

SYNDICAT MIXTE DU BASSIN DU FLEUVE HERAULT



ELABORATION DU SCHEMA DIRECTEUR DE LA RESSOURCE EN EAU SUR LE BASSIN DE L'HERAULT DETERMINATION DES VOLUMES MAXIMUMS PRELEVABLES

*Reconstitution de l'hydrologie influencée et
naturelle (phase 2)*

MAÎTRE D'OUVRAGE

**SYNDICAT MIXTE DU BASSIN DU
FLEUVE HERAULT**

OBJET DE L'ÉTUDE

**ELABORATION DU SCHEMA DIRECTEUR DE
LA RESSOURCE EN EAU SUR LE BASSIN DE
L'HERAULT DETERMINATION DES
VOLUMES MAXIMUMS PRELEVABLES**

N° AFFAIRE

M11169

INTITULE DU RAPPORT

***Reconstitution de l'hydrologie influencée et
naturelle (phase 2)***

4	Septembre 2015	FCH	PDE	Rapport final
3	Février 2014	FCH	PDE	Compléments sur l'hydrogéologie, validation des débits de référence
2	Juillet 2013	MDI	FCH / PDE	Intégration des remarques du Cotec n°4 et calcul des débits naturels
1	Décembre 2012	MDI	JBE / PDE	Quantification de la ressource
<i>N° de Version</i>	<i>Date</i>	<i>Établi par</i>	<i>Vérifié par</i>	<i>Description des Modifications / Évolutions</i>



Septembre 2015

Établi par CEREG Ingénierie / Berga Sud

TABLE DES MATIÈRES

A.	Presentation de l'étude	10
A.I	ELEMENTS DE CONTEXTE	11
A.II	CONTENU DU RAPPORT	12
A.III	METHODOLOGIE GENERALE DE LA PHASE 2.....	12
A.III.1	<i>Réflexion de portée générale sur la méthodologie</i>	12
A.III.2	<i>Application au cas de l'Hérault</i>	13
B.	Contexte hydrogéologique du bassin de l'Hérault.....	14
B.I	CADRE GEOLOGIQUE GENERAL.....	15
B.II	DESCRIPTION DES PRINCIPAUX AQUIFERES	15
B.II.1	<i>Aquifère des calcaires cambriens (FRDG106)</i>	15
B.II.1	<i>Aquifère des calcaires lutétiens (FRDG510)</i>	16
B.II.1	<i>Aquifère des alluvions de l'Hérault (FRDG311)</i>	17
B.II.1	<i>Aquifère des calcaires jurassiques (FRDG125, FRDG115 et FRDG124)</i>	18
B.III	ETUDE DES RELATIONS ENTRE LE FLEUVE HERAULT ET L'AQUIFERE DES CALCAIRES JURASSIQUES 21	
B.III.1	<i>Recensement des résurgences karstiques dans le secteur de l'Hérault</i>	22
B.III.2	<i>Mesures des débits de surface sur le bassin versant de l'Hérault</i>	24
B.IV	BILAN DES IMPACTS DES AQUIFERES SUR LES DEBITS SUPERFICIELS	27
C.	Analyse hydrologique de l'Hérault.....	30
C.I	ANALYSE DES DONNEES METEOROLOGIQUES	31
C.I.1	<i>Données acquises</i>	31
C.I.2	<i>Analyse de la pluviométrie</i>	32
C.I.3	<i>Analyse de la température</i>	36
C.I.4	<i>Analyse de la neige</i>	38
C.I.5	<i>Analyse de l'EvapoTranspiration Potentielle (ETP)</i>	38
C.II	ANALYSE DES DONNEES DEBITMETRIQUES	40
C.II.1	<i>Stations sélectionnées dans les études préalables</i>	40
C.II.2	<i>Description des stations hydrométriques</i>	41
C.II.3	<i>Bilan : stations retenues et débits caractéristiques</i>	45
C.II.4	<i>Analyse hydrologique des stations retenues pour la modélisation</i>	46
D.	Modélisation hydrologique	52
D.I	METHODOLOGIE GENERALE	53
D.II	MODELE HYDROLOGIQUE.....	55
D.II.1	<i>Chaîne de calcul des débits ruisselés</i>	55
D.II.2	<i>Présentation du modèle de neige</i>	55
D.II.3	<i>Présentation du module ETP</i>	56
D.II.4	<i>Présentation du logiciel ATHYS</i>	56
D.II.5	<i>Période de simulation</i>	57
D.II.6	<i>Prétraitements des données</i>	57
D.II.7	<i>Prise en compte de l'influence du Salagou</i>	61
D.III	MODELE DE NAPPE ALLUVIALE	62

D.III.1	Présentation du modèle	62
D.III.2	Calage de la nappe.....	64
E.	Calage du modèle sur les débits influencés	65
E.I	RAPPEL DES STATIONS HYDROMETRIQUES RETENUES ET PERIODE DE CALAGE.....	66
E.II	MODELE DE PRELEVEMENTS ET RESTITUTIONS	67
E.III	CALAGE DU MODELE POUR LA RECONSTITUTION DES DEBITS INFLUENCES.....	68
E.III.2	Conclusion sur le calage des débits influencés.....	74
F.	Validation du modèle de reconstitution des débits influencés	76
F.I	METHODE DE VALIDATION	77
F.II	VALIDATION DU MODELE A PARTIR DES DONNES OBSERVEES SUR LA PERIODE 1983-1999	77
F.II.1	Station de St-Laurent-le-Minier sur la Vis.....	78
F.II.2	Station de Laroque sur l'Hérault	79
F.II.3	Station de Gignac sur l'Hérault	80
F.II.4	Station de Lodève sur la Lergue.....	81
F.II.5	Synthèse sur la reconstitution des débits sur la période 1983-1999.....	82
F.III	VALIDATION A PARTIR DES AUTRES STATIONS.....	83
F.III.1	Stations de La Terrisse et du Vigan sur l'Arre.....	83
F.III.2	L'Hérault à Valleraugue	84
F.III.3	L'Hérault à Canet	84
F.III.4	L'Hérault à Aspiran	84
F.III.5	L'Hérault à Agde.....	85
F.III.6	La Peyne à Roujan	86
F.IV	SYNTHESE SUR LA VALIDATION DU MODELE.....	87
F.IV.1	Qualité du modèle et précautions d'utilisation	87
F.IV.2	Estimations des incertitudes du modèle	88
G.	reconstitution des débits naturels	89
G.I.1	Estimations des débits caractéristiques de l'Hérault.....	90
G.II	ANALYSE DE L'EVOLUTION DES DEBITS INFLUENCES SUR LE BASSIN VERSANT	91
G.II.1	Analyse des QMNA5 influencés	91
G.III	ANALYSE DE L'EVOLUTION DES DEBITS NATURELS SUR LE BASSIN VERSANT.....	92
G.III.1	Analyse des QMNA5 naturels.....	92
H.	Synthèse sur l'Hydrologie.....	93

LISTE DES PLANCHES

➤	Planche n° 1 : Réseau hydrographique	11
➤	Planche n°2 : Sous-bassins versants	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Synthèse des données météorologiques	32
Tableau 2 - Hauteurs maximales de neige.....	38
Tableau 3 - Stations retenues par les deux études sur les débits d'étiage	40
Tableau 4 - Intérêt hydrologique des stations hydrométriques	42
Tableau 5 – Synthèse des stations débitmétriques retenues	45
Tableau 6 - Caractéristiques sur différentes périodes de la station de Saint-Laurent-le-Minier sur la Vis	47
Tableau 7 - Caractéristiques sur différentes périodes de la station de Laroque sur l'Hérault	48
Tableau 8 - Caractéristiques sur différentes périodes de la station de Gignac aval sur l'Hérault.....	49
Tableau 9 - Caractéristiques sur différentes périodes de la station d'Agde sur l'Hérault	50
Tableau 10 - Caractéristiques sur différentes périodes de la station de Lodève sur la Lergue	51
Tableau 11 - Répartition des superficies des classes de production au niveau du bassin versant de l'Hérault	59
Tableau 12- Influence comparée des stations pluviométriques sur le bassin versant de l'Hérault.....	61
Tableau 13 - Paramètres des différents secteurs de nappe alluviale sur le bassin.....	63
Tableau 14 - Bilan annuel et en saison d'étiage des prélèvements par sous-bassin.....	67
Tableau 15 - Fiabilité de la reconstitution des débits influencés	74
Tableau 16 – Synthèse sur la reconstitution des débits du mois d'août	82
Tableau 17 - Débits caractéristiques de l'Hérault.....	90
Tableau 18 - Débits caractéristiques de l'Hérault en situation naturelle	94
Tableau 19 - Débits caractéristiques de l'Hérault en situation influencée.....	94

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Illustration 1 - Bassin hydrogéologique du karst jurassique amont (Gorges de l'Hérault)	19
Illustration 2 – Principaux phénomènes de karstification (BERGA SUD, carte 5, annexe 3).....	23
Illustration 3 – Stations de jaugeages des débits de surface (BERGA SUD, carte 6, annexe 3).....	24
Illustration 4 – Zones d'alimentation des cours d'eau par les formations karstiques du Jurassique (BERGA SUD, carte 7, annexe 3)	26

Illustration 5- Localisation des principaux aquifères du bassin versant de l'Hérault.....	29
Illustration 6- Localisation des stations météorologiques	31
Illustration 7- Précipitations moyennes annuelles sur la période 1981- 2003.....	33
Illustration 8 - Variation des cumuls annuels de pluie en fonction de l'altitude des stations	33
Illustration 9 - Variation interannuelle des cumuls annuels de pluie	34
Illustration 10 - Nombre de décades de pluie par an et par intensité sur la période 1981 – 2003.....	35
Illustration 11 - Cumuls de précipitations estivales et annuelles entre 1981 et 2003.....	36
Illustration 12 - Température moyenne mensuelle entre 2003 et 2007	37
Illustration 13 - Variation de la température avec l'altitude	37
Illustration 14 - Variation mensuelle de l'ETP journalière (moyennes sur 1994-2011).....	39
Illustration 15 - Localisation et intérêt hydrologique des stations hydrométriques	41
Illustration 16- Débits mesurés par les stations de la banque HYDRO le long de l'Hérault (2000 à 2011)	43
Illustration 17- Débits mensuels mesurés sur l'Arre entre 2009 et 2011	44
Illustration 18 - Débits annuels moyens observés à Saint-Laurent-le-Minier sur la Vis.....	46
Illustration 19- Débits annuels moyens observés à Laroque sur l'Hérault	47
Illustration 20 - Débits annuels moyens observés à Gignac aval sur l'Hérault	48
Illustration 21 - Débits annuels moyens observés à Agde sur l'Hérault.....	49
Illustration 22 - Comparaison des débits observés à Agde et à Gignac	50
Illustration 23 - Débits annuels moyens observés à Lodève sur la Lergue	51
Illustration 24 - Synoptique des différents modules utilisés pour la simulation des débits	54
Illustration 25 - Détails de la chaîne de calcul du modèle hydrologique ATHYS	55
Illustration 26 - Fonctionnement du modèle ATHYS (source : IRD).....	57
Illustration 27 - Carte des altitudes (à gauche) et du réseau hydrographique (à droite).....	58
Illustration 28 - Carte des classes de production.....	59
Illustration 29 - Données pluviométriques disponibles	60
Illustration 30 - Synoptique du modèle hydrogéologique des échanges nappes-rivières.....	62
Illustration 31 – Débits mensuels observés et simulés sur la Vis à Saint-Laurent-le-Minier entre 2000 et 2011.....	69
Illustration 32 – Débits décennaires observés et simulés en 2008 sur la Vis à Saint-Laurent-le-Minier...	69
Illustration 33 – Comparaison des débits annuels simulés et observés sur la Vis à Saint-Laurent-le- Minier entre 2000 et 2011	69
Illustration 34 – Comparaison des débits mensuels simulés et observés au mois d'août sur la Vis à Saint- Laurent-le-Minier entre 2000 et 2011	69
Illustration 35 – Débits mensuels observés et simulés sur l'Hérault à Laroque entre 2000 et 2011	70

Illustration 36 – Débits décennaires observés et simulés en 2008 sur l'Hérault à Laroque.....	70
Illustration 37 – Comparaison des débits annuels simulés et observés sur l'Hérault à Laroque entre 2000 et 2011.....	71
Illustration 38 – Comparaison des débits mensuels simulés et observés au mois d'août sur l'Hérault à Laroque entre 2000 et 2011	71
Illustration 39 – Débits mensuels observés et simulés sur l'Hérault à Gignac entre 2000 et 2007.....	72
Illustration 40 – Débits mensuels observés et simulés sur l'Hérault à Gignac entre 2008 et 2011.....	72
Illustration 41 - Débits décennaires observés et simulés en 2008 sur l'Hérault à Gignac aval	72
Illustration 42 – Comparaison des débits annuels simulés et observés sur l'Hérault à Gignac aval entre 2000 et 2011.....	73
Illustration 43 – Comparaison des débits mensuels simulés et observés au mois d'août sur l'Hérault à Gignac aval entre 2000 et 2011	73
Illustration 44 – Débits mensuels observés et simulés sur la Lergue à Lodève entre 2000 et 2011	73
Illustration 45 – Débits décennaires observés et simulés en 2008 sur la Lergue à Lodève	73
Illustration 46 – Comparaison des débits mensuels simulés et observés au mois d'août sur la Lergue à Lodève entre 2000 et 2011	74
Illustration 47 - Débits mensuels observés et simulés sur la Vis à Saint-Laurent-le-Minier	78
Illustration 48 – Calage des débits du mois d'août sur la Vis à Saint-Laurent-le-Minier entre 2000 et 2011.....	78
Illustration 49 – Validation des débits du mois d'août sur la Vis à Saint-Laurent-le-Minier entre 1983 et 1999.....	78
Illustration 50 - Débits mensuels observés et simulés sur l'Hérault à Laroque	79
Illustration 51 – Calage des débits du mois d'août sur l'Hérault à Laroque entre 2000 et 2011	79
Illustration 52 – Validation des débits mensuels du mois d'août sur l'Hérault à Laroque entre 1983 et 1999.....	79
Illustration 53 - Débits mensuels observés et simulés sur l'Hérault à Gignac	80
Illustration 54 - Calage des débits du mois d'août sur l'Hérault à Gignac entre 2000 et 2011	80
Illustration 55 - Validation des débits du mois d'août sur l'Hérault à Gignac entre 1993 et 1999.....	80
Illustration 56 - Débits mensuels observés et simulés sur la Lergue à Lodève	81
Illustration 57 – Calage des débits du mois d'août sur la Lergue à Lodève entre 2000 et 2011	81
Illustration 58 - Validation des débits du mois d'août sur la Lergue à Lodève entre 1983 et 1999	81
Illustration 59 - Débits mensuels observés et simulés sur l'Arre entre 2009 et 2011	83
Illustration 60 - Débits décennaires observés et simulés en 2010 sur l'Arre	83
Illustration 61 – Débits mensuels observés et simulés sur l'Hérault à Aspiran	85
Illustration 62 – Comparaison des débits mensuels simulés et observés au mois d'août sur l'Hérault à Agde entre 2000 et 2011	86

Illustration 63 - Débits mensuels observés et simulés sur la Peyne à Roujan.....	86
Illustration 64 - Profil en long du QMNA5 influencé de l'Hérault et ses affluents.....	91
Illustration 65 - Profil en long du QMNA5 naturel de l'Hérault et ses affluents.....	92

PRÉAMBULE

Le Bureau d'étude CEREG Ingénierie a été missionné pour réaliser *l'élaboration du schéma directeur de la ressource en eau*, impliquant *la détermination des volumes maximums prélevables* sur le bassin versant du fleuve Hérault. Cette étude d'une durée initiale de 12 mois doit traiter des aspects suivants :

- Actualiser les études antérieures qui ont permis de définir la ressource et les prélèvements
- Définir des débits de référence et en déduire les volumes prélevables
- Etudier différents scénarios possibles et proposer un schéma de partage de la ressource en eau
- Mener une concertation avec les gestionnaires, acteurs et usagers des milieux et de la ressource

L'étude est décomposée en 3 phases :

- **Phase 1 : Actualisation du bilan des prélèvements**
- **Phase 2 : Reconstitution de l'hydrologie influencée et naturelle**
- **Phase 3 : Schéma directeur de partage de la ressource en eau**
- **Phase 4 : Détermination des volumes prélevables et des débits objectifs d'étiage**

Le présent rapport traite de la phase 2 de cette étude.

A. PRESENTATION DE L'ÉTUDE

A.I ELÉMENTS DE CONTEXTE

➤ *Planche n° 1 : Réseau hydrographique*

☐ Localisation géographique

Le bassin versant du fleuve Hérault est situé dans la région Languedoc-Roussillon, sur deux départements : l'Hérault et le Gard.

Le territoire est réparti entre 166 communes. Depuis sa source au Mont Aigoual jusqu'à la mer, l'Hérault draine un territoire de 2 500 km² et parcourt 160 km. Ses principaux affluents sont l'Arre, la Vis, la Lergue, la Boyne, la Peyne et la Thongue, tous situés sur la partie Ouest du bassin versant.

Le régime de l'Hérault et de ses affluents est méditerranéen, caractérisé par des fortes crues en automne et des étiages sévères en été. Du fait de la variabilité géologique des sols (du socle à la plaine alluviale en passant par un milieu karstique), la répartition des ressources souterraines est hétérogène.

☐ Contexte réglementaire

La Circulaire 17-2008 du 30 juin 2008 fixe les objectifs généraux pour la réduction des déficits quantitatifs observés ces dernières années sur de nombreux bassins versants. Un objectif principal est à retenir : la révision des autorisations de prélèvement afin de parvenir au maintien dans le cours d'eau de débits minimaux et dans la nappe, de niveaux piézométriques compatibles avec l'ensemble des usages.

Pour atteindre ces objectifs, 3 grandes étapes sont proposées :

- Etape 1 : La détermination de volumes prélevables à l'échelle du bassin versant. Ces volumes prélevables sont estimés sur la base de la ressource disponible et du maintien dans le cours d'eau d'un débit permettant de maintenir la vie piscicole. Le même principe est appliqué aux ressources en eaux souterraines ;
- Etape 2 : La concertation avec les usagers de l'eau en vue de répartir les volumes prélevables ;
- Etape 3 : La révision des autorisations de prélèvement et la mise en place de la gestion collective de l'irrigation.

L'étude actuelle concerne l'étape 1.

☐ Vers une aggravation des étiages : le contexte du changement climatique

Le calcul des volumes prélevables repose sur l'estimation de la ressource disponible. La ressource provient de la pluviométrie et de la façon dont le cours d'eau collecte les ruissellements de surface. Aujourd'hui, les experts du changement climatique annoncent (source étude du CEMAGREF sur l'impact du réchauffement climatique sur le périmètre du SDAGE RM&C) :

- Une augmentation des précipitations hivernales ;
- Une diminution des précipitations estivales ;
- Une diminution des précipitations neigeuses ;
- Une augmentation des températures estivales.

Les conséquences de ces phénomènes seraient une réduction notable des débits estivaux. Il convient donc d'analyser l'impact du réchauffement climatique dans le cadre de cette étude.

De plus, les étiages pourraient être aggravés par une augmentation des prélèvements pour compenser les manques d'eau. Il est donc nécessaire d'estimer l'impact sur les besoins en eaux (population et agriculture) du réchauffement climatique.

A.II CONTENU DU RAPPORT

Comme indiqué dans le préambule, ce rapport concerne uniquement la phase 2 de l'étude à savoir la reconstitution de l'hydrologie influencée et naturelle.

A.III MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE LA PHASE 2

A.III.1 Réflexion de portée générale sur la méthodologie

La caractérisation de la ressource sur le bassin versant de l'Hérault et plus généralement sur les bassins versants méditerranéens influencés par des prélèvements **reste complexe à ce jour** pour trois raisons principales :

- **Les données de débits existantes sont hétérogènes** à la fois dans leur localisation géographique et leur durée d'observation (de 1 an à 30 ans). Par exemple, l'étude Ginger sur le bassin versant avait identifié 8 années de données communes sur les stations principales du bassin versant, ce qui est faible pour en tirer des statistiques significatives ;
- **Les données sont parfois peu fiables** sur certaines stations et la fiabilité de chaque station évolue dans le temps. Par exemple, la station de Valleraugue a été déplacée ;
- **Les données de débits disponibles sont des débits influencés par les prélèvements.** Les débits naturels, c'est-à-dire non influencés, sont obtenus par ajout des prélèvements. Or les prélèvements qui sont eux aussi difficiles à déterminer, ne peuvent être obtenus que sur les 4 ou 5 dernières années la plupart du temps. Le paradoxe est alors que même si l'on peut disposer de chroniques de débits observées relativement longues, il est souvent impossible de reconstituer les débits naturels parce que l'on ne sait pas déterminer les prélèvements concomitants.

L'analyse des données mesurées ne peut donc conclure que sur des chroniques courtes sur un nombre de points limité (aux stations fiables). L'analyse statistique de ces résultats est donc peu fiable. **Ces limites ont conduit à employer une méthodologie reposant sur une modélisation hydrologique spatialisée.** Cette modélisation pluie débit sera réalisée sur 28 ans permettant ainsi après calage de :

- proposer **une analyse statistique plus significative** que par les approches précédentes ;
- **disposer de points de référence plus fiables.** En effet, lorsque l'on utilise des débits disponibles aux stations hydrométriques il n'existe pas d'autre possibilité que de pratiquer des interpolations linéaires, pour définir un point de référence sur un autre endroit du bassin versant. Le modèle spatialisé utilisé permet de calculer le débit en tout point du bassin versant. En outre, il permet de :

- **s'affranchir des difficultés liées à l'évolution des prélèvements.** En effet, le modèle est calé sur les années récentes sur lesquelles les prélèvements sont connus ;
- pouvoir appréhender l'évolution climatique dans le mesure où il est possible de modifier les données de pluie, température et ETP ce qui permet d'en simuler l'incidence sur les débits du fleuve.

La modélisation présentée ci-après repose sur un outil de calcul dont le calage et la représentativité induit des incertitudes. Elles devront être quantifiées tant au niveau spatial (stations hydrométriques) qu'au niveau temporel (débit mensuel, annuel). **La méthodologie proposée permettra de préciser les résultats actuels pour améliorer la connaissance de la ressource en eau.**

A.III.2 Application au cas de l'Hérault

La caractérisation de la ressource en eau disponible sur le bassin versant de l'Hérault est réalisée en plusieurs étapes :

- Une analyse des données météorologiques existantes ;
- Une analyse des données débitmétriques disponibles et des études préalables réalisées afin de sélectionner les périodes et les données de calage ;
- Le calage du modèle hydrologique et sa validation sur les débits influencés ;
- L'exploitation du modèle validé pour définir les débits naturels ;
- La comparaison des débits naturels et influencés avec les résultats des études précédentes.

B. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DU BASSIN DE L'HERAULT

Le contexte hydrogéologique du bassin versant de l'Hérault présente des extraits de l'étude de BERGA SUD présentée en annexe 3. Les extraits de cette étude ci-après traitent principalement des relations entre le fleuve Hérault et les principaux aquifères et des potentialités d'exploitations de nouvelles ressources sur le bassin versant.

B.I CADRE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL

Dans la partie Nord du bassin versant de l'Hérault, dans le domaine de Cévennes, les formations du Primaire apparaissent à la faveur de l'orogénèse hercynienne et de la mise en place des massifs granitiques de l'Aigoual. Cette phase s'accompagne d'un métamorphisme important qui a donné naissance aux formations schisteuses.

En descendant l'Hérault, les formations secondaires affleurent allant du Jurassique au Crétacé. Les formations marno-calcaires crétacées affleurent sur une faible partie du linéaire et font rapidement place aux formations calcaires à marno-calcaires du Jurassique pour lequel l'ensemble de la série est développée (épaisse).

Cet ensemble est fortement faillé et tectonisé en raison des orogénèses pyrénéo-provençale et alpine qui l'ont affecté. La Faille des Cévennes est une des structures majeures interceptée par le fleuve et certains de ces affluents en rive gauche.

En aval de l'Hérault, les formations alluviales récentes du fleuve recouvrent le grand bassin d'effondrement à remplissage Mio-Pliocène jusqu'à la Méditerranée.

B.II DESCRIPTION DES PRINCIPAUX AQUIFÈRES

B.II.1 Aquifère des calcaires cambriens (FRDG106)

Représenté par les terrains calciques et dolomitiques du Cambrien inférieur et moyen (Paléozoïque), cet aquifère est rattaché à la masse d'eau souterraine **FRDG106** nommée « *Calcaires cambriens de la région viganaise* ».

Il est délimité au Nord par la bordure septentrionale du bassin versant de l'Arre, à l'Est par le fleuve Hérault, au Sud par l'Arre et à l'Ouest par la rivière de la Vis. Ainsi délimité, ce secteur couvre une superficie de 114 km².

De type karstique, ces formations carbonatées cambriennes constituent des systèmes aquifères compartimentés, relativement peu étendus en raison de la diversité des faciès, de la complexité des structures géologiques et de la fracturation. En effet, ce domaine karstique est constitué d'un nombre important de systèmes plus ou moins développés et de réservoirs extrêmement fractionnés, du fait de la forte activité tectonique et des variations du niveau de base, responsables de la création de conduits karstiques plus ou moins superposés.

Ces systèmes sont souvent binaires et drainent, en plus de l'infiltration directe dans les calcaires, des écoulements de surface par des pertes.

La recharge de cet aquifère s'effectue donc essentiellement par les infiltrations météoriques reçues sur son impluvium, mais également par des pertes de cours d'eau comme la source d'Isis au Vigan et le captage du Verdier à Avèze.

Le drainage de cet aquifère s'opère principalement par les rivières de l'Arre, de l'Hérault et de la Vis, mais également par le système de sources en rive droite de la Glèpe en amont de sa confluence avec l'Arre.

Les limites de l'aquifère sont constituées par :

- Les formations cristallines et métamorphiques des Cévennes (schistes et granites) qui forment une limite étanche au Nord ;
- Les calcaires et marnes jurassiques et crétacées du Gangeois et Thaurac à l'Est (limite étanche) ;
- Au Sud par la rivière de l'Arre et par la faille Est du horst de Saint-Bresson.

Son substratum est constitué par les schistes imperméables de la base du Cambrien inférieur.

Les pressions exercées sur cet aquifère sont principalement pour l'AEP, avec des prélèvements de l'ordre du million de m³/an (source d'Isis pour l'AEP du Vigan, source du Verdier pour l'AEP d'Avèze, captages de Roquedur et de Saint Bresson, etc.).

L'exploitation de cet aquifère est, cependant, difficile en raison de la complexité du système (compartimentation de l'aquifère) et ce malgré une forte productivité du karst géorgien ennoyé.

Hormis par la source d'Isis, les apports de cet aquifère aux rivières sont faibles et les prélèvements pour l'AEP n'influencent donc que faiblement les débits superficiels des cours d'eau.

Des prélèvements supplémentaires paraissent possibles pour les alimentations en eau potable locales en raison de cette faible influence sur les cours d'eau en période d'étiage.

B.II.1 Aquifère des calcaires lutétiens (FRDG510)

L'aquifère des calcaires lutétiens fait référence aux formations sédimentaires éocènes de l'ère tertiaire. Il est rattaché aux masses d'eau souterraine **FRDG510** nommée : « **Formations tertiaires et crétacées du bassin de Béziers-Pézenas** » qui s'étend sous la plaine de l'Hérault et sa bordure de Gignac à Béziers et à la masse d'eau FRDG239 « Calcaires et marnes de l'avant-pli de Montpellier » qui s'étend entre le Salaison à l'Est et l'Hérault à l'Ouest, l'avant-pli de Montpellier au Sud et les garrigues calcaires jurassiques du système du Lez et du Causse de Viols le Fort au Nord.

Les formations calcaires du Lutétien forment un domaine sédimentaire multicouche discontinu à nappe libre et localement captif au centre du bassin sédimentaire et des synclinaux, c'est un **aquifère de type fissuré-karstique**.

Une recharge non négligeable peut donc avoir lieu depuis les formations calcaires jurassiques contiguës au Lutétien, par des pertes de petits cours d'eau et par les affleurements. La recharge du système se fait néanmoins essentiellement par l'apport pluviométrique.

Cette masse d'eau a une superficie à l'affleurement de 1 243 km² mais les calcaires lutétiens ne sont pas présents sur toute l'entité. Leurs épaisseurs sont très variables d'un secteur à l'autre ; très épais dans la zone proche de Gignac (plus de 300 mètres), ils se réduisent vers le Sud et l'Ouest et sont absents dans le secteur de Pézenas.

Les limites de ce système sont constituées par les éléments suivants :

- Au Nord par les systèmes karstiques de la source du Lez et du Bouldou des Matelles ;
- A l'Est par le fossé tertiaire de Castries-Sommière et qui constitue une limite étanche ;
- A l'Ouest par la vallée de l'Hérault et le bassin miocène de Gignac ;
- Au Sud par le pli de Montpellier.

Dans le secteur d'étude, le substratum imperméable de cet aquifère repose sur les formations du Jurassique.

Plusieurs captages pour l'AEP exploitent et/ou vont exploiter cette ressource dans le Nord de Montpellier et dans notre secteur d'étude. On peut notamment citer Gignac (en cours de mise en exploitation), Aniane et Saint-Bauzille-de-la-Sylve.

Les forages les plus productifs dépassent 100 m³/h, mais cette productivité est variable selon les secteurs (inférieure à 10 m³/h au Mas du Novi).

Cet aquifère va permettre l'alimentation de la commune de Gignac dont les besoins à long terme sont estimés à environ 3 000 m³/jour et dont le captage actuel dans les alluvions récentes de l'Hérault (475 000 m³/an environ) a un impact quasi-direct sur le débit du fleuve.

La commune, dans l'obligation de trouver une nouvelle ressource en eau complémentaire non pénalisante pour le débit du fleuve, exploitera les eaux du champ captant de la Combe Salinière dont la capacité de production est actuellement limitée à 250 m³/h.

Au total, les pressions exercées sur cette unité notamment dans le secteur Nord-montpelliérain sont assez fortes avec des prélèvements pour l'AEP de l'ordre de 2 Mm³/an, ne laissant ainsi **pas d'importante marge de manœuvre au niveau de cette ressource.**

Toutefois, **les très bons résultats obtenus au niveau de la Combe salinière laissent entrevoir encore un certain potentiel de production dans la vallée de l'Hérault.**

B.II.1 Aquifère des alluvions de l'Hérault (FRDG311)

Le fleuve Hérault prend sa source sur le flanc Sud des formations primaires du Mont-Aigoual et se jette dans la Méditerranée au Grau d'Agde après avoir parcouru 160 km.

L'Hérault a déposé ses alluvions quaternaires essentiellement à l'aval des gorges sur une plaine à substratum tertiaire formée de marnes gréseuses et de molasses calcaires, déposées lors de la transgression Miocène.

Cet aquifère alluvial, dont le magasin est constitué par les alluvions du fleuve (sable, galets et graviers), **présente une relativement faible extension de part et d'autre du cours d'eau.** Entre le Pont du Diable et le ruisseau de Lagamas, les alluvions se localisent dans le creux d'un synclinal de terrains éocènes (calcaires blancs du Lutétien). Ils s'étalent ensuite dans la plaine à substratum miocène, puis surmontent les sables astiens du Pliocène marin puis les argiles du Plaisancien à proximité du littoral.

Trois zones peuvent être différenciées :

- ***De la sortie des gorges de l'Hérault à Canet*** : grande extension des alluvions anciennes constituant des terrasses perchées. Les alluvions modernes, absentes ou peu développées, constituent un aquifère discontinu de faible extension très dépendant du fleuve ;

- **De la plaine de Canet à Agde** : dans ce secteur les alluvions modernes présentent des épaisseurs et extensions importantes et renferment un aquifère très actif ;
- **De la plaine d'Agde à l'embouchure** : l'aquifère des alluvions modernes est envahi par le biseau salé.

L'Hérault reçoit dans ce parcours aval plusieurs affluents notables, tous situés en rive droite : de l'amont vers l'aval : la Lergue, la Dourbie, la Boyne, la Peyne et la Thongue. Seules ces deux dernières rivières ont une nappe alluviale d'accompagnement. Toutefois, elles ne sont pas suffisamment importantes pour être différenciées comme une zone à part entière.

L'alimentation de cet aquifère s'effectue principalement par les précipitations et les relations hydrauliques avec l'Hérault. Localement, cet aquifère peut être drainé par les sables astiens.

Les dépôts quaternaires constituant l'aquifère alluvial peuvent donc être distingués en deux classes :

- Les ***alluvions anciennes***, qui s'organisent en terrasses superposées et dont l'importance diminue en allant vers le Sud jusqu'à disparaître en aval de Pézenas. L'Hérault a creusé son lit dans le substratum tertiaire, les terrasses anciennes se trouvent alors perchées, ce qui **empêche les relations hydrauliques directes entre la nappe et le fleuve** ;
- Les ***alluvions modernes***, qui sont constituées de formations détritiques à granulométrie croissante avec la profondeur. La puissance de l'ensemble ne dépasse pas une dizaine de mètres au droit de Pézenas. Entre Pézenas et Florensac, la nappe correspond à un chenal d'un à deux kilomètres de largeur, pour 10 à 20 m d'épaisseur avec une couverture limoneuse de 5 m environ. Entre Nézignan et Florensac, les alluvions modernes surmontent les sables astiens formant ainsi un aquifère bicouche. En aval de Bessan, la nappe devient captive.

Les alluvions modernes constituent la nappe principale de la vallée. Cette ressource est actuellement très exploitée pour l'eau potable (au total près de 26 Mm³/an dont 22 Mm³/an qui alimentent le captage de Florensac) ; mais son épaisseur excédant localement 30 mètres montre qu'il renferme un potentiel de ressource important limité toutefois par l'impact des prélèvements sur le débit du fleuve.

En ce qui concerne les alluvions anciennes, elles sont peu productives en raison de leur déconnexion avec le fleuve, donc peu intéressantes et d'ailleurs peu exploitées.

L'aquifère des alluvions récentes de l'Hérault est directement en relation avec le fleuve et l'impact de tout prélèvement se répercute directement sur son débit, ce qui limite de fait tout potentiel d'augmentation des prélèvements actuels.

B.II.1 Aquifère des calcaires jurassiques (FRDG125, FRDG115 et FRDG124)

B.II.1.1 Calcaires jurassiques des gorges de l'Hérault

L'aquifère des calcaires jurassiques est contenu dans l'ensemble des formations carbonatées de la moyenne vallée de l'Hérault (en coloration bleue sur la figure 2 de l'annexe 3).

C'est un **aquifère de type fissuré karstique** alimenté essentiellement par les précipitations sur son impluvium et/ou par des pertes à partir des rivières drainant le socle dans son cours amont ou des zones à recouvrement marneux plus tardifs dans sa partie centrale.

Appartenant en rive droite de l'Hérault à la masse d'eau **FRDG125** nommée « **Calcaires et marnes causses et avant-causses du Larzac sud, Campestre, Blandas, Séranne, Escandorgue, BV Hérault et Orb** », et en rive gauche à la masse d'eau **FRDG115** « **Calcaires et marnes jurassiques des garrigues nord montpelliéraines (Ouest faille de Corconne)** » cet ensemble est découpé en différentes entités hydrogéologiques (cf. illustration ci-dessous ou figure 4 de l'annexe 3) :

- 141b : calcaires jurassiques de la partie Nord du Causse du Larzac et du Causse de Blandas et Campestre ;
- 141a1 : calcaires jurassiques de la Séranne et de la bordure Sud de la Vis ;
- 141a3 : calcaires et marnes jurassiques et crétacés du Gangeois et Thaurac ;
- 141a0 : calcaires jurassiques de la Buèges-St Guilhem ;
- 142a : calcaires et marnes jurassiques du compartiment occidental du système karstique de la Source du Lez.

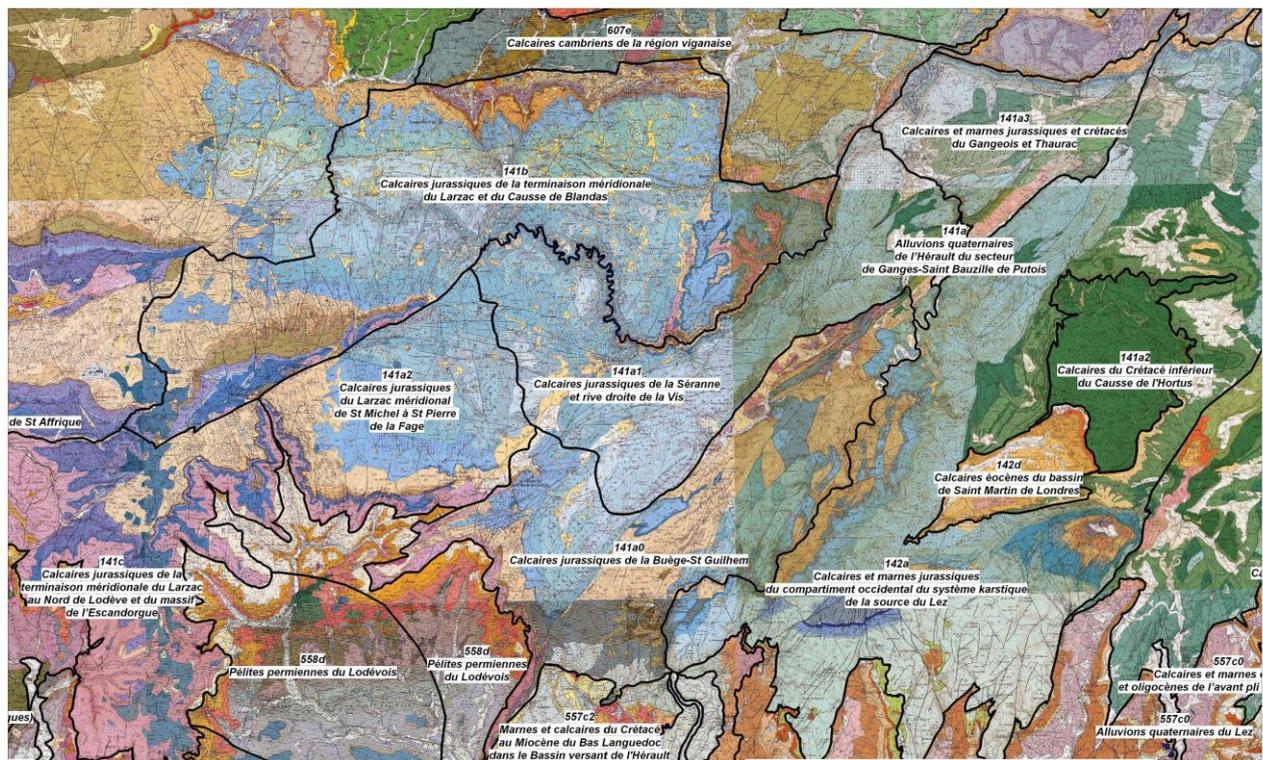


Illustration 1 - Bassin hydrogéologique du karst jurassique amont (Gorges de l'Hérault)

Ces entités hydrogéologiques ont pour but de délimiter des comportements et des fonctionnements hydrogéologiques homogènes. Ce morcellement des formations du Jurassique traversées par l'Hérault met en évidence la compartimentation qui peut exister au sein d'un ensemble homogène en grand.

Cette compartimentation joue un rôle non négligeable dans le fonctionnement de l'ensemble hydrogéologique avec notamment des relations entre entités parfois indirectes et/ou limitées.

L'impluvium de cet ensemble recouvre plus de 1 000 km² pour une puissance atteignant plus de 1 000 mètres.

Trois formations sont aquifères au sein de la série avec des relations hydrauliques plus ou moins directes suivant les secteurs. Ces relations peuvent s'établir au niveau de contacts par faille ou dans les secteurs où les couches de marnes imperméables sont absentes (comme sur la limite Nord du massif). Ces différentes formations sont des plus récentes aux plus anciennes :

- Les niveaux carbonatés du Jurassique supérieur (Malm) : calcaires massifs ou lités du Portlandien-Kimméridgien à l'Oxfordien. Un des exutoires majeurs est la Source de Clamouse ;
- Les niveaux carbonatés du Jurassique moyen (Dogger) : il s'agit essentiellement des dolomies du Bathonien. Un des exutoires majeurs est la Source des Cent Fonts ;
- Les niveaux carbonatés du Jurassique inférieur (Lias) : il s'agit essentiellement des dolomies de l'Hettangien. Un des exutoires majeurs est la Source de Lasfonds.

En ce qui concerne les pressions exercées sur ces aquifères, il s'avère que l'exploitation pour l'AEP s'élevait en 2001 à 1,5 Mm³/an contre 31 milliers de m³/an pour l'irrigation.

A noter la présence de deux grandes exploitations : le puits du Drac sur Montpeyroux et, pour le Gard, le Syndicat de Blandas. Ce second prélèvement se fait directement dans la Vis et a donc une influence directe sur les eaux de surface. Le captage du puits du Drac présente un potentiel notable de production complémentaire mais son impact très marqué sur la résurgence de Clamouse nécessiterait des aménagements particuliers en cas d'augmentation des prélèvements.

Plusieurs sites ont été testés pour remplacer ou compléter les prélèvements actuels. Le futur captage du Fesquet à Cazilhac va ainsi remplacer le prélèvement du SIAEP de Ganges qui se fait actuellement directement dans l'Hérault.

D'autres importants prélèvements sont envisageables à terme pour l'eau potable dans cette masse d'eau.

Les potentialités d'exploitation qui paraissaient les plus intéressantes se trouvaient au niveau de la source des Fontanilles en rive gauche et des Cent Fonts en rive droite. C'est ce second site qui a été choisi pour des investigations en profondeur après que les premières études aient montré des potentialités de production et de réserve très supérieures à celles des Fontanilles.

Il a été montré que 50 % du débit des Cents Fonts proviennent de son bassin versant les 50% restant provenant des pertes de la Buèges.

Les travaux de forage, d'essais par pompage de longue durée, d'interprétation des données et de modélisation du fonctionnement, ont permis de mettre en évidence une ressource disponible de 3,7 millions de m³/an, en année de probabilité d'occurrence « 30 ans sec » avec un rejet vers l'Hérault de 200 l/seconde soit un prélèvement total de 5,3 millions de m³.

Ce volume prélevé pourrait être supérieur en année moins sèche tout en conservant un rejet de compensation vers l'Hérault d'au minimum 200 l/s et pourrait ainsi atteindre ponctuellement en semaine de pointe 250 l/s.

Pour l'irrigation, il y a peu de prélèvements directs dans le karst, mais il existe des prélèvements superficiels pour des ASA (Canal de Cazilhac, ASA de Gignac).

Il apparaît donc que ces aquifères karstiques du Jurassique sont actuellement peu utilisés malgré l'importance du magasin aquifère et notamment son extension sous la plaine de l'Hérault à l'aval des gorges (cf. figure 3 de l'annexe 3).

Etant donné la puissance de la formation jurassique de la moyenne vallée de l'Hérault et de son étendue, il apparaît que les aquifères qu'elle renferme offrent de grandes potentialités

d'exploitation. Toutefois cette exploitation risque d'avoir des répercussions plus ou moins directes sur le débit de l'Hérault et demandera donc la mise en place de mesures compensatoires telles que le rejet d'un certain débit dans le fleuve.

B.II.1.2 Calcaires jurassiques sous couverture de l'Hérault aval

Plus à l'aval, les calcaires jurassiques liés à la masse d'eau FRDG124 sont présents essentiellement sous couverture même s'ils sont visibles à l'affleurement en rive gauche du fleuve ponctuellement à Saint Bauzille de la Sylve puis de Plaissan à Bouzigues.

Seule une faible partie de cette zone où les calcaires jurassiques sont affleurants peut être considérée comme faisant partie du BV de l'Hérault, par contre la poursuite de cette formation vers l'Ouest sous couverture doit être prise en considération.

Son potentiel de production est peu connu mais certains forages profonds comme ceux de La Castillone ou de Pézenas montrent que cet aquifère karstique est, au moins ponctuellement, très actif même à très grande profondeur.

Ce secteur où les sources sont rares et temporaires (source de St Bauzille de la Sylve et source de Plaissan) n'est donc que très ponctuellement en relation avec le cours aérien de l'Hérault lorsque ces sources débordent en hautes eaux dans des ruisseaux affluents du fleuve.

Cette ressource apparaît donc particulièrement intéressante puisque l'on ne lui connaît pas d'exutoire pérenne important en relation directe ou indirecte avec le fleuve. Il est en fait probable que l'écoulement se fasse en profondeur vers la mer et que tout prélèvement supplémentaire n'aurait aucun impact sur le milieu superficiel.

L'alimentation de cet aquifère se fait par ses affleurements mais aussi très probablement par des échanges avec les calcaires lutétiens dans sa partie amont.

B.III ETUDE DES RELATIONS ENTRE LE FLEUVE HÉRAULT ET L'AQUIFÈRE DES CALCAIRES JURASSIQUES

L'aquifère de type fissuré-karstique des formations du Jurassique dans le secteur amont implique une relation souterraine non négligeable qui vient compléter la relation classique d'alimentation de l'Hérault par ruissellement sur son bassin versant.

