

⁴ Usage des jaugeages volants en régionalisation des débits d'étiage – CEMAGREF - Sophie Chopart et Éric Sauquet - Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 21, n° 3, 2008, p. 267-281.

3.6 Bilan

3.6.1 Comparaison entre méthodes

Le tableau suivant synthétise les débits QMNA5 (influencés) calculés par les différentes méthodes. Les résultats sur les petits affluents (Riaille, Robine et Echaravelles) sont à considérer avec précaution étant donné le peu de données disponibles.

Nœud	QMNA5 en l/s				Moyenne
	Calage GR4J chronique 2011	GR4J Meilleurs paramètres	GR4J paramètres Roubion	Par mesures ponctuelles	
Berre au Logis de Berre (B3)	-	36	31	14	27
Berre en amont de la Vence (B2)	-	39	28	24	30
Berre au Pont du Moulin Foulon (B1)	-	10	13	11	11
Vence R56 (V1)	-	9	5	5	6
Lauzon à Bollène (L2)	16	14	10	9	12
Riaille	-	7	-	8	7
Robine	-	5	-	12	10
Echaravelles	-	3	-	1	2

Tableau 12 : Comparaison des QMNA5 selon les méthodes

Un coefficient de robustesse CR est calculé pour chaque nœud, il est basé sur trois critères : le nombre de méthodes utilisées pour déterminer le QMNA5, le nombre de données disponibles et la disparité des QMNA5 entre les différentes méthodes (cf. tableau suivant).

	Nombre de méthodes employées	Données disponibles	Disparités des QMNA5
Note de 1	2 méthodes	Moins de 5 données	Rapport écart type/moyenne >40%
Note de 2	3 méthodes	Plus de 5 données	20% < Ecart type/moyenne < 40%
Note de 3	4 méthodes	Chronique et données ponctuelles	Rapport écart type/moyenne < 20%

Tableau 13 : méthode de calcul du coefficient de robustesse

Le CR est la multiplication de ces critères, plus il est important, plus la détermination du QMNA5 apparaît comme robuste.

Critères	Nombre de méthodes employées	Données disponibles	Disparités des QMNA5	CR = multiplication des critères
Berre au Logis de Berre (B3)	2	3	1	6
Berre en amont de la Vence (B2)	2	2	2	8
Berre au Pont du Moulin Foulon (B1)	2	2	3	12
Vence R56 (V1)	2	2	2	8
Lauzon à Bollène (L2)	3	3	2	18
Riaille	1	1	3	3
Robine	1	1	1	1
Echaravelles	1	1	1	1

Tableau 14 : coefficient de robustesse par noeud

Pour la suite de l'étude est conservée la modélisation pluie-débit qui donne les résultats les plus proches de la moyenne des QMNA5, à l'exception de la Berre en B3 où l'on ne conserve qu'un intervalle, étant donné la surestimation très probable des débits d'étiage par le modèle. Les différentes approches ne permettant pas d'estimer précisément les incertitudes, il est proposé de conserver l'intervalle des différentes approches pour le QMNA5. Le code couleur (blanc-jaune-orange) du coefficient de robustesse sera reporté à chaque nœud.

Nœud	Modélisation pluie – débit conservée pour la suite
Berre au Logis de Berre (B3)	GR4J paramètres Roubion
Berre en amont de la Vence (B2)	GR4J paramètres Roubion
Berre au Pont du Moulin Foulon (B1)	GR4J Meilleurs paramètres
Vence R56 (V1)	GR4J paramètres Roubion
Lauzon à Bollène (L2)	GR4J Meilleurs paramètres
Riaille	GR4J paramètres Roubion
Robine	GR4J paramètres Roubion
Echaravelles	GR4J paramètres Roubion

Tableau 15 : Méthode pluie débit conservée selon les noeuds

3.6.2 Débits influencés par nœuds

Le tableau suivant synthétise les résultats extrapolés des modélisations pluie-débit avec l'intervalle des différents QMNA5 déterminés selon les différentes approches. Les données sur les VCN sont synthétisées en annexe.

Des commentaires et un code couleur permettent de nuancer les chiffres bruts, notamment sur la robustesse des résultats.

Nœud	Commentaires	Module	QMNA5
Berre au Logis de Berre (B3)	Nombreuses données de débits + chronique été 2011 Infiltration dans les alluvions, débit visible réduit	860 l/s	Dans l'intervalle 14 l/s à 31 l/s
Berre en amont de la Vence (B2)	Nombreuses données de débit Débits conformes aux observations (légèrement surestimés)	547 l/s	28 l/s (23 l/s à 39 l/s)
Berre au Pont du Moulin Foulon (B1)	Quelques données de débit Débits conformes aux observations	224 l/s	10 l/s (10 l/s à 13 l/s)
Vence R56 (V1)	Quelques données de débit Débits conformes aux observations	109 l/s	5 l/s (5 l/s à 9 l/s)
Lauzon à Bollène (L2)	Peu de données de débits mais chronique été 2011 Débits conformes aux observations en étiage	237 l/s	14 l/s (9 l/s à 16 l/s)
Riaille	Peu fiable Un seul débit observé, sous estimé par le modèle	81 l/s	5 l/s à 12 l/s
Robine	Peu fiable Un seul débit observé, cohérent avec le modèle	140 l/s	7 l/s à 8 l/s
Echaravelles	Peu fiable Un seul débit observé, sur estimé par le modèle	54 l/s	0 l/s au vu des observations d'assecs répétés

Tableau 16 : Débits influencés

4 INFLUENCE DES PRELEVEMENTS

4.1 Prise en compte des prélèvements

Les prélèvements annuels sont issus de la phase 2. A chaque nœud, le bilan de l'ensemble des prélèvements réalisés dans le bassin versant amont est réalisé.

4.1.1 Prélèvements en cours d'eau

Les prélèvements en cours d'eau sont impactés directement sur le nœud en aval. Il s'agit uniquement de prélèvements agricoles.

4.1.2 Prélèvements souterrains

Les prélèvements AEP issus de forages profonds qui impactent les ressources souterraines non directement reliées au débit des cours d'eau ne sont pas comptabilisés, il s'agit de :

- Reauville – Réservoir (volume moyen de 10 700 m³)
- Malataverne – Buissière (volume moyen de 196 000 m³)
- Montsegur – Barquet (volume moyen de 36 000 m³) et Bourdonnas (volume moyen de 29 000 m³)
- ST Restitut –Rouverette (volume moyen de 71 800 m³)
- Montjoyer – Flamenche (volume moyen de 58 400 m³)
- ST Paul Trois Châteaux – (volume moyen de Gonsard 182 800 m³)

Pour l'irrigation, sur les secteurs amont, un seul forage profond (actif sur 2007- 2009) a été répertorié à Montségur sur Lauzon (135 m de profondeur). D'autres forages agricoles n'ont pas été pris en compte sur le bassin de la Raille et de la Robine en raison de leur éloignement vis-à-vis du cours d'eau et de leur profondeur dans un secteur de plaine où la nappe est vraisemblablement drainée par le canal de la CNR.

Les forages agricoles non pris en compte sont donnés ci-après :

Bassin	ID unité	Commune	Profondeur en m	Prélèvement moyen (2007 – 2009) en m3
Robine	260201860	ST Paul Trois Châteaux	26	5627
La Raille	260200393	Chateauneuf du Rhône	13	4723
La Raille	260200788	Chateauneuf du Rhône	Non renseigné	4167
La Raille	260200923	Chateauneuf du Rhône	13	12757
Lauzon amont	260201135	Montségur s/Lauzon	135	930

Tableau 17 : Forages agricoles non pris en compte

4.1.3 Lissage des prélèvements sur l'année

Les prélèvements sont lissés sur l'année à un pas de temps mensuel selon la nature de l'usage. Ces prélèvements sont des moyennes (2007 à 2009) des prélèvements observés, afin de lisser les cas particuliers. Ils sont cohérents avec les périodes d'observations récentes des débits influencés.

