

ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVABLES GLOBAUX



Sous bassin versant de l'Eygues

Rapport de phase 3 | Mai 2014



MAÎTRE D'OUVRAGE

**AGENCE DE L'EAU RHÔNE
MEDITERRANEE CORSE**

OBJET DE L'ÉTUDE

**ÉTUDE DE DÉTERMINATION DES
VOLUMES PRELEVABLES DU BASSIN
VERSANT DE L'EYGUES**

N° AFFAIRE

M11002

INTITULE DU RAPPORT

***Quantification de la ressource disponible (phase
3)***

6	29/07/2013	Julie Labry		Prise en compte des remarques
5	21/06/2013	Julie Labry	Philippe DEBAR	Prise en compte Remarques/Modification partie hydrogéologie
4	14/12/2012	Julie Labry	Julien Berthelot	Prise en compte des remarques
3	17/11/2012	Julie Labry	Julien Berthelot	Prise en compte des remarques et compléments
2	05/10/2012	Julie Labry	Julien Berthelot	Prise en compte des remarques du COTECH
1	24/09/2012	Julie Labry	Julien Berthelot	
N° de Version	Date	Établi par	Vérifié par	Description des Modifications / Évolutions

TABLE DES MATIÈRES

A.	PRESENTATION DE L'ETUDE.....	13
A.I	ELEMENT DE CONTEXTE	14
A.II	CONTENU DU RAPPORT	16
A.III	METHODOLOGIE GENERALE DE LA PHASE 3	17
B.	DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT.....	18
B.I	DONNEES GENERALES	19
B.I.1	<i>Topographie</i>	19
B.I.2	<i>La couverture végétale</i>	21
B.II	SECTORISATION DU BASSIN VERSANT	24
C.	ANALYSE DES DONNEES	27
C.I	DONNEES METEOROLOGIQUES	28
C.I.1	<i>Données acquises</i>	28
C.I.2	<i>Analyse de la pluviométrie</i>	30
C.I.3	<i>Analyse de la température</i>	35
C.I.4	<i>Analyse de la neige</i>	36
C.I.5	<i>Analyse de l'EvapoTranspiration Potentielle (ETP)</i>	38
C.II	DONNEES DEBITMETRIQUES	39
C.II.1	<i>Analyse des débits aux stations hydrométriques de la Banque Hydro</i>	39
C.II.1.1	Station de Saint André de Rosans sur l'Eygues.....	42
C.II.1.2	Station de Remuzat sur l'Eygues	43
C.II.1.3	Station de Saint May (Pont de la Tune) sur l'Eygues	45
C.II.1.4	Station sur l'affluent « Le torrent des archettes »	47
C.II.1.5	Station de l'affluent « Le torrent de l'Oule».....	48
C.II.1.6	Station de l'affluent « La Lidane » à Rosans.....	49
C.II.1.7	Comparaison des stations sur les années de concomitance	50
C.II.1.8	Comparaison des débits avec la pluviométrie.....	53
C.II.1.9	Conclusion	54
C.II.2	<i>Campagnes de mesures complémentaires</i>	55
C.II.2.1	Campagnes de mesures complémentaires Cereg Ingénierie.....	55
C.II.2.2	Campagne réalisée par le Conseil Général de la Drome	61
C.II.3	<i>Données ROCA-Assec</i>	62
C.II.4	<i>Relevé SMIAA (Syndicat Mixte Intercommunal d'Aménagement de l'Eygues)</i>	64
C.II.5	<i>Conclusion</i>	65
C.III	HYDROGEOLOGIE.....	66
C.III.1	<i>Campagnes piézométriques de 2011 (Idées Eaux)</i>	66
C.III.2	<i>Campagnes piézométriques de 2012 (Etude complémentaire Idées Eaux)</i>	68
C.III.2.1	Résultats.....	69
C.III.2.2	Conclusion	75
C.III.3	<i>Piézomètres utilisés pour la modélisation</i>	75

C.IV	CONCLUSION DE L'ANALYSE DES DONNEES	78
D.	OUTILS DE MODELISATION.....	80
D.I	METHODOLOGIE GENERALE	81
D.II	MODELE DE LA NAPPE REGIONALE.....	85
D.II.1	<i>Présentation de la zone modélisée</i>	85
D.II.2	<i>Paramètres de simulations</i>	87
D.II.2.1	Période de simulation	87
D.II.2.2	Conditions aux limites	87
D.II.2.3	Paramètres hydrodynamiques	92
D.II.2.4	Prise en compte des prélèvements	92
D.II.3	<i>Calage et résultats</i>	93
D.II.3.1	Stratégie de calibration du modèle.....	93
D.II.3.2	Calibration du modèle.....	96
D.II.3.3	Résultats.....	105
D.II.4	<i>Conclusion</i>	114
D.III	MODELE HYDROLOGIQUE.....	115
D.III.1	<i>Chaîne de calculs pour déterminer les débits ruisselés</i>	115
D.III.2	<i>Présentation du logiciel ATHYS</i>	116
D.III.3	<i>Présentation du module ETP</i>	117
D.III.4	<i>Période de simulation</i>	117
D.III.5	<i>Traitement des données</i>	117
D.III.6	<i>Calage</i>	120
D.III.6.1	Choix des stations hydrométriques utilisés et période de calage	120
D.IV	MODELE DE NAPPE ALLUVIALE	122
D.IV.1	<i>Présentation du modèle</i>	122
D.IV.2	<i>Calage</i>	124
E.	CALAGE DES DEBITS INFLUENCES	125
E.I	MODELE DE PRELEVEMENTS ET RESTITUTIONS	126
E.II	CALAGE DES MODELES POUR LA RECONSTITUTION DES DEBITS INFLUENCES	128
E.II.1	<i>Résultats de la reconstitution des débits sur l'amont du bassin versant</i>	128
E.II.1.1	Comparaison avec les données mesurées	128
E.II.1.2	Comparaison avec les données statistiques	129
E.II.1.3	Validation des classes de production du modèle hydrologique sur la partie aval du bassin versant.....	132
E.II.2	<i>Calage de la reconstitution des débits sur l'aval du bassin versant</i>	133
E.II.2.1	Calage sur les données ROCA à Cairanne.....	134
E.II.2.2	Calage sur les relevés du SMIAA.....	136
E.II.3	<i>Validation du modèle : Comparaison du profil en long hydrographique</i>	137
E.III	ESTIMATIONS DES INCERTITUDES	139
E.IV	RESULTATS DE LA RECONSTITUTION DES DEBITS INFLUENCES	140
F.	CONCLUSION	143
F.I	QUALITE DU MODELE	144
F.II	RESULTATS DES DEBITS NATURELS	144
F.II.1	<i>Compréhension du fonctionnement du bassin versant</i>	144
F.II.2	<i>Résultats des débits naturels</i>	146

F.III INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES..... 148

LISTE DES PLANCHES

➤	Planche n°1 : Réseau hydrographique	14
➤	Planche n°11 : Carte des altitudes.....	19
➤	Planche n°2 : Occupation des sols	21
➤	Planche 12 : Sectorisation du bassin versant	24
➤	Planche n°13 : Points de jaugeage	55

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Illustration n° 1: Courbe hypsométrique	19
Illustration n°2 : Localisation des stations météorologiques.....	28
Illustration n°3 : Précipitations moyennes annuelles sur la période 1993-2006	30
Illustration n°4 : Variation des cumuls annuels de pluies en fonction de l'altitude des stations.....	31
Illustration n°5 : Variation des cumuls annuels de pluies	32
Illustration n°6 : Précipitations annuelles sur les stations de Nyons et de Montmorin	33
Illustration n°7 : Nombre de jours de pluie et par an et intensité sur la période 1996-2006.....	34
Illustration n°8 : Cumuls des précipitations pendant la période d'irrigation (1996-2006).....	34
Illustration n°9 : Température moyenne mensuelle à Orange et Besignan	35
Illustration n°10 : Variations de l'ETP journalières sur l'année (moyenne 2004-2008).....	38
Illustration n°11 : Localisation des stations débitométriques.....	40
Illustration n°12 : Débits moyens mensuels sur la station de Saint André de Rosans sur les années 84 - 85.....	42
Illustration n° 13: Photo de la station de Remuzat	43
Illustration n°14 : Débits moyen mensuels à Remuzat sur la période 67-84.....	44
Illustration n° 15: Photo de la station hydrométrique de Saint May	45
Illustration n° 16: Débits moyens mensuels sur la station de Saint May sur les années 67-93.....	46
Illustration n° 17: Débits moyens mensuel de la station du Torrent des Archettes sur la période 82 ó 83	47

Illustration n° 18: Débits moyens mensuels sur le torrent de l'Oule sur l'année 83	48
Illustration n° 19: Débits moyens mensuels sur l'affluent La Lidane sur les années 83 - 84 ó 85	50
Illustration n°20 : Débit moyen mensuel (l/s) à Remuzat et pluviométrie mensuelle moyenne sur le bassin versant entre 1972 et 1984	53
Illustration n°21 : Débit moyen mensuel (l/s) à Saint May et pluviométrie mensuelle moyenne sur le bassin versant entre 1970 et 1993	54
Illustration n°22 : Profil en long hydrologique de l'Eygues et contributions des affluents lors de la campagne de juillet 2011	59
Illustration n°23 : Profil en long hydrologique de l'Eygues et contributions des affluents lors de la campagne d'août 2011	59
Illustration n°24 : Localisation de la station ROCA sur le bassin versant	62
Illustration n°25 : Données ROCA de 2004 à 2006	63
Illustration n°26 : Données ROCA de 2007 à 2009	63
Illustration n°27 : Localisation des relevés du SMIAA	64
Illustration n°28 : carte piézométrique de la nappe alluviale au droit du BV topographique de l'Aygues (août 2011)	67
Illustration n°29 : Limite du bassin versant topographique et hydrogéologique du bassin versant de l'Eygues	68
Illustration n°30 : Carte piézométrique de la nappe alluviale au droit du BV topographique aval de l'Aygues (juin 2012)	71
Illustration n°31 : Carte piézométrique de la nappe alluviale au droit du BV topographique aval de l'Aygues (juin 2012) : détail du secteur de Sainte-Cécile-les-Vignes	72
Illustration n°32 : Carte piézométrique de la nappe alluviale au droit du BV topographique aval de l'Aygues (juin 2012) : détail du secteur de Travaillan/Camaret-sur-Aygues	73
Illustration n°33 : Carte piézométrique de la nappe alluviale au droit du BV topographique aval de l'Aygues (juin 2012) : détail du secteur d'Orang	74
Illustration n°34 : Localisation géographique des différents piézomètres sur le bassin versant	76
Illustration n°35 : Exemple de sélection de piézomètre basée sur leur implantation	77
Illustration n°36 : Evolution temporelle de la piézométrie (piézomètres ADES de Nyons en bleu et de Camaret en rouge)	78
Illustration n°37 : Synoptique des différents modules utilisés pour la simulation des débits	83
Illustration n°38 : Contexte géologique et topographique du bassin de Valréas (carte géologique de Valence au 1/250 000 ; topographie du MNT IGN au 250 m)	85
Illustration n°39 : Coupe Sud-Nord du modèle réalisé (gris foncé : encaissant ; orangé : molasse ; vert : marnes sableuses tortoniennes ; rouge : argiles pliocènes)	86
Illustration n°40 : Précipitations annuelles totales et efficaces des quarante dernières années	87
Illustration n°41 : Précipitations efficaces trimestrielles des vingt dernières années	88

Illustration n°42 : Précipitations efficaces décennales interannuelles des vingt dernières années	88
Illustration n°43 : Précipitations efficaces annuelles classées des vingt dernières années.....	89
Illustration n°44 : Conditions de drains appliquées sur les rivières du bassin molassique	91
Illustration n°45 : Exemple de stratégie de calibration basée sur un calage de la piézométrie de toutes les formations alluviales ou plus spécifiquement des alluvions récentes	94
Illustration n°46 : Localisation des piézomètres pris en compte pour la calibration.....	96
Illustration n°47 : Comparaison des piézométries mesurées et simulées pour les 87 piézomètres de calibration	97
Illustration n°48 : Comparaison des piézométries mesurées et simulées (en m NGF) pour les différents groupes de piézomètres de calibration	98
Illustration n°49 : Différences (m) entre piézométries simulées et mesurées.	99
Illustration n°50 : Piézométrie (mNGF) simulée pour le régime influencé (précipitations efficaces, apports d'eau par les canaux d'irrigation et les eaux usées, prélèvements).....	101
Illustration n°51 : Piézométrie (mNGF) simulée pour le régime non influencé (précipitations efficaces seulement)	101
Illustration n°52 : Différences piézométriques entre les régimes influencé et non influencé	102
Illustration n°53 Comparaison des courbes piézométriques (en m NGF) observées (en noir) sur les piézomètres de Nyons (courbe en haut et échelle de gauche) et de Camaret (courbe en bas et échelle de droite) au pas de temps journalier avec les courbes simulées avec les moyennes trimestrielles interannuelles (en bleu) et avec une valeur de coefficient de stockage spécifique de $10^{-5} m^{-1}$	103
Illustration n°54 Comparaison des courbes piézométriques(en m NGF) observées (en noir) sur les piézomètres de Nyons (courbe en haut et échelle de gauche) et de Camaret (courbe en bas et échelle de droite) avec les moyennes trimestrielles interannuelles (en bleu) et avec une valeur de coefficient de stockage spécifique de $5.10^{-4} m^{-1}$	103
Illustration n°55 Comparaison des courbes piézométriques (en m NGF) observées (en noir) sur les piézomètres de Nyons (courbe en haut et échelle de gauche) et de Camaret (courbe en bas et échelle de droite) avec les courbes simulées des moyennes trimestrielles interannuelles (en bleu) et avec une valeur de coefficient de stockage spécifique de $2.10^{-3} m^{-1}$	104
Illustration n°56 : Comparaison des courbes piézométriques observées (en noir) sur les piézomètres de Nyons (courbe en haut et échelle de gauche) et de Camaret (courbe en bas et échelle de droite) avec les courbes simulées avec les courbes simulés trimestrielles des 20 dernières années (en rouge) et avec une valeur de coefficient de stockage spécifique de $2.10^{-3} m^{-1}$	104
Illustration n°57 : Sous-bassins hydrologiques définis pour les bassins versants du Lez et de l'Eygues	105
Illustration n°58 : Courbes piézométriques et directions d'écoulements dans le secteur drainé par les Meynes	109
Illustration n°59 : Extrait de la carte piézométrique réalisée dans le secteur drainé par les Meynes.....	110
Illustration n°60 : Résultats des jaugeages réalisés en juillet et août 2011	110

Illustration n°61 : Direction des écoulements dans l'interfluve entre Aygues et Lez	111
Illustration n°62 : Détails de la chaîne de calcul du modèle hydrologique ATHYS.....	115
Illustration n°63 : Fonctionnement du modèle ATHYS (source : IRD).....	116
Illustration n°64 : Exemple de carte des altitudes (à gauche) et du réseau hydrographique (à droite) ..	117
Illustration n°65 : Exemple de carte des altitudes (à gauche) et du réseau hydrographique (à droite) ..	118
Illustration n°66: Synoptique du modèle hydrogéologique des échanges nappes-rivières	122
Illustration n°67: Débits moyens mensuels observés et simulés à Saint May sur la période 1978 - 1993	128
Illustration n°68: Débits observés et simulés de l'Eygues à Saint May entre mai et décembre 1989...	129
Tableau n°32 : Débits caractéristiques influencés à la station de Saint May sur la période 1978 - 1993	129
Illustration n°69 : Comparaison des modules observés et simulés de l'Eygues à Saint May	130
Illustration n°70 : Comparaison des débits moyens influencés simulés et observés du mois d'août à la station de Saint May entre 1978 et 1993.....	131
Illustration n°71 : Comparaison des débits moyens influencés simulés et observés du mois d'août à la station de Saint May entre 1978 et 1993.....	131
Illustration n°72 : Comparaison des débits influencés simulés et observés sur l'année 1993	132
Illustration n°73: comparaison des données ROCA 2005 aux débits simulés influencés	134
Illustration n°74: comparaison des données ROCA 2006 aux débits simulés influencés	135
Illustration n°75: Profil en long hydrographique issu des jaugeages réalisés entre le 4 et 6 juillet 2011 et entre le 8 et 10 août 2011.	137
Illustration n°76: Profil en long hydrographique issu des débits simulés influencés entre le 4 et 6 juillet 2011 et entre le 8 et 10 août 2011.	137
Illustration n°77: débits caractéristiques influencés par rapport à la distance à la source	141
Illustration n°78: débits jaugés en 2011 par rapport à la distance à la source.....	141
Illustration n°79: Profils en long des différentes composantes du débit pour le QMNA5.....	145
Illustration n°80: Profils en long du cours d'eau Eygues pour le débit moyen du mois d'août de période de retour 5 ans.....	147
Illustration n°81: Profils en long du cours d'eau Eygues pour le QMNA5	147

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n°1 : Répartition des altitudes par classes	19
Tableau n°2 : Occupation des sols	21
Tableau n°3 : Découpage en sous bassin versant	26
Tableau n°4 : Synthèse des données météorologiques	29
Tableau n°5 : synthèse des données de tombée de neige sur Bellegarde en Diois (moyennes de 1993 à 1999)	36
Tableau n°6 : Synthèse des données de tombée de neige sur la Station de Bellegarde (moyennes de 2001 à 2010)	37
Tableau n°7 : Caractéristiques des stations hydrométriques de la Banque Hydro	39
Tableau n°8 : Valeurs caractéristiques moyenne de la station de St André de Rosans entre 1984 et 1985	42
Tableau n°9 : Valeurs caractéristiques sur la station de Saint May entre 1967 et 1985.....	43
Tableau n°10 : Valeurs caractéristiques moyenne de la station de Saint May entre 1967 et 1993	45
Tableau n°11 : Comparaisons jaugeages et débits à la station hydro de Remuzat	46
Tableau n°12 : Valeurs caractéristiques de la station du Torrent des Archettes sur les années 82 et 83 .	47
Tableau n°13 : Valeurs caractéristiques par année sur le torrent de l'Oule	48
Tableau n°14 : Valeurs caractéristiques par année sur l'affluent de la Lidane.....	49
Tableau n°15 : Comparaison des stations sur l'Eygues par année	51
Tableau n°16 : Synthèse des jaugeages complémentaires CEREG sur l'Eygues	57
Tableau n°17 : Synthèse des jaugeages complémentaires CEREG sur les affluents	60
Tableau n°18 : Comparaison avec les caractéristiques des stations hydrométriques	60
Tableau n°19 : Synthèse des résultats des campagnes du Conseil Général 2010	61
Tableau n°20 : Durée d'assez relevée par le SMIAA	65
Tableau n°21 : Statistiques des pluies efficaces constituant la recharge des nappes	89
Tableau n°22 : Flux (m ³ /j) de recharge, découlement souterrain et de drainage par sous-bassin.....	106
Tableau n°23 : Débits d'apports en m ³ /j à l'Eygues en régime influencé en moyenne trimestrielle sur les 40 dernières années	108
Tableau n°24 : Débits d'apports en l/s à l'Eygues en régime influencé en moyenne trimestrielle sur les 40 dernières années	108
Tableau n°25 : Débits d'apports en m ³ /j à l'Eygues en régime naturel en moyenne trimestrielle sur les 40 dernières années	113

Tableau n°26 : Débits d'apports en l/s à l'Eygues en régime naturel en moyenne trimestrielle sur les 40 dernières années	113
Tableau n°27 : Répartition des superficies des classes de production au niveau du bassin versant	118
Tableau n°28 : Données pluviométriques reconstituées.....	119
Tableau n°29 : Influence comparée des stations pluviométriques sur le bassin versant	120
Tableau n°30 : Secteurs homogènes de nappe alluviale sur le bassin.....	124
Tableau n°31 : Bilan annuel et en saison d'étiage des prélèvements et restitutions par bassin versant	127
Tableau n°33 : Paramètres des tronçons de rivières et de nappes alluviales du module hydrogéologique	133
Tableau n°34 : comparaison des durées d'assecs simulés et observés à Orange	136
Tableau n°35 : Débits caractéristiques influencés de l'Eygues.....	140
Tableau n°36 : Débits caractéristiques naturels de l'Eygues	146

PRÉAMBULE

Le groupement de bureaux d'étude CEREG Ingénierie, HYDRIAD, Lisode, Idées Eaux, Brigitte Lambey a été missionné pour réaliser l'étude de détermination des volumes prélevables sur le bassin versant de l'Eygues. L'étude d'une durée de 24 mois doit traiter des aspects suivants :

- Recenser et évaluer les usages de l'eau sur le bassin versant ;
- Analyser les ressources en eau disponibles ;
- Evaluer et identifier les zones naturelles présentant une vie aquatique remarquable ;
- Identifier les problèmes occasionnés par les prélèvements ;
- Proposer les volumes pouvant être prélevé sur le bassin versant sans mettre en péril la vie aquatique, les besoins en eaux potable, etc ;
- proposer des outils de gestion et des pistes d'amélioration de situations problématiques.

L'étude est décomposée en 6 phases :

- **Phase 1 : Une caractérisation du bassin versant** par une reconnaissance de terrain et une analyse des données disponibles ;
- **Phase 2 : Un bilan des prélèvements actuel et des besoins.** Cette phase est réalisée par une analyse des données disponibles et des enquêtes auprès des usagers de l'eau ;
- **Phase 3 : La quantification de la ressource disponible** à l'aide d'une modélisation hydrologique ;
- **Phase 4 : La détermination des débits biologiques** à l'aide de la méthode ESTIMHAB ;
- **Phase 5 : La détermination des volumes prélevables** par croisement de la ressource disponible et des besoins ;
- **Phase 6 : Répartitions des volumes entre les usagés** et détermination du périmètre de l'organisme unique.

Ce rapport traite la phase 3 de cette étude.

A. PRESENTATION DE L'ETUDE

A.I ELEMENT DE CONTEXTE

➤ Localisation géographique

➤ Planche n°1 : Réseau hydrographique

Le bassin versant de l'Eygues est situé sur deux régions (Provence Alpes Cote d'Azur et Rhône Alpes) et trois départements : le Vaucluse, les Hautes alpes et la Drôme.

Quatre vingt quatre communes sont situées en totalité ou partiellement sur ce bassin versant.

L'Eygues draine un bassin versant de 1100 km² et présente une longueur de 100 km avant de confluer avec le Rhône sur la commune de Caderousse. Ses principaux affluents sont l'Armalause, l'Oule, l'Ennuye, le Bentrix, la Sauve, la Ruade, le Béal

➤ 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. Deux objectifs principaux sont à retenir:

- Une révision des autorisations de prélèvement afin de parvenir au maintien dans le cours d'eau de débits minimaux et dans la nappe, de niveaux piézométrique compatibles avec l'ensemble des usages ;
- La constitution d'un Organisme de Gestion Unique (OGU) regroupant l'ensemble des préleveurs agricoles sur un sous bassin versant. Cet OGU aura notamment pour charge de répartir les droits de prélèvements agricoles.

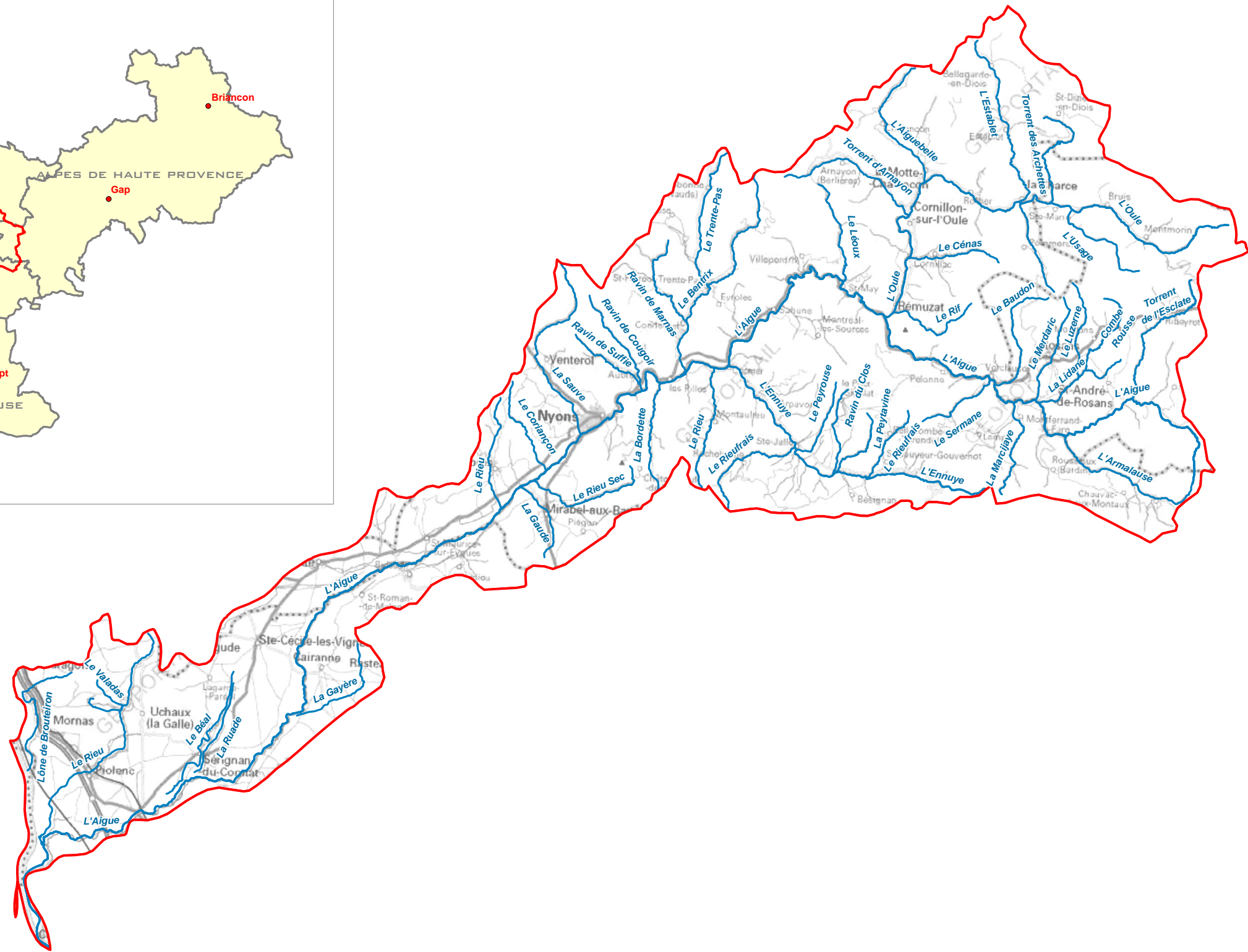
Pour atteindre ces objectifs, 3 grandes étapes sont proposées:

- 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 ne concerne que l'étape 1.

Réseau hydrographique

Source : fonds de carte IGN

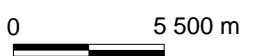


LEGENDE

- Réseau hydrographique
- ▭ Bassin versant



Echelle : 1 / 275 000



□ *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

L'objectif de l'étude est la détermination des volumes maximums prélevables sur le bassin versant de l'Eygues. Comme indiqué dans le préambule ce rapport correspond à la phase 3 de l'étude : La quantification de la ressource disponible à l'aide d'une modélisation hydrologique et hydrogéologique.

A.III METHODOLOGIE GENERALE DE LA PHASE 3

La phase 3 de quantification de la ressource disponible par modélisation hydrologique et hydrogéologique, est une phase essentielle dans la suite de l'étude. En effet, les volumes prélevables sont définis en fonction des débits reconstitués aux points nodaux du bassin versant. Il convient donc de reconstituer au mieux les débits de l'Eygues et de ses affluents.

La première étape de cette phase a consisté en une analyse des données météorologiques, débitmétriques, hydrogéologiques existantes sur le bassin. Cette étape primordiale permet de comprendre le fonctionnement hydrologique du bassin et d'utiliser les outils de calcul les plus pertinents pour caractériser l'état naturel.

Dans une seconde étape, des outils de calcul ont été mis en œuvre sur le bassin versant de l'Eygues. Ils ont été adaptés au contexte local du bassin versant : pluviométries, occupation des sols, caractéristiques de la nappe alluviale.

A chaque étape de calcul, une validation sur les données mesurées a été recherchée afin de garantir que les modèles soient les plus proches possible de la réalité.

Enfin la dernière étape a consisté à extraire les résultats des modèles pour la suite de l'étude. Les qualités et les défauts des modèles ont été analysés pour en apprécier les conséquences sur la détermination des volumes prélevables et aussi proposer des pistes d'amélioration ou de confirmation des hypothèses.

L'intérêt de cette méthode repose sur le fait qu'elle produit une chronique de **40 ans de données à un pas de temps journalier** en de multiples points du bassin versant. Cette finesse de calcul permet de :

- caractériser le bassin versant, non pas par des valeurs moyennes, peu représentatives de la variabilité climatologique, mais plutôt par ses excès ou ses manques d'eau et la fréquence de ceux-ci ;
- reconstituer les variations instantanées des débits, sur un bassin versant où les étiages sévères peuvent ne durer que quelques jours avant qu'un orage ne vienne augmenter les débits. Dans ce cas, une moyenne décadaire ou mensuelle peut passer à côté de crises ;
- localiser les points noirs sur le bassin versant.

B. DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT

B.I DONNEES GENERALES

B.I.1 Topographie

➤ *Planche n°11 : Carte des altitudes*

L'Eygues draine un bassin versant de 1100 km².

L'altimétrie du bassin versant est comprise entre 28 (à la confluence avec le Rhône) et 1691 m NGF. Le tableau et le graphique suivant indiquent la répartition des surfaces en fonction de l'altitude.

Altitudes (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Pourcentage cumulé (%)
< 200	181	16.8	16.8
200 - 400	301	11.2	28.0
400 - 600	478	16.4	44.3
600- 800	704	21.0	65.3
800 - 1000	911	19.2	84.5
1000 - 1200	1036	11.6	96.0
1200 - 1400	1073	3.5	99.5
1400 - 1600	1078	0.4	99.9
>1600	1078	0.1	100.0

Tableau n°1 : Répartition des altitudes par classes

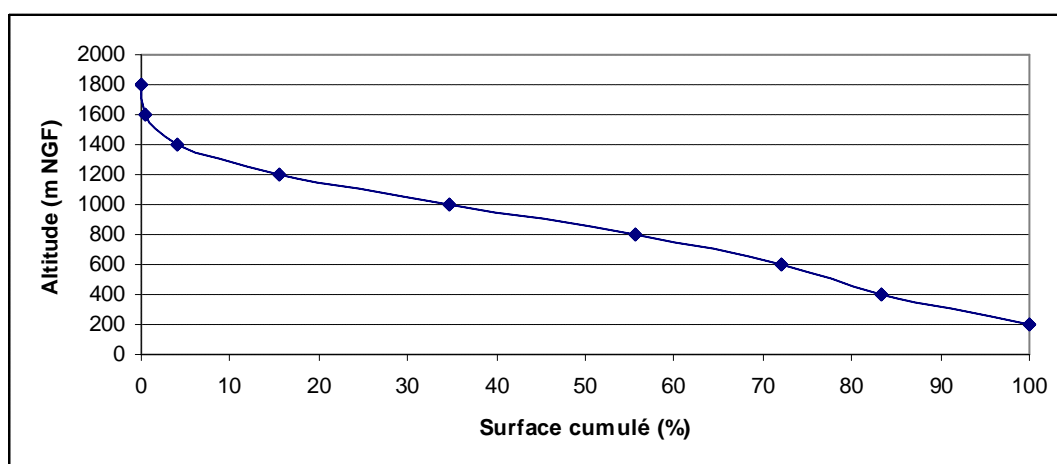
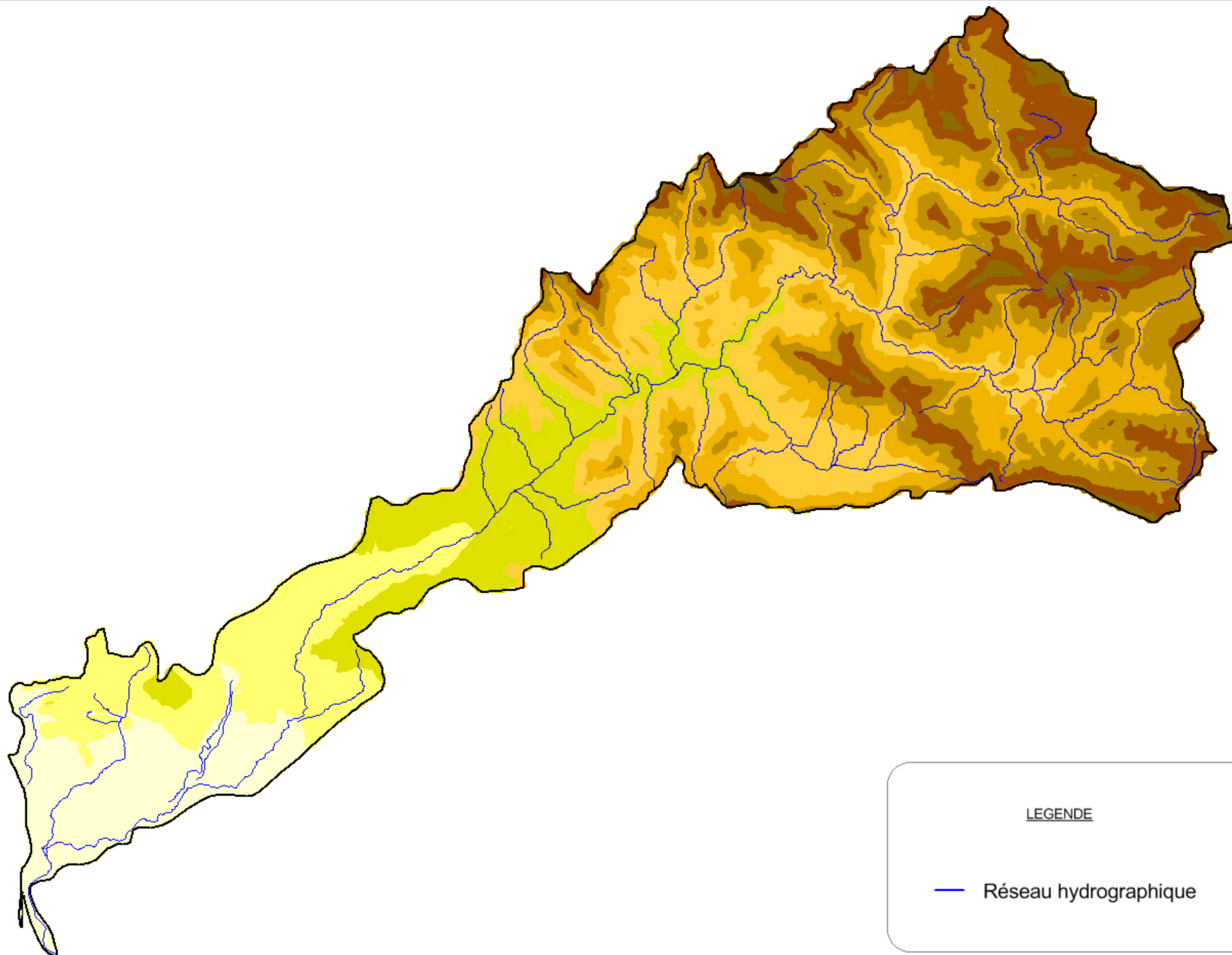


Illustration n° 1: Courbe hypsométrique

Carte des altitudes

Source : fonds de carte IGN

- 1 500 à 1 750
- 1 250 à 1 500
- 1 000 à 1 250
- 800 à 1 000
- 600 à 800
- 400 à 600
- 200 à 400
- 100 à 200
- 20 à 100



LEGENDE

— Réseau hydrographique



Echelle : 1 / 225 000

0 4 500 m

L'évolution de la surface du bassin versant en fonction de l'altitude est linéaire depuis la confluence avec le Rhône jusqu'à une altitude de 1400 m NGF. Au-delà, les surfaces concernées sont très faibles (5 km²). On a donc une répartition uniforme de la surface et fonction de l'altitude.

B.I.2 La couverture végétale

➤ *Planche n°2 : Occupation des sols*

L'analyse de l'occupation des sols a été réalisée à partir de l'exploitation des données CORINE LAND COVER. Cette base de données établie grâce aux images satellites, dispose de 3 niveaux d'information. Le pouvoir de résolution est de 25 hectares. L'analyse présentée dans ce rapport est basée sur le 2^{ème} niveau composé de 16 classes. Il n'est analysé ici que les classes présentes sur le bassin versant.

Année d'établissement de la carte	1990	2000	2006
Zones urbaines (classe 112, 121, 124)	<1%	1%	1%
Vergers/Vignes/Oliviers (classes 221, 222, 223)	17%	17%	17%
Prairies (classes 231, 321)	4%	4%	4%
Forêts (311, 312, 313, 324)	47%	46%	46%
Zones avec peu ou sans végétation (classes 331, 332, 333)	1%	1%	1%
Zones agricoles hétérogènes (classe 242, 243, 211)	20%	20%	20%
Milieu à végétation arbustive (classes 322, 323)	11%	11%	11%
Cours d'eau (classe 511)	<1%	<1%	<1%
Total	100%	100%	100%

Tableau n°2 : Occupation des sols

L'analyse de ces données montre trois types principaux d'occupation des sols :

- Les forêts sur le bassin versant avec 46% de la surface totale en 2006. L'essentiel de ces forêts est situé en amont de Nyons ;
- Les zones agricoles (39% du bassin versant) composées à moitié de vignes et vergers (17% de la surface du bassin versant) et de zones agricoles hétérogènes (20% de la surface du bassin versant). ces surfaces sont situées essentiellement à l'aval de Nyons ;
- Les zones arbustives (11% de la surface totale) sur les hauts plateaux du bassin versant.