La particularité de ces aquifères calcaires réside dans leur évolution (karstification) qui permet de faciliter les circulations souterraines au gré des phénomènes de dissolution karstique (avens, lapiaz, grottes, fractures dissoutes, sources ou pertes, ...).

Les formations jurassiques présentent un fort développement karstique dont les expressions les plus notables dans la région sont la Source du Lez, la Source sous-marine de la Vis et le complexe d'Issanka et de nombreuses résurgences liées au cours de l'Hérault comme celles de Clamouse et des Cent Fonts.

Par ailleurs, un grand nombre de résurgences existe en bordure et/ou dans le lit de l'Hérault en provenance des formations calcaires.

Le bassin hydrogéologique des formations jurassiques couvre ainsi une superficie de 1 000 km² environ. Compte tenu du fort potentiel d'infiltration des précipitations sur ces aquifères, une telle extension lui

confère une alimentation très importante. En considérant une lame précipitée moyenne de 700 mm avec un coefficient d'infiltration moyen de 40 %, **le volume infiltré par an peut être estimé à plus 280 000 m³.**

La majeure partie de ce volume rejoint directement le fleuve par l'intermédiaire des sources pérennes ou temporaires mais il constitue un potentiel de reconstitution important des réserves de l'aquifère en cas d'exploitation en période de basses eaux. Malgré les nombreux travaux sur ces formations, **les réserves de l'aquifère restent difficiles à estimer précisément.**

B.III.1 Recensement des résurgences karstiques dans le secteur de l'Hérault

Dans un premier temps, un recensement des événements karstiques (pertes et sources) a été effectué à partir des bases de données accessibles. Ainsi, plus de 800 phénomènes ont été recensés sur l'ensemble du bassin versant moyen de l'Hérault dont 648 cavités naturelles, 2 pertes et 192 sources.

Afin de limiter le nombre des données, une sélection sur une bande de 2 km autour de l'Hérault a été opérée, les sources principales présentes sur les affluents ont été ajoutées. Cette sélection est reportée sur l'illustration ci-dessous sur fond topographique.

Ainsi, 143 phénomènes karstiques ont pu être répertoriés dont 65 sources, 77 cavités naturelles et 1 perte. A cette sélection, les sources de la Buèges et de la Vis très éloignées à l'Ouest peuvent être rajoutées ainsi que certaines sources principales présentes sur les affluents lorsqu'elles représentent des résurgences importantes.

Ce recensement n'a rien d'exhaustif et surreprésente les cavités karstiques recensées par les spéléologues au détriment des événements non explorables ou des résurgences de petites ampleurs.

De façon classique et en relation avec les mécanismes de karstification, la majorité des événements karstiques se situe dans les talwegs et leur altitude d'émergence varie en fonction de l'évolution du fil d'eau des cours d'eau au cours des temps géologiques.

Par ailleurs, seulement 50 % des points recensés sont des résurgences dont le débit n'est que rarement documenté. Il apparaît qu'un grand nombre de ces points ne fonctionne que lors de précipitations et ne met en évidence que le fonctionnement rapide de l'épikarst (infiltration rapide des précipitations et restitution par des sources temporaires sans alimentation de l'aquifère en profondeur) et donc une version sub-souterraine du ruissellement de surface ou des débordements de crue.

Les principales résurgences visibles sont :

- La source de Lasfonds,
- La Source de la Vis,
- La Source de la Buèges,
- Les sourcettes de Laroque,
- Les émergences des Cent Fonts,
- La source des Fontanilles
- La source de Clamouse.

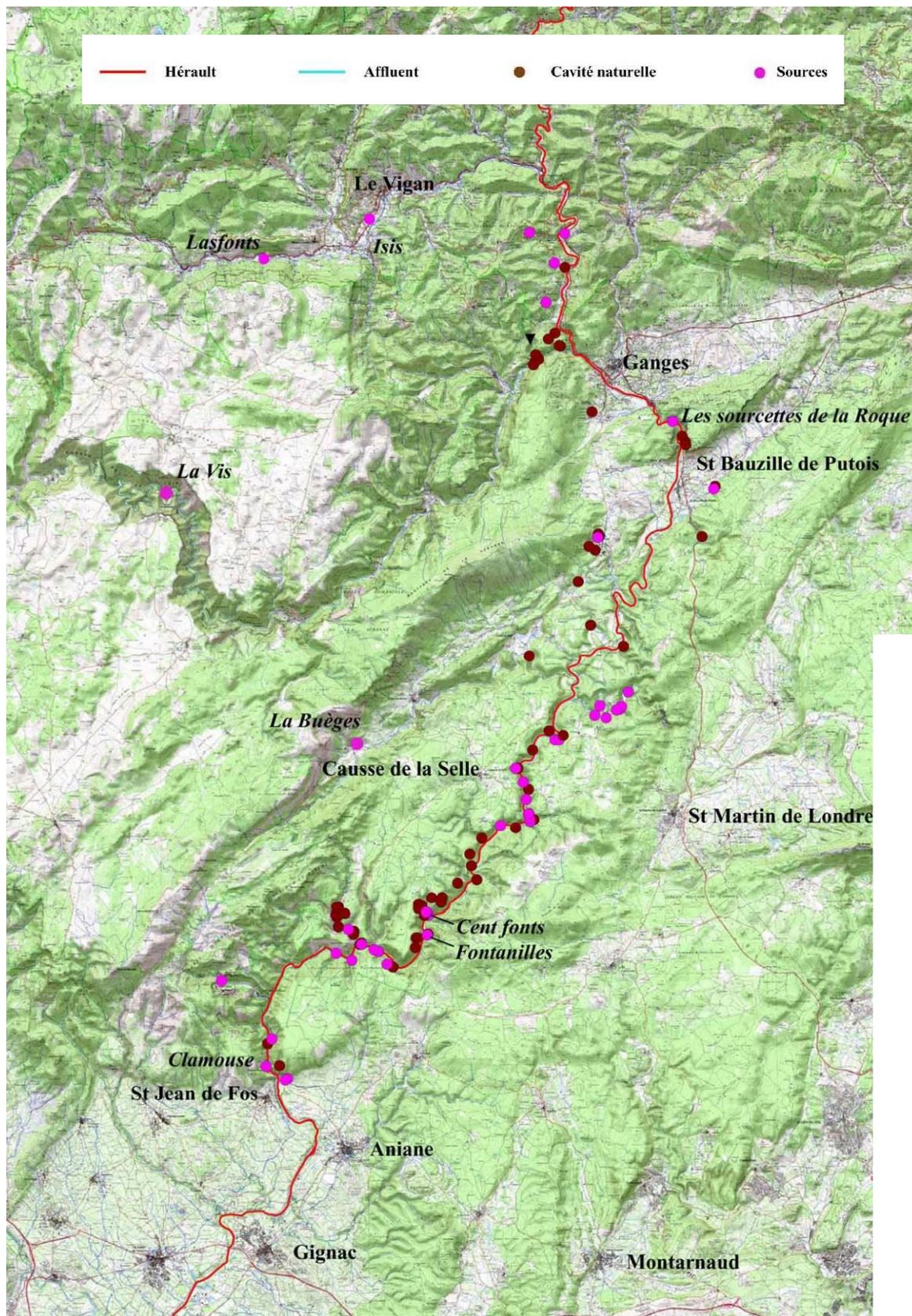


Illustration 2 – Principaux phénomènes de karstification (BERGA SUD, carte 5, annexe 3)

B.III.2 Mesures des débits de surface sur le bassin versant de l'Hérault

B.III.2.1 Réseau de mesure

A partir de ce recensement et des données en notre possession, différents points pouvant laisser apparaître des relations entre l'Hérault et l'aquifère des calcaires jurassiques ont été contrôlés (cf. illustration ci-dessous).

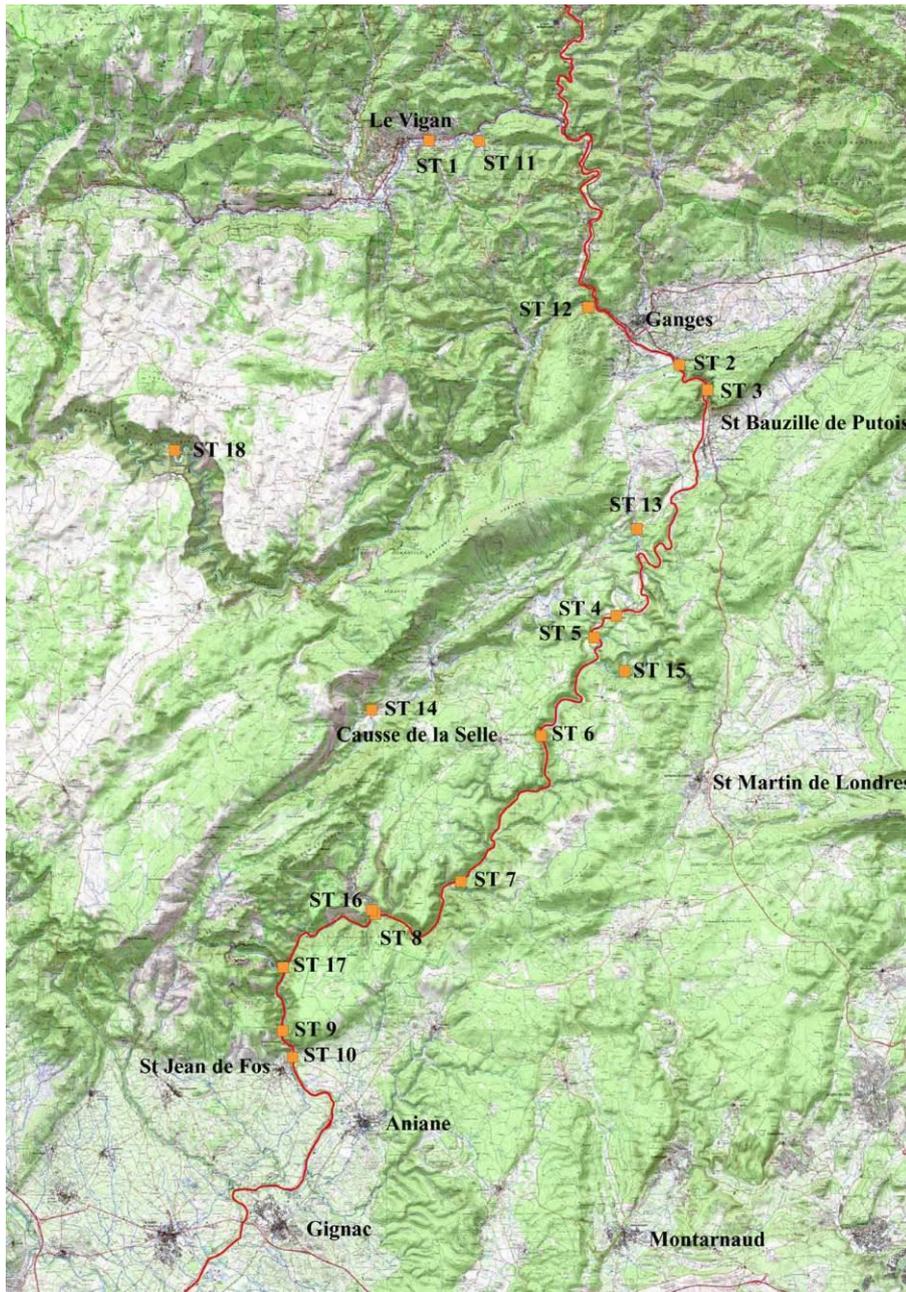


Illustration 3 – Stations de jaugeages des débits de surface (BERGA SUD, carte 6, annexe 3)

Le réseau de mesures prend en compte les grandes résurgences définies précédemment mais aussi l'apport beaucoup plus limité des résurgences secondaires présentes sur ses petits affluents.

En ce qui concerne les zones d'émergence comme celles de Laroque, des Cent Fonts et de Clamouse, nous avons effectué une mesure de débit en amont et en aval des zones d'échange potentiel afin de les intégrer au mieux.

De même, les potentialités de résurgences secondaires à l'aval des sources de la Vis et de la Buèges ont été prises en compte par une mesure à leur confluence.

Enfin, une mesure a été effectuée sur l'Arre, en aval de la STEP du Vigan, qui est alimentée en partie sur son cours supérieur par la Source de Lasfont et quelques sources secondaires qui jaillissent en bordure septentrionale des Grands Causses et par le système perte du Coudoulous, résurgence de la Source d'Isis (captée pour l'AEP du Vigan et dont le magasin est constitué par les formations carbonatées du Cambrien).

Compte tenu des aménagements présents sur l'Hérault, nous avons effectué des mesures intermédiaires notamment au niveau du Pont d'Issensac et de Causse de la Selle qui permettent d'assurer une certaine régularité des mesures et la prise en compte potentielle des relations entre aquifère et Hérault dans des zones peu documentées.

B.III.2.2 Analyses des jaugeages

Ce réseau de mesure a permis d'effectuer une campagne de basses eaux du 19 au 21 septembre 2012 et une de hautes eaux du 7 au 9 novembre 2012.

Les mesures complètes et les analyses détaillées sont données en annexe 3. **Seule une synthèse de l'évolution du débit de l'Hérault d'amont en aval en fonction des apports ou des prélèvements latéraux ainsi que du bassin versant drainé est proposé ci-dessous.**

Les relations entre un cours d'eau et un milieu fissuré fortement karstifié sont complexes. En effet, cette relation n'est pas univoque mais peut avoir un grand nombre d'état intermédiaire.

Ces évolutions sont notamment dues aux variations de niveau de plan d'eau dans l'aquifère entre hautes et basses eaux. En effet, le marnage d'un aquifère karstique varie généralement de plusieurs mètres voire plusieurs dizaine de mètres. Ainsi, une zone de perte peut alors devenir une zone de résurgence.

De même, le débit d'une résurgence est directement influencé par la charge en amont dans l'aquifère et peut passer de quelques dizaines de l/s à plusieurs centaines de l/s rapidement et ce d'autant plus que les écoulements souterrains vers l'aval sont limités.

Les mesures effectuées dans le cadre de cette étude ont mis en évidence les zones d'alimentation par des résurgences plus ou moins pérennes et localisées (cf. illustration ci-dessous).

En hautes ou en basses eaux, le débit à Laroque est fortement influencé par le débit de la Vis que ce soit celui issu de l'émergence (basses eaux - 50 à 75 %) ou celui de l'ensemble du bassin versant (hautes eaux - > 50 %). Les résurgences de Laroque, ne représente qu'un faible apport (10%) qui ne semble pas varier significativement en hautes eaux. Cette relative stabilité s'explique par la déconnexion reconnu de ce système karstique avec l'aquifère des calcaires jurassiques. En effet, ces résurgences sont l'expression du drainage des reliefs en rive gauche et notamment les pertes du Rieutord. Dans ce secteur, des essais par pompage menés à proximité de l'Hérault (rive droite) dans l'aquifère des calcaires du Jurassique n'ont pas montré de relation hydrodynamique claire entre les deux systèmes.

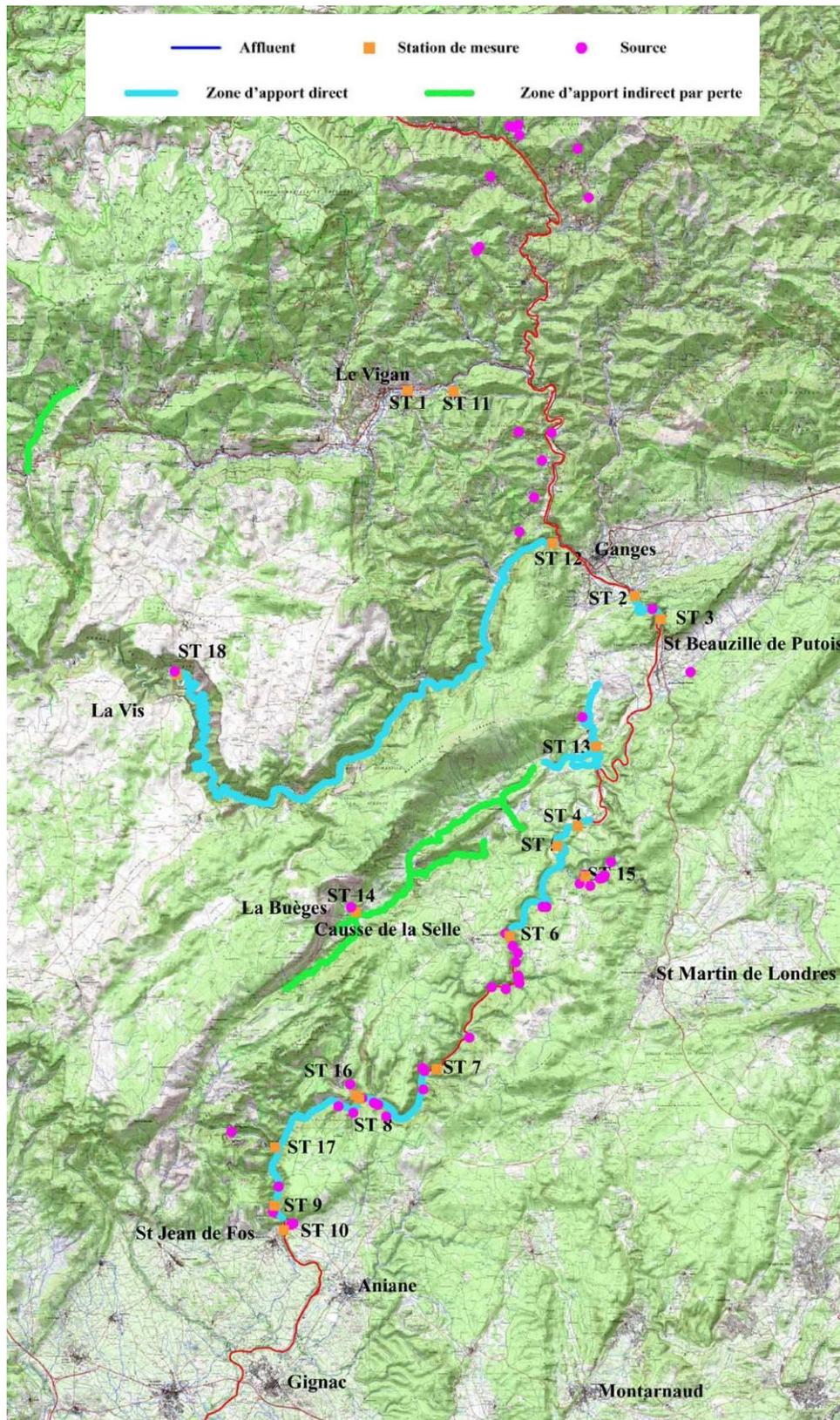


Illustration 4 – Zones d'alimentation des cours d'eau par les formations kartiques du Jurassique (BERGA SUD, carte 7, annexe 3)

Un fonctionnement de débordement de l'aquifère karstique a, vraisemblablement, été mis en évidence au niveau de l'Avèze dont le débit en hautes eaux ne dépend pas de son bassin versant superficiel.

Une zone de résurgence a pu être mise en évidence entre le pont d'Issensac et le Causse de la Selle. Le débit apporté est non négligeable et de l'ordre de 10 % que ce soit en hautes ou basses eaux. Ce débit est probablement lié aux résurgences des Fontanilles qui drainent l'aquifère des calcaires du Jurassique au niveau du Mas de Londres.

La Buèges qui conflue avec l'Hérault en amont de cette zone n'est pas un affluent important malgré le débit à la résurgence. En effet, cette source draine un bloc isolé de l'ensemble des calcaires jurassiques qui s'épanche alors par voie superficielle. Ce phénomène de débordement permet la création d'une perte pratiquement totale dans le bloc aquifère aval. Ce fonctionnement est largement reconnu puisqu'il a fait l'objet de nombreux travaux notamment concernant sa relation directe avec les résurgences des Cent Fonts.

La zone de résurgence des Cent Fonts, en rive droite, est une zone comparable à celle des Sourcettes de Laroque en rive gauche mais semble plus connectée à l'aquifère des calcaires jurassiques en rive droite notamment au travers des pertes de la Buèges et de la présence de résurgences potentiellement très importantes (les Cent Fonts).

Enfin, la zone de résurgence de Clamouse est une zone de débordement associée à la limite plus ou moins imperméable du bassin Mio-Pliocène et alluvial de la basse vallée de l'Hérault. La mise en charge de l'aquifère des calcaires jurassiques dont l'écoulement est fortement limité à l'aval permet la mise en fonctionnement de résurgences en période de hautes eaux dont les débits peuvent devenir très importants.

En revanche, pour ces deux grandes zones de résurgences, les fortes variations de débits entre les deux campagnes limitent la précision de la détermination des apports. Néanmoins, ceux-ci ne font aucun doute.

B.IV BILAN DES IMPACTS DES AQUIFERES SUR LES DEBITS SUPERFICIELS

La gestion des débits de l'Hérault nécessite de prendre en compte les aspects liés à ces relations avec le aquifères souterrains.

Dans sa partie amont, le fleuve s'écoule au travers d'un massif fissuré karstique contenant un aquifère important.

Les potentialités de relations entre un aquifère fissuré-karstique et un cours d'eau ne sont pas négligeables. C'est dans cette optique que des campagnes de mesures de débits ont été effectuées en période de basses et hautes eaux.

De façon générale, il semblerait que l'apport de l'aquifère des calcaires jurassiques atteint 30 % du débit de l'Hérault au cours de sa traversée (en basse eaux) et entre 40 et 60 % en moyennes eaux.

Par ailleurs, la présence de résurgences en rive droite et en rive gauche souvent en altitude par rapport au fleuve ne semble **pas favorable à une relation continue**. Le fil d'eau de l'Hérault n'est donc pas en relation directe continue avec le niveau statique de l'aquifère des calcaires jurassiques mais on a vraisemblablement plus à faire à des apports par **débordements karstiques**.

Plusieurs aquifères sont susceptibles de renfermer des ressources en eau pouvant être exploitées sans créer d'impact sur le débit du fleuve :

Du Nord au sud du Bassin :

- L'aquifère des calcaires cambriens présent dans le secteur du Vigan semble peu connecté aux rivières, à l'exception de la source d'Isis. Cet aquifère karstique est compartimenté et pourrait receler d'autres ressources souterraines exploitables sans impact sur les eaux superficielles. Cependant, en raison du faible développement de l'aquifère (114 km²), la ressource potentielle sera modérée et son utilisation destinée à des usages locaux peu importants.
- **L'aquifère jurassique des gorges de l'Hérault** présente des potentialités importantes comme l'ont montré les essais sur le site des Cent Fonts. Cependant, cet aquifère est un facteur important d'alimentation du fleuve via les résurgences karstiques. Aussi, tout prélèvement nécessitera une restitution de compensation dans l'Hérault, afin de neutraliser l'effet des pompes qui diminueraient le débit des sources qui alimentent l'Hérault.
Outre le secteur des Cent-Fonts, d'autres sites comme celui des sources de la Vis seraient aptes à fournir des débits importants, avec des réalimentations artificielles des rivières ou du fleuve pour compenser les débits prélevés
- **L'aquifère des calcaires lutétiens.** L'impact des prélèvements est largement amorti voire annulé en s'éloignant des sources issues de cet aquifère comme celle d'Aniane ou de Saint Bauzille de la Sylve. Les essais réalisés sur le nouveau captage de Gignac ont bien montré ce type de fonctionnement ;
- **L'aquifère des calcaires jurassiques sous couverture dans le secteur de Montagnac à Pézenas.** En l'absence d'alimentation du fleuve par cet aquifère (hors période de hautes eaux), les éventuels nouveaux prélèvements dont la potentialité de production importante, a été montrée par des forages profonds n'auraient pas d'incidence sur le débit du fleuve ;

A l'inverse, **l'aquifère alluvial ne présente pas de potentiel de production supplémentaire sans qu'il y ait un impact direct sur le fleuve.**

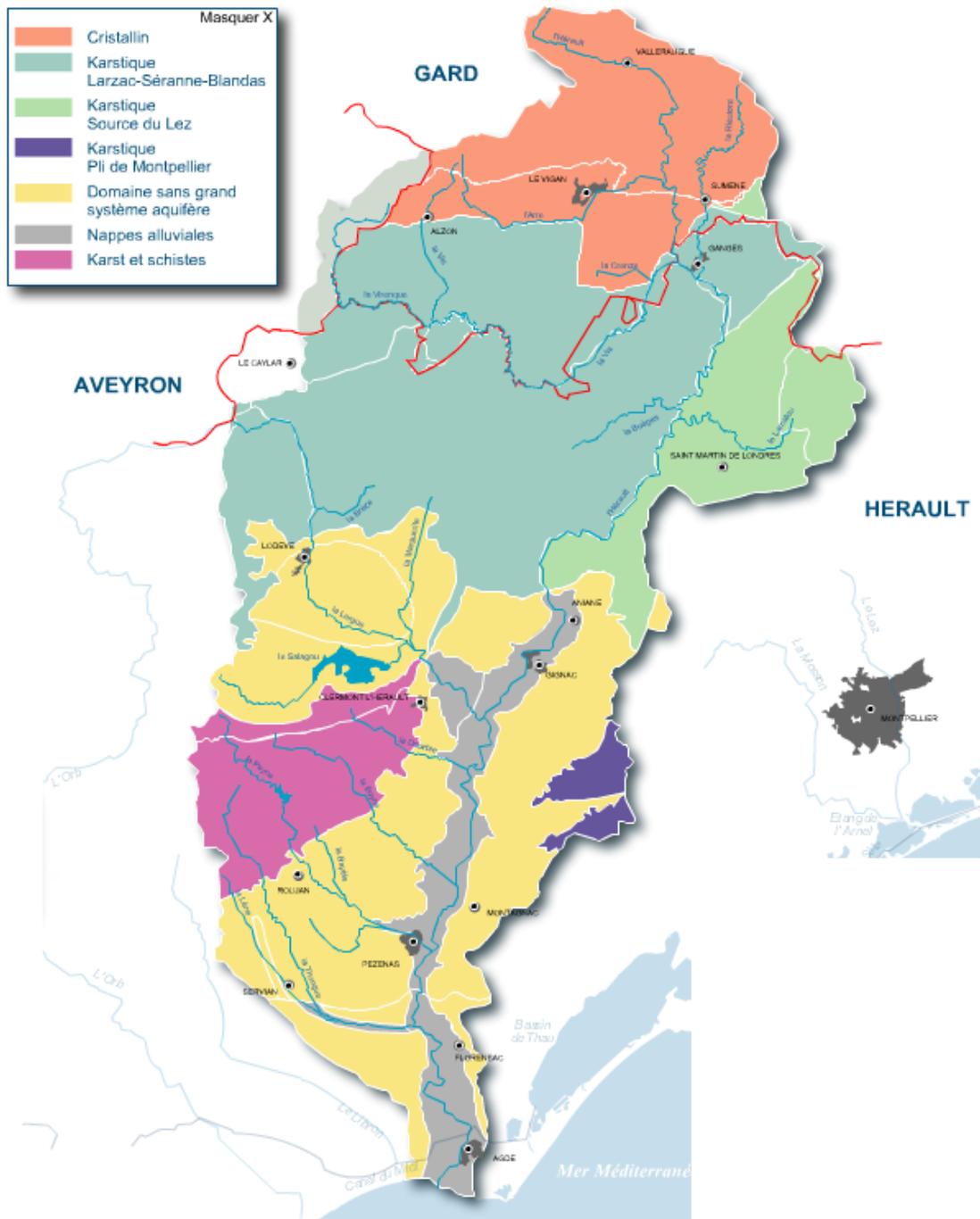


Illustration 5- Localisation des principaux aquifères du bassin versant de l'Hérault

C. ANALYSE HYDROLOGIQUE DE L'HÉRAULT

C.I ANALYSE DES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

C.I.1 Données acquises

Les données suivantes ont été acquises :

- La pluviométrie, donnée de base de la modélisation hydrologique ;
- L'EvapoTranspiration Potentielle (ETP), permettant d'évaluer les pertes par évaporation et les besoins des plantes pour l'irrigation ;
- La température, utile pour le calcul de la formation et de la fonte des neiges ;
- La hauteur de neige, nécessaire pour caler le modèle de production de neige basé sur la température.

Ces données ont généralement été acquises **au pas de temps décadaire** sur de longues périodes (de 1980 à 2011 si possible) afin d'appréhender les variations des phénomènes météorologiques. **Le choix des stations est issu d'une analyse de leur représentativité : localisation, date d'exploitation, altitude. Ainsi, 14 stations ont été choisies, que l'on peut regrouper en trois groupes :**

- Florensac et Pézenas représentatives des faibles altitudes de la basse vallée de l'Hérault, sous influence méditerranéenne ;
- Gignac, Pézènes-les-Mines, Saint Martin de Londres et Lodève, représentatives de la vallée de l'Hérault ;
- Le Caylar, Alzon et Saint-Maurice de Navacelles, représentatives des causses ;
- Valleraugue, Mont Aigoual, Le Vigan, Sumène et St Martial, représentatives des zones de moyenne et haute altitude de l'amont du bassin versant.

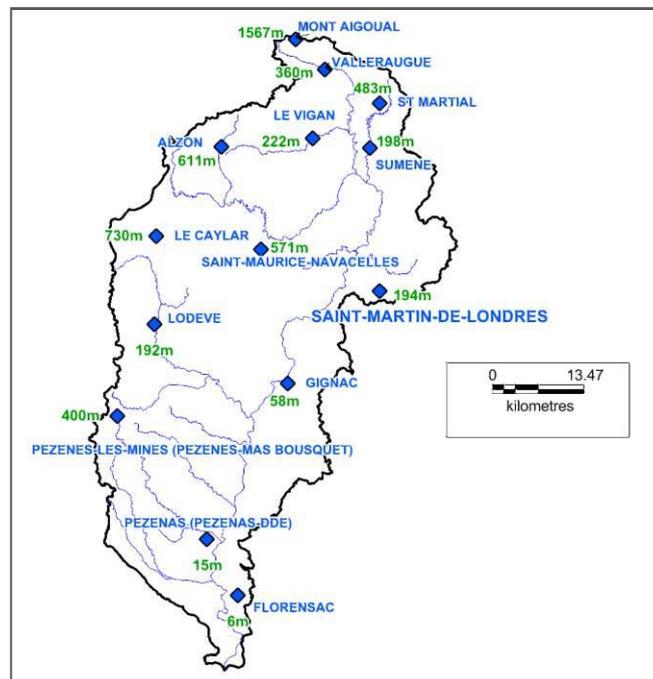


Illustration 6- Localisation des stations météorologiques

Données	Pas de Temps	Poste	Période en années complètes	Altitude (m)	Nombres d'années
Pluviométrie	Décadaire	Florensac	de 1980 à 2011	6	32
		Pézenas	de 1980 à 2011	15	32
		Gignac	de 1980 à 2003	58	24
		Lodève	de 1980 à 2011	192	32
		St Martin de Londres	de 1980 à 2011	194	32
		Sumène	de 1981 à 2011	198	31
		Le Vigan	de 1980 à 2011	222	32
		Valleraugue	de 1994 à 2010	360	17
		Pézènes-les-Mines (Mas Bousquet)	de 1980 à 2011	400	32
		St Martial	de 1999 à 2011	483	13
		St Maurice de Navacelles	de 1980 à 2011	571	32
		Alzon	de 1980 à 2011	611	32
		Le Caylar	de 1980 à 2011	730	32
		Mont Aigoual	de 1980 à 2011	1567	32
Température	Journalier	Lodève	de 1980 à 2011	192	32
		St Martin de Londres	de 1980 à 2011	194	32
		Sumène	de 1980 à 2010	198	31
	Décadaire	Alzon	de 1999 à 2011	611	13
		Le Caylar	de 2003 à 2007	730	5
		Mont Aigoual	de 1980 à 2011	1567	32
Neige	Décadaire	Alzon	de 2003 à 2010	611	8
		Mont Aigoual	de 2003 à 2011	1567	9
		Le Caylar	de 2003 à 2005	730	3
ETP	Décadaire	Gignac	de 1994 à 2011	58	18
		Sumène	de 1994 à 2011	198	18
		MontAigoual	de 1994 à 2011	1567	18

Tableau 1 - Synthèse des données météorologiques

C.I.2 Analyse de la pluviométrie

Les périodes d'observation de chaque poste varient. L'analyse comparative des données impose des périodes d'observation communes sur toutes les stations.

Seulement 3 années communes ont été identifiées, ce qui est trop peu pour une analyse statistique. Il n'a donc été retenu que 12 stations sur 14 avec 22 années d'observation communes (1981-2003), en laissant les stations de Valleraugue et Saint-Maurice-de-Navacelles.

Précipitations annuelles

En moyenne sur la période 1981-2003, les pluviométries annuelles varient entre un minimum de 625 mm/an pour la station de Florensac à 6 m d'altitude dans la partie aval du bassin versant à un maximum de 1949 mm/an pour la station du Mont-Aigoual à 1 680 m d'altitude (Illustration 7).

La pluviométrie annuelle sur le bassin versant de l'Hérault est de 1 155 mm en moyenne arithmétique. Les différences de pluviométrie sont très importantes, avec un rapport de 1 pour 3 entre les stations aval et amont.

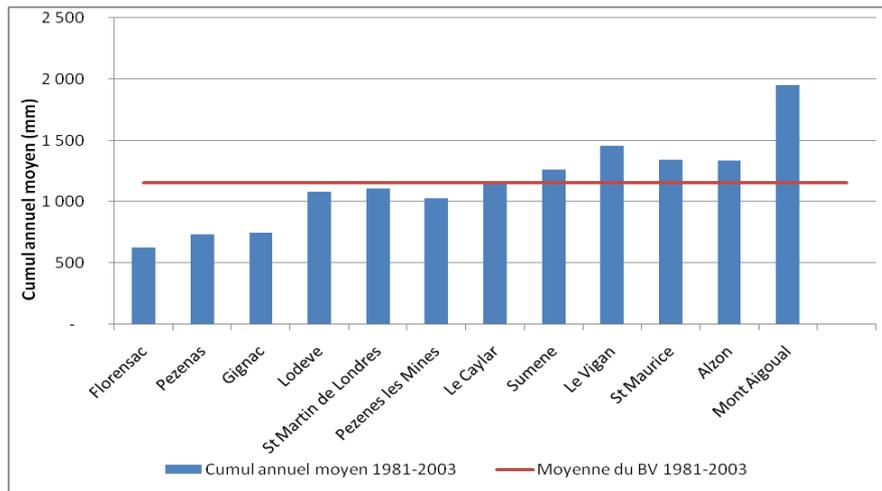


Illustration 7- Précipitations moyennes annuelles sur la période 1981- 2003

Sur la base de l’analyse du cumul annuel moyen, on peut identifier 3 groupes de stations :

- Les stations de Pézenas, Florensac et Gignac, qui ont un cumul annuel plus faible que les autres (650 – 700 mm), du fait de l’influence méditerranéenne ;
- Les stations de Pézènes-les-Mines, Lodève, Saint-Martin de Londres et le Caylar, situées en partie médiane du bassin versant. Leur fonctionnement est similaire, les cumuls annuels sont très proches, malgré des différences d’altitude (de 192 m à 730 m), et proches de la moyenne du bassin versant.
- Les stations de Sumène, le Vigan, Mont Aigoual, St Maurice et Alzon, de l’amont du bassin versant, aux cumuls annuels élevés (supérieurs à 1 200 mm).

En regardant l’évolution de la pluviométrie avec l’altitude (Illustration 8), on observe que l’altitude n’est pas le seul paramètre influençant la pluviométrie. Des critères géographiques semblent aussi influencer sur la variation des cumuls annuels (influence méditerranéenne, causses...).

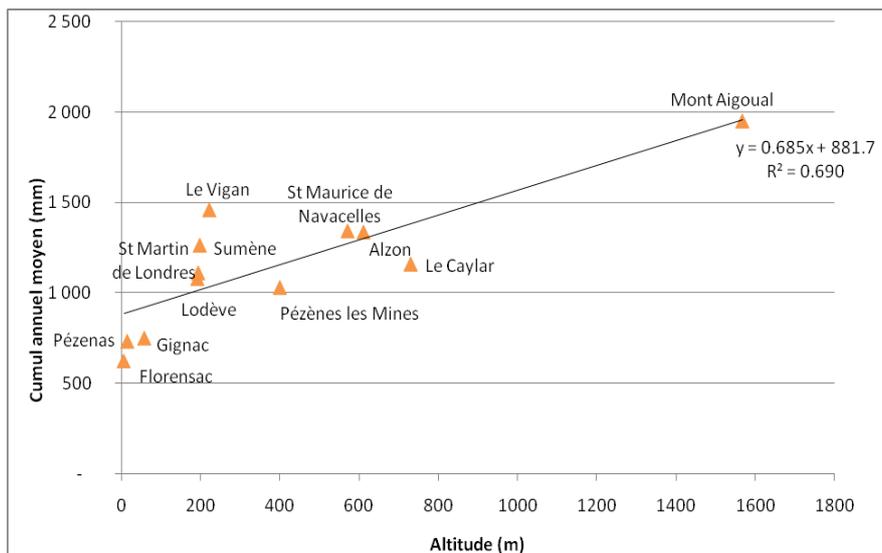


Illustration 8 - Variation des cumuls annuels de pluie en fonction de l'altitude des stations

□ *Evolutions inter annuelles*

D'une année à l'autre, les variations des cumuls annuels de précipitation sont très fortes. L'illustration ci-dessous montre les variations de cumul annuel pour une station représentative de chaque secteur géographique, entre 1980 et 2011 (chronique totale).

Sur la période d'analyse (1981 – 2003) :

- L'année 1985 a été la plus sèche avec 655 mm en moyenne, et :
 - 447 mm pour la station de Florensac ;
 - 1 120 mm au Mont Aigoual.
- L'année 1996 a été la plus humide avec 2 185 mm en moyenne, et :
 - 1 065 mm à Florensac ;
 - 3 520 mm au Mont Aigoual.

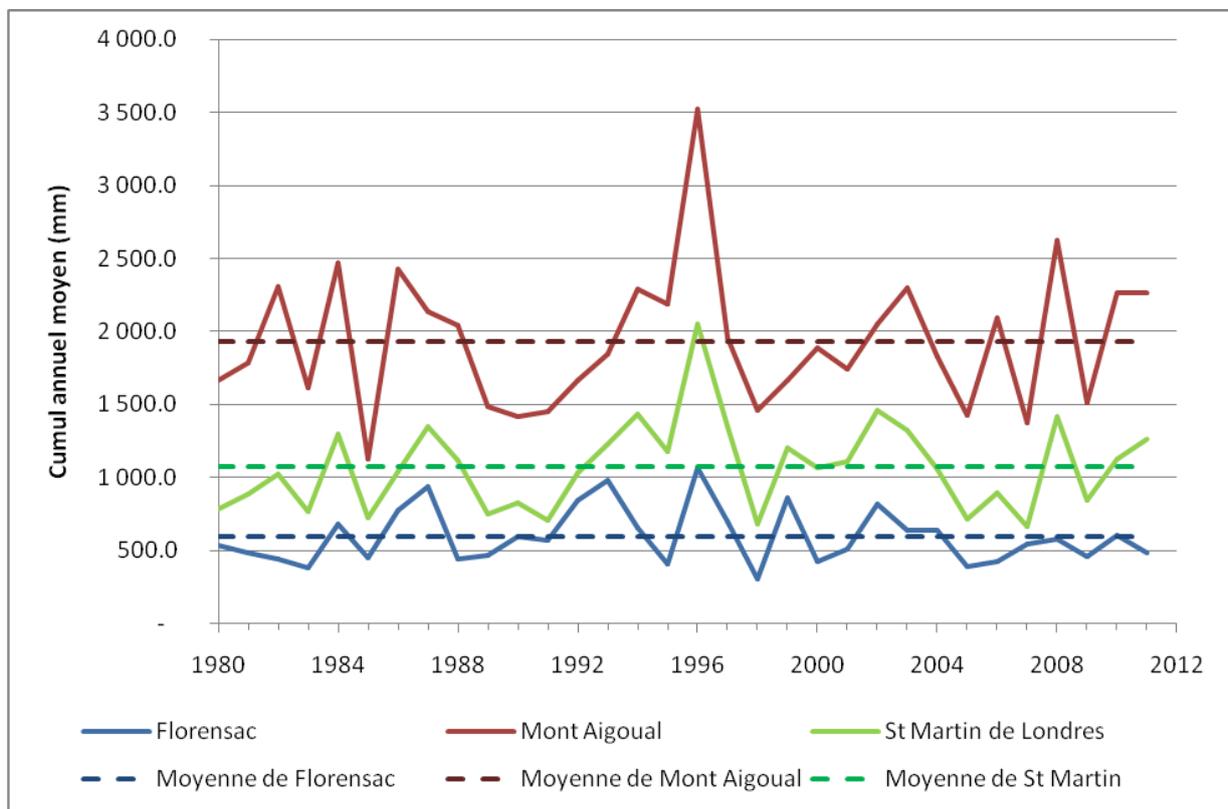


Illustration 9 - Variation interannuelle des cumuls annuels de pluie

L'analyse de la totalité de la chronique permet de mettre en évidence des situations de déficit pluviométrique :

- entre 1989 et 1992 ;
- entre 1997 et 2000 sur la partie amont du bassin seulement ;
- entre 2004 et 2007.

Les situations de déficit pluviométrique semblent donc cycliques sur le bassin versant de l'Hérault.

En analysant la période 1994-2002, période utilisée dans l'étude réalisée par Ginger, on observe des cumuls de précipitation plus élevés de 10% par rapport à la chronique totale étudiée (1981-2003) avec 1 310 mm contre 1 155 mm par rapport à la période. La période d'observation de l'étude Ginger tend donc à surestimer la pluviométrie sur le bassin versant.

☐ *Type de précipitations*

Concernant le nombre de jours de pluie, on observe de fortes variations d'une station à l'autre. On retrouve, comme pour l'analyse des cumuls annuels, un nombre de décades de pluie plus faible sur les stations de l'aval, surtout pour les décades de fortes pluies (> 100 mm).

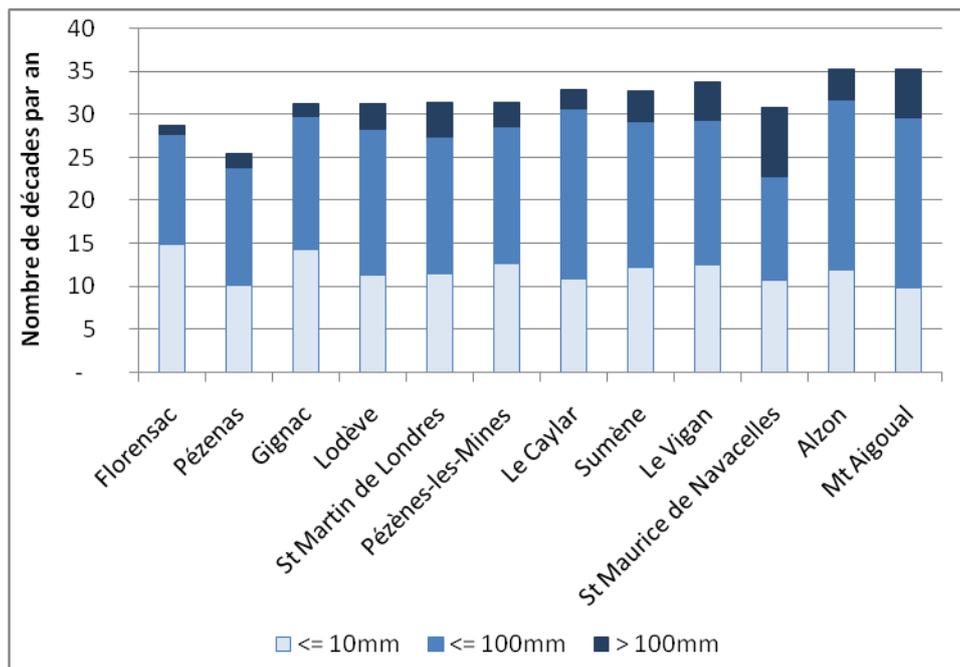


Illustration 10 - Nombre de décades de pluie par an et par intensité sur la période 1981 – 2003

Comme pour les cumuls annuels, on retrouve trois groupes de stations :

- Les stations à l'aval (Florensac et Pézenas) ont un nombre de jours de pluie plus faible que les autres (27 décades), notamment pour les pluies supérieures à 100 mm/décade (soit 10 mm/jour en moyenne).
- Les stations de la partie médiane (Gignac, Lodève, St Martin de Londres, Pézènes-les-Mines et le Caylar) ont en moyenne 32 décades de pluie, dont 3 décades de pluies intenses (une seule pour Gignac).
- Les stations de l'amont du bassin (Sumène, Le Vigan, Saint-Maurice de Navacelles, Alzon et le Mont Aigoual) ont un nombre de jours de pluie légèrement supérieur, mais surtout 5 décades de pluie intense en moyenne, soit environ 50 jours/an à plus de 10 mm/jour.

☐ *Evolution saisonnière*

L'illustration suivante compare les cumuls de précipitations annuels à ceux de la période estivale (juin à août) sur la chronique 1981 à 2003.