Les prélèvements agricoles sont répartis sur mi-juin à fin août. Les prélèvements sur la Berre sont ainsi soumis à un tour d'eau organisé par les irrigants qui lisse dans les faits les prélèvements.

Les prélèvements pour l'alimentation en eau potable sont répartis sur la base de la population sédentaire et touristique (avec une consommation journalière par habitant supérieure de 20% en juillet et août). Les retours des STEP au cours d'eau sont proportionnels aux prélèvements. Ces derniers peuvent être supérieurs aux prélèvements en cas de captage réalisé en amont sur un autre bassin ou en cas de forage profond non comptabilisé dans les prélèvements.

Les prélèvements domestiques sont lissés entre mai et septembre.

Les prélèvements industriels lissés au cas par cas :

- les prélèvements du golf sur le BV des Echaravelles sont lissés de mai à septembre,
- les prélèvements de la carrière dans le BV de la Berre sont lissés sur l'année.

4.2 Estimation des débits naturels et analyse sur le bassin de la Berre

Les chroniques de débits naturels sont reconstituées en ajoutant les prélèvements moyens aux chroniques de débit influencés sur la période 1981-2011. Une analyse fréquentielle sur ces chroniques désinfluencées est ensuite menée.

4.2.1 Estimation des débits naturels

Les prélèvements sur le bassin de la Berre sont donnés sur les graphiques suivants.

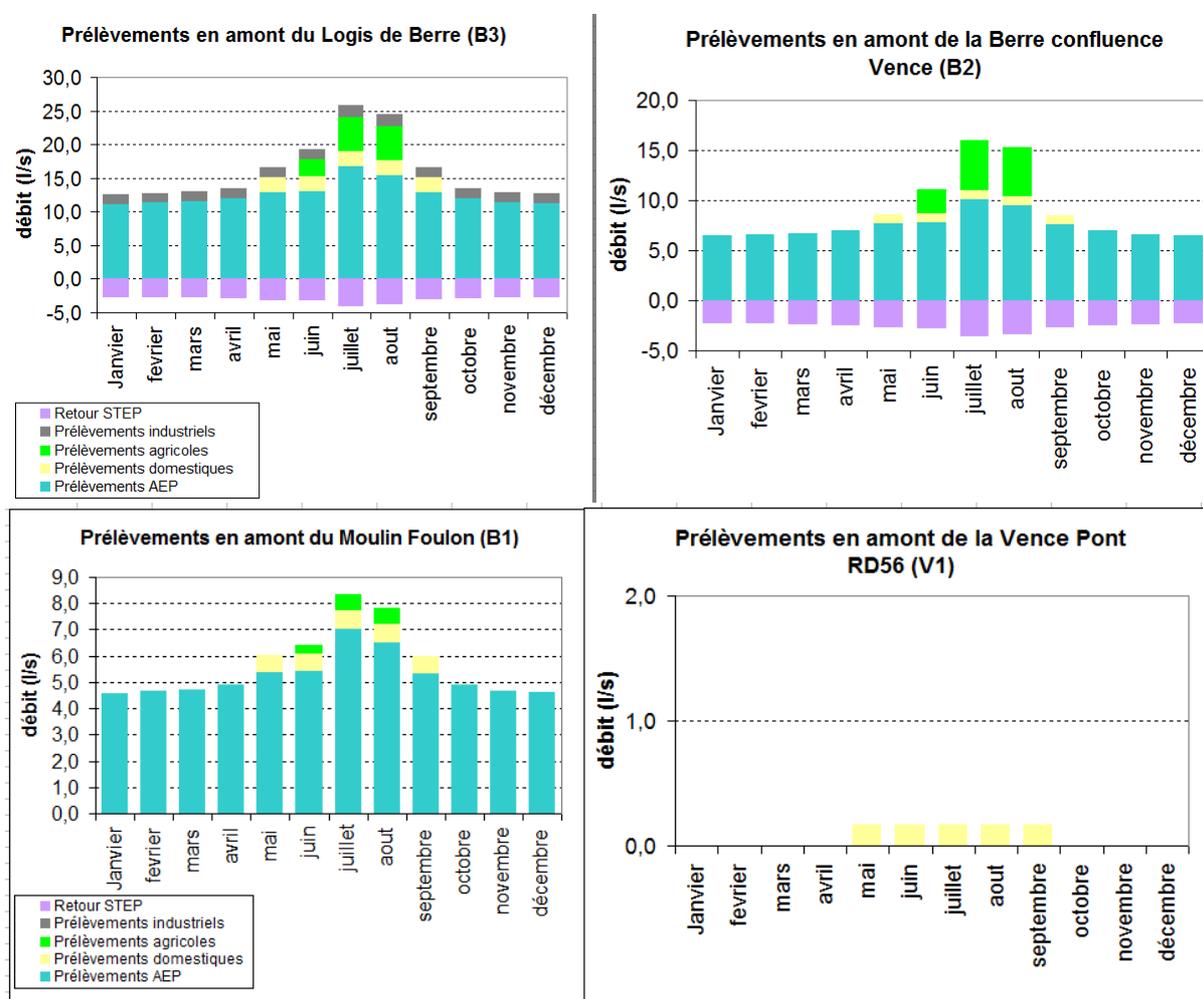


Figure 17 : Prélèvements sur le bassin de la Berre

Sur la Berre, les prélèvements AEP sont prépondérants sur l'année en volume, les retours via les STEP s'effectuant en aval du Pont du Moulin Foulon. Les prélèvements agricoles restent inférieurs et concentrés sur la Berre médiane (B2). Mis à part les prélèvements des particuliers, il n'y a pas de prélèvements sur la Vence en amont du pont de la RD56.

Une fois les prélèvements ajoutés aux chroniques de débit, une analyse fréquentielle des débits d'étiage est alors réalisée⁵, permettant de comparer les débits influencés aux débits naturels « théoriques ». La plage d'incertitude du QMNA5 influencé liée aux méthodes de calcul est rappelée (la plage d'incertitude sur les débits naturels est décalée selon la nouvelle estimation du QMNA5).

Nœud	Débits	Module	QMNA5
Berre au Logis de Berre B3	Influencés	860 l/s	14 l/s à 31 l/s
	Naturels	870 l/s	37 l/s à 42 l/s
Berre amont Vence B2	Influencés	547 l/s	28 l/s (23 l/s à 39 l/s)
	Naturels	553 l/s	34 l/s (29 l/s à 45 l/s)
Berre Moulin Foulon B1	Influencés	224 l/s	10 l/s (10 l/s à 13 l/s)
	Naturels	230 l/s	17 l/s (17 l/s à 20 l/s)
Vence Pont RD56 V1	Influencés	109 l/s	5 l/s (5 l/s à 9 l/s)
	Naturels	109 l/s	5 l/s (5 l/s à 9 l/s)

Tableau 18 : Débits naturels et influencés – Berre et Vence

⁵ Un ajustement à une loi lognormale est réalisé, caractéristique des débits d'étiage.

Les figures ci-après synthétisent les débits mensuels naturels et reconstitués par nœud.