Les surfaces imperméabilisées restent marginales : moins de 1% du bassin versant. Seules 13 zones urbanisées sont identifiées dans le bassin : Vinsobres, Nyons, Mirabel aux Baronnies, Saint Maurice sur Eygues, Tulette, Sainte Cécile les vignes, Cairanne, Uchaux, Sérignan du comtat, Mornas, Piolenc, Camaret sur Aigues. Cela signifie que les autres communes ont un centre urbain d'une taille inférieure à 25 ha.

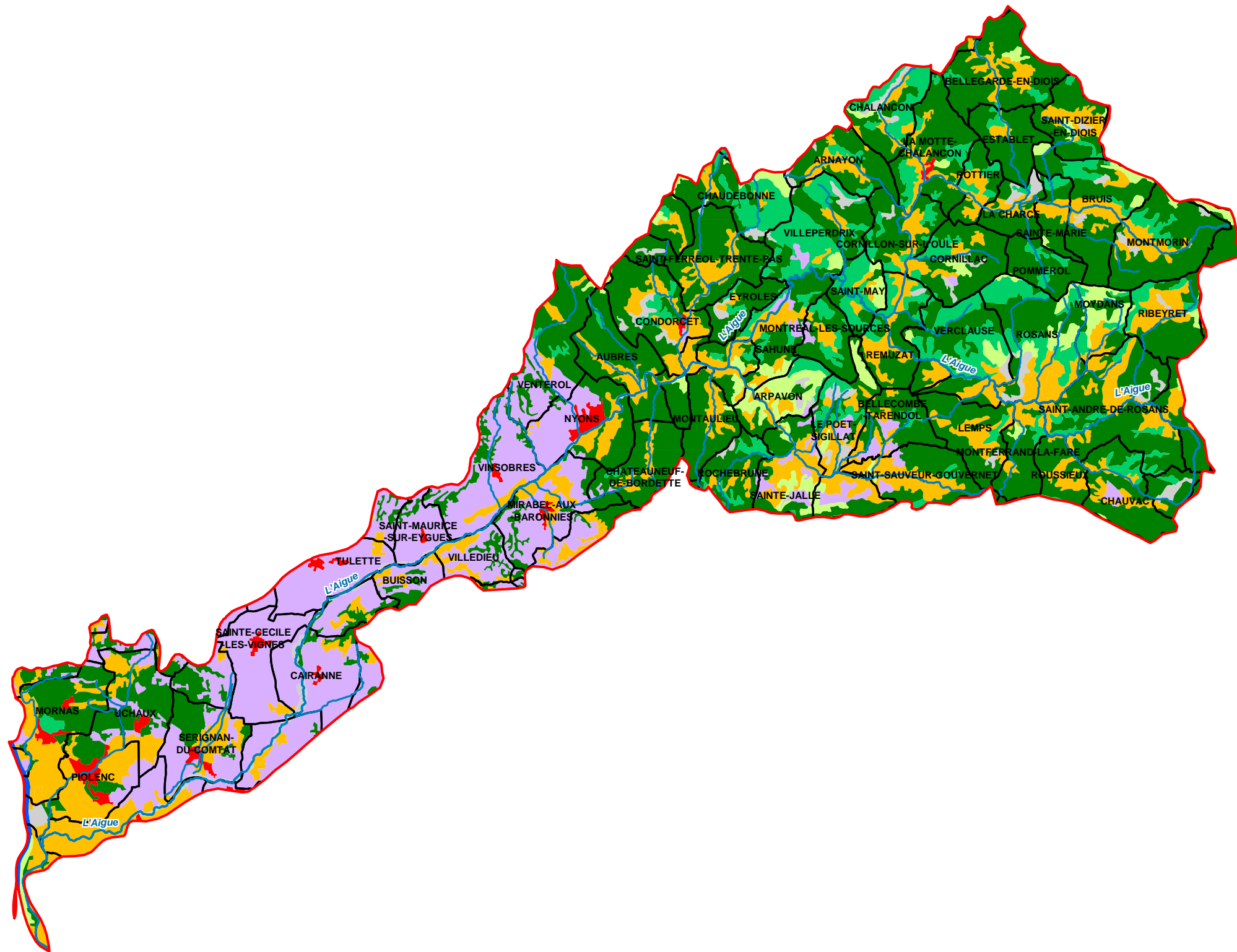
En conclusion, l'occupation au sol montre que l'on peut définir deux zones :

- l'aval du bassin versant (aval de Nyons) avec de grandes surfaces agricoles de type vignes, oliveraies, vergers ponctuées de quelques centres urbains.
- l'amont du bassin versant (amont de Nyons) avec de grands espaces de végétation (forêts, zones arbustives) ponctués de surfaces agricoles souvent peu étendues (fond de vallée) ;

L'analyse des données montre également que l'occupation du sol présente une évolution très faible dans le temps (entre 1990 et 2006).

Occupation des sols

Source : Corine Land Cover 2006



Corine Land Cover 2006

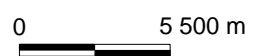
- Zones urbaines
- Vergers/Vignobles
- Prairies/Paturages
- Forêts
- Zones avec peu ou sans végétation
- Surfaces agricoles
- Zones arbustives
- Cours d'eau

LEGENDE

- Réseau hydrographique
- Bassin versant
- Limite communale



Echelle : 1 / 275 000



B.II SECTORISATION DU BASSIN VERSANT

➤ *Planche 12 : Sectorisation du bassin versant*

Le découpage en sous bassins versants de l'Eygues est basé sur la nécessité d'établir des points de calculs (cf. tableau ci-dessous) :

- en aval des prélèvements ou groupe de prélèvements importants ; par exemple, l'exutoire du BV8 qui est situé en aval de la prise du canal de Mirabel aux Baronnie. Ceci permet d'analyser l'impact direct des prélèvements sur le débit de l'Eygues ;
- en amont des affluents importants afin ici aussi de caractériser les étiages avant que l'affluent ne viennent soutenir les débits. En effet, en situation d'étiage sévère, l'Oule contribue fortement au débit d'étiage de l'Eygues.
- en amont et aval des zones d'assez réguliers sur le bassin versant ; par exemple l'exutoire du BV12 et 13.

Le découpage tient également compte de l'existence ou non de nappe alluviale afin de retrouver la même sectorisation entre les modèles hydrologique et hydrogéologique.

Sur les affluents principaux, quelques sous bassins versants ont été découpés notamment :

- Deux sous bassins versants sur l'Oule;
- Un sous bassin versant sur l'Ennuye.

Les autres affluents n'ont pas fait l'objet d'un découpage en sous bassin versant du fait de l'absence de prélèvements significatifs ou de leurs petites tailles restreintes.

Sectorisation du bassin versant

Sous bassins versants

- BV1- Eygues Amont
- BV2- Oule Amont
- BV3 - Oule Aval
- BV4 - Eygues Saint May
- BV5 - Eygues Ennuye
- BV6- Ennuye
- BV7 - Eygues Nyons
- BV8 - Eygues Vinsobres
- BV9 - Eygues Buisson
- BV10 - Eygues Tulette
- BV11- Eygues Cairanne
- BV12 - Eygues Travaillan
- BV13- Eygues Orange
- BV14 - Eygues



Echelle :
1 / 260 000
0 5 200 m

Bassin versant	Nom	Surface cumulée à l'exutoire des sous-BV (km ²)	Exutoire
BV1	Eygues amont	200	Amont Confluence Oule (Remuzat)
BV2	Oule amont	130	Aval confluence Establet
BV3	Oule Aval	244	Amont confluence Eygues
BV4	Eygues Saint May	471	Station hydrométrique du Pont de la Tune
BV5	Eygues -Ennuye	515	Amont confluence Ennuye
BV6	Ennuye	96	Confluence Eygues
BV7	Eygues Nyons	734	Aval des Baronnie
BV8	Eygues Vinsobres	805	Amont du Pont de Mirabel
BV9	Eygues Buisson	866	Amont Pont de Buisson
BV10	Eygues Tulette	895	Aval du lieu dit le Vieux Moulin
BV11	Eygues Cairanne	923	Amont Pont de Cairanne
BV12	Eygues Travaillan	958	Aval Lieu dit la Genestière
BV13	Eygues Orange	992	Amont La Croix Rouge
BV14	Eygues	1093	Exutoire

Tableau n°3 : Découpage en sous bassin versant

Le BV4 correspond à la station hydrométrique du Pont de la Tune à Saint May (point nodal amont). Le bassin versant BV13 se situe en aval du rejet du canal de Carpentras (500 m environ en amont du rejet du canal de Carpentras).

C. ANALYSE DES DONNEES

C.I DONNEES METEOROLOGIQUES

C.I.1 Données acquises

Les données suivantes ont été acquises :

- La pluviométrie, donnée de base de la modélisation hydrologique ;
- L'ÉvapoTranspiration 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 journalier sur de longue période 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, 17 stations ont été choisies que l'on peut regrouper en trois groupes :

- Mondragon, Orange, représentative de la vallée du Rhône ;
- Carpentras, Cairanne, Valréas, Vinsobres, Montmorin, Nyons, représentatives des zones de basses altitudes de l'aval du bassin versant ;
- Remuzat, Montjoux, Saint Nazaire le Désert, Rosans, Bellegarde en diois représentatives des zones de moyennes et hautes altitudes de l'amont du bassin versant ;

Poste	Altitude (m)
Mondragon	39
Orange	57
Carpentras	99
Cairanne	118
Valréas	202
Vinsobres (26377002)	210
Mirabel aux baronnies	227
Vinsobres (26377003)	247
Montmorin	259
Nyons Sauve	260
Remuzat (Village)	450
Remuzat	475
Montjoux	540
Saint Nazaire le Désert	560
Beignan	570
Rosans	625
Bellegarde en diois	985



Illustration n°2 : Localisation des stations météorologiques

Données	Pas de Temps	Poste	Période en années complètes	Altitude (m)	Nombres d'années
Pluviométrie	Journalier	Mondragon	de 1996 à 2006	39	10
		Cairanne	de 1988 à 2007	118	19
		Valréas	de 1972 à 2010	202	38
		Vinsobres (26377002)	de 1985 à 1989	210	4
		Mirabel aux baronnies	de 1981 à 2010	227	29
		Vinsobres (26377003)	de 1990 à 2010	247	20
		Remuzat (Village)	de 1965 à 1992	450	27
		Remuzat	de 1992 à 2010	475	18
		Montjoux	de 1963 à 2010	540	47
		Saint Nazaire le Désert	de 1991 à 2010	560	19
		Besignan	de 1991 à 2010	570	19
		Rosans	de 1972 à 2010	625	38
	Bellegarde en diois	de 1970 à 2010	985	40	
	Mensuel	Montmorin	de 1928 à 1938	259	10
Nyons Sauve	de 1931 à 1977	260	46		
Temperature	Journalier	Besignan	de 1993 à 2010	570	17
		Montjoux	de 1990 à 2010	540	20
		Orange	de 1953 à 2010	57	57
ETP	Journalier	Besignan	de 2004 à 2010	570	6
		Carpentras	de 1964 à 2008	99	44
Neige	Journalier	Orange	de 1953 à 2010	57	57
		Bellegarde en diois	de 1961 à 2010	985	49
		Valréas	de 2001 à 2010	202	9

Tableau n°4 : Synthèse des données météorologiques

C.I.2 Analyse de la pluviométrie

L'analyse de la pluviométrie se réalisera sur la période où toutes les stations données ci-dessus étaient en fonctionnement soit la période 1996 -2006 (10 ans).

Concernant la pluviométrie, il a été choisi de regrouper les postes de Remuzat (Remuzat et Remuzat village). Ces deux stations sont placées à 2km d'écart et ont une différence d'altitude de 20m (5% d'écart). L'étude de ces deux postes sur leurs périodes de fonctionnement communes (1 mois) a montré que la pluviométrie était similaire :

- Même nombre de jours de pluies
- Une différence entre 1 à 3mm sur les 4 événements pluvieux et une différence de 11 mm sur un événement pluvieux exceptionnel de 68mm au poste de Remuzat Village.

Même si des différences de hauteurs de précipitations sont observables, ce choix a été fait car il est préférable, pour la suite de l'étude d'utiliser des données locales « réelles » et non reconstituées.

☐ *Moyenne générale*

En moyenne sur la période 1996-2006, les pluviométries annuelles varient entre un minimum de 760 mm/an pour la station du Cairanne dans la partie aval du bassin versant à un maximum de 1 020 mm/an pour la station de Bellegarde en Diois à près de 985m d'altitude. Il est noté que sur la période 1996-2006, les pluviométries annuelles sont plus fortes sur la station de Montjoux, située à 540 m qu'au poste de Bellegarde en Diois situé à une altitude plus haute.

La pluviométrie annuelle sur le bassin versant de l'Eygues est, **en moyenne arithmétique sur l'ensemble des stations, de 876 mm.**

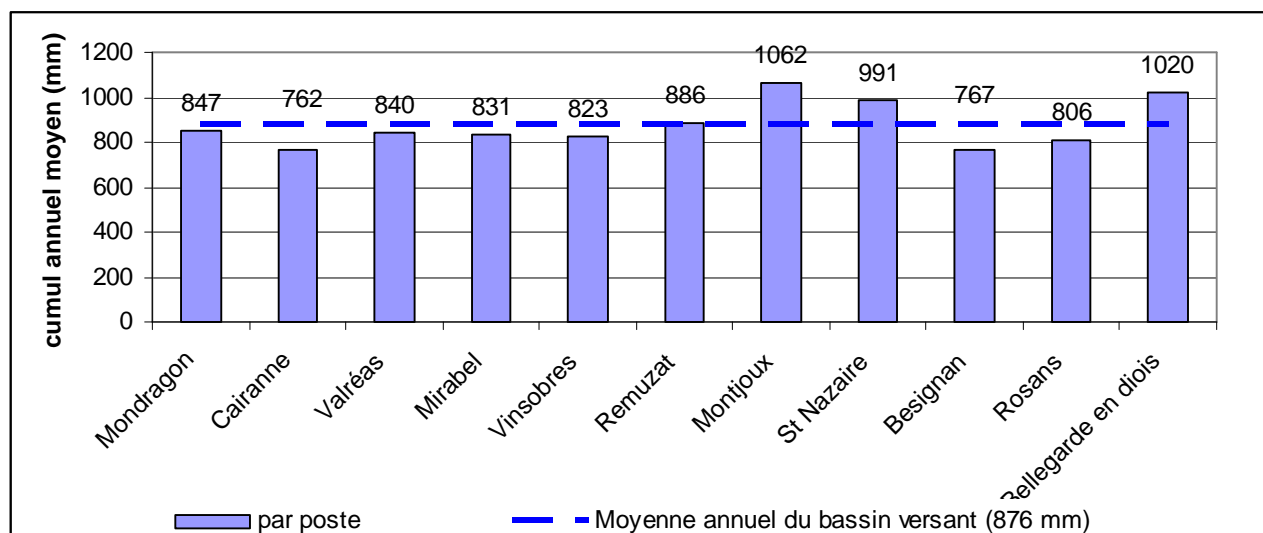


Illustration n°3 : Précipitations moyennes annuelles sur la période 1993-2006

En regardant l'évolution de la pluviométrie avec l'altitude (cf. illustration 5), il n'est pas possible d'expliquer les hauteurs de précipitations par une relation linéaire par rapport aux altitudes des stations. Les différences sur ces stations de même classe d'altitude peuvent s'expliquer par leurs localisations géographiques.

On notera 3 groupes de stations :

- Les stations de Cairanne, Mondragon, Valréas, Mirabel, Remuzat se situant dans la partie basse du bassin versant. Ces stations ont le même cumul annuel comparable. On peut noter que la station de Cairanne a un cumul de pluie plus faible que les autres.
- Les stations de Montjoux, Saint Nazaire le désert, Bellegarde en Diois, situées dans les Baronnies au Nord Est du bassin versant.
- Les stations de Besignan et de Rosans, situées dans les Baronnies, dans la partie Sud Est du bassin versant.

Les deux derniers groupes ont des altitudes comparables hormis Bellegarde en Diois. Or, les cumuls de pluies annuels sont beaucoup plus élevés sur les stations situées sur le Nord Est.

Des disparités sont observables sur les stations de Mondragon et de Cairanne, situés dans la partie aval. Celles-ci s'expliquent par la présence du Rhône à proximité qui peut avoir une influence sur les précipitations.

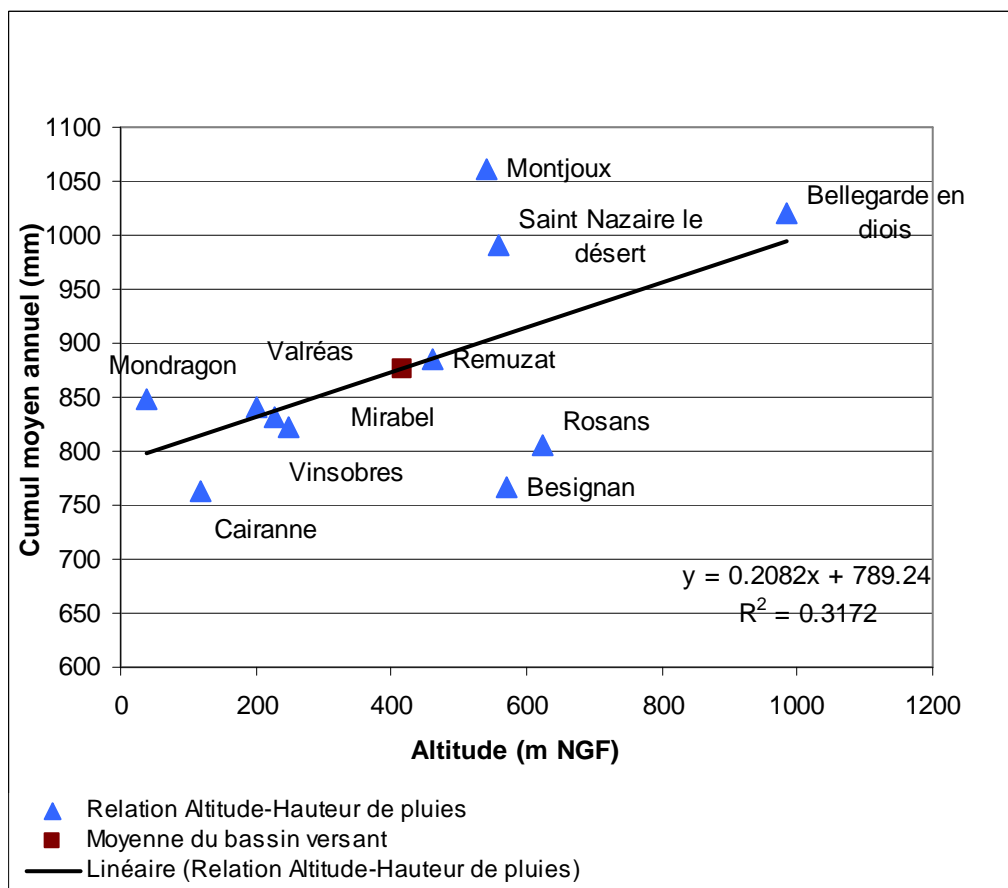


Illustration n°4 : Variation des cumuls annuels de pluies en fonction de l'altitude des stations

❑ *Evolutions inter annuelles*

En plus des différences entre stations, les disparités d'une année à l'autre sont également très fortes :

- L'année 2005 a été la moins pluvieuse avec 639 mm en moyenne mais seulement 500 mm pour la station de Cairanne (année sèche).
- L'année 2002 a été l'année la plus pluvieuse de la période d'observation avec 1094 mm en moyenne. (année humide)

Le déficit hydrique constaté ces dernières années est clairement visible sur la période 2004-2007.

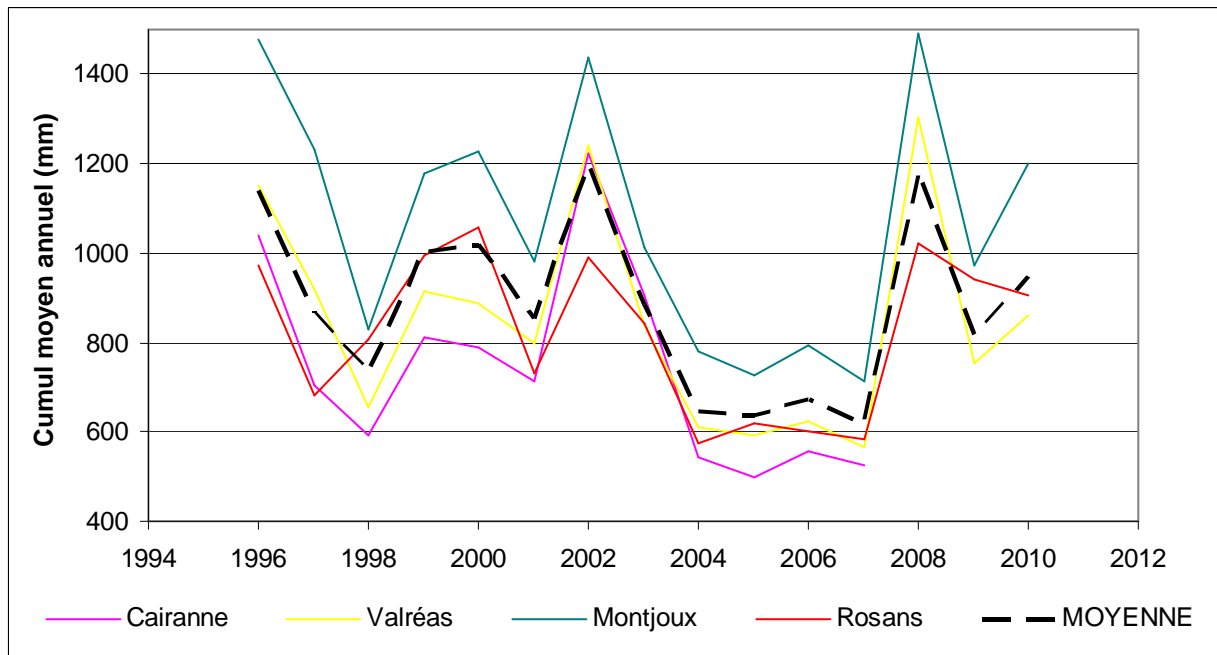


Illustration n°5 : Variation des cumuls annuels de pluies

Une seule station de chaque groupe a été représentée sur le graphique ci-dessus.

Afin de compléter cette analyse, l'illustration suivante présente les précipitations annuelles sur les stations de Montmorin et Nyons de 1938 à 1976. Les moyennes calculées sur les années disponibles pour ces deux stations sont respectivement de 814 et 885 mm/an.

Sur ces mêmes chroniques, on peut remarquer plusieurs années consécutives où les précipitations sont inférieures à la moyenne de la station :

- A Nyons de 1931 à 1934 ;
- A Montmorin de 1964 à 1967 ;

Les situations de déficit pluviométriques, ne sont donc pas nouvelles sur le bassin versant de l'Eygues.

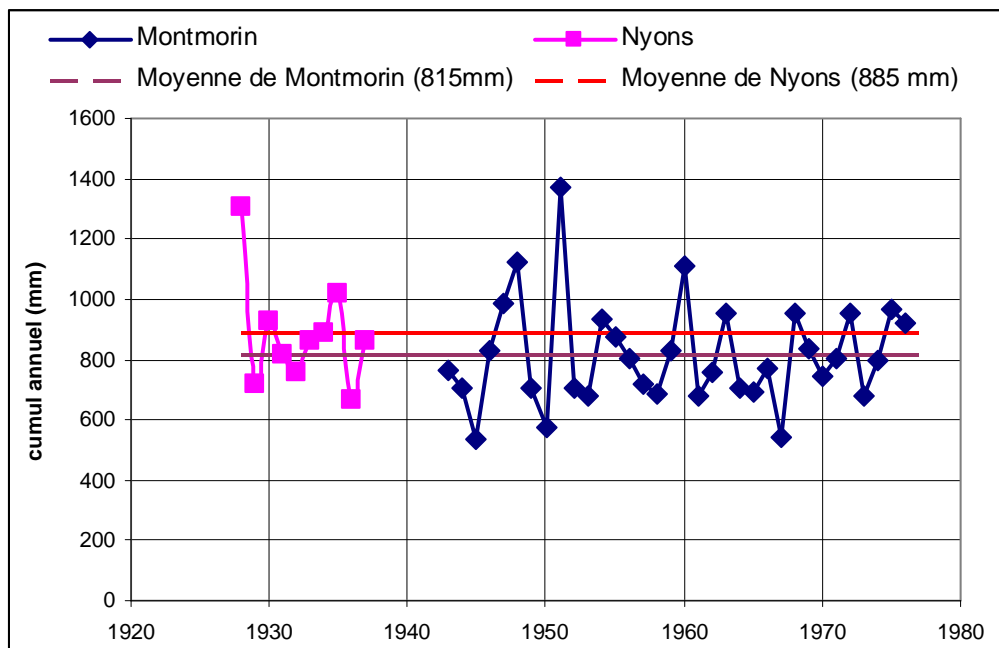


Illustration n°6 : Précipitations annuelles sur les stations de Nyons et de Montmorin

❑ Evolution saisonnière

Concernant le nombre de jours de pluie, on observe de fortes variations d'une station à l'autre. On peut faire le même constat que sur les cumuls annuels : on retrouve les trois groupes de stations. Les stations du Nord Est (Bellegarde en Diois, Saint Nazaire et Montjoux) ont un nombre de jours de pluies plus important que celle du Sud Est notamment pour les pluies supérieures à 10 mm (8 jours de pluies en plus). Les pluies sont donc plus fréquentes et plus intense dans la partie Nord des Baronnies que dans la partie Sud.

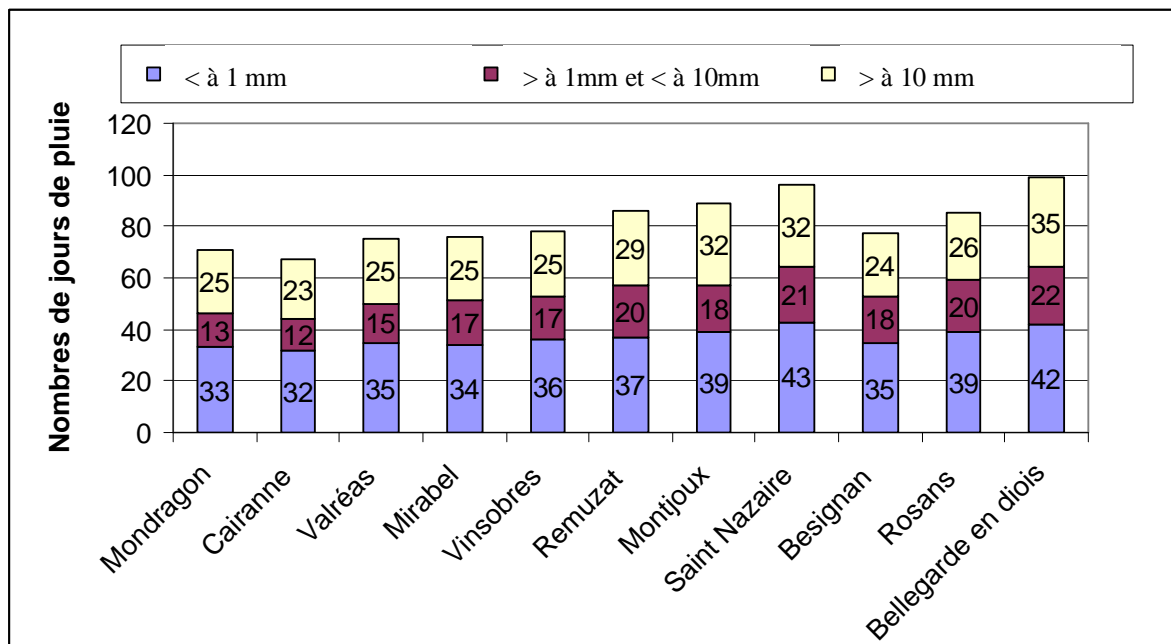


Illustration n°7 : Nombre de jours de pluie et par an et intensité sur la période 1996-2006

Enfin l'illustration suivante compare les cumuls de précipitations annuels à ceux pendant la période d'irrigation (juin à septembre) sur la chronique 1996-2006 dans un premier temps

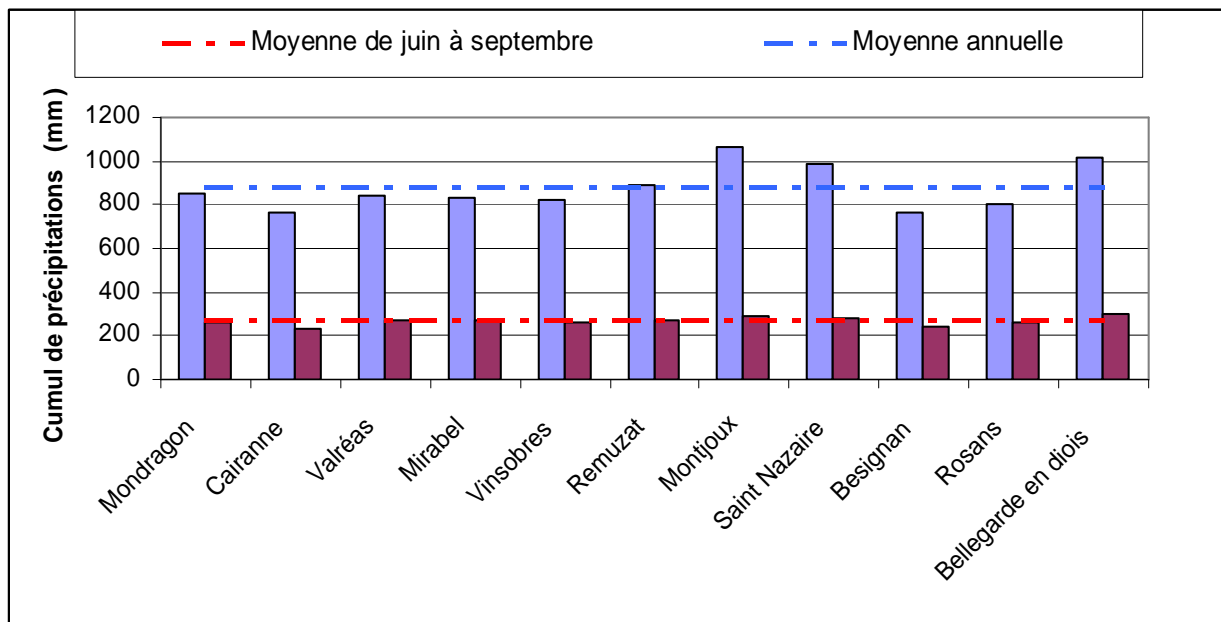


Illustration n°8 : Cumuls des précipitations pendant la période d'irrigation (1996-2006)

Sur ces 10 années, on constate que les variations de cumul en période d'été sont légèrement atténuées par rapport aux variations de cumuls annuels selon les stations. En effet, la hauteur de pluie est de 265

mm en moyenne à Cairanne pour 302mm à Bellegarde en Diois soit **12% d'écart** contre **17% en annuel**.

En conclusion :

- **La pluviométrie moyenne est de l'ordre de 875 mm par an sur le bassin versant toutes stations confondues avec de fortes variations annuelles ;**
- **Les cumuls annuels de pluie les plus forts sont observés sur les reliefs du Nord Est en amont du bassin versant ;**
- **Même si la situation a déjà été rencontrée par le passé, un déficit pluviométrique est observable sur les années 2004 à 2007**
- **L'année 2008 est considérée comme une année humide**

C.I.3 Analyse de la température

Les données disponibles sont issues des stations d'Orange et de Besignan situées à des altitudes respectives de 57 m et 570 m (altitudes faibles à moyennes). Les températures observables sur la zone d'étude sont donc a priori plus faibles que celles de l'amont du bassin versant.

Pour la station d'Orange, la moyenne annuelle était de 13.8°C sur la période 1952-1993 et de 14.7°C sur la période 1993-2010. La température moyenne annuelle semble avoir légèrement augmenté mais la durée de la chronique n'est pas suffisante pour tirer des conclusions formelles. De plus, selon les mois considérés, la tendance est inversée.

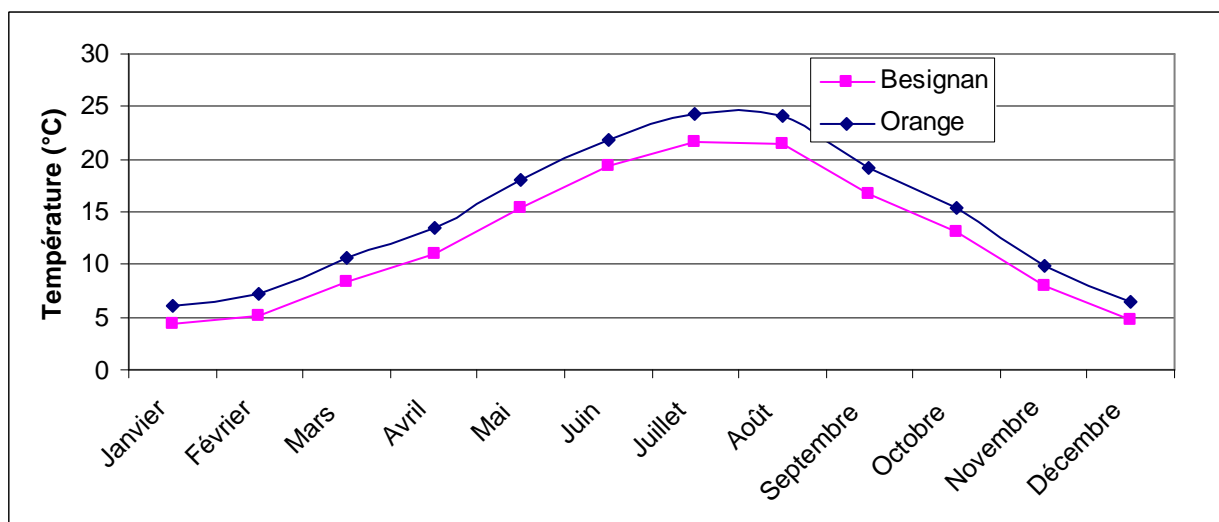


Illustration n°9 : Température moyenne mensuelle à Orange et Besignan

Entre 1993 et 2010, la température moyenne à Orange est de 12.5 °C contre 11.3 °C à Bésignan. Cet écart moyen de 2.2°C varie selon les saisons. Il est plus faible en hiver (1.6°C) par rapport à l'été (2.6°C). Sur les périodes disponibles, janvier est le mois le plus froid avec 4.4°C et juillet le mois plus chaud avec 24.3°C.

C.I.4 Analyse de la neige

Les données disponibles sont issues des stations de Valréas (202 m), Bellegarde en Diois (985 m). Les données sont incomplètes pour ces deux stations. Une analyse des événements neigeux sur les données disponibles a été réalisée.

Sur la station de Bellegarde en Diois, la neige reste présente sur le sol au maximum 3 jours sur un épisode neigeux. Les hauteurs maximales de neige sont de 18 cm en moyenne par an.

Années	Mois disponibles	Nombre d'épisode neigeux	Nombre maximal consécutif de jours de neige	Nombre total de jours de neige	Hauteur maximale mesurée (cm)
1993	Décembre	1	2	2	15
1994	Janvier et Février	4	3	7	16
1995	Janvier, Février et Décembre	9	1	9	20
1996	Février Décembre	2	2	3	20
1997	Janvier, Novembre, Décembre	2	3	4	25
1998	Mars	4	3	7	7
1999	Janvier février et Novembre	5	3	9	25

Tableau n°5 : synthèse des données de tombée de neige sur Bellegarde en Diois (moyennes de 1993 à 1999)

Sur la station de Valréas, situés dans la plaine, le nombre d'épisode de neige est plus faible qu'à Bellegarde. De plus, hormis les années 2001, 2006, et 2010, les hauteurs maximales de neige sont de 9 cm en moyenne par an. Il faut noter que 5 années sur 9 la hauteur de neige était au maximum de 3 cm et que la neige n'a tenu qu'un seul jour. Ce régime est caractéristique des stations de plaine.

Années	Mois disponibles	Nombre d'épisode neigeux	Nombre maximal consécutif de jours de neige	Nombre total de jours de neige	Hauteur maximale mesurée (cm)
2001	Janvier, Décembre	3	3	5	25
2002	X				
2003	Janvier, Février, Mars, Novembre, Décembre	4	5	8	8
2004	Janvier à Mars, Octobre à Décembre	1	1	1	1
2005	Toute l'année	1	1	1	1
2006	Toute l'année hormis octobre	1	1	1	22
2007	Toute l'année hormis février	1	1	1	1
2008	Toute l'année	1	1	1	1
2009	Toute l'année	2	1	2	2
2010	Toute l'année	5	7	13	24

Tableau n°6 : Synthèse des données de tombée de neige sur la Station de Bellegarde (moyennes de 2001 à 2010)

En conclusion, la charge de neige n'est pas très importante. Néanmoins, **les informations sur la couverture neigeuse restent partielles** sur le bassin versant de l'Eygues avec aucune station météorologique au-dessus de 1 300 m, alors même que près de 12% des superficies se situent au-delà de cette altitude.

□ Conclusion

L'analyse des données montre que la prise en compte de la neige n'est pas nécessaire.

C.I.5 Analyse de l'Évapotranspiration 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 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.