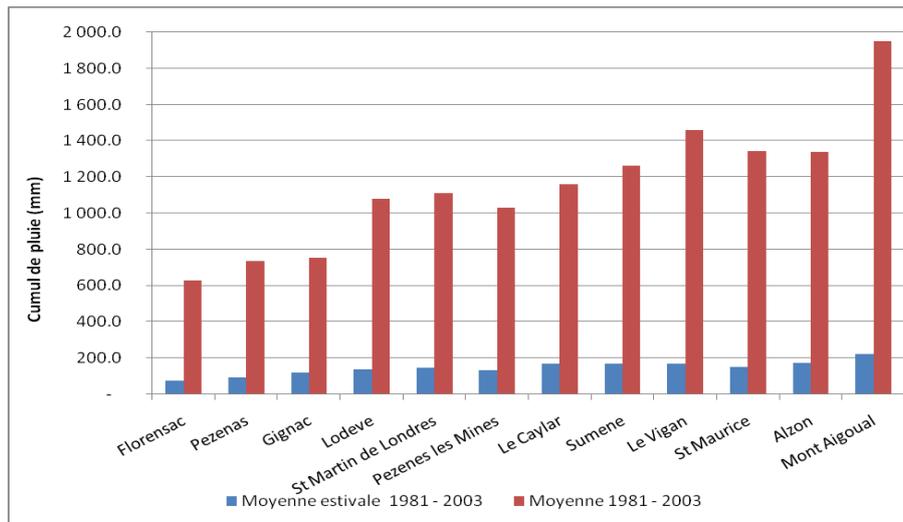


Illustration 11 - Cumuls de précipitations estivales et annuelles entre 1981 et 2003

Les variations du cumul estival entre les stations sont sensiblement identiques aux variations du cumul annuel. En effet, sur cette période :

- le cumul annuel observé à Florensac est de 626 mm contre 1 949 mm au Mont Aigoual, soit 68% d'écart ;
- le cumul estival est de 76 mm à Florensac contre 222 mm au Mont Aigoual, soit 66% d'écart.

En conclusion :

- La pluviométrie moyenne est de l'ordre de 1 155 mm/an sur le bassin versant (toutes stations confondues), mais avec de fortes variations interannuelles (1 520 mm d'écart entre l'année la plus sèche et l'année la plus humide) ;
- L'écart de pluviométrie entre les stations est très important, avec un cumul annuel trois fois plus élevé au Mont Aigoual que sur le littoral.

C.I.3 Analyse de la température

Les données disponibles sont issues des stations de Lodève (altitude 192 m), St Martin de Londres (194 m), Sumène (198 m), Alzon (611 m), Le Caylar (730 m) et Mont Aigoual (1567 m) situées à des altitudes moyennes à élevées. Les températures observables sur la zone d'étude sont donc à priori plus faibles que celles de l'aval du bassin versant.

L'analyse est faite sur la période 2003 – 2007, qui était disponible sur les 5 stations.

□ Variation mensuelle de la température

NB. : La température impliquée est calculée comme la moyenne entre la température maximale et la température minimale sur chaque jour.

L'illustration suivante montre la variation de température au cours de l'année sur les différentes stations étudiées. On peut observer que :

- Le mois le plus froid est le mois de février avec une température moyenne de 3.5°C ;
- Le mois le plus chaud est le mois de juillet avec une température moyenne de 21.2°C ;
- L'écart moyen de 8.9°C entre les températures moyennes annuelles des différentes stations varie selon les saisons. Il est plus faible en hiver (7°C en décembre) qu'en été (9.9°C en juillet).

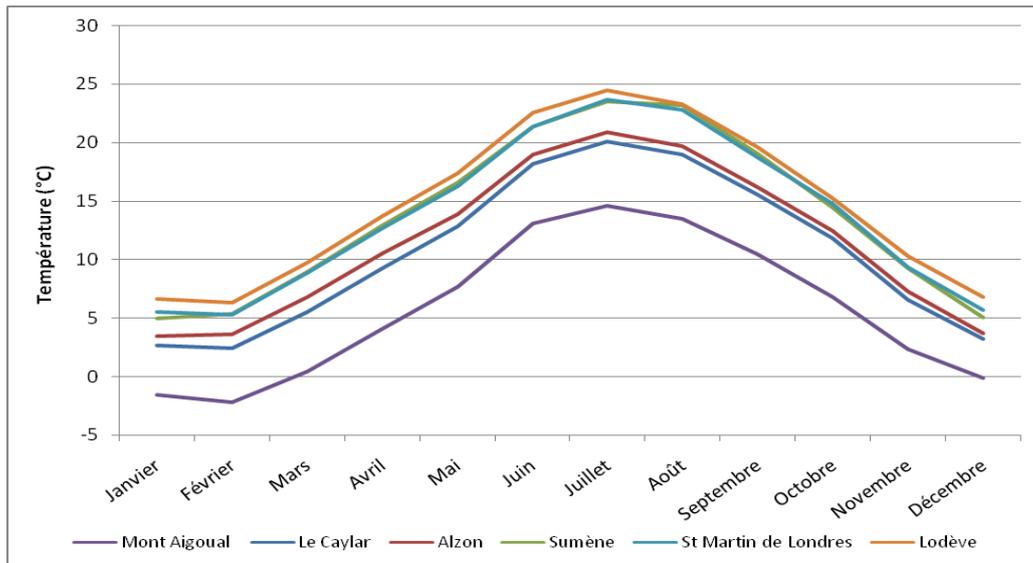


Illustration 12 - Température moyenne mensuelle entre 2003 et 2007

□ Variation de la température avec l'altitude

Sur les stations étudiées, entre 2003 et 2007, la température moyenne annuelle est de 5.7°C au Mont Aigoual, contre 14.6°C à Lodève. L'écart observé est donc de 8.9°C.

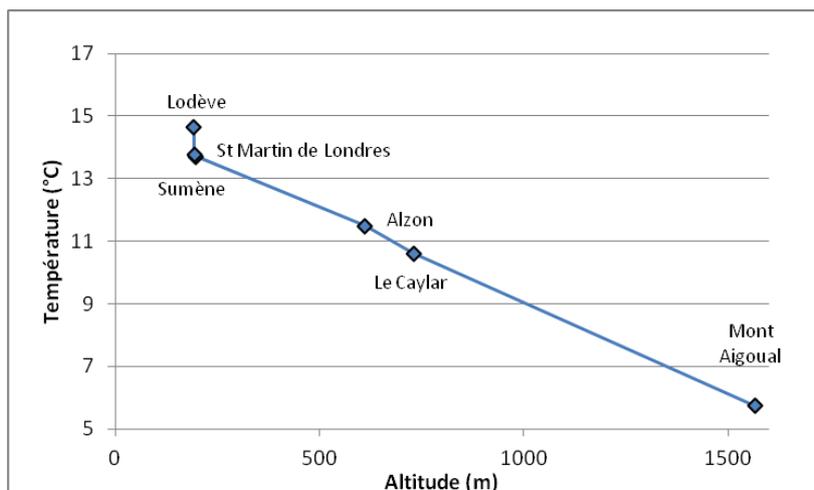


Illustration 13 - Variation de la température avec l'altitude

L'analyse de la température moyenne en fonction de l'altitude (illustration suivante) montre une diminution régulière de la température, selon un gradient d'environ 0.6°C/100 m. Les stations sont toutes cohérentes, sauf la station de Lodève où la température est plus élevée (la température moyenne est supérieure 0.8°C à la température prévue par le gradient).

C.I.4 Analyse de la neige

Une analyse des données de neige issues des stations suivantes a été réalisée (tableau suivant) :

- Mont Aigoual (1 567 m), données disponibles sur 2003-2010 ;
- Alzon (611 m), données sur 2003-2010 ;
- Le Caylar (730 m), données disponibles sur 2003-2006.

Année	Hauteur de neige maximale annuelle (cm)		
	Alzon	Mont Aigoual	Le Caylar
2003	7	68	2
2004		15	4
2005	0	133	1
2006	7	16	4
2007	0	70	
2008	1	193	
2009		145	
2010	9	25	
Moyenne	4.0	83.1	2.8

Tableau 2 - Hauteurs maximales de neige

Les hauteurs maximales de neige sont de 4 cm en moyenne par an à Alzon, 3 cm au Caylar et 83 cm au Mont Aigoual.

L'analyse des données de la station du Mont Aigoual montre une très forte variation des hauteurs maximales de neige, entre 15 cm en 2004 et 193 cm en 2008. En moyenne la neige est présente 160 j/an au Mont Aigoual.

En conclusion, la charge de neige n'est pas négligeable sur l'extrême amont du bassin versant, où les altitudes sont élevées (particulièrement au Mont Aigoual). Néanmoins, la couverture neigeuse est plus rare sur les stations de l'amont du bassin versant situées en dessous de 600 m d'altitude.

C.I.5 Analyse de l'EvapoTranspiration Potentielle (ETP)

L'évapotranspiration correspond à la quantité d'eau totale transférée du sol vers l'atmosphère par l'évaporation du sol et la transpiration des plantes.

L'évapotranspiration potentielle est une valeur maximale théorique qui correspond la somme de l'évaporation par la surface du sol et la transpiration des plantes lorsque le sol permet de fournir toute l'eau demandée.

Les données disponibles sont issues des stations du Mont Aigoual, de Sumène et de Gignac, sur la période 1994 - 2011.

Sur l'ensemble des stations, l'ETP est maximale en juillet avec 6 mm/j en moyenne et minimale en décembre avec 1 mm/j en moyenne. La variation des ETP journalières est très restreinte entre les différentes stations.

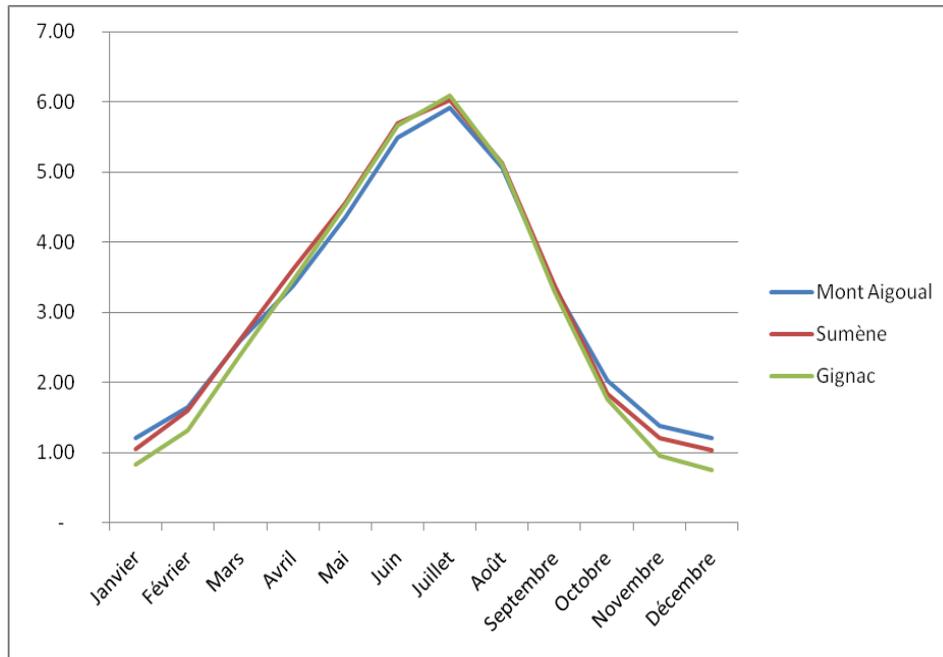


Illustration 14 - Variation mensuelle de l'ETP journalière (moyennes sur 1994-2011)

Sur l'année, l'ETP représente :

- 1 150 mm pour 2 020 mm de précipitations cumulées moyennes au Mont Aigoual ;
- 1 150 mm pour 1 350 mm de précipitations à Sumène ;
- 1 105 mm pour 780 mm de précipitations à Gignac.

On observe donc un déficit hydrique entre précipitations et ETP sur l'aval du bassin versant de l'Hérault.

C.II ANALYSE DES DONNEES DÉBITMÉTRIQUES

Le bassin versant de l'Hérault dispose du réseau de mesure des débits porté par la DREAL (banque HYDRO), comptant 25 stations sur l'Hérault et ses affluents (stations inactives comprises). Néanmoins, il convient d'écarter les données qui ne sont pas intéressantes :

- Certaines stations présentent des périodes d'observations trop courtes pour en tirer des enseignements statistiques ;
- Certaines stations ne sont pas fiables à bas débit.

C.II.1 Stations sélectionnées dans les études préalables

L'étude de « définition des débits d'étiage de référence » (étude (1)) a établi une sélection des stations de la banque HYDRO adaptées à la caractérisation des étiages du fleuve Hérault. Ces stations ont été sélectionnées sur 4 critères :

- chronique d'observation ;
- fonctionnalité en 2007 ;
- fiabilité affichée par le gestionnaire ;
- qualité des mesures.

Sur les 15 stations recensées en 2007, 7 stations ont ainsi été retenues. Entre 2007 et 2012, de nouvelles stations ont été instaurées. Par ailleurs, la disponibilité des données jusqu'à l'année 2011, a permis de compléter les chroniques.

L'étude (2), sur l'« Etat de référence des débits d'étiage des cours d'eau du département de l'Hérault », portée par le conseil Général de l'Hérault et réalisée par BURGEAP en 2007 comporte aussi une analyse des stations de la banque HYDRO.

L'objectif étant de réaliser l'état des lieux pour l'étiage 2007, seules les stations fonctionnelles et situées sur le département de l'Hérault ont été analysées, soit 4 au total. Seulement 2 ont été retenues.

Le Tableau 3 présente les stations retenues dans les deux études. La station de mesure du débit de l'Hérault à Valleraugue figure en italique car elle a été utilisée dans l'étude (1), mais n'était plus fonctionnelle en 2007.

Nom de la station	Distance à la source (km)	Etude (1)	Etude (2)	Début	Fin
<i>L'Hérault à Valleraugue</i>	11,5	<i>oui</i>	-	1969	1982
L'Hérault à Laroque	41,0	oui	-	1969	2011
L'Hérault à Gignac (aval)	89,7	oui	oui	1990	2011
L'Hérault à Aspiran	103,6	oui	-	1993 - 2002	2008 - 2011
L'Arre au Vigan (la Terrisse)	26,5	oui	-	1959	2011
La Vis à Saint-Laurent-le-Minier	35,8	oui	-	1961	2011
La Lergue à Lodève	94,5	oui	oui	1960	2011

Tableau 3 - Stations retenues par les deux études sur les débits d'étiage

Les deux études ont retenu les stations de mesure des débits de l'Hérault à Gignac (aval) et de la Lergue à Lodève. Les données de ces deux stations semblent donc fiables.

C.II.2 Description des stations hydrométriques

Sur le bassin versant de l'Hérault, 25 stations sont recensées en 2011, dont 17 disposent d'une chronique de débits exploitable (au moins une année complète de mesures) et sont actuellement en fonctionnement : 10 situées sur l'Hérault et 7 sur ses affluents.

Les stations sont analysées selon deux critères : l'intérêt hydrologique et la qualité des données disponibles.

C.II.2.1 Intérêt hydrologique des stations

Une note d'intérêt hydrologique est associée à chaque station, sur la base de sa localisation, comprise entre 1 et 5 (5 pour les stations de grand intérêt). Les éléments pris en compte sont :

- la proximité d'une confluence ;
- l'ampleur du bassin versant intercepté ;
- l'interception d'un prélèvement / rejet connu.

L'illustration ci-après montre la localisation des stations ainsi que la note associée à chaque station.

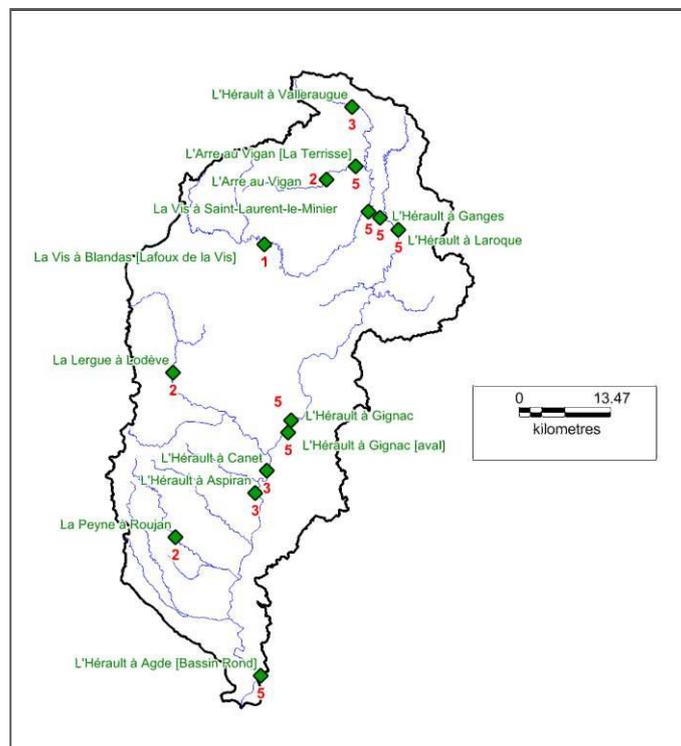


Illustration 15 - Localisation et intérêt hydrologique des stations hydrométriques

Le tableau ci-après présente la liste des stations. Les deux stations en italique ne sont plus en activité.

La distance à la source fait référence à la position des stations le long de l'Hérault. Pour les stations situées sur les affluents de l'Hérault, la distance correspond à la position de la confluence. Les années de début et de fin renseignent sur la durée de la chronique disponible.

Nom de la station	Distance à la source (km)	Début	Fin	Intérêt hydrologique
<i>L'Hérault à Valleraugue</i>	11,5	1969	1982	3
L'Hérault à Valleraugue	11,5	2008	2011	3
L'Hérault à Ganges	37,2	2010	2011	5
L'Hérault à Laroque	41,0	1969	2011	5
L'Hérault à Gignac	87,1	2006	2011	5
L'Hérault à Gignac (aval)	89,7	1990	2011	5
L'Hérault à Canet	97,4	2009	2011	3
L'Hérault à Aspiran	103,6	1993 - 2002	2008 - 2011	3
<i>L'Hérault à Montagnac</i>	116,2	1969	1987	5
L'Hérault à Montagnac	116,2	2007	2011	5
L'Hérault à Agde [Bassin Rond]	141,3	1958	2011	5
L'Arre au Vigan (la Terrisse)	26,5	1959	2011	5
L'Arre au Vigan	26,5	2009	2011	2
La Vis à Saint-Laurent-le-Minier	35,8	1961	2011	5
La Vis à Blandas	35,8	2006	2011	1
La Lergue à Lodève	94,5	1960	2011	2
La Peyne à Roujan	119,6	2007	2011	2

Tableau 4 - Intérêt hydrologique des stations hydrométriques

C.II.2.2 Comparaison de la qualité des mesures de débit

La qualité des données est évaluée à partir de plusieurs éléments :

- L'analyse de l'évolution des débits mesurés le long du cours d'eau permet d'étudier la cohérence des stations ;
- La fiabilité affichée par le gestionnaire permet d'éliminer les stations qui ne sont pas jugées fiables en basses eaux ;
- Les évaluations des stations débitométriques réalisées dans le cadre des études portées par le Conseil Général.

L'illustration suivante est obtenue en considérant les mesures de débit effectuées entre 2000 et 2011.

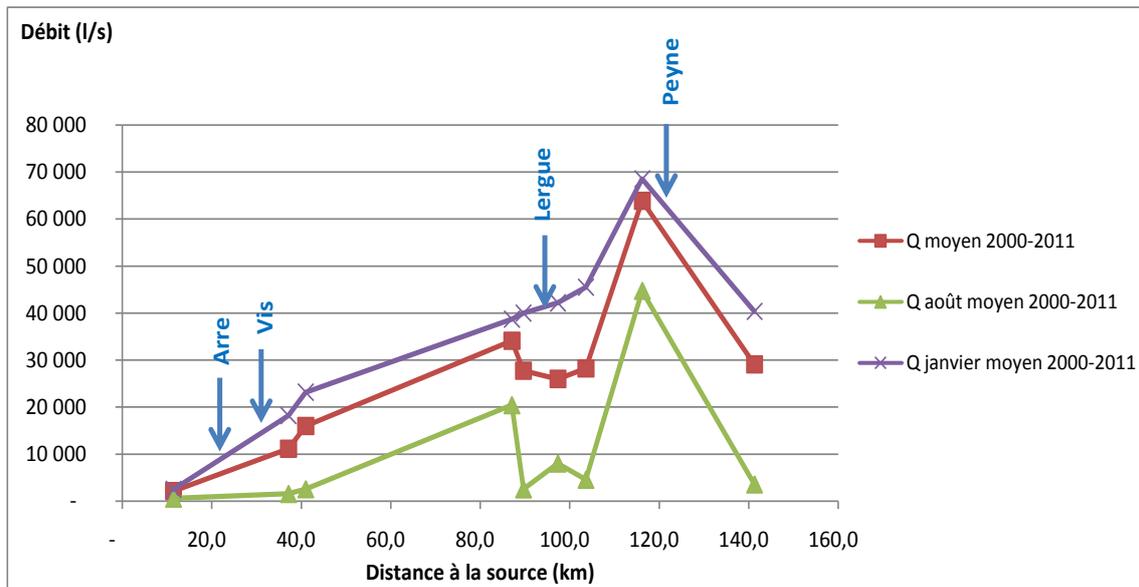


Illustration 16- Débits mesurés par les stations de la banque HYDRO le long de l'Hérault (2000 à 2011)

Les stations situées sur l'Hérault sont analysées de l'amont vers l'aval :

- **Les stations de Ganges (km 37) et Laroque (km 41) sont cohérentes**, car ces deux stations situées à proximité mesurent des débits proches.
- Les stations situées en amont et en aval du prélèvement du canal de Gignac (autour du km 88) mesurent des débits très proches en hiver, tandis que le débit du mois d'août en aval est très inférieur au débit en amont avec près de 20 m³/s de différence, qui ne peuvent être expliqués par les prélèvements seuls. Cette différence conduit à **éliminer la station de Gignac amont, station de crues qui ne semble pas fiable en étiage, la station de Gignac aval étant jugée plus fiable.**
- De plus, les stations situées à **Canet (km 97) et Aspiran (km 104) mesurent des débits en cohérence avec les débits mesurés à Gignac aval.** Ces trois stations semblent donc fiables.
- Les débits d'étiage mesurés par la station de Montagnac (Y2332015, km 116), sont systématiquement surestimés, les autres études n'identifiant par ailleurs aucun pic de débit entre la confluence avec la Lergue (km 94) et Agde (km 141). **La station de Montagnac n'est donc pas jugée fiable.**
- **Cette analyse ne permet pas d'estimer la qualité de la station d'Agde, ni des stations situées sur les affluents de l'Hérault.**

C.II.2.3 Fiabilité affichée et évaluée par les études préalables

□ Débits mesurés sur l'Hérault

Les stations de mesures du débit de l'Hérault à Laroque et à Gignac (aval) sont considérées comme fiables en étiage par les études antérieures et par la DREAL. De plus, leurs chroniques sont longues :

- Laroque : de 1997 à octobre 2006 et de mai 2007 à 2011 ;
- Gignac aval : de 1997 à 2009 et de juin 2010 à 2011.

Par ailleurs, la station de mesure du débit de l'Hérault à Agde est jugée comme fiable en basses eaux par la DREAL. Elle est donc, en première approche retenue pour le calage, d'autant plus qu'elle dispose d'une longue chronique de données (1997 à 2011).

La station de Montagnac n'est pas exploitable en étiage et donc éliminée pour l'analyse. Les stations qui ne sont plus en activité ou ont des données trop incomplètes ne sont pas utilisées (Valleraugue et Ganges).

Enfin, les stations récentes disposant de peu de données et ne sont pas utilisées pour le calage, du fait du manque de recul sur leur fiabilité.

□ Débits mesurés sur l'Arre

Deux stations de la banque Hydro mesurent les débits sur l'Arre : une au Vigan, l'autre à la Terrisse. La station de l'Arre au Vigan n'a pas été évaluée par les études préalables car elle est trop récente.

L'étude réalisée par Ginger considère la station de la Terrisse comme fiable. De plus, la courbe de tarage de la station de la Terrisse a été modifiée en 2005, et la station est jugée très fiable depuis lors par les gestionnaires.

Toutefois, dans le cadre du « Plan d'optimisation de la gestion de l'eau de la vallée de l'Arre » porté par le SIVU Ganges – le Vigan en 2011, une campagne de jaugeages a été effectuée sur l'Arre. Les débits mesurés ne correspondent pas aux observations à la Terrisse, la fiabilité de la station est donc remise en question, avec des débits mesurés qui paraissent surestimés (810 l/s mesurés à la Terrisse contre 370 l/s évalués par jaugeage au 19/10/2009).

Bien que ne disposant pas d'information sur la fiabilité de la station du Vigan, la comparaison des deux stations de l'Arre permet d'évaluer leur cohérence, et ainsi d'avoir une meilleure idée de leur fiabilité. La station du Vigan ne fonctionnant que depuis 2009, les débits sont comparés entre 2009 et 2011 (illustration suivante).

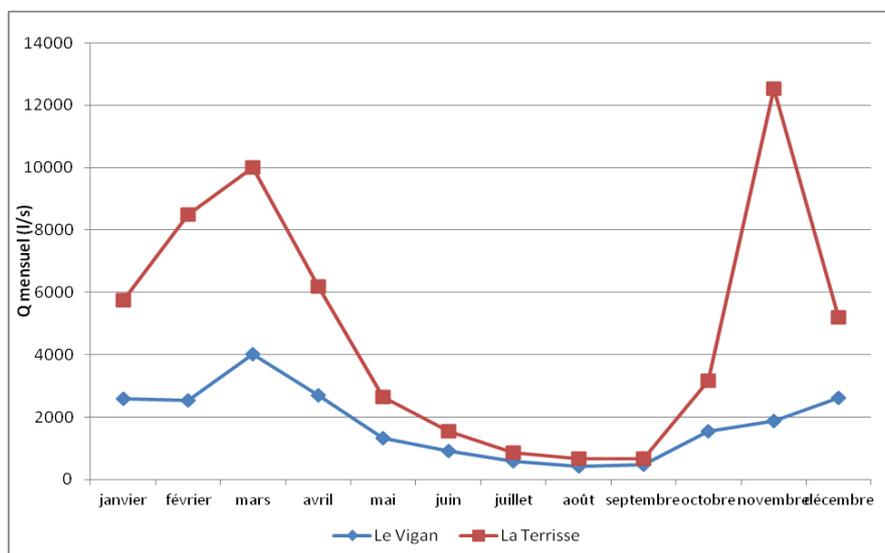


Illustration 17- Débits mensuels mesurés sur l'Arre entre 2009 et 2011

L'analyse des débits mesurés par les deux stations sur l'Arre, au Vigan et à la Terrisse, montre une différence importante avec 4.8 m³/s de module à la Terrisse contre 1.8 m³/s au Vigan, soit 63% d'écart qui reste difficile à expliquer.

Toutefois, sur la période estivale (des mois de juin à septembre), le débit moyen mesuré à la Terrisse est de 0.9 m³/s, contre 0.6 m³/s au Vigan, ce qui ne représente plus que 35% d'écart.

En résumé, on ne peut pas conclure de manière définitive sur la fiabilité de ces deux stations, mais elles donnent un ordre de grandeur des débits observés durant la période estivale.

□ Débits mesurés sur les autres affluents

- La station de la Vis à Saint-Laurent-le-Minier possède une longue chronique de données (de 1993 à 2011), qui est jugée fiable par l'étude de Ginger, et par la DREAL pour les basses eaux. La station est donc retenue.
- La station de la Lergue à Lodève dispose également d'une longue chronique observée (1994 à 2011), considérée évaluée comme fiable par les études antérieures et par la DREAL. La station est donc retenue.
- La station sur la Peyne est trop récente pour juger de sa fiabilité. Toutefois, du fait du peu d'information sur les affluents de la basse vallée de l'Hérault (la Peyne, la Boyne et la Thongue), elle fournit un ordre de grandeur pour le calage de ces affluents.

C.II.3 Bilan : stations retenues et débits caractéristiques

Le tableau ci-dessous fait le bilan des stations de la banque Hydro retenues pour la modélisation.

Les stations retenues pour le calage sont les stations de l'Hérault à Laroque, à Gignac aval, à Aspiran et à Agde, ainsi que les stations sur la Vis à St Laurent-le-Minier et sur la Lergue à Lodève.

Code de la station	Nom de la station	Intérêt hydrologique	Qualité des données	Retenue
Y2002010	L'Hérault à Valleraugue	3	-	Non
Y2002030	L'Hérault à Valleraugue	3	Manque d'information	Oui pour validation
Y2102020	L'Hérault à Ganges	5	-	Non
Y2102010	L'Hérault à Laroque	5	++	Oui
Y2142020	L'Hérault à Gignac	5	-	Non
Y2142010	L'Hérault à Gignac (aval)	5	++	Oui
Y2302010	L'Hérault à Canet	3	Manque d'information	Oui pour validation
Y2312010	L'Hérault à Aspiran	3	++	Oui pour validation
Y2332010	L'Hérault à Montagnac	5	-	Non
Y2332015	L'Hérault à Montagnac	5	-	Non
Y2372010	L'Hérault à Agde [Bassin Rond]	5	-	Non
Y2015010	L'Arre au Vigan (la Terrisse)	5	+-	Oui pour indication
Y2015020	L'Arre au Vigan	2	Manque d'information	Oui pour indication
Y2035010	La Vis à St-Laurent-le-Minier	5	++	Oui
Y2035020	La Vis à Blandas	1	-	Non
Y2214010	La Lergue à Lodève	2	++	Oui
Y2344020	La Peyne à Roujan	2	Manque d'information	Oui pour validation

Tableau 5 – Synthèse des stations débitmétriques retenues

C.II.4 Analyse hydrologique des stations retenues pour la modélisation

Les années 1980 à 2011 seront utilisées pour la modélisation hydrologique, une première analyse hydrologique est donc réalisée sur ces années.

A titre comparatif, l'analyse a aussi été menée sur les périodes suivantes :

- La chronique totale disponible ;
- La chronique 1994-2002, utilisée pour l'étude Ginger ;

Cette analyse a conduit à calculer des valeurs statistiques sur les débits observés. Cependant, le calcul des statistiques n'est valable que sur des chroniques longues, notamment pour le QMNA₅, débit mensuel minimal qui est dépassé 4 années sur 5. Il est donc important de nuancer les valeurs obtenues et leur validité.

□ *Station de Saint-Laurent-le-Minier sur la Vis*

La station de Saint-Laurent-le-Minier intercepte un bassin versant de 473 km². Elle contrôle près de 20% du bassin versant de l'Hérault. Elle est située sur la partie amont, au niveau de la Vis, principal affluent de l'Hérault. Le graphique ci-dessous indique la variation du débit moyen annuel depuis sa mise en service (1961).

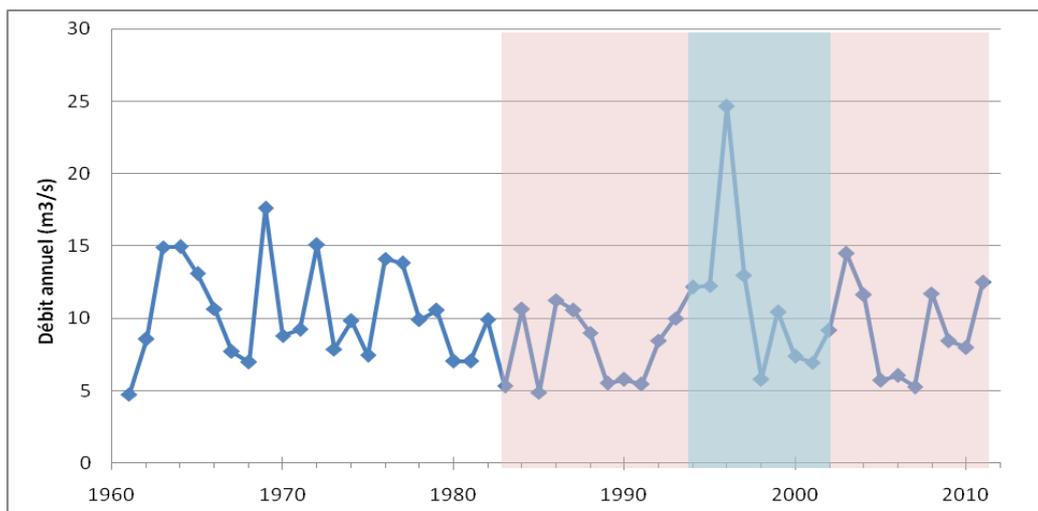


Illustration 18 - Débits annuels moyens observés à Saint-Laurent-le-Minier sur la Vis

Ce graphique montre une grande variabilité interannuelle du débit, entre 5 et 25 m³/s. **Le module de la station est de 9.9 m³/s. Le QMNA₅ est de 1.5 m³/s**, ce qui signifie qu'une année sur cinq le débit moyen mensuel minimal de la rivière est inférieur à 1.5 m³/s.

La partie bleue est la durée de la chronique utilisée dans l'étude réalisée par Ginger, alors que la partie rose est celle utilisée dans cette étude pour la modélisation.

Le tableau ci-après présente les caractéristiques de la station sur différentes durées :

Station	Chronique		Période étudiée	Module (m ³ /s)	Débit d'août (l/s)	Débit d'août spécifique (l/s/km ²)	QMNA5 (l/s)
	Début	Fin					
Y2035010 - La Vis à Saint-Laurent-le-Minier	1961	2011	Chronique totale	9.9	2 645	5.6	1 490
			1994-2002	11.3	1 920	4.1	1 690
			1983-2011	9.0	2 106	4.4	1 410

Tableau 6 - Caractéristiques sur différentes périodes de la station de Saint-Laurent-le-Minier sur la Vis

Le module est de 11.3 m³/s sur la période 1994-2002, soit 15% de plus que sur la chronique totale, et 9.0 m³/s sur la période 2000-2011, soit un écart de moins de 10% avec la chronique totale.

Le QMNA₅ est de 1.7 m³/s sur la chronique 1994-2002 et 1.4 m³/s sur 1983-2011, soit 5% de moins que sur la chronique totale (1.5 m³/s).

□ Station de Laroque sur l'Hérault

La station de Laroque intercepte un bassin versant de 888 km², soit environ 1/3 du bassin versant de l'Hérault. Elle est située en partie amont, après la confluence de l'Hérault avec la Vis puis avec l'Arre. La station fonctionne depuis 1969, le graphique ci-dessous présente les variations du débit moyen annuel depuis sa mise en service.

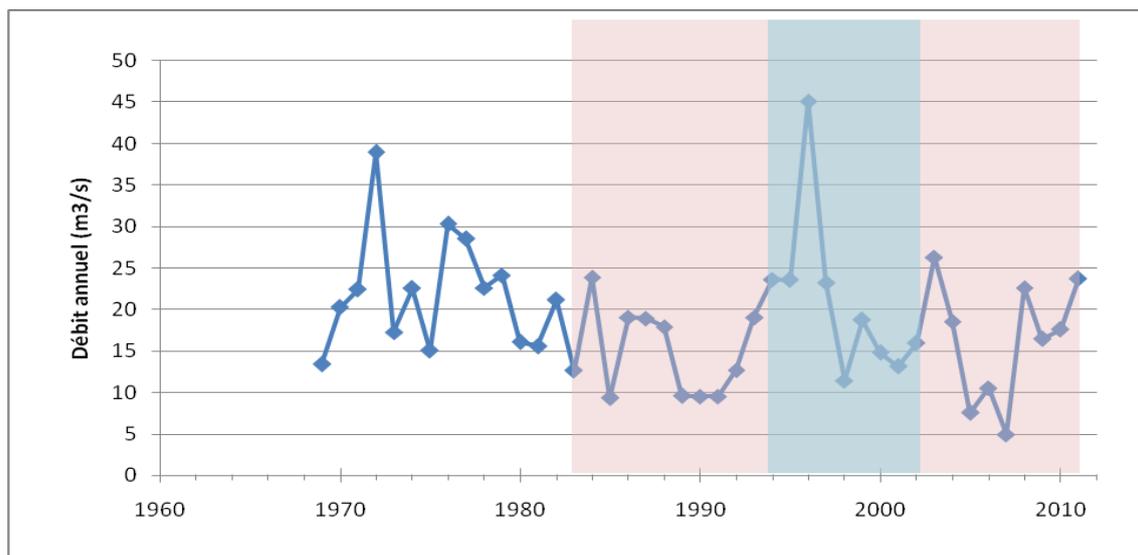


Illustration 19- Débits annuels moyens observés à Laroque sur l'Hérault

Le module de l'Hérault à Laroque est de 18.8 m³/s sur la chronique totale et le QMNA₅ est de 2.2 m³/s.

Le tableau ci-après présente les caractéristiques de la station sur différentes durées.

Station	Chronique		Période étudiée	Module (m3/s)	Débit d'août (l/s)	Débit d'août spécifique (l/s/km ²)	QMNA5 (l/s)
	Début	Fin					
Y2102010 - L'Hérault à Laroque	1969	2011	Chronique totale	18.8	3 630	4.1	2 190
			1994-2002	21.1	3 101	3.5	1 860
			1983-2011	16.0	2 588	2.9	2 010

Tableau 7 - Caractéristiques sur différentes périodes de la station de Laroque sur l'Hérault

Le module est de :

- 21.1 sur la période 1994-2002, soit 12% de plus que sur la totalité ;
- 16.0 sur la période 2000-2011, soit 15% de moins que sur la totalité.

Le QMNA₅ est de :

- 1.9 m3/s sur la période 1994-2002, soit 15% de moins que sur la chronique totale ;
- 2.0 m3/s sur la période 1983-2011, soit 8% de moins que sur la chronique totale.

□ Station de Gignac (aval) sur l'Hérault

La station de Gignac aval intercepte un bassin versant de 1 412 km², soit 54% du bassin versant de l'Hérault. Elle est située en sortie des gorges de l'Hérault, en aval du prélèvement du canal de Gignac. Elle fonctionne depuis 1989, mais beaucoup de lacunes sont observées avant 1993. Le graphique ci-dessous présente les variations du débit moyen annuel à partir de 1993.

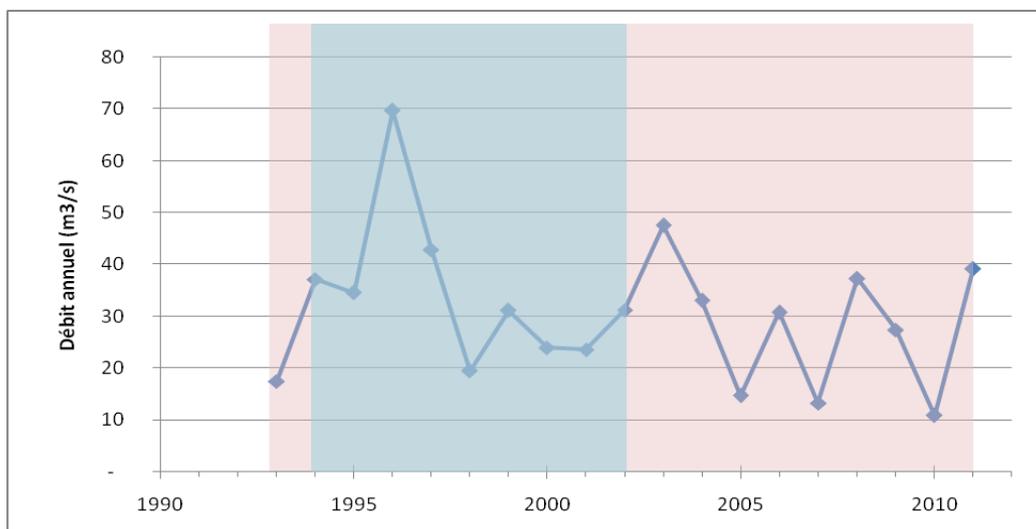


Illustration 20 - Débits annuels moyens observés à Gignac aval sur l'Hérault

Les variations du débit moyen annuel sont importantes (10 à 70 m³/s). **Le module est de 30.8 m³/s, et le QMNA₅ de 1.7 m³/s sur la chronique totale.**

Le tableau ci-après présente les caractéristiques de la station sur différentes durées.

Station	Chronique		Période étudiée	Module (m ³ /s)	Débit d'août (l/s)	Débit d'août spécifique (l/s/km ²)	QMNA5 (l/s)
	Début	Fin					
Y2142010 - L'Hérault à Gignac (aval)	1993	2011	Chronique totale	30.8	2 758	2.0	1 710
			1994-2002	34.9	2 951	2.1	1 940

Tableau 8 - Caractéristiques sur différentes périodes de la station de Gignac aval sur l'Hérault

Le module est de 34.9 m³/s sur la période 1994-2002, soit 13% de plus que sur la chronique totale.

Le QMNA₅ est de 1.9 m³/s sur la période 1994-2002, soit 13% de plus que sur la chronique totale.

□ Station d'Agde (Bassin rond) sur l'Hérault

La station d'Agde est située à l'exutoire du bassin versant de l'Hérault. Elle intercepte un bassin versant de 2 622 km². Elle est en fonctionnement depuis septembre 1958. Toutefois, plusieurs interruptions ont été observées, notamment sur la quasi-totalité de l'année 1986. Le graphique ci-dessous présente les variations du débit moyen annuel depuis 1958.

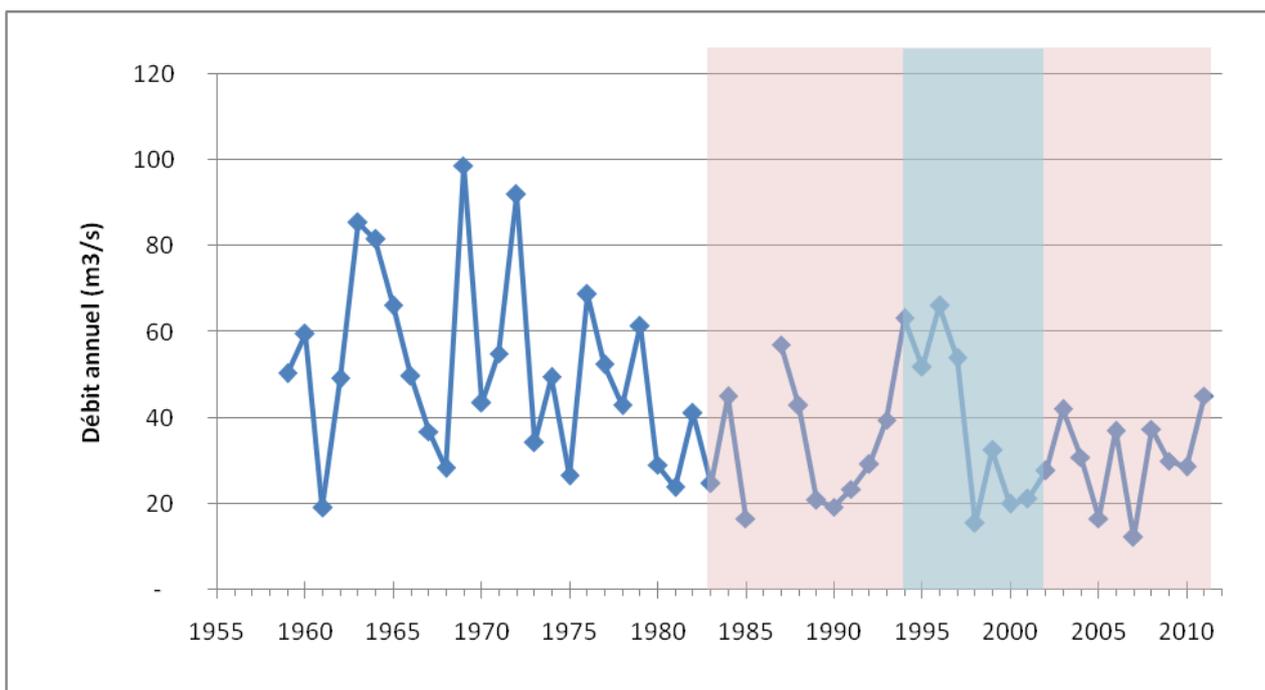


Illustration 21 - Débits annuels moyens observés à Agde sur l'Hérault

Comme pour les autres stations, une forte variation du débit moyen annuel est observée, entre 12 et 100 m³/s, pour un module de 41.5 m³/s et un QMNA5 de 2.0 m³/s. A cette variation s'ajoute une forte diminution des débits entre 1955 et 2011.

Le tableau ci-après présente les caractéristiques de la station sur différentes durées.

Station	Chronique		Période étudiée	Module (m3/s)	Débit d'août (l/s)	Débit d'août spécifique (l/s/km ²)	QMNA5 (l/s)
	Début	Fin					
Y2372010 - L'Hérault à Agde [Bassin Rond]	1958	2011	Chronique totale	41.5	7 140	2.7	3 000
			1994-2002	39.1	5 805	2.2	2 310
			1983-2011	29.1	3 603	1.4	2 200

Tableau 9 - Caractéristiques sur différentes périodes de la station d'Agde sur l'Hérault

Les débits mesurés à la station d'Agde sont très variables, et aucun prélèvement ou phénomène physique connu n'explique cette variabilité.

Ci-dessous, le graphique présente une comparaison des débits observés au niveau des stations d'Agde et Gignac.