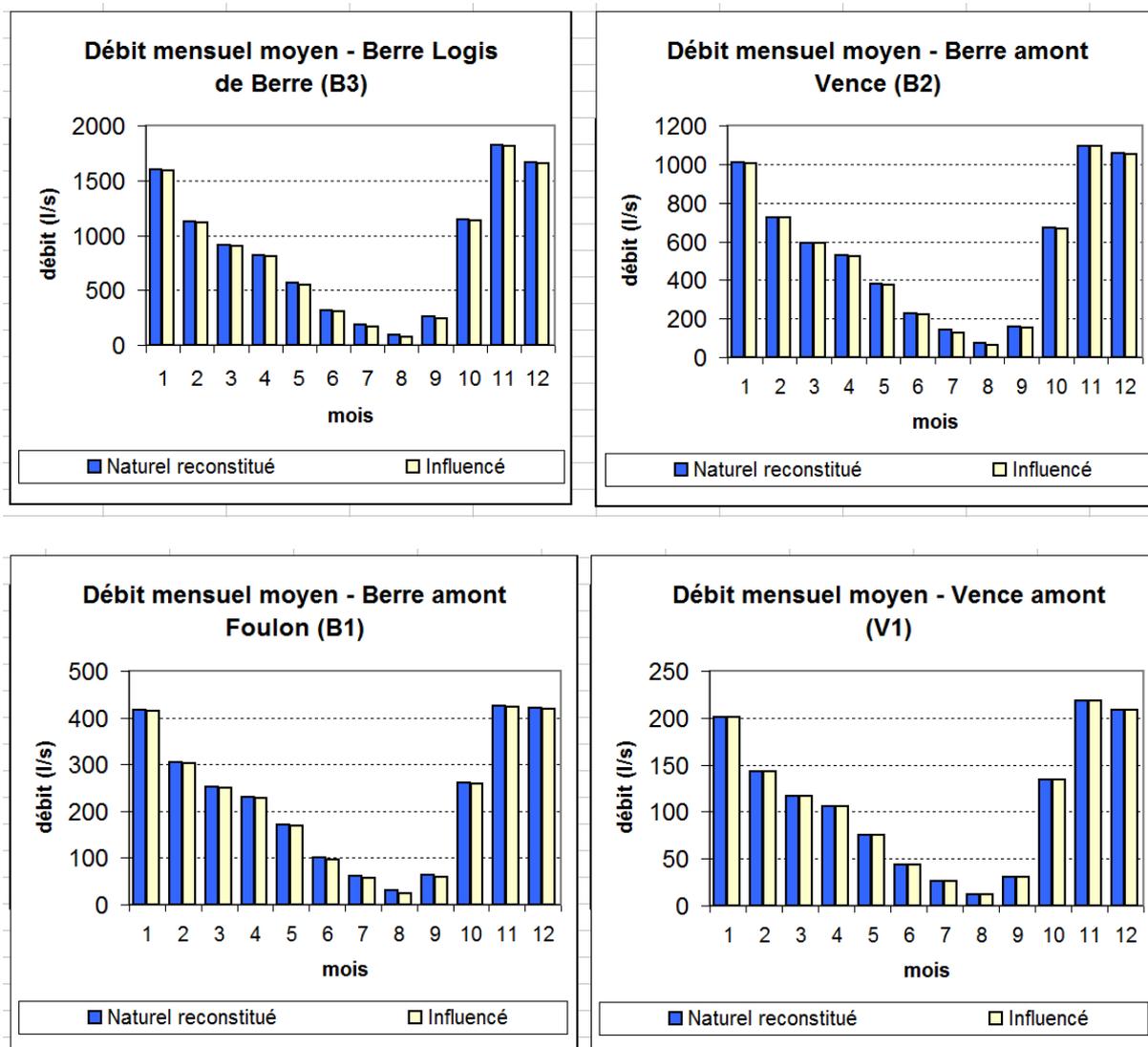


Figure 18 : Débits mensuels moyens naturels et influencés – Berre et Vence

4.2.2 Analyse du fonctionnement

De part un relief marqué, une géologie karstique qui présente de nombreuses sources (captages AEP) et une pluviométrie plus importante, la partie amont du bassin de la Berre est la zone de production. En amont du Pont Foulon, les prélèvements sont essentiellement à destination de l'eau potable (à hauteur de 4 l/s en été), les retours des STEP au cours d'eau étant réalisés plus en aval où sur le bassin versant du Lez.

Entre le Pont Foulon et la confluence avec la Vence, les prélèvements AEP restent importants (6 l/s sur le tronçon). Sur ce tronçon sont réalisés la majorité des prélèvements agricoles (6 l/s). On observe cependant de nombreux retours de débit à partir des STEP (jusqu'à près de 4 l/s).

A partir de Valaurie et d'un débit inférieur à 50 l/s, une part des débits n'est plus visible (zone d'alluvions). Les prélèvements agricoles sont très faibles puisqu'on pénètre dans le périmètre des réseaux collectifs d'irrigation. Les prélèvements AEP sur ce tronçon s'élèvent à 4 l/s (+ 2 l/s sur la Vence).

Sur la Vence, les prélèvements (essentiellement AEP, à hauteur de 2 l/s) sont localisés en aval du Pont de la RD56, là où du fait de la présence d'alluvions, les assecs sont fréquents. Le débit au pont de la RD56 n'est que très peu influencé.

Sur ces deux cours d'eau, du fait de la faible superficie des bassins versants, les réactions aux pluies estivales d'orage sont rapides et leur effet ne perdure que quelques jours (ressuyage rapide du bassin versant).

En termes de module, les valeurs naturelles sont estimées à hauteur de 6 à 6,6 l/s/km² pour la Berre, 6,8 l/s/km² pour la Vence. Ces valeurs sont plus faibles que les cours d'eau voisins (Roubion à hauteur de 10 l/s/km² et Lez à hauteur de 8 l/s/km²), en raison certainement des différences de cumuls annuels de pluies (altimétrie et pluies croissantes vers le Nord). La méthodologie portant de plus essentiellement sur les débits d'étiage, les débits de hautes eaux sont probablement mal évalués.

4.3 Estimation des débits naturels et analyse sur le bassin du Lauzon

4.3.1 Estimation des débits naturels

La figure ci-après synthétise les prélèvements en amont de Bollène sur le Lauzon :

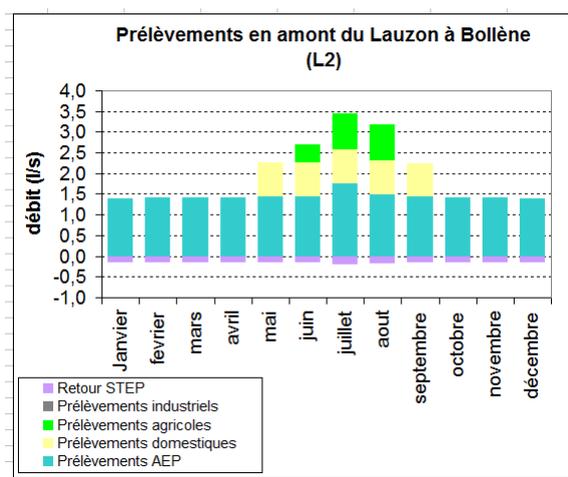


Figure 19 : Prélèvements Lauzon à Bollène

Les débits AEP sont prépondérants, les retours des STEP restant faibles. Les prélèvements agricoles sont limités du fait de la présence des réseaux collectifs. Ils sont centrés autour de Montségur (forages).