Comme pour la température, les données disponibles sont issues des stations de Carpentras (période 1963-2008) et de Besignan (période 2004 -2009). Les évapotranspirations potentielles de la zone d'étude sont légèrement différentes de celles observées notamment au printemps et été.

Sur la station de Besignan, qui fait partie intégrante du bassin de l'Eygues, l'ETP est maximale au mois de juillet (7 mm/ j) pour un minimum de 0.9 mm/j au mois de décembre.

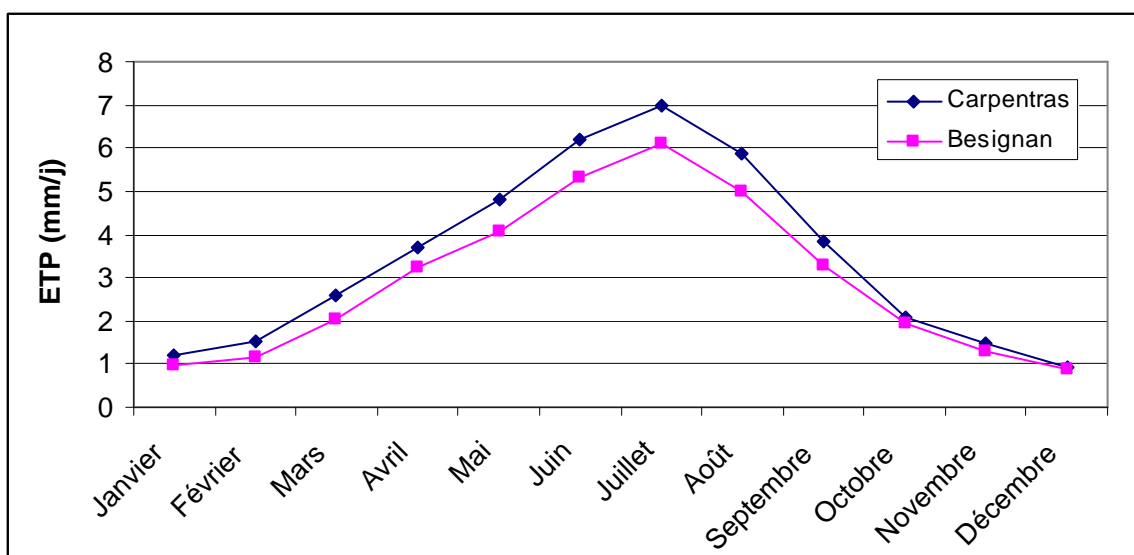


Illustration n°10 : Variations de l'ETP journalières sur l'année (moyenne 2004-2008)

Sur l'année, l'ETP représente 1258 mm pour 690 mm de précipitations cumulées moyennes à Besignan entre 2004 et 2008. **Durant la saison d'irrigation** (juin à septembre), **l'ETP cumulée est de 700 mm soit 7 000 m³ par ha.**

C.II DONNEES DEBITMETRIQUES

C.II.1 Analyse des débits aux stations hydrométriques de la Banque Hydro

□ *Présentation*

Cinq stations où les données débitométriques sont validées sont identifiées sur l'Eygues ou sur ses affluents :

- Station de Saint May (Pont de la Tune) ;
- Station de Remuzat sur l'Eygues ;
- Station de Saint André de Rosans sur l'Eygues ;
- Station sur la Lidane (affluent sur la partie haute du Bassin versant) à Rosans ;
- Station sur le Torrent des Archettes ;
- Station sur le torrent de l'Oule.

Numéro station	Cours d'eau	Bassin versant (km ²)	Période de fonctionnement	Nombre d'années
V5304020	Eygues-Saint André de rosans	46.5	du 1er janvier 1984 au 30 octobre 1985	2
V5304010	Eygues_Remuzat	200	du 1er janvier 1967 au 28 juillet 1985	18
V5324010	Eygues_Saint May	470	du 1er janvier 1967 au 31 décembre 1993 du 1er janvier 2009 au 31 décembre 2010	28
V5316410	Torrent des archettes (affluent de l'Oule)	16	du 1er janvier 1982 au 31 décembre 1983	2
V5315010	Torrent de l'Oule	1.30	du 1er janvier 1983 au 1 Octobre 1984	3
V5306810	La lidane	17.5	du 1er janvier 1983 au 31 décembre 1985	3

Tableau n°7 : Caractéristiques des stations hydrométriques de la Banque Hydro

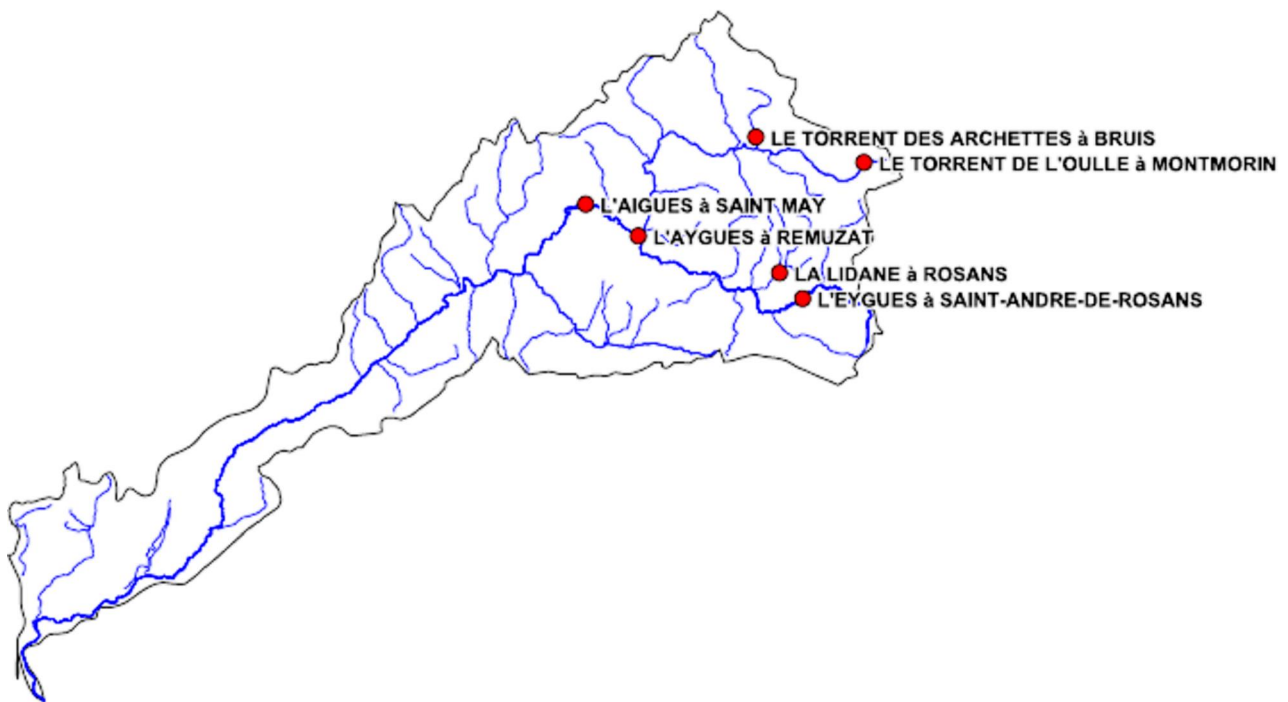


Illustration n°11 : Localisation des stations débitométriques

Toutes les stations sont disposées à l'amont du bassin versant. De plus, elles ne sont plus aujourd'hui en service à l'exception de la station de Saint May. L'analyse des données débitométriques se réalisera selon deux niveaux :

- Sur toute la période de fonctionnement des stations hydrométriques
- sur les années 1982, 1983, 1984, 1985 c'est-à-dire la période de concomitance de ces stations. Le nombre d'années de données étant faibles et les **stations étant peu fiable sur les débits d'étiage** il faudra être vigilant dans l'analyse de ses mesures.

La seule source d'information pour la partie aval du bassin versant est le Réseau d'Observation des Crises d'Assecs (ROCA). La station ROCA se situe en aval de Cairanne. Elle permet d'évaluer le nombre de jours d'assec par an sur la période estivale.

□ Définitions préalables

- Le **module** correspond au débit moyen annuel
- Le **QMNA** correspond au débit moyen minimum mensuel calendaire de la période d'étiage (juin à octobre). Chaque année le QMNA5 à 20% de chance d'être inférieur au QMNA5 ou une année sur 5 le QMN (Débit moyen minimum mensuel) sera inférieur au QMNA5.
- Le **VCNx** correspond au Débit moyen minimal annuel calculé sur n jours consécutifs. Le VCN3 permet de caractériser une situation d'étiage sévère sur une courte période (3 jours). Le VCN30 renseigne sur la ressource minimum sur un mois. A la différence du débit d'étiage mensuel (QMNA), il est calculé sur une période de n jours consécutifs quelconques. A partir d'un échantillon de valeurs d'un paramètre (ex : VCN3), on calcule, pour certaines périodes de retour, les valeurs statistiques dudit paramètre (ex : VCN3 biennal ou 2 ans).

- Le **débit spécifique** correspond à l'écoulement moyen des précipitations au sein d'un bassin versant de cours d'eau. Il se définit comme étant le nombre de litres d'eau qui s'écoule en moyenne chaque seconde par kilomètre carré du bassin.
- Le **coefficient d'écoulement** représente le rapport entre le volume moyen de pluie efficace tombé sur le bassin versant et le volume moyen écoulé.

C.II.1.1 Station de Saint André de Rosans sur l'Eygues

La station de Saint André de Rosans est la station la plus à l'amont du bassin versant sur l'Eygues. Elle ne contrôle que 4% de la surface du bassin versant soit 50 km² à une altitude de 630 m NGF. L'avantage de cette station est que celle-ci est très peu influencée. Même si une trentaine de préleveurs (notamment agricoles) prélèvent sur des sources où en surface en amont de la station, les volumes prélevés sont faibles (- de 10 l/s).

Les valeurs caractéristiques de débit sont présentées dans le tableau suivant :

	Eygues- Saint André de Rosans
QMNA 5 (l/s)	X
Module (l/s)	470
Débit spécifique (module) (l/s/ha)	10.1
Maximum (m3/s)	6 (Mai 1985)

Tableau n°8 : Valeurs caractéristiques moyenne de la station de St André de Rosans entre 1984 et 1985

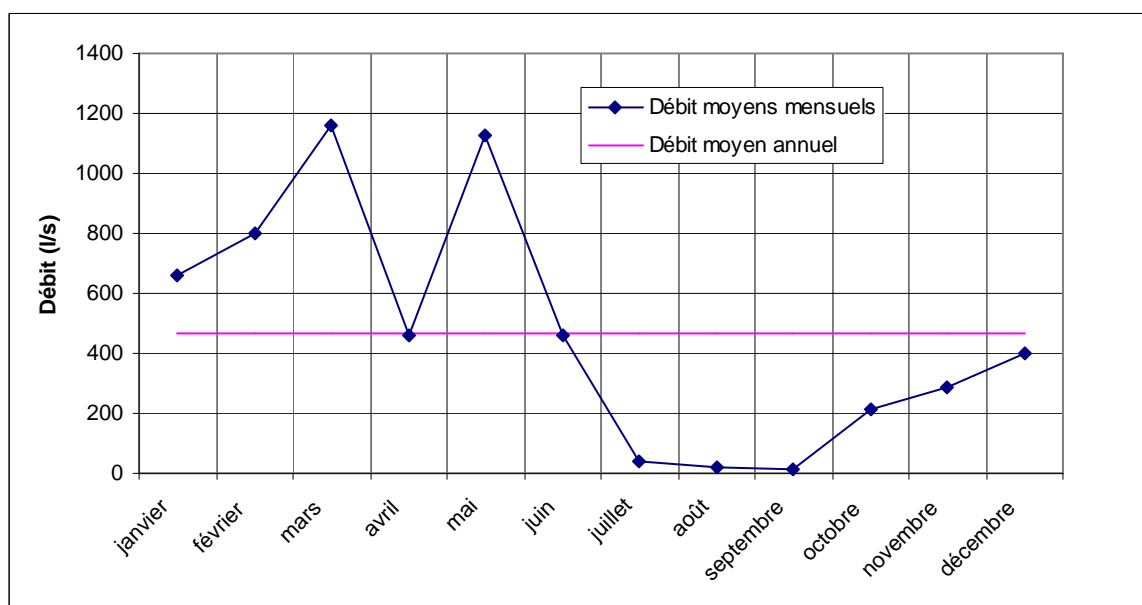


Illustration n°12 : Débits moyens mensuels sur la station de Saint André de Rosans sur les années 84 - 85

Le graphique ci-dessus montre l'évolution des débits mensuels. On peut caractériser cette station comme ayant un régime pluvial :

- La période de hautes eaux se réalise durant la période hivernale et printanière avec un débit mensuel maximal de 1.2m³/s environ.
- Une période d'étiage sur les mois de juillet, août, septembre avec des débits minimums de 1L/s (période d'assez durant l'étiage)

- Un fort contraste entre la période de hautes eaux et la période d'étiage. On observe une baisse du débit au mois d'avril. Aucune explication n'est disponible à ce jour. Des observations supplémentaires seraient nécessaires. Il s'agit d'un phénomène rare.

C.II.1.2 Station de Remuzat sur l'Eygues

La station de Remuzat se trouve dans la partie haute du bassin versant à une altitude de 442 m NGF. Le cours d'eau à ce point draine 200 km² soit 18% du bassin versant. Le réseau d'affluent à l'amont est assez dense. Cette station est peu influencée (moins de 10 l/s).



Illustration n° 13: Photo de la station de Remuzat

Les valeurs caractéristiques de débit sont présentées dans le tableau suivant :

	Eygues-Remuzat
QMNA 5 (l/s)	140
Module (l/s)	2255
Débit spécifique (module) (l/s/km ²)	11
Maximum (m ³ /s)	68 (novembre 1968)

Tableau n°9 : Valeurs caractéristiques sur la station de Saint May entre 1967 et 1985

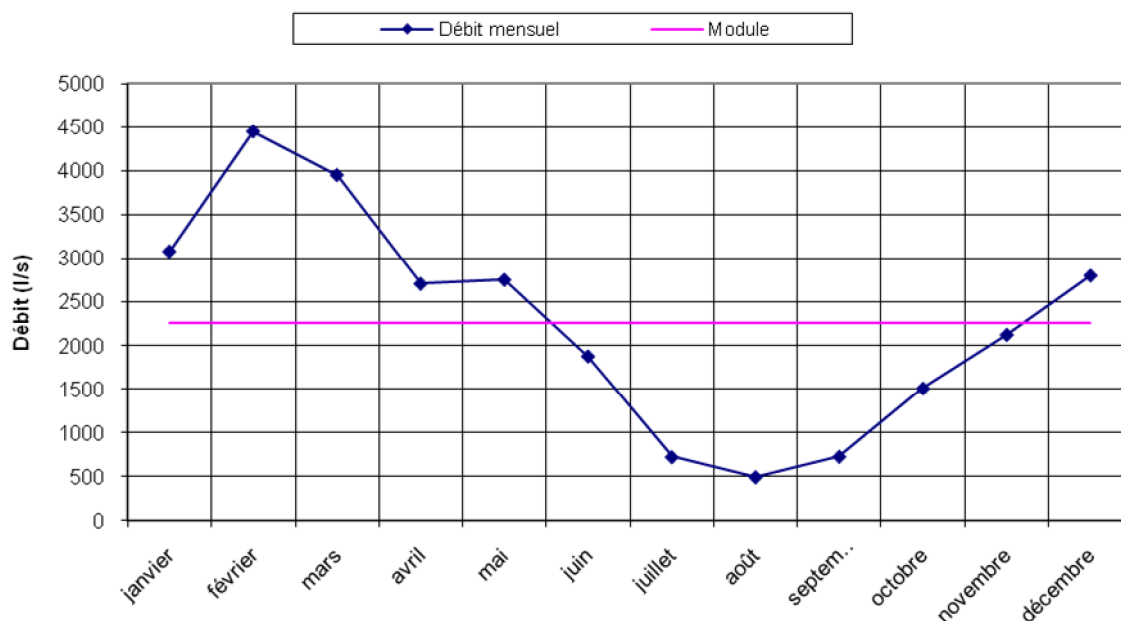


Illustration n°14 : Débits moyen mensuels à Remuzat sur la période 67-84

Le graphique ci-dessus montre l'évolution des débits mensuels. La variation des débits est caractéristique d'une station à régime pluvial:

- Les débits les plus élevés sont sur la période de février et mars avec un pic en moyenne de 4500 l/s ;
- Une période de séchage sur les mois de juillet août septembre avec un débit moyen de 650 l/s ;
- Un fort contraste entre la période de hautes eaux et la période de séchage (facteur 9 séparent les débits mensuels maximums et minimums).

Sur cette station, ayant une période de fonctionnement importante (17 ans), aucune diminution du débit n'est observable au mois d'avril ce qui confirme que ce phénomène observé sur la station précédente est rare.

C.II.1.3 Station de Saint May (Pont de la Tune) sur l'Eygues

La station de Saint May se trouve à l'aval de la majeure partie des affluents de l'Eygues. Celle-ci se trouve après la confluence avec l'Oule, qui est l'affluent majeur de la station. En ce point, la surface drainée est de 475 km² soit 43% de la surface du bassin versant à une altitude de 382 m NGF. Cette station est fortement influencée (environ 40 l/s) car un grand nombre de prélèvements agricoles se réalisent en amont de celle-ci notamment sur l'Oule.

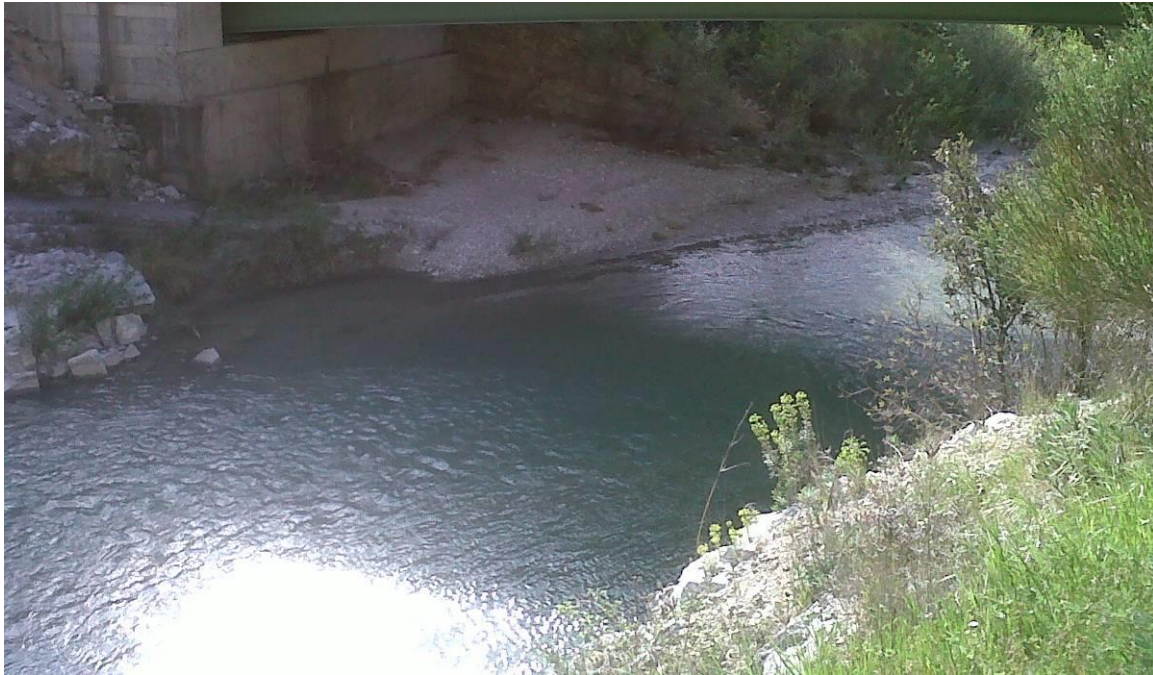


Illustration n° 15: Photo de la station hydrométrique de Saint May

Les valeurs caractéristiques de débit sont présentées dans le tableau suivant :

	Eygues-Saint May (1967-1993)
QMNA 5 (l/s)	460
Module (l/s)	5400
Débit spécifique (module) (l/s/km ²)	11.5
Maximum (m ³ /s)	169 (avril 1986)

Tableau n°10 : Valeurs caractéristiques moyenne de la station de Saint May entre 1967 et 1993

L'analyse des débits n'a pas été réalisée sur les données de 2009 et 2010 car la station n'est pas jugée fiable par le gestionnaire (Voir page 44).

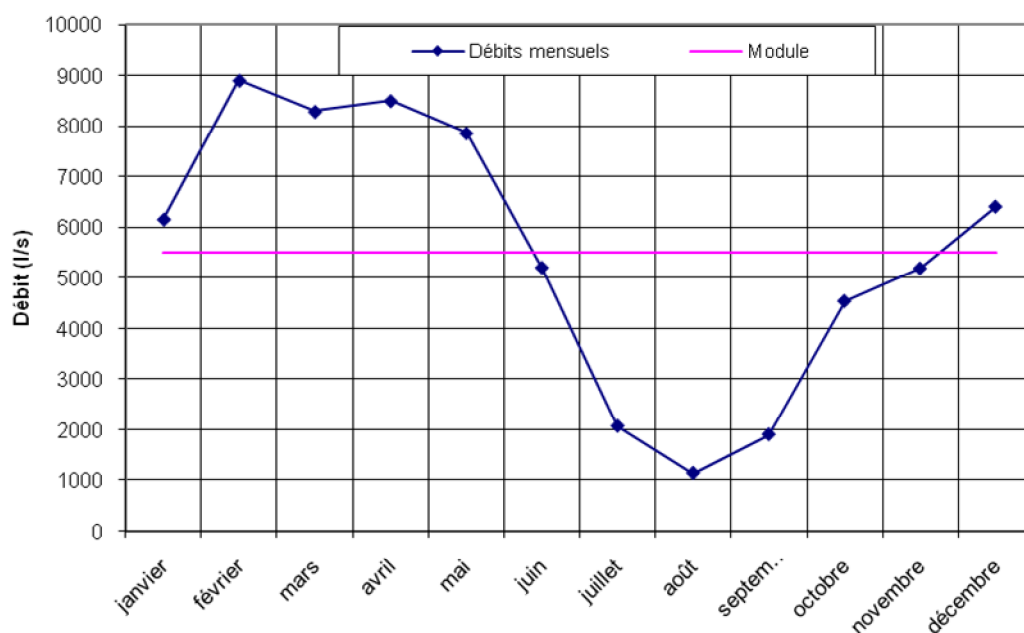


Illustration n° 16: Débits moyens mensuels sur la station de Saint May sur les années 67-93

Le graphique ci-dessus montre l'évolution des débits mensuels. La variation des débits est caractéristique d'une station à régime pluvial.

- La période de hautes eaux se réalise sur la période hivernale et printanière, avec un débit maximal d'environ 9 m³/s.
- La période d'étiage, avec un débit moyen de 1640 l/s, se déroule durant les mois de juillet, août, septembre.
- Un fort contraste entre la période de hautes eaux et la période d'étiage : un facteur 8 sépare les débits maximums et minimums mensuels.

Cette station est aujourd'hui encore en service. Après contact avec les services gestionnaires de la station (spc Rhône), nous avons pu obtenir les différents jaugeages qui ont été réalisés sur la station depuis 2008 (et servant à l'établissement des courbes de tarages). Nous avons donc comparé les débits jaugés aux débits de la station :

	Jaugeages SPC (m ³ /s)	Cote	Débit station hydro (m ³ /s)	Ecart
19/02/2010	64.5	235	22	34%
21/01/2010	9.96	142	6.27	63%
25/03/2009	2.66	129	3	113%
16/02/2011	3.74	125	2.62	70%
22/09/2011	1.13	118		
07/08/2009	0.349	106	0.52	149%
04/04/2011	4.422	127	3.31	75%

Tableau n°11 : Comparaisons jaugeages et débits à la station hydro de Remuzat.

A la vue des écarts importants entre les valeurs jaugées et mesurées, cette station ne semble pas fiable sur l'étiage (200 à 300 l/s d'écart sur la mesure sur les faibles débits). Ces stations ont été installées dans le cadre de la prévention des crues et non pour la surveillance des étiages. Elles ne sont donc pas valables sur ces gammes de débits.

Après recherche auprès du SPC, cette station a été installée sur l'ancien pont de la Tune par EDF. Ce pont a été détruit après 1993. La station a donc été déplacée en 2008 sur le nouveau pont de la Tune et récupérée par le SPC. La courbe de tarage avait été établie par EDF et n'a été mise à jour qu'en 2009. Elle est donc toujours établie sur la section de l'ancien pont de la Tune.

Il est donc décidé de ne pas utiliser les valeurs de débits de la station la Tune des années 2009 et 2010. Seules les données jusqu'à 1993 seront utilisées pour la modélisation hydrologique.

C.II.1.4 Station sur l'affluent « Le torrent des archettes »

Le torrent des Archettes est un affluent de l'Oule (affluent de l'Eygues) pérenne se situant dans la partie haute du bassin versant au Nord-Est à une altitude de 659 m NGF. Cette station n'a fonctionné que deux ans. Les résultats sont présentés par année. Cette station est n'est pas influencée : un seul prélèvement se trouve sur le bassin versant (moins de 2 l/s).

Les valeurs caractéristiques de débit sont présentées dans le tableau suivant :

	QMNA (l/s)	VCN 10 (l/s)	Débit moyen annuel (l/s)
1982	104	46	345
1983	43	30	248

Tableau n°12 : Valeurs caractéristiques de la station du Torrent des Archettes sur les années 82 et 83

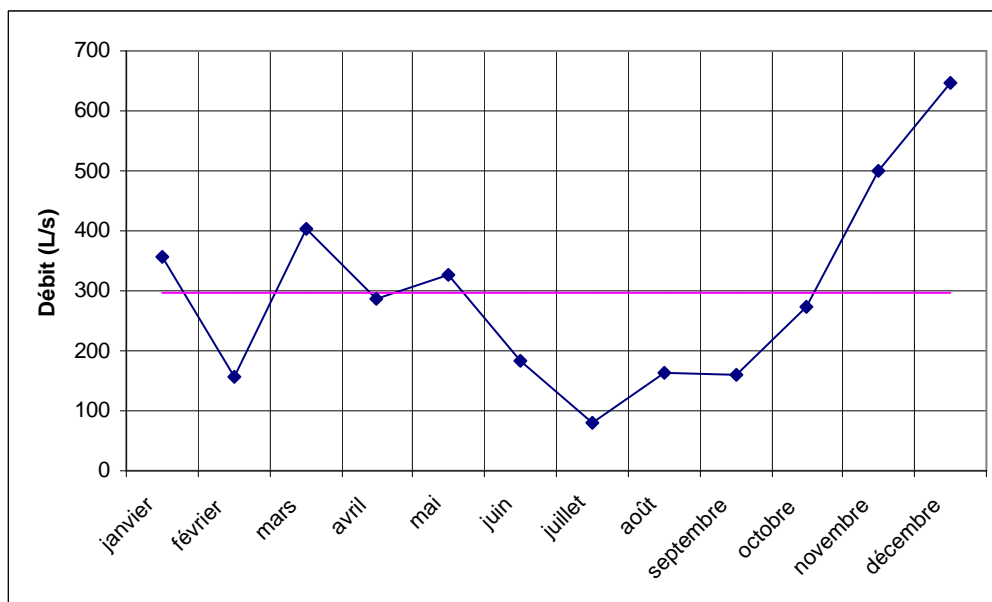


Illustration n° 17: Débits moyens mensuel de la station du Torrent des Archettes sur la période 82 à 83

Le graphique ci-dessus montre l'évolution des débits mensuels.

- Une période de hautes eaux durant la période hivernale de novembre à janvier avec un débit maximal mensuel de 650 l/s.
- Une première période de détiage s'observe en janvier et février. Une seconde période de détiage avec un débit minimal mensuel de 80 l/s s'observe en juillet, août et septembre.
- Un facteur 8 sépare la période des hautes eaux de la période de détiage

C.II.1.5 Station de l'affluent « Le torrent de l'Oule »

Cet affluent pérenne de l'Eygues se trouve dans la partie haute du bassin versant sur la rive droite et draine 2km² (<1%) à une altitude de 935 m NGF. Même si celle-ci draine peu de surface, il est intéressant d'analyser les données afin d'avoir une idée du fonctionnement des affluents de l'Eygues. Cette station n'est pas influencée car elle se situe totalement à l'amont de ce torrent.

Les valeurs caractéristiques de débit sont les suivantes :

	QMNA (l/s)	VCN10 (l/s)	Module (l/s)
1982	18	X	X
1983	10	1	87
1984	12	7	X

Tableau n°13 : Valeurs caractéristiques par année sur le torrent de l'Oule

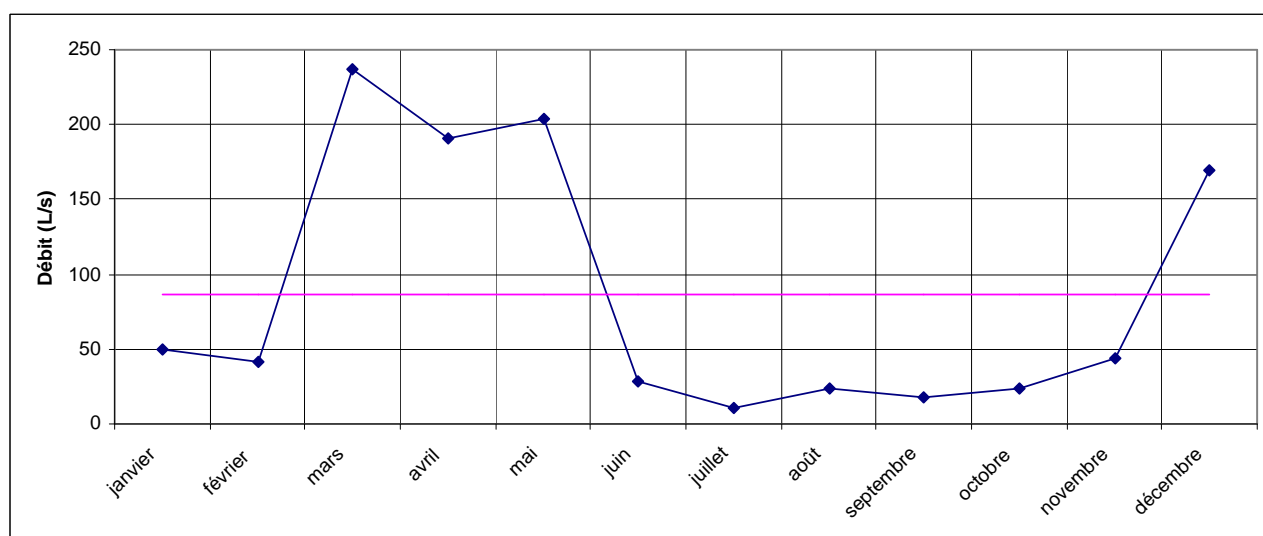


Illustration n° 18: Débits moyens mensuels sur le torrent de l'Oule sur l'année 83

Le graphique ci-dessus montre l'évolution des débits sur l'année.

- La période de hautes eaux se réalise sur la période printanière (mars, avril, mai)
- La première période de détiage se déroule durant l'hiver (janvier/février) causé par la rétention nivale.

- Les mois de juillet/août/septembre/octobre correspondent à la seconde période d'étiage avec un débit minimal de 10 l/s.

La période de fonctionnement de la station étant très courte, il n'est pas possible d'établir les caractéristiques de la station.

Sur la période d'observation, on peut noter que les étiages sont beaucoup plus marqués que précédemment. Néanmoins, ayant une seule année de données, on peut supposer que cette situation est ponctuelle.

C.II.1.6 Station de l'affluent « La Lidane » à Rosans

Cette station est située dans la partie amont au sud est du bassin versant sur la rive droite de l'Eygues à une altitude de 570 m NGF. La Lidane est un cours d'eau est un cours d'eau pérenne. Cette station est peu influencée : Peu de prélèvement (4 au total) ont été identifié dans ce secteur (moins de 5 l/s).



Les valeurs caractéristiques de débit sur cette station sont :

	QMNA (l/s)	VCN10 (l/s)	Module (l/s)
1982	18	X	X
1983	12	4	148
1984	6	4	172
1985	3	1	163

Tableau n°14 : Valeurs caractéristiques par année sur l'affluent de la Lidane

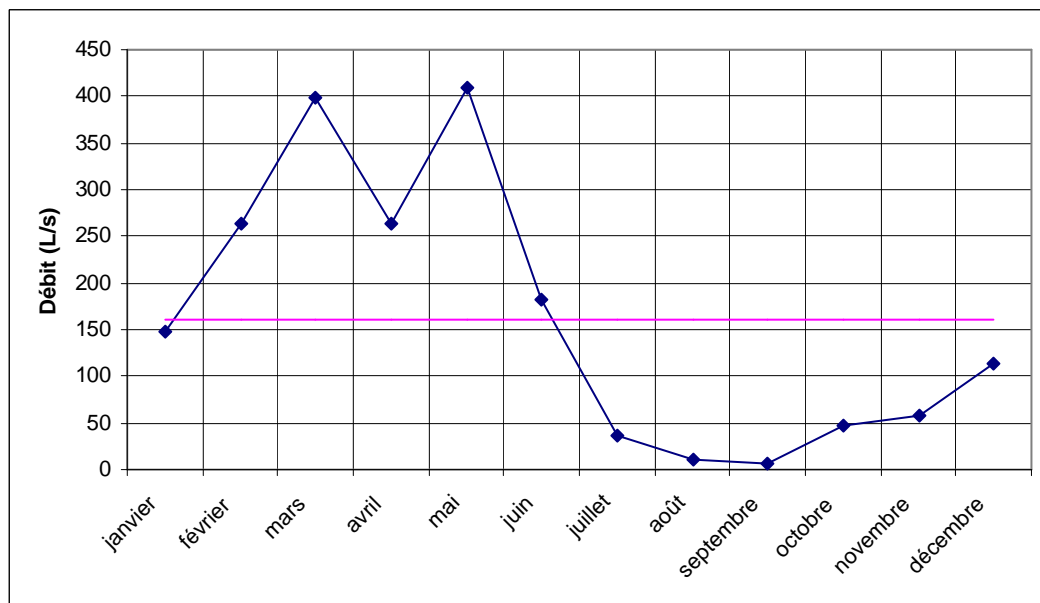


Illustration n° 19: Débits moyens mensuels sur l'affluent La Lidane sur les années 83 - 84 à 85

Le graphique ci-dessus montre l'évolution des débits mensuels.

- La période de hautes eaux se réalise durant les mois de mars avril ;
- Une seconde période de sécheresse estivale (juillet août septembre) avec un débit mensuel minimal de 3 l/s et des périodes de sécheresse régulières.

C.II.1.7 Comparaison des stations sur les années de concomitance

□ Stations sur l'Eygues

Les Stations de Saint May et de Remuzat sont les seules stations ayant des périodes de mesures longues. (Plus de 10 ans). Même si elles sont peu éloignées (10 km), leur comparaison permet de rendre compte des apports de l'Oule sur l'Eygues et donc voir si l'Oule et l'Eygues ont le même fonctionnement hydrologique en période de sécheresse. Une analyse des débits en période de sécheresse sur leur période de fonctionnement commune (entre 1967 et 1984) a été aussi réalisée. Les débits mesurés sur la station de Saint André de Rosans (amont du Bassin versant) ont été indiqués.

Année	Q moyen Juillet (l/s)			Q moyen aout (l/s)			Q moyen septembre (l/s)			VCN 10		
	Saint André de Rosans	Remuzat	Saint May	Saint André de Rosans	Remuzat	Saint May	Saint André de Rosans	Remuzat	Saint May	Saint André de Rosans	Remuzat	Saint May
1967	X	1540	640	X	1070	540	X	1100	520	X	50	460
1968	X	280	1750	X	740	2090	X	2680	5470	X	60	1170
1969	X	2370	5780	X	480	2520	X	1040	2120	X	400	720
1970	X	240	670	X	120	340	X	190	510	X	70	200
1971	X	670	3860	X	300	1600	X	290	1180	X	150	970
1972	X	1020	2780	X	290	930	X	670	2040	X	180	520
1973	X	360	750	X	690	780	X	510	990	X	160	260
1974	X	200	820	X	280	620	X	1060	2480	X	130	290
1975	X	1270	2370	X	730	810	X	1240	3020	X	290	640
1976	X	330	1920	X	170	550	X	510	1900	X	130	290
1977	X	1640	4870	X	1500	4350	X	600	2000	X	350	930
1978	X	390	1380	X	180	970	X	160	360	X	110	270
1979	X	260	760	X	210	890	X	60	540	X	50	450
1980	X	300	400	X	120	480	X	230	1100	X	50	240
1981	X	280	1710	X	270	820	X	1040	3120	X	130	570
1982	X	880	2390	X	960	1880	X	990	2980	X	270	780
1983	X	620	1780	X	660	1440	X	450	1240	X	300	950
1984	74	450	1440	10	230	1020	20	360	1050	10	200	820
1985	12	X	920	20	0	660	0	X	400	0	X	320

Tableau n°15 : Comparaison des stations sur l'Eygues par année

Les débits en rouge représentent le débit minimal mensuel sur l'année n.