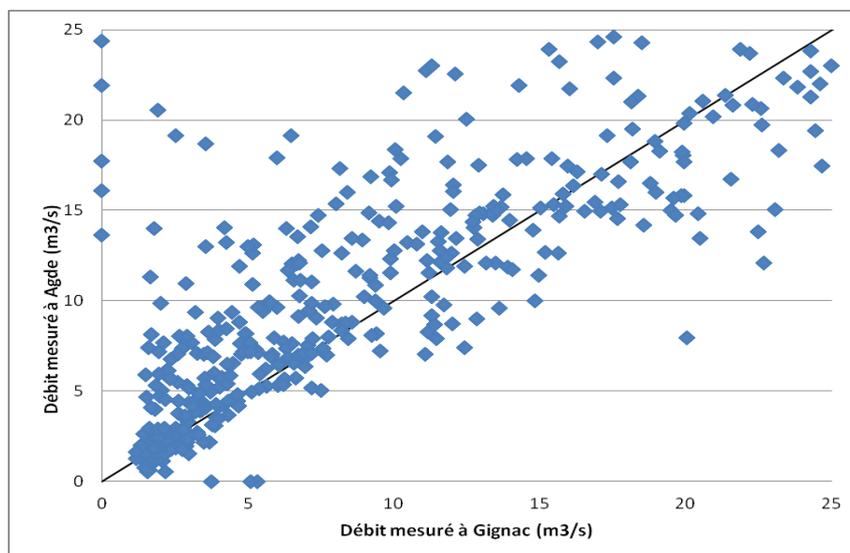


Illustration 22 - Comparaison des débits observés à Agde et à Gignac

Aucune corrélation ne peut être établie entre les débits des deux stations, ce qui pourrait être lié à :

- Un phénomène non appréhendé, comme un prélèvement très variable, ou bien une influence mal appréhendée de la nappe alluviale (par exemple en relation avec la nappe astienne),
- Un manque de fiabilité de la station d'Agde.

La première hypothèse paraît peu vraisemblable, car ces phénomènes expliqueraient difficilement de si grands écarts de débit. La seconde hypothèse paraît donc plus plausible.

Dans les deux cas, la station d'Agde ne peut pas être utilisée pour le calage des débits influencés.

□ **Station de Lodève sur la Lergue**

La station de Lodève sur la Lergue intercepte un bassin versant de 202 km², soit 8% du bassin versant de l’Hérault. C’est une station peu influencée et située sur la partie amont de la Lergue, avant le barrage du Salagou.

Le graphique ci-dessous présente les variations du débit moyen annuel sur la totalité de la chronique disponible (de 1959 à 2011).

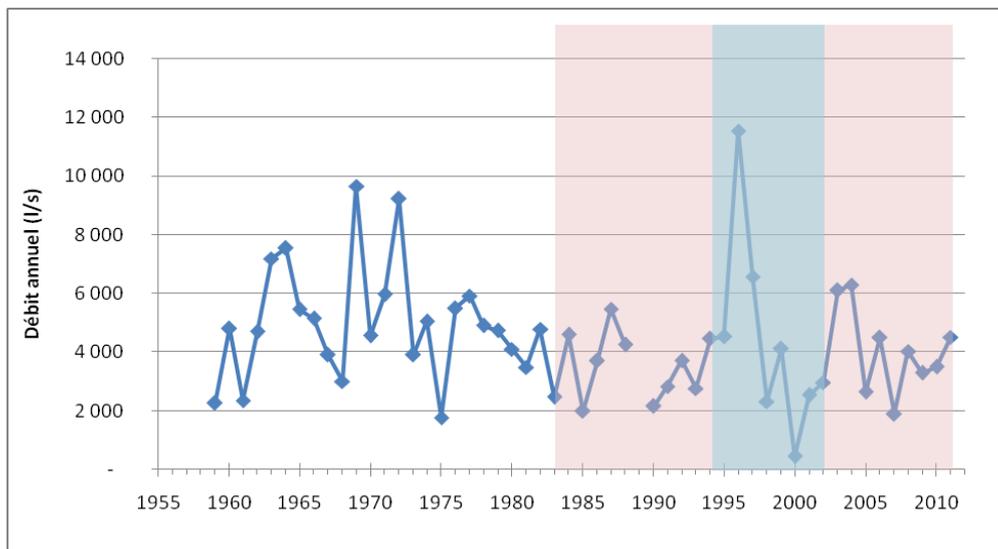


Illustration 23 - Débits annuels moyens observés à Lodève sur la Lergue

Une forte variation interannuelle est observée avec un module compris entre 0.4 m³/s et 11.5 m³/s. Le module est de 4.4 m³/s et le QMNA₅ de 780 l/s.

Le tableau ci-après présente les caractéristiques de la station sur différentes durées.

Station	Chronique		Période étudiée	Module (m ³ /s)	Débit d'août (l/s)	Débit d'août spécifique (l/s/km ²)	QMNA ₅ (l/s)
	Début	Fin					
Y2214010 - La Lergue à Lodève	1960	2011	Chronique totale	4.4	1 194	5.9	770
			1994-2002	4.4	960	4.7	720
			1983-2011	3.6	874	4.3	730

Tableau 10 - Caractéristiques sur différentes périodes de la station de Lodève sur la Lergue

- Entre 2000 et 2011, le module est de 3.6 m³/s, soit 18% de moins que sur la chronique totale ;
- Entre 1994 et 2002, il est de 4.4 m³/s, comme sur la chronique totale.

Le QMNA₅ est de :

- 730 l/s sur la période 1983-2011, soit 6% de moins que sur la chronique totale ;
- 720 l/s sur la période 1994-2002, soit 7% de moins que sur la chronique totale.

D. MODÉLISATION HYDROLOGIQUE

D.I MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

➤ *Planche n°2 : Sous-bassins versants*

L'analyse des données sur le bassin versant a montré que l'Hérault et ses affluents sont influencés par les nappes souterraines. On peut ainsi distinguer plusieurs zones sur le bassin :

- Les bassins versants amont de l'Hérault et de l'Arre, où il n'y a aucun échange entre rivière et nappe. Seuls les ruissellements contribuent au débit de surface.
- Les bassins versants de la Vis et de la Lergue, ainsi que les gorges de l'Hérault, où des échanges avec les aquifères karstiques se réalisent probablement, mais ils sont peu ou pas quantifiés.
- Les bassins versants aval de l'Hérault en sortie des gorges, et de ses affluents (Boyne, Payne, et Thongue). La nappe d'accompagnement (partie des alluvions en contact direct avec le cours d'eau) se développe. Une partie des eaux ruisselant sur les versants ou dans l'Hérault va donc s'infiltrer et alimenter cette nappe.

La modélisation des débits sur le bassin versant doit être capable de reproduire ces différents phénomènes. Pour cela, la modélisation se base sur plusieurs modules (cf. illustration suivante) :

- Un modèle de neige ;
- Un modèle de pluie efficace prenant en compte l'ETP ;
- Un modèle hydrologique ATHYS ;
- Un modèle de prise en compte des échanges entre la nappe et les eaux superficielles ;
- Un module de prélèvements ;
- Un module d'analyse statistique des résultats.

A partir de données d'entrée (MNT, couverture végétale, nature géologique des sols et précipitations), le modèle hydrologique ATHYS permet de définir les **débits ruisselés** au pas de temps journalier en divers points du bassin versant. Ces débits ne prennent pas en compte l'influence de la nappe et les éventuels échanges entre les eaux superficielles et souterraines.

La durée de la chronique sera la plus longue possible (29 ans) pour que les quantiles dégagés de cette chronique aient un sens du point de vue statistique.

Le modèle Athys et le modèle hydrogéologique (nappe alluviale) permettent de caractériser, en divers points de référence du bassin versant, les débits de surface et les débits transitant dans la nappe alluviale. Les débits reconstitués sont les **débits naturels** (sans influence des prélèvements).

Enfin, le module de prélèvements, intégré à une feuille de calcul EXCEL, permet de simuler à partir des débits naturels, des données d'entrée de prélèvements et restitutions dans les eaux souterraines et superficielles, les **débits réels**.

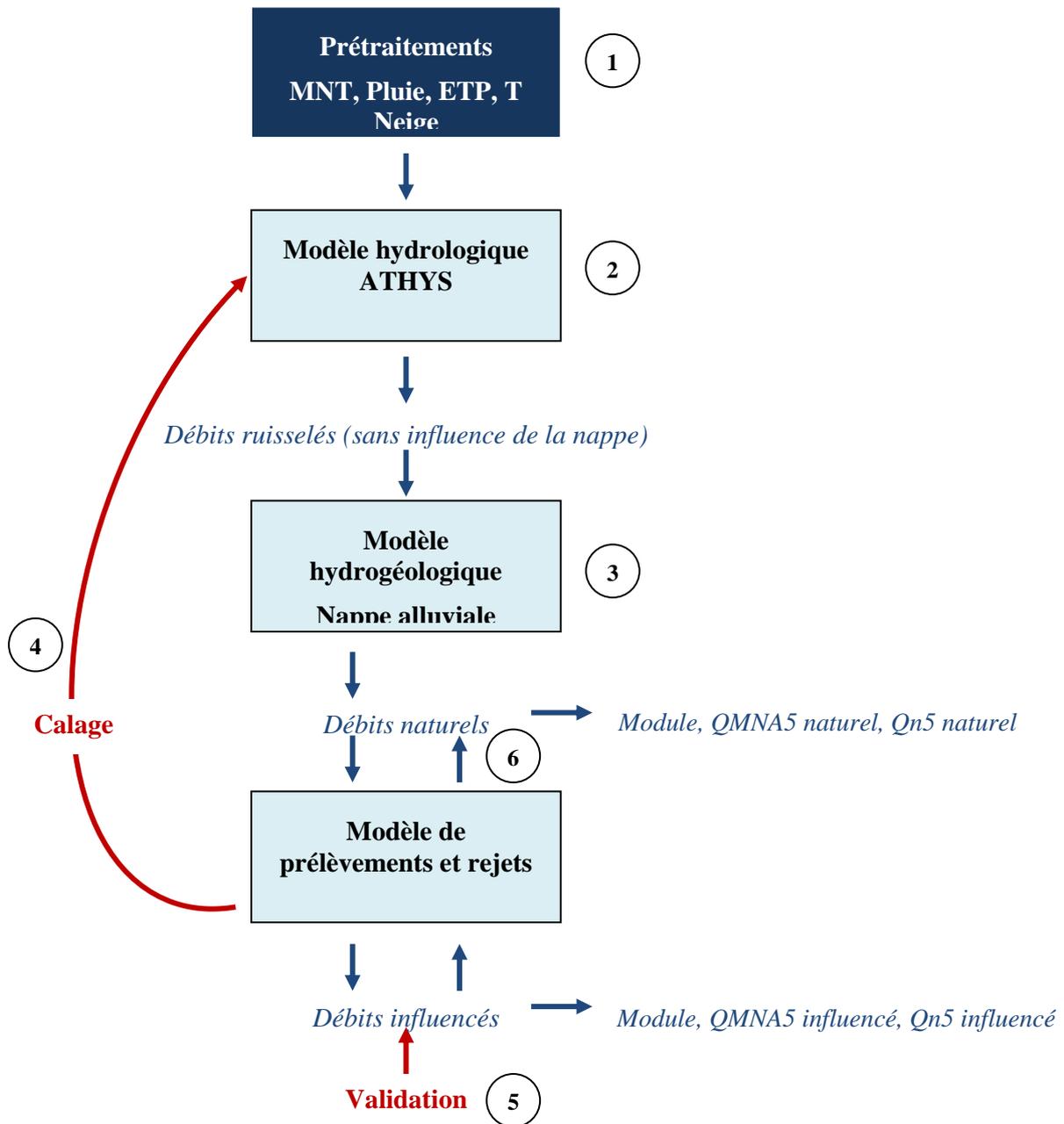


Illustration 24 - Synoptique des différents modules utilisés pour la simulation des débits

A partir des débits réels, obtenus aux différents points stratégiques du bassin versant, les quantiles statistiques et débits caractéristiques pourront être définis : module, QMNA₅, débits mensuels d'occurrence quinquennale (Qn₅) pour les mois d'été...

D.II MODÈLE HYDROLOGIQUE

D.II.1 Chaîne de calcul des débits ruisselés

Le schéma ci-après précise la chaîne de calcul du modèle hydrologique ATHYS. Les données de pluie entrées dans le modèle tiennent compte des pertes par évapotranspiration.

A partir des pluies efficaces, la fonction de production TOP Model définit la lame ruisselée, qui représente la proportion des précipitations qui va ruisseler, puis la fonction de transfert (hydrogramme unitaire) calcule les débits à l'exutoire des bassins versants identifiés comme des nœuds de calcul.

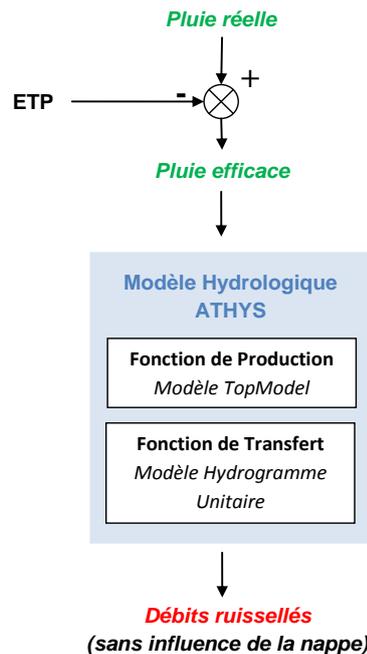


Illustration 25 - Détails de la chaîne de calcul du modèle hydrologique ATHYS

D.II.2 Présentation du modèle de neige

Pour les stations situées à l'amont du bassin versant, une partie des précipitations mesurées tombe sous forme de neige. Cette neige constitue alors un stock d'eau qui est restitué à la fonte des neiges.

Les données mesurées étant uniquement des hauteurs de pluie, il a été rajouté une étape de calcul prenant en compte la formation et la fonte de la neige. Ce module n'a été appliqué que sur les stations où le stock de neige peut être assez important pour avoir un impact sur l'hydrologie : stations de Mont Aigoual, Le Caylar, Alzon, Saint-Maurice de Navacelles, Saint-Martial et Valleraugue.

Le mode de calcul de la neige est basé sur un modèle simplifié :

- Si $T < 1^{\circ}\text{C}$, les précipitations tombent sous forme de neige. La pluie réelle est nulle ;
- Si $T > 1^{\circ}\text{C}$, les précipitations tombent sous forme de pluie et le stock éventuel de neige fond selon l'équation suivante. La pluie réelle en sortie du modèle est alors augmentée de la hauteur d'eau fondue chaque jour. L'équation de fonte de la neige est la suivante :

$$m = K1 \times (T + K2)$$

Avec :

- T la température en °C,
- m la hauteur d'eau fondue par jour (mm),
- K1 et K2 deux paramètres calés sur les observations de hauteur de neige.

Ce module permet de calculer chaque jour une hauteur de pluie stockée sous forme de neige. Ce module est neutre vis-à-vis des volumes d'eau annuelle précipitée. En effet, aucune quantité d'eau n'est ajoutée ni supprimée.

D.II.3 Présentation du module ETP

Pour tenir compte de l'évapotranspiration initialement absente du modèle, il est soustrait chaque jour la hauteur d'eau de l'ETP à la hauteur d'eau de précipitation réelle. On parle alors de pluie efficace.

D.II.4 Présentation du logiciel ATHYS

□ Généralités

ATHYS (ATelier HYdrologique Spatialisé) est un logiciel de transformation pluie-débit développé par l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) à Montpellier.

L'intérêt principal de ce logiciel en libre accès réside dans la possibilité de spatialiser la transformation pluie-débit. En effet, le modèle utilise un modèle numérique de terrain (MNT) qui permet de calculer des apports au ruissellement maille par maille (généralement les mailles couvrent 10 000 m²). Ce principe est combiné à une spatialisation des données de pluies, qui permet, sur de grands bassins versants, de tenir compte de la variation spatiale des intensités de pluies.

Le modèle est conçu pour travailler soit en mode continu à l'aide d'une chronique temporelle de pluies, soit en mode événementiel à partir d'une pluie unique de projet ou réelle.

□ Modèles de calcul

Le débit généré pour un événement pluvieux (transformation pluie-débit) est calculé en trois étapes :

- Pour chaque maille, le modèle de production permet d'estimer la quantité de pluie qui va contribuer au ruissellement.
- Le modèle de transfert calcule l'hydrogramme produit par chaque maille au niveau du point de référence (exutoire du sous-bassin). Ce calcul est réalisé à partir du résultat obtenu en appliquant la fonction de production.
- Les apports de chaque maille sont sommés pour obtenir le débit au point de référence.

Le logiciel met à disposition plusieurs modèles de production et de transfert. Les choix suivants ont été opérés :

- Pour la production, le modèle TOP Model. C'est un modèle conceptuel à réservoirs particulièrement performant pour représenter les débits de base (au-delà des événements pluvieux) ;
- Pour le transfert, le modèle de l'hydrogramme unitaire, couramment utilisé en hydrologie.

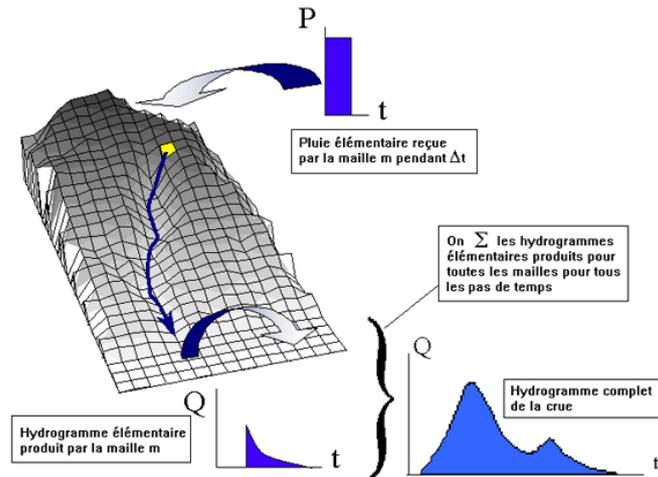


Illustration 26 - Fonctionnement du modèle ATHYS (source : IRD)

D.II.5 Période de simulation

Le logiciel est utilisé pour reconstituer les débits décennaux influencés **de 1983 à 2011**.

D.II.6 Prétraitements des données

□ Traitement des données géographiques

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) à un pas de 250 m a été obtenu à partir de la BD Alti de l'Institut Géographique National.

Le MNT est un ensemble de points altimétriques (trois coordonnées, x, y et z) situés tous les 250 m. L'assemblage des ces points permet de reconstituer la topographie du site (illustration ci-dessous à gauche).

Le logiciel traite alors ces données pour obtenir le réseau hydrographique et les bassins versants (illustration ci-dessous à droite).

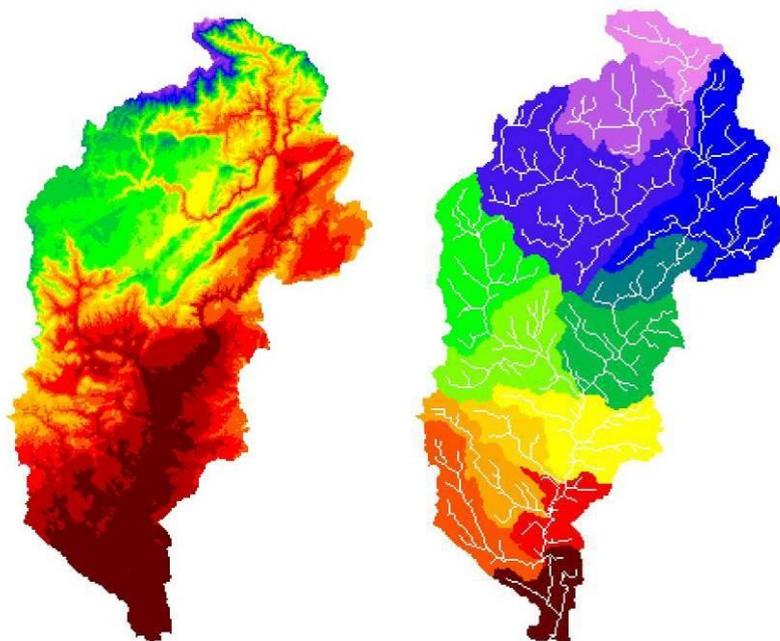


Illustration 27 - Carte des altitudes (à gauche) et du réseau hydrographique (à droite)

□ **Classes de production**

Les ruissellements produits à partir des précipitations sont fonction de nombreux paramètres : durée et/ou intensité des précipitations, nature géologique des sols, pente des terrains, occupation des sols, etc.

L'analyse des stations hydrométriques et des grands ensembles hydrogéologiques a montré que l'Hérault et ses affluents ont des dynamiques différentes. Compte tenu de ces informations, on a défini plusieurs classes de production comme des ensembles de 4 paramètres caractérisant l'écoulement (stock, infiltration, temps de vidange, ...), visibles sur l'illustration suivante :

- La **Vis**, affluent traversant le karst (en bleu) ;
- L'**amont** de l'Hérault, jusqu'à Laroque (en rouge) ;
- La **vallée** de l'Hérault (en marron) ;
- La **Lergue** (en vert) ;
- Les **affluents** de la partie aval : la Boyne, la Payne et la Thongue (en jaune).



Illustration 28 - Carte des classes de production

Le tableau suivant présente la répartition des superficies du bassin versant de l'Hérault en fonction des classes de production.

Classe de Production	Surface (km²)	Poids
1 – Vallée	948	36%
2 – Amont	415	16%
3 – Affluents	349	13%
4 - Lergue	438	17%
5 – Vis	473	18%
Total	2 622	100%

Tableau 11 - Répartition des superficies des classes de production au niveau du bassin versant de l'Hérault

□ Traitement des données météorologiques

Pour le calcul hydrologique, nous avons utilisé les données météorologiques de 14 postes : Florensac, Pézenas, Gignac, Lodève, St-Martin-de-Londres, Sumène, Le Vigan, Valleraugue, Pézènes-les-Mines (Mas Bousquet), St-Martial, St-Maurice-de-Navacelles, Alzon, Le Caylar et Mont Aigoual.

On voit sur l'illustration ci-dessous que les durées d'observation sur ces postes sont variables.

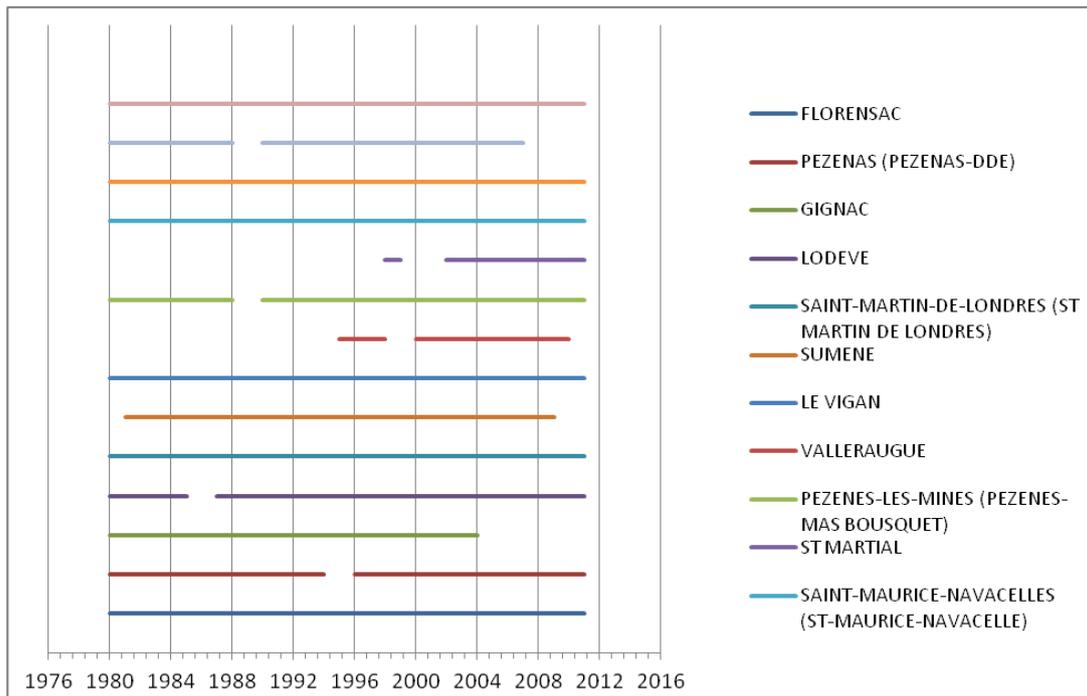


Illustration 29 - Données pluviométriques disponibles

En conséquence, les données manquantes ont été reconstituées. Les principes d'élaboration sont les suivants :

- Pour la pluviométrie, des corrélations linéaires ont été déterminées entre les stations d'un même groupe (cf. **B.I.** Analyse de la pluviométrie). La corrélation a été estimée pour les données de 1980 à 2011.
- Pour la température, un gradient (décroissant) de température de 0.6 °C/100 m a été appliqué à partir de la station du Mont Aigoual pour obtenir les températures sur les autres stations de l'amont. Pour les stations de l'aval (Gignac, Pézenas, Florensac et Pézènes-les-Mines), ce même gradient a été appliqué à partir de la station de Lodève.
- Pour l'ETP, une corrélation (fonction polynomiale d'ordre 2) entre la température et l'ETP a été estimée à partir des stations de Sumène et Gignac. Cette corrélation a ensuite été appliquée sur les températures des autres stations qui ont été utilisées pour obtenir leurs valeurs d'ETP. L'ETP du Mont Aigoual a été conservée, mais du fait des conditions particulières de vent et d'altitude, elles ne sont pas utilisées pour l'extrapolation aux autres stations.

□ Calcul de la lame d'eau précipitée

Les informations climatologiques sont maintenant connues pour chaque station. Ces informations doivent être spatialisées de façon à être étendues à l'ensemble de la surface du bassin versant. La méthode des polygones de Thiessen a été utilisée pour définir la zone d'influence de chaque station.

Les surfaces contributives de chaque poste sont indiquées dans le tableau ci-après.

Station	Surface (km ²)	Poids
Florensac	134	5%
Pézenas	377	14%
Gignac	419	16%
Lodève	213	8%
Saint-Martin-de-Londres	277	11%
Sumène	179	7%
Le Vigan	129	5%
Valleraugue	40	2%
Pézènes-les-Mines	200	8%
St Martial	61	2%
Saint-Maurice-Navacelles	287	11%
Alzon	124	5%
Le Caylar	142	5%
Station fictive	45	2%
Mont Aigoual	8	0%

Tableau 12- Influence comparée des stations pluviométriques sur le bassin versant de l'Hérault

La station du Mont Aigoual capte une surface trop faible pour traduire le caractère montagnard (notamment la neige) de la partie Nord du bassin de l'Hérault. Il a donc été ajoutée une station fictive au Sud Est de la station du Mont Aigoual, dont la pluie efficace est la moyenne des pluies des stations d'Alzon et du Mont Aigoual.

D.II.7 Prise en compte de l'influence du Salagou

Le barrage du Salagou est situé sur la rivière Salagou, affluent de la Lergue. Il draine un bassin versant de 75 km² et modifie le débit de la Lergue. Pour prendre en compte son influence, l'*Etude de scénarios de gestion du réservoir du Salagou* du Conseil Général de l'Hérault a été utilisée. En effet, dans les étapes 1 à 5, le débit sortant du Salagou a été étudié et l'étude fournit les chroniques de 1990 à 2008. Les sorties de la retenue représente un débit moyen de 1.2 m³/s.

Dans le modèle hydrologique, les contributions du bassin versant interceptées par le Salagou sont remplacées par les chroniques de débit en sortie de barrage.

D.III MODÈLE DE NAPPE ALLUVIALE

D.III.1 Présentation du modèle

□ Généralités

Le modèle de nappe doit permettre, en divers points de référence du bassin versant de l'Hérault, de partager les débits ruisselés issus d'ATHYS en deux parties : les débits de surface de l'Hérault et les débits transitant dans sa nappe alluviale (illustration ci-après).



Illustration 30 - Synoptique du modèle hydrogéologique des échanges nappes-rivières

Le modèle de nappe a été réalisé sur EXCEL (composé de macro-commandes VISUAL-BASIC). En plus du traitement des échanges nappe-rivière, le modèle permet de prendre en compte l'influence des prélèvements sur les débits de la nappe alluviale, sur les débits de surface et sur leurs échanges.

Les données d'entrée du modèle hydrogéologique sont les débits de ruissellement obtenus par le modèle hydrologique ATHYS aux différents points nodaux.

Le calcul des débits de surface et de nappe est alors réalisé en cascade, des tronçons amont aux tronçons aval. Les informations sur la nappe alluviale de l'Hérault ne signalent pas de résurgence de la nappe vers la rivière. On considère donc que le seul processus possible est l'infiltration de la rivière vers la nappe. Le débit infiltré calculé sur la base de la loi de Darcy est retranché au débit de surface. La nappe alluviale voit donc son débit augmenter du débit perdu en surface. Si la nappe est saturée, le débit reste en surface.

Le résultat de ces calculs en cascade est une représentation du débit circulant en surface ou dans la nappe alluviale à l'exutoire de chaque tronçon.

Les prélèvements et les rejets sont sectorisés par sous-bassin : ils sont pris en compte dans le tronçon et la ressource (surface ou nappe) auxquels ils s'appliquent. Ils interviennent donc dans la détermination des débits échangés entre la nappe et la rivière.

Dès lors, dans des secteurs d'infiltration dans la nappe alluviale, les prélèvements en nappe vont tendre à réduire les débits de surface, alors que dans des secteurs où les prélèvements se font dans d'autres nappes, sans échange avec les rivières, ils n'auront pas d'impact sur le débit de surface.

L'application du modèle hydrogéologique suppose de connaître les informations de base de la nappe alluviale : perméabilité, coupes lithologiques pour évaluer la dimension de la nappe et idéalement une carte des isopièzes pour identifier les secteurs homogènes du point de vue hydrogéologique.

□ *Hydrogéologie des sous-bassins de l'Hérault*

Sur le secteur étudié, trois types principaux d'aquifères sont recensés :

- **Les aquifères karstiques :** Ces formations calcaires présentent une perméabilité de fractures. Leur productivité est de ce fait proportionnelle au degré de fracturation et/ou à leur karstification et à la taille du réservoir collecteur. Plusieurs sources sont exploitées pour l'AEP. Sur le bassin versant de l'Hérault, ces formations karstiques sont situées principalement sur le bassin versant de la Vis et de la Lergue, et sur la partie médiane du bassin de l'Hérault (au niveau des gorges). Toutefois, très peu d'informations existent sur ces aquifères.
- **La nappe alluviale de l'Hérault :** Les aquifères alluviaux sont d'extension très variable et généralement le siège des nappes d'accompagnement des cours d'eau. L'alimentation principale de la nappe s'effectue par infiltration des précipitations efficaces et plus localement par drainance de la nappe Astienne. La nappe alluviale de l'Hérault s'étend depuis la sortie des gorges jusqu'à son exutoire. Cette nappe est très exploitée (notamment par les captages AEP du Syndicat du Bas-Languedoc), et très vulnérable.
- **La nappe astienne et les autres nappes qui ne sont pas en relation avec le milieu superficiel :** Les autres aquifères ne sont pas en relation directe avec les cours d'eau, mais parfois en relation avec la nappe alluviale (c'est le cas de la nappe Astienne). Très peu connus, ces aquifères ne sont pas pris en compte.

Les sous-bassins prédéfinis servent de découpage de la nappe alluviale de l'Hérault. A partir des éléments concernant les types d'aquifères, les différents sous-bassins ont été caractérisés. Compte tenu des informations sur l'extension de la nappe alluviale et les propriétés hydrodynamiques des terrains en contact avec les cours d'eau, plusieurs sous-bassins présentent des nappes alluviales de faible extension voire même inexistantes :

- Bassins 1 à 6 : Hérault amont, Arre et Vis ;
- Bassins 8 et 9 : Lergue.

Ces bassins versants ne comporteront pas de modèle de nappe alluviale dans la modélisation.

Pour les autres bassins, à partir de l'étude de Modélisation de la nappe alluviale de l'Hérault réalisée par Thierry RIEUX au CEMAGREF en juin 1985, les paramètres retenus sont présentés dans le tableau suivant. En ce qui concerne les longueurs de chacun des secteurs hydrogéologiques, ils ont été mesurés à partir de la carte IGN.

Sous-bassin	Nappe alluviale	Sens d'échange 1 : Nappe – Rivière - 1 : Rivière – Nappe	Perméabilité moyenne (m/s)	Longueur secteur (m)	Débit maximal (l/s)
H5	Hérault	-1	0.001	18 000	1000
H6	Hérault	-1	0.006	18 500	1000
B	Boyne	-1	0.0001	24 800	150
P	Peyne	-1	0.0001	32 600	150
T	Thongue	-1	0.0001	33 100	150
H7	Hérault	-1	0.008	13 500	2000
H8	Hérault	-1	0.01	20 200	3000

Tableau 13 - Paramètres des différents secteurs de nappe alluviale sur le bassin

D.III.2 Calage de la nappe

La reconstitution des débits influencés sur l'aval du bassin versant, où se situe la nappe alluviale, se réalise par l'équation suivante :

$$Q_{\text{influencé simulé}} = Q_{\text{ruisselé}} - Q_{\text{nappe}} - Q_{\text{prélèvement/restitution}}$$

Tous les bassins versants disposant d'une nappe alluviale sont influencés par des prélèvements. Il n'est donc pas possible de réaliser un calage sans les prendre en compte.

E. CALAGE DU MODÈLE SUR LES DÉBITS INFLUENCÉS

E.I RAPPEL DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES RETENUES ET PÉRIODE DE CALAGE

Les stations de la banque Hydro utilisées pour le calage sont celles de :

- la Vis à Saint-Laurent-le-Minier ;
- l'Hérault à Laroque ;
- l'Hérault à Gignac aval ;
- la Lergue à Lodève.

Les années de calage utilisées sont les années 2000 à 2011.

Il est nécessaire de définir des valeurs différentes des paramètres du modèle ATHYS liés à la fonction de production pour chacune des classes.

Concernant les paramètres de la fonction de transfert, ils sont identiques sur la totalité du bassin versant de l'Hérault. Les paramètres de calage retenus sont disponibles en annexe n°7.

Tous les bassins versants sont influencés par des prélèvements. Il n'est donc pas possible de réaliser un calage sans les prendre en compte.

E.II MODELE DE PRÉLÈVEMENTS ET RESTITUTIONS

Suite à la synthèse des prélèvements, le volume prélevé et restitué dans chaque sous-bassin a été calculé à l'échelle mensuelle (cf. phase1). Ces volumes ont été convertis en débits journaliers en considérant les prélèvements et les restitutions en continu sur 24h. Le tableau suivant présente le bilan des flux (en débit) par sous bassin à l'échelle annuelle et en période d'été (juin à septembre).

		Flux moyen annuel par BV (l/s)	Flux moyen annuel cumulé (l/s)	Flux moyen étiage (juin à septembre) par BV (l/s)	Flux moyen étiage cumulé (juin à septembre) (l/s)
A	Arre	26	26	37	37
V	Vis	555	555	541	541
H1	Hérault	12	12	19	19
H2		4	42	7	63
H3		-433	164	-450	153
H4		927	1 091	1 633	1 786
H5		-73	1 017	-150	1 635
H6		-8	1 063	-13	1 684
H7		45	1 187	87	1 873
H8		755	1 942	1 074	2 947
L1	Lergue	36	36	46	46
L2		17	53	16	62
B	Boyne	1	1	1	1
P	Peyne	59	59	75	75
T	Thongue	20	20	27	27

Tableau 14 - Bilan annuel et en saison d'étiage des prélèvements par sous-bassin

Le flux moyen cumulé correspond au flux total des prélèvements et restitutions sur les bassins versants amont au point de calcul. Si ce flux est négatif, les restitutions sont plus importantes que les prélèvements.

E.III CALAGE DU MODELE POUR LA RECONSTITUTION DES DÉBITS INFLUENCES

- **Reconstitution des débits sur les stations sans nappe alluviale :**

Les calages sur les têtes des bassins versants, à savoir les bassins de la Vis, de l'Hérault à Laroque et Gignac, et de la Lergue ont permis de caler les paramètres des classes de production d'ATHYS sans avoir à prendre en compte les interactions nappe-rivière car elles sont inexistantes.

- **Reconstitution des débits sur l'aval du bassin versant :**

A partir des données d'entrée (sens d'échange, dimensions du secteur, débits ruisselés issus du modèle ATHYS), le modèle de la nappe alluviale a été calé à partir de deux paramètres difficilement estimables a priori :

- La perméabilité des berges utilisée dans la formule de Darcy pour calculer les débits échangés entre la nappe alluviale et les cours d'eau ;
- Les capacités maximales de la nappe qui sont estimées à partir de données comme l'extension ou la perméabilité de la nappe alluviale.

Comme expliqué précédemment, les calages à l'amont ont permis de définir les différents paramètres des classes amont de l'Hérault et des affluents.

Concernant l'aval de l'Hérault, un calage simultané sur le débit ruisselé d'ATHYS et le débit de la nappe a été réalisé. Il a été supposé que les écoulements sont similaires sur l'ensemble de l'aval du bassin versant.

La modélisation a été réalisée sur les sous bassins versants de l'Hérault pour l'ensemble de la chronique (1983 – 2011).

E.III.1.1 Station de St-Laurent-le-Minier sur la Vis

Les graphiques suivants présentent une comparaison des débits mensuels simulés influencés aux débits mensuels observés entre 2000 et 2011 et les débits décennaux simulés et observés en 2008, année moyenne sur la chronique, à la station de Saint-Laurent-le-Minier sur la Vis.

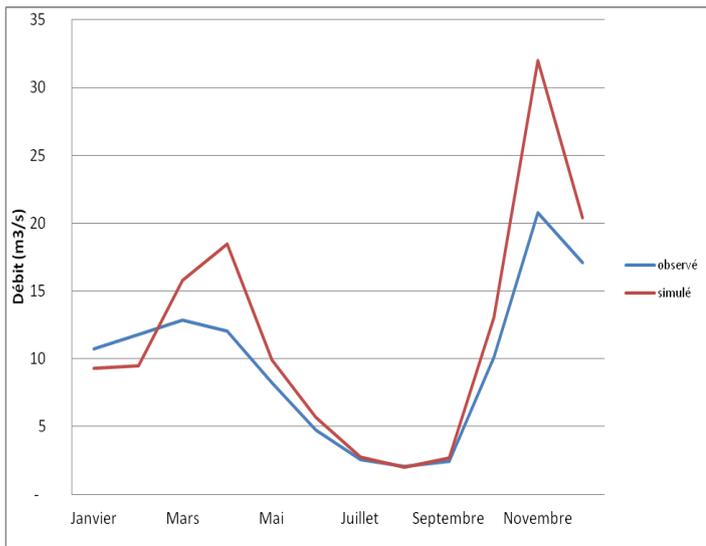


Illustration 31 – Débits mensuels observés et simulés sur la Vis à Saint-Laurent-le-Minier entre 2000 et 2011

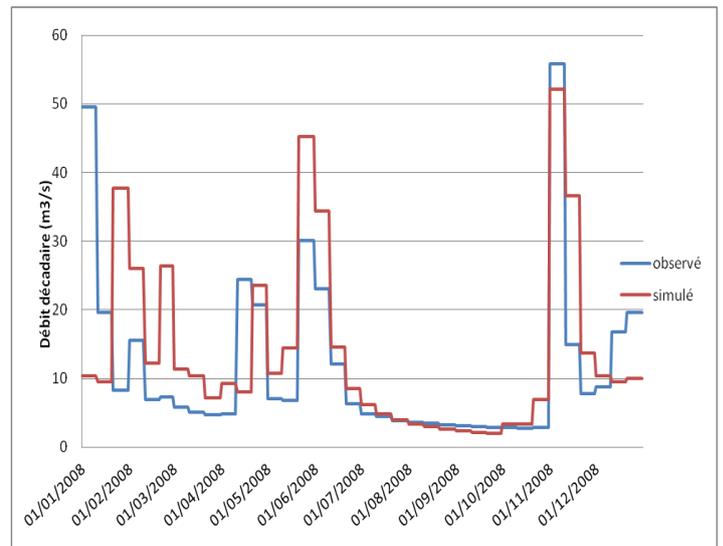


Illustration 32 – Débits décadaires observés et simulés en 2008 sur la Vis à Saint-Laurent-le-Minier

La décroissance des débits en période estivale (juin à août) est correctement reconstituée.

Les graphiques suivants comparent les débits simulés aux débits observés. Ces graphiques s'organisent selon trois axes :

- L'axe de couleur noire représentant une erreur nulle entre les deux séries comparées ;
- Les axes de couleur verte représentant de part et d'autre de l'axe principal une erreur de 10% ;
- Les axes de couleur rouge représentant de part et d'autre de l'axe précédent une erreur de 30%.

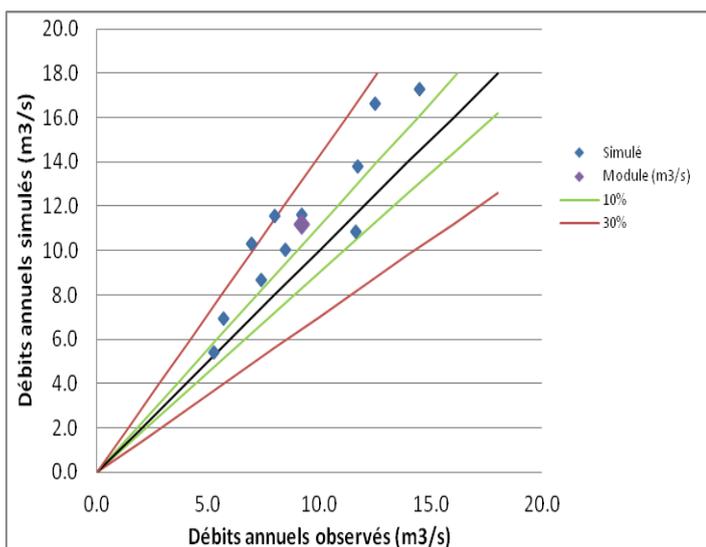


Illustration 33 – Comparaison des débits annuels simulés et observés sur la Vis à Saint-Laurent-le-Minier entre 2000 et 2011

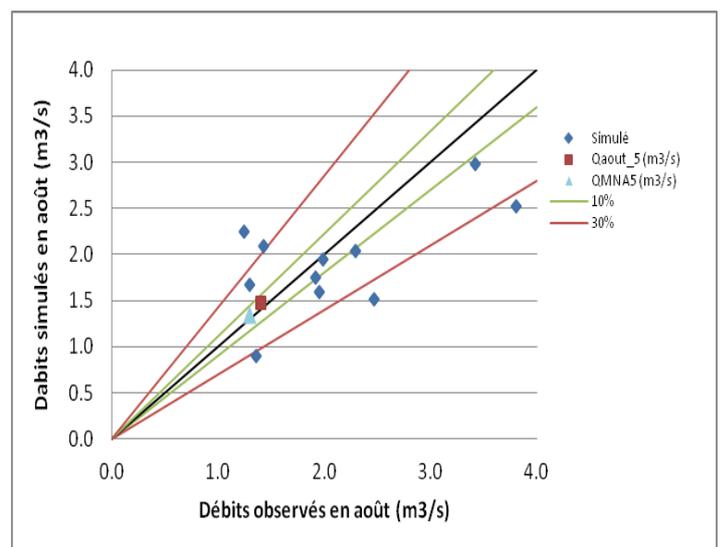


Illustration 34 – Comparaison des débits mensuels simulés et observés au mois d'août sur la Vis à Saint-Laurent-le-Minier entre 2000 et 2011

La reconstitution des débits influencés à la station de Saint-Laurent-le-Minier sur la Vis peut être jugée comme fiable car elle représente correctement :

- Le débit en période d'été ;
- Le QMNA5 et le débit du mois d'août d'occurrence quinquennale avec un écart de moins de 5%.

Elle présente néanmoins un inconvénient : les débits hivernaux et printaniers peuvent cependant présenter des erreurs importantes. En effet, le modèle a tendance à sous-estimer les débits d'automne et de printemps. Ceci peut être dû à des transferts d'eau dans les karts saturés.

Le modèle a tendance à surestimer les débits estivaux sur l'Arre, et à sous-estimer les débits estivaux sur la Vis. Or les deux bassins karstiques, sont en interaction : des échanges souterrains sont connus, mais ne sont pas quantifiés. En effet, ces échanges varient selon la saison et les niveaux d'eau, ce qui les rend difficiles à appréhender.

Les erreurs sur ces deux bassins sont du même ordre de grandeur (200 l/s d'écart sur les débits estivaux) et pourraient être liées à ces phénomènes, qui ne sont pas pris en compte par le modèle.

E.III.1.2 Station de Laroque sur l'Hérault

Les graphiques suivants présentent une comparaison des débits mensuels simulés influencés aux débits mensuels observés entre 2000 et 2011 et les débits décennaux simulés et observés en 2008, année moyenne sur la chronique, à la station de Laroque (Hérault).