Le tableau ci-après synthétise les débits influencés et naturels sur le Lauzon.

Nœud	Débits	Module	QMNA5
Lauzon à Bollène L2	Influencés	237 l/s	14 l/s (9 l/s à 16 l/s)
	Naturels	239 l/s	16 l/s (11 l/s à 18 l/s)

Tableau 19 : Débits naturels et influencés - Lauzon

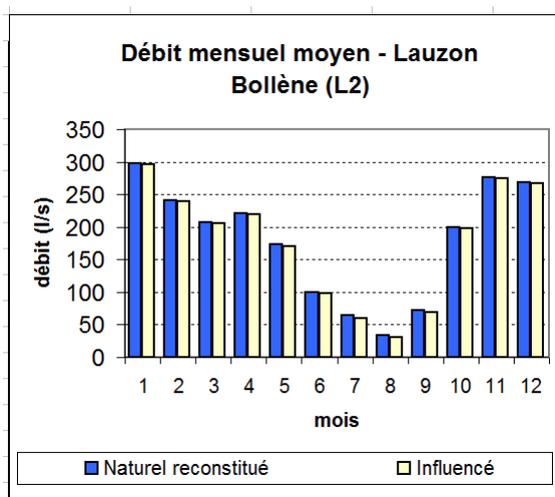


Figure 20 : Débit mensuel moyen – Lauzon à Bollène

4.3.2 Analyse du fonctionnement

Le bassin versant du Lauzon présente un relief nettement moins marqué que celui de la Berre, avec des plaines alluvionnaires plus importantes (zone des Paluds en amont de Montségur, zone de la Plaine d’Avril). Ces anciennes zones marécageuses ont été drainées, des tunnels souterrains construits sous Napoléon III renvoient les surplus de débit de drainage vers le Lez. Elles constituent vraisemblablement des réservoirs utiles au soutien des débits du Lauzon, notamment sur les zones irriguées à partir du Rhône (Plaine d’avril).

Les prélèvements agricoles (1l/s en étiage) sont situés autour de Montségur, la Plaine d’Avril étant couverte par les réseaux collectifs d’irrigation à partir du Rhône. Les prélèvements AEP sont situés sur Montségur (environ 2 l/s). Seule la STEP de Solérieux a un petit rejet sur le bassin, la STEP de Montségur trouvant son exutoire dans le Lez.

4.4 Estimation des débits naturels et analyse sur les petits affluents

Les prélèvements sur les petits affluents du Rhône (Riaille, Robine et Echaravelles) sont donnés ci-après.

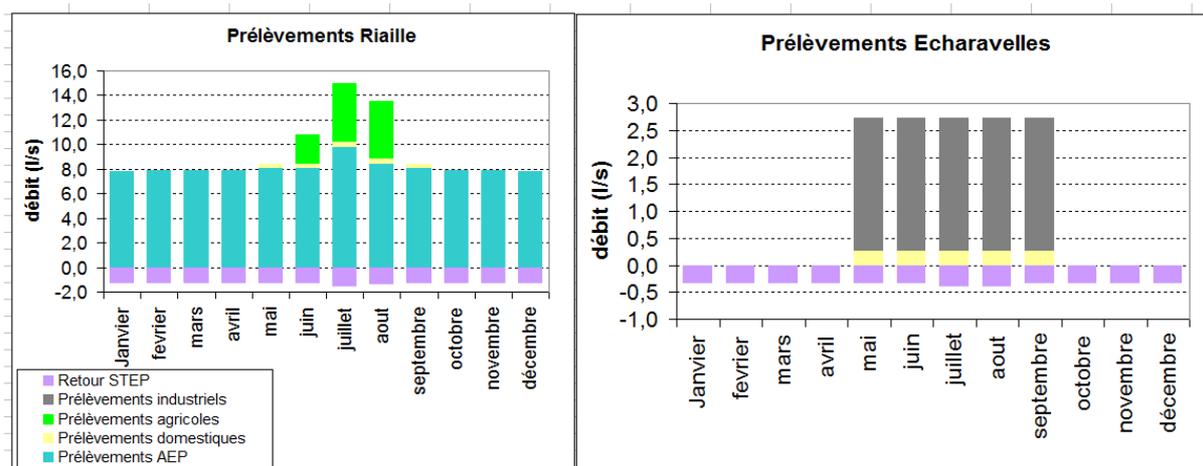


Figure 21 : Prélèvements sur la Riaille et les Echaravelles

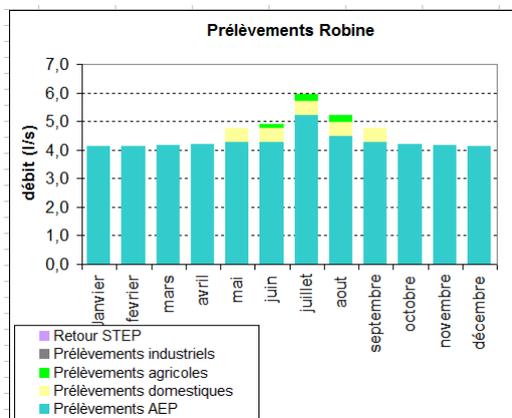


Figure 22 : Prélèvements Robine

Le bassin des Echaravelles se caractérise par des prélèvements essentiellement liés au golf, et un retour de STEP bien qu'aucun prélèvement AEP n'y soit réalisé.

Les bassins de la Riaille et de la Robine sont caractérisés par des prélèvements AEP prépondérants.

Les estimations des débits influencés sur ces trois cours d'eau et donc l'extrapolation des débits naturels qui en résulte sont à prendre avec précaution étant donné le faible nombre de données collectées.

Nœud	Débits	Module	QMNA5
Riaille	Influencés	140 l/s	7 à 8 l/s
	Naturels	148 l/s	13 l/s
Robine	Influencés	81 l/s	5 à 12 l/s
	Naturels	86 l/s	9 l/s à 16 l/s
Echaravelles	Influencés	54 l/s	0 au vu des assecs
	Naturels	54 l/s	0 au vu des assecs

Tableau 20 : Débits naturels et influencés – petits affluents

Le prélèvement de 2,5 l/s sur le bassin des Echaravelles est situé très en amont dans le bassin versant, il est peu probable que sans ce prélèvement un écoulement puisse être observé en année quinquennale sèche. Le QMNA5 reste donc à 0.

4.4.1 Analyse du fonctionnement

La Robine et les Echaravelles ont des caractéristiques proches du Lauzon, avec une partie importante de bassins versants occupés par des plaines agricoles drainées.

De part sa petite taille et la géologie (alluvions), le ruisseau des Echaravelles est très souvent sec, mis à part au déboucher dans la plaine du Rhône où les débits mesurés restent faibles par rapport aux autres cours d'eau (1 l/s en septembre 2010). Les prélèvements (2,5 l/s en étiage) se résument au golf en tête de bassin qui capte une source et les eaux de pluies.

La Robine présente des débits supérieurs, malgré des prélèvements AEP importants (5 l/s en étiage). Le QMNA5 naturel est estimé à 10 l/s et 5 l/s en régime influencé (dans un contexte où le modèle semblait sous-estimer les débits mesurés).

On ne dispose que d'une seule mesure de débit sur la Riaille en septembre 2010 au pont SNCF, cohérente avec la modélisation du débit. Les prélèvements, essentiellement AEP (10 l/s) sont localisés en limite amont de bassin versant (Allan) ou sur la partie très aval (Malataverne). Le QMNA5 naturel est estimé à 14 l/s, et 7 l/s en régime influencé.