La comparaison des caractéristiques des trois stations, montre que :

- Les pics d'étiage sont certaines années décalés d'un mois entre la station de Remuzat et Saint May (3 années sur 10 en moyenne), comme les années 1971 et 1982. Cette différence s'explique par la pluviométrie. En effet, la pluviométrie entre la partie Nord et la partie Sud du bassin versant est différente.
- Les débits observés sur Saint May sont 2 à 3 fois supérieurs à ceux de Remuzat (amont confluence avec l'Oule). Cette différence s'explique par une augmentation de la surface drainée par les apports de l'Oule notamment.
- Le module spécifique de ces deux stations est similaire. Il est de 11 à 12 l/s/km². En période estivale (juillet à septembre), le débit moyen mensuel spécifique est abaissé à 3.2 l/s/km² pour la station de Remuzat et à 3.5 l/s/km² pour la station de Saint May.

Concernant la qualité de ces stations, le débit est sensible aux petites hauteurs d'eau. La fiabilité des stations sur la période estivale est donc moindre. De plus, le lit de l'Eygues, formé de bancs de graviers, bouge d'une année sur l'autre. Etant donnée la **faible période de fonctionnement sur la station de Saint André de Rosans, il est choisi de ne pas utiliser cette station.**

Les stations de Remuzat et Saint May se situent au centre du bassin versant et sont caractéristiques des écoulements amont du bassin versant avec une couverture végétale plutôt forestière. Les caractéristiques des différentes stations préalablement citées permettent de faire plusieurs constats :

- **Le débit spécifique (sur le module) pour ces stations est d'environ 11 l/s/km²**
- **L'Oule contribue fortement au débit de l'Eygues (facteur 2 à 3 entre le débit de Remuzat et Saint May)**
- **Les étiages sont sévères sur le bassin versant.**

□ Stations sur les affluents

Les débits spécifiques (sur le module) sont plus importants que ceux calculés sur l'Eygues :

- 18 l/s/km² sur le torrent des Archettes (calculé sur les années 1982 et 1983) ;
- 66 l/s/km² sur le torrent de l'Oule (calculé sur les années 1982 à 1984);
- 9 l/s/km² sur la Lidane (calculé sur les années 1982 à 1985).

Les stations hydrologiques des affluents de l'Eygues ont des faibles périodes de fonctionnement (moins de 5 ans pour chacune d'entre elles). Ces stations ne seront pas utilisées pour la suite de l'étude.

C.II.1.8 Comparaison des débits avec la pluviométrie

Il semble intéressant de comparer la pluviométrie avec les débits de l'Eygues.

Au poste hydrométrique de Remuzat, les postes pluviométriques représentatifs du bassin versant sont le poste de Remuzat et le poste de Bellegarde en Diois. De manière générale, la pluviométrie des deux postes et le débit de l'Eygues évoluent de manière similaire. On observe néanmoins des écarts sur la période estival : En août et en septembre, la pluviométrie augmente alors que le débit de l'Eygues reste constant. Il en est de même pour le mois de mai. La pluviométrie de ces mois est souvent des orages intenses avec une durée limitée. Ces pluies orageuses provoquent une augmentation soudaine de l'Eygues mais ne permettent pas un soutien des débits d'été.

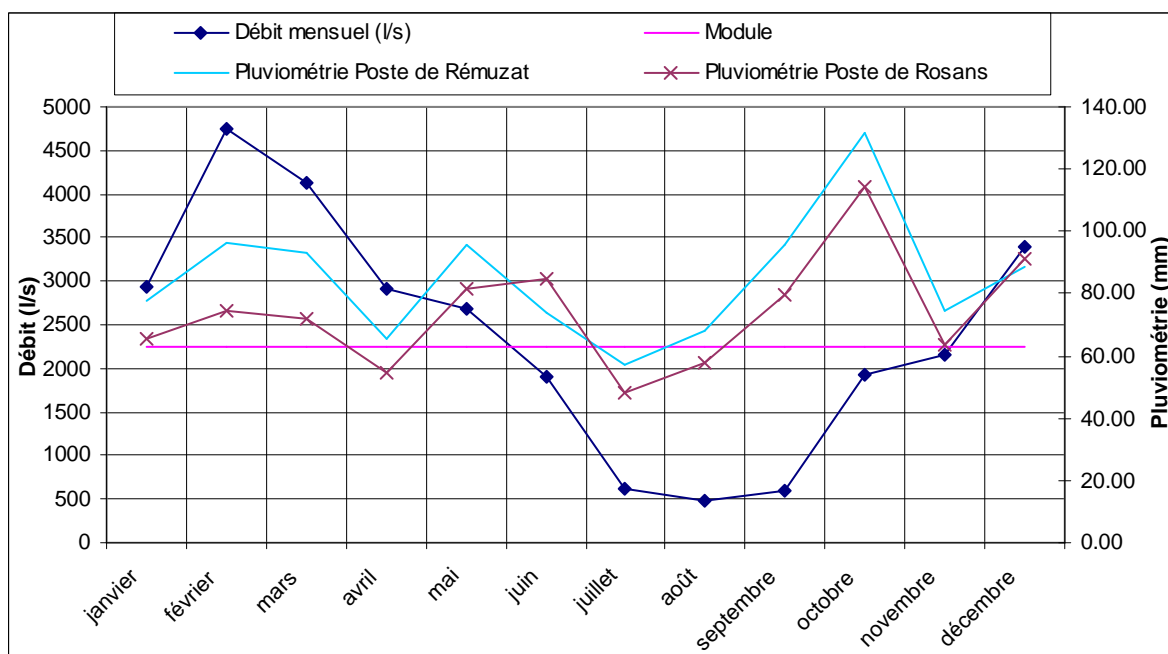


Illustration n°20 : Débit moyen mensuel (l/s) à Remuzat et pluviométrie mensuelle moyenne sur le bassin versant entre 1972 et 1984

Au poste hydrométrique de Saint May, les postes pluviométriques représentatifs du bassin versant sont le poste de Remuzat et le poste de Bellegarde en Diois. De manière générale, la pluviométrie des deux postes et le débit de l'Eygues évoluent de manière similaire. On observe la même tendance qu'à Remuzat.

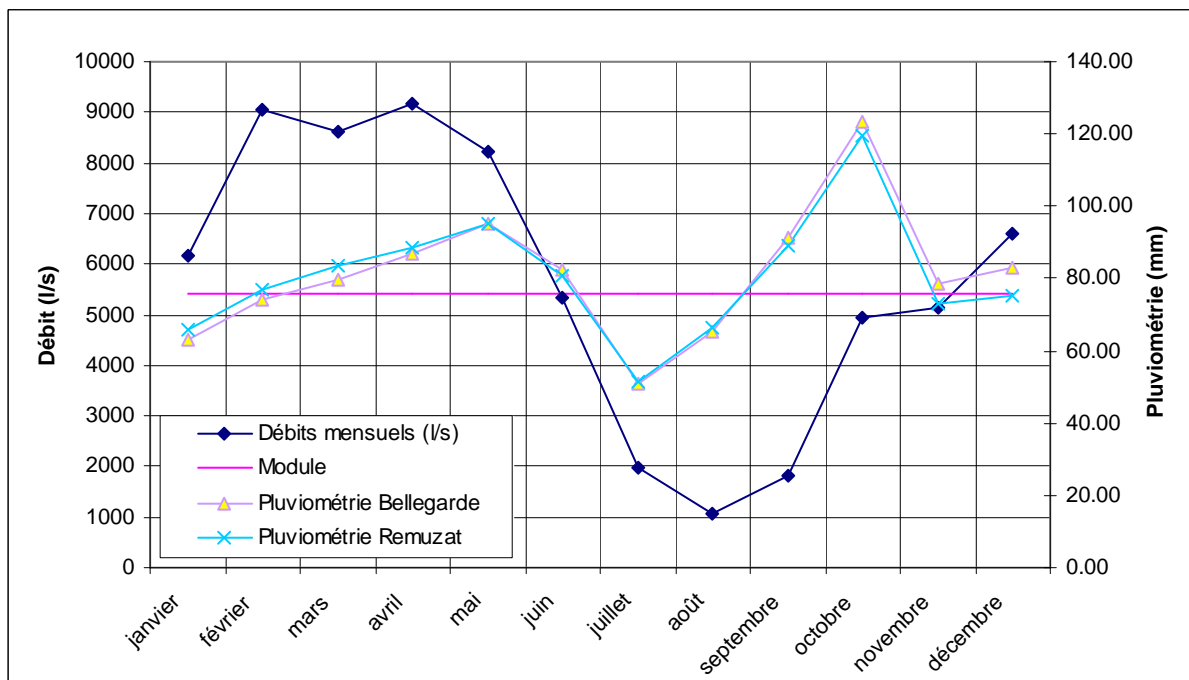


Illustration n°21 : Débit moyen mensuel (l/s) à Saint May et pluviométrie mensuelle moyenne sur le bassin versant entre 1970 et 1993

Sur ces deux stations, représentatives de la partie amont du bassin versant, le coefficient d'écoulement est de 42% en moyenne.

C.II.1.9 Conclusion

En résumé :

- Les stations de Remuzat et de Saint May sont représentatives des écoulements dans le massif des baronnies (amont de Nyons).
- Le débit moyen mensuel spécifique dans le massif des baronnies en période d'étiage est en moyenne de 3 l/s/km² (juillet à septembre).
- L'Oule contribue fortement au débit de l'Eygues.
- Le coefficient d'écoulement moyen est de 42%.

C.II.2 Campagnes de mesures complémentaires

C.II.2.1 Campagnes de mesures complémentaires Cereg Ingénierie

➤ *Planche n°13 : Points de jaugeage*

□ Méthodologie

Les mesures de débit présentées dans ce paragraphe correspondent à des jaugeages ponctuels réalisés à l'aide d'un micro moulinet ou d'un courantmètre. Ils ont été réalisés sur l'Eygues et ses affluents dans le cadre des deux campagnes de mesures CEREG Ingénierie prévus dans le cadre de la présente étude afin de mieux identifier le fonctionnement hydraulique de l'Eygues et de ses affluents en période d'irrigation et d'apprécier l'utilisation des réseaux d'irrigation en période de prélèvement ;

Les campagnes de mesures complémentaires CEREG Ingénierie consistent, sur l'Eygues, à **deux campagnes de mesures comportant 20 jaugeages au total** dont 15 sur l'Eygues et 5 sur les affluents (Oule, Bentrix, Ennuye, Sauve).

Les points de mesures complémentaires CEREG Ingénierie ont été positionnés en concertation avec le Comité Technique. Ils sont localisés en amont des zones de prélèvements importants ou aux endroits où la connaissance du fonctionnement hydrologique et hydrogéologique du bassin doit être complétée.

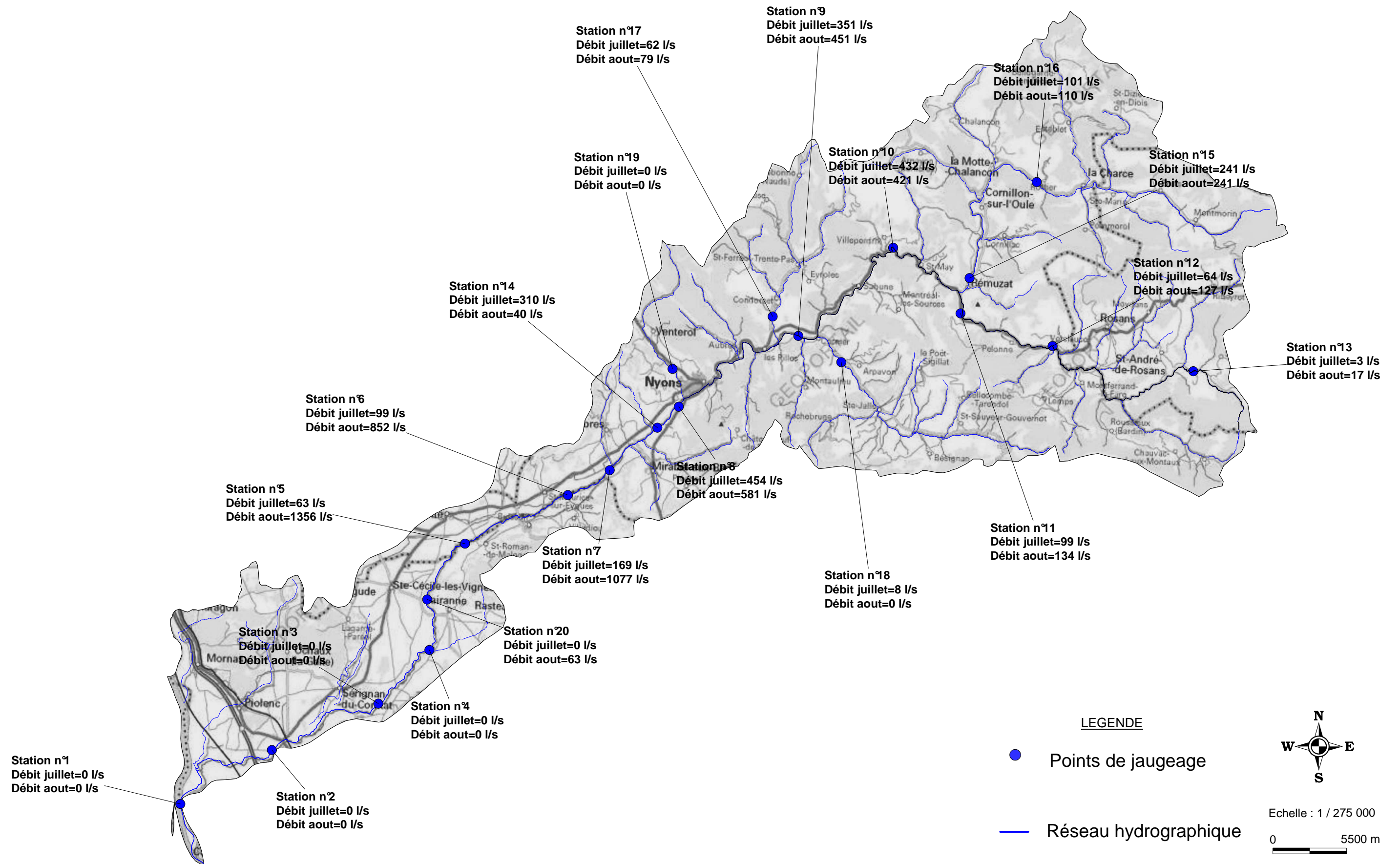
□ Résultats

Les valeurs des jaugeages, sur l'Eygues, lors des différentes campagnes sont présentées dans le tableau ci-après:

- La campagne 1 a été réalisée en début de juillet (entre le 4 et 6 juillet 2011) durant la période la plus sèche de la période estivale (cumul pluviométrique très faible (déficit hydrique) sur la période printanière) pendant la période d'irrigation et de fonctionnement des canaux.
- La campagne 2 a été réalisée en début de mois d'août (entre le 8 et le 10 août 2011). La situation hydrologique y était moins inquiétante. La pluviométrie du mois de juillet (mois très pluvieux pour la saison) a permis de réalimenter l'Eygues et ses affluents.

Stations de jaugeage

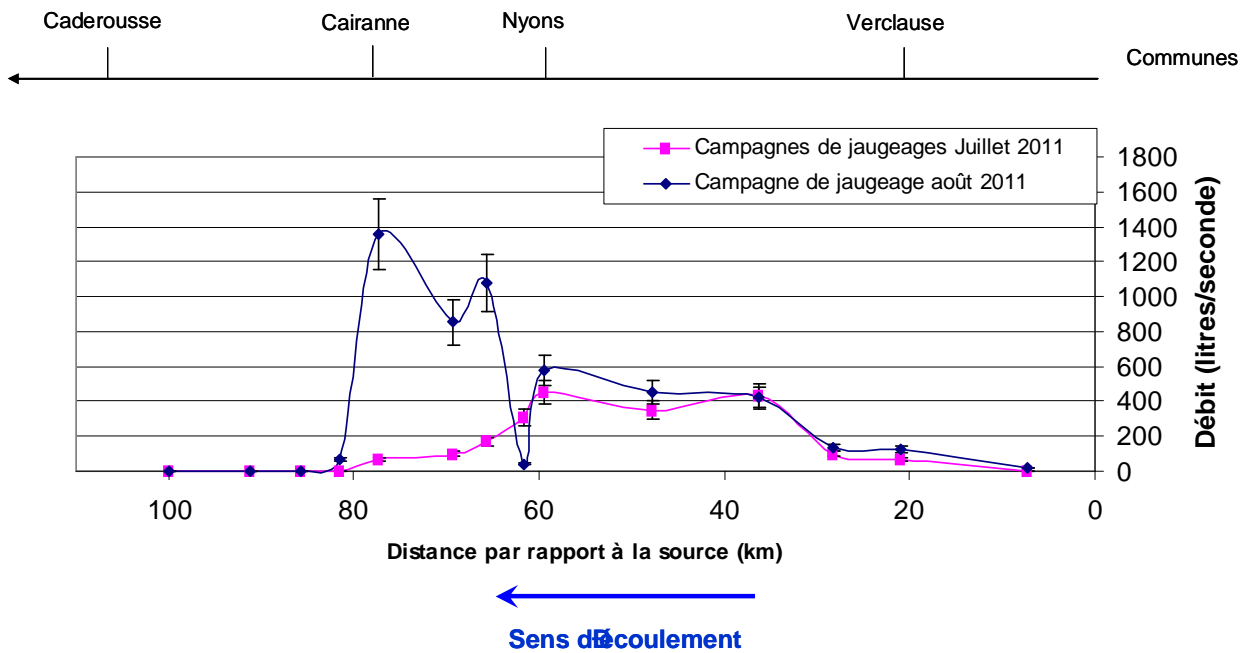
Source : fonds de carte IGN



AGENCE DE L'EAU RHÔNE MEDITERRANEE CORSE - Etude de détermination des volumes
prélevables du bassin versant de l'Eygues

N° Point de Jaugeage	Localisation	Distance à la source (km)	Campagne 1 4 au 6 Juillet 2011 (l/s)	Campagne 2 du 8 au 10 Aout 2011 (l/s)
1	Caderousse, aval confluence Rhône	109.6		
2	Orange, pont SNCF ó 1,5 km en aval du pont de la ligne TGV	100.0	0	0
3	Travaillan, 1,5 km en aval du pont de Travaillan	91.3	0	0
4	2 km en aval du pont de Cairanne	85.7	0	0
20	Cairanne, lieu dit le Moulin	81.5	0	60
5	Saint Roman de Malegarde 700 m en aval du pont de Buisson	77.3	63	1355
6	Villedieu 4 km en amont du pont de Buisson	69.3	99	850
7	2 km en aval du pont de Mirabel, lieu-dit « Bout du Rieu et Paroir »	65.7	170	1080
14	Mirabel aux Baronnie, lieu dit La Draye du Moulin	61.7	310	40
8	2 km en aval du pont de Aubres	59.4	455	580
9	1.5 km en aval du pont de Curnier	47.7	350	450
10	Pont de la Tune à Saint-May Station hydrométrique « Eygues à Saint-May », pont de la Tune	36.3	430	420
11	Rémuzat, 1 km en amont du pont de la RD61 Amont de la confluence avec l'Oule	28.2	100	135
12	Verclause a proximité du pont de Verclause	20.9	65	130
13	Saint André de Rosans	7.4	<10	20

Tableau n°16 : Synthèse des jaugeages complémentaires CEREG sur l'Eygues



Les échanges nappes-rivières correspondent au principal facteur influençant l'hydrologie aval du bassin versant de l'Eygues.

- La nappe du Miocène par la présence de résurgence au droit de Nyons alimente le cours d'eau. Le débit augmente brusquement au niveau de Nyons (débit doublé sur la campagne d'août).
- L'Eygues est drainé par la nappe alluviale (très sollicité sur ce secteur) sur toute la partie aval du bassin versant (aval de Nyons). En effet sur la campagne de juillet, le débit de l'Eygues diminue entre Nyons et l'exutoire alors que la superficie drainée augmente. Une partie de cette diminution s'explique aussi par les différentes prises de canaux situées sur ce secteur. Sur la campagne d'août, le débit chute au niveau de Cairanne. L'Eygues est en assec entre Cairanne et Orange sur les deux campagnes de jaugeages.

Les affluents contribuant au débit de l'Eygues sont le Bentrix, l'Oule. En période d'étiage, l'Oule contribue fortement au débit de l'Eygues. (Le débit de l'Eygues est doublé entre Remuzat et Saint May). Au niveau du PK 50, le débit augmente de 200 l/s ce qui s'explique en partie par la confluence avec le Bentrix.

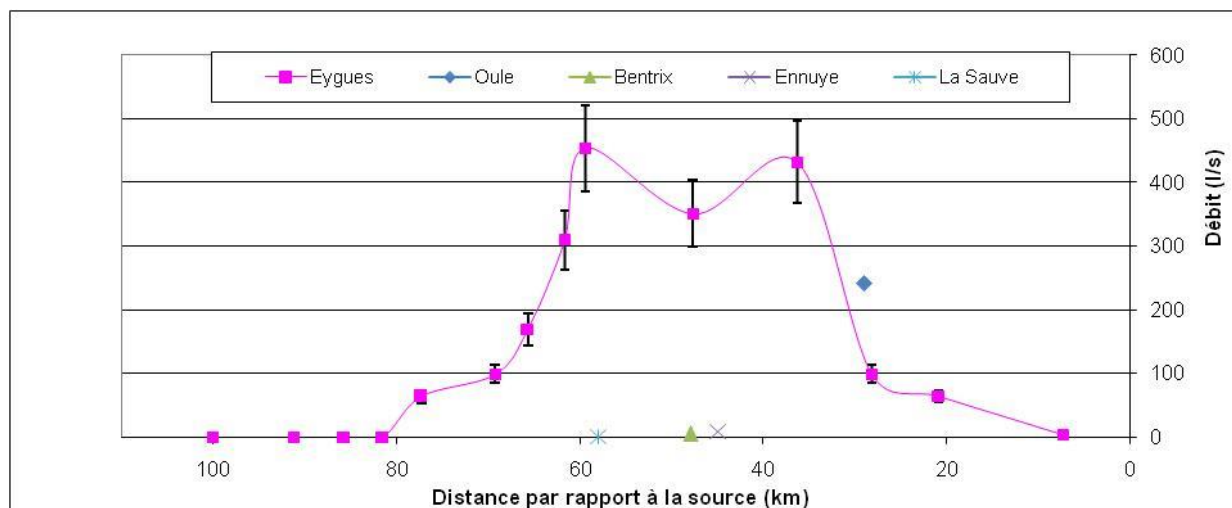


Illustration n°22 : Profil en long hydrologique de l'Eygues et contributions des affluents lors de la campagne de juillet 2011

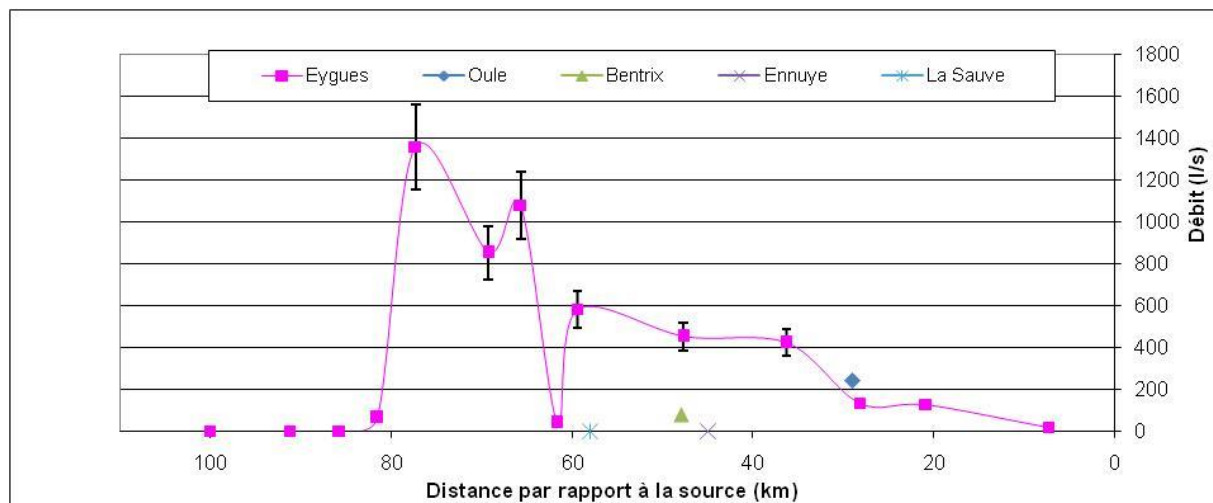


Illustration n°23 : Profil en long hydrologique de l'Eygues et contributions des affluents lors de la campagne d'août 2011

L'Ennuye et la Sauve sont en assec sur les deux campagnes

Affluent	Distance par rapport à la source (km)	Débit jaugé Juillet 2011 (l/s)	Débit jaugé Aout 2011 (l/s)
Oule	31	241	241
Oule	19	101	110
Bentrix	18	62	79
L'Ennuye	13	8	0
La Sauve	10	0	0

Tableau n°17 : Synthèse des jaugeages complémentaires CEREG sur les affluents

❑ Comparaison avec les données des stations hydrométriques

Les débits jaugés au niveau de Saint May et de Remuzat sur les deux campagnes (point de jaugeage n°10 et 11) sont légèrement inférieurs aux QMNA5 calculés à partir des données des stations hydrométriques de l'Eygues.

	Débit jaugé Juillet 2011 (l/s)	Débit jaugé Août 2011 (l/s)	QMNA 5 (l/s)	VCN10 5 (l/s)
Remuzat (Point de jaugeage 11)	100	135	140	80
Saint May (Point de jaugeage 10)	430	420	460	325

Tableau n°18 : Comparaison avec les caractéristiques des stations hydrométriques

C.II.2.2 Campagne réalisée par le Conseil Général de la Drome

Dans le cadre du suivi quantitatif de surveillance des eaux superficielles du Département de la Drôme, des débits ponctuels sur 4 stations ont été mesurés durant la période d'étiage de l'année 2010 sur l'Eygues. Les résultats de ces jaugeages sont les suivants :

	Date	Débit (l/s)	Débit spécifique (l/s/km ²)
Oule à Remuzat	30-juin	1308	5.28
	13-juil	726	2.93
	30-juil	452	1.82
	17-août	382	1.54
	14-sept	385	1.55
	13-oct	300	1.21
Le Bentrax aux Pilles	30-juin	201	2.83
	13-juil	114	1.61
	30-juil	64	0.9
	17-août	39	0.55
	14-sept	124	1.75
	13-oct	146	2.06
L'Eygues à Saint André de Rosans	30-juin	266	5.69
	13-juil	40	0.86
	30-juil	10	0.21
	17-août	7	0.15
	14-sept	10	0.21
	13-oct	9	0.19
L'Establet à La Charce	30-juin	233	5.79
	13-juil	99	2.46
	30-juil	76	1.89
	17-août	42	1.04
	14-sept	43	1.07
	13-oct	31	0.77

Tableau n°19 : Synthèse des résultats des campagnes du Conseil Général 2010

Concernant l'Oule, les débits jaugés pendant la période d'étiage de 2010 sont au moins deux fois supérieurs à ceux jaugés durant l'année 2011. Ceci s'explique par les conditions climatiques : l'année 2010 est une année humide (cumul pluviométrique excédentaire pendant la période d'étiage) alors que l'année 2011 (et notamment les mois de juin et début juillet) est une année sèche. Par contre, pour le Bentrax, les débits jaugés en juillet et août sont comparables à ceux jaugés l'année 2011. (Inférieur à 100 l/s).

Pour la station sur l'Eygues, à Saint André de Rosans, les débits jaugés en 2010 sont du même ordre de grandeur (inférieur à 20 l/s). En effet, durant la campagne de jaugeage de 2011, les débits jaugés à la station 13 (2 km environ en amont de Saint André de Rosans) a aussi des débits inférieurs à 20 l/s.

Concernant l'Establet, affluent de l'Oule, les débits sont inférieurs à 100 l/s sur la période d'été. On peut noter que l'Establet contribue à hauteur de 10 à 15% au débit de l'Oule.

C.II.3 Données ROCA-Assec

Ce réseau de suivi des crises d'assecs (ROCA) a été mis en place par l'ONEMA depuis 2004 dans le cadre du plan d'action sécheresse. Le ROCA a pour objectif de recueillir et de transmettre, dans chaque département, « en temps réel », aux préfets, des informations sur l'écoulement et l'état écologique des cours d'eau sensibles aux assecs et soumis à des prélèvements, durant les périodes de crises hydro climatiques. Il est déclenché par les départements lorsque le plan d'action sécheresse est déclenché. La fréquence des assecs a donc tendance à être sous-estimé.

Le bassin versant de l'Eygues est muni d'une station ROCA se situant en aval du pont de Cairanne au lieu dit « Quartier de l'Étang ».

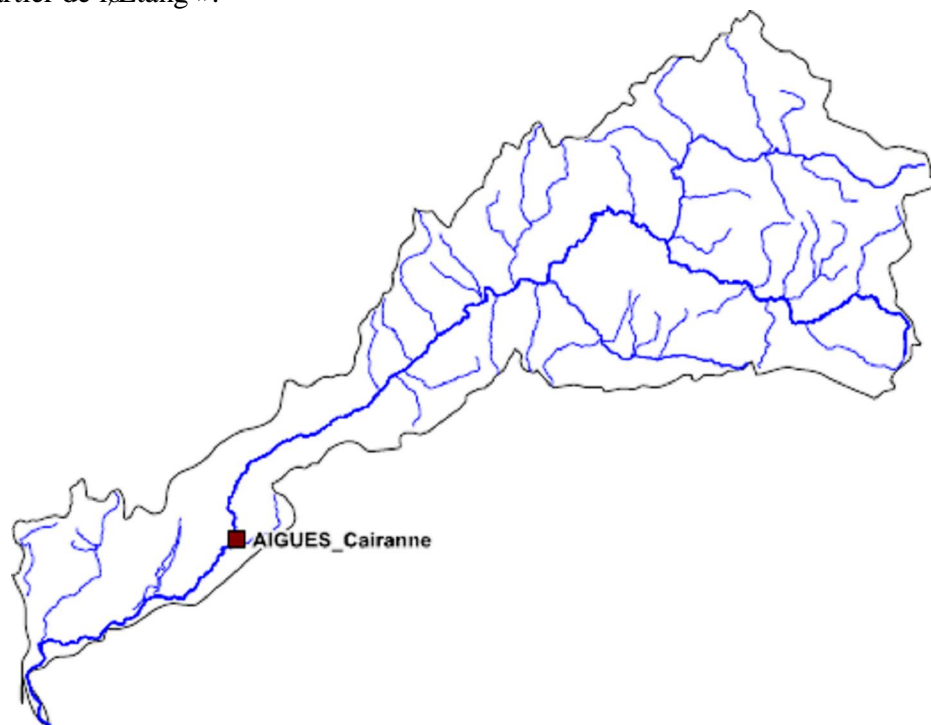


Illustration n°24 : Localisation de la station ROCA sur le bassin versant

Ce réseau de suivi consiste en une visite sur site (tous les 15 jours environ à partir du début de la saison sèche) où un contrôle visuel du débit est réalisé selon trois ou classes selon les années :

- Avant 2007 :
 - 1 : Ecoulement visible
 - 2 : Ecoulement non visible
 - 3 : Assec

□ Après 2007 :

- 1 : Ecoulement normal
- 2 : Ecoulement faible
- 3 : Ecoulement non visible
- 4 : Assec

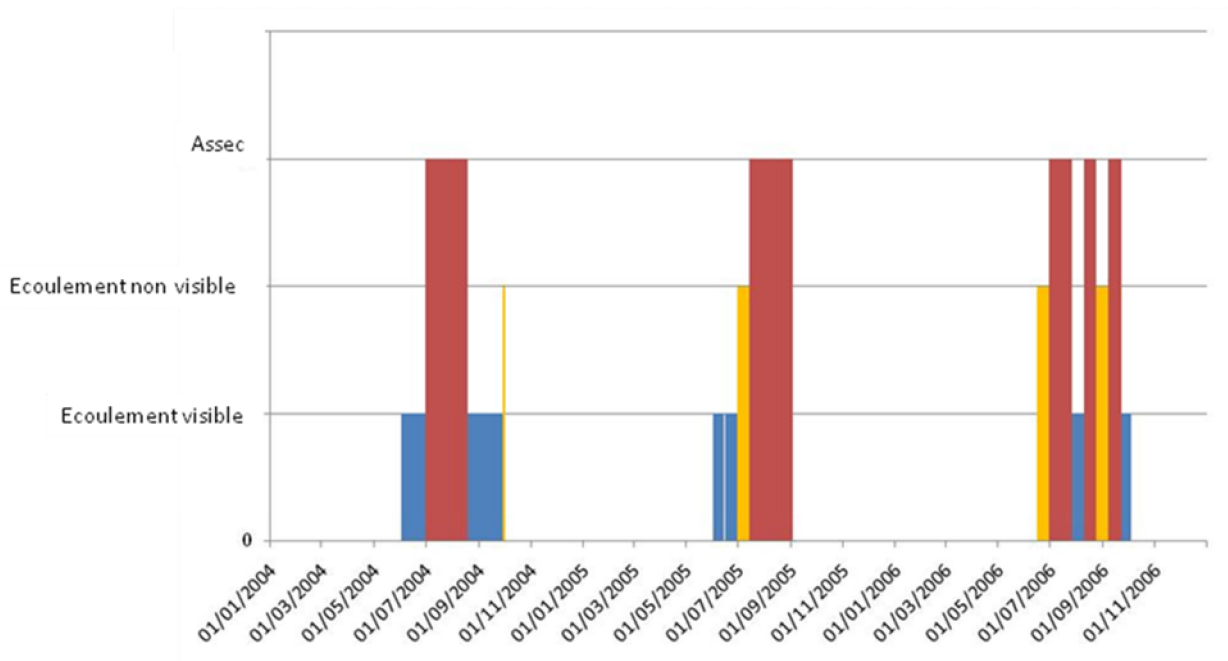


Illustration n°25 : Données ROCA de 2004 à 2006

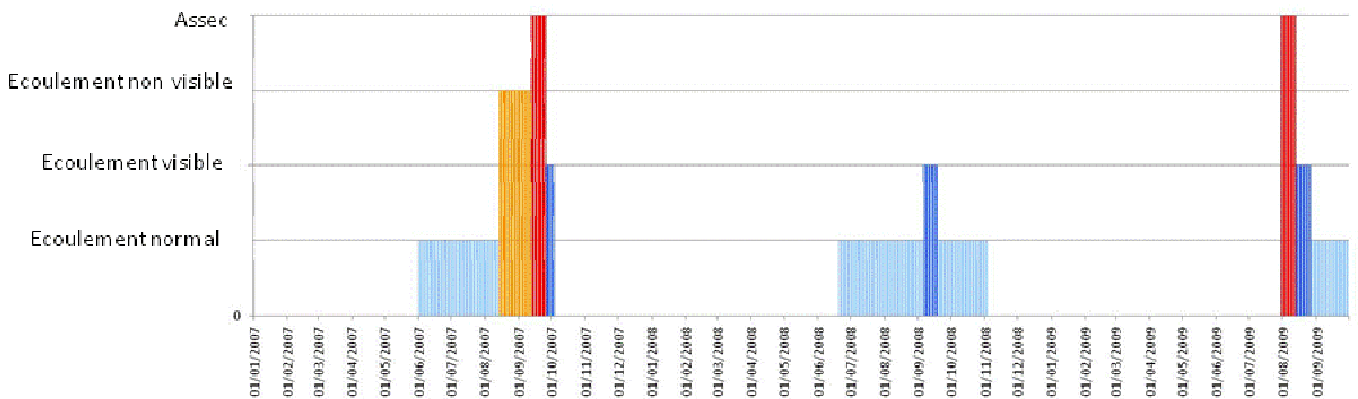


Illustration n°26 : Données ROCA de 2007 à 2009

Les données du site ont été récupérées entre les années 2004-2008. L'analyse montre que :

- 5 années sur 6, des assecs ont lieu avec une durée de plus d'un mois ;
- Seule l'année 2008 ne présente pas d'assec.
- Sur toute la période estivale, le débit est jugé faible sauf lors des épisodes pluvieux où le débit est alors normal.

Il faut noter que l'analyse des données ROCA se réalise sur des années très sèches ce qui mène à une sous-estimation des périodes d'assecs.

Ces données confirment donc les résultats et l'interprétation des campagnes de jaugeages réalisés en 2011. **L'aval de l'Eygues est en assec régulier. Un des objectifs de l'étude est de préciser l'origine des assecs (naturels ou dus aux prélèvements)**

C.II.4 Relevé SMIAA (Syndicat Mixte Intercommunal d'Aménagement de l'Eygues).

Le syndicat mixte réalise des relevés des durées d'assec au niveau du pont de la RN107 à Orange. Un contrôle visuel quotidien a été réalisé ce qui permet de connaître la durée de l'assec (date de début et de fin de l'assec) chaque année depuis 1999.