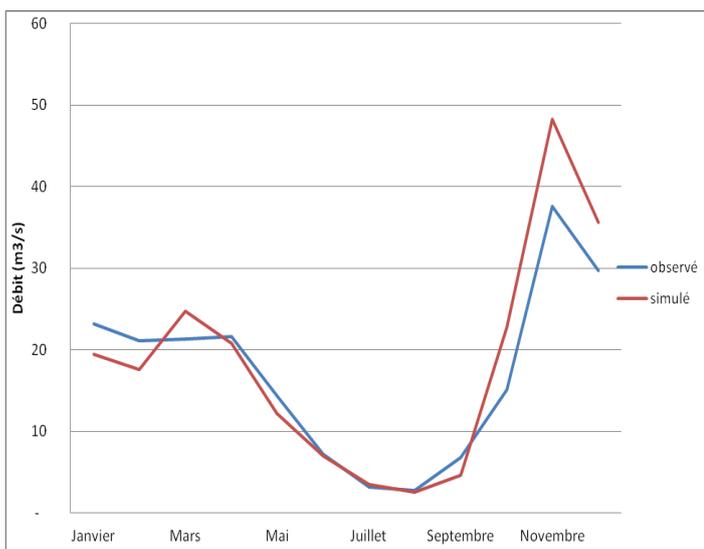


Illustration 35 – Débits mensuels observés et simulés sur l'Hérault à Laroque entre 2000 et 2011

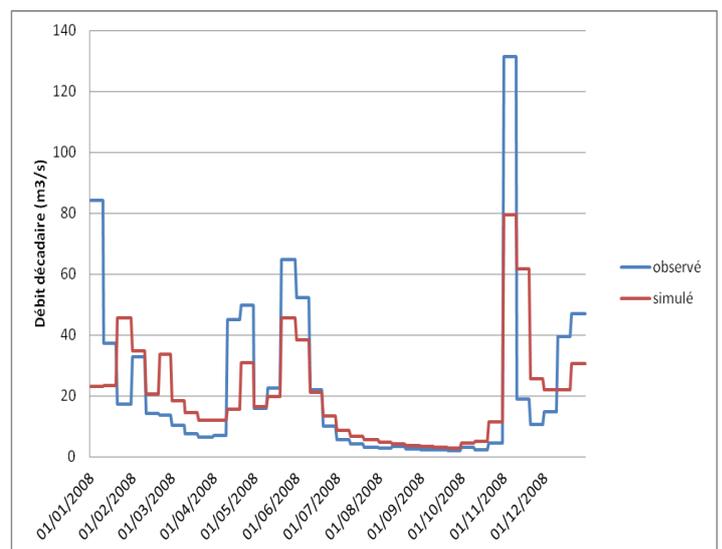


Illustration 36 – Débits décennaux observés et simulés en 2008 sur l'Hérault à Laroque

On observe une bonne représentation de la décroissance des débits en période estivale (juin à août).

Les graphiques ci-dessous comparent les débits simulés aux débits observés, en moyenne annuelle et au mois d'août.

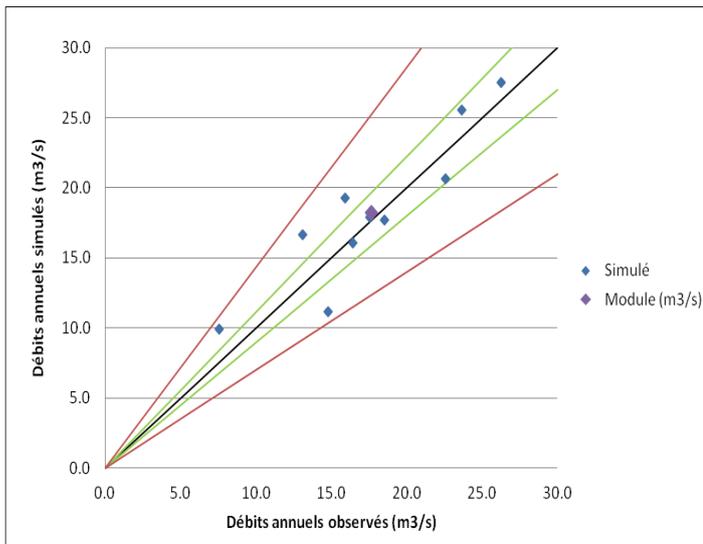


Illustration 37 – Comparaison des débits annuels simulés et observés sur l’Hérault à Laroque entre 2000 et 2011

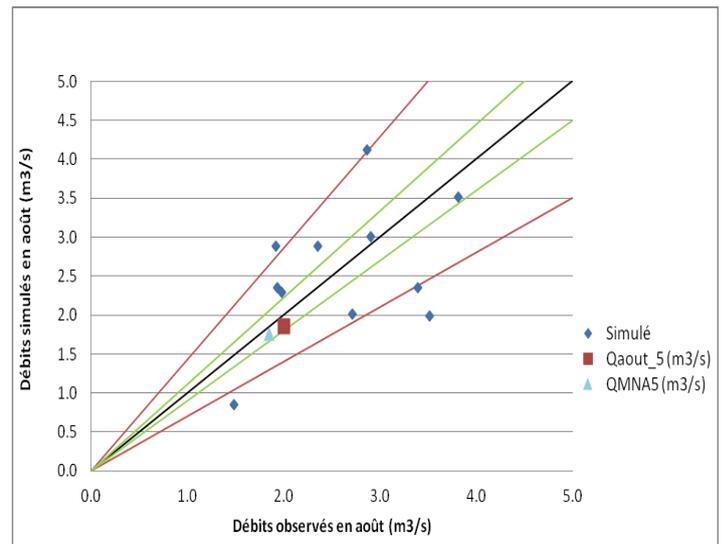


Illustration 38 – Comparaison des débits mensuels simulés et observés au mois d’août sur l’Hérault à Laroque entre 2000 et 2011

Cette station permet une reconstitution fiable des débits influencés observés à Laroque :

- L'estimation du module est correcte : 18.2 m³/s simulé pour 17.6 m³/s observé, soit moins de 5% d'écart ;
- Le QMNA5 est très bien reconstitué : 1.8 m³/s simulé et observé, soit moins de 5% d'écart.

La reconstitution sous-estime le débit de septembre et surestime le débit de novembre. Toutefois la bonne estimation du module montre qu'il s'agit uniquement d'un décalage des débits entre les mois d'automne (certainement à cause de stockage et de reconstitutions de nappes superficielles inconnues). Par contre, au printemps les débits sont mieux représentés que sur la Vis.

E.III.1.3 Station de Gignac aval sur l’Hérault

Le prélèvement du canal de Gignac a beaucoup évolué entre 2000 et 2011. Aussi, le prélèvement actuel n'est pas applicable sur toute la période, et il convient de comparer le débit simulé influencé au débit observé avec deux hypothèses de prélèvement différentes :

- Sur la période 2000-2007 avec les prélèvements de 2001 ;
- Sur la période 2008-2011 avec les prélèvements actualisés.

Les graphiques suivants présentent une comparaison des débits mensuels simulés influencés aux débits mensuels observés entre 2000 et 2007 et entre 2008 et 2011 à la station de Gignac aval sur l’Hérault.

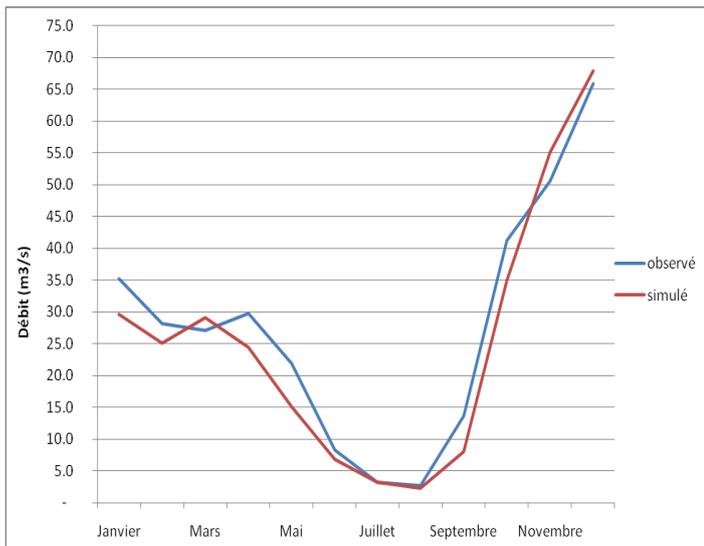


Illustration 39 – Débits mensuels observés et simulés sur l'Hérault à Gignac entre 2000 et 2007

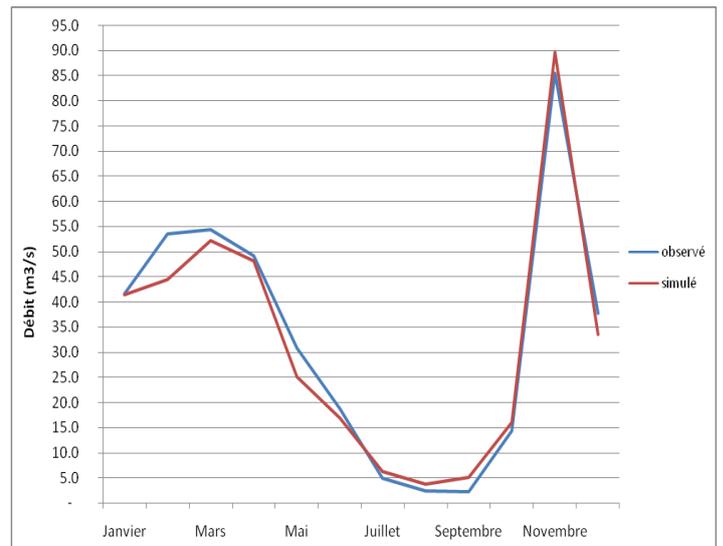


Illustration 40 – Débits mensuels observés et simulés sur l'Hérault à Gignac entre 2008 et 2011

On observe une bonne représentation des débits estivaux (juin – juillet - août).

Le graphique suivant présente les débits décadaires simulés et observés en 2008, qui est une année moyenne sur la chronique reconstituée.

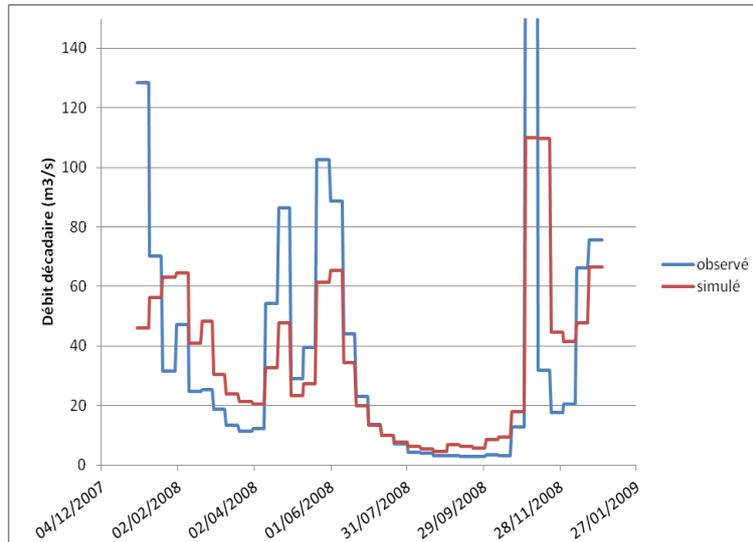


Illustration 41 - Débits décadaires observés et simulés en 2008 sur l'Hérault à Gignac aval

En analyse mensuelle sur 2008-2011, comme en analyse décadaire sur 2008, on observe une bonne représentation de la décroissance des mois de juin à août et une bonne simulation du débit de base.

Les graphiques ci-dessous comparent les débits simulés aux débits observés annuels et au mois d'août.

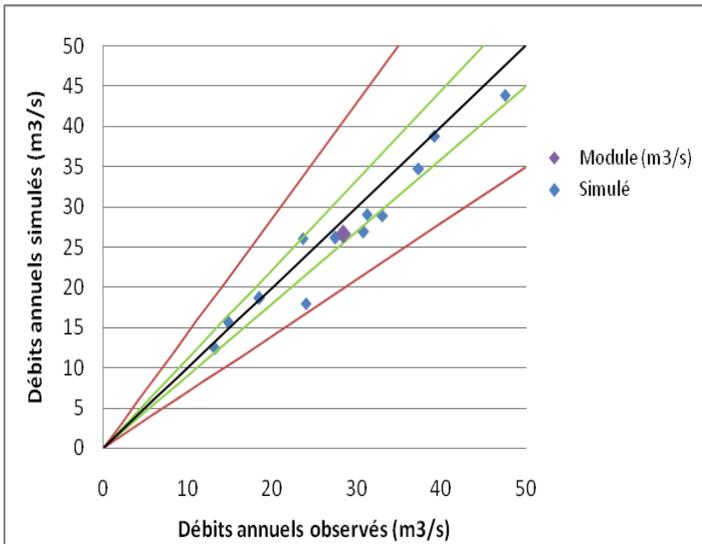


Illustration 42 – Comparaison des débits annuels simulés et observés sur l'Hérault à Gignac aval entre 2000 et 2011

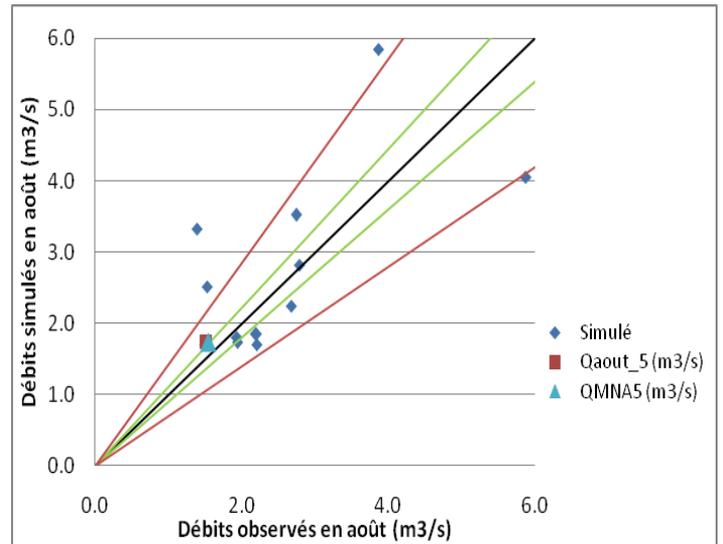


Illustration 43 – Comparaison des débits mensuels simulés et observés au mois d'août sur l'Hérault à Gignac aval entre 2000 et 2011

Cette station permet une reconstitution fiable des débits annuels avec un module simulé à $26.6 \text{ m}^3/\text{s}$, soit 8% de moins que le module observé ($28.4 \text{ m}^3/\text{s}$). Cette station permet une reconstitution fiable des débits d'étiage, avec 8% d'erreur sur le QMNA₅ ($1.7 \text{ m}^3/\text{s}$ simulé pour $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ observé).

E.III.1.4 Station de Lodève sur la Lergue

Les graphiques suivants présentent une comparaison des débits mensuels simulés influencés aux débits mensuels observés entre 2000 et 2011 et les débits décadaires simulés et observés en 2008, année moyenne sur la chronique, à la station de Lodève (Lergue).

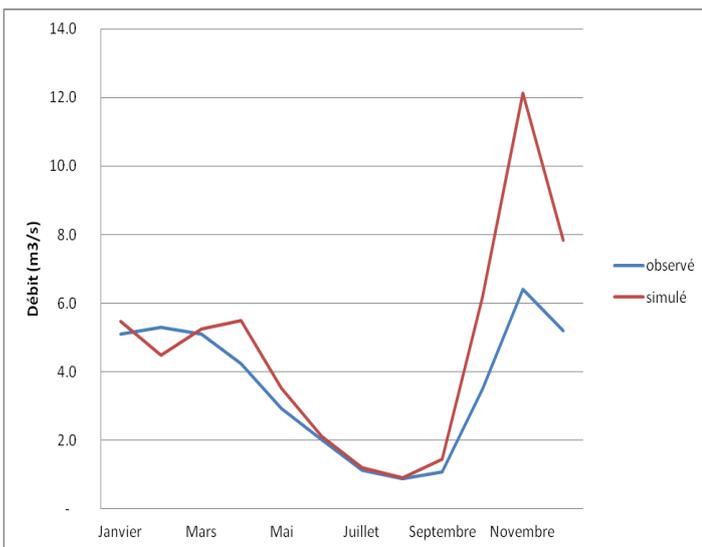


Illustration 44 – Débits mensuels observés et simulés sur la Lergue à Lodève entre 2000 et 2011

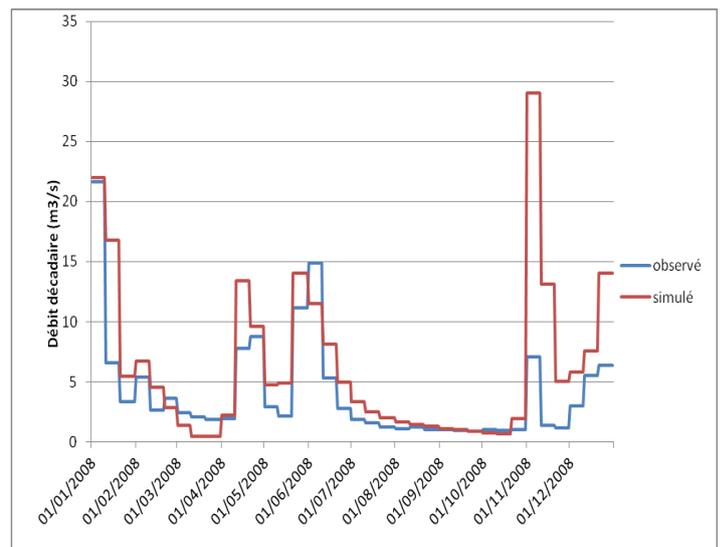


Illustration 45 – Débits décadaires observés et simulés en 2008 sur la Lergue à Lodève

On observe une bonne représentation du débit de base.

Les graphiques ci-dessous comparent les débits simulés aux débits observés au mois d'août.

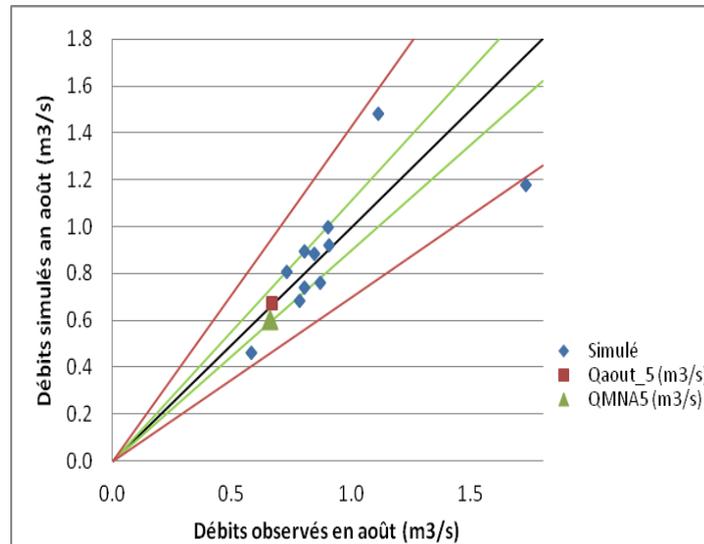


Illustration 46 – Comparaison des débits mensuels simulés et observés au mois d'août sur la Lergue à Lodève entre 2000 et 2011

La station permet une reconstitution fiable des débits d'été, avec un erreur de moins de 10% sur le QMNA₅.

E.III.2 Conclusion sur le calage des débits influencés

Le Tableau 15 dresse le récapitulatif de la reconstitution des débits influencés à chaque station de calage.

	Débits d'été		Qualité de la reconstitution
	Ecart du QMNA5	Taux de fiabilité des débits d'août	
St-Laurent-le-Minier	4%	0.55	Bonne simulation des débits d'été Surestimation des débits d'automne-hiver
Laroque	-5%	0.64	Bonne simulation printemps - été Surestimation des débits d'automne
Gignac	8%	0.83	Bonne estimation été-automne Sous-estimation hiver
Lodève	-9%	0.82	Bonne estimation été Surestimation automne

Tableau 15 - Fiabilité de la reconstitution des débits influencés

L'analyse des calages montre que la modélisation mise en place va permettre de répondre aux objectifs principaux de l'étude, à savoir estimer la ressource disponible en période d'étiage à partir du débit mensuel minimal de période de retour 5 ans.

En effet, le QMNA5 est reconstitué avec un écart de 9% au maximum avec une fiabilité intéressante des débits du mois d'août sur la majorité des stations.

F. VALIDATION DU MODÈLE DE RECONSTITUTION DES DÉBITS INFLUENCÉS

F.I MÉTHODE DE VALIDATION

L'objet de cette étape est de valider le modèle de simulation des débits influencés. Lors de la construction du modèle, il a été calé sur les années 2000 à 2011 si elles étaient disponibles. Aussi, deux validations sont réalisées.

Tout d'abord, les stations utilisées pour le calage sont utilisées pour la validation sur la chronique 1983-1999 (si disponible) :

- La Vis à Saint-Laurent-le-Minier (1983-1999) ;
- L'Hérault à Laroque (1983-1999) ;
- L'Hérault à Gignac (1993-1999) ;
- La Lergue à Lodève (1983-1999).

Ensuite, les stations n'ayant pas assez de données pour être utilisées pour le calage, ou dont la fiabilité n'est pas avérée (par manque de recul sur les données) ont fait l'objet d'une comparaison avec les données modélisées :

- L'Arre aux stations du Vigan (2009 à 2011) et de la Terrisse (2009 à 2011) ;
- L'Hérault à Valleraugue (2008 à 2011) ;
- L'Hérault à Canet (2009 à 2011) ;
- L'Hérault à Aspiran (2008 à 2011) ;
- L'Hérault à Agde (2000 à 2011) ;
- La Peyne à Roujan (2008 à 2011).

F.II VALIDATION DU MODÈLE A PARTIR DES DONNES OBSERVÉES SUR LA PÉRIODE 1983-1999

Les paragraphes suivants présentent l'analyse de la reconstitution des débits observés sur 1983-1999, par le modèle calé sur la période 2000-2011.

F.II.1 Station de St-Laurent-le-Minier sur la Vis

Le graphique suivant présente une comparaison des débits mensuels simulés influencés aux débits mensuels observés entre 1983 et 1999 à la station de Saint-Laurent-le-Minier sur la Vis.

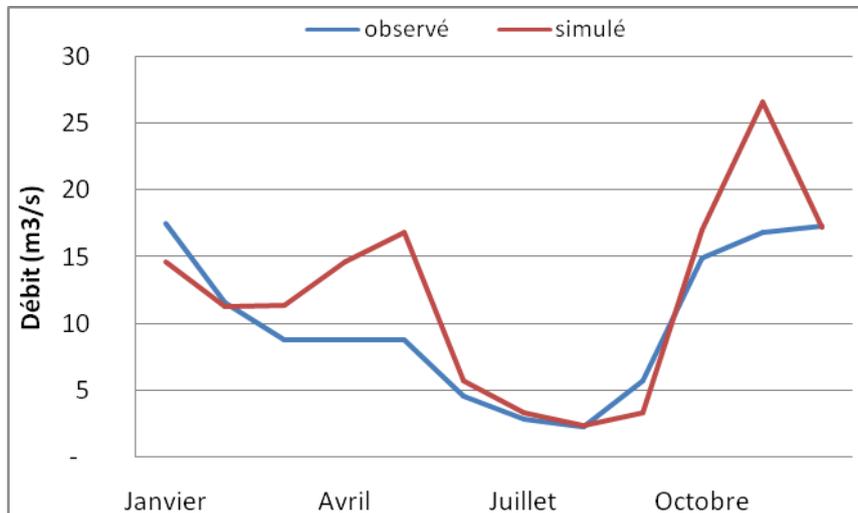


Illustration 47 - Débits mensuels observés et simulés sur la Vis à Saint-Laurent-le-Minier

Les graphiques suivants comparent l'écart entre les débits simulés et observés au mois d'août, sur la période de calage puis sur la période de validation.

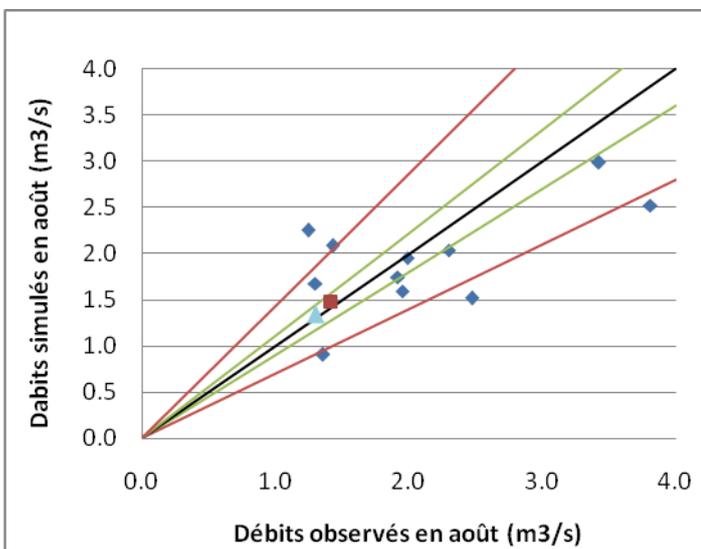


Illustration 48 – Calage des débits du mois d'août sur la Vis à Saint-Laurent-le-Minier entre 2000 et 2011

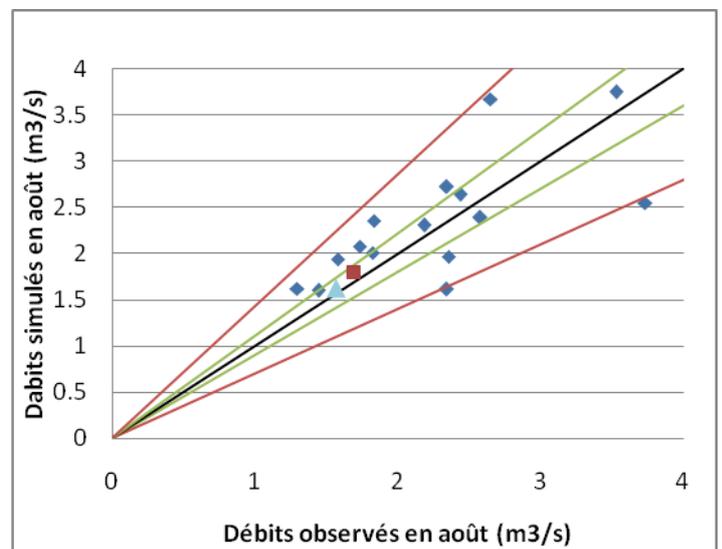


Illustration 49 – Validation des débits du mois d'août sur la Vis à Saint-Laurent-le-Minier entre 1983 et 1999

En comparant les débits caractéristiques calculés sur la période 1983-1999, on observe :

- **93%** des débits du mois d'août simulés avec moins de 30% d'écart au débit observé ;
- **Un écart de 3%** entre le QMNA5 simulé (1.62 m³/s) et le QMNA5 observé (1.57 m³/s).

F.II.2 Station de Laroque sur l'Hérault

Le graphique suivant présente une comparaison des débits mensuels simulés influencés aux débits mensuels observés entre 1983 et 1999 à la station de Laroque sur l'Hérault.

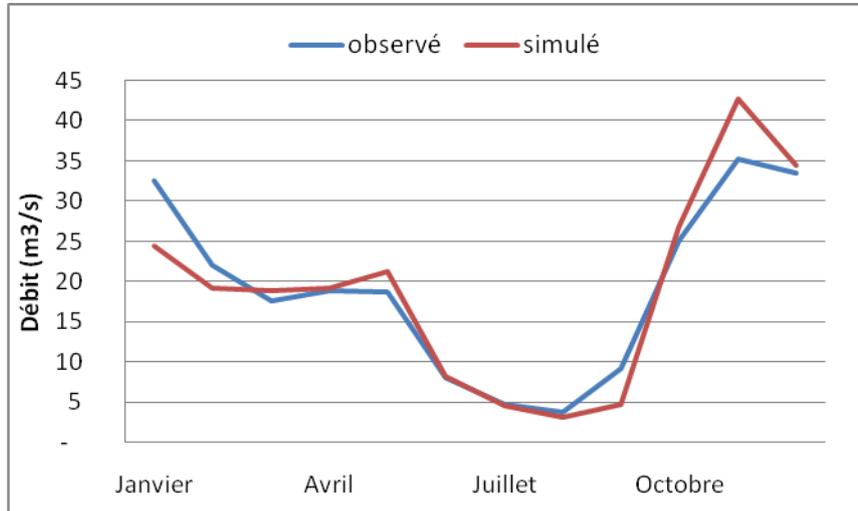


Illustration 50 - Débits mensuels observés et simulés sur l'Hérault à Laroque

Les graphiques suivants comparent l'écart entre les débits simulés et observés au mois d'août, sur la période de calage puis sur la période de validation.

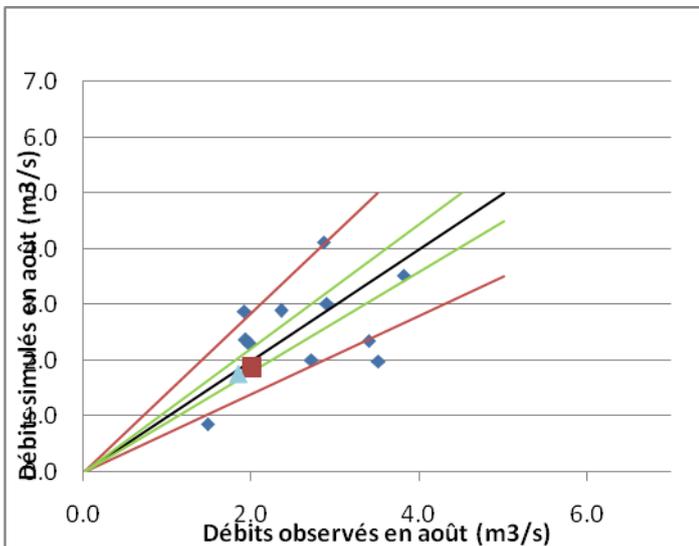


Illustration 51 – Calage des débits du mois d'août sur l'Hérault à Laroque entre 2000 et 2011

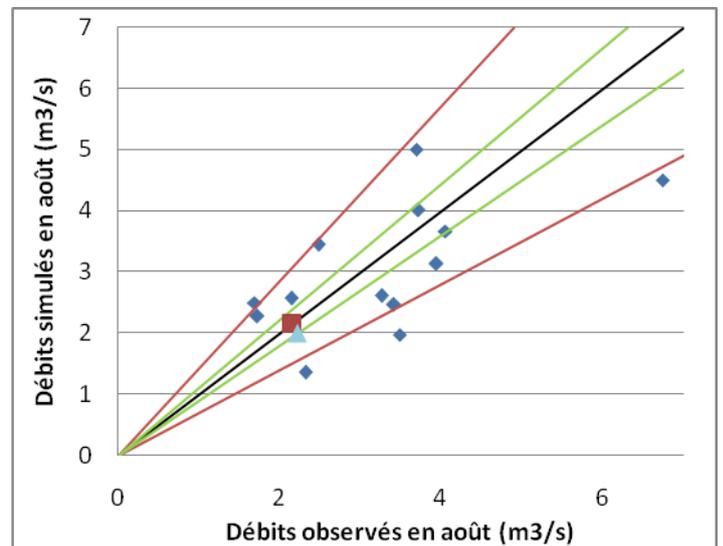


Illustration 52 – Validation des débits mensuels du mois d'août sur l'Hérault à Laroque entre 1983 et 1999

En comparant les débits caractéristiques calculés sur la période 1983-1999, on observe :

- **70% des débits du mois d'août simulés avec moins de 30% d'écart au débit observé ;**
- **Un écart de 10% entre le QMNA5 simulé (1.99 m³/s) et le QMNA5 observé (2.20 m³/s).**

F.II.3 Station de Gignac sur l'Hérault

Le graphique suivant présente une comparaison des débits mensuels simulés influencés aux débits mensuels observés entre 1993 et 1999 à la station de Gignac sur l'Hérault.

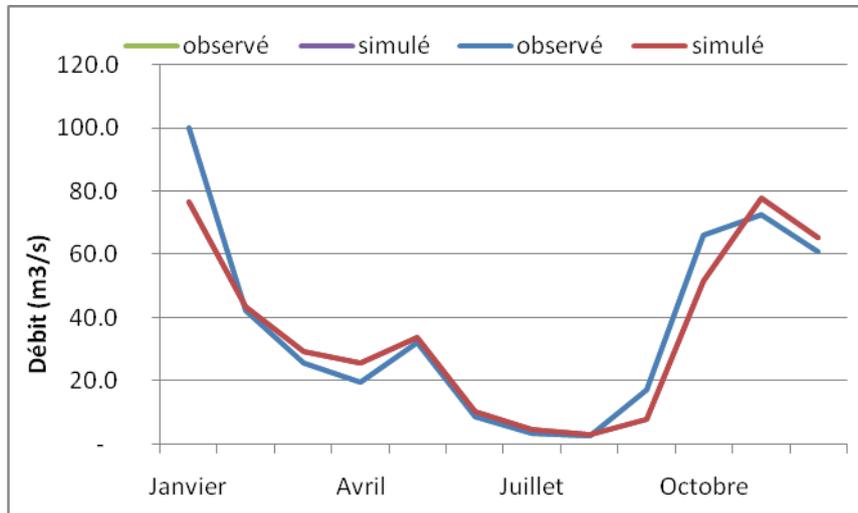


Illustration 53 - Débits mensuels observés et simulés sur l'Hérault à Gignac

Les graphiques suivants comparent l'écart entre les débits simulés et observés au mois d'août, sur la période de calage puis sur la période de validation.

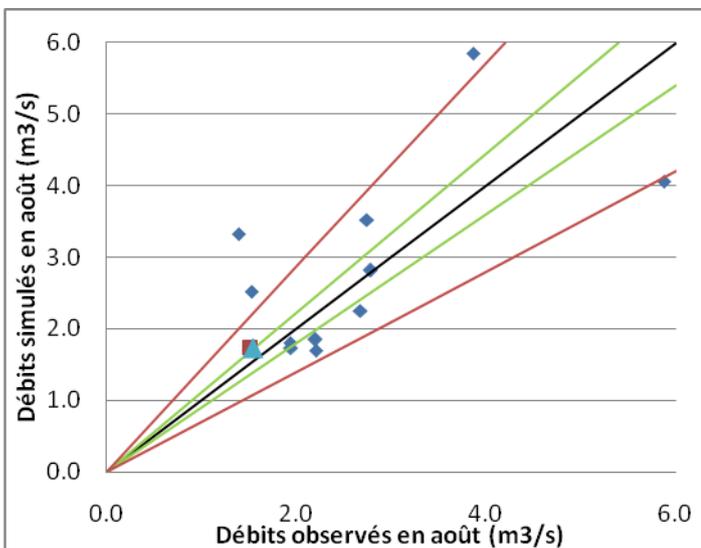


Illustration 54 - Calage des débits du mois d'août sur l'Hérault à Gignac entre 2000 et 2011

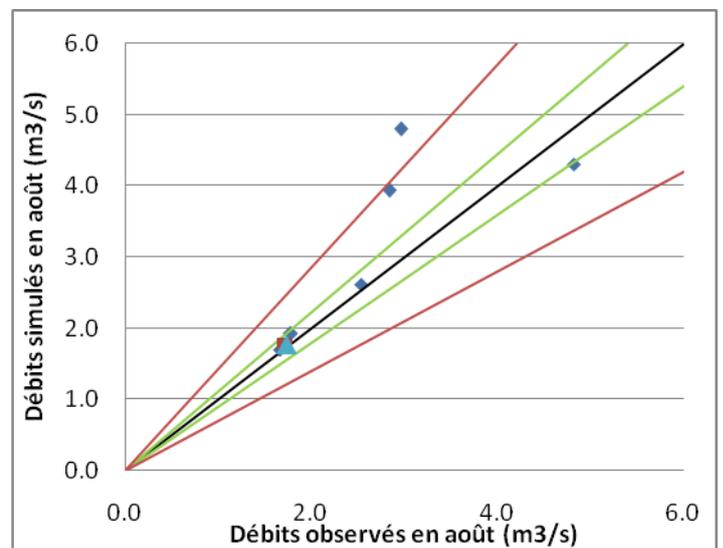


Illustration 55 - Validation des débits du mois d'août sur l'Hérault à Gignac entre 1993 et 1999

En comparant les débits caractéristiques calculés sur la période 1993-1999, on observe :

- **80% des débits du mois d'août simulés avec moins de 30% d'écart au débit observé ;**
- **Un écart de 2% entre le QMNA5 simulé (1.77 m³/s) et le QMNA₅ observé (1.74 m³/s).**

F.II.4 Station de Lodève sur la Lergue

Le graphique suivant présente une comparaison des débits mensuels simulés influencés aux débits mensuels observés entre 1983 et 1999 à la station de Lodève sur la Lergue.

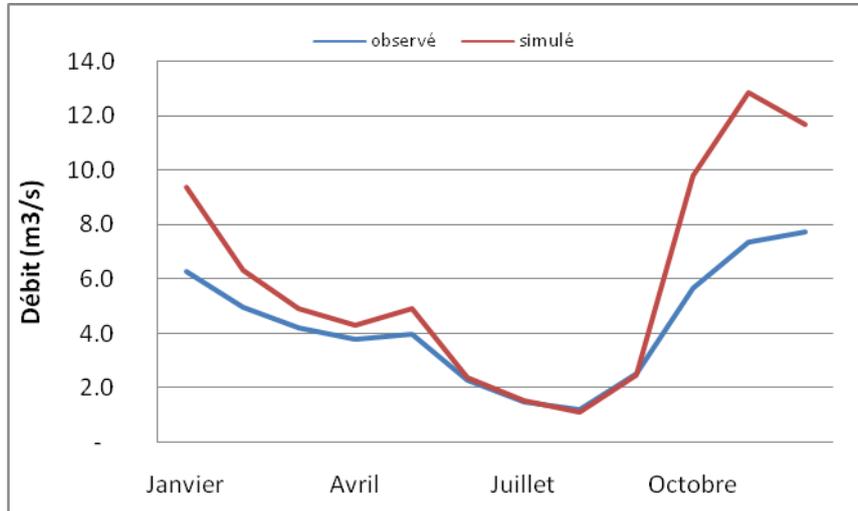


Illustration 56 - Débits mensuels observés et simulés sur la Lergue à Lodève

Les graphiques suivants comparent l'écart entre les débits simulés et observés au mois d'août, sur la période de calage puis sur la période de validation.

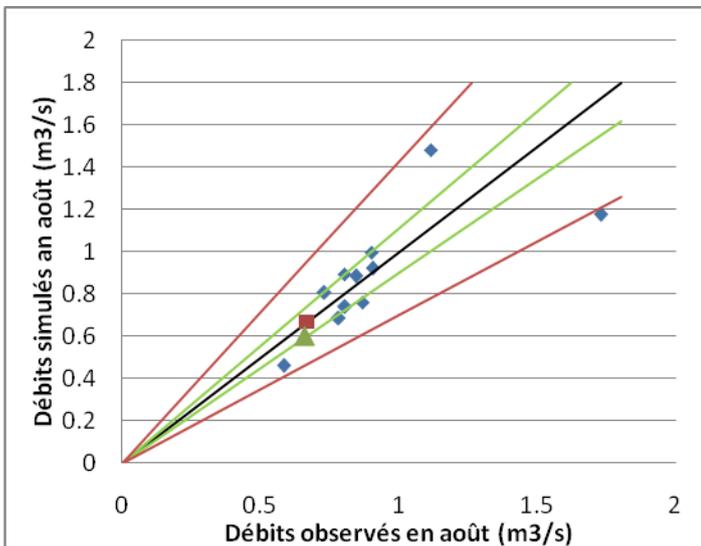


Illustration 57 – Calage des débits du mois d'août sur la Lergue à Lodève entre 2000 et 2011

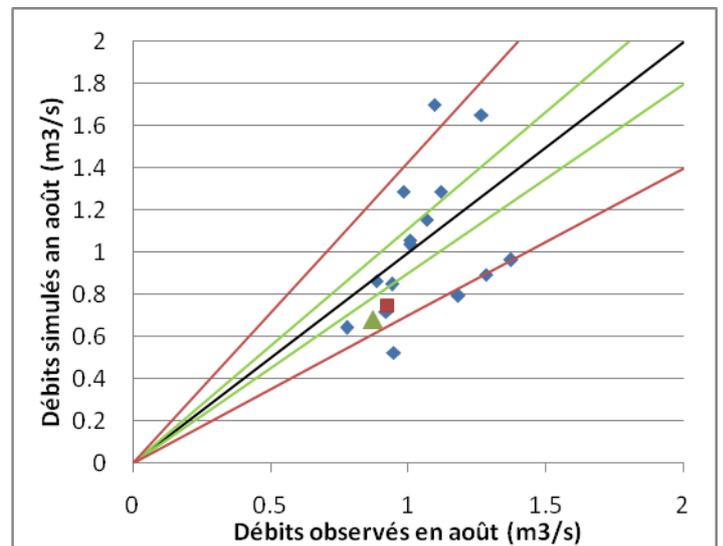


Illustration 58 - Validation des débits du mois d'août sur la Lergue à Lodève entre 1983 et 1999

En comparant les débits caractéristiques calculés sur la période 1983-1999, on observe :

- **80% des débits du mois d'août simulés avec moins de 30% d'écart au débit observé ;**
- **Un écart de 22% entre le QMNA5 simulé (0.68 m³/s) et le QMNA5 observé (0.87 m³/s).**

F.II.5 Synthèse sur la reconstitution des débits sur la période 1983-1999

Le tableau suivant compare la reconstitution des débits du mois d'août à chaque station, sur la chronique de calage et sur la chronique de validation.

	Phase de calage		Phase de validation		Remarques
	Ecart du QMNA ₅	Taux de fiabilité des débits	Ecart du QMNA ₅	Taux de fiabilité des débits	
St-Laurent-le-Minier	4%	0.55	3%	0.93	Meilleure fiabilité sur la validation
Laroque	-5%	0.64	-10%	0.70	
Gignac	8%	0.83	2%	0.80	
Lodève	-9%	0.82	-22%	0.80	Ecart du QMNA ₅ supérieur à 10% mais bonne fiabilité

* Pourcentage de valeurs simulées avec un écart < 30% par rapport aux valeurs observées

Tableau 16 – Synthèse sur la reconstitution des débits du mois d'août

La reconstitution des QMNA₅ est satisfaisante : en effet,

- A St-Laurent-le-Minier, la phase de validation donne de meilleurs résultats que le calage. Le QMNA₅ est simulé avec un écart inférieur à 5%, et le taux de fiabilité augmente de 0.55 à 0.93 ;
- Le QMNA₅ de l'Hérault à Laroque est simulé avec un écart maximal de 10%, et un taux de fiabilité qui augmente de 0.64 en phase de calage à 0.70 en phase de validation ;
- A Gignac, le QMNA₅ est simulé avec moins de 10% d'erreur, et les débits du mois d'août ont un taux de fiabilité supérieur à 0.80 pour les chroniques de calage et de validation.

Sur la Lergue, bien que les débits du mois d'août soient simulés avec une grande fiabilité, l'erreur sur le QMNA₅ en phase de validation est supérieure à 20%. Comme dans le cas des débits annuels, cet écart peut être lié à une modification de la courbe de tarage ou à une évolution des prélèvements. Toutefois, l'erreur sur la modélisation de la Lergue a un impact relatif sur les débits de l'Hérault.

Enfin, malgré l'impossibilité de la réalisation de la validation des débits de l'Hérault à Aspiran, les résultats du calage étaient satisfaisants.

F.III VALIDATION A PARTIR DES AUTRES STATIONS

F.III.1 Stations de La Terrisse et du Vigan sur l'Arre

Le graphique suivant présente une comparaison des débits mensuels simulés influencés aux débits mensuels observés entre 2009 et 2011 aux stations de La Terrisse et du Vigan sur l'Arre.

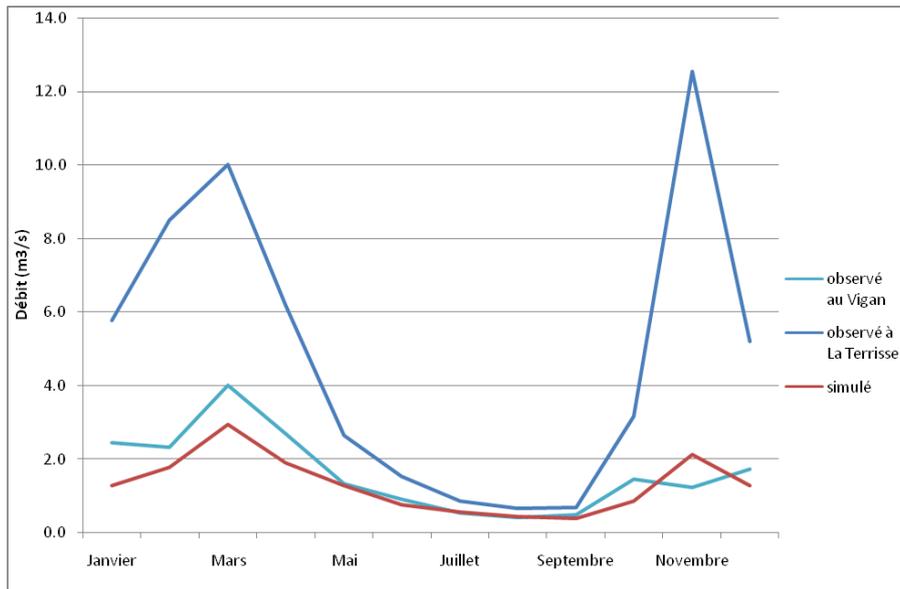


Illustration 59 - Débits mensuels observés et simulés sur l'Arre entre 2009 et 2011

Le graphique suivant présente les débits décadaires simulés et observés en 2010, qui est une année moyenne sur les 3 années disponibles (2009 à 2011).