4.5 Bilan général

Un nuancé de gris (clair, foncé, très foncé⁶) marque le caractère influencé des cours d'eau en période d'étiage. Le code couleur blanc-jaune-orange rappelle la robustesse de l'évaluation de la ressource en eau au droit du nœud.

Nœud	Débits	QMNA5
Berre au Logis de Berre B3	Influencés	14 l/s à 31 l/s
	Naturels	25 l/s à 42 l/s
Berre amont Vence B2	Influencés	28 l/s (23 l/s à 39 l/s)
	Naturels	34 l/s (29 l/s à 45 l/s)
Berre Moulin Foulon B1	Influencés	10 l/s (10 l/s à 13 l/s)
	Naturels	17 l/s (17 l/s à 20 l/s)
Vence Pont RD56 V1	Influencés	5 l/s (5 l/s à 9 l/s)
	Naturels	5 l/s (5 l/s à 9 l/s)
Lauzon à Bollène L2	Influencés	14 l/s (9 l/s à 16 l/s)
	Naturels	16 l/s (11 l/s à 18 l/s)
Riaille	Influencés	7 à 8 l/s
	Naturels	13-14 l/s
Robine	Influencés	5 -12 l/s
	Naturels	9 l/s - 16 l/s
Echaravelles	Influencés	0 au vu des assecs
	Naturels	0 au vu des assecs

Tableau 21 : Débits naturels et influencés sur l'ensemble des nœuds

L'impact des prélèvements est plus ou moins significatif sur les cours d'eau. On peut noter une influence nulle sur la Vence Amont et les Echaravelles. Au contraire, une influence marquée sur la Robine et la Riaille où les prélèvements AEP sont importants.

Il est rappelé à nouveau la faible robustesse des résultats sur les petits affluents.

⁶ Si le rapport Qmna5 influencé/Qmna5 naturel > 85% : clair, si > 70% foncé, si > 50% très foncé.

5 INFLUENCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les données sur les précipitations à l'horizon 2030 sont extraites du rapport MEDCIE de mai 2008 (étude des effets du changement climatique sur le grand sud est).

Les données sont à considérer comme des tendances. La figure ci-après donne les résultats cartographiques des trois scénarii du GIEC étudiés dans ce rapport :

- scénario A2 : continuité des tendances actuelles (pessimiste)
- scénario A1B : scénario intermédiaire
- scénario B1 : scénario optimiste avec stabilisation des émissions à partir de 2000

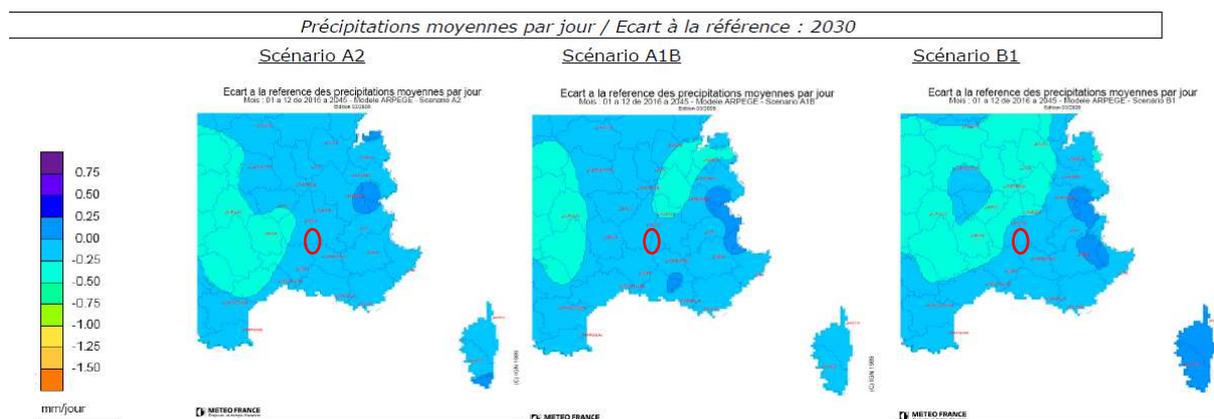


Figure 23 : Précipitations moyennes par jour horizon 2030 – source MEDCIE

Sur le périmètre, les 3 scénarios A2, A1B et B1 conduisent à une baisse identique des précipitations moyennes par jour de 0 à 0,25 mm, soit de 0 à 91 mm de pluie annuelle.

Afin d'évaluer, en termes de tendance, l'impact du changement climatique, il est proposé de modifier la chronique de pluie 1981 – 2011 pour retrouver la baisse de pluviométrie moyenne annuelle de 91 mm (en multipliant les chroniques de pluie de B2 par 0,9 et L2 par 0,88). Le modèle pluie débit est dès lors testé sur cette nouvelle chronique de pluie (avec ETP identique).

Le test est effectué sur la Berre en amont de la confluence avec la Vence (nœud B2) et sur le Lauzon à Bollène (nœud L2).

5.1.1 Effet du changement climatique en 2030 sur la Berre au nœud B2

Sur la Berre au nœud B2, la pluviométrie moyenne journalière entre 1981 et 2011 était de 2,6 mm. La baisse de 0,25 mm conduit dès lors à une pluviométrie moyenne journalière de 2,35 mm à l'horizon 2030 (soit une baisse de 10%).

La simulation des débits (influencés) à l'horizon 2030 montre alors :

- un module estimé à 425 l/s, contre 547 l/s actuellement, soit une baisse de 22%,
- un QMNA5 estimé à 24 l/s, contre 28 l/s aujourd'hui soit une baisse de 14%.

5.1.2 Effet du changement climatique en 2030 sur le Lauzon au nœud L2

Sur le Lauzon, au nœud L2, la pluviométrie moyenne journalière entre 1981 et 2011 était de 2,1 mm. La baisse de 0,25 mm conduit dès lors à une pluviométrie moyenne journalière de 1,85 mm à l'horizon 2030 (soit une baisse de 12%).

La simulation des débits (influencés) à l'horizon 2030 montre alors :

- un module estimé à 165 l/s, contre 237 l/s actuellement, soit une baisse de 30%,
- un QMNA5 estimé à 12 l/s, contre 14 l/s aujourd'hui soit une baisse de 15%.

5.1.3 Bilan

Dans les deux cas de figure, la baisse de la pluviométrie annuelle conduit à une diminution relative beaucoup plus importante des débits.

L'effet est très important sur les débits moyens annuels, et un peu moins sur les débits d'été.

La pluviométrie annuelle diminue sur le périmètre du nord (950 mm) au sud (750 mm), l'impact d'une diminution de 91 mm est d'autant plus important sur le sud où la diminution représente 12% de la pluviométrie annuelle, contre 10% au nord. Cet élément peut expliquer l'incidence plus forte sur les débits du Lauzon.

Ces résultats sont évidemment à considérer comme des tendances, au regard des incertitudes sur :

- les résultats de l'étude MEDCIE,
- la répartition de ces résultats sur l'année (lissée dans le cas présent),
- la répartition de ces résultats entre les années sèches et humides (hypothèse d'une diminution constante dans le cas présent).

Ils semblent cependant cohérents avec le plan d'adaptation au changement climatique et son objectif national de réduction de 20% des prélèvements.

L'objectif des réductions des prélèvements est de préparer les territoires au changement climatique à venir, en adaptant les pratiques. C'est une direction qui est donnée, les 20% sont en dessous de ce qui est attendu à horizon 30 ans. En effet les études scientifiques prévoient des diminutions de l'ordre de 30% des débits (même si les pluies ne baissent pas

forcément, l'évapotranspiration suffira à faire baisser les débits en plus de l'absence de stock neigeux). Les recharges des nappes devraient aussi connaître des difficultés, notamment du fait de l'assèchement des sols.