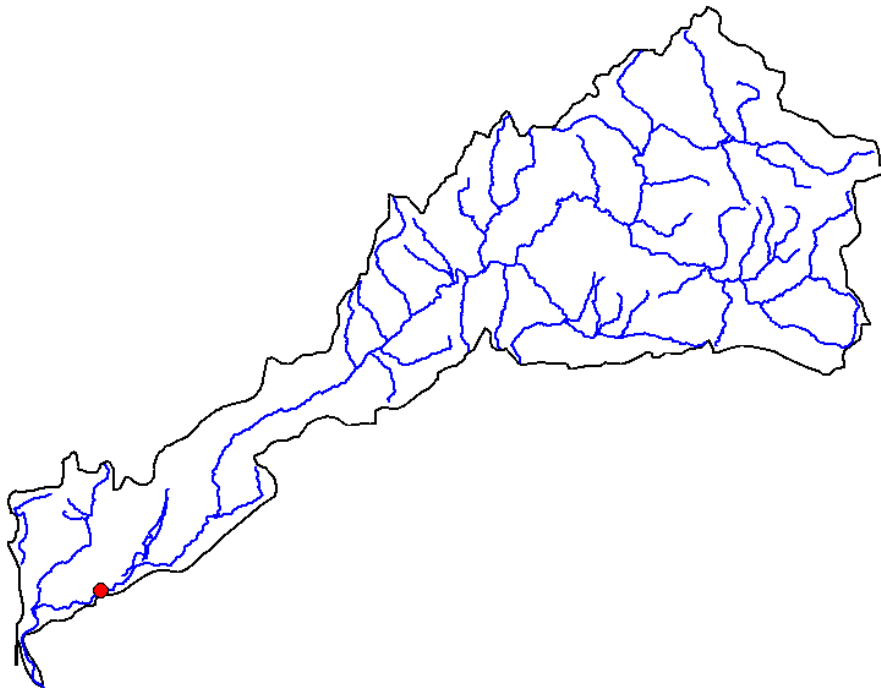


Illustration n°27 : Localisation des relevés du SMIAA

Année	Période d'assec	Durée d'assec
1999	1 ^{er} juillet au 27 septembre	89
2000	Du 1 ^{er} juillet au 21 septembre	83
2001	Du 15 août au 24 septembre	39
2002	Du 8 juillet au 26 août (semaine 35)	49
2003	Du 10 juin au 1 ^{er} octobre	112
2004	Du 1 ^{er} juillet au 17 septembre	79
2005	Du 23 juin au 20 octobre	119
2006	Du 22 juin au 19 septembre	89
2007	Du 10 août au 25 novembre	107
2008	Du 4 au 10 juillet	6
2009	Du 30 juillet au 15 septembre	47
2010	Du 19 juillet au 7 septembre Du 13 Septembre au 13 octobre	89

Tableau n°20 : Durée d'assec relevée par le SMIAA

Au niveau d'orange, les assecs des 10 dernières années durent au minimum 1 mois en dehors de l'année 2008 (année très humide) où un seul assec d'une semaine a été observé.

C.II.5 Conclusion

- Le fonctionnement hydrologique particulier de l'Eygues est confirmé : **le débit en surface n'augmente pas linéairement entre l'amont et l'aval. Des assecs réguliers sont observés à l'aval.**
- Les **échanges nappes-rivières sont importants** avec en général, une nappe alluviale qui draine les eaux de l'Eygues. Plusieurs zones importantes de perte peuvent être identifiées sur les chroniques de débits (aval de Cairanne) mais ces zones devront être confirmées par l'étude hydrogéologique du paragraphe C.III.
- Seule le Bentrix, et l'Oule contribue au débit de l'Eygues en période d'étiage

C.III HYDROGEOLOGIE

C.III.1 Campagnes piézométriques de 2011 (Idées Eaux)

La piézométrie de l'aquifère des alluvions de l'Eygues a été établie sur la base 34 points d'eau mesurés et nivelés (puits, forages, piézomètres).

En termes hydrogéologiques les commentaires à l'issue de la première campagne piézométrique d'août 2011 sont les suivants :

- dans la zone des calcaires(en amont de Nyons), où l'aquifère alluvial est faiblement étendu et limité aux fonds de vallée, le gradient hydraulique est relativement fort avec une valeur de 6.3‰ entre Sahune et Nyons.
- A la sortie de la zone des reliefs calcaires, dans la partie amont du bassin de Valréas, le gradient hydraulique diminue légèrement entre Nyons et Buisson témoignant d'une légère augmentation de la perméabilité des terrains alluviaux avec une valeur moyenne de 5.6‰ . Cette valeur reste toutefois élevée pour un aquifère alluvial ; ceci s'explique par sa faible étendue due à son confinement entre les reliefs molassiques au Nord et Plio-molassiques au Sud.
- au-delà de Buisson, dans la partie aval du bassin de Valréas, la géométrie du réservoir alluvial tend à s'évaser et la perméabilité des formations augmentent fortement ce qui se traduit par une diminution du gradient hydraulique qui présente une valeur moyenne de l'ordre de 3.7‰ entre Buisson et Caderousse.

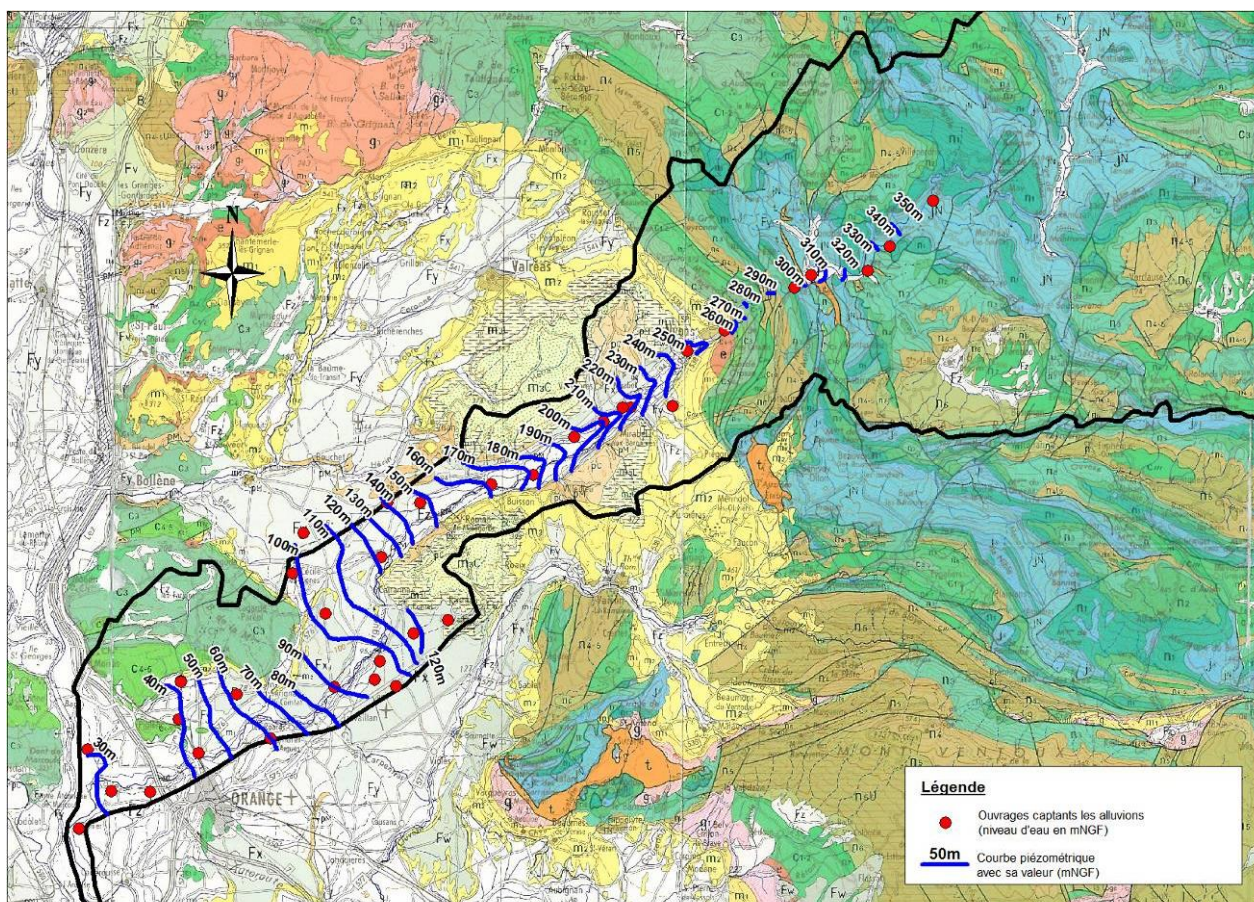


Illustration n°28 : carte piézométrique de la nappe alluviale au droit du BV topographique de l'Eygues (août 2011)

Sur les 34 points de mesures relevés lors de la campagne piézométrique d'août 2011, 21 sont situés dans la partie avale entre Buisson et Caderousse qui semble être la zone présentant la majeure partie des prélèvements d'eau dans les alluvions de l'Eygues d'après les résultats de la phase 2 de l'étude. Cette portion de nappe alluviale (entre Buisson et Caderousse) s'étend sur environ 133 km² ce qui représente une densité de points de mesure de l'ordre de 1 point pour 6.3 km². Il est proposé en complément d'approfondir la piézométrie afin de mieux appréhender la limite de la nappe alluviale de l'Eygues ainsi que de déterminer les échanges possibles entre les nappes des bassins versants environnants (Lez et Ouvèze)

C.III.2 Campagnes piézométriques de 2012 (Etude complémentaire Idées Eaux)

La piézométrie du bassin versant hydrogéologique (=souterrain) présentée ci-dessous a été établie sur la base d'une campagne de mesure réalisée début juin 2012 à partir de 98 points de mesures de niveau d'eau dans des puits captant uniquement l'aquifère alluvial. Ces données ont été complétées par les données :

- de la CNR dans le secteur de Mornas-Orange-Caderousse et datant de juin 1989 ;
- des premières campagnes piézométriques des EVP sur les bassins versants de l'Aygues et du Lez et datant de juin 2011 ;
- de la base ADES (points de suivis au pas de temps journalier), mesures datant de fin mai 2012.

Toutes ces données complémentaires ont été corrigées par rapport aux dernières données mesurées de juin 2012 :

- soit à partir des données des points de suivis journaliers de la base de données ADES (Nyons, Tulette, Travaillan, Camaret-sur-Aygues, Orange, Caderousse, Mornas)
- soit à partir de nouvelles mesures effectuées dans les ouvrages déjà recensés et mesurés en juin 2011 dans le cadre des premières campagnes piézométriques pour les EVP.

Toutes ces données ont été complétées enfin par un nivellement du cours de la rivière Aygues en juin 2012.

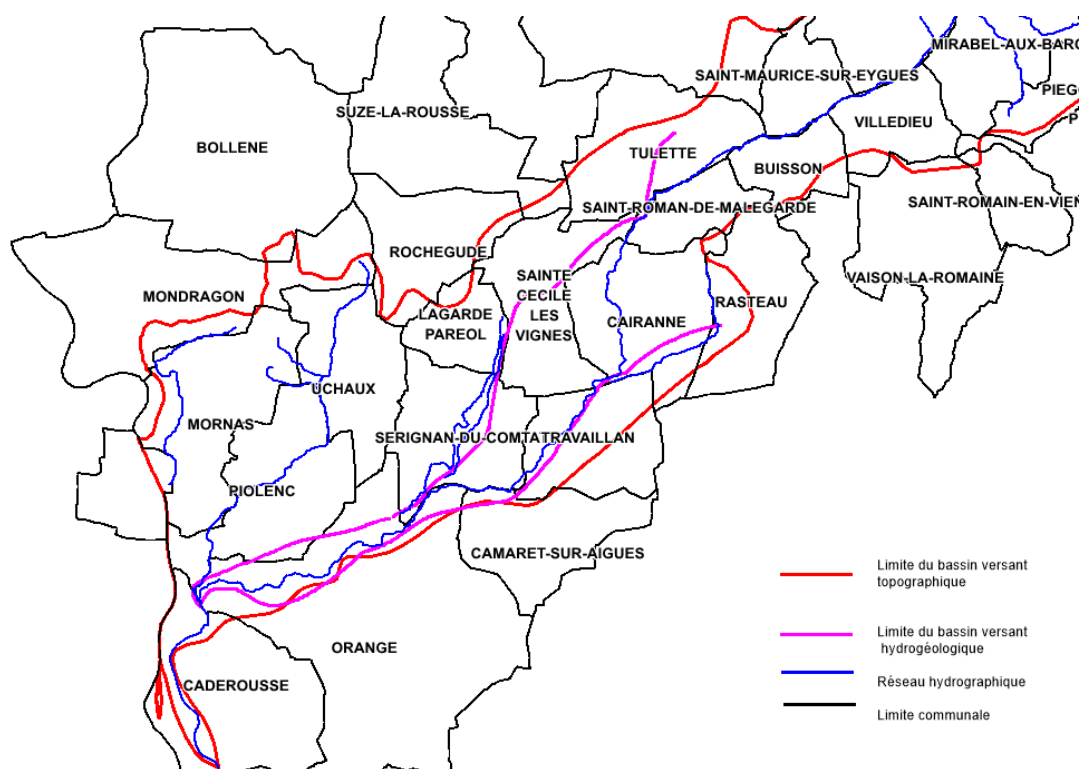


Illustration n°29 : Limite du bassin versant topographique et hydrogéologique du bassin versant de l'Aygues

C.III.2.1 Résultats

La carte piézométrique présentée intéresse la zone aval du bassin versant de l'Eygues entre Buisson/Tulette et Orange. Dans les conditions hydrologiques de la campagne (juin 2012), la piézométrie complémentaire amène les commentaires suivants.

□ *Du point de vue du fonctionnement de la nappe alluviale :*

- Dans la zone de plaine, les flux souterrains s'écoulent du nord-est (Nyons) vers le sud-ouest (Orange).
- Dans le couloir Nyons/Sainte-Cécile-les-Vignes, le gradient moyen de la nappe alluviale est de l'ordre 5.8‰, valeur proche celle déterminée sur la base des données piézométriques de 2011. La nappe alluviale est coincée entre les reliefs mio-pliocènes de la butte de Tulette/Visan/Vinsobres au nord et les reliefs molassiques environnants Mirabel-aux-Baronnies au sud.
- Dans le secteur de Sainte-Cécile-les-Vignes, la nappe « se scinde en deux » et une partie des écoulements s'échappent du bassin versant hydrogéologique de l'Eygues et participent dès lors à l'alimentation de celui du Lez au nord
- Dans la zone de plaine en aval de Sainte-Cécile-les-Vignes, le gradient piézométrique diminue ; il oscille entre 3 et 4‰ traduisant une augmentation de la perméabilité des formations aquifères. Les écoulements alluviaux sont tout d'abord coincés entre les reliefs calcaires de Uchaux et ceux mio-pliocènes de la butte de Roaix/Rasteau-Saint-Roman-de-Malegarde, et prennent une direction Nord-Sud. Ensuite dans la plaine de l'Eygues-Ouvèze, les écoulements prennent une direction nord-est/sud-ouest en direction du Rhône et de la Meyne. Concernant les affluents de l'Eygues dans ce secteur, tel que le Rieu, la Gayere, le Beal et la Ruade, ces cours d'eau sont probablement en interaction avec la nappe alluviale tout comme l'Eygues.

□ *Du point de vue des limites du bassin versant hydrogéologique :*

Les limites du bassin versant hydrogéologique aval de l'Eygues diffèrent de celles du bassin versant topographique qui est plus étendu. Dans le détail

- Dans le secteur de Tulette / Sainte-Cécile-les-Vignes, on identifie très nettement une large zone où les eaux infiltrées au droit du bassin versant topographique de l'Eygues partent en direction du Lez. De ce fait, le bassin versant hydrogéologique de l'Eygues est très réduit entre Tulette et Sainte-Cécile-les-Vignes.
- Sur la bordure méridionale du massif crétacé de Mornas (secteur Mornas / Piolenc / Sérignan-du-Comtat), les eaux infiltrées s'écoulent en direction du Rhône et ne semblent pas participer à l'alimentation de l'Eygues
- Entre Travaillan et Rasteau, les eaux infiltrées au droit du bassin versant topographique de l'Eygues alimentent vraisemblablement le bassin versant hydrogéologique du Rhône.
- Entre Cairanne et Orange, l'Eygues est majoritairement perchée en conditions d'étiage comme en témoignent les mesures de nivellement de l'Eygues ainsi que la concavité des isopièzes. De ce fait et en théorie le bassin versant hydrogéologique serait inexistant au droit de cette zone (à

l'étiage). Toutefois, en gardant à l'esprit qu'en période de hautes eaux il est vraisemblable que le régime de l'Aygues s'inverse, nous conservons une portion de nappe réduite comme participant à l'alimentation de la rivière et donc comme faisant partie intégrante du bassin versant hydrogéologique. Ceci explique le fait que graphiquement, les limites du bassin versant hydrogéologique de l'Aygues ne coupent pas exclusivement de manière perpendiculaire les isopièzes dans ce secteur.

- Dans la partie extrême aval du secteur d'étude, au niveau de Caderousse, l'Aygues est canalisée et très clairement perchée. Les eaux infiltrées partent en direction du Rhône.
- Le canal de Provence semble caractérisé par des pertes comme en témoigne l'existence de dômes piézométriques locaux. Toutefois, les eaux infiltrées semblent participer au bassin versant hydrogéologique du Rhône. De ce fait, l'arrêt du fonctionnement du Canal de Provence (période de hautes eaux) ne modifiera vraisemblablement pas les limites du bassin versant hydrogéologique de l'Aygues.

Concernant la limite du bassin versant de l'Aygues avec celui de l'Ouvèze. Nous tenons à remarquer dans un premier temps que les limites SIG des bassins versants topographiques de ces deux rivières se chevauchent dans le secteur de Travaillan (*Illustration n°30*). De ce fait, cette zone serait attribuable aux deux bassins versants. Il serait donc nécessaire d'affiner ces limites sur la base de données topographiques et hydrologiques de surface. Ensuite, il semble très clair au regard de la carte piézométrique de juin 2012, qu'il y ait une zone intercalaire entre ces deux bassins versants hydrogéologiques où les écoulements partiraient en direction du Rhône. Ceci nous conduit à dire qu'il n'y a pas d'interaction entre ces deux versants hydrogéologiques dans la zone de plaine en aval d'une ligne Cairanne/Rasteau. La largeur de cette zone du bassin versant hydrogéologique du Rhône n'est pas connue à ce jour dans le sens où nous ne disposons pas de la limite occidentale du bassin versant hydrogéologique de l'Ouvèze (données piézométriques et interaction Ouvèze/nappe).

□ *Du point de vue de l'interaction Aygues/nappe alluviale :*

Les données de nivellement de la rivière couplées aux données piézométriques apportent des éléments sur le fonctionnement hydrologique de l'Aygues.

Son fonctionnement hydrologique varie le long de son cours. En effet, l'Aygues draine très clairement la nappe alluviale dans le couloir alluvial entre Nyons et Saint-Cécile-les-Vignes ainsi que dans la région de Cairanne. A l'inverse elle semble perchée autour de Travaillan ainsi qu'en aval d'Orange où il n'y a donc pas d'interaction avec la nappe.

Cependant, selon le colmatage du lit et des berges de la rivière, il n'est pas impossible qu'il existe des pertes au droit de l'Aygues. Toutefois, en l'absence de données de débit (jaugeage) dans ce secteur, il est impossible de conclure quant à cette hypothèse.

Les cartes piézométriques qui en découlent sont présentées ci-dessous.

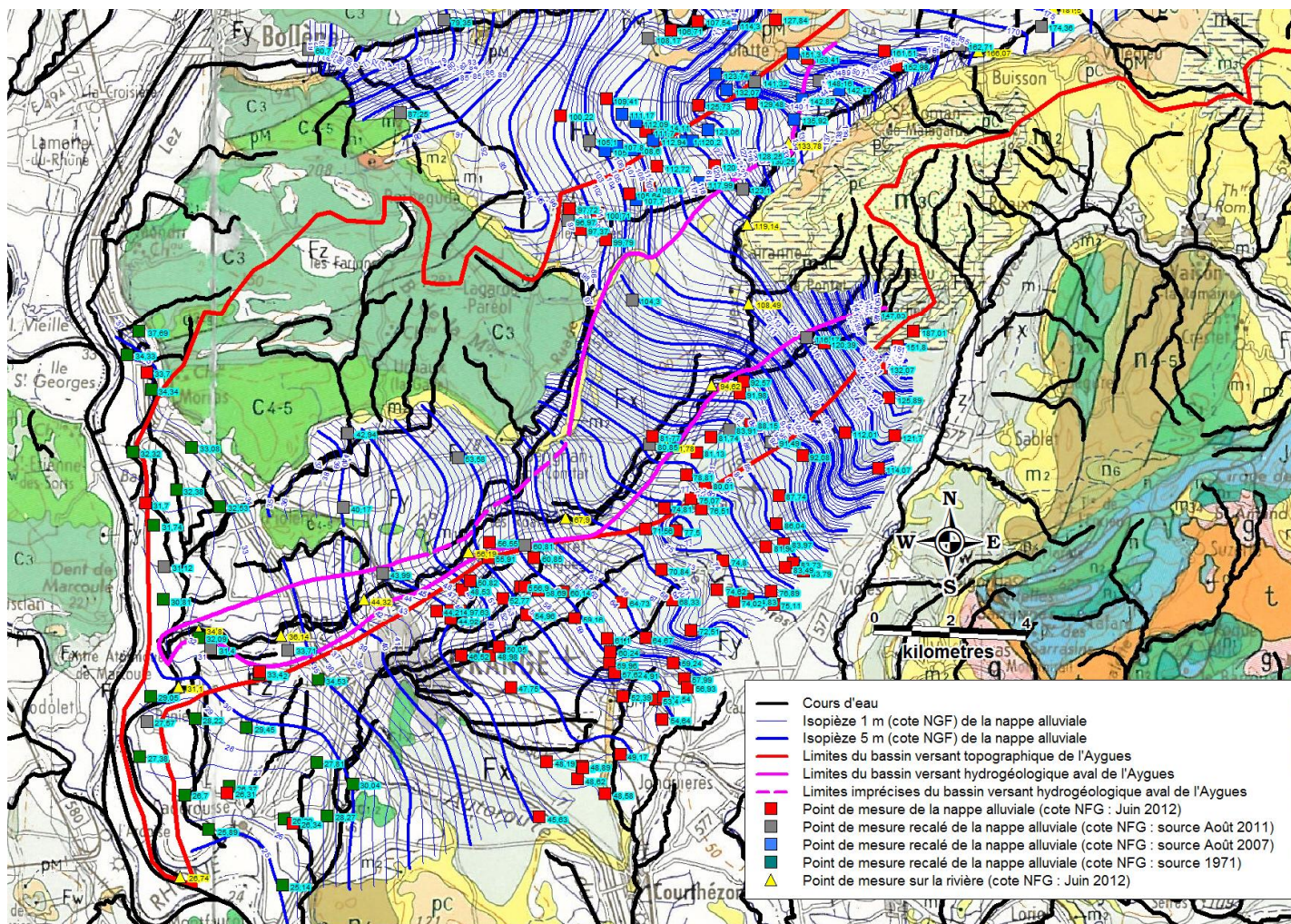


Illustration n°30 : Carte piézométrique de la nappe alluviale au droit du BV topographique aval de l'Aygues (juin 2012)

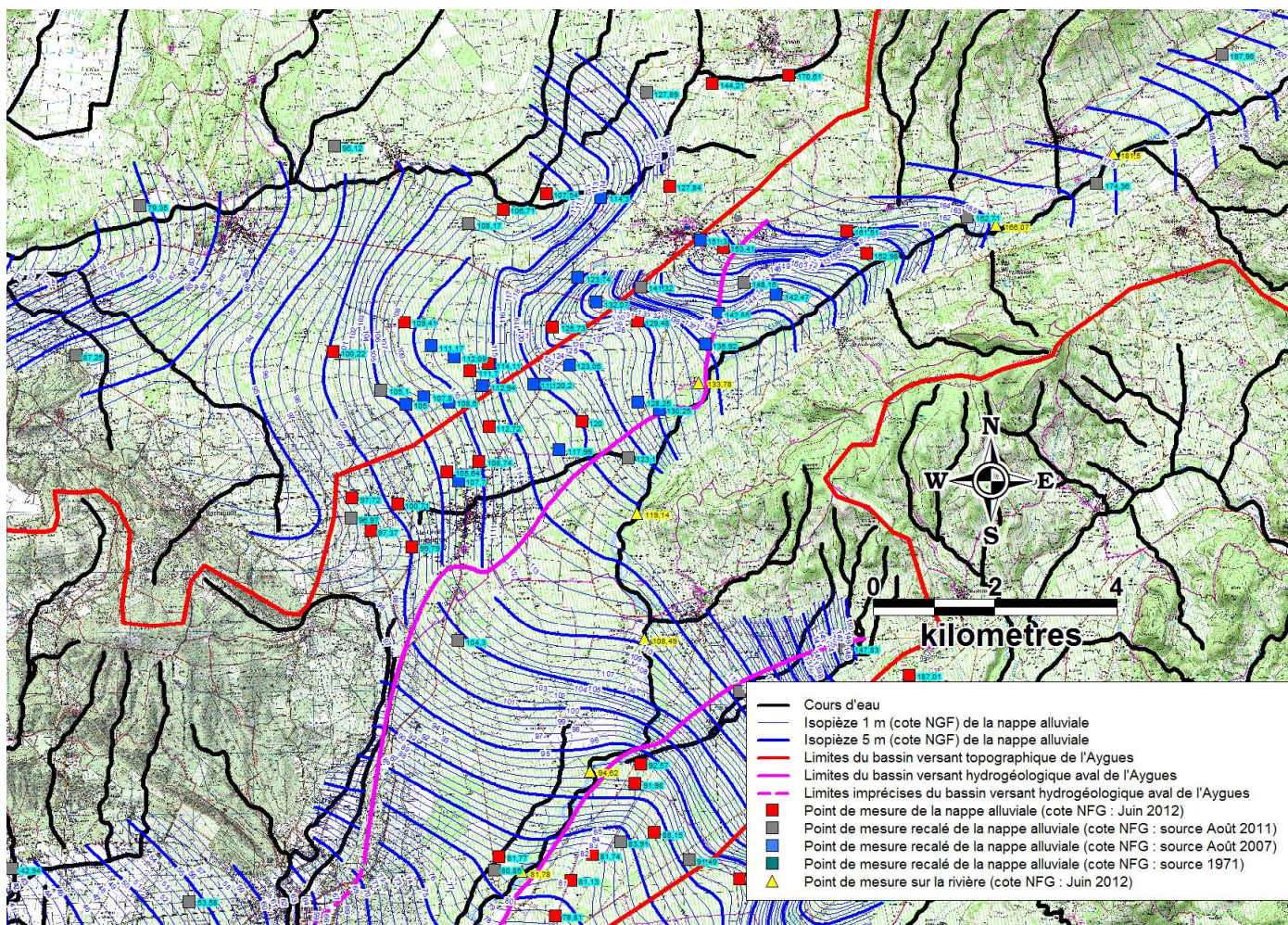


Illustration n°31 : Carte piézométrique de la nappe alluviale au droit du BV topographique aval de l'Aygues (juin 2012) : détail du secteur de Sainte-Cécile-les-Vignes

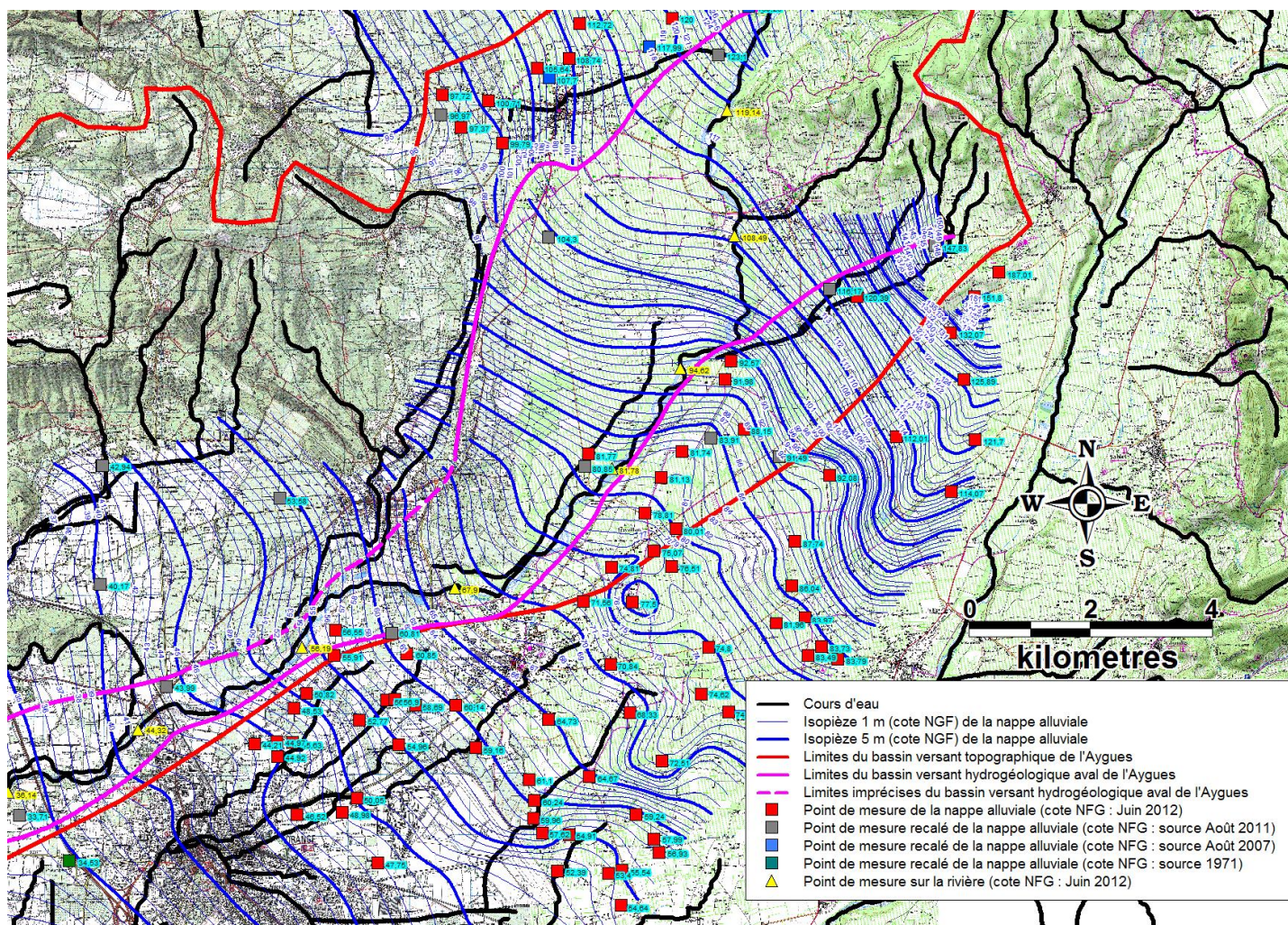


Illustration n°32 : Carte piézométrique de la nappe alluviale au droit du BV topographique aval de l'Aygues (juin 2012) : détail du secteur de Travaillan/Camaret-sur-Aygues

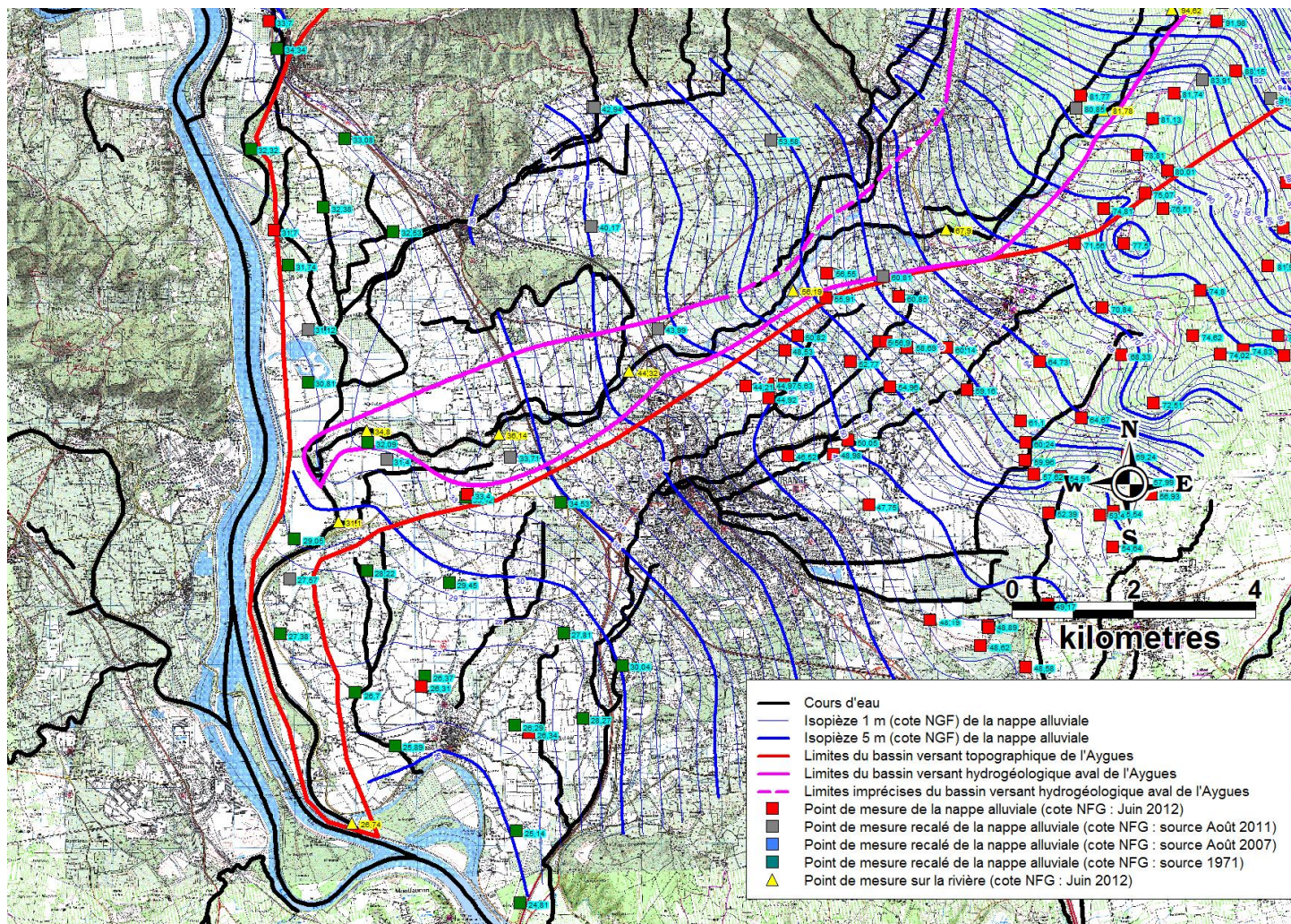


Illustration n°33 : Carte piézométrique de la nappe alluviale au droit du BV topographique aval de l'Aygues (juin 2012) : détail du secteur de l'Orang

C.III.2.2 Conclusion

Au final, il apparaît que le bassin versant hydrogéologique de l'Eygues dans sa partie aval ne correspond pas aux limites du bassin versant topographique. Il en résulte qu'une partie des eaux infiltrées au droit de ce bassin versant topographique participent soit à l'alimentation du bassin versant hydrogéologique du Lez (entre Tulette et Sainte-Cécile-les-Vignes) soit à celui du Rhône (secteur Mornas / Piolenc / Sérignan-du-Comtat et secteur Travaillan / Camaret-sur-Aygues / Orange / Caderousse). La nappe d'accompagnement de l'Eygues semble donc réduite au minimum en aval de Camaret-sur-Aygues et entre Tulette et Sainte-Cécile-les-Vignes.

Le fonctionnement hydrologique de l'Eygues évolue d'amont en aval. Dans le secteur amont du bassin de Valréas, elle semble drainer la nappe. A contrario, dans la zone de plaine entre Sainte-Cécile-les-Vignes et Caderousse, l'Eygues est en majorité perchée. L'existence de pertes n'est pas prouvée à ce jour.

Concernant l'interaction du bassin versant hydrogéologique de l'Eygues avec celui de l'Ouvèze, il semble qu'elle soit inexistante du fait de la présence d'une zone où les écoulements souterrains partent en direction du Rhône et appartiendrait donc de ce fait au bassin versant hydrogéologique du Rhône.

Concernant le rôle éventuelle de la rivière Meyne dans le secteur d'Orange, nous rappelons que celle-ci n'est pas un affluent de l'Eygues et de ce fait n'appartient pas au bassin versant topographique de l'Eygues et encore moins au bassin versant hydrogéologique qui est très réduit dans cette zone (*Illustration n°28 et 31*).

C.III.3 Piézomètres utilisés pour la modélisation

De nombreux relevés piézométriques ont été réalisés sur la nappe régionale et la nappe alluviale :

- Campagne piézométrique sur le bassin versant du Lez en 2007 (Idées Eaux) ;
- Campagne piézométrique sur le bassin versant du Lez et l'Eygues en 2011 (Idées Eaux) ;
- Campagne piézométrique sur le bassin versant de l'Eygues réalisée en 2012 (Idées Eaux)
- Données piézométriques de la CNR (1971) ;
- Réseau de suivi ADES.

Au total, sur le domaine simulé, plus de 170 points de mesure piézométrique sont éventuellement utilisables pour la calibration-validation du modèle. Toutes ces mesures ne sont cependant utilisables dans les faits car elles ont été effectuées à des périodes différentes (hautes eaux / basses eaux ; années sèches / années humides ; alluvions actuelles / hautes terrasses / molasse). Il est donc nécessaire de procéder à un tri de ces données tenant compte des objectifs et des phases de la modélisation.

Il existe sur le bassin deux piézomètres issus d'ADES (Accès aux Données sur les Eaux Souterraines) bénéficiant chacun d'une longue chronique piézométrique :

- le piézomètre de Nyons ;
- le piézomètre de Camaret sur Aigues.