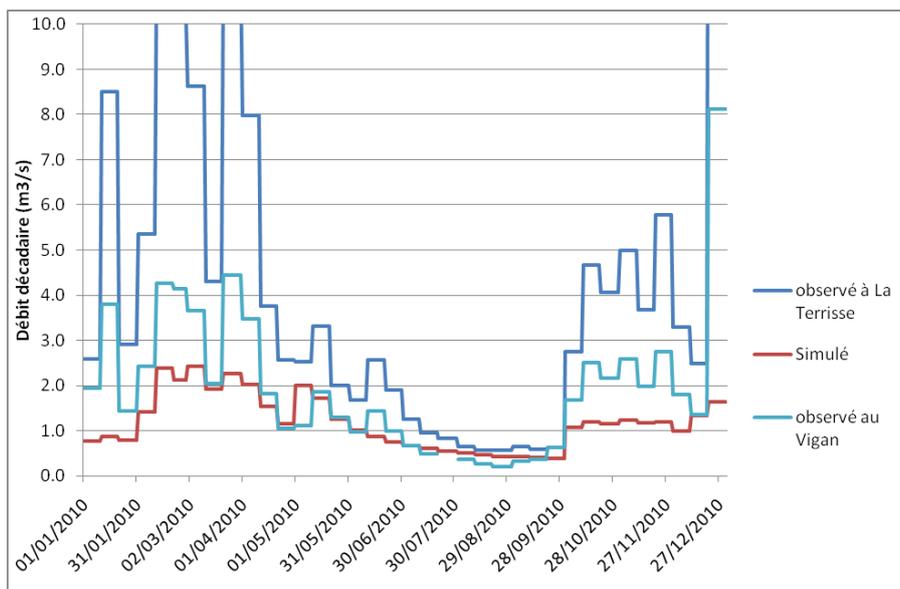


Illustration 60 - Débits décadaires observés et simulés en 2010 sur l'Arre

Le débit estival (juin à août) simulé est compris entre les débits observés à La Terrisse et au Vigan.

Du fait des modifications récentes apportées à la station de la Terrisse, le manque de données utilisables ne permet pas de comparer de manière significative les statistiques de la chronique simulée aux statistiques observées. Toutefois, la comparaison des simulations aux observations entre 2009 et 2011 permet de considérer la reconstitution comme assez fiable.

F.III.2 L'Hérault à Valleraugue

La station de Valleraugue a fonctionné entre 1960 et 1982 puis une nouvelle station a été mise en place en 2008.

Entre 2000 et 2008, les débits simulés à Valleraugue sont inférieurs aux débits observés : le débit du mois d'août observé est de 600 l/s, il est simulé à 200 l/s. Cet écart est dû soit à une erreur de modélisation sur le bassin versant de tête de l'Hérault, soit à une surestimation des débits par la station.

En effet, sur les années 2008 à 2010, les débits mesurés se maintiennent à 600 l/s pendant l'étiage (de juillet à octobre), alors qu'une diminution serait attendue. De plus, l'ancienne station de mesure à Valleraugue ayant fonctionné de 1960 à 1983, a enregistré un débit moyen pour le mois d'août de 400 l/s. Or, les années 2008 à 2010 ne sont pas particulièrement humides : les débits mesurés par la nouvelle station semblent surestimés.

Par ailleurs, la période de fonctionnement de l'ancienne station représente une chronique de 22 ans, suffisamment longue pour calculer des quantiles statistiques. Le QMNA₅ observé sur cette période est de 400 l/s. La modélisation sur 1983-2011 donne un QMNA₅ de 130 l/s, ce qui est proche (30% d'erreur) du QMNA₅ observé.

La nouvelle station de Valleraugue semble donc surestimer les débits du mois d'août. Bien que la simulation ne reproduise pas ces débits, elle semble assez fiable d'un point de vue statistique, puisqu'elle permet de reproduire le QMNA₅ mesuré par l'ancienne station (avec 30% d'erreur).

Cela limite toutefois l'extrapolation de la reconstitution des débits au bassin versant situé à l'extrême amont de l'Hérault (H1).

F.III.3 L'Hérault à Canet

La comparaison montre des débits simulés en étiage inférieurs aux débits mesurés à Canet (5.9 m³/s au mois d'août, contre 8 m³/s mesurés). Toutefois, les débits mesurés ne descendent pas en dessous de 8 m³/s, et se maintiennent tout au long de l'étiage : la station ne semble pas pouvoir mesurer des débits plus faibles.

F.III.4 L'Hérault à Aspiran

La station ayant cessé de fonctionner de 2002 à 2008, les seules années utilisées sont les années récentes : 2008 à 2011. Le graphique suivant présente une comparaison des débits mensuels simulés influencés aux débits mensuels observés entre 2008 et 2011.

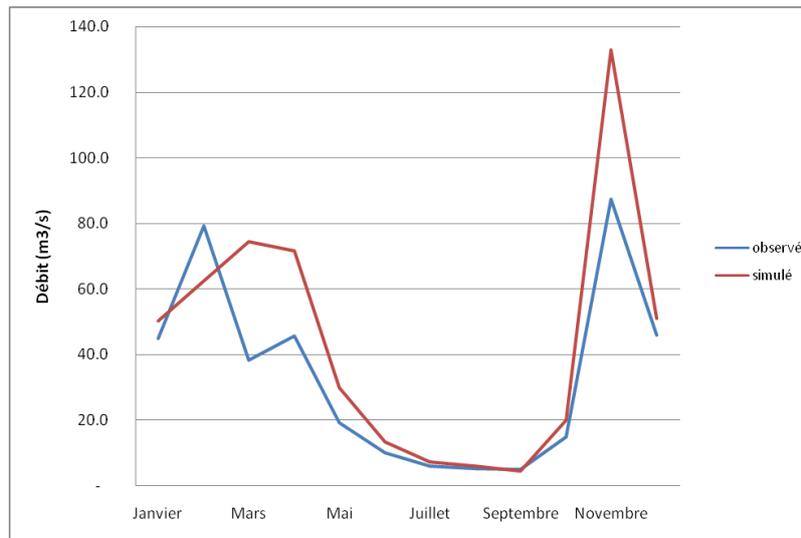


Illustration 61 – Débits mensuels observés et simulés sur l'Hérault à Aspiran

En débit mensuel, on observe une bonne représentation de la décroissance des mois de juin, juillet et août et une bonne simulation du débit de base.

Le peu d'années disponibles (2008 à 2011) ne permet pas de calculer les débits caractéristiques sur la station. Parler de module a peu de sens sur 3 ans, mais il est possible de comparer les débits annuels moyens : le débit annuel moyen simulé est de $43.4 \text{ m}^3/\text{s}$, contre $32 \text{ m}^3/\text{s}$ observé. **Le modèle tend donc à surestimer le module.**

L'ancienne période de fonctionnement, 1994-2002, représente seulement 8 ans, ce qui n'est pas suffisant pour calculer un QMNA_5 . A titre informatif, le QMNA_5 calculé sur les données observées serait de 3490 l/s . La modélisation sur 1983-2011 donne un QMNA_5 de 2940 l/s , et donnerait un QMNA_5 de 3210 l/s sur 1994-2002. **L'écart sur 1994-2002 est de 8%. Aussi, la reconstitution des débits d'étiage semble fiable. Cette analyse est toutefois à moduler du fait du peu d'années utilisé pour le calcul du QMNA_5 .**

F.III.5 L'Hérault à Agde

Malgré une grande dispersion des valeurs (cf. B.II. Analyse des stations), la station d'Agde permet une comparaison des débits caractéristiques. L'illustration suivante compare les débits mensuels d'août simulés aux débits observés à Agde entre 2000 et 2011.

Les graphiques ci-dessous comparent les débits simulés aux débits observés, en moyenne annuelle au mois d'août.

On observe une surestimation des modules. Le modèle donne un module de $42 \text{ m}^3/\text{s}$ entre 2000 et 2011, contre $29 \text{ m}^3/\text{s}$ observé.

La modélisation montre une bonne reconstitution des débits estivaux : le QMNA_5 simulé sur la chronique 2000-2011 est de $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$, contre $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ observé, soit moins de 10% d'erreur.

Ainsi, sur l'extrême aval du bassin, le modèle donne une bonne représentation des débits d'étiage, mais surestime le module.

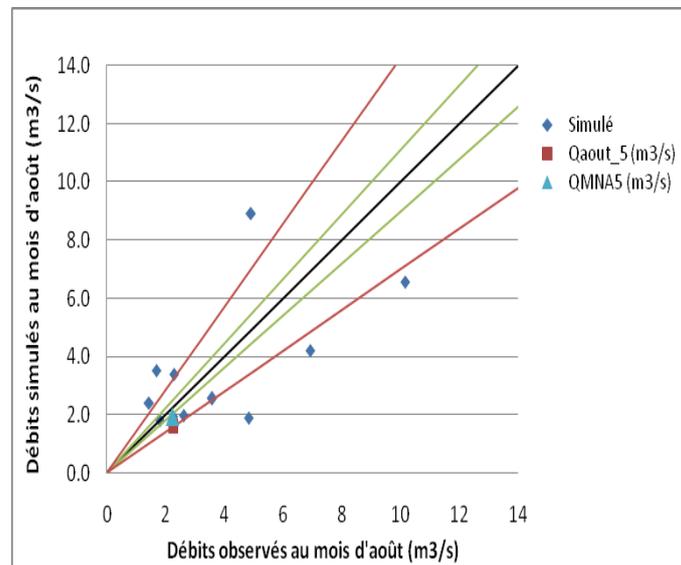


Illustration 62 – Comparaison des débits mensuels simulés et observés au mois d'août sur l'Hérault à Agde entre 2000 et 2011

F.III.6 La Peyne à Roujan

La station de Roujan sur la Peyne ne dispose que de 5 années de données. Située en aval du barrage des Olivettes, le débit d'étiage de la Peyne est principalement dû au débit du barrage, estimé à 50 l/s en période estivale. La particularité de l'année 2007, avec un débit moyen de 188 l/s, contre 77 l/s pour les autres années conduit à éliminer cette année. Les débits sont comparés sur les années 2008 à 2011 (graphique ci-dessous).

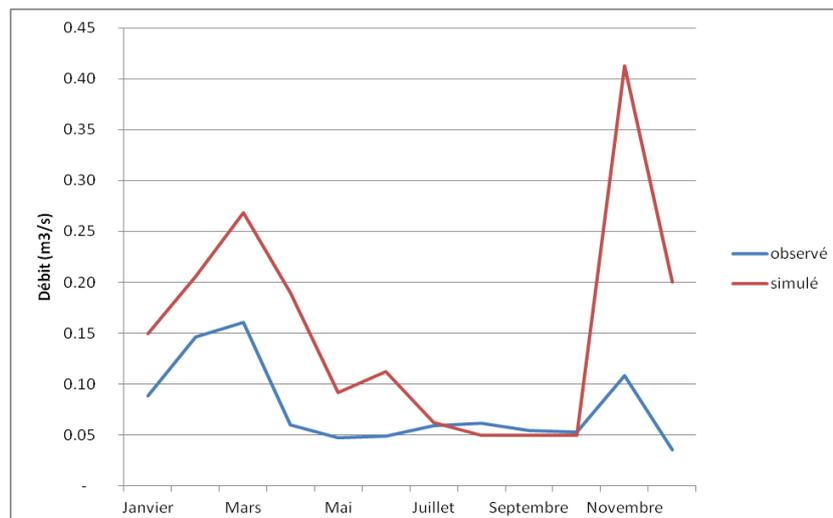


Illustration 63 - Débits mensuels observés et simulés sur la Peyne à Roujan

On observe une bonne représentation des débits en été (erreur de 10 l/s). De plus, les débits de la Peyne ne représentant que 1/100^{ème} du débit de l'Hérault, cet affluent a peu d'influence sur l'hydrologie globale. La reconstitution apparaît donc comme suffisante.

F.IV SYNTHÈSE SUR LA VALIDATION DU MODELE

F.IV.1 Qualité du modèle et précautions d'utilisation

Il y a peu de différences entre la période de calage et la période de validation du modèle : le modèle donne une représentation des écoulements avec des taux d'erreur comparable, il peut donc être considéré comme robuste.

La qualité du modèle global (ATHYS, module nappe et module prélèvements/ restitutions) mis en place est satisfaisante au regard des résultats statistiques :

- Utilisable pour définir les débits naturels servant de base aux volumes prélevables ;
- Utilisable pour tester des scénarios et évaluer l'influence de certains facteurs et usages (taux de retour, restitution, importation), et donc proposer un partage du volume prélevable et des solutions pour éventuellement mobiliser de nouvelles ressources.

Il est à retenir que le modèle répond à ses objectifs, à savoir de reproduire les variables hydrologiques du bassin versant. Il ne doit pas être utilisé pour prédire une valeur ponctuelle, mais bien pour calculer les statistiques caractéristiques de l'hydrologie sur le bassin versant de l'Hérault.

Par ailleurs, les stations de calage sont toutes situées en partie amont du bassin, la plus en aval étant la station de Gignac. L'utilisation des autres stations en phase de validation, notamment la station d'Aspiran, a permis de connaître le comportement du modèle sur la partie aval. Ainsi, sur l'extrême aval du bassin, le modèle donne une bonne représentation des débits d'étiage, mais surestime le module.

Les résultats du modèle ont été comparés aux valeurs reconstitués des débits influencés dans le cadre de « l'étude de définition des débits d'étiage de référence pour la mise en œuvre d'une gestion quantitative de la ressource en eau dans le bassin versant du fleuve Hérault » réalisée par GINGER pour le compte du Conseil Général de l'Hérault en 2008 (cf. annexe 4).

Compte tenu que les approches méthodologiques sont différentes, les résultats sont difficilement comparables entre les deux méthodes.

Compte tenu de :

- La fiabilité du modèle présenté pour reproduire les débits caractéristiques influencés (QMNA5) aux stations hydrométriques (référence pour l'estimation des volumes prélevables),
- De la faculté du modèle à produire des valeurs de débits naturels en tout point du bassin versant,

- Des possibilités d'utiliser le modèle développé pour simuler des scénarios permettant d'alimenter le schéma de gestion de la ressource en eau du bassin versant de l'Hérault,

Les résultats de la modélisation, développée dans le cadre de l'EVP de l'Hérault, sont conservés pour la suite de l'étude.

F.IV.2 Estimations des incertitudes du modèle

Une estimation de l'erreur est proposée pour les différentes variables hydrologiques de caractérisation des débits influencés :

- < 30% sur les débits moyens mensuels des mois d'octobre ; novembre, décembre ;
- < 20% sur les débits moyens annuels ;
- < 10% sur les débits statistiques d'étiage (QMNA₅).

Ces incertitudes seront à utiliser dans les phases ultérieures de l'étude (scénarios, proposition des volumes prélevables, ...).

G. RECONSTITUTION DES DÉBITS NATURELS

Jusqu'à maintenant, le calage et la validation du modèle hydrologique du bassin versant de l'Hérault ont été réalisés en régime influencé soit en tenant compte des prélèvements.

L'estimation de la ressource disponible et les propositions des volumes prélevables se basent sur les débits en régime naturel soit sans l'influence des prélèvements.

G.I.1 Estimations des débits caractéristiques de l'Hérault

Les résultats de la modélisation (QMNA₅) ont été analysés et comparés aux résultats de l'étude précédente, qu'il s'agisse des débits influencés ou des débits naturels (cf. annexe 4).

BV	Surface (km²)	QMNA5 influencé (m³/s)	QMNA5 naturel (m³/s)
A	174	0.41	0.44
V	480	0.86	1.40
H1	109	0.34	0.36
H2	20	0.82	0.87
H3	360	3.37	3.26
H4	99	2.09	3.58
H5	212	2.79	3.89
H6	202	4.03	4.08
H7	100	4.00	4.21
H8	90	1.90	3.63
L1	220	0.60	0.79
L2	206	1.14	1.18
B	76	0.03	0.03
P	119	0.05	0.12
T	149	0.18	0.20

Tableau 17 - Débits caractéristiques de l'Hérault

L'analyse des débits naturels montre que :

- **Les débits de la Vis et de la Lergue contribuent fortement au débit d'étiage de l'Hérault ;**
- **Sur tout le bassin versant, le module augmente avec la superficie drainée.**
- **Les débits d'étiage stagnent en sortie des gorges, sous l'influence de l'apparition de la nappe d'accompagnement de l'Hérault.**
- **Enfin, après augmentation des débits suite aux apports de la Lergue, les débits d'étiage naturels diminuent à l'aval, du fait de l'existence d'une réelle nappe alluviale.**

G.II ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES DÉBITS INFLUENCÉS SUR LE BASSIN VERSANT

G.II.1 Analyse des QMNA5 influencés

Le graphique ci-dessous montre l'évolution du QMNA₅ influencé de l'Hérault et de ses affluents principaux.

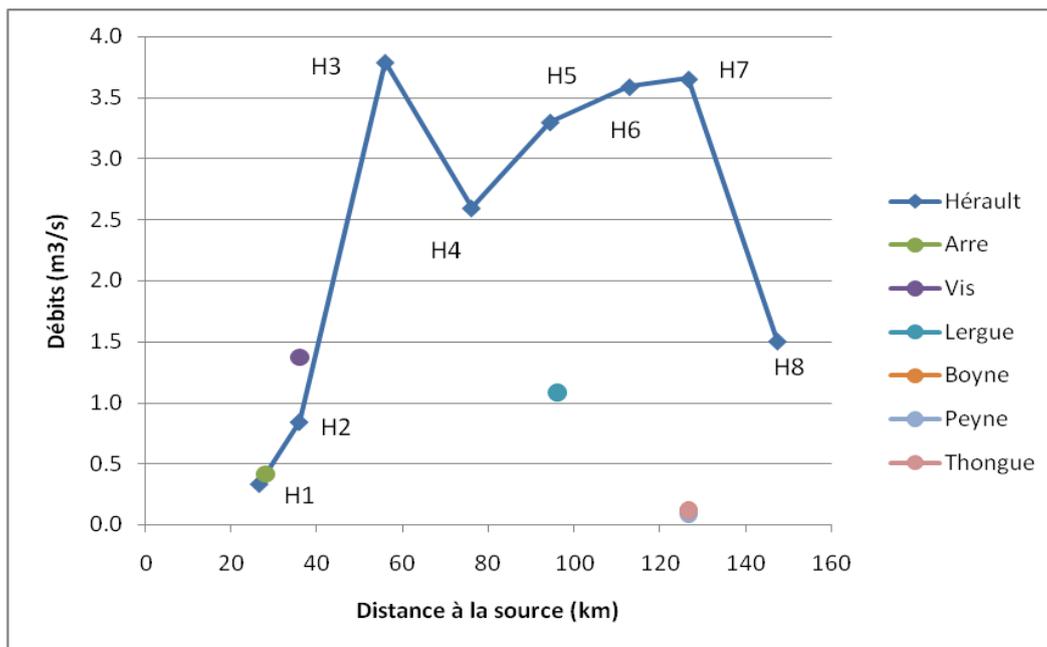


Illustration 64 - Profil en long du QMNA5 influencé de l'Hérault et ses affluents

N.B. : Attention, les débits annoncés ici ne sont valables que si l'on considère que les prélèvements sont constants sur la durée de la simulation. Les caractéristiques calculées ne sont donc applicables que sur les années récentes.

L'analyse des QMNA₅ influencés fait ressortir quatre parties différentes sur le bassin versant de l'Hérault :

- **L'amont, où les débits d'étiage augmentent**, jusqu'à 3.8 m³/s en H3. Cette augmentation est renforcée par les apports de l'Arre et de la Vis.
- **Le prélèvement du canal de Gignac**, qui entraîne une chute du débit d'étiage influencé, à 2.6 m³/s en H4.
- **La moyenne vallée de l'Hérault**, jusqu'au bassin H7, où les débits augmentent progressivement jusqu'à 3.7 m³/s en H7.
- **Enfin, l'extrême aval**, où le débit chute à 1.5 m³/s sous l'influence des prélèvements importants, notamment le prélèvement du Syndicat du Bas Languedoc dans la nappe alluviale de l'Hérault.

G.III ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES DÉBITS NATURELS SUR LE BASSIN VERSANT

G.III.1 Analyse des QMNA5 naturels

Le graphique ci-dessous montre l'évolution du QMNA₅ naturel de l'Hérault et de ses affluents principaux.

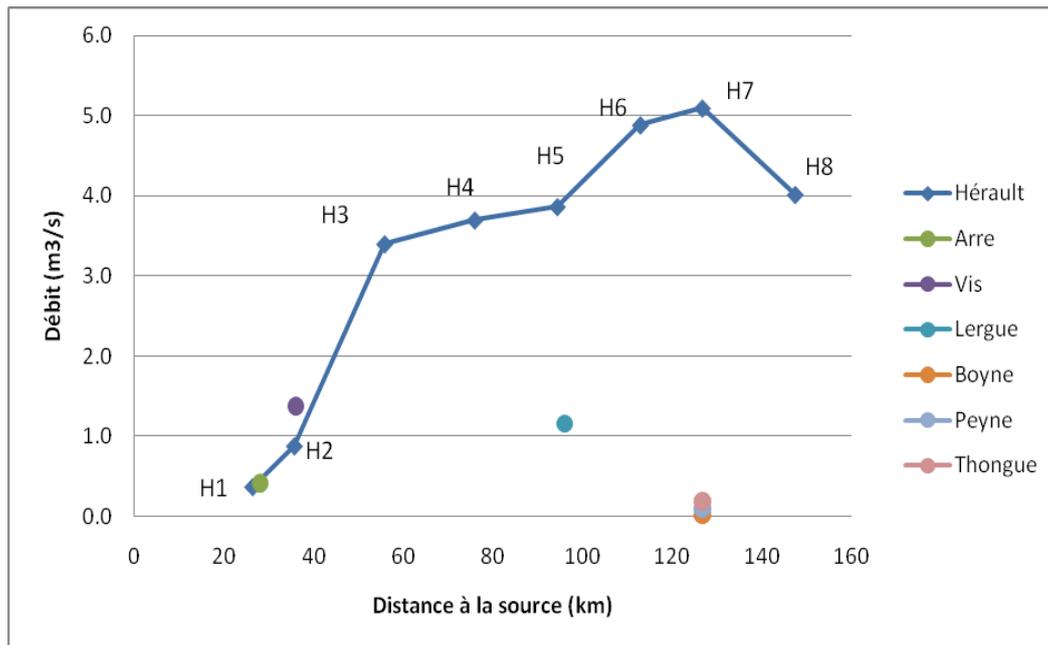


Illustration 65 - Profil en long du QMNA5 naturel de l'Hérault et ses affluents

En première approche, l'analyse de l'évolution du QMNA₅ naturel de l'Hérault le long du bassin versant permet de le sectoriser en quatre parties :

- **Les débits de l'amont du bassin versant de l'Hérault et de l'Arre** ne sont garantis que par le ruissellement en surface et en sub-surface (H1, H2 et bassin de l'Arre). Du fait des pentes importantes et de l'absence de nappe, le ruissellement est important.
- **A partir de la confluence avec la Vis (à Laroque, H3), on observe une légère augmentation des débits d'étiage** jusqu'à 5.1 m³/s au bassin H7. Les affluents à l'aval du bassin ont un débit très faible et alimentent faiblement l'Hérault. Le seul apport conséquent est l'alimentation par la Lergue, au niveau du bassin H6.
- **A l'extrême aval, la nappe alluviale prend plus d'importance** et entraîne une diminution des débits à 4 m³/s à son exutoire.
- **Les bassins de la Vis et de la Lergue, les deux affluents principaux de l'Hérault**, sont en partie karstiques. Même si les interactions entre cours d'eau et ressource karstique sont mal connues, il est clair que ces deux bassins contribuent fortement au début de l'Hérault. En effet, les QMNA₅ de la Vis (1.4 m³/s) et de la Lergue (1.2 m³/s) représentent 63% du QMNA₅ de l'Hérault à Agde (4 m³/s).

H. SYNTHÈSE SUR L'HYDROLOGIE

Un groupe d'expertise composé des services de l'Etat (DDTM34 et DREAL LR), de l'ONEMA, du SMBFH de l'Agence de l'Eau RMC et de CEREG Ingénierie a synthétisé l'ensemble des données et des résultats des études concernant l'hydrologie de surface du bassin de l'Hérault.

En s'appuyant sur ces travaux, le groupe a pu définir les valeurs caractéristiques d'étiage aux points d'étude. Ces valeurs, été validées par la DREAL-LR, seront utilisées pour la suite de l'étude ; Elles sont présentées dans les tableaux suivants :

Sous bassin	Cours d'eau	QMNA5	Débits moyens mensuels sec de récurrence 5 ans			
			Juin	Juillet	Aout	Septembre
H1	Hérault	330	619	443	353	357
A	Arre	550	865	661	559	576
H2	Hérault	900	1 539	1 195	992	1 009
V	Vis	1 400	3 105	2 026	1 547	1 493
H3	Hérault	3 300	6 629	4 648	3 678	3 580
H4		3 600	7 184	5 044	3 994	3 882
H5		3 800	7 295	4 929	3 800	4 000
L1	Lergue	800	1 459	1 062	835	800
L2		1 100	2 444	1 996	1 519	1 297
H6	Hérault	4 100	10 110	6 456	4 959	4 623
H7	Hérault	4 200	10 647	6 892	5 261	4 848
H8		3 600	9 508	5 647	4 090	5 122

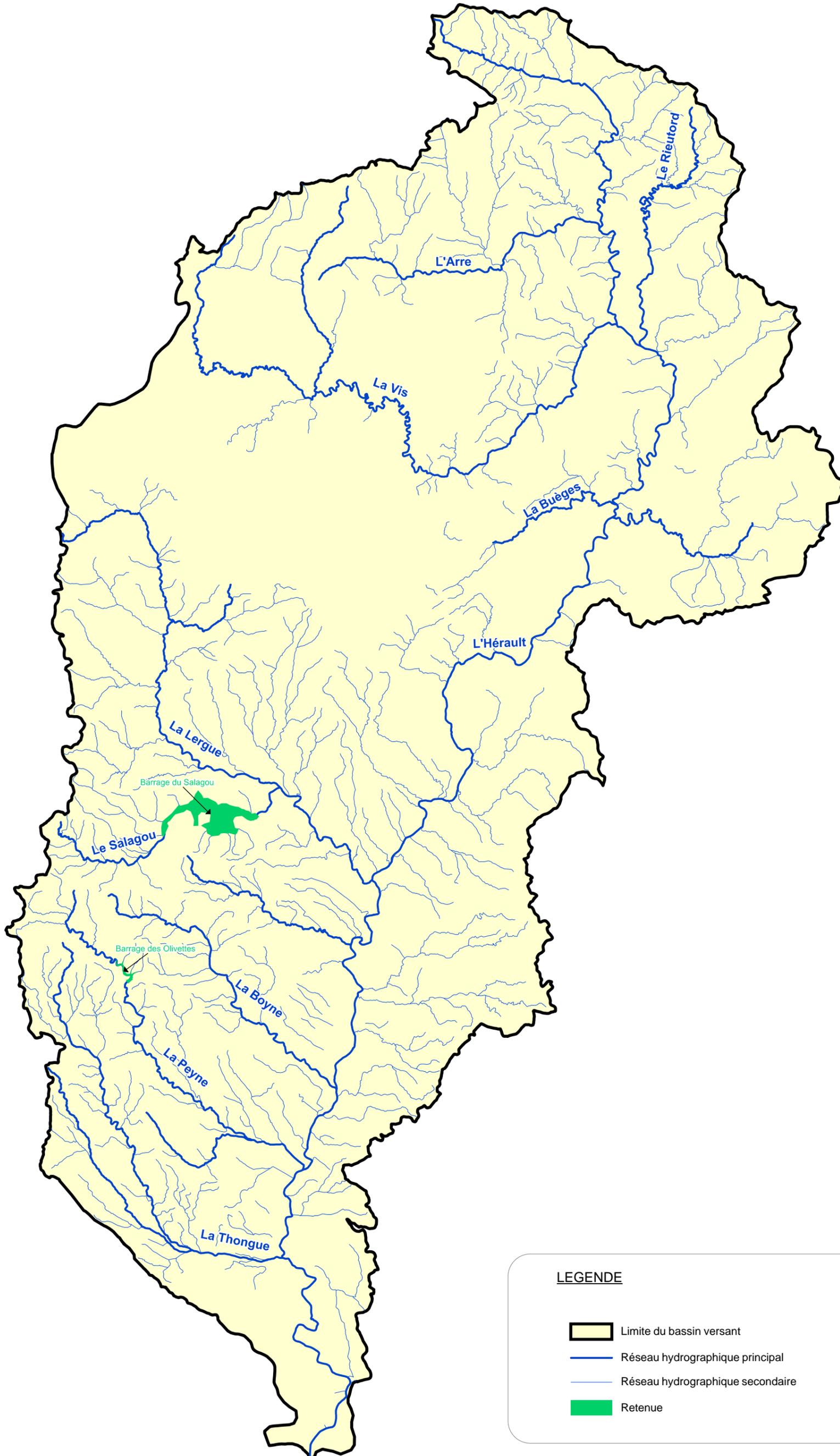
Tableau 18 - Débits caractéristiques de l'Hérault en situation naturelle

QM5	Cours d'eau	QMNA5	Débits moyens mensuels sec de récurrence 5 ans			
			Juin	Juillet	Aout	Septembre
H1	Hérault	300	567	397	317	330
A	Arre	500	782	586	500	535
H2	Hérault	820	1 413	1 072	890	939
V	Vis	1 400	3 105	2 026	1 547	1 493
H3	Hérault	3 300	6 105	4 286	3 359	3 300
H4		2 100	5 417	3 122	2 141	2 205
H5		2 800	6 167	3 682	2 800	3 000
L1	Lergue	700	1 386	996	771	727
L2		1 100	2 465	2 000	1 510	1 291
H6	Hérault	4 000	9 823	6 106	4 772	4 573
H7	Hérault	4 000	10 309	6 378	4 952	4 740
H8		1 900	7 339	2 989	1 900	3 163

Tableau 19 - Débits caractéristiques de l'Hérault en situation influencée

Annexe n°1 : Planches cartographiques

Réseau hydrographique



LEGENDE

-  Limite du bassin versant
-  Réseau hydrographique principal
-  Réseau hydrographique secondaire
-  Retenue

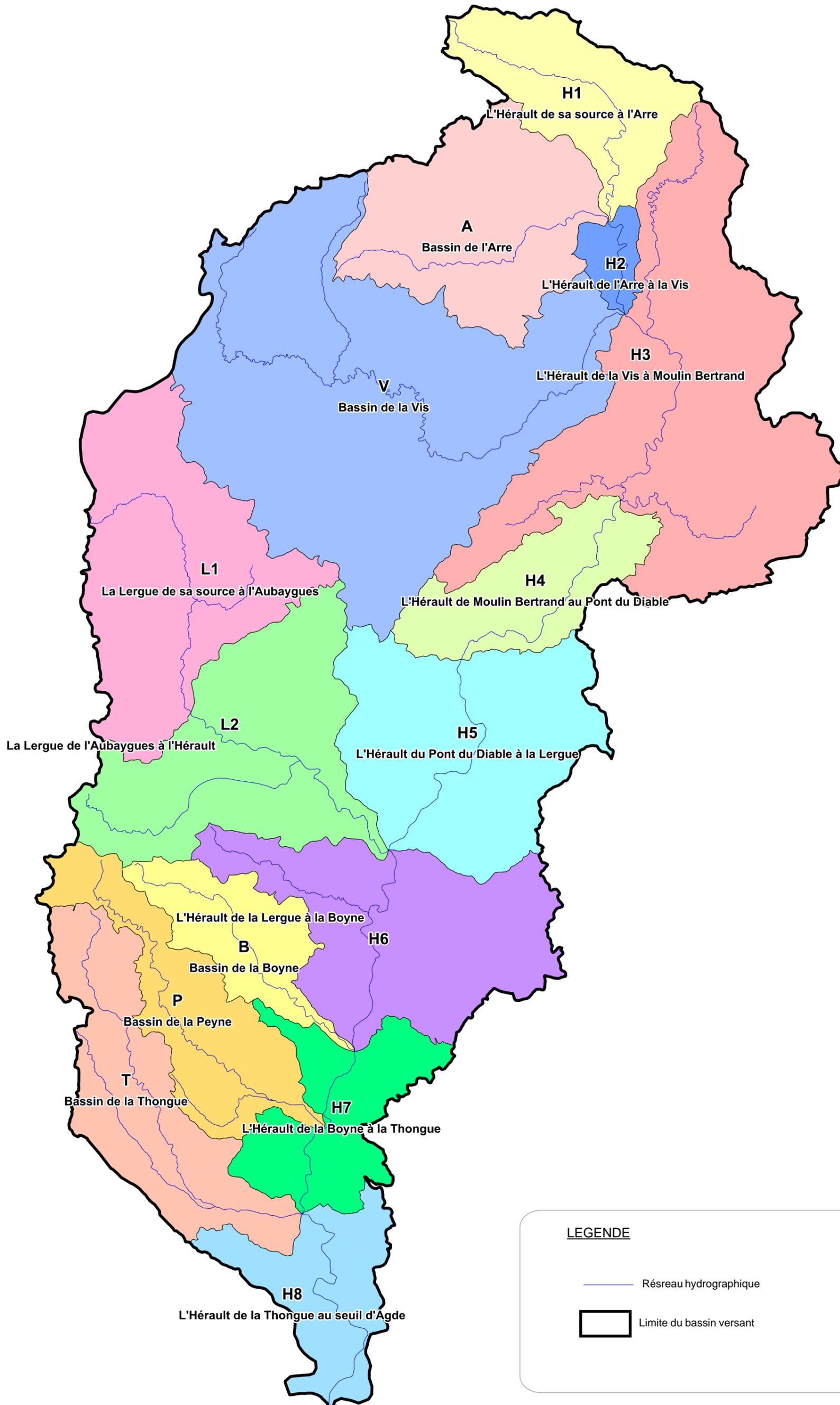


Echelle : 1 / 250 000

5000 m



Sous-bassins versants



LEGENDE

— Réseau hydrographique

□ Limite du bassin versant



Echelle : 1 / 250 000

0 5000 m

Annexe n°2 : Paramètres de calage du modèle ATHYS

Paramètres		Vallée	Amont	Affluents	Lergue	Vis
Fonction de production	$STO [mm]$	50	20	50	20	5
	$INF [mm.h^{-1}]$	2	5	7	10	3
	$F [m^{-1}]$	22	18	40	21	22
	$Ds [j^{-1}]$	0.2	0.04	0.06	0.15	0.06
Fonction de transfert	$VO [m.s^{-1}]$	1				
	$Alfa [ad]$	0.5				
	$Beta [ad]$	0.2				
	$K [ad]$	0.5				

Annexe n°3 : Rapport hydrogéologique (BERGA SUD)

Département de l'Hérault

Bassin Versant de l'Hérault

RAPPORT HYDROGÉOLOGIQUE

**Relations entre le fleuve et
les principaux aquifères**

**Potentialités d'exploitation
de nouvelles ressources**

Réalisé à la demande de :

Syndicat Mixte du Bassin du Fleuve Hérault
18 avenue Raymond Lacombe
34800 CLERMONT L'HÉRAULT

Montpellier, le 2 décembre 2013

N° 34/HER B 13 003



EIRL BERGA-SUD - Géologue - contact@bergasud.fr - www.bergasud.fr
10 rue des Cigognes - 34000 Montpellier - tél. 04 67 99 52 52 - fax 04 67 99 52 53
Hameau de Prades - 30580 Lussan - tél. 04 66 72 98 44 - fax 04 67 99 52 53

RSEIRL Montpellier 325 439 974 - N° Intracommunautaire : FR93325439974 - Siret : 325 439 974 00032 - Code APE : 7112B

SOMMAIRE

1. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE.....	3
2. SITUATION GÉOGRAPHIQUE	3
3. CADRE GÉOLOGIQUE	4
3.1. Lithostratigraphie.....	4
3.2. Structure géologique générale.....	8
4. DESCRIPTION DES AQUIFÈRES PRINCIPAUX DU SECTEUR.....	9
4.1. Aquifère des calcaires cambriens (FRDG106).....	9
4.2. Aquifère des calcaires lutétiens (FRDG510).....	10
4.3. Aquifère des alluvions de l'Hérault (FRDG311).....	12
4.4. Aquifères des calcaires jurassiques FRDG 125, FRDG 115 et FRDG 124.....	14
5. RELATION ENTRE L'HÉRAULT ET L'AQUIFÈRE DES CALCAIRES JURASSIQUES	17
5.1. Généralités.....	17
5.2. Recensement des résurgences dans le secteur de l'Hérault.....	19
5.3. Mesures de débit dans l'Hérault.....	21
5.3.1. Réseau de mesure	21
5.3.2. Prélèvements anthropiques	22
5.3.3. Résultats.....	23
6. CONCLUSION	29

1. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

Dans le cadre de la gestion des cours d'eau et dans le but d'assurer la pérennité d'un débit minimum, des études sont menées actuellement afin de déterminer leurs modalités de fonctionnement. Ces études ont pour but de déterminer les débits naturels des cours d'eau et l'impact des actions anthropiques sur le maintien de leur bon état écologique.

Dans le cadre des études menées sur l'Hérault, notre bureau d'études a été mandaté afin de s'occuper du volet hydrogéologique dans le secteur de son bassin versant où les formations carbonatées sont présentes. En effet, le fleuve Hérault dans sa partie amont en particulier est fortement associé aux aquifères des calcaires jurassiques au travers d'un réseau de résurgences et de pertes qui interfère avec son débit.

Notre étude consiste donc à définir principalement dans le domaine des calcaires jurassiques (essentiellement la moitié amont du fleuve) les zones de relations préférentielles fleuve-aquifère et leurs fonctionnements.

Cette étude a donné lieu à un recensement des différentes zones de résurgences importantes et à la mesure de l'évolution des débits dans l'Hérault.

Nos investigations bibliographiques ont porté également sur les potentialités de production des autres principaux aquifères présents sous couverture ou à l'affleurement.

2. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le fleuve Hérault s'écoule dans les parties Est et centre du département de l'Hérault après avoir pris sa source dans les hauts cantons du Gard.

Il prend donc sa source au Mont Aigoual puis s'écoule en direction du Sud au travers des piémonts des Cévennes. A son entrée sur le département de l'Hérault, son cours oblique vers le Sud-Ouest lorsqu'il atteint le domaine des garrigues calcaires qu'il traverse jusqu'à St-Jean de Fos. Au-delà et jusqu'à la Méditerranée, il traverse un domaine de plaine (cf. Figure 1).

Le secteur étudié dans cette étude hydrogéologique s'étend donc principalement du domaine des garrigues, qui s'étend entre Le Vigan (Gard -30) (où s'écoule un des ses principaux affluents : l'Arre) et St-Jean de Fos (Hérault -34), au domaine des plaines qui correspond à la zone comprise entre St-Jean de Fos et le Grau d'Agde.

3. CADRE GÉOLOGIQUE

3.1. Lithostratigraphie

Un extrait des cartes géologiques du BRGM n° 936 Nant, 937 Le Vigan, 962 Le Caylar, 963 St Martin de Londres, 989 Lodève, 990 Montpellier, 1015 Pézenas et 1016 Sète est donné sur la Figure 2. Les formations géologiques en présence sont, des plus récentes aux plus anciennes :

- **C : Colluvions.** Dépôts argilo-sableux ou caillouteux.
- **Fz : Alluvions récentes et actuelles** de lit majeur et basse terrasse. De natures diverses suivant le cours d'eau qui les a déposées, ces alluvions sont peu développées. Celles de l'Hérault sont sablo-limoneuses avec chenaux de graviers et galets souvent repris des alluvions anciennes.
- **Fy : Alluvions de moyenne terrasse.** Sables et graviers bien lavés, formant une terrasse 10 à 20 m au-dessus du lit majeur de l'Hérault et de la Lergue.
- **Fx : Alluvions anciennes de haute terrasse.** Sables et galets (terrasses à une altitude de 20 à 25 m). Puissance généralement inférieure à 10 m mais pouvant atteindre 20 m.
- **Fv : Villafranchien.** Cailloutis siliceux à matrice d'argile sableuse rouge.
- **m3 : Miocène terminal.** Grès, sables, conglomérats à stratification entrecroisée, à éléments bien roulés de Jurassique et de Miocène dominants. Cette série, puissante d'une cinquantaine de mètres à l'affleurement, constitue une sorte de chenal fluvial.

- **m2 : Miocène moyen.** Molasse marine. Alternance de marnes bleues, de grès et de sables jaunes verdâtres, de grès calcareux et de calcaires coquillers. L'ensemble de ces dépôts sont peu épais : 100 m environ.
- **m1 : Aquitanien.** Série lacustre à fluvio-lacustre (calcaires, marnes, grès et conglomérats) qui constitue le substratum du bassin de l'Hérault entre Vendémian et Aniane. Dans le secteur de Gignac, cette série correspond à une épaisse formation de marnes jaunes à intercalation de bancs de grès carbonatés. La puissance est de l'ordre d'une centaine de mètres.
- **e6 : Éocène supérieur (Bartonien).** Conglomérats, argiles saumon. Ces dépôts comprennent 100 à 200 m d'argiles et de grès saumonés, entrecoupés de bancs de conglomérats à ciments gréseux et à éléments de calcaire lutétien.
- **e3-5 : Éocène moyen. Calcaire lacustre blanc dit "Lutétien".** Cette formation présente une grande extension dans le secteur à l'aval des gorges. D'un faciès homogène, elle atteint près de 300 m d'épaisseur à l'Est d'Aniane, de Gignac et de Saint-Bauzille-de-la-Sylve, mais se réduit souvent à 50 ou 100 m. Il s'agit de calcaires fins blancs ou crème, de calcaires bréchiques ou graveleux, très fracturés, localement intercalés de niveaux marneux, parfois riche en mollusque d'eau douce.
- **e1 : Éocène inférieur.** Marnes infralutésiennes, brèches rouges. Sédiments fluvio-lacustres très divers recouvrant les calcaires jurassiques et surmontés par le calcaire lutétien.
- **c7 : Bégudo-Rognacien.** Argiles, grès, conglomérats. Ensemble continental et lacustre de 50 à 100 m comprenant des faciès très variés. A St-Bauzille, ces dépôts recouvrent le calcaire jurassique supérieur.
- **c6 :** Cette série est constituée par le **Fuvélien inférieur (c6b1)** correspondant à une dizaine de mètres de dépôts fluviatiles (grès, argiles et marnes, calcaires noduleux). Le **Fuvélien supérieur (c6b12)** correspondant quant à lui à des marnes violettes d'une puissance de 200 m environ.
- **n3 : Hauterivien.** Le début de la série est constitué de marnes bleues à intercalation de petits bancs de calcaires argileux. Puis viennent des calcaires sableux et argileux où les bancs deviennent de plus en plus épais et compacts.

- **n2 : Valanginien.** Série essentiellement marneuse à alternance de marnes et de calcaires argileux. La partie terminale est constituée de calcaires graveleux et bioclastiques massifs.
- **n1 :** Le **Berriasien inférieur** (n1a) est une série constituée par des calcaires argileux. Le **Berriasien moyen et supérieur** (n1b) en revanche est à peu près du même type de faciès, mais nettement plus argileux. Au sommet se développent des calcaires argileux à intercalation de marnes.
- **j9 : Portlandien** (Tithonique). Ce sont des calcaires massifs zoogènes à différents faciès. Au niveau de la montagne de la Séranne et à l'Ouest du bois de Monnier se développe un faciès de type arrière-récif constitué par une alternance de niveaux de calcaires blancs, graveleux, bioclastiques ou lithographiques. La puissance de cette formation est très variable et peut atteindre 600 m.
- **j8 : Kimméridgien supérieur.** Constituée par des calcaires lithographiques, en gros bancs bien lités, cette série peut posséder une puissance dépassant la centaine de mètres. Présence de dolomies en masses localisées au milieu et au sommet de l'étage.
- **j7 : Kimméridgien inférieur.** Ce sont des calcaires en petits bancs sublithographiques de quelques décimètres, à passées argileuses. La puissance peut dépasser les 150 m.
- **j6 : Oxfordien supérieur.** La base de cet étage est formée par un mince niveau conglomératique de remaniement. Au-dessus se développe un puissant ensemble de calcaires (50 à 150 m) en petits bancs sublithographiques. Ces formations présentent parfois un aspect dolomitique.
- **j3-5 : Callovo-argovien.** Ces terrains ont été regroupés du fait du caractère sporadique de leur affleurement et de leur faible épaisseur. Cependant, l'**argovien (j5)** est constitué par des marnes alternant avec des calcaires argileux en petits bancs. Au sommet se trouve des assises de plus en plus calcaires. L'**oxfordien inférieur (j4)** est une série formée par des calcaires argileux et des marnes. Enfin, le **callovien (j3)** est un ensemble de marnes noires avec lits de calcaires argileux de quelques décimètres pour une puissance de 150 m. Son épaisseur se réduit considérablement au niveau du Pic-Saint-Loup, où les niveaux calcaires sont plus développés. Localement, la série peut être formée par des dolomies en gros bancs compacts.