6 ANNEXES

6.1 Annexe 1 : Données ponctuelles de débit

Annexe 1 – Données ponctuelles de débit

Données CG26

libelle_station	DATE	DEBIT_MOYEN	UNITE
Vence à Réauville	18/05/2011	32	L/s
Vence à Réauville	16/06/2011	23	L/s
Vence à Réauville	26/07/2011	10	L/s
Vence à Réauville	11/08/2011	6	L/s
Vence à Réauville	01/09/2011	5	L/s
Vence à Réauville	06/10/2011	3	L/s
Berre à la Garde Adhémar	18/05/2011	167	L/s
Berre à la Garde Adhémar	16/06/2011	84	L/s
Berre à la Garde Adhémar	26/07/2011	9	L/s
Berre à la Garde Adhémar	11/08/2011	1	L/s
Berre à la Garde Adhémar	01/09/2011	0	L/s
Berre à la Garde Adhémar	06/10/2011	0	L/s
Lauzon à Saint Restitut	17/05/2011	79	L/s
Lauzon à Saint Restitut	15/06/2011	15	L/s
Lauzon à Saint Restitut	25/07/2011	4	L/s
Lauzon à Saint Restitut	11/08/2011	6	L/s
Lauzon à Saint Restitut	01/09/2011	6	L/s
Lauzon à Saint Restitut	05/10/2011	10	L/s

libelle_station	Localisation	DATE	DEBIT_MOYEN (l/s)
Berre à la Garde Adhémar	Pont amont Les Granges Gontardes	30/06/2010	229
Berre à la Garde Adhémar	Pont amont Les Granges Gontardes	12/07/2010	120
Berre à la Garde Adhémar	Pont amont Les Granges Gontardes	30/07/2010	55
Berre à la Garde Adhémar	Pont amont Les Granges Gontardes	18/08/2010	18
Berre à la Garde Adhémar	Pont amont Les Granges Gontardes	15/09/2010	70
Vence à Réauville	Pont D 56	30/06/2010	36
Vence à Réauville	Pont D 56	12/07/2010	26
Vence à Réauville	Pont D 56	30/07/2010	22
Vence à Réauville	Pont D 56	18/08/2010	14
Vence à Réauville	Pont D 56	15/09/2010	11
Lauzon à Saint Restitut	Pont Plaine d'Avril	01/07/2010	45
Lauzon à Saint Restitut	Pont Plaine d'Avril	12/07/2010	13

Lauzon à Saint Restitut	Pont Plaine d'Avril	29/07/2010	6
Lauzon à Saint Restitut	Pont Plaine d'Avril	17/08/2010	5
Lauzon à Saint Restitut	Pont Plaine d'Avril	14/09/2010	32

Données ONEMA

Date de la campagne	Point 1 : pont immergé juste à l'amont des Granges Gontardes Débit RESERVE 54 l/s			Point 2 : pont du grand Cordy DEBIT RESERVE 54 l/s			Point 3 : Pont du Moulin Foulon DEBIT RESERVE 54 l/s		
	Hauteur mesurée entre le niveau de l'eau et le repère visuel en cm	Appréciation de l'écoulement : 1. écoulement visible acceptable 2. écoulement visible faible 3. écoulement non visible 4. assec	Observations (importance des prélèvements agricole lors de la campagne, pluie récente ...)	Hauteur mesurée entre le niveau de l'eau et le repère visuel en cm	Appréciation de l'écoulement : 1. écoulement visible acceptable 2. écoulement visible faible 3. écoulement non visible 4. assec	Observations (importance des prélèvements agricole lors de la campagne, pluie récente ...)	Hauteur mesurée entre le niveau de l'eau et le repère visuel en cm	Appréciation de l'écoulement : 1. écoulement visible acceptable 2. écoulement visible faible 3. écoulement non visible 4. assec	Observations (importance des prélèvements agricole lors de la campagne, pluie récente ...)
10/06/2009	34	538 l/s	Pas de prélèvements	44	286 l/s	Pas de Prélèvements	100	205 l/s	Pas de Prélèvements
25/06/2009	40	253 l/s	Quelques prélèvements à l'amont	48	183 l/s	Pas de Prélèvements	107	103 l/s	Pas de Prélèvements
09/07/2009	42	151 l/s	Quelques prélèvements à l'amont	51,5	100 L/S	Pas de Prélèvements	112	52 l/s	Peu de prélèvements
31/07/2009	49	39 l/s	Pas de prélèvements	55	53 l/s	Pas de Prélèvements	117	22 l/s	Pas de Prélèvements

6.2 Annexe 2 : Stations hydrométriques provisoires

Libellé_BV	Commune_du_Point_de_surveillan	Nom_Installation	Etat	Prof_en_mètres	Z	Maître_d_ouvrage
Robine	SAINT PAUL TROIS CHATEAUX	ALENES(LES) -2-	ACT	9	94	MAIRIE DE SAINT PAUL TROIS CHATEAUX
Robine	SAINT PAUL TROIS CHATEAUX	GONSARD - 2 -	ACT	12	57	MAIRIE DE SAINT PAUL TROIS CHATEAUX
Robine	SAINT RESTITUT	ST ESTEVE	ACT	8	100	MAIRIE DE SAINT RESTITUT
La Raille	ALLAN	CHAINETTE(LA)	ACT	0	260	MAIRIE DE ALLAN
La Raille	ALLAN	FRANCOMTAL NORD	ACT	0	355	MAIRIE DE ALLAN
La Raille	ALLAN	FRANCOMTAL SUD	ACT	0	355	MAIRIE DE ALLAN
La Raille	MALATAVERNE	BUSSIERES, ALIAS MONTCHAMP	ACT	180	177	MAIRIE DE MALATAVERNE
La Raille	MALATAVERNE	COLOMBIER(LE)	ACT	6	95	MAIRIE DE MALATAVERNE
Lauzon aval	SAINT RESTITUT	BISTOURE	ACT	151	0	MAIRIE DE SAINT RESTITUT
Lauzon aval	SAINT RESTITUT	ROUVERETTE -2-	ACT	72	105	MAIRIE DE SAINT RESTITUT
Lauzon amont	MONTSEGUR SUR LAUZON	BOURDONNAS (Q. LE VILLAGE)	ACT	56	146	MAIRIE DE MONTSEGUR SUR LAUZON
Lauzon amont	MONTSEGUR SUR LAUZON	SAINT CHANDE (SOURCE)	ACT	7	235	MAIRIE DE CHAMARET
Lauzon amont	MONTSEGUR SUR LAUZON	BARQUETS FORAGE (Q. ST CHANDE)	ACT	100	160	MAIRIE DE MONTSEGUR SUR LAUZON
Lauzon amont	MONTSEGUR SUR LAUZON	BAVOU(LE)	ACT	5	220	MAIRIE DE MONTSEGUR SUR LAUZON
Lauzon amont	MONTSEGUR SUR LAUZON	LABOUREAU	ACT	150	0	MAIRIE DE MONTSEGUR SUR LAUZON
La Berre médiane	REAUVILLE	PIERRE TROUEE	ACT	24	260	MAIRIE DE REAUVILLE
La Berre médiane	REAUVILLE	RESERVOIR DE REAUVILLE -2	ACT	85	275	MAIRIE DE REAUVILLE
La Berre médiane	REAUVILLE	CLAVONS(LES)	ACT	3	195	SIE VALAURIE-ROUSSAS
La Berre médiane	REAUVILLE	PRE-JARNIER	ACT	0	230	SIE VALAURIE-ROUSSAS
La Berre médiane	CHANTEMERLE LES GRIGNAN	ST MAURICE	ACT	10	195	MAIRIE DE CHANTEMERLE LES GRIGNAN
La Berre amont foulon	GRIGNAN	CROS DU MAS(LE)	ACT	127	350	MAIRIE DE SALLES SOUS BOIS
La Berre amont foulon	SALLES SOUS BOIS	BOUSQUATIER	ACT	4	349	MAIRIE DE SALLES SOUS BOIS
La Berre amont foulon	SALLES SOUS BOIS	TOUSSAS -2-	ACT	3	0	MAIRIE DE SALLES SOUS BOIS
La Berre amont foulon	TAULIGNAN	BERRE DRAINAGE	ACT	1	390	MAIRIE DE TAULIGNAN
La Berre amont foulon	TAULIGNAN	CHARROUX	ACT	0	435	MAIRIE DE TAULIGNAN
La Berre amont foulon	TAULIGNAN	CHEVRE(LA)	ACT	3	360	MAIRIE DE TAULIGNAN
La Berre amont foulon	TAULIGNAN	CULTY- ALIAS PLAN DES SEIGNEUR	ACT	5	475	MAIRIE DE TAULIGNAN
La Berre amont foulon	TAULIGNAN	SAINTE FONT -FORAGE-	ACT	138	320	MAIRIE DE TAULIGNAN
La Berre aval logis	LA GARDE ADHEMAR	ESCOMBES(LES)	ACT	20	64	MAIRIE DE LA GARDE ADHEMAR
La Berre aval	VALAURIE	CROIX DE GRES -PUITS-	ACT	8	85	SIE VALAURIE-ROUSSAS
La Berre aval	LES GRANGES GONTARDES	JAS DES SEIGNEURS-3-	ACT	10	106	MAIRIE DE LES GRANGES GONTARDES
La Vence	REAUVILLE	ST NIZIER	ACT	3	225	MAIRIE DE REAUVILLE
La Vence	VALAURIE	PONT DE VENCE(LE)	ACT	7	95	SIE VALAURIE-ROUSSAS
La Vence amont	REAUVILLE	COUCOU - ALIAS HAM. DU FRAYSSE	ACT	2	410	MAIRIE DE MONTJOYER
La Vence amont	MONTJOYER	FLAMENCHE	ACT	110	0	MAIRIE DE MONTJOYER