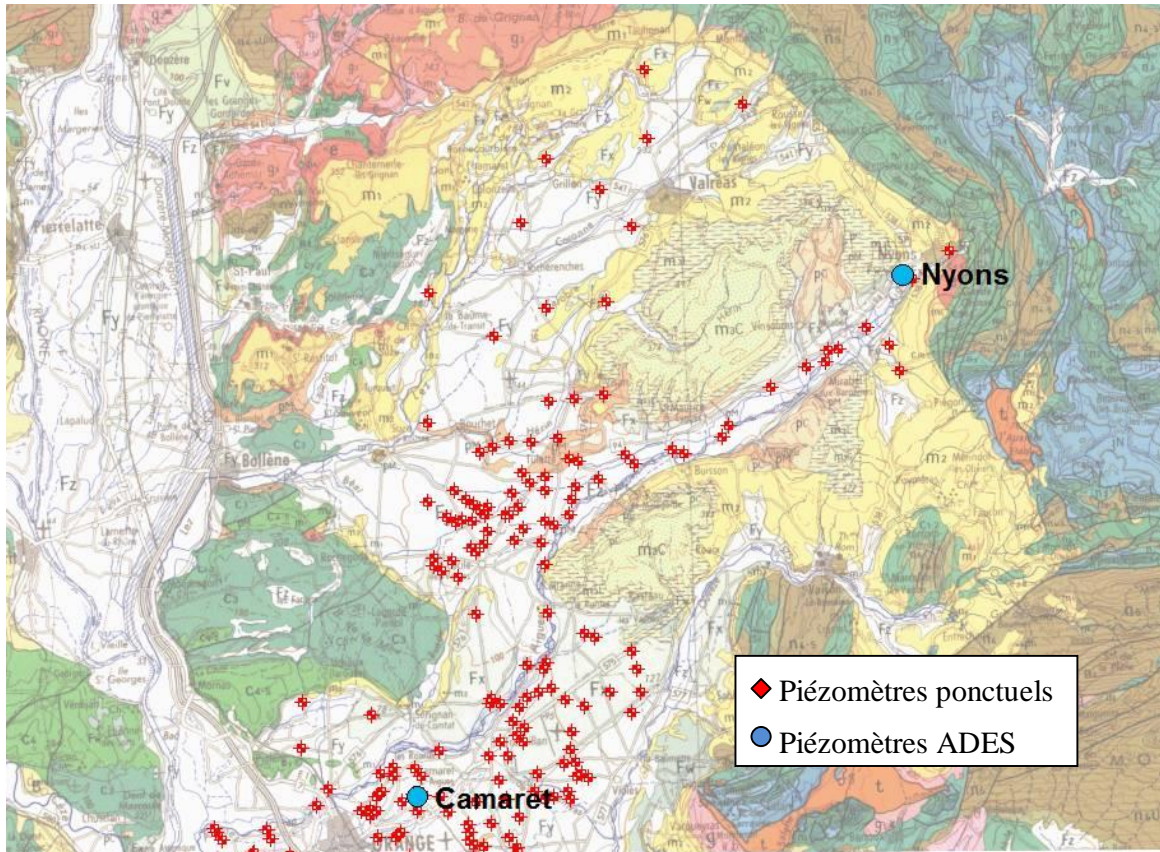


Illustration n°34 : Localisation géographique des différents piézomètres sur le bassin versant

Un travail de vérification a été effectué sur les piézomètres pris deux à deux (piézomètres voisins) afin d'identifier d'éventuels problèmes. Par exemple, deux ouvrages voisins de la zone amont de l'Aygues distants de 35 m ont des cotes respectives de 246,3 mNGF (piézomètre ADES de Nyons ; 08915X0026/PZ) et de 248,04 mNGF (puits 2011-Aygues-19). Le gradient entre ces deux piézomètres serait ainsi de 6% ce qui est impossible dans une nappe alluviale. Le modèle ne peut donc satisfaire à la fois les deux mesures. Comme le piézomètre ADES de Nyons est utilisé comme référence piézométrique, cet ouvrage a été conservé pour le calage et l'autre ouvrage éliminé.

Il n'existe sur le bassin que deux piézomètres bénéficiant d'une longue chronique piézométrique. Ces deux piézomètres pourront donc être utilisés pour la calibration-validation du modèle en régime transitoire. L'illustration n°39 illustre l'évolution temporelle de la piézométrie sur ces deux piézomètres ADES de Nyons et Camaret.

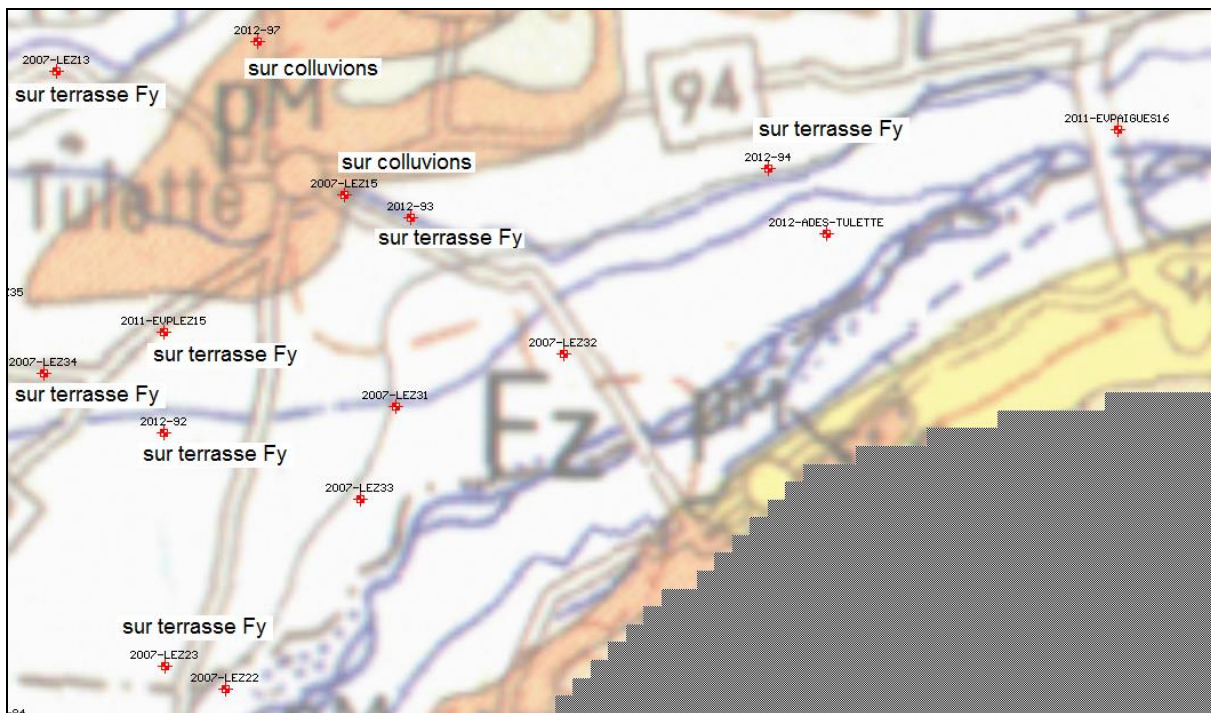
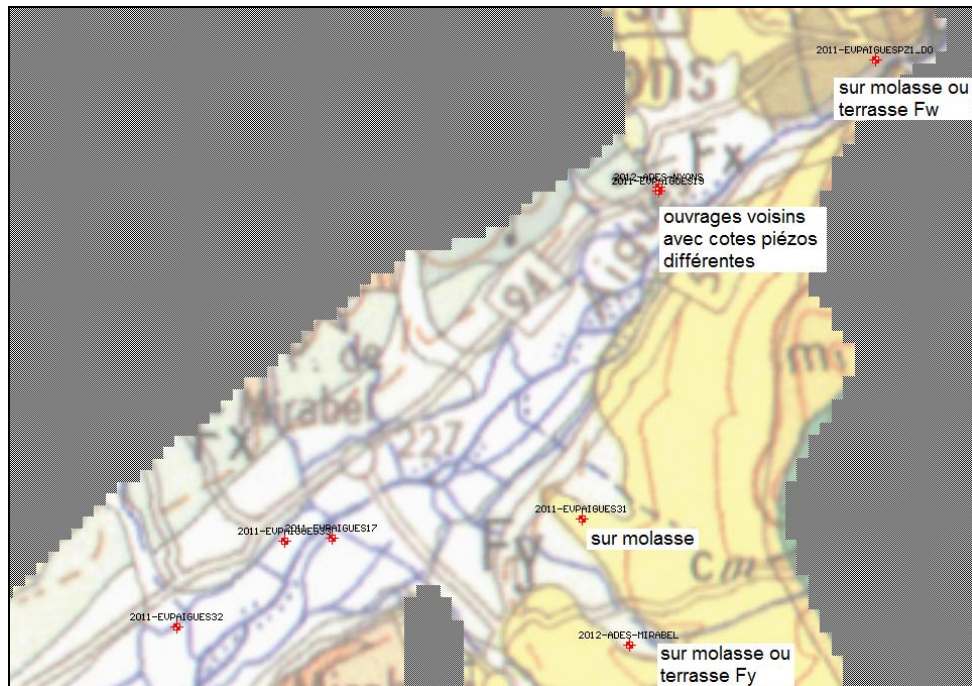


Illustration n°35 : Exemple de sélection de piézomètre basée sur leur implantation

Ces deux piézomètres pourront donc être utilisés pour la calibration-validation du modèle de la nappe régionale en régime transitoire (calage du coefficient d'emmagasinement).

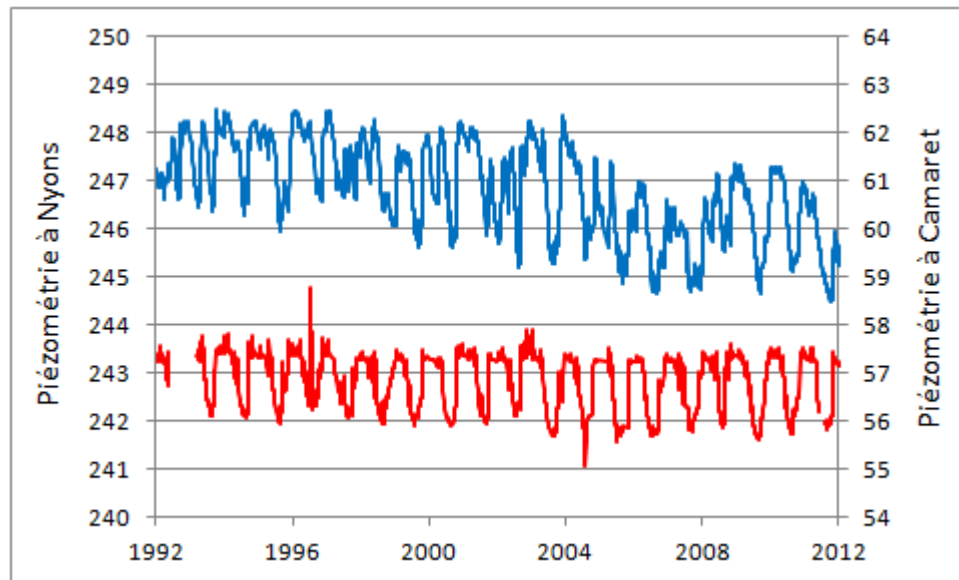


Illustration n°36 : Evolution temporelle de la piézométrie (piézomètres ADES de Nyons en bleu et de Camaret en rouge)

C.IV CONCLUSION DE L'ANALYSE DES DONNEES

Les stations hydrométriques sont toutes en amont du bassin versant (en amont de Nyons).

Les stations de Remuzat et de Saint May ont une période de fonctionnement suffisante pour tirer des conclusions sur le fonctionnement hydrologique de l'amont. Elles permettent, de plus, à elles deux, de quantifier les apports de l'Oule. Seule la station de Saint May a fonctionné ces dernières années (2009 - 2011). Néanmoins, il a été montré que la marge d'incertitude sur les débits mesurés en période d'étiage est importante (50%). C'est pourquoi elle ne sera pas utilisée en calage des modèles.

Sur l'aval, les données sont plus lâches :

- Jaugeages et piézométrie ponctuel ;
- Données d'assec sur 5 ans.

Ces données permettent d'avoir une première approche qualitative du modèle hydrologique à l'aval. Néanmoins, des données plus importantes sont nécessaires pour valider certaines suppositions.

Les deux piézomètres ADES disposant d'une longue chronique permettront la calibration du modèle hydrogéologique en régime transitoire. Les données piézométriques ponctuelles (campagne Idées Eaux 2011 et 2012 et autres campagnes..) permettront de caler les paramètres hydrodynamiques de la nappe régionale en régime permanent.

En conclusion,

- Sur la partie amont du bassin versant, les données disponibles permettent de comprendre et pouvoir représenter finement la dynamique du cours d'eau et les apports du principal affluent l'Oule.
- Sur la partie aval, les données permettent d'avoir une vision qualitative des échanges entre la nappe et l'Eygues et les phénomènes d'assec sur le bassin versant. Ceci permettra uniquement de caler qualitativement les modèles qui resteront moins précis que sur l'amont.

A ce jour, les données disponibles donnent une vision parcellaire du fonctionnement du bassin versant. La modélisation hydrologique et hydrogéologique permettra d'obtenir une vision globale du fonctionnement du bassin versant après réalisation des calages sur les données disponibles.

D. OUTILS DE MODELISATION

D.I METHODOLOGIE GENERALE

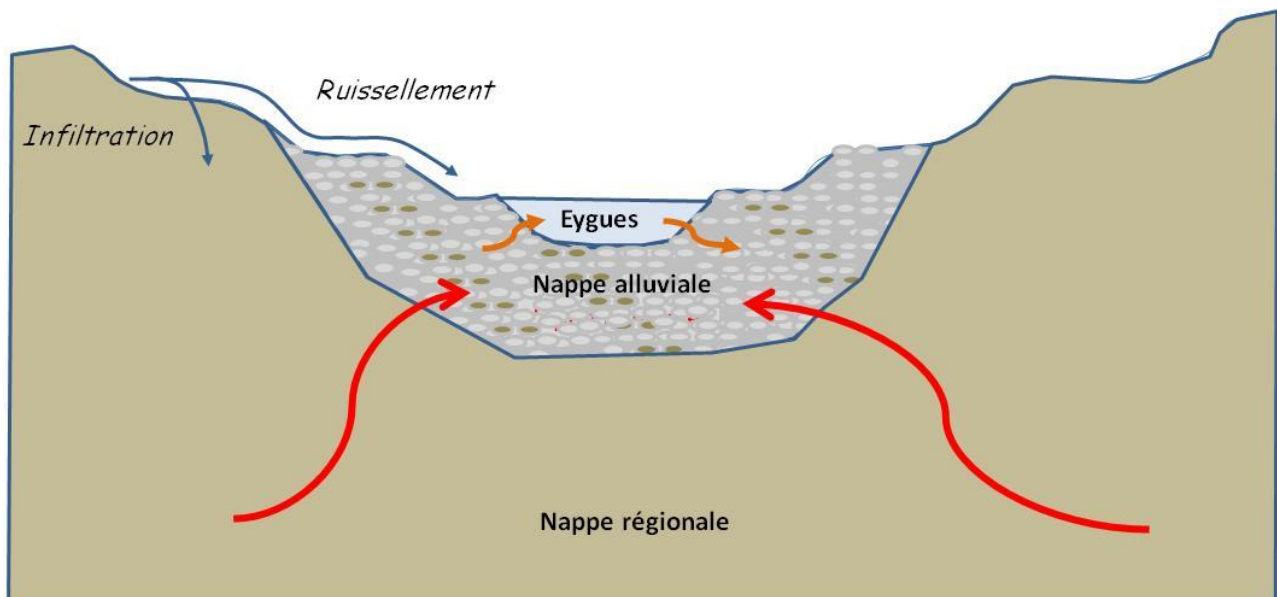
L'analyse des données sur le bassin versant a montré que le cours d'eau de l'Eygues était influencé par les échanges avec les nappes souterraines. En effet, on peut diviser le bassin en trois zones distinctes :

- La zone amont où aucun échange entre rivière et nappe ne se réalise. Le ruissellement contribue seulement au débit de surface (Eygues).

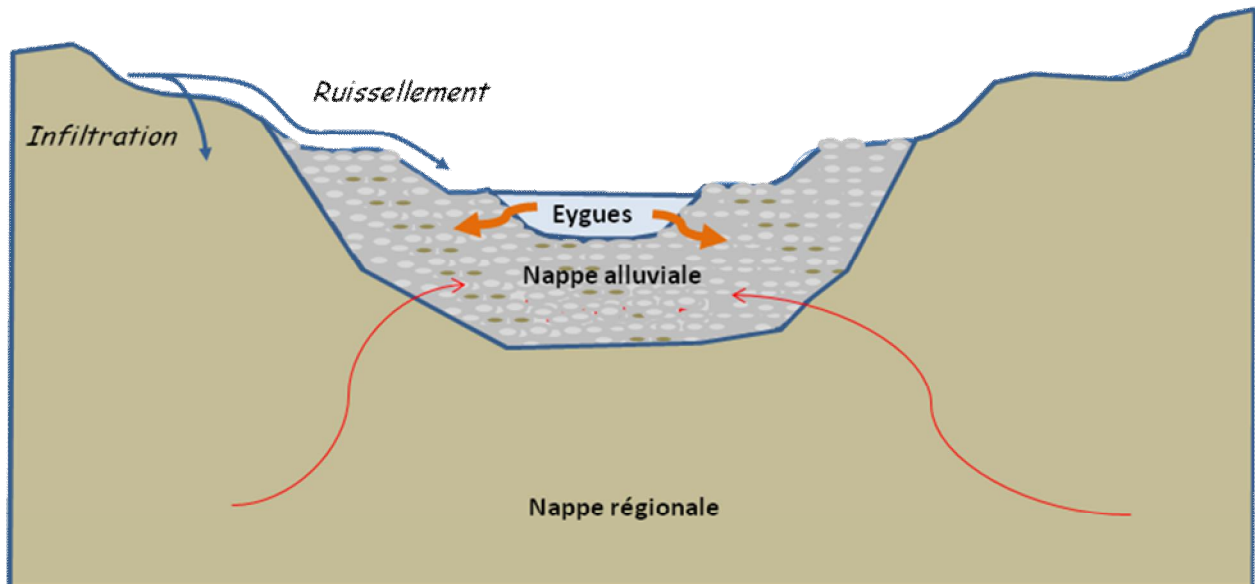


- A partir de Nyons, des échanges nappe/rievière se réalisent. D'une part, la nappe alluviale (partie de la nappe des alluvions qui a un impact immédiat sur le cours d'eau) se développe. Une partie des eaux ruisselant sur les versants ou dans l'Eygues va donc s'infiltrer et alimenter la nappe alluviale (cailloutis). De plus, la **nappe régionale**, constitué du miocène et des alluvions anciens, alimentée par les eaux s'infiltrant sur le bassin versant, va recharger la nappe alluviale et l'Eygues sur l'ensemble de son secteur d'alimentation.

- Les apports de la nappe régionale se réalisent majoritairement **entre Nyons et Villedieu/Cairanne** et l'extension de la nappe alluviale est assez faible sur cette zone.



- Par contre, **de Cairanne à Orange**, la nappe du Miocène est plus profonde (80 à 100 mètres) et les apports de cette nappe sont très faible voire inexistant. En contrepartie, la nappe alluviale s'étend. Les eaux superficielles vont alors majoritairement s'infiltrer dans la nappe alluviale (cailloutis). Cette zone correspond aux assecs observés sur l'Eygues.



L'Eygues et sa nappe alluviale sont en équilibre immédiate dès que les alluvions sont saturées. Le niveau d'eau dépasse le fond du lit, ce qui fait apparaître un débit. Les échanges entre la nappe régionale et la nappe alluviale sont considérés dans un seul sens car c'est le seul rencontré naturellement. La modélisation des débits sur le bassin versant doit donc être capable de reproduire ces trois phénomènes. Pour cela, qu'ils soient de surface ou souterrains et influencés ou non par les prélèvements, la modélisation se base sur plusieurs modules (cf illustration suivante) ou outils de calculs :

- Un modèle hydrologique ATHYS ;
- Un modèle de prise en compte des échanges entre la nappe alluviale et les eaux superficielles ;
- Un modèle hydrogéologique de prise en compte des apports de la nappe des alluvions et du Miocène sur l'Eygues
- Un module de prélèvements ;
- Un module d'analyse statistique des résultats.

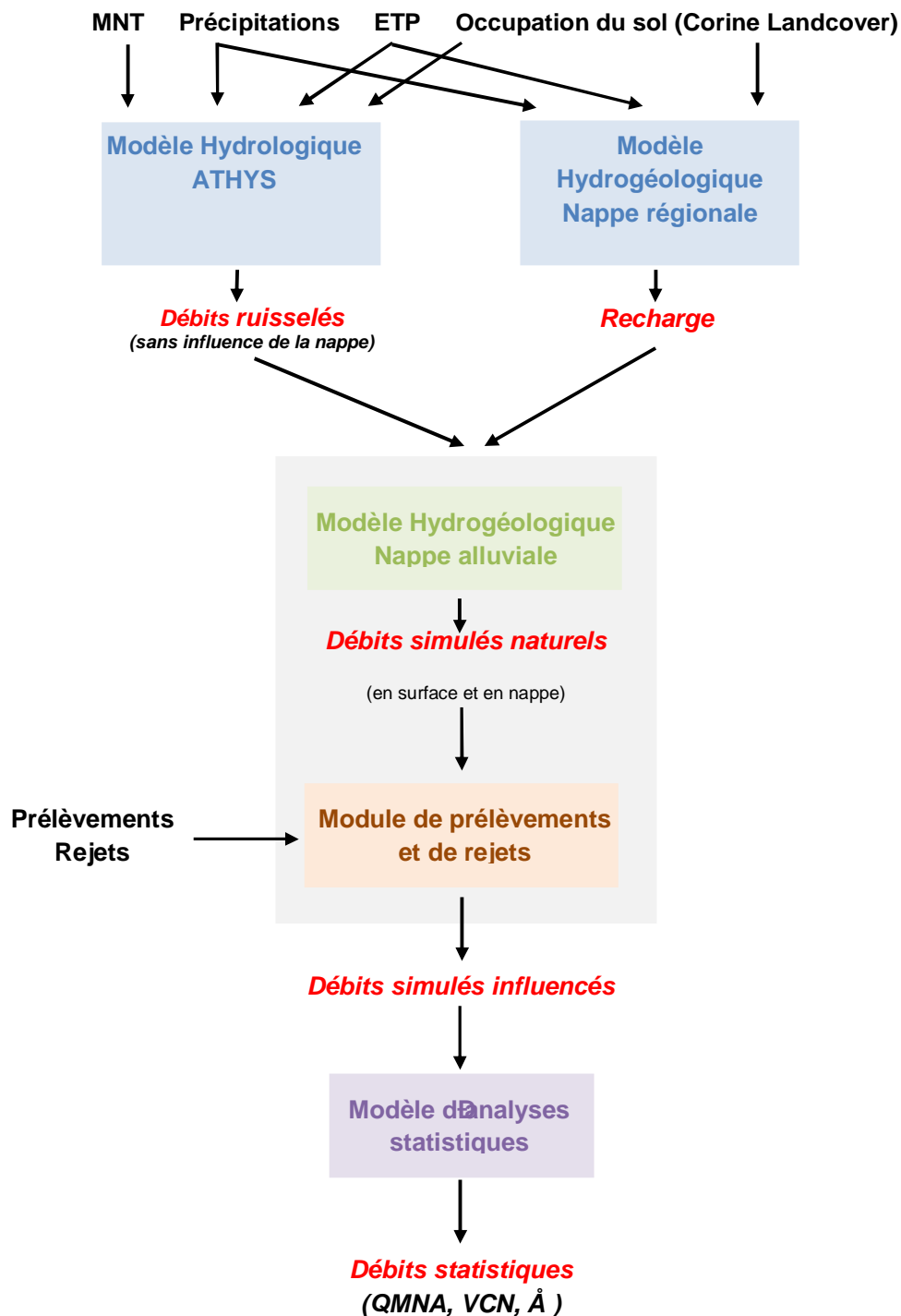


Illustration n°37 : Synoptique des différents modules utilisés pour la simulation des débits

A partir de données d'entrées (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 éventuelles recharges de la nappe régionale.

En parallèle une modélisation de la nappe des alluvions et du Miocène (appelée nappe régionale) est réalisée afin de quantifier les apports de cette nappe au débit de l'Eygues et de la nappe alluviale.

La durée de la chronique sera la plus longue possible (25 à 30 ans) pour que les quantiles dégagés de cette chronique aient un sens du point de vue statistique.

Ensuite pour connaître les interactions entre l'Eygues et sa nappe d'accompagnement, un modèle sur EXCEL (composé de macro-commandes VISUAL-BASIC) a été développé. L'application de ce modèle suppose de connaître les informations de base de la nappe alluviale : perméabilité, coupes lithologiques et idéalement, une carte des isopièzes pour identifier les secteurs hydrogéologiques.

Ce modèle permet de caractériser, en divers points de référence du bassin versant, les débits de surface et les débits transitant dans la nappe alluviale en sommant les débits ruisselés et la recharge éventuelle en chaque point. Les débits reconstitués sont des **débits naturels simulés** (sans influence des prélèvements).

A partir des débits naturels, le module de prélèvements, intégré à une feuille EXCEL, permet de simuler les **débits influencés simulés**. **En effet, à partir de données d'entrées réelles ou issues de scénarios sur les prélèvements et les rejets dans les eaux souterraines et superficielles, il est possible de déterminer l'impact de ces prélèvements sur le régime hydrologique du bassin versant et le fonctionnement de la nappe alluviale.**

A partir des débits influencés simulés, obtenus aux différents points stratégiques du bassin versant, les quantiles caractéristiques pourront être définis : QMNA, QMNA2, QMNA5, 1/10 du module, 1/20 du module ...

D.II MODELE DE LA NAPPE REGIONALE

D.II.1 Présentation de la zone modélisée

Une modélisation du système hydrogéologique intégrée à l'échelle de tout l'aquifère régional du bassin de Valréas a été mise en œuvre dans le cadre des Etudes de détermination des Volumes Prélevables des bassins versants du Lez et de l'Aygues. Ces bassins versants (BV) hydrologiques étant limitrophes, de même que celui de l'Ouvèze situé au sud du BV de l'Aygues, il s'est en effet avéré pertinent et nécessaire de simuler le rôle des écoulements souterrains prenant place au sein de l'aquifère régional puisque des échanges entre BV peuvent prendre place par le biais des eaux souterraines. Egalement, suite aux discussions avec l'Agence de l'eau il a été convenu d'intégrer le BV des Meynes (secteur d'Orange) situé à l'aval du BV de l'Aygues.

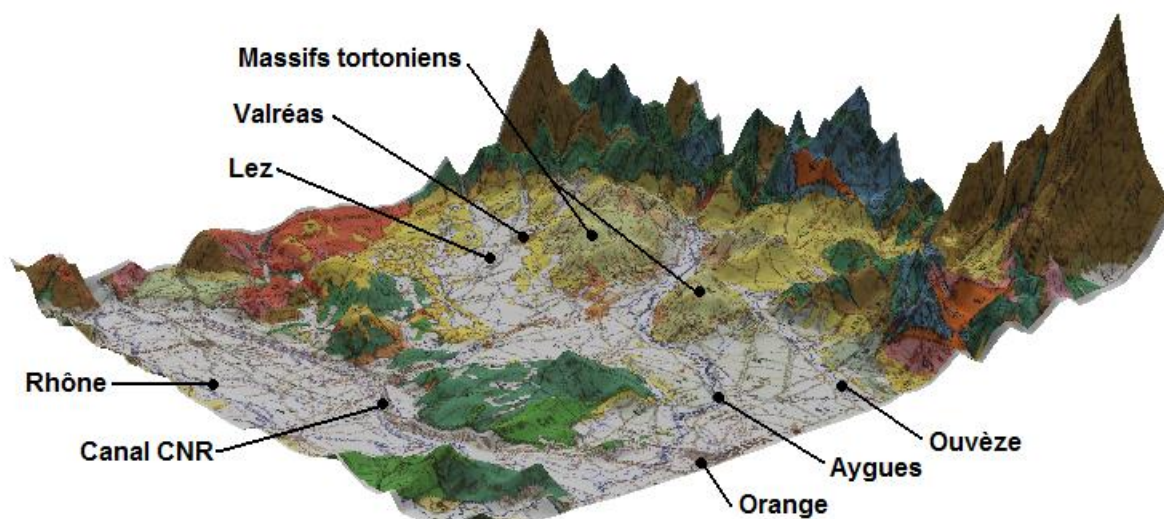


Illustration n°38 : Contexte géologique et topographique du bassin de Valréas (carte géologique de Valence au 1/250 000 ; topographie du MNT IGN au 250 m)

La figure ci-dessus qui illustre le contexte géologique et topographique des bassins versants étudiés montre que le bassin de Valréas est principalement constitué à l'affleurement d'alluvions (représentées en gris clair), de molasses (en jaune) et de marnes sableuses tortoniennes (en jaune verdâtre). Dans ce bassin, coulent d'Est en Ouest le Lez (au Nord), l'Aygues (au centre) et l'Ouvèze (au Sud).

Afin de représenter la géologie et la structure du bassin, un modèle à sept couches a été construit. Le domaine pris en compte a été discrétisé avec un maillage de 100 m x 100 m permettant une précision suffisante pour les calculs et la représentation des écoulements et échanges. La figure suivante (dont l'échelle verticale est exagérée pour en faciliter la visualisation) présente une coupe Sud-Nord du modèle ainsi réalisé. On y observe le bassin molassique (en orange), l'encaissant peu perméable (en gris foncé), les massifs tortoniens peu perméables (en vert) et les argiles imperméables comblant les rias

pliocènes (en rouge). Les figures de la bathymétrie du bassin molassique et des rias pliocènes présentées dans le rapport des phases 1 et 2 ont été utilisées pour construire cette géométrie 3D du modèle.

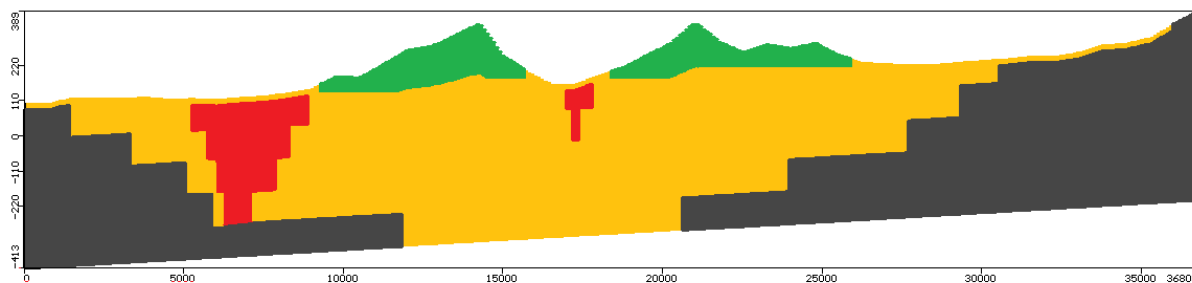


Illustration n°39 : Coupe Sud-Nord du modèle réalisé (gris foncé : encaissant ; orangé : molasse ; vert : marnes sableuses tortoniennes ; rouge : argiles pliocènes)

D.II.2 Paramètres de simulations

D.II.2.1 Période de simulation

Les simulations ont été réalisées sur 40 ans de 1972 à 2010. Elles sont basées sur des données décennales (pluies efficaces) et agrégés par année et par saison.

D.II.2.2 Conditions aux limites

Deux types de conditions aux limites ont été appliqués dans le modèle :

- la recharge due aux précipitations efficaces ;
- les conditions appliquées pour représenter l'effet des rivières du bassin.

□ *Précipitations efficaces*

Concernant la condition de recharge de la nappe, nous avons calculé les précipitations efficaces annuelles des quarante dernières années à l'aide des données de précipitations et d'évapotranspiration de la station de Valréas. En effet, l'étude de la pluviométrie du bassin de l'Eygues réalisée dans les phases précédentes de l'étude a montré que la pluviométrie dans le bassin molassique varie peu et que la station de Valréas en est assez représentative.

Les précipitations efficaces ont ainsi été calculées à partir des valeurs décennales de précipitations et d'évapotranspiration (ETP) de la station Météo-France de Valréas et tenant compte d'une réserve utile des sols représentative de ceux de la région. Le calcul tient compte pour cela de la porosité totale (qui gère la quantité d'eau qui peut rentrer dans le sol et l'excédent qui doit être ruisselé), la capacité de rétention au champ (qui gère la quantité d'eau retenue par le sol et disponible pour les plantes, et le surplus qui s'infiltre plus bas et contribue à la recharge) et le contenu au point de flétrissement qui est l'eau non utilisable par les plantes et pour l'évaporation. Les précipitations totales et efficaces de ces quarante années sont présentées à la figure suivante.

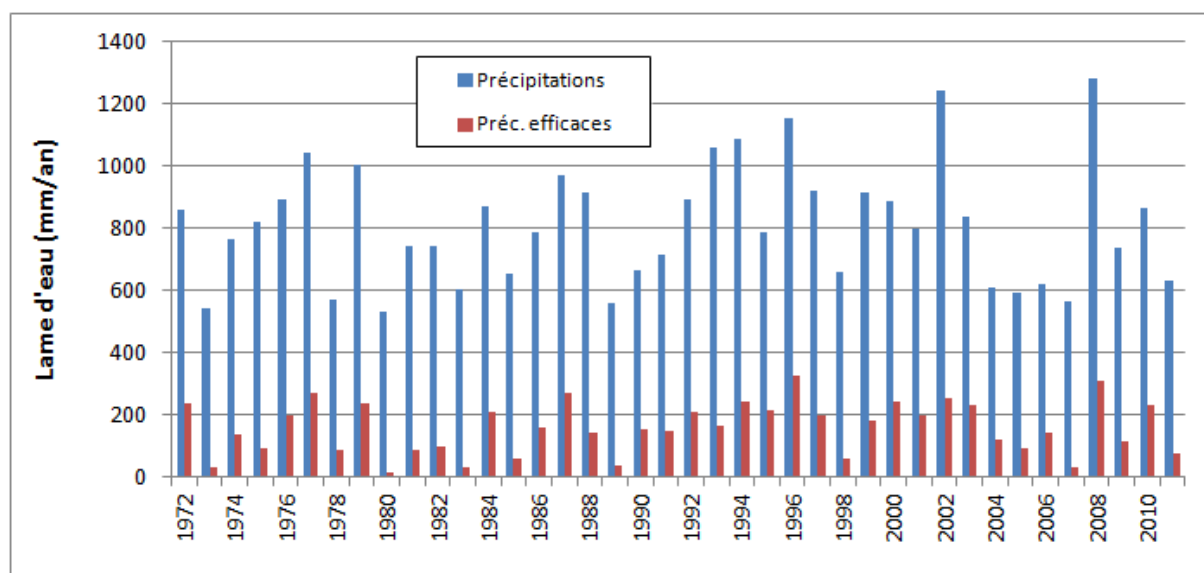


Illustration n°40 : Précipitations annuelles totales et efficaces des quarante dernières années

Le graphique des précipitations efficaces trimestrielles des vingt dernières années montrent une grande variabilité inter-saisonnière et interannuelle, avec des recharges allant jusqu'à 228 mm en un trimestre, c'est-à-dire 1,5 fois la recharge moyenne annuelle. De façon statistique (figure suivante), la recharge débute en septembre et termine en avril, avec fin-octobre à mi-janvier comme principale période de recharge.

Il ressort de cette distribution des précipitations efficaces l'existence de saisons contrastées, avec 123.6 mm pour la période mi-octobre à mi-janvier, 37.4 mm pour la période mi-janvier à mi-avril, 1.3 mm pour la période mi-avril à mi-juillet et 22.2 mm pour la période mi-juillet à mi-octobre.