- **j2 : Bathonien.** Cet étage est formé par des dolomies massives à quelques bancs calcaires. Son épaisseur est variable entre 50 m dans la vallée de la Vis à 300 m vers St-Martin de Londres. On note également la présence de calcaires lités à intercalations marneuses.

- **l1-2 : Hettangien.** Comprenant trois épisodes de sédimentation pour une puissance de 200 m, cet étage est représenté par des calcaires gris en bancs noduleux. Au-dessus se trouve une puissante série de dolomies cubiques dont la partie supérieure est riche en lits argileux. La série se termine par des marnes compactes à lits argileux.

- **t10 : Rhétien.** Cette série est formée par des grès et des calcaires dolomitiques à minces intercalations de bancs gréseux ou de marnes. L'épaisseur est faible, entre 10 et 40 m.

- **Ts : Trias supérieur.** Formation marno-dolomitique d'une puissance variable entre 30 et 150 m.

- **Ti : Trias inférieur.** Conglomérats de base atteignant parfois 10 m d'épaisseur dont le ciment est calcaro-dolomitique. L'essentiel est une formation argilo-gréso-carbonatée dont la puissance varie entre 10 et 100 m.

- **k2 : Cambrien inférieur.** Formation carbonatée dont la série débute par environ 100 m de calcschistes, de calcaires lités et d'alternances gréso-carbonatées. Plus généralement, c'est un ensemble de dolomies et de calcaires entrecoupés de passées schisteuses. La puissance de l'étage serait entre 200 et 400 m.

- **k1 : Cambrien inférieur (Géorgien).** Formation gréso-schisteuse régulièrement litée et généralement très redressée, dont l'épaisseur dépasse probablement les 1000 mètres.

3.2. Structure géologique générale

Des assemblages des cartes géologiques du BRGM n° 936 Nant, 937 Le Vigan, 962 Le Caylar, 963 St Martin de Londres, 989 Lodève, 990 Montpellier, 1015 Pézenas et 1016 Sète sont donnés sur les Figures 2 et 3.

Ces assemblages montrent l'ensemble des formations rencontrées tout le long du cours du fleuve et de ses principaux affluents et la structure géologique de la marge méditerranéenne.

En effet, dans la partie Nord du cours de l'Hérault, dans le domaine de Cévennes, les formations du Primaire apparaissent à la faveur de l'orogénèse hercynienne et de la mise en place des massifs granitiques de l'Aigoual. Cette phase s'accompagne d'un métamorphisme important qui a donné naissance aux formations schisteuses.

En descendant le cours de l'Hérault, les formations secondaires affleurent allant du Jurassique au Crétacé. Les formations marno-calcaires crétacées affleurent sur une faible partie du cours et font rapidement place aux formations calcaires à marno-calcaires du Jurassique pour lequel l'ensemble de la série est développée.

Cet ensemble est fortement faillé et tectonisé en raison des orogénèses pyrénéo-provençale et alpine qui l'ont affecté. La Faille des Cévennes est une des structures majeures interceptée par le fleuve et certains de ces affluents en rive gauche.

En aval du cours de l'Hérault, les formations alluviales récentes du fleuve recouvrent le grand bassin d'effondrement à remplissage Mio-Pliocène jusqu'à la Méditerranée.

4. DESCRIPTION DES AQUIFÈRES PRINCIPAUX DU SECTEUR

4.1. Aquifère des calcaires cambriens (FRDG106)

Représenté par les terrains calcaïques et dolomitiques du Cambrien inférieur et moyen (Paléozoïque), cet aquifère est rattaché à la masse d'eau souterraine FRDG106 nommée « *Calcaires cambriens de la région viganaise* ». Il est délimité au Nord par la bordure septentrionale du bassin versant de l'Arre, à l'Est par le fleuve Hérault, au Sud par l'Arre et à l'Ouest par la rivière de la Vis. Ainsi délimité, ce secteur couvre une superficie de 114 km².

De type karstique, ces formations carbonatées cambriennes constituent des systèmes aquifères compartimentés, relativement peu étendus en raison de la diversité des faciès, de la complexité des structures géologiques et de la fracturation. En effet, ce domaine karstique est constitué d'un nombre important de systèmes plus ou moins développés et de réservoirs extrêmement fractionnés, du fait de la forte activité tectonique et des variations du niveau de base, responsables de la création de conduits karstiques plus ou moins superposés. Ces systèmes sont souvent binaires et drainent, en plus de l'infiltration directe dans les calcaires, des écoulements de surface par les pertes.

La recharge de cet aquifère s'effectue donc essentiellement par les infiltrations météoriques reçues sur son impluvium, mais également par des pertes de cours d'eau comme pour le système binaire de la source d'Isis au Vigan et le captage du Verdier à Avèze.

Le drainage de cet aquifère s'opère principalement par les rivières de l'Arre, de l'Hérault et de la Vis, mais également par le système de sources en rive droite de la Glèpe en amont de sa confluence avec l'Arre.

Les limites de l'aquifère sont constituées par :

- les formations cristallines et métamorphiques des Cévennes (schistes et granites) qui forment une limite étanche au Nord ;
- les calcaires et marnes jurassiques et crétacées du Gangeois et Thaurac à l'Est (limite étanche) ;
- au Sud par la rivière de l'Arre et par la faille Est du horst de Saint-Bresson.

Son substratum est constitué par les schistes imperméables de la base du Cambrien inférieur.

Les pressions exercées sur cet aquifère sont principalement pour l'AEP, avec des prélèvements de l'ordre du million de m³/an (source d'Isis -AEP du Vigan, source du Verdier -AEP d'Avèze), captages de Roquedur et de Saint Bresson, etc.). Cependant, l'exploitation de cet aquifère est difficile en raison de la complexité du système (compartimentation de l'aquifère) et ce malgré une forte productivité du karst géorgien ennoyé.

Hormis par la source d'Isis, les apports de cet aquifère aux rivières sont faibles et les prélèvements pour l'AEP n'influencent donc que faiblement les débits superficiels des cours d'eau.

Des prélèvements supplémentaires paraissent possibles pour les alimentations en eau potable locales en raison de cette faible influence sur les cours d'eau en période d'étiage.

4.2. Aquifère des calcaires lutétiens (FRDG510)

L'aquifère des calcaires lutétiens fait référence aux formations sédimentaires éocènes de l'ère tertiaire. Il est rattaché aux masses d'eau souterraine FRDG510 nommée : « *Formations tertiaires et crétacées du bassin de Béziers-Pézenas* » qui s'étend sous la plaine de l'Hérault et sa bordure de Gignac à Béziers et à la masse d'eau FRDG239 « *Calcaires et marnes de l'avant-pli de Montpellier* ». qui s'étend entre le Salaison à l'Est et l'Hérault à l'Ouest, l'avant-pli de Montpellier au Sud et les garrigues calcaires jurassiques du système du Lez et du Causse de Viols le Fort au Nord.

Les formations calcaires du Lutétien qui renferment plus particulièrement l'aquifère qui nous intéresse forment un domaine sédimentaire multicouche discontinu à nappe libre et localement captif au centre du bassin sédimentaire et des synclinaux, c'est un aquifère de type fissuré-karstique.

Une recharge non négligeable peut donc avoir lieu depuis les formations calcaires jurassiques contiguës au Lutétien, par des pertes de petits cours d'eau et par les affleurements. La recharge du système se fait néanmoins essentiellement par l'apport pluviométrique.

Cette Masse d'eau a une superficie à l'affleurement de 1 243 km² mais les calcaires lutétiens ne sont pas présents sur toute l'entité. Leur épaisseur est très variable d'un secteur à l'autre ; très épais dans la zone proche de Gignac (plus de 300 mètres) ils se réduisent vers le Sud et l'Ouest et sont absents dans le secteur de Pézenas.

Les limites de ce système sont constituées par les éléments suivants :

- au Nord par les systèmes karstiques de la source du Lez et du Boulidou des Matelles ;
- à l'Est par le fossé tertiaire de Castries-Sommière et qui constitue une limite étanche ;
- à l'Ouest par la vallée de l'Hérault et le bassin miocène de Gignac ;
- au Sud par le pli de Montpellier.

Dans le secteur d'étude le substratum imperméable de cet aquifère repose sur les formations du Jurassique.

Plusieurs captages pour l'AEP exploitent et/ou vont exploiter cette ressource dans le Nord de Montpellier et dans notre secteur d'étude on peut citer Gignac (en cours de mise en exploitation), Aniane et Saint-Bauzille-de-la-Sylve.

Les forages les plus productifs dépassent 100 m³/h, mais cette productivité est variable selon les secteurs (inférieure à 10 m³/h au Mas du Novi).

Cet aquifère va permettre l'alimentation de la commune de Gignac dont les besoins à long terme sont estimés à 3 000 m³/jour et dont le captage actuel dans les alluvions récentes de l'Hérault a un impact quasi-direct sur le débit du fleuve.

La commune, dans l'obligation de trouver une nouvelle ressource en eau complémentaire non pénalisante pour le débit du fleuve, exploitera les eaux du champ captant de la Combe Salinière dont la capacité de production est actuellement limitée à 250 m³/h.

Au total, les pressions exercées sur cette unité notamment dans le secteur Nord-montpelliérain sont assez fortes avec des prélèvements pour l'AEP de l'ordre de 2 Mm³/an, ne laissant ainsi pas d'importante marge de manœuvre au niveau de cette ressource.

Toutefois les très bons résultats obtenus au niveau de la Combe salinière laissent entrevoir encore un certain potentiel de production dans la vallée de l'Hérault.

4.3. Aquifère des alluvions de l'Hérault (FRDG311)

Le fleuve Hérault prend sa source sur le flanc Sud des formations primaires du Mont-Aigoual et se jette dans la Méditerranée au Grau d'Agde après avoir parcouru 160 km. L'Hérault a déposé ses alluvions quaternaires essentiellement à l'aval des gorges sur une plaine à substratum tertiaire formée de marnes gréseuses et de molasses calcaires, déposées lors de la transgression Miocène.

Cet aquifère alluvial, dont le magasin est constitué par les alluvions du fleuve (sable, galets et graviers), présente une relativement faible extension de part et d'autre du cours d'eau. Entre le Pont du Diable et le ruisseau de Lagamas, les alluvions se localisent dans le creux d'un synclinal de terrains éocènes (calcaires blancs du Lutétien). Ils s'étalent ensuite dans la plaine à substratum miocène, puis surmontent les sables astiens du Pliocène marin puis les argiles du Plaisancien à proximité du littoral. Les formations alluviales du fleuve recouvrent donc le grand bassin d'effondrement à remplissage Mio-Pliocène jusqu'à la Méditerranée.

Trois zones peuvent être différenciées :

- de la sortie des gorges de l'Hérault à Canet : grande extension des alluvions anciennes constituant des terrasses perchées. Les alluvions modernes, absentes ou peu développées, constituent un aquifère discontinu de faible extension très dépendant du fleuve ;
- de la plaine de Canet à Agde : dans ce secteur les alluvions modernes présentent des épaisseurs et extensions importantes et renferment un aquifère très actif ;
- de la plaine d'Agde à l'embouchure : l'aquifère des alluvions modernes est envahi par le biseau salé.

L'Hérault reçoit dans ce parcours aval plusieurs affluents notables, tous situés en rive droite : de l'amont vers l'aval, il s'agit de la Lergue, la Dourbie, la Boyne, la Payne et la Thongue. Seules ces deux dernières rivières ont une nappe alluviale d'accompagnement. Toutefois, elles ne sont pas suffisamment importantes pour être différenciées comme une zone à part entière.

L'alimentation de cet aquifère s'effectue principalement par les précipitations et les relations hydrauliques avec l'Hérault. Localement, cet aquifère peut être drainé par les sables astiens.

Les dépôts quaternaires constituant l'aquifère alluvial peuvent donc être distingués en deux classes :

- les alluvions anciennes, qui s'organisent en terrasses superposées et dont l'importance diminue en allant vers le Sud jusqu'à disparaître en aval de Pézenas. L'Hérault a creusé son lit dans le substratum tertiaire, les terrasses anciennes se trouvent alors perchées, ce qui empêche les relations hydrauliques directes entre la nappe et le fleuve ;
- les alluvions modernes, qui sont constituées de formations détritiques à granulométrie croissante avec la profondeur. La puissance de l'ensemble ne dépasse pas une dizaine de mètres au droit de Pézenas. Entre Pézenas et Florensac, la nappe correspond à un chenal d'un à deux kilomètres de largeur, pour 10 à 20 m d'épaisseur avec une couverture limoneuse de 5 m environ. Entre Nézignan et Florensac, les alluvions modernes surmontent les sables astiens formant ainsi un aquifère bicouche. En aval de Bessan, la nappe devient captive.

Les alluvions modernes constituent la nappe principale de la vallée. Cette ressource est actuellement très exploitée pour l'eau potable (au total près de 26 Mm³/an dont 22 Mm³/an qui alimentent le **captage de Florensac**) ; mais son épaisseur excédant localement 30 mètres montre qu'il renferme un potentiel de ressource important limité toutefois par l'impact des prélèvements sur le débit du fleuve.

En ce qui concerne les alluvions anciennes, elles sont peu productives en raison de leur déconnexion avec le fleuve, donc peu intéressantes et d'ailleurs peu exploitées.

L'aquifère des alluvions récentes de l'Hérault est directement en relation avec le fleuve et l'impact de tout prélèvement se répercute directement sur son débit, ce qui limite de fait tout potentiel d'augmentation des prélèvements actuels.

4.4. Aquifères des calcaires jurassiques FRDG 125, FRDG 115 et FRDG 124

L'aquifère des calcaires jurassiques principalement étudié dans le cadre de cette étude est contenu dans l'ensemble des formations carbonatées (en coloration bleue sur la Figure 2) de la moyenne vallée de l'Hérault. C'est un aquifère de type fissuré karstique alimenté essentiellement par les précipitations sur son impluvium et/ou par des pertes à partir des rivières drainant le socle dans son cours amont ou des zones à recouvrement marneux plus tardifs dans sa partie centrale.

Appartenant en rive droite de l'Hérault à la masse d'eau FRDG125 nommée « *Calcaires et marnes causses et avant-causses du Larzac sud, Campestre, Blandas, Séranne, Escandorque, BV Hérault et Orb* », et en rive gauche à la masse d'eau FRDG115 « *Calcaires et marnes jurassiques des garrigues nord montpelliéraines (Ouest faille de Corconne)* » cet ensemble est découpé en différentes entités hydrogéologiques (cf. Figure 4) :

- 141b : calcaires jurassiques de la partie Nord du Causse du Larzac et du Causse de Blandas et Campestre ;
- 141a1 : calcaires jurassiques de la Séranne et de la bordure Sud de la Vis ;
- 141a3 : calcaires et marnes jurassiques et crétacés du Gangeois et Thaurac ;
- 141a0 : calcaires jurassiques de la Buèges-St Guilhem ;
- 142a : calcaires et marnes jurassiques du compartiment occidental du système karstique de la Source du Lez.

Ces entités hydrogéologiques ont pour but de délimiter des comportements et fonctionnements hydrogéologiques homogènes. Ce morcellement des formations du Jurassique traversées par l'Hérault met en évidence la compartimentation qui peut exister au sein d'un ensemble homogène en grand.

Cette compartimentation joue un rôle non négligeable dans le fonctionnement de l'ensemble hydrogéologique avec notamment des relations entre entités parfois indirectes et/ou limitées.

L'impluvium de cet ensemble recouvre plus de 1 000 km² pour une puissance atteignant plus de 1 000 mètres.

Trois formations sont aquifères au sein de la série avec des relations hydrauliques plus ou moins directes suivant les secteurs. Ces relations peuvent s'établir au niveau de contacts par faille ou dans les secteurs où les couches de marnes imperméables sont absentes (comme sur la limite Nord du massif). Ces différentes formations sont des plus récentes aux plus anciennes :

- les niveaux carbonatés du Jurassique supérieur (Malm) : calcaires massifs ou lités du Portlandien-Kimméridgien à l'Oxfordien. Un des exutoires majeurs est la Source de Clamouse ;
- les niveaux carbonatés du Jurassique moyen (Dogger) : il s'agit essentiellement des dolomies du Bathonien. Un des exutoires majeurs est la Source des Cent Fonts ;
- les niveaux carbonatés du Jurassique inférieur (Lias) : il s'agit essentiellement des dolomies de l'Hettangien. Un des exutoires majeurs est la Source de Lasfonds.

En ce qui concerne les pressions exercées sur ces aquifères, il s'avère que l'exploitation pour l'AEP s'élevait en 2001 à 1,5 Mm³/an contre 31 milliers de m³/an pour l'irrigation. A noter la présence de deux grandes exploitations : le puits du Drac sur Montpeyroux (0,5 Mm³) et pour le Gard le Syndicat de Blandas (0,2 Mm³). Ce second prélèvement se fait directement dans la Vis et a donc une influence directe sur les eaux de surface. Le captage du puits du Drac présente un potentiel notable de production complémentaire mais son impact très marqué sur la résurgence de Clamouse nécessiterait des aménagements particuliers en cas d'augmentation des prélèvements.

Plusieurs sites ont été testés pour remplacer ou compléter les prélèvements actuels. Le futur captage du Fesquet à Cazilhac va ainsi remplacer le prélèvement du SIAEP de Ganges qui se fait actuellement directement dans l'Hérault.

D'autres importants prélèvements sont envisageables à terme pour l'eau potable dans cette masse d'eau.

Les potentialités d'exploitation qui paraissaient les plus intéressantes se trouvaient au niveau de la source des Fontanilles en rive gauche et des Cent Fonts en rive droite. C'est ce second site qui a été choisi pour des investigations en profondeur après que les premières études aient montré des potentialités de production et de réserve très supérieures à celles des Fontanilles.

Il a été montré que 50 % du débit des Cents Fonts proviennent de son bassin versant les 50 autres % provenant des pertes de la Buèges.

Les travaux de forage, d'essais par pompage de longue durée, d'interprétation des données et de modélisation du fonctionnement, ont permis de mettre en évidence une ressource disponible de **3,7 millions de m³/an**, en année de probabilité d'occurrence « 30 ans sec » avec un rejet vers l'Hérault de 200 l/seconde soit un prélèvement total de **5,3 millions de m³**.

Ce volume prélevé pourrait être supérieur en année moins sèche tout en conservant un rejet de compensation vers l'Hérault d'au minimum 200 l/s et pourrait ainsi atteindre ponctuellement en semaine de pointe 250 l/s.

Pour l'irrigation, il y a peu de prélèvements directs dans le karst, mais il existe des prélèvements superficiels pour des ASA (Canal de Cazilhac -Sud-Ouest de Ganges-, ASA de Gignac). Le canal de Cazilhac capte l'eau de la Vis juste avant sa confluence avec l'Hérault et la restitue dans le fleuve au niveau de Laroque avec une faible déperdition contrairement à l'ASA de Gignac beaucoup plus consommatrice.

Il apparaît donc que ces aquifères karstiques du Jurassique sont actuellement peu utilisés malgré l'importance du magasin aquifère et notamment son extension sous la plaine de l'Hérault à l'aval des gorges (cf. Figure 3).

Etant donné la puissance de la formation jurassique de la moyenne vallée de l'Hérault et de son étendue, il apparaît que les aquifères qu'elle renferme offrent de grandes potentialités d'exploitation. Toutefois cette exploitation risque d'avoir des répercussions plus ou moins directes sur le débit de l'Hérault et demandera donc la mise en place de mesures compensatoires telles que le rejet d'un certain débit dans le fleuve.

Plus à l'aval (cf. Figure 3) les calcaires jurassiques liés à la masse d'eau **FRDG124** sont présents sous couverture essentiellement même s'ils sont visibles à l'affleurement en rive gauche du fleuve ponctuellement à Saint Bauzille de la Sylve puis de Plaissan à Bouzigues.

Seule une faible partie de cette zone où les calcaires jurassiques sont affleurants peut être considérée comme faisant partie du BV de l'Hérault, par contre la poursuite de cette formation vers l'Ouest sous couverture doit être prise en considération.

Son potentiel de production est peu connu mais certains forages profonds comme ceux de La Castellone ou de Pézenas (cf. Figure 3) montrent que cet aquifère karstique est, au moins ponctuellement, très actif même à très grande profondeur.

Ce secteur où les sources sont rares et temporaires (source de St Bauzille de la Sylve et source de Plaissan) n'est donc que très ponctuellement en relation avec le cours aérien de l'Hérault lorsque ces sources débordent en hautes eaux dans des ruisseaux affluents du fleuve.

Cette ressource apparaît donc particulièrement intéressante puisque l'on ne lui connaît pas d'exutoire pérenne important en relation directe ou indirecte avec le fleuve. Il est en fait probable que l'écoulement se fasse en profondeur vers la mer et que **tout prélèvement supplémentaire n'aurait aucun impact sur le milieu superficiel.**

L'alimentation de cet aquifère se fait par ses affleurements mais aussi très probablement par des échanges avec les calcaires lutétiens dans sa partie amont.

5. RELATION ENTRE L'HÉRAULT ET L'AQUIFÈRE DES CALCAIRES JURASSIQUES

5.1. Généralités

Dans le cadre de cette étude, nous étudierons plus particulièrement les relations entre l'Hérault et l'aquifère karstique à compartiments multiples contenu dans les formations du Jurassique dans le secteur amont du cours du fleuve.

En effet, cet aquifère de type fissuré-karstique apporte à l'Hérault, outre une relation classique par ruissellement sur son bassin versant, une relation souterraine non négligeable.

La particularité de ces aquifères calcaires réside dans leur évolution (karstification) qui permet de faciliter les circulations souterraines au gré des phénomènes de dissolution karstique (avens, lapiaz, grottes, fractures dissoutes, sources ou pertes, ...).

La karstification d'un massif calcaire est favorisée par la fracturation et par le niveau de base de l'aquifère qu'il contient. Ce niveau de base est souvent associé à la présence des cours d'eau et peut évoluer fortement au cours du temps. Dans le cadre de l'Hérault, l'histoire géologique du secteur a favorisé la fracturation des formations calcaires du Jurassique (failles des Cévennes, orogénèses pyrénéo-provençale et alpine, effondrement de la Camargue) mais aussi la forte variation du niveau de base de l'aquifère Jurassique avec l'incision de l'Hérault lors de la surrection des massifs secondaires, des périodes de remplissage Miocène, d'abaissement de la Méditerranée (en particulier lors de l'assèchement de la Méditerranée au Messinien).

Cet ensemble de facteur a permis la genèse dans les formations jurassiques d'un fort développement karstique dont les expressions les plus notables dans la région sont la Source du Lez, la Source sous-marine de la Vis et le complexe d'Issanka et de nombreuses résurgences liées au cours de l'Hérault comme celles de Clamouse et des Cent Fonts.

Les relations entre l'aquifère des calcaires du Jurassique et l'Hérault sont évidentes d'un point de vue structural. En effet, l'Hérault traverse l'aquifère fissuré des calcaires jurassiques dont l'une des caractéristiques réside dans les facilités d'infiltration dues à l'importance des phénomènes de karstification.

Par ailleurs, un grand nombre de résurgences existe en bordure et/ou dans le lit de l'Hérault en provenance des formations calcaires.

Les travaux historiques sur l'aquifère des calcaires jurassiques nord-montpelliérains ont été nombreux que ce soit en raison des travaux de captage de la Source du Lez ou de la détermination des relations entre l'aquifère et les cours d'eau. Ces études ont notamment consisté en diverses expériences de traçage destinées à la délimitation du bassin d'alimentation et à la détermination du sens des écoulements dans l'aquifère.

Sur la Figure 4 les points d'injection et de restitution des expériences de traçage menées sur l'aquifère des calcaires du Jurassique ont été portés.

Il apparaît ainsi que nous pouvons déterminer un bassin hydrogéologique (cf. Figure 3) où les écoulements se font vers l'Hérault et non vers la Source du Lez. Il est défini au Nord par l'apparition des affleurements jurassiques, à l'Est par les affleurements crétacés et le bassin du Mas de Londres, au Sud la limite est constituée par la fin des affleurements jurassiques vers l'Ouest, la zone de Viols le Fort et les affleurements éocènes pour l'Est. En ce qui concerne la limite Ouest, celle-ci est

faiblement contrainte notamment dans sa partie Nord. En revanche, la partie Sud est relativement mieux cernée par les études menées au niveau du captage du Drac et des grottes de Clamouse.

Ce bassin hydrogéologique couvre ainsi une superficie de 1 000 km² environ.

Compte tenu du fort potentiel d'infiltration des précipitations sur ces aquifères, une telle extension lui confère une alimentation très importante. En considérant une lame précipitée moyenne de 700 mm avec un coefficient d'infiltration moyen de 40 %, le volume infiltré par an peut être estimé à **280.10⁶ m³**.

La majeure partie de ce volume rejoint directement le fleuve par l'intermédiaire des sources pérennes ou temporaires mais il constitue un potentiel de reconstitution important des réserves de l'aquifère en cas d'exploitation en période de basses eaux.

Ce volume transite au sein de l'aquifère et permet de contrebalancer les pertes naturelles qui sont associées soit aux relations avec d'autres aquifères en aval (relation probablement très faible avec la plaine de l'Hérault et son substratum Mio-Pliocène soit par des résurgences qui sont les moteurs essentiels de la vidange de l'aquifère des calcaires jurassiques du secteur. On ajoutera aussi les pertes artificielles (prélèvements ...) qui peuvent atteindre un volume de 2 à 5.10⁻⁶ m³.

En l'absence de résurgence sous-marine profonde (comme la Vis dans l'étang de Thau) comme exutoire de base de cet aquifère, l'essentiel des volumes infiltrés qui l'alimentent déborde par les différentes résurgences vers les réseaux superficiels.

5.2. Recensement des résurgences dans le secteur de l'Hérault

Dans un premier temps, un recensement des évènements karstiques (pertes et sources) a été effectué à partir des bases de données accessibles. Ainsi, plus de 800 phénomènes ont été recensés sur l'ensemble du bassin versant moyen de l'Hérault dont 648 cavités naturelles, 2 pertes et 192 sources.

Afin de limiter le nombre des données, une sélection sur une bande de 2 km autour de l'Hérault a été opérée, les sources principales présentes sur les affluents ont été ajoutées. Cette sélection est reportée sur la Figure 5 sur fond topographique.

Ainsi, 143 phénomènes karstiques ont pu être répertoriés dont 65 sources, 77 cavités naturelles et 1 perte. A cette sélection, les sources de la Buèges et de la Vis très éloignées à l'Ouest peuvent être rajoutées ainsi que certaines sources principales présentes sur les affluents lorsqu'elles représentent des résurgences importantes.

Ce recensement n'a rien d'exhaustif et surreprésente les cavités karstiques recensées par les spéléologues au détriment des événements non explorables ou des résurgences de petites ampleurs.

De façon classique et en relation avec les mécanismes de karstification, la majorité des événements karstiques se situe dans les talwegs et leur altitude d'émergence varie en fonction de l'évolution du fil d'eau des cours d'eau au cours des temps géologiques.

Par ailleurs, seulement 50 % des points recensés sont des résurgences dont le débit n'est que rarement documenté. Il apparaît qu'un grand nombre de ces points ne fonctionne que lors de précipitations et ne met en évidence que le fonctionnement rapide de l'épikarst (infiltration rapide des précipitations et restitution par des sources temporaires sans alimentation de l'aquifère en profondeur) et donc une version sub-souterraine du ruissellement de surface ou des débordements de crue.

De plus, compte tenu des variations importantes du niveau de base au cours du temps par rapport à l'actuel (au Messinien ce niveau se trouvait plusieurs centaines de mètres plus bas) dont l'importance sur la genèse karstique est reconnue sur tout le bassin méditerranéen, des résurgences peuvent exister au sein du lit du cours d'eau.

Les principales résurgences visibles sont :

- la source de Lasfonds,
- la Source de la Vis,
- la Source de la Buèges,
- les sourcettes de Laroque,
- les émergences des Cent Fonts,
- la source des Fontanilles
- la source de Clamouse.

5.3. Mesures de débit dans l'Hérault

5.3.1. Réseau de mesure

A partir de ce recensement et des données en notre possession, nous avons établi avec CEREG Métrologie différents points pouvant laisser apparaître des relations entre l'Hérault et l'aquifère des calcaires jurassiques.

L'ensemble des points contrôlés est reporté sur la Figure 6.

Le réseau de mesures prend en compte les grandes résurgences définies précédemment mais aussi l'apport beaucoup plus limité des résurgences secondaires présentes sur ses petits affluents.

En ce qui concerne les zones d'émergence comme celles de Laroque, des Cent Fonts et de Clamouse, nous avons effectué une mesure de débit en amont et en aval des zones d'échange potentiel afin de les intégrer au mieux.

De même, les potentialités de résurgences secondaires à l'aval des sources de la Vis et de la Buèges ont été prises en compte par une mesure à leur confluence.

Enfin, une mesure a été effectuée sur l'Arre, en aval de la STEP du Vigan, qui est alimentée en partie sur son cours supérieur par la Source de Lasfont et quelques sources secondaires qui jaillissent en bordure septentrionale des Grands Causses et par le système perte du Coudoulous, résurgence de la Source d'Isis (captée pour l'AEP du Vigan et dont le magasin est constitué par les formations carbonatées du Cambrien).

Compte tenu des aménagements présents sur l'Hérault, nous avons effectué des mesures intermédiaires notamment au niveau du Pont d'Issensac et de Causse de la Selle qui permettent d'assurer une certaine régularité des mesures et la prise en compte potentielle des relations entre aquifère et Hérault dans des zones peu documentées.

5.3.2. Prélèvements anthropiques

Plusieurs prélèvements anthropiques d'eau sont effectués sur l'Hérault au cours de son parcours dans le domaine des calcaires jurassiques. Ces prélèvements sont menés soit directement dans le fleuve pour l'AEP ou l'irrigation soit sur ses affluents pérennes.

Dans le cadre de cette étude, nous considérerons les grands prélèvements susceptibles d'affecter le débit du cours d'eau.

Le premier prélèvement est celui du captage AEP du Vigan qui exploite la Source d'Isis. Cette résurgence est en fait l'expression des pertes en amont dans les formations du Cambrien.

Ce prélèvement est pris en compte par la mesure à l'aval de la STEP du Vigan (ST 1).

Le second prélèvement AEP recensé est celui du Syndicat des Garrigues à Ganges qui prélève directement dans l'Hérault, le débit de prélèvement est d'une centaine de m³/h, ce prélèvement est globalement restitué dans l'Hérault à partir de la STEP de Ganges en amont immédiat des mesures de Laroque. Ce prélèvement est amené à disparaître au profit d'un captage par forage dans l'aquifère des calcaires jurassiques.

En ce qui concerne les prélèvements pour l'irrigation, le premier est constitué d'une dérivation d'une partie importante de La Vis vers la plaine en rive droite de l'Hérault en aval de Ganges (canal de Cazilhac). La mesure à la confluence de La Vis a été effectuée en amont de cette prise.

Le second prélèvement pour l'irrigation est mené en aval des Cent Fonts par le canal de Gignac. Cette prise d'eau a nécessité la création d'un lac en amont qui nous a contraints à positionner la mesure des Cent Fonts aval (ST 8) en aval du barrage. Cette mesure intègre donc les relations potentielles entre aquifère et Hérault mais aussi les prélèvements par le canal de Gignac.

5.3.3. Résultats

Ce réseau de mesure a permis d'effectuer une campagne de basses eaux du 19 au 21 septembre 2012 et une de hautes eaux du 7 au 9 novembre 2012. La campagne de basses eaux a été complétée le 8 octobre par des mesures au niveau des Cent Fonts pour lesquelles un recoupement sur des stations contrôlées préalablement permet d'assurer une bonne cohésion avec le reste des mesures.

L'ensemble des mesures est donné sous forme de tableaux. Ces tableaux permettent de croiser l'évolution du débit de l'Hérault d'amont en aval en fonction des apports ou prélèvements latéraux et du bassin versant drainé et ce pour chaque campagne.

Campagne de Basses Eaux (septembre 2012) :

N° Station	Hérault		Relations parallèles		Bassin Versant drainé (km ²)
	Nom de Station	Débit (m ³ /s)	Débit (m ³ /s)	Nom de Station	
ST 1			0,698	Aval du Vigan	188
ST 11			0	Roudoulouse	
ST 12			1,57	Vis (confluence)	322
ST 18			1,304	Vis (source)	
ST 2	Laroque Amont	2,071			745
ST 3	Laroque Aval	2,587			755
ST 13			0,239	Avèze (confluence)	12
ST 4	Pont d'Issensac	2,738			830
ST 5			0,005	Buèges (confluence)	70
ST 14			0,107	Buèges (source)	
ST 15			annulé	Lamalou	
ST 6	Causse de la Selle	2,982			930
ST 7	Cent Fonts Amont	3			980
			1	Prélèvement Gignac	
ST 8	Cent Fonts Aval	2,1			995
ST 16			0	Combe de Bouis	10
ST 17			0,026	Verdus	16
ST 9	Clamouse Amont	1,896			1040
ST 10	Clamouse Aval	2,32			1045

On considérera l'incertitude sur les mesures de débits de l'ordre de 10 %.

Le débit à Laroque amont (ST 2) correspond au débit d'apport de la Vis (ST 12) et de l'Arre (ST 1). Le suivi patrimonial des débits de l'Hérault y donne un débit moyen journalier de $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Le débit de l'Hérault sensu stricto à son entrée dans le domaine des calcaires du Jurassique (à l'amont de sa confluence avec la Vis) est donc faible soit entre $0,2$ et $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

A la sortie de la zone d'émergence des Sourcettes, le gain en débit est notable $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ et s'explique par l'apport des résurgences reconnues ou qui sourdent au-dessous du fil d'eau du fleuve.

Jusqu'au Pont d'Issensac, compte tenu de l'apport par l'Avèze (ST 13), il ne semble pas y avoir d'évolution notable des débits de l'Hérault.

Le débit de l'Hérault mesuré au niveau de Causse de la Selle (ST 6) voit une augmentation de près de $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Cette hausse n'est pas directement imputable à la Buèges (ST 5) dont le débit à la confluence est négligeable malgré un débit au niveau de la résurgence relativement important (ST 14) de $0,107 \text{ m}^3/\text{s}$. Par ailleurs, le débit du Lamalou, affluent en rive gauche est considéré comme négligeable.

L'absence d'écoulement à la confluence de la Buèges est attendue en raison des nombreuses pertes qui alimentent l'aquifère des calcaires jurassiques.

Il existe donc un apport mal recensé entre le pont d'Issensac et la station du Causse de la Selle. L'absence de résurgence importante dans ce secteur laisse penser que cet apport s'effectue directement au sein du lit du fleuve (les résurgences recensées ne possèdent pas de débits importants).

Jusqu'à la mesure amont des Cent Fonts (ST 7), le débit n'évolue pas significativement malgré une distance importante et un bassin versant drainé non négligeable.

L'apport de la zone des résurgences des Cent Fonts (ST 8) est relativement moyen avec une augmentation de l'ordre de $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ en considérant un prélèvement par le canal de Gignac de $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Lors des visites de site, il est apparu qu'un grand nombre de résurgences en bordure du fleuve l'alimentait et sourdaient à une altitude bien supérieure à celle du fil d'eau de l'Hérault notamment en rive gauche. Cet ensemble de résurgence suffit à expliquer l'augmentation des débits mais il n'est pas exclu qu'un apport par le lit de l'Hérault soit possible.

En amont des résurgences de Clamouse (ST 9), le débit a perdu 0,2 m³/s malgré l'apport du Verdus (ST 17) de 0,026 m³/s. Cette diminution importante du débit est assez incohérente avec les connaissances hydrogéologiques du secteur qui tendent plutôt à favoriser un apport dans ce secteur. Compte tenu de la mesure à l'aval de cette zone de résurgence (ST 10) de 3,32 m³/s (en considérant la prise du canal de Gignac), il semble plus vraisemblable que la mesure ST 9 soit associée à un biais légèrement supérieure à 10 %. Compte tenu de la section de mesure, cette approximation ne semble pas irréaliste.

En déconsidérant cette mesure, il semble néanmoins que la zone de résurgence de Clamouse alimente l'Hérault de 0,1 à 0,3 m³/s.

Campagne de Moyennes Eaux (novembre 2012) :

N° Station	Hérault		Relations parallèles		Bassin Versant drainé (km ²)
	Nom de Station	Débit (m ³ /s)	Débit (m ³ /s)	Nom de Station	
ST 1			3,048	Aval du Vigan	188
ST 11			0	Roudoulouse	
ST 5			5,069	Vis (confluence)	322
ST 18			1,813	Vis (source)	
ST 2	Laroque Amont	9,228			745
ST 3	Laroque Aval	10,34			755
ST 13			0,743	Avèze (confluence)	12
ST 4	Pont d'Issensac	11,48			830
ST 5			0,164	Buèges (confluence)	70
ST 14			0,576	Buèges (source)	
ST 15			annulé	Lamalou	
ST 6	Causse de la Selle	12,88			930
ST 7	Cent Fonts Amont	8,811			980
				Prélèvement Gignac	
ST 8	Cent Fonts Aval	12,68			995
ST 16			0,032	Combe de Bouis	10
ST 17			0,026	Verdus	16
ST 9	Clamouse Amont	16,6			1040
ST 10	Clamouse Aval	10,64			1045

Comme précédemment, nous allons étudier l'évolution du débit de l'Hérault d'amont en aval.

Le débit de l'Hérault à l'amont de Laroque était, d'après le suivi patrimonial de 10,4 m³/s, soit nettement supérieur à celui de la Vis et de l'Arre réunis. Cette nette différence (2 m³/s) s'explique par les précipitations préalables aux dates des mesures qui ont alimenté l'Hérault par les ruissellements sur le bassin versant de cette station (745 km² partie cévenole comprise).

On notera la très forte augmentation du débit de la Vis (3 m³/s) qui est vraisemblablement l'expression du drainage du bassin versant du cours d'eau (322 km²) mais aussi des résurgences qui l'alimentent.

La zone de résurgence des Sourcettes n'apparaît plus ici comme génératrice d'un apport mais l'incertitude des mesures masque probablement leur rôle.

Au pont d'Issensac, le débit a augmenté de 1 m³/s comprenant les apports de l'Avèze (0,7 m³/s). Pour l'Hérault, l'augmentation de débit est relativement faible compte tenu du bassin versant drainé (80 km²) mais en revanche, celle de l'Avèze est importante (0,5 m³/s) pour un bassin versant de 12 km². Cette forte augmentation des débits semble montrer un débordement de l'aquifère drainé par cet affluent.

Plus en aval, la station du Causse de la Selle montre une augmentation de débit de 1,5 m³/s environ. Les apports de la Buèges (0,164 m³/s) n'expliquent pas cette augmentation. De même, elle ne peut s'expliquer par le drainage d'un grand bassin versant (+ 100 km²) qui est pratiquement uniquement drainé par la Buèges (70 km²). Comme en période de basses eaux, il apparaît ici qu'un apport non recensé est le principal vecteur d'augmentation des débits entre Issensac et le Causse de la Selle.

On notera une nouvelle fois que la source de la Buèges s'infiltré presque en totalité vers l'aquifère des calcaires jurassiques et les Cent Fonts.

A partir de là, les grandes zones de résurgences connues (Cent Fonts, Fontanilles et Clamouse) apparaissent. Néanmoins, à l'amont des Cent Fonts, les mesures de débits montrent une baisse de 4 m³/s.

Cette forte baisse de débit s'explique difficilement et ne peut être associée qu'à une perte dans l'Hérault. L'absence de visibilité en basses eaux peut avoir plusieurs raisons dont une altitude de perte au-dessus du fil d'eau de cette période ou un masquage par l'incertitude de mesure et/ou les modalités de correction (mesures septembre-octobre).

A la sortie de la zone de résurgence des Cent Fonts, le débit a augmenté de 4 m³/s soit l'équivalent du débit perdu à l'entrée de la zone sans compter le prélèvement du Canal de Gignac. Cette augmentation est l'expression unique des apports souterrains de l'aquifère des calcaires jurassiques.

De même, il existe un apport non négligeable entre les deux zones de résurgence (4 m³/s). Cet apport est cohérent avec la bibliographie du secteur malgré des résurgences non individualisées. On relèvera l'absence d'apport par les affluents (Verdus et Combe de Bouis).

Enfin, le débit en sortie du domaine des calcaires jurassiques s'effondre avec une perte de 6 m³/s mesurée. Cette perte est difficilement explicable en raison de l'apport par les résurgences de Clamouse (cf. basses eaux) qui ne peuvent qu'être importantes et peut avoir pour origine un problème d'incertitude de mesure ou un drainage vers l'aquifère jurassique présent essentiellement sous couverture à l'aval des gorges.

Analyses

Les relations entre un cours d'eau et un milieu fissuré fortement karstifié sont complexes. En effet, cette relation n'est pas univoque mais peut avoir un grand nombre d'état intermédiaire.

Ces évolutions sont notamment dues aux variations de niveau de plan d'eau dans l'aquifère entre hautes et basses eaux. En effet, le marnage d'un aquifère karstique varie généralement de plusieurs mètres voire plusieurs dizaine de mètres. Ainsi, une zone de perte peut alors devenir une zone de résurgence.

De même, le débit d'une résurgence est directement influencé par la charge en amont dans l'aquifère et peut passer de quelques dizaines de l/s à plusieurs centaines de l/s rapidement et ce d'autant plus que les écoulements souterrains vers l'aval sont limités.

Dans le cas de l'Hérault, les mesures effectuées dans le cadre de cette étude ont mis en évidence les zones d'alimentation par des résurgences plus ou moins pérennes et localisées (cf. Figure 7).

Que ce soit en hautes ou basses eaux, le débit à Laroque est fortement influencé par le débit de la Vis que ce soit celui issu de l'émergence (basses eaux - 50 à 75 %) ou celui de l'ensemble du bassin versant (hautes eaux - > 50 %).

Les résurgences de Laroque, ne représente qu'un faible apport (10 %) qui ne semble pas varier significativement en hautes eaux. Cette relative stabilité s'explique par la déconnexion reconnu de ce système karstique avec l'aquifère des calcaires jurassiques. En effet, ces résurgences sont l'expression du drainage des reliefs en rive gauche et notamment par les pertes du Rieutord. De même, dans ce secteur, des essais par pompage menés à proximité de l'Hérault (rive droite) dans l'aquifère des calcaires du Jurassique n'ont pas montré de relation hydrodynamique claire entre les deux hydro-systèmes.

Un fonctionnement de débordement de l'aquifère karstique a, semble-t'il, été mis en évidence au niveau de l'Avèze dont le débit en hautes eaux ne dépend pas de son bassin versant superficiel.

Une zone de résurgence a pu être mise en évidence entre le pont d'Issensac et le Causse de la Selle. Le débit apporté est non négligeable et de l'ordre de 10 % que ce soit en hautes ou basses eaux. Ce débit est probablement lié aux résurgences des Fontanilles qui drainent l'aquifère des calcaires du Jurassique au niveau du Mas de Londres.

La Buèges qui conflue avec l'Hérault en amont de cette zone n'est pas un affluent important malgré le débit à la résurgence. En effet, cette source draine un bloc isolé de l'ensemble des calcaires jurassiques qui s'épanche alors par voie superficielle. Ce phénomène de débordement permet la création d'une perte pratiquement totale dans le bloc aquifère aval. Ce fonctionnement est largement reconnu puisqu'il a fait l'objet de nombreux travaux notamment concernant sa relation directe avec les résurgences des Cent Fonts.

La zone de résurgence des Cent Fonts, en rive droite, est une zone comparable à celle des Sourcettes de Laroque en rive gauche mais semble plus connectée à l'aquifère des calcaires jurassiques en rive droite notamment au travers des pertes de la Buèges et de la présence de résurgences potentiellement très importantes (les Cent Fonts s.s).

Enfin, la zone de résurgence de Clamouse est une zone de débordement associée à la limite plus ou moins imperméable du bassin Mio-Pliocène et alluvial de la basse vallée de l'Hérault. La mise en charge de l'aquifère des calcaires jurassiques dont l'écoulement est fortement limité à l'aval permet la mise en fonctionnement de résurgences en période de hautes eaux dont les débits peuvent devenir très importants.

En revanche, pour ces deux grandes zones de résurgences, les fortes variations de débits entre les deux campagnes limitent la précision de la détermination des apports. Néanmoins, ceux-ci ne font aucun doute.

6. CONCLUSION

La gestion de débit de l'Hérault nécessite de prendre en compte les aspects liés à ces relations avec le aquifères souterrains. Dans sa partie amont, le fleuve s'écoule au travers d'un massif fissuré karstique contenant un aquifère important.

Les potentialités de relations entre un aquifère fissuré-karstique et un cours d'eau ne sont pas négligeables. C'est dans cette optique que des campagnes de mesures de débits ont été effectuées en période de basses et hautes eaux.