Prélèvements AEP par sous bassin – source ARS

6.3 Annexe 3 : Description du modèle GR4J

Pouvoir simuler le comportement hydrologique d'un bassin versant est un enjeu majeur de l'hydrologie moderne, auquel tente de répondre la modélisation pluie-débit. Il s'agit, à partir de la connaissance de la pluie tombée sur le bassin, de reproduire la réponse en débit du bassin, à l'aide d'un modèle.

Les premiers modèles de simulation pluie-débit ont été proposés à la fin des années 50, et de nombreux modèles ont été développés depuis, selon des approches très variées. Bien que la représentation du comportement hydrologique d'un bassin soit apparemment un problème très ordinaire, aucune solution satisfaisante n'existe à l'heure actuelle pour décrire le mécanisme de la transformation de la pluie en débit. Une forte demande existe cependant, autant dans les domaines de recherche liés à l'étude des hydrosystèmes que de la part des gestionnaires de la ressource en eau, pour une application en conditions opérationnelles, par exemple pour la prévision des crues.

Une description précise de l'ensemble, extrêmement complexe, des mécanismes élémentaires intervenant dans tout l'espace tridimensionnel que constitue un bassin versant est actuellement impossible. Seules des solutions simplifiées semblent aujourd'hui envisageables.

L'équipe Hydrologie du Cemagref d'Antony a adopté une approche originale et pragmatique, renonçant à une connaissance minutieuse des divers phénomènes. Un mécanisme rationnel reproduisant au mieux le comportement global d'un bassin versant sous l'action combinée de deux variables de forçage essentielles (précipitations et demande évaporatoire de l'air) a été construit progressivement, en testant l'efficacité de chaque nouvelle modification.

Entreprises au début des années 80 par Claude Michel (équipe Hydrologie du Cemagref), les recherches ont conduit à la mise au point progressive de structures couvrant les pas de temps journalier, mensuel et annuel.

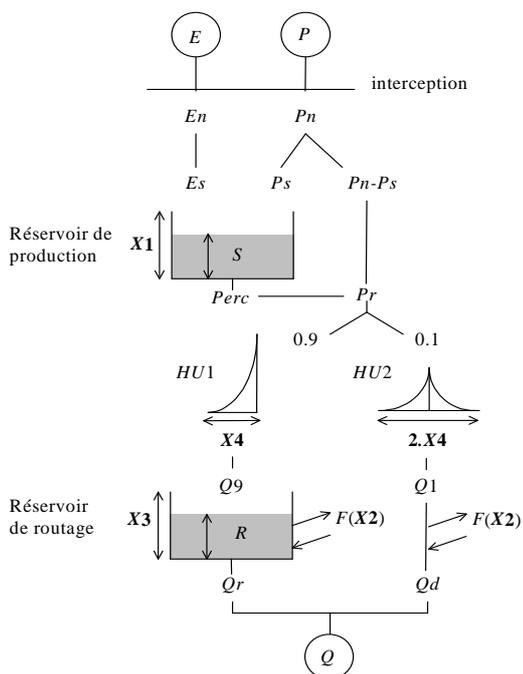
Le modèle GR4J (modèle du Génie Rural à 4 paramètres Journalier) est un **modèle pluie-débit global à réservoirs**.

Le modèle a quatre paramètres optimisables :

- X1** : capacité du réservoir de production (mm)
- X2** : coefficient d'échanges souterrains (mm)
- X3** : capacité à un jour du réservoir de routage (mm)
- X4** : temps de base de l'hydrogramme unitaire *HU1* (j)

On désigne par **P (mm)** la hauteur du pluie et par **E (mm)** l'évapotranspiration potentielle (ETP).

P est une estimation de la pluie de bassin et **E** peut être issue d'une courbe d'ETP moyenne interannuelle. Les équations suivantes correspondent aux équations intégrées sur un pas de temps.



Références:

- Edijatno, Nascimento, N.O., Yang, X., Makhlouf, Z. et Michel, C. (1999). GR3J : a daily watershed model with three free parameters. *Hydrological Sciences Journal*, 44(2), 263-278.
- 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. and Andréassian, V., 2003. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 279 : 275-289.