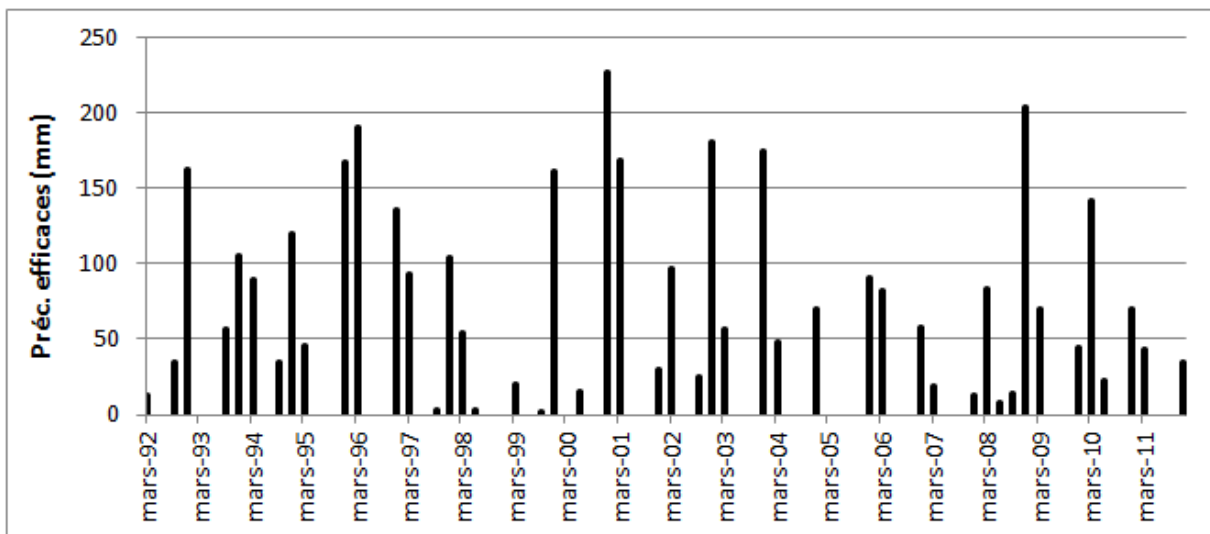


Illustration n°41 : Précipitations efficaces trimestrielles des vingt dernières années

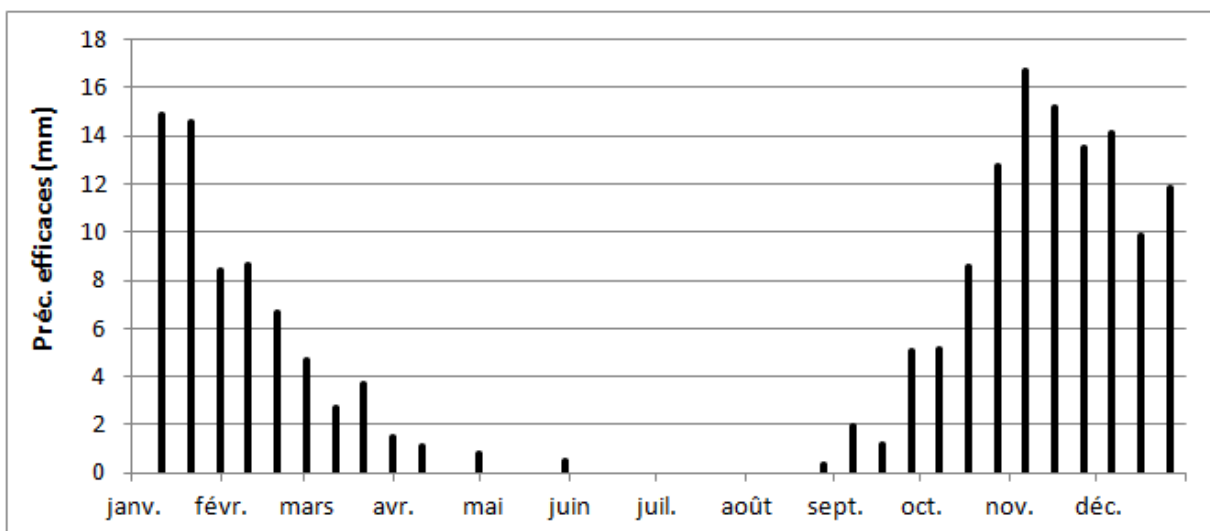


Illustration n°42 : Précipitations efficaces décennales interannuelles des vingt dernières années

Les statistiques des précipitations efficaces annuelles (valeurs minimale, moyenne et maximale, et écart-type) sont données au tableau suivant pour cinq périodes : 1972-2011, 1972-1991, 1992-2011, 1998-2007 et 2002-2011.

Période	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
1972-2011	158.8	84.0	12.2	326.5
1972-1991	135.4	81.9	12.2	272.7
1992-2011	182.1	81.4	31.6	326.5
1998-2007	155.1	79.6	31.6	255.7
2002-2011	160.4	90.9	31.6	309.1

Tableau n°21 : Statistiques des pluies efficaces constituant la recharge des nappes

Les piézométries disponibles pour la calibration du modèle s'étalant principalement sur la période 2007 à 2011, il paraît opportun pour la calibration du modèle à l'aide des mesures piézométriques d'utiliser les précipitations correspondant à cette période et aux années précédentes de recharge responsables de l'état piézométrique des nappes. Les années 2002 et 2008 étant cependant exceptionnelles en termes de précipitations (et toutes les deux incluses dans la période 2002-2011), nous avons choisi d'utiliser les statistiques de la période 1998-2007 pour la modélisation. Sont entre autres exclues de cette période les deux importantes recharges de 1996 et 2008.

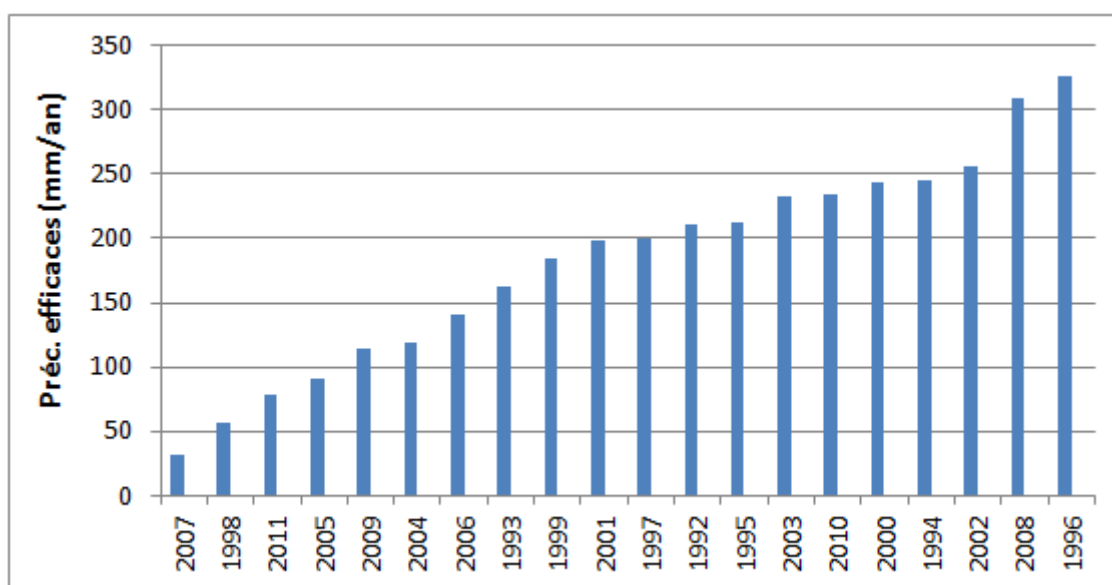


Illustration n°43 : Précipitations efficaces annuelles classées des vingt dernières années

La précipitation efficace annuelle moyenne de la période 1998-2007 est de 155mm/an et l'écart-type de 80 mm/an. Il est à noter que ces valeurs de moyenne et d'écart-type sont très proches de celles de toute la période des 40 années.

Une recharge de 155 mm/an a ainsi été considérée. La première couche du modèle totalisant 731 km², la recharge potentielle liée aux précipitations efficaces est de 113 Mm³/an.

La valeur de la recharge potentielle de chaque zone a cependant été modifiée afin de tenir compte des prélèvements exercés sur la ressource et des restitutions par les canaux d'irrigation et les eaux usées tels qu'évalués dans les Phases 1 et 2 de l'étude. Tous les apports d'eau à la nappe par les pertes des canaux et les retours d'eaux usées évalués sont appliqués dans les sous-bassins correspondant à leur localisation.

□ *Conditions de drains*

Dans le modèle, les rivières du bassin (avec leurs nappes d'accompagnement sises dans les alluvions grossières actuelles du lit de la rivière) sont considérées quant à elles comme des drains potentiels des eaux souterraines de l'aquifère régional. L'eau de la nappe régionale est ainsi drainée par le cours d'eau et sa nappe d'accompagnement lorsque la nappe régionale est à une cote piézométrique supérieure à la cote imposée comme fil d'eau de la rivière. Cette condition de dépassement de la cote de drainage est vérifiée par le modèle lui-même durant la simulation. Mentionnons que la cote de drainage imposée dans le modèle est tirée des données topographiques. Or nous savons que sur certains biefs, l'écoulement en surface de la rivière disparaît en étiage, et seul l'écoulement hyporhéique ou inféoflux perdure. La cote topographique imposée surestime donc vraisemblablement le fil de l'eau pour certains secteurs.

Le modèle hydrogéologique est basé sur l'extension du bassin miocène. Ainsi, toute la partie du bassin versant de l'Eygues incluse dans le bassin miocène de Valréas est prise en compte dans le modèle hydrogéologique. Il en est de même de la partie du bassin versant du Lez incluse dans le bassin miocène. Les limites latérales du modèle sont donc les limites du bassin miocène. Les formations encaissantes du bassin molassique présentent en effet de très faibles perméabilités respectives et leur contact est considéré comme une limite imperméable.

En aval, malgré l'extension du modèle bien plus au sud que le bassin versant de l'Eygues, il n'est pas possible d'arrêter le modèle sur une condition aux limites naturelle à moins d'étendre le modèle jusqu'au Rhône. Sur la limite aval du modèle, les niveaux piézométriques mesurés ont donc été posés comme conditions aux limites.

Les conditions aux limites correspondant aux cours d'eau du bassin, et aux limites latérales et aval sont représentées sur la figure suivante

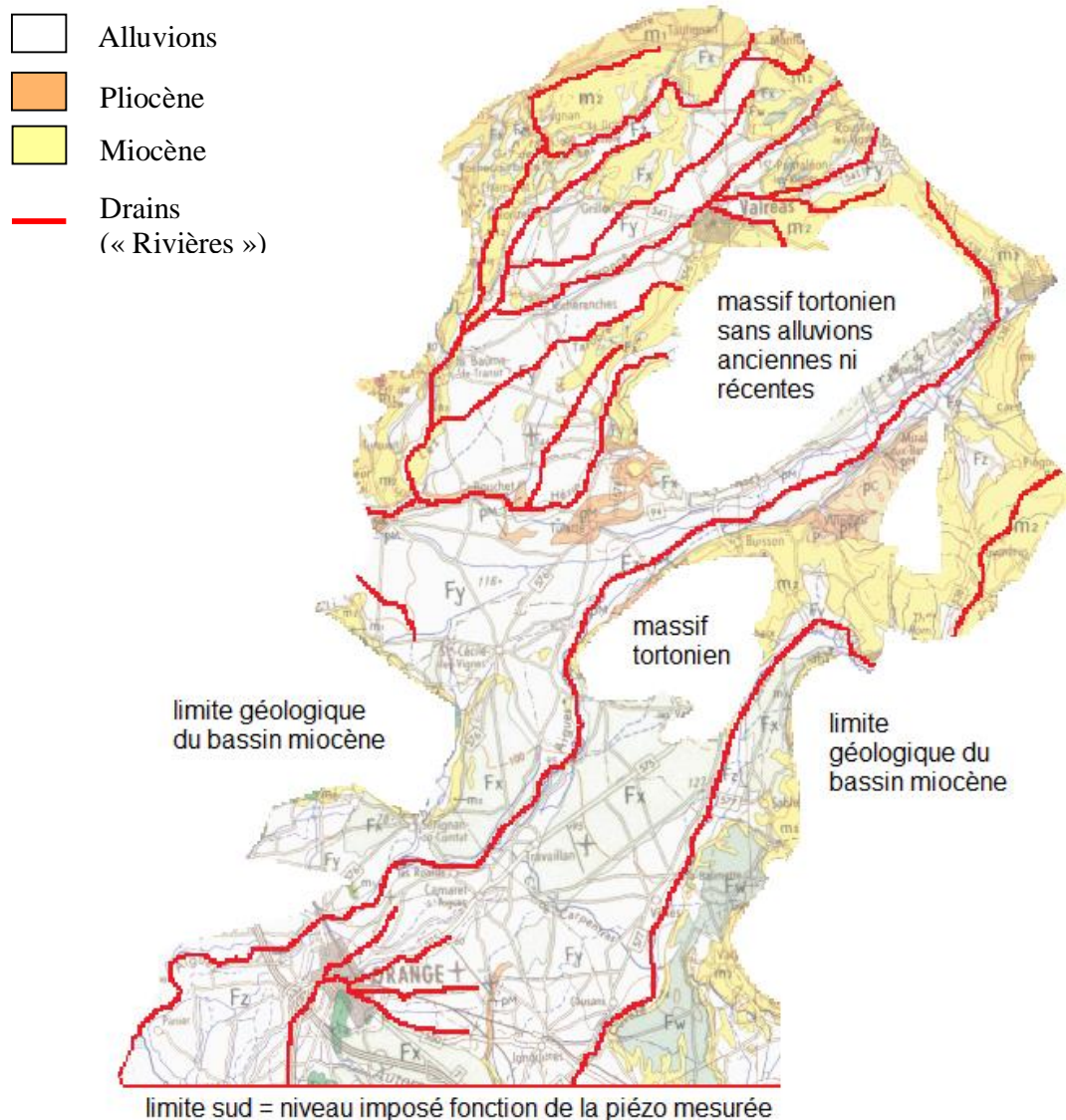


Illustration n°44 : Conditions de drains appliquées sur les rivières du bassin molassique

On remarque que les massifs tortonien constitués de marnes sableuses sont exclus du modèle et ne participent pas aux écoulements. Le contact entre la molasse et les massifs tortonien est donc considéré comme une limite imperméable. Les écoulements peuvent cependant avoir lieu dans la molasse située en dessous de ces massifs tortonien (comme le montre l'illustration n°39).

Afin de ne pas alimenter artificiellement la nappe en imposant une charge imposée sur les cours d'eau, ces derniers sont tous considérés par une condition de drain dont la cote correspond au fil de l'eau mesuré lors de la campagne piézométrique. L'eau de la nappe régionale est ainsi drainée par les cours d'eau lorsque la nappe régionale est à une cote piézométrique supérieure à la cote imposée comme fil d'eau de la rivière. Cette condition de dépassement de la cote de drainage est vérifiée par le modèle lui-même durant la simulation.

Les flux ainsi drainés par le cours d'eau sortent du modèle hydrogéologique et alimentent le modèle hydrologique mis en œuvre. Les débits du cours d'eau et les pertes sont alors simulées par le modèle hydrologique. De ce fait les pertes ne sont pas prises en compte deux fois dans l'étude, c'est-à-dire une

fois par le modèle hydrogéologique et une seconde fois par le modèle hydrologique. Cette approche respecte donc le bilan entrée/sortie du système.

D.II.2.3 Paramètres hydrodynamiques

La littérature indiquant une perméabilité de la molasse variant entre 10^{-5} et 10^{-6} m/s, nous l'avons donc fixée à $5 \cdot 10^{-6}$ m/s. La littérature mentionne par contre une grande variabilité de la perméabilité et de la transmissivité des alluvions. Nous avons donc considéré pour la première couche du modèle une épaisseur d'alluvions de 20 m (la littérature indique une épaisseur variant entre 15 et 20 m) et avons procédé à une calibration de la perméabilité des alluvions par secteurs.

Nous ne disposons par ailleurs d'aucune donnée fiable et représentative du coefficient d'emmagasinement qui puisse être utilisée pour la modélisation. Ce paramètre devra également faire l'objet d'une calibration.

Pour ces calibrations, on doit disposer de données piézométriques qui soient fiables et représentatives, et pour la calibration du coefficient d'emmagasinement de chroniques piézométriques adaptées.

D.II.2.4 Prise en compte des prélèvements

La valeur de la recharge potentielle de chaque zone a cependant été modifiée afin de tenir compte des prélèvements exercés sur la ressource et des restitutions par les canaux d'irrigation et les eaux usées tels qu'évalués dans les Phases 1 et 2 de l'étude. Tous les apports d'eau à la nappe par les pertes des canaux et les retours d'eaux usées évalués sont appliqués dans les sous-bassins correspondant à leur localisation.

Concernant les volumes prélevés en nappe en dehors de la limite hydrogéologique mais sur le bassin versant topographique, ces prélèvements se réalisent dans la nappe du Miocène et des alluvions anciens. Les volumes prélevés ne sont pas à affecter uniquement aux Meynes ou au Lez même s'ils sont en dehors de la limite hydrogéologique du bassin versant (limite de la nappe alluviale). En effet, ils sont susceptibles d'avoir un impact sur les apports à l'Eygues.

Au total, le volume prélevé en dehors de la limite hydrogéologique est de 99 400 m³ soit 3% du volume prélevé en nappe sur les trois bassins versants (3 144 400 m³).

Au vue de ces résultats, ces prélèvements représentent un volume faible par rapport au volume prélevé total sur l'aval du bassin versant. Leurs prises en compte est une approche sécuritaire sachant qu'il n'est pas possible de savoir pour l'ensemble de ces prélèvements à ce jour s'ils n'ont pas d'impact sur les débits d'apports à l'Eygues.

D.II.3 Calage et résultats

D.II.3.1 Stratégie de calibration du modèle

Les nombreux travaux, études et publications ayant concerné le bassin miocène mentionnent que les dépôts quaternaires s'organisent de façon étagée dans le bassin. Les deux niveaux supérieurs des glacis-terrasses correspondent aux dépôts du Mindel et du Riss dont il ne subsiste que quelques lambeaux. Les basses terrasses des vallées du Lez, de la Coronne, de l'Hérin et de l'Aigues sont le siège des dépôts du Würm. Le BRGM (2008 ó RP-56389-FR) précise que l'aquifère des molasses miocènes est couvert par des formations quaternaires se composant de placages d'alluvions anciennes déconnectées des cours d'eau et d'alluvions récentes en liaison avec les principaux cours d'eau.

L'attente de l'étude en regard de la modélisation hydrogéologique est que le modèle soit à même de reconstituer la piézométrie non influencée. Pour ce faire, le modèle doit donc mettre l'accent sur la piézométrie de la nappe d'accompagnement des cours d'eau (nappe qui est en équilibre avec le cours d'eau) et non sur celle des nappes des terrasses qui sont déconnectées de la nappes d'accompagnement et donc des cours d'eau.

Les terrains peuvent être schématisés de la manière suivante :

- l'organisation spatiale des terrasses et des nappes qu'elles contiennent ;
- la stratégie de calibration par un calage de la piézométrie régionale visant à évaluer l'apport d'eau au corridor alluvial ;
- la stratégie de calibration par un calage de la piézométrie de la seule nappe d'accompagnement du cours d'eau permettant d'évaluer l'apport de la nappe d'accompagnement à la rivière et à son lit mineur.

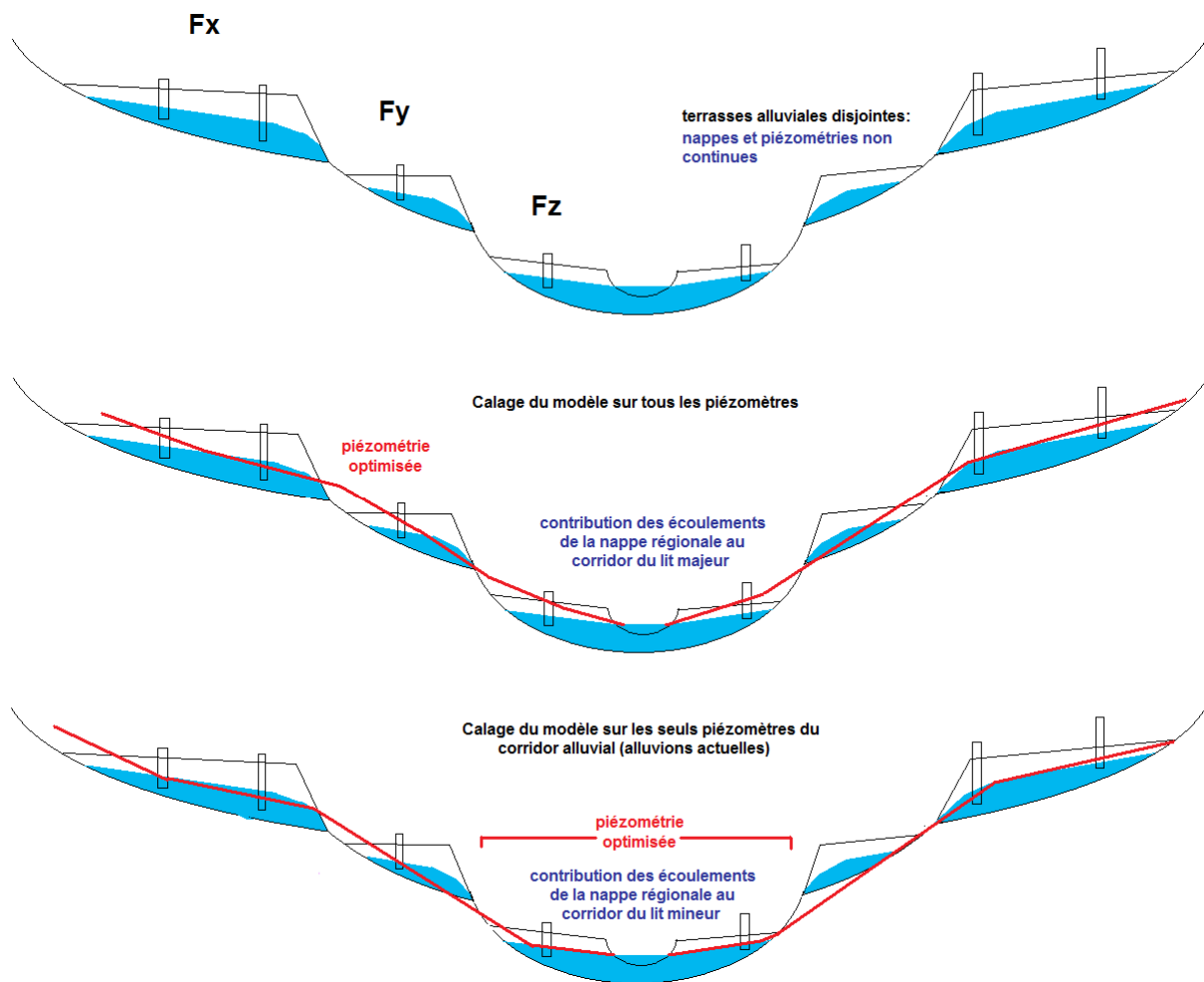


Illustration n°45 : Exemple de stratégie de calibration basée sur un calage de la piézométrie de toutes les formations alluviales ou plu spécifiquement des alluvions récentes

La priorité du calage a donc été donnée (dans un premier temps) aux alluvions actuelles contenant la nappe d'accompagnement en équilibre avec les cours d'eau qui font l'objet de cette étude des volumes prélevables. Pour améliorer le calage en regard de l'erreur moyenne tel que souhaité par le comité de suivi de l'étude (et non du carré des erreurs comme le réalise classiquement le modèle), plusieurs étapes ont été mises en œuvre :

- découpage des zones initiales de perméabilité en zones petites et de tailles homogènes ; plutôt que d'établir ces zones sur la seule logique spatiale de dépôt des formations alluviales, les zones ont été définies selon des critères d'optimisation (distribution, forme, taille) ; idéalement un calage parfait pourrait être théoriquement obtenu en utilisant autant de zones de perméabilité que de piézomètres d'observation, mais ce cas est insoluble mathématiquement et aucun modèle ne pourrait converger vers une quelconque solution ;

- Sélection des piézomètres représentatifs de la solution à optimiser ; l'objectif étant d'obtenir la piézométrie la plus proche possible des valeurs mesurées sur les points devant servir de points de suivi pour la définition des niveaux d'objectifs, les piézomètres retenus pour l'optimisation ont été sélectionnés dans cette optique ; ainsi, seuls les piézomètres installés sur les formations alluviales récentes ont été conservés dans un premier temps, puisque ceux situés sur les terrasses anciennes caractérisent des nappes perchées, non représentatives de la nappe d'accompagnement de la rivière ; de même, les piézomètres situés dans les zones de molasse affleurante ont été exclus;
- Calage du modèle secteur par secteur en débutant par les secteurs amont afin d'obtenir le calage le plus proche possible des valeurs piézométriques mesurées ; mentionnons que le calage semi manuel du modèle sur un secteur nécessite plusieurs heures de calcul et que le calage dans sa globalité est un processus itératif nécessitant de reprendre le calage d'un secteur chaque fois qu'un secteur voisin a été optimisé ; ce type de calage ne peut donc être automatisé et comporte une part d'interprétation de la part de l'utilisateur du modèle.

Après un premier calage sur le corridor alluvial de l'Aygues, un second calage a été effectué sur le secteur des Meynes suspectées de pouvoir drainer les eaux de l'Aygues. Finalement, le modèle a été calé dans une troisième étape en tenant compte des piézomètres situés dans les interfluves entre Aygues et Ouvèze et entre Aygues et Lez. Au total ce sont donc 87 piézomètres pertinents, vérifiés et validés qui ont servi au calage par étape du modèle pour le secteur de l'Aygues.

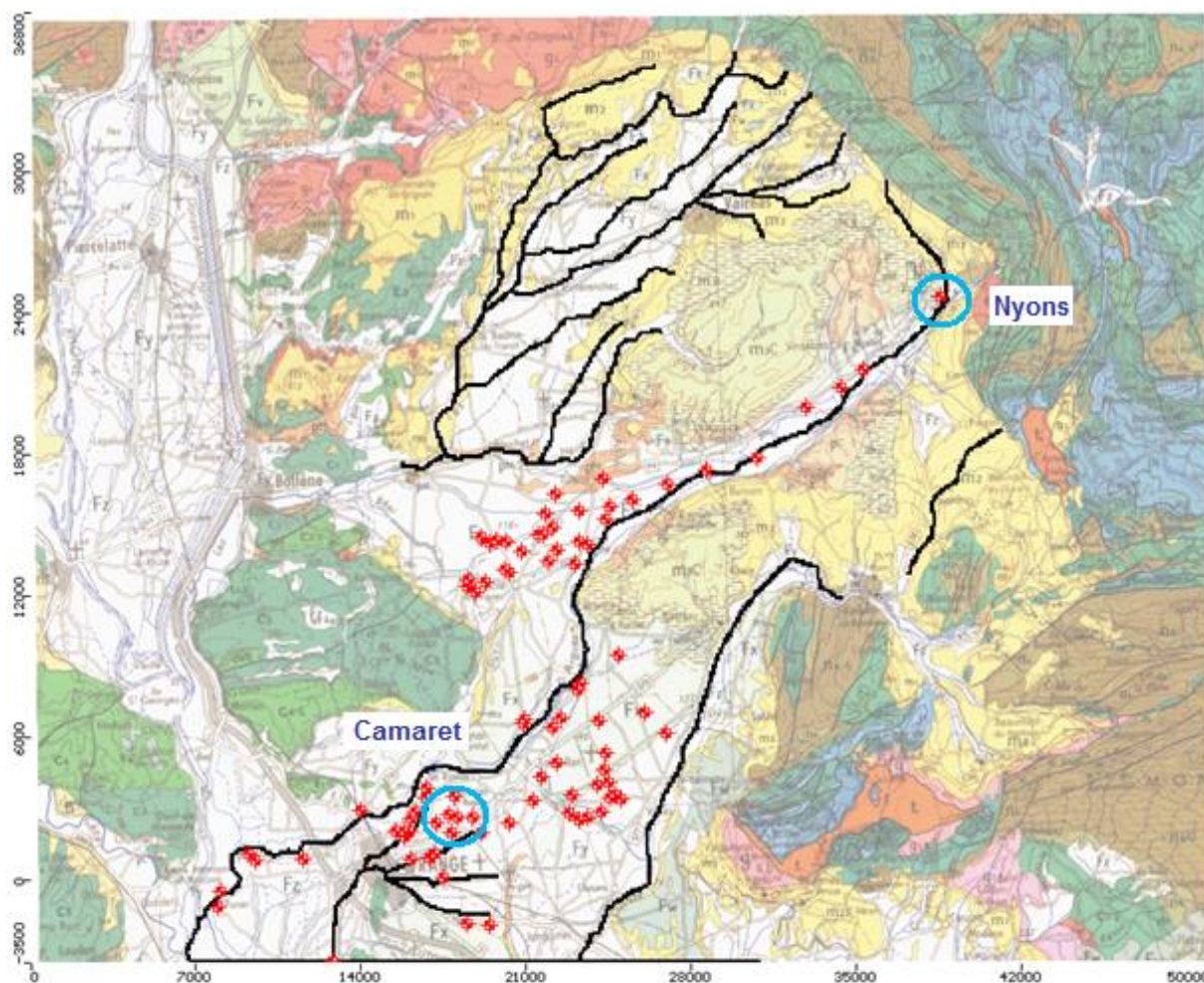


Illustration n°46 : Localisation des piézomètres pris en compte pour la calibration

D.II.3.2 Calibration du modèle

Calibration sur des données piézométriques ponctuelles

Les figures suivantes présentent les résultats statistiques de la calibration en régime permanent. Le calage a été réalisé sur 87 piézomètres.

Ces résultats montrent un excellent calage avec :

- une pente de la régression de 1.003 ;
- un coefficient de corrélation de 0.998
- une erreur moyenne de 0.16 m

L'erreur moyenne résultant du calage est de :

- 0,21 m sur l'ensemble des piézomètres ;
- 0,19 m sur les piézomètres des alluvions de l'Aygues (points en rouge de l'illustration n°48) ;
- 0,00 m sur les piézomètres du secteur des Meynes (points en noir de l'illustration n°48) ;
- 0,40 m sur les piézomètres des terrasses (points en vert de l'illustration n°48).

Par ailleurs, les piézomètres ADES de Nyons et de Camaret présentent respectivement un écart de seulement 0.03 et 0.24 m.

Rappelons que ce calage correspond :

- aux nappes d'accompagnement des cours d'eau situées dans les alluvions actuelles,
- au secteur de nappe drainé par les Meynes bordant et conditionnant la limite aval du bassin de l'Aygues,
- aux nappes de terrasses dans les interfluvés avec le Lez et l'Ouvèze qui conditionnent la position des crêtes piézométriques séparant les bassins hydrogéologiques.

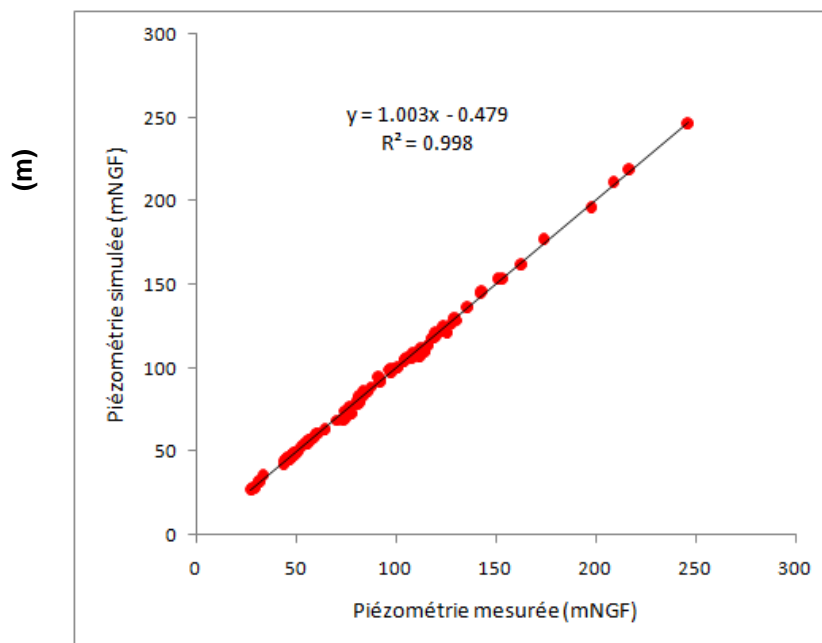


Illustration n°47 : Comparaison des piézométries mesurées et simulées pour les 87 piézomètres de calibration

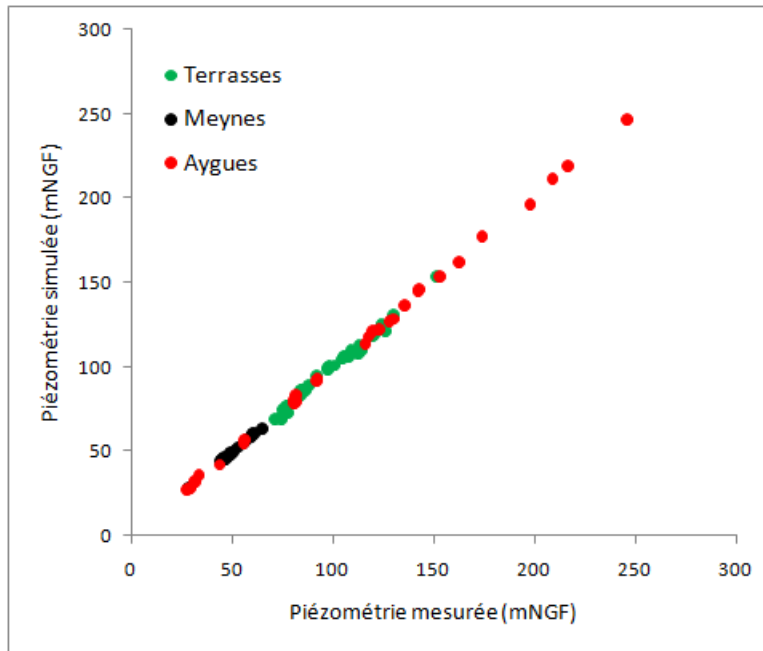


Illustration n°48 : Comparaison des piézométries mesurées et simulées (en m NGF) pour les différents groupes de piézomètres de calibration

L'illustration suivante présente la distribution spatiale des différences entre piézométries simulées et mesurées :

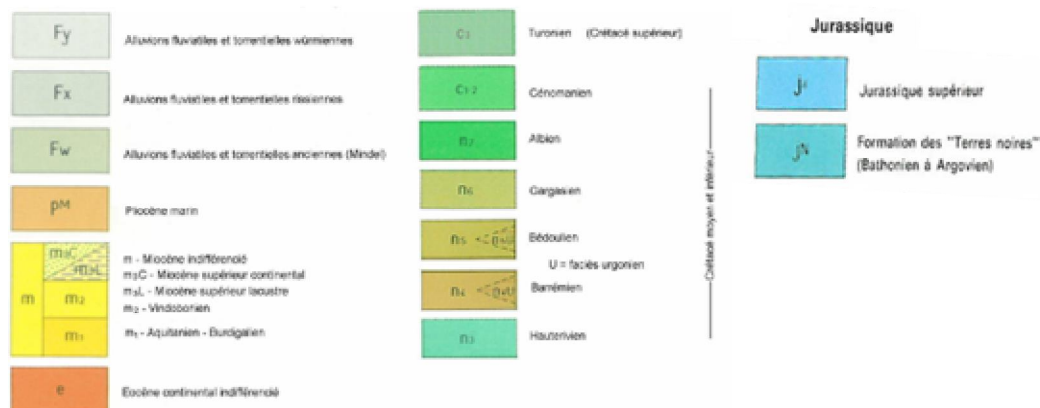
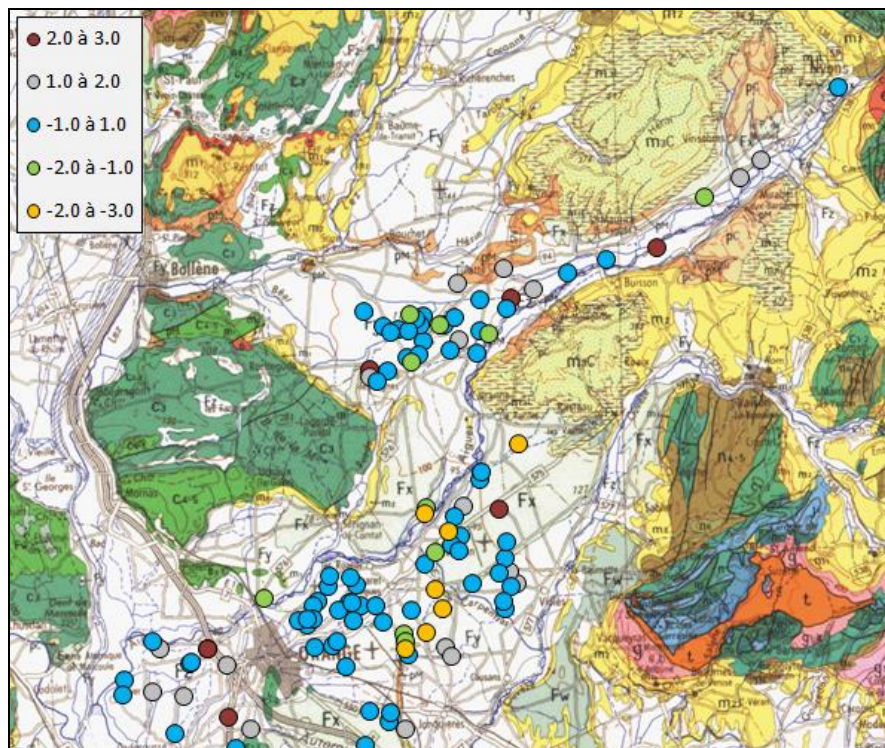


Illustration n°49 : Différences (m) entre piézométries simulées et mesurées.

Une différence négative indique que la piézométrie simulée est inférieure à la piézométrie mesurée, une différence positive indiquant que la piézométrie simulée est supérieure à la piézométrie mesurée.

La grande majorité des piézomètres présentent des différences absolues inférieures au mètre. L'ajustement est donc très bon. Rappelons à ce propos que les mesures piézométriques résultent de plusieurs campagnes piézométriques réalisées à des dates différentes, et donc représentatives d'états piézométriques différents. Or les fluctuations piézométriques naturelles sur ces nappes sont de l'ordre de 3 à 4 m comme celle observée sur le piézomètre de Nyons.

Une différence entre les piézométries simulées et observées de quelques mètres n'est donc pas anormale puisque ces différences sont naturellement observées sur ces nappes. Par ailleurs, les piézométries mesurées peuvent ne pas refléter l'état statique de la nappe mais également intégrer l'influence d'un pompage voisin. Rappelons également que les prélèvements et retours aux nappes ne sont pas connus avec exactitude. Une comparaison directe point à point ne peut donc être faite.