De façon générale, il semble que l'apport de l'aquifère des calcaires jurassiques atteint 30 % du débit de l'Hérault au cours de sa traversée (en basse eaux) et entre 40 et 60 % en moyennes eaux.

Par ailleurs, la présence de résurgences en rive droite et en rive gauche souvent en altitude par rapport au fleuve ne semble pas favorable à une relation continue. Le fil d'eau de l'Hérault n'est donc pas en relation directe continu avec le niveau statique de l'aquifère des calcaires jurassiques.

Plusieurs aquifères sont susceptibles de renfermer des ressources en eau pouvant être exploitées sans créer d'impact sur le débit du fleuve :

- ***l'aquifère jurassique des gorges de l'Hérault*** comme l'ont montré les essais sur le site des Cent Fonts. Ces prélèvements nécessitent un rejet de compensation vers l'Hérault puisque les pompages vont se traduire par une baisse du débit des sources. D'autres sites comme celui des sources de la Vis seraient aptes à fournir des débits importants dans ce même cadre avec des réalimentations artificielles des rivières ou du fleuve ;

- ***l'aquifère des calcaires lutétiens***. L'impact des prélèvements est largement amorti voire annulé en s'éloignant des sources issues de cet aquifère comme celle d'Aniane ou de Saint Bauzille de la Sylve. Les essais réalisés sur le nouveau captage de Gignac ont bien montré ce type de fonctionnement ;

- ***l'aquifère des calcaires jurassiques*** sous couverture dans le secteur de Montagnac à Pézenas. En l'absence d'alimentation du fleuve par cet aquifère (hors période de hautes eaux), les éventuels nouveaux prélèvements dont la potentialité de production importante, a été montrée par des forages profonds n'auraient pas d'incidence sur le débit du fleuve ;

- par contre ***l'aquifère alluvial*** ne présente pas de potentiel de production supplémentaire sans qu'il y ait un impact direct sur le fleuve.

Montpellier, le 2 décembre 2013

Marjorie KREIS

Jean-Marc FRANÇOIS

FIGURES

SITUATION GÉOGRAPHIQUE

1



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMÉRISÉS AU 1/150 000

— Hérault — Affluent

0 5 10 km

LEGENDE GÉOLOGIQUE PARTIELLE

EXTRAIT DES CARTES GÉOLOGIQUES BRGM AU 1/50 000
N° 936 NANT, N° 937 LE VIGAN, N° 989 LODÈVE, N° 990 MONTPELLIER

QUATERNAIRE

	C	Colluvions
	Fz	Alluvions de lit majeur
	Fy₂	Alluvions de terrasse intermédiaire (5-10 m)
	Fy	Alluvions de moyenne terrasse (10-20 m)
	Fx	Alluvions de haute terrasse (25-35 m)
	Fv	Cailloutis siliceux (villafranchien)

	n3b	Hautérivien
	n3a	

	n2b	Valanginien
	n2M	
	n2a	

	n1	Berriasien
	n1b	
	n1a	

CÉNOZOÏQUE

Miocène

	m3	Miocène terminal Grès, sables, conglomérats
	m2	Miocène moyen 1 - Conglomérat côtier 2 - Niveaux à graviers de quartz 3 - Calcaire lacustre
	m1a	Aquitanien m1a - Marnes jaunes, grès, conglomérats m1aG - Conglomérats, brèches m1aC - Calcaire lacustre

	e6	Eocène supérieur (Bartonien) Conglomérats, argiles saumon
--	-----------	---------------------------------------------------------------------

	e3-5	Eocène moyen Calcaire lacustre "Lutétien" 1 - Marnes et grès 2 - Travertins à Plantes
--	-------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------

	e1	Eocène inférieur e1 - Marnes infralutésiennes e1V - Brèches rouges, "Vitrollien"
--	-----------	-----------------------------------------------------------------------------------------------

Jurassique

	j9	Portlandien
	j8	Kimméridgien supérieur Calcaire beige
	j7	Kimméridgien inférieur Calcaire argileux en petits bancs
	j6	Oxfordien supérieur Calcaire gris, dolomie
	j3-5	Callovo-argovien Calcaires, calcaires marneux
	j2	Bathonien Dolomies, calcaires lités

	l1-2	Hettangien Dolomies "cubiques", marnes
--	-------------	--------------------------------------------------

	t10	Rhétien
--	------------	----------------

Trias

	t.s	Trias supérieur
	t.i	Trias inférieur

MÉSOZOÏQUE

Crétacé

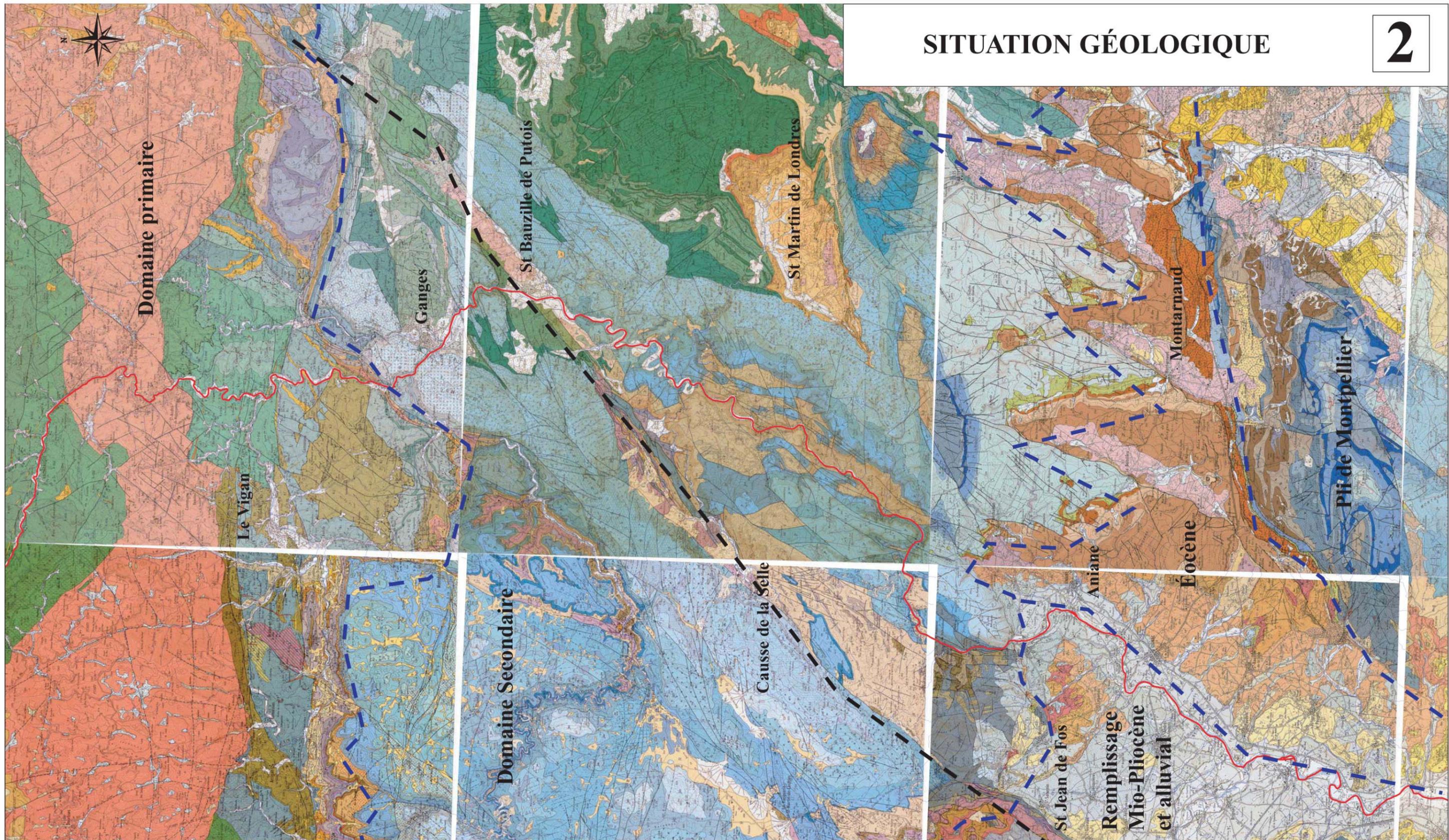
	C7	Bégudo-rognaïcien Argiles, grès, conglomérats
	C6b2	Fuvélien (Campanien supérieur) C6b2 - marnes violettes C6b1 - grès, argiles, calcaires noduleux
	C6b1	

PALÉOZOÏQUE

Cambrien inférieur
Ensemble carbonaté

	k2	Cambrien inférieur
	k1	Cambrien inférieur





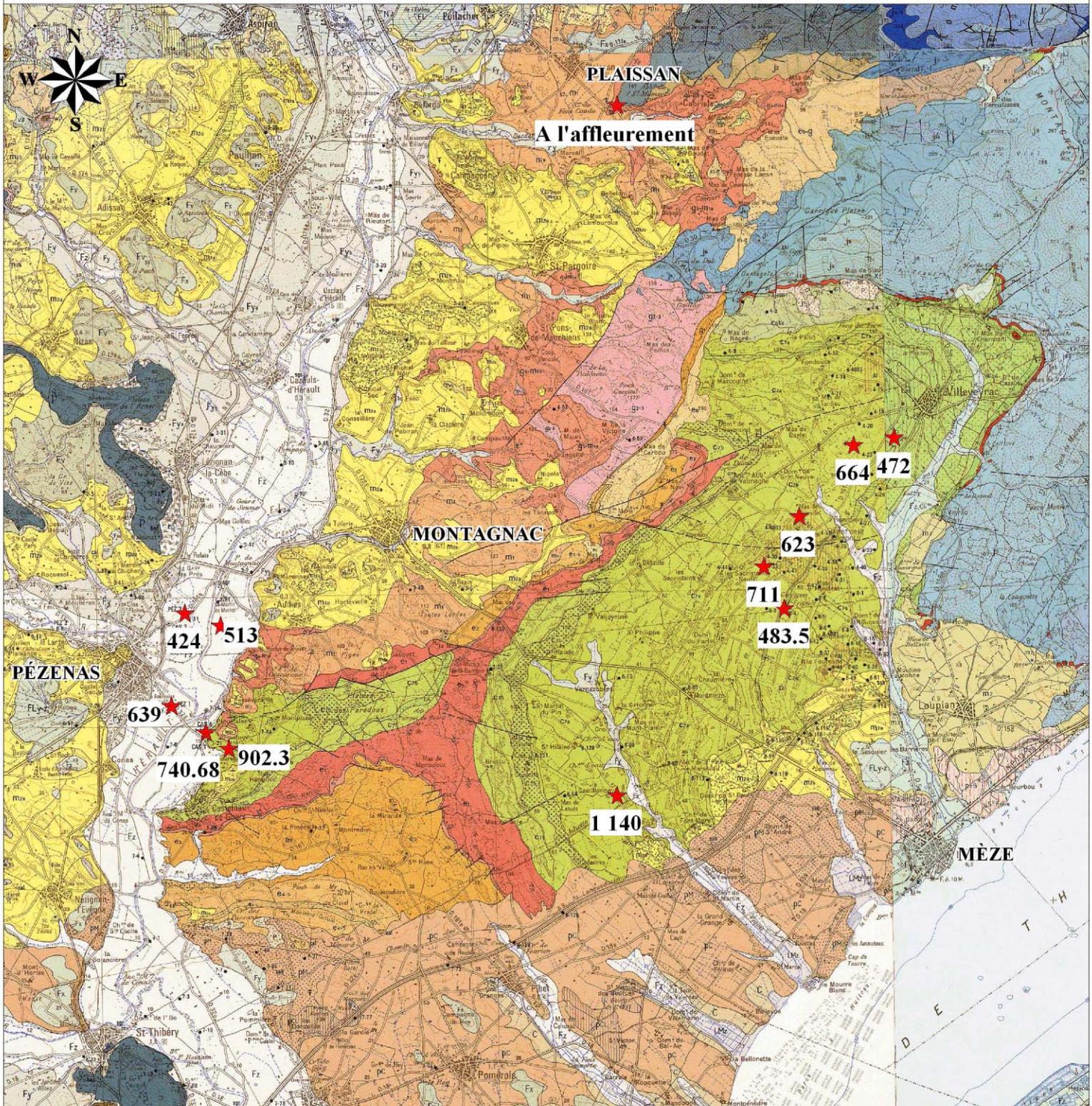
EXTRAITS DES CARTES GEOLOGIQUES DU BRGM N°BRGM AGRANDIS AU 1/150 000
n° 936 Nant, 937 Le Vigan, 962 Le Caylar, 963 St Martin de Londres, 989 Lodève, 990 Montpellier, 1015 Pézenas et 1016 Sète

— Hérault — Affluent - - Séparation de domaines géologiques - - Faille des Cévennes



IDENTIFICATION DU CALCAIRE JURASSIQUE SOUS COUVERTURE

3



EXTRAIT DES CARTES GÉOLOGIQUES DU BRGM AU 1/50 000 RÉTRÉCIES AU 1/100 000
N°989 LODÈVE, N°990 MONTPELLIER, N°1015 PÉZENAS ET N° 1016 SÈTE

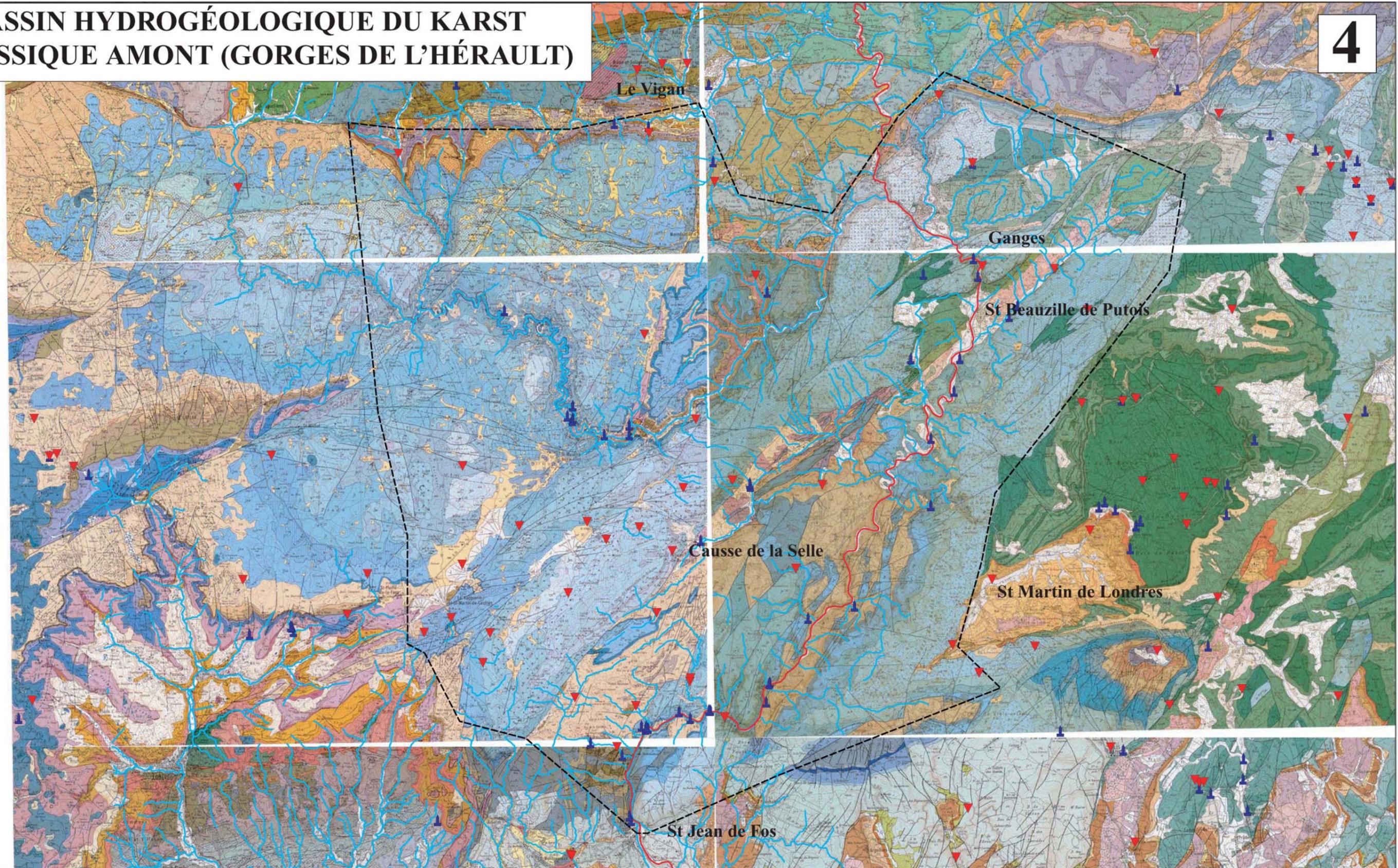
★ Forage

1140 Profondeur des calcaires jurassiques (en mètre)



BASSIN HYDROGÉOLOGIQUE DU KARST JURASSIQUE AMONT (GORGES DE L'HÉRAULT)

4



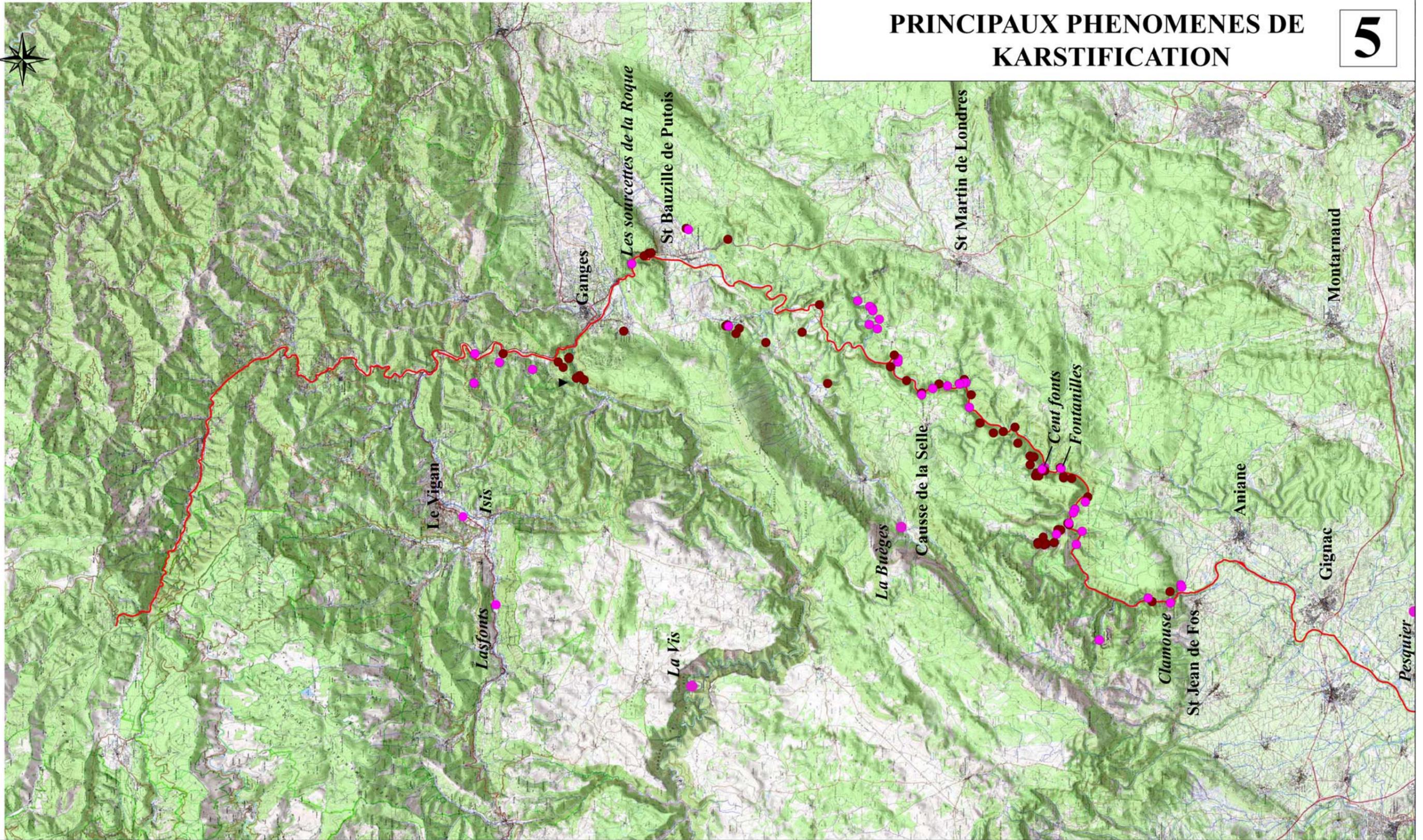
EXTRAITS DE S CARTES GEOLOGIQUES DU BRGM N°BRGM AGRANDIS AU 1/150 000
n° 936 Nant, 937 Le Vigan, 962 Le Caylar, 963 St Martin de Londres, 989 Lodève, 990 Montpellier, 1015 Pézenas et 1016 Sète

— Hérault — Affluent ▼ Injection ↓ Restitution - - - - - Bassin hydrogéologique

0 5 10 km

PRINCIPAUX PHENOMENES DE KARSTIFICATION

5



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMÉRISÉS AU 1/150 000

-  Hérault
-  Affluent
-  Cavité naturelle
-  Sources

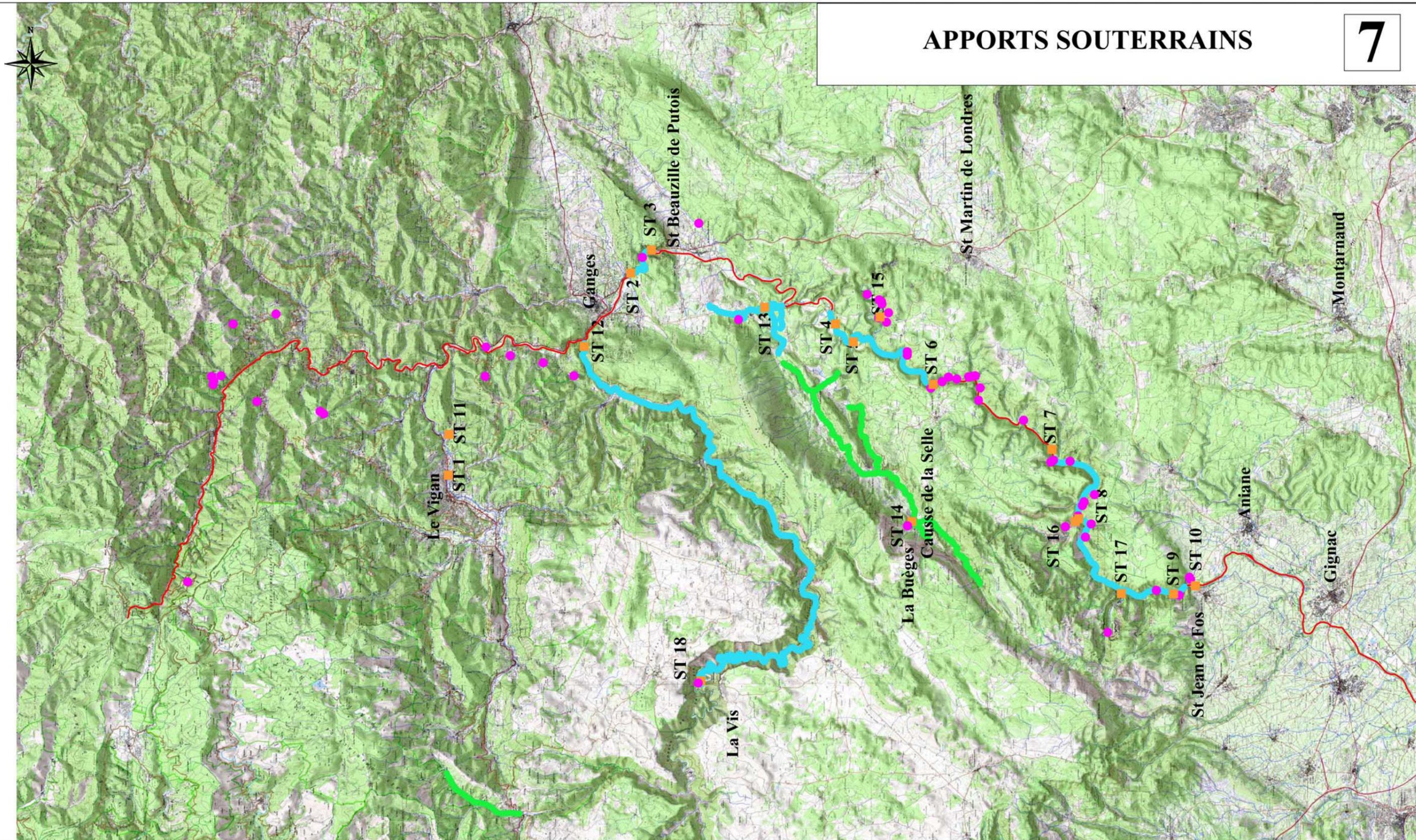
0 5 10 km



EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMÉRISÉS AU 1/150 000

— Hérault — Affluent ■ Station de mesure





EXTRAIT DES FONDS TOPOGRAPHIQUES IGN NUMÉRISÉS AU 1/150 000

- Hérault
- Affluent
- Station de mesure
- Source
- Zone d'apport direct
- Zone d'apport indirect par perte



**Annexe n°4 : Comparaison des
résultats de la modélisation
aux études précédentes
(GINGER)**

➤ INTRODUCTION

La comparaison des QMNA5 proposés par CEREG dans le cadre de l'EVP de l'Hérault, aux QMNA5 proposés par GINGER lors de l'étude de définition des débits d'étiage sur l'Hérault montre des écarts substantiels aux différents points nodaux. L'objet du tableau ci-après est donc de comprendre et d'expliquer ces écarts, afin de définir la valeur la plus pertinente.

A cette fin, il a été utilisé les données disponibles aux stations hydrométriques suivantes du bassin versant : Valleraugue, La Terrisse (Arre), Le Vigan (Arre), Saint-Laurent-le-Minier (Vis), Laroque, Gignac aval, Aspiran, et Agde.

En chaque station, une analyse statistique des observations a été réalisée, permettant de déterminer (selon les données disponibles) le QMNA5 sur la chronique totale observée et le QMNA5 sur la période prise en compte par GINGER (1994-2002). La même démarche a été faite sur les données de la modélisation qui fournit les débits aux stations sur la chronique totale modélisée (1983-2011) et sur la chronique GINGER (1994-2002).

En chaque point nodal, les résultats proposés par GINGER sont présentés ainsi que ceux issus de la modélisation sur la même chronique (1994-2002) à titre de comparaison, même si les résultats de la modélisation sont les QMNA5 calculés sur 1983-2011.

➤ COMPARAISON METHODOLOGIQUE

Il convient de présenter les méthodologies utilisées par GINGER et CEREG, celles-ci étant très différentes et expliquant beaucoup des écarts.

La méthodologie CEREG ayant déjà fait l'objet d'explications dans la phase 2, c'est essentiellement la méthodologie GINGER qui est détaillée ci-après.

Méthodologie utilisée par GINGER

Une campagne de jaugeages (J) a été réalisée en juillet 2007 :

- A chaque station hydrométrique (i) : un ratio $r_i = J_i/QMNA5_i$ est calculé en utilisant le QMNA5 observé sur 1994-2002 ;
- A chaque point nodal (n) : le ratio r_i de la station la plus proche (selon les cas) est appliqué pour déterminer $QMNA5_n = J_n/J_i \times QMNA5_i$.

Le choix de la station de référence (i) pour caractériser le QMNA5 au point nodal (n) peut se faire soit à partir de la station hydrométrique en amont ou bien en aval du point nodal, soit à partir d'une pondération entre les deux.

Cette méthode est intéressante, mais présente deux défauts principaux :

- Elle est dépendante d'une seule mesure (une seule campagne de jaugeages a eu lieu) ;
- Elle est correcte si l'évolution du QMNA5 est linéaire entre le point nodal et la station hydrométrique, mais ne s'applique pas en cas de variations ponctuelles brusques liées par exemple à un apport ou un prélèvement.

Méthodologie utilisée par CEREG

Le modèle utilisé est calé sur les observations aux stations et donne les valeurs de débits naturels aux points nodaux. Les prélèvements validés en phase 1 sont ensuite appliqués pour obtenir les débits influencés. L'analyse statistique de ces chroniques permet de calculer les QMNA5 influencés à chaque point nodal.

Rappel : Le modèle développé par CEREG travaille au pas de temps décadaire. Sa précision est d'autant meilleure que les données simulées sont utilisées pour établir des quantiles (QMNA5, QMNA2, débits moyens,...). Ainsi, plus la période de modélisation est longue, plus les quantiles sont fiables sur le plan statistique.

➤ Comparaison des valeurs aux points nodaux

Pour chaque bassin versant, sont présentés dans le tableau suivant :

- Le QMNA5 proposé par GINGER calculé à partir des QMNA5 observés sur 1994-2002 aux stations et d'une campagne de jaugeages réalisée en 2007 ;
- Le QMNA5 issu de la modélisation réalisée par CEREG dans le cadre de l'EVP, recalculé sur 1994-2002, à titre de comparaison, mais qui n'a pas pour objectif d'être retenu ;
- L'écart entre ces deux valeurs ;
- Le QMNA5 proposé par CEREG, issu de la modélisation réalisée dans le cadre de l'EVP sur 1983-2011 ;
- La comparaison des valeurs GINGER et CEREG et l'explication des différences ;
- Les conclusions et les propositions de valeurs de QMNA5 à retenir suite à cette analyse.

BV	Surface drainée	GINGER - QMNA5 influencé 1994-2002 (l/s)	CEREG - QMNA5 influencé 1994-2002 (l/s)	Ecart QMNA5 influencé CEREG- GINGER (l/s)	CEREG - QMNA5 influencé 1983-2011 (l/s)	Commentaire	Conclusion	Propositions de valeurs de QMNA5 influencés retenues (l/s)
Hérault H1	109 km ²	150	360	+210	340	<p><u>Observations à la station de Valleraugue (45 km²) 1961-1983 (24 ans) :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - QMNA5 = 120 l/s <p><u>Observations à Valleraugue sur une chronique de 8 ans, par exemple :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - QMNA5 1970-1977= 50 l/s - QMNA5 1974-1982 = 5 l/s <p>➔ Ce calcul illustre le biais lié à l'utilisation d'une chronique trop courte pour le calcul de valeurs statistiques comme le QMNA5, et la variabilité du QMNA5 sur une chronique courte.</p> <p><u>Modélisation CEREG à Valleraugue 1983-2011 (28 ans) :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - QMNA5 = 130 l/s <p>➔ Bien que les chroniques étudiées soient différentes, leur durée relativement importante rend les statistiques calculées comparables. Le QMNA5 sur la chronique maximale simulée est proche du QMNA5 sur la chronique maximale observée (30% d'erreur). La modélisation semble donc fiable pour reproduire le QMNA5.</p> <p><u>Modélisation CEREG à Valleraugue 2008-2011 :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Qmoyen août 2008-2011 = 200l/s <p>➔ La modélisation sous-estime la valeur du Qmoyen août par rapport aux observations à la station. Les années 2008-2011 ne permettent donc pas d'apporter une validation supplémentaire du modèle. La bonne estimation du QMNA5 est toutefois son principal objectif.</p> <p><u>Au point nodal H1 :</u></p> <p>La modélisation propose un QMNA5 de 340 l/s pour un bassin drainé de 109 km². Le QMNA5 étant simulé à 130l /s pour un bassin de 45 km² à Valleraugue, cette valeur est cohérente.</p>	<p>L'utilisation d'une chronique de 8 ans ne permet pas de rendre compte du QMNA5 réel observé à la station. Ceci tend à fragiliser la valeur de QMNA5 proposée par GINGER.</p> <p>La modélisation CEREG donne une estimation fiable du QMNA5 à la station de Valleraugue.</p> <p>En conséquence, nous proposons de conserver le QMNA5 en H1 issu de la simulation CEREG sur 1983-2011.</p>	340

Arre A	174 km ²	620	370	-250	410	<p><u>Observations à la station de la Terrisse (155 km²) :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - QMNA5 1959-2011 (chronique totale) = 510 l/s - QMNA5 1994-2002 = 550 l/s ➔ La période 1994-2002 surestime le QMNA5. L'utilisation de cette chronique ne permet donc pas d'obtenir un QMNA5 représentatif des observations à la station. ➔ Le calcul de GINGER est basé sur les observations à la station de la Terrisse sur 1994-2002. Or d'après la DREAL, celle-ci n'était pas fiable avant 2008. Seules les observations à partir de 2009 sont donc utilisables. En 2009, une deuxième station a été créée au Vigan et complète l'analyse. <p><u>Observations aux stations de l'Arre 2009-2011 :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Qmoyen août au Vigan (79 km²) = 420 l/s. - Qmoyen août à La Terrisse (155 km²) = 650 l/s <p><u>Modélisation CEREG au point nodal A (174 km²) :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Qmoyen août 2009-2011 = 680 l/s ➔ Le Qmoyen août modélisé au point A est proche du Qmoyen août observé à la Terrisse sur 2009-2011 (supérieur de 30l/s pour un bassin drainé plus important). La modélisation semble cohérente avec les observations faites aux deux stations sur 2009-2011. 	<p>La particularité de la station de la Terrisse (non fiable avant 2008) ne laisse que trois années pour faire des comparaisons. L'analyse de la modélisation montre une bonne estimation du Qmoyen août. Si cela indique une bonne simulation, nous avons conscience que ce n'est pas suffisant pour valider le modèle.</p> <p>En l'absence de tout autre élément pour critiquer le modèle, nous proposons de conserver le QMNA5 en A issu de la simulation CEREG sur 1983-2011.</p>	410
BV	Surface drainée	GINGER - QMNA5 influencé 1994-2002 (l/s)	CEREG - QMNA5 influencé 1994-2002 (l/s)	Ecart QMNA5 influencé CEREG-GINGER (l/s)	CEREG - QMNA5 influencé 1983-2011 (l/s)	Commentaire	Conclusion	Propositions de valeurs de QMNA5 influencés retenues (l/s)
Hérault H2	303 km ²	820	780	-40	820	<p>Les valeurs proposées par GINGER et modélisées par CEREG et sur 1994-2002 sont proches. De plus, les valeurs de QMNA5 proposées sont les mêmes, il n'y a donc pas lieu de les comparer. Toutefois, l'analyse faite aux autres points nodaux sur la méthodologie appliquée est valable aussi en H2.</p>	<p>Nous proposons de conserver le QMNA5 en H2 issu de la simulation CEREG sur 1983-2011.</p>	820
Vis V	480 km ²	1600	1060	-540	860	<p><u>Observations à la station de St-Laurent-le-Minier (499 km²) :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - QMNA5 1983-2011 = 1410 l/s - QMNA5 1994-2002 = 1690 l/s ➔ La période 1994-2002 surestime le QMNA5. Là encore, le calcul illustre le biais lié à l'utilisation d'une chronique trop courte pour le calcul du QMNA5. <p><u>Modélisation CEREG à St-Laurent-le-Minier 1983-2011 :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - QMNA5 = 1470 l/s : bonne estimation (5% d'erreur). ➔ La modélisation donne des valeurs fiables de QMNA5 à Saint-Laurent-le-Minier. <ul style="list-style-type: none"> - L'écart de 610 l/s entre le QMNA5 à la station et le QMNA5 avant la confluence avec l'Hérault s'explique essentiellement par le prélèvement net du canal de Cazilhac de 500 l/s en août. 	<p>L'estimation GINGER semble ne pas prendre en compte le prélèvement de Cazilhac.</p> <p>Nous proposons de conserver le QMNA5 issu de la simulation CEREG en V sur 1983-2011.</p>	860

Hérault H3	1143 km ²	2400	3140	+740	3020	<p><u>Observations à la station de Laroque (912 km²) :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - QMNA5 1983-2011 = 2010l/s - QMNA5 1994-2002 = 1860l/s. <p><u>Observations à la station de Gignac (1312 km²) :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - QMNA5 1993-2011 = 1710l/s - QMNA5 1994-2002 = 1720l/s <p>➔ La période 1994-2002 sous-estime le QMNA5 à Laroque, et donne par coïncidence un bon QMNA5 à Gignac. Là encore, le calcul illustre le biais lié à l'utilisation d'une chronique trop courte pour le calcul du QMNA5.</p>	3020	
Hérault H4	1242 km ²	800	1900	+1100	1850	<p><u>Modélisation CEREg à Laroque 1983-2011 :</u> QMNA5 = 1910 l/s : bonne estimation (5% d'erreur).</p> <p><u>Modélisation CEREg à Gignac 1983-2011 :</u> QMNA5 = 1820l/s : bonne estimation (5% d'erreur).</p> <p>➔ La modélisation donne des valeurs fiables de QMNA5 à Laroque et à Gignac.</p> <p><u>Au point nodal H3 :</u> GINGER estime le QMNA5 en H3 à partir de la moyenne pondérée des ratios calculés aux stations de Laroque et Gignac. La station de Gignac est située après le prélèvement du canal de Gignac, elle est donc fortement influencée. Comme présenté dans la méthodologie, l'application du ratio calculé à Gignac au point H3 suppose l'évolution linéaire du débit, et ne rend donc pas compte de la réalité : le QMNA5 calculé en H3 est fortement pondéré par le prélèvement du canal. En absence de prélèvement, le QMNA5 à Gignac serait augmenté d'environ 1780 l/s (prélèvement net du canal pour le mois le plus fort), soit 1710l/s + 1780 l/s ≈3500 l/s. Un QMNA5 intermédiaire entre Laroque et Gignac de 2400 l/s en H3 paraît faible.</p> <p>➔ Cette analyse tend donc à invalider la valeur proposée par GINGER.</p> <p>Par ailleurs, en comparaison avec la valeur théorique à Gignac sans le prélèvement du canal (3500 l/s) et la valeur à Laroque (2010 l/s), la valeur déterminée en H3 par la modélisation (3020 l/s) semble cohérente.</p> <p>➔ Le QMNA5 issu de la simulation CEREg en H3 est cohérent avec les observations aux stations de Laroque et Gignac.</p>	<p>La modélisation est fiable aux stations, ce qui tend à valider les valeurs de QMNA5 calculées par CEREg sur 1983-2011.</p> <p>La méthodologie utilisée par GINGER n'est pas applicable en H3 et H4, du fait de l'évolution non linéaire du débit due au prélèvement du canal de Gignac.</p> <p>En H5, la valeur proposée par GINGER ne tient pas compte des restitutions du canal de Gignac, et est donc trop faible.</p>	1850
Hérault H5	1455 km ²	1700	2460	+760	2590	<p><u>Au point nodal H3 :</u> L'analyse réalisée en H3 sur la méthodologie est valable en H4, et la valeur de 800 l/s apparaît beaucoup trop faible : elle devrait être proche de 1720 l/s (QMNA5 à Gignac).</p> <p>➔ Ceci remet en cause la valeur proposée par GINGER.</p> <p>Là aussi, la valeur proposée par CEREg en H4 est cohérente. En effet, elle est proche du QMNA5 à Gignac, et les prélèvements autres que le canal de Gignac (prélèvements AEP essentiellement) sont faibles (de l'ordre de 50 l/s au mois de juillet).</p> <p>➔ Le QMNA5 issu de la simulation CEREg en H4 est cohérent avec les observations à la station de Gignac et les prélèvements existants entre le point H4 et la station.</p>	<p>Par ailleurs, les hypothèses de prélèvements et restitutions expliquent les valeurs de QMNA5 aux points nodaux.</p> <p>Nous proposons de conserver les QMNA5 issus de la simulation CEREg en H3, H4 et H5 sur 1983-2011.</p>	2590

						<p><u>Au point nodal H5 :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Au point nodal, le bassin drainé ne fait que 40 km² de plus qu'à la station de Gignac. En première approche, une valeur de QMNA5 de 1700 l/s (valeur proposée par GINGER) égale au QMNA5 à la station pourrait donc être correcte. Toutefois, la majorité du périmètre desservi par le canal de Gignac est situé en aval de la station. Aussi, des restitutions de l'ordre de 700 l/s ont lieu entre la station et le point H5, ce qui entraîne un QMNA5 théorique en H5 d'environ 1700+700 = 2400 l/s. <p>➔ La modélisation donne donc une valeur de QMNA5 en H5 cohérente avec la station de Gignac et les restitutions entre la station et le point H5.</p>		
Hérault H6	2083 km ²	3400	3300	-100	3030	<p><u>Observations à la station d'Aspiran (1865 km²) :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Qmoyen août 2009-2011 = 4440 l/s - QMNA5 1994-2002 = 3490 l/s <p><u>Modélisé par CEREG à la station d'Aspiran :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Qmoyen août 2009-2011 = 5050 l/s - QMNA5 1994-2002 = 3210 l/s <p>GINGER a utilisé la station d'Aspiran sur la période 1994-2002. La station ayant été arrêtée puis remise en marche après modification en 2009, CEREG n'a utilisé que les années récentes, soit 2009-2011.</p> <p>➔ La valeur de QMNA5 calculée par CEREG à Aspiran sur la chronique 1994-2002 est proche des observations. De plus, le Qmoyen août calculé sur 2009-2011 est proche du Qmoyen août observé sur cette période. Aussi, la modélisation à la station d'Aspiran semble fiable. Toutefois, la valeur estimée par GINGER est encore meilleure sur 1994-2002.</p> <p><u>Modélisé par CEREG à la station d'Aspiran :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - QMNA5 1983-2011 = 2940 l/s <p>➔ Le QMNA5 calculé sur 1983-2011 montre la variabilité du QMNA5 selon la période, et l'importance de considérer une longue chronique. Aussi, du fait de l'écart entre les valeurs simulées sur 1994-2002 et 1983-2011, conserver la valeur proposée par GINGER semble source d'erreur.</p>	<p>Les valeurs estimées par GINGER et CEREG sur 1994-2002 sont proches, et l'écart est situé dans la marge d'erreur du modèle.</p> <p>La valeur proposée par GINGER semble meilleure car elle est plus proche du QMNA5 observé.</p> <p>Toutefois, il est préférable de s'affranchir du biais lié au calcul du QMNA5 sur la chronique 1994-2002.</p> <p>Nous proposons donc de conserver la valeur issue de la simulation CEREG en H6 sur 1983-2011, car elle rend compte du QMNA5 sur la chronique totale..</p>	3030
Hérault H7	2259 km ²	3500	3120	-380	3000	Cf. explications ci-dessus	<p>Nous proposons donc de conserver la valeur issue de la simulation CEREG en H7 sur 1983-2011, car elle rend compte du QMNA5 sur la chronique totale..</p>	3000
Hérault H8	2569 km ²	1900	1620	-280	1900	<p><u>Observations à la station d'Agde (2569km²) 1983-2011 :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - QMNA5 = 2200l/s <p><u>Modélisation CEREG à Agde 1983-2011 :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - QMNA5 = 1850l/s : bonne estimation (10% d'erreur). <p><u>Calcul fait par GINGER :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - QMNA5 = QMNA5 Aspiran 1994-2002 - prélèvement du SBL – prélèvement du Canal du Midi estimé à 300l/s. <p>➔ Les doutes sur la fiabilité de la station d'Agde ne permettent pas de conclure, cependant malgré l'écart sur 1994-2002, les valeurs de QMNA5 proposées sont les mêmes et la modélisation est plus fiable sur la période 1983-2011 (chronique plus longue).</p>	<p>Nous proposons de conserver le QMNA5 issu de la simulation CEREG en H8 sur 1983-2011.</p>	1900

Lergue L1	220 km ²	870	900	+30	740	<p><u>Observations à la station de Lodève (202 km²) 1983-2011 :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - QMNA5 1983-2011 = 730 l/s - QMNA5 1994-2002 = 720 l/s <p>➔ Dans le cas particulier de cette station, le QMNA5 calculé sur la période 1994-2002 est proche du QMNA5 calculé sur la chronique totale.</p> <p><u>Modélisation CEREG 1983-2011 :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - QMNA5 1983-2011 = 630 l/s : assez bonne estimation (13% d'erreur). - QMNA5 1994-2002 = 760 l/s : bon QMNA5 sur 1994-2002. <p>➔ Le modèle est très fiable sur 1994-2002. La valeur modélisée étant un peu faible sur la chronique 1983-2011,</p>	<p>La valeur modélisée par CEREG est un peu faible sur la chronique 1983-2011 (13% d'erreur).</p> <p>Nous proposons donc de retenir le QMNA5 issu de la simulation en L1 sur 1983-2011 (740 l/s), en prenant la valeur haute de la marge d'erreur (13%).</p>	840
Lergue L2	426 km ²	1300	1470	+170	1310	<p><u>Modélisation CEREG : Utilisation de la chronique de lâchés du Salagou (connue).</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Les valeurs proposées par CEREG et GINGER sont proches, il n'y a donc pas lieu de les comparer. Toutefois, l'analyse faite aux autres points nodaux sur la méthodologie appliquée est valable aussi en L2. 	<p>Les valeurs proposées sont proches. En l'absence d'autre information permettant de critiquer le modèle, nous proposons de conserver le QMNA5 issu de la simulation CEREG en H8 sur 1983-2011.</p>	1310