6.4 Annexe 4 : Résultats détaillés

Comparaison des résultats sur les données ponctuelles

Nœud B3

date	Q obs l/s	Q l/s - calage	Q l/s - GR4J Roubion	Q l/s - GR4J meilleurs paramètres
25/07/1995	60	8	44	54
04/09/1995	46	10	28	34
10/06/2009	555	880	519	576
25/06/2009	270	57	193	227
09/07/2009	171	22	109	130
31/07/2009	59	8	59	71
30/06/2010	246	48	129	159
12/07/2010	140	22	87	107
30/07/2010	75	17	58	72
18/08/2010	30	13	41	52
15/09/2010	90	57	69	72
18/05/2011	177	34	124	146

Nœud B2

date	Q obs l/s	Q l/s - GR4J Roubion	Q l/s - GR4J meilleurs paramètres
25/07/1995	40	42	57
04/09/1995	36	27	37
20/08/1996	213	104	137
10/06/2009	412	308	418
25/06/2009	228	144	193
09/07/2009	125	89	119
31/07/2009	46	52	70
16/09/2010	65	52	71

Nœud B1

date	Q obs l/s	Q l/s - GR4J Roubion	Q l/s - GR4J meilleurs paramètres
25/07/1995	34	20	16
04/09/1995	10	13	10
10/06/2009	205	145	163
25/06/2009	103	67	64
09/07/2009	52	42	37
31/07/2009	22	24	20
15/09/2010	44	25	22

Nœud V1

date	Q obs l/s	Q l/s - GR4J Roubion	Q l/s - GR4J meilleurs paramètres
25/07/1995	14	8	15
04/09/1995	24	5	10
30/06/2010	36	22	34
12/07/2010	26	15	25
30/07/2010	22	10	18
18/08/2010	13	8	14
15/09/2010	11	10	15
16/09/2010	19	10	15
18/05/2011	32	21	34
16/06/2011	23	13	20
26/07/2011	10	7	12
11/08/2011	6	6	10
01/09/2011	5	5	8
06/10/2011	3	3	6

Résultats aux nœuds

Nœud	Débits	Module	QMNA5	VCN30 (5ans)	VCN10 (5ans)	VCN3 (5ans)
B3	Naturels	870 l/s	42 l/s	35 l/s	31 l/s	30 l/s
	Influencés	860 l/s	30 l/s	24 l/s	21 l/s	20 l/s
B2	Naturels	553 l/s	34 l/s	28 l/s	25 l/s	24 l/s
	Influencés	547 l/s	28 l/s	22 l/s	20 l/s	19 l/s
B1	Naturels	231 l/s	17 l/s	15 l/s	13 l/s	13 l/s
	Influencés	224 l/s	10 l/s	8 l/s	7 l/s	7 l/s
V1	Naturels	109 l/s	5 l/s	4 l/s	4 l/s	4 l/s
	Influencés	109 l/s	5 l/s	4 l/s	4 l/s	4 l/s
L2	Naturels	239 l/s	16 l/s	13 l/s	12 l/s	11 l/s
	Influencés	237 l/s	14 l/s	12 l/s	10 l/s	10 l/s
Robine	Naturels	86 l/s	10 l/s	9 l/s	9 l/s	8 l/s
	Influencés	81 l/s	5 l/s	4 l/s	4 l/s	4 l/s
Raille	Naturels	147 l/s	14 l/s	12 l/s	11 l/s	11 l/s
	Influencés	140 l/s	7 l/s	6 l/s	5 l/s	5 l/s
Echaravelles	Naturels	54 l/s	0 l/s au vu des observations			
	Influencés	54 l/s	0 l/s au vu des observations			

Annexe 1 – Données ponctuelles de débit

Données CG26

libelle_station	DATE	DEBIT_MOYEN	UNITE
Vence à Réauville	18/05/2011	32	L/s
Vence à Réauville	16/06/2011	23	L/s
Vence à Réauville	26/07/2011	10	L/s
Vence à Réauville	11/08/2011	6	L/s
Vence à Réauville	01/09/2011	5	L/s
Vence à Réauville	06/10/2011	3	L/s
Berre à la Garde Adhémar	18/05/2011	167	L/s
Berre à la Garde Adhémar	16/06/2011	84	L/s
Berre à la Garde Adhémar	26/07/2011	9	L/s
Berre à la Garde Adhémar	11/08/2011	1	L/s
Berre à la Garde Adhémar	01/09/2011	0	L/s
Berre à la Garde Adhémar	06/10/2011	0	L/s
Lauzon à Saint Restitut	17/05/2011	79	L/s
Lauzon à Saint Restitut	15/06/2011	15	L/s
Lauzon à Saint Restitut	25/07/2011	4	L/s
Lauzon à Saint Restitut	11/08/2011	6	L/s
Lauzon à Saint Restitut	01/09/2011	6	L/s
Lauzon à Saint Restitut	05/10/2011	10	L/s

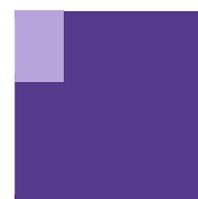
libelle_station	Localisation	DATE	DEBIT_MOYEN (l/s)
Berre à la Garde Adhémar	Pont amont Les Granges Gontardes	30/06/2010	229
Berre à la Garde Adhémar	Pont amont Les Granges Gontardes	12/07/2010	120
Berre à la Garde Adhémar	Pont amont Les Granges Gontardes	30/07/2010	55
Berre à la Garde Adhémar	Pont amont Les Granges Gontardes	18/08/2010	18
Berre à la Garde Adhémar	Pont amont Les Granges Gontardes	15/09/2010	70
Vence à Réauville	Pont D 56	30/06/2010	36
Vence à Réauville	Pont D 56	12/07/2010	26
Vence à Réauville	Pont D 56	30/07/2010	22
Vence à Réauville	Pont D 56	18/08/2010	14
Vence à Réauville	Pont D 56	15/09/2010	11
Lauzon à Saint Restitut	Pont Plaine d'Avril	01/07/2010	45
Lauzon à Saint Restitut	Pont Plaine d'Avril	12/07/2010	13

Lauzon à Saint Restitut	Pont Plaine d'Avril	29/07/2010	6
Lauzon à Saint Restitut	Pont Plaine d'Avril	17/08/2010	5
Lauzon à Saint Restitut	Pont Plaine d'Avril	14/09/2010	32

Données ONEMA

Date de la campagne	Point 1 : pont immergé juste à l'amont des Granges Gontardes Débit RESERVE 54 l/s			Point 2 : pont du grand Cordy DEBIT RESERVE 54 l/s			Point 3 : Pont du Moulin Foulon DEBIT RESERVE 54 l/s		
	Hauteur mesurée entre le niveau de l'eau et le repère visuel en cm	Appréciation de l'écoulement : 1. écoulement visible acceptable 2. écoulement visible faible 3. écoulement non visible 4. assec	Observations (importance des prélèvements agricole lors de la campagne, pluie récente ...)	Hauteur mesurée entre le niveau de l'eau et le repère visuel en cm	Appréciation de l'écoulement : 1. écoulement visible acceptable 2. écoulement visible faible 3. écoulement non visible 4. assec	Observations (importance des prélèvements agricole lors de la campagne, pluie récente ...)	Hauteur mesurée entre le niveau de l'eau et le repère visuel en cm	Appréciation de l'écoulement : 1. écoulement visible acceptable 2. écoulement visible faible 3. écoulement non visible 4. assec	Observations (importance des prélèvements agricole lors de la campagne, pluie récente ...)
10/06/2009	34	538 l/s	Pas de prélèvements	44	286 l/s	Pas de Prélèvements	100	205 l/s	Pas de Prélèvements
25/06/2009	40	253 l/s	Quelques prélèvements à l'amont	48	183 l/s	Pas de Prélèvements	107	103 l/s	Pas de Prélèvements
09/07/2009	42	151 l/s	Quelques prélèvements à l'amont	51,5	100 L/S	Pas de Prélèvements	112	52 l/s	Peu de prélèvements
31/07/2009	49	39 l/s	Pas de prélèvements	55	53 l/s	Pas de Prélèvements	117	22 l/s	Pas de Prélèvements

ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVABLES GLOBAUX



Sous bassin versant de la Berre

Rapport final phase 3
• Juillet 2012