Les différences les plus défavorables sont situées dans l'interfluve avec l'Ouvèze pour lequel nous ne disposons d'aucune information sur le régime influencé (puisque ce bassin est hors mandat) et sur lequel nous avons donc appliqué le régime non influencé (recharge de la nappe due aux précipitations sans prélèvements et apports par les canaux d'irrigation et eaux usées). La simulation ainsi réalisée ne peut donc refléter parfaitement la réalité.

En excluant donc ce secteur de l'Ouvèze, les différences obtenues entre les piézométries mesurées et simulées sont presque toutes inférieures à deux mètres. Compte tenu des fluctuations piézométriques naturelles sur ces nappes qui sont de l'ordre de 3 à 4 m comme observé sur le piézomètre de Nyons et de l'influence locale de prélèvements ou retours, cet ajustement du modèle est jugé très bon.

Les illustrations suivantes illustrent les surfaces piézométriques influencée et non influencée simulées par le modèle ainsi que la différence entre ces deux états piézométriques .

- Une différence positive (telle qu'observée en amont du bassin) indique que la piézométrie en régime influencé est supérieure à celle du régime non influencé.
- A l'inverse, une différence négative (telle qu'en aval du bassin) indique que la piézométrie en régime influencé est inférieure à celle du régime non influencé.

Le régime influencé est en effet favorable aux sous bassins versants amont, puisque les retours y sont plus importants que les prélèvements. A l'inverse, le régime influencé est défavorable aux sous bassins versants aval, puisque les prélèvements y sont plus importants que les retours.

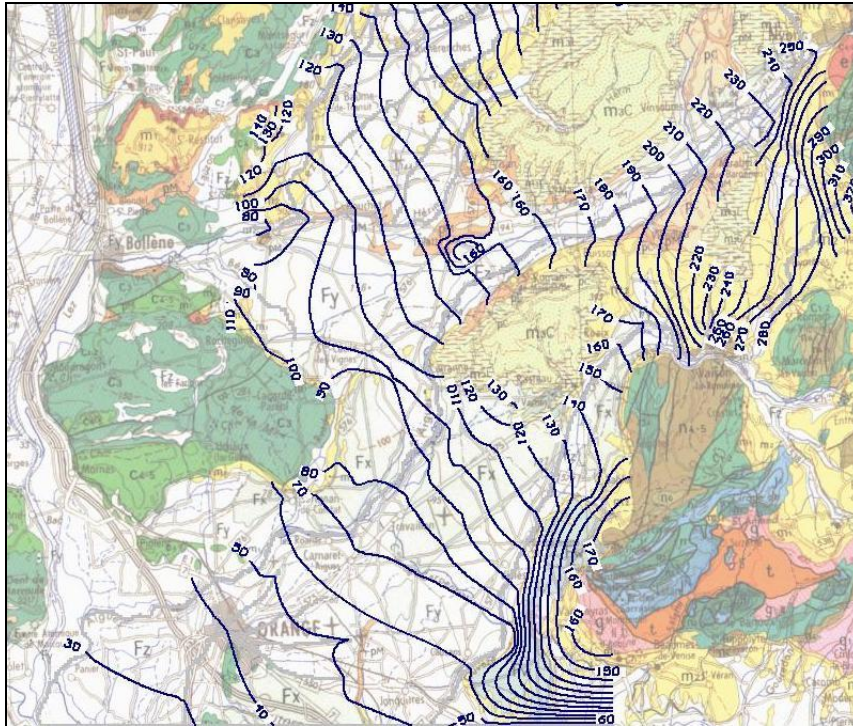


Illustration n°50 : Piézométrie (mNGF) simulée pour le régime influencé (précipitations efficaces, apports d'eau par les canaux d'irrigation et les eaux usées, prélèvements)

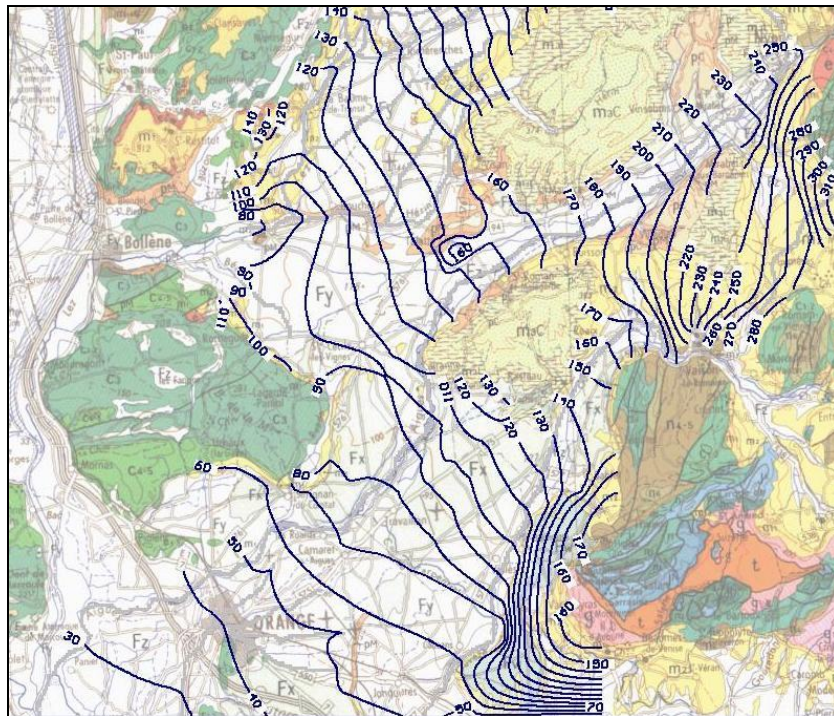


Illustration n°51 : Piézométrie (mNGF) simulée pour le régime non influencé (précipitations efficaces seulement)

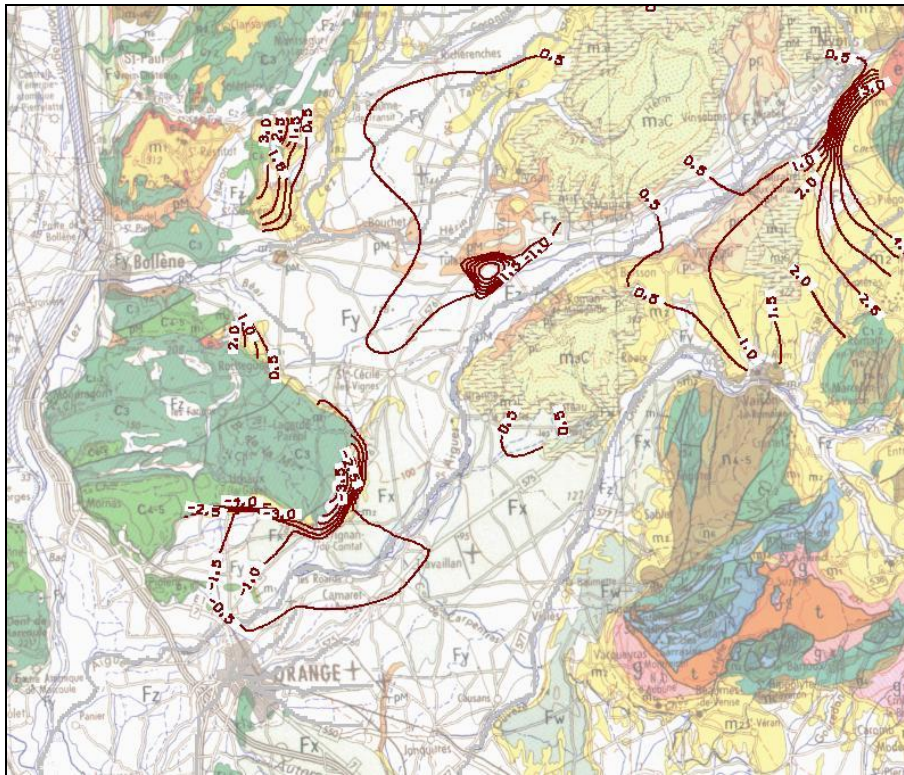


Illustration n°52 : Différences piézométriques entre les régimes influencé et non influencé

□ Calibration du modèle en régime transitoire

Les données des suivis piézométriques des deux seuls piézomètres existant sur le bassin et disposant d'une longue chronique permettent par ailleurs de calibrer la valeur moyenne du coefficient d'emmagasinement qui est peu ou pas renseigné sur le territoire. Comme le montrent les résultats des figures suivantes, l'emmagasinement conditionne l'amplitude des fluctuations temporelles de la piézométrie. Les deux premières valeurs testées induisent des oscillations trop importantes au regard de celles observées sur les deux piézomètres de suivi piézométrique. La valeur d'emmagasinement spécifique de 2.10^{-3} m^{-1} est donc retenue pour les calculs effectués en régime transitoire.

L'évolution piézométrique obtenue avec la valeur du coefficient d'emmagasinement spécifique de 2.10^{-3} m^{-1} montre des oscillations intra-annuelles de même amplitude que celles observées. Nous admettons donc valable pour les besoins du modèle cette valeur du coefficient d'emmagasinement.

L'illustration suivante présente la comparaison entre les courbes piézométriques observées sur les piézomètres de Nyons et de Camaret et les courbes simulées avec les recharges trimestrielles des 20 dernières années et la valeur d'emmagasinement retenue. Les courbes simulées semblent légèrement surestimer les variations interannuelles de nappe avec des pics qui semblent un peu trop marqués, en particulier pour le piézomètre aval de Camaret. Une valeur légèrement plus faible du coefficient d'emmagasinement pourrait amoindrir ces remontées trop marquées ainsi que l'amplitude interannuelle

une peu trop importante. Nous maintiendrons cependant cette valeur d'œmmagasinement calibrée car elle augmente légèrement le contraste entre hautes eaux et basses eaux et s'œvère donc conservative pour l'œévaluation des débits de drainage des œtiages.

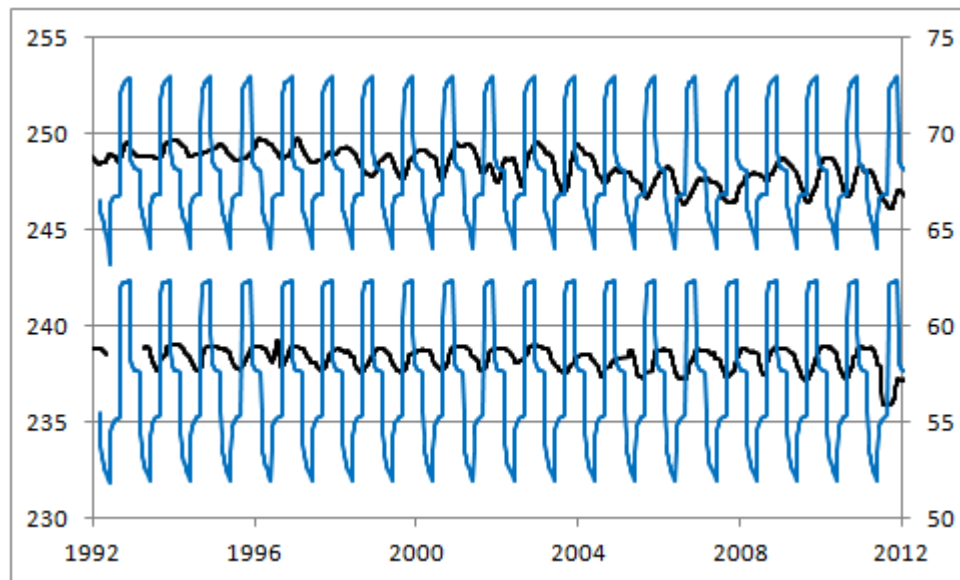


Illustration n°53 Comparaison des courbes piézométriques (en m NGF) observées (en noir) sur les piézomètres de Nyons (courbe en haut et échelle de gauche) et de Camaret (courbe en bas et échelle de droite) au pas de temps journalier avec les courbes simulées avec les moyennes trimestrielles interannuelles (en bleu) et avec une valeur d'œmmagasinement spécifique de $10^{-5} m^{-1}$

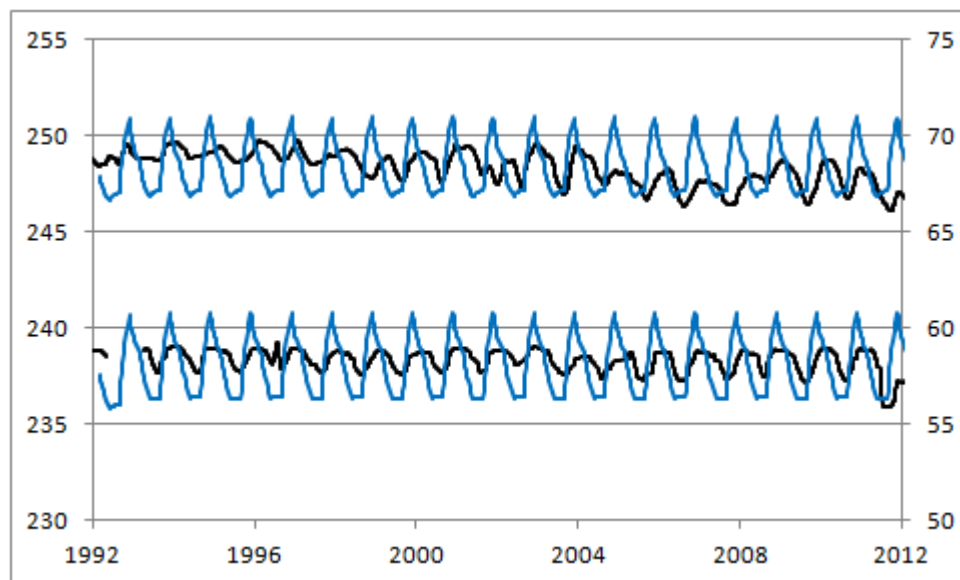


Illustration n°54 Comparaison des courbes piézométriques (en m NGF) observées (en noir) sur les piézomètres de Nyons (courbe en haut et échelle de gauche) et de Camaret (courbe en bas et échelle de droite) avec les moyennes trimestrielles interannuelles (en bleu) et avec une valeur d'œmmagasinement spécifique de $5 \cdot 10^{-4} m^{-1}$

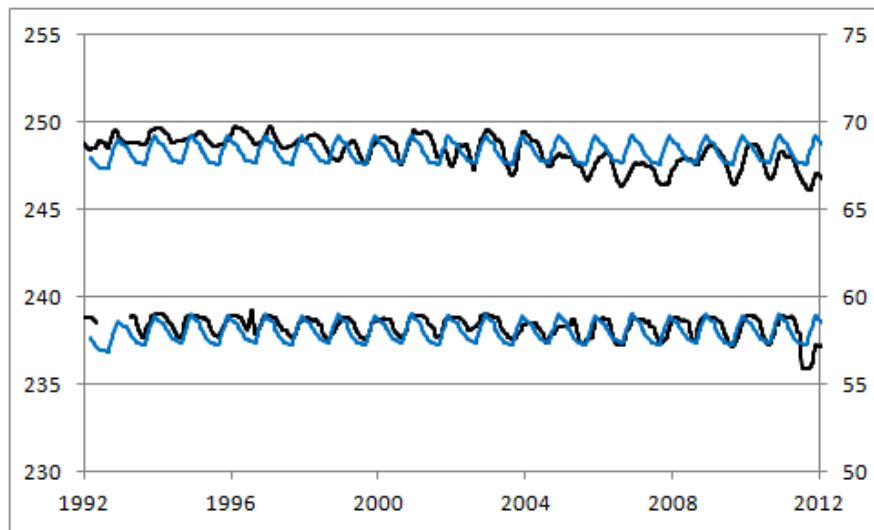


Illustration n°55 Comparaison des courbes piézométriques (en m NGF) observées (en noir) sur les piézomètres de Nyons (courbe en haut et échelle de gauche) et de Camaret (courbe en bas et échelle de droite) avec les courbes simulées des moyennes trimestrielles interannuelles (en bleu) et avec une valeur d'œmmagasinement spécifique de $2.10^{-3} m^{-1}$

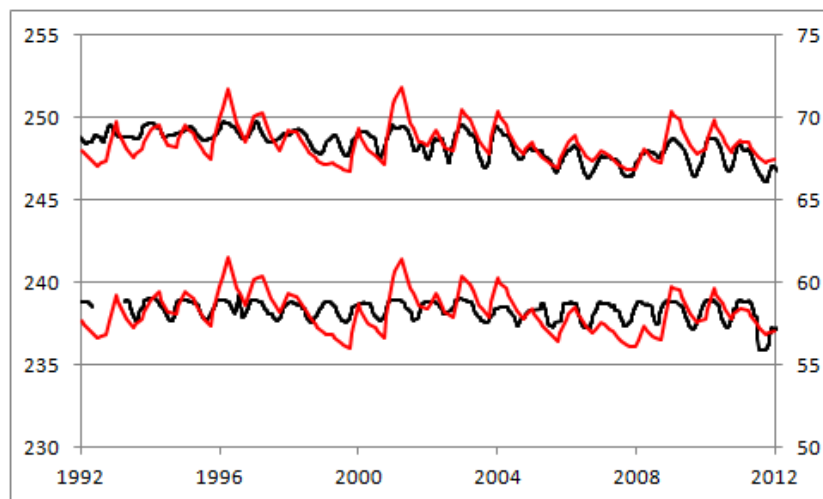


Illustration n°56 : Comparaison des courbes piézométriques observées (en noir) sur les piézomètres de Nyons (courbe en haut et échelle de gauche) et de Camaret (courbe en bas et échelle de droite) avec les courbes simulées avec les courbes simulés trimestrielles des 20 dernières années (en rouge) et avec une valeur d'œmmagasinement spécifique de $2.10^{-3} m^{-1}$

D.II.3.3 Résultats

Le modèle ainsi calibré a permis de calculer les débits drainés par les différentes rivières en considérant la sectorisation définie pour les bilans hydrologiques. L'illustration suivante précise l'extension des différents sous-bassins.

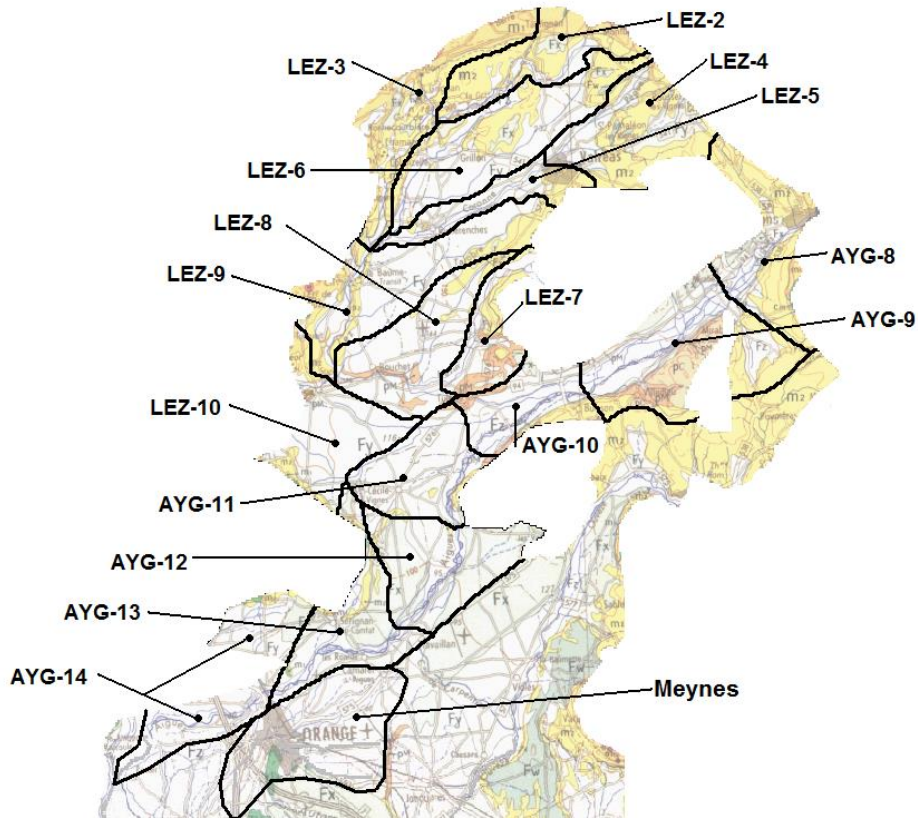


Illustration n°57 : Sous-bassins hydrologiques définis pour les bassins versants du Lez et de l'Eygues

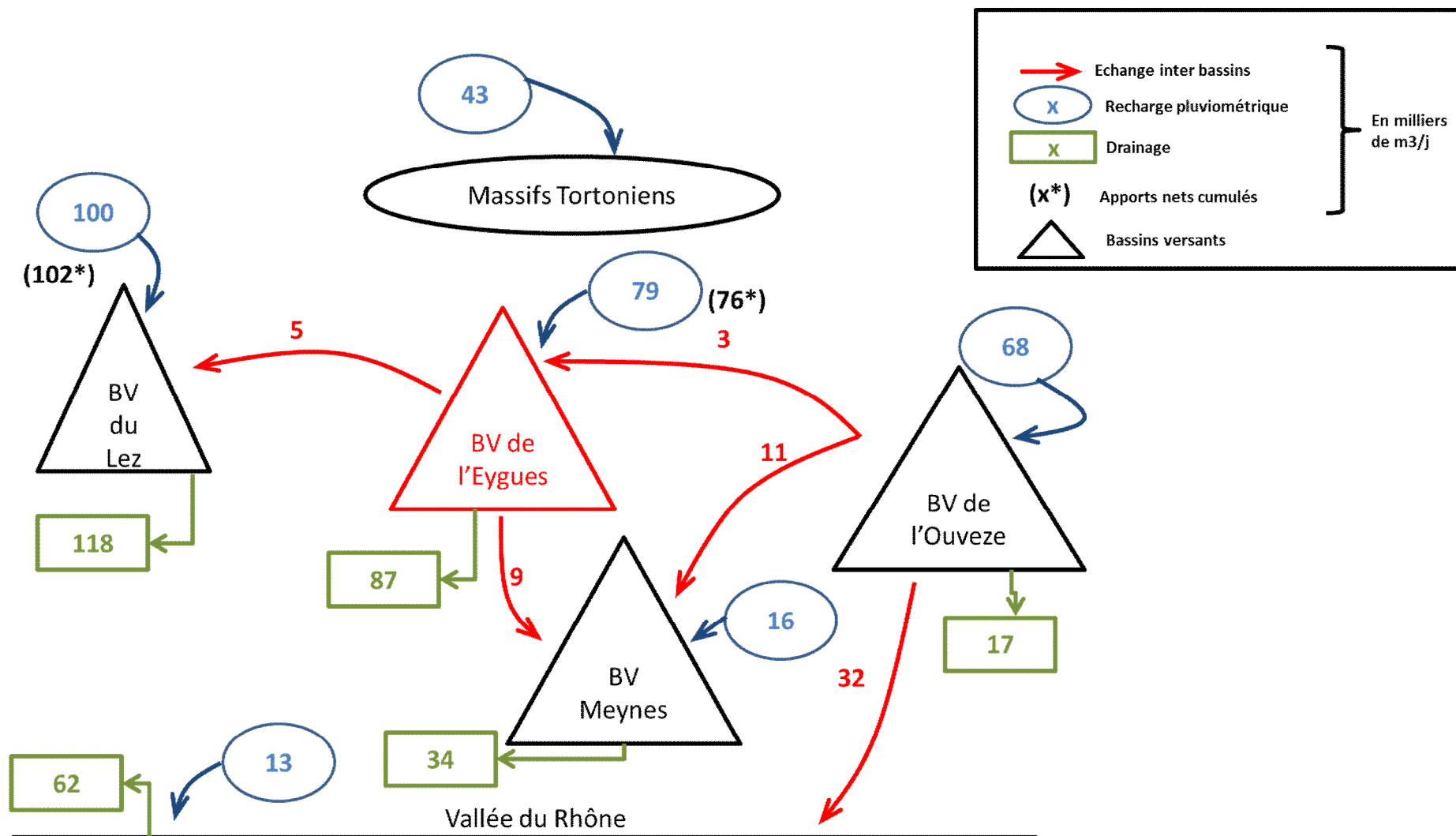
❑ *Résultats en régime influencé*

Les flux de recharge, d'écoulement souterrain et de drainage par sous-bassin sont détaillés ci-dessous. La recharge influencée correspond à l'apport par les précipitations efficaces et aux retours des canaux d'irrigation et des eaux usées, auxquels sont ôtés les prélèvements. Le drainage correspond à l'eau drainée par le cours d'eau (alimentant le cours d'eau).

Une valeur négative au niveau de l'écoulement aval signifie qu'il n'y a pas de sortie par écoulement souterrain de ce sous-BV et qu'au contraire le sous-BV reçoit un écoulement souterrain depuis un ou plusieurs autres sous-bassins.

Sous bassins versant	Recharge par la pluie (m ³ /j)	Recharge influencée (m ³ /j)	Drainage (m ³ /j)	Écoulement aval (m ³ /j)
LEZ-2	9 587	8 861	5 189	3 472
LEZ-3	11 122	11 143	13 130	-1 986
LEZ-4	11 994	12 466	2 494	6 510
LEZ-5	5 714	4 918	17 659	-9 480
LEZ-6	16 011	15 639	16 713	-1 234
LEZ-7	6 202	6 048	0	16 210
LEZ-8	12 690	14 188	29 267	-12 385
LEZ-9	15 722	17 195	8 742	9 464
LEZ-10	10 966	11 983	24 777	-12 407
AYG-8	11 005	12 667	3 092	12 634
AYG-9	17 208	18 936	1 733	44 978
AYG-10	7 783	8 838	11 980	49 806
AYG-11	10 064	11 773	1 709	56 666
AYG-12	12 672	14 820	0	77 756
AYG-13	10 271	6 703	0	88 556
AYG-14	10 323	1 944	68 488	13 462
Meynes	16 046	16 046	33 676	n.a.
Ouvèze	68 049	68 049	17 405	32 176
Massifs tortoniens	43 303	43 303	n.a.	n.a.
Vallée du Rhône	12 597	12 597	61 725	n.a.
Total	319 329	318 117	317 779	
Erreur		338	0.1%	

Tableau n°22 : Flux (m³/j) de recharge, d'écoulement souterrain et de drainage par sous-bassin



Les résultats de la simulation en régime transitoire saisonnier sont présentés aux tableaux et figures ci-après. Tenant compte d'un délai moyen d'écoulement vertical de l'eau au travers de la zone non saturée (zone vadose), l'été correspond à la période mi-juin à mi-septembre, l'automne à celle de mi-septembre à mi-décembre, l'hiver de mi-décembre à mi-mars et le printemps de mi-mars à mi-juin.

	Volume saisonnier en m ³ /j			
	été	Automne	Hiver	Printemps
AYG-8	1790	1510	6520	4950
AYG-9	870	900	3680	2530
AYG-10	8880	9540	17070	13480
AYG-11	1250	1230	2240	1900
AYG-12	0	0	5	30
AYG-13	350	50	3950	3880
AYG-14	64610	62310	76340	74010

Tableau n°23 : Débits d'apports en m³/j à l'Eygues en régime influencé en moyenne trimestrielle sur les 40 dernières années

	Débit saisonnier en l/s			
	été	Automne	Hiver	Printemps
AYG-8	21	17	75	57
AYG-9	10	10	43	29
AYG-10	103	110	198	156
AYG-11	14	14	26	22
AYG-12	0	0	0	0
AYG-13	4	1	46	45
AYG-14	748	721	884	857

Tableau n°24 : Débits d'apports en l/s à l'Eygues en régime influencé en moyenne trimestrielle sur les 40 dernières années

L'illustration suivante présente les courbes piézométriques et les directions d'écoulements dans le secteur drainé par les Meynes. Le flux moyen drainé par les Meynes est selon le modèle de 34 000 m³/j, soit environ 400 l/s. Cette alimentation des Meynes se fait depuis le quadrant Nord-Est et ne sollicite a priori pas d'eau du corridor de l'Aygues. Le même résultat avait été montré par la carte piézométrique tracée à l'aide des mesures de terrain.

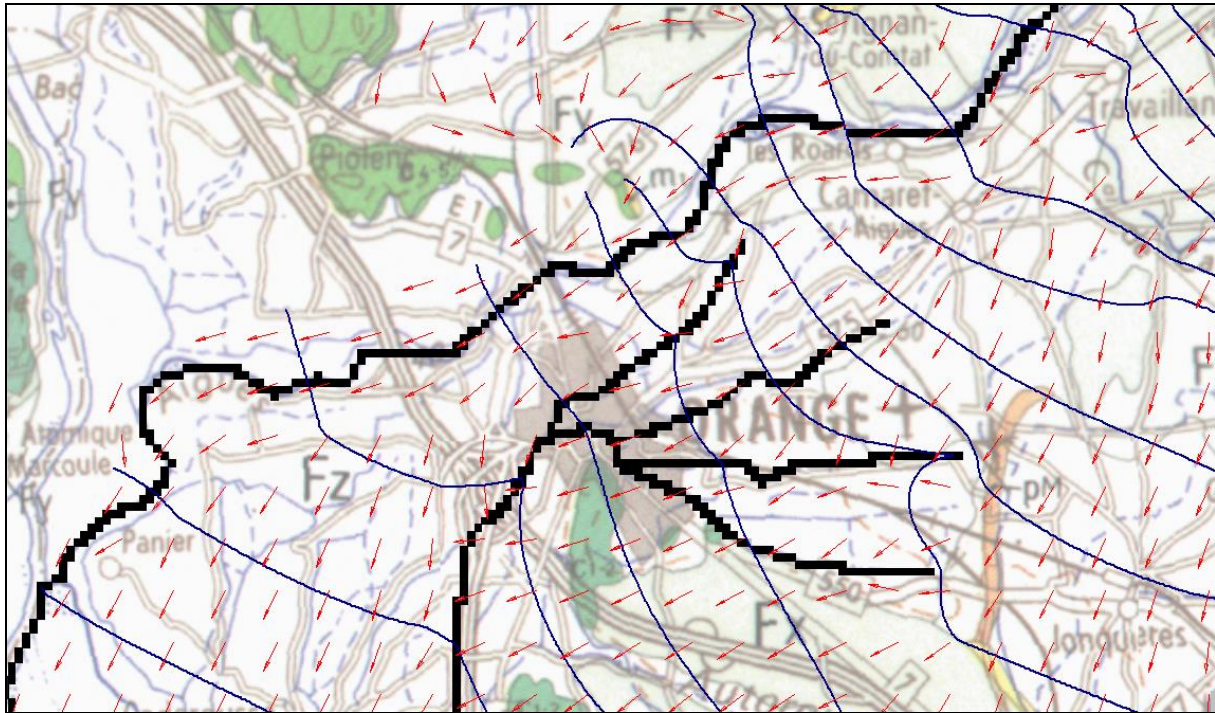


Illustration n°58 : Courbes piézométriques et directions d'écoulements dans le secteur drainé par les Meynes

Les résultats de la modélisation confirment les résultats des levées piézométriques réalisées dans les phases précédentes de cette étude (campagne piézométrique de 2011 et 2012) qui montre en effet également que :

- les courbes piézométriques sont perpendiculaires au cours de l'Aygues ;
- les courbes piézométriques sont perpendiculaires au cours des Meynes ;
- la piézométrie ne montre aucun écoulement de l'Aygues vers les Meynes ;
- les bassins hydrogéologiques de l'Aygues et des Meynes déterminés par les mesures piézométriques sont clairement disjoints.

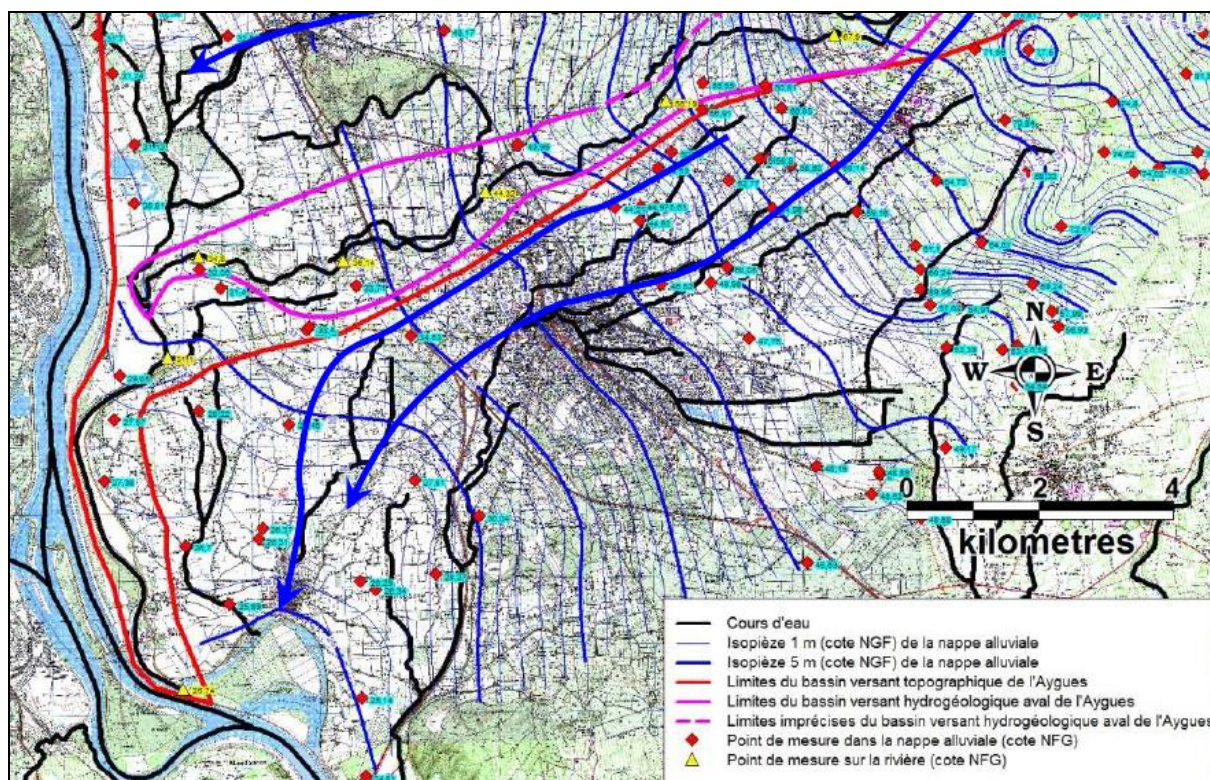


Illustration n°59 : Extrait de la carte piézométrique réalisée dans le secteur drainé par les Meynes

Les jaugeages réalisés en juillet et août 2011 dans le cadre du projet indiquent par ailleurs des débits systématiquement nuls en aval de Cairanne, donc sans possibles pertes de l'Aygues.

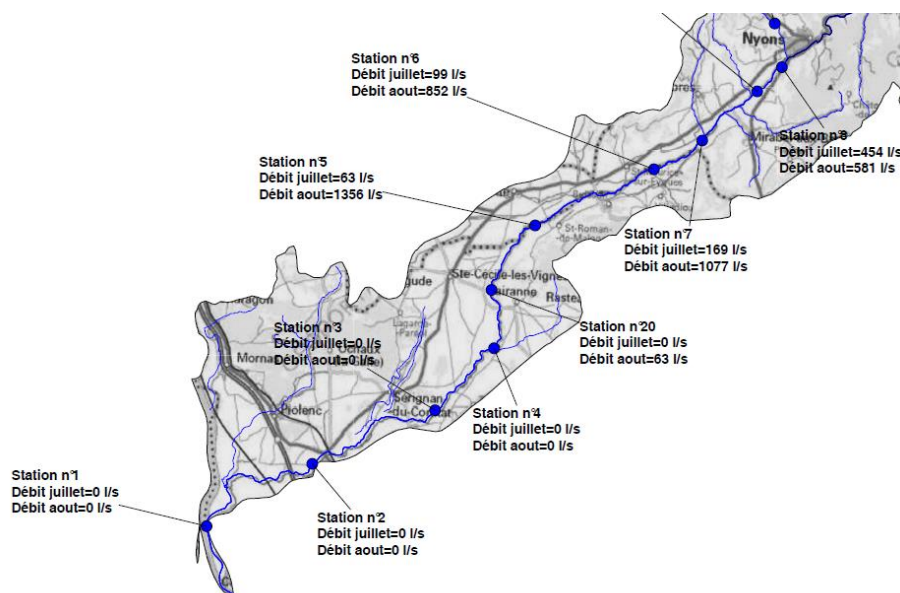


Illustration n°60 : Résultats des jaugeages réalisés en juillet et août 2011

Notons également que le lit de l'Aygues en aval est certes légèrement perché par rapport à la nappe mais qu'il est à sec sur sa majeure partie avec un débit nul. Ce n'est qu'en hautes eaux que l'Aygues se remet en eau à la faveur de la remontée de la nappe.

Le modèle qui reproduit très fidèlement les piézométries mesurées au niveau des secteurs de l'Aygues aval et des Meynes (avec une erreur voisine de 0) confirme cette même morphologie des écoulements globalement parallèles aux cours de l'Aygues et des Meynes. Le modèle indique un apport du sous-bassin Aygues-13 de 9338 m³/j au profit du sous-bassin des Meynes et un apport du sous-bassin des Meynes de 838 m³/j au profit du sous-bassin Aygues-14 (localisation des sous-bassins à la Figure A22). Ces échanges sont ceux entre sous-bassins versants topographiques et non entre cours d'eau. Ces flux sont dans tous les cas négligeables (4%) compte tenu des débits d'écoulement de ces sous-bassins (88556 m³/j pour le sous-bassin Aygues-13 et 13462 m³/j pour le sous-bassin Aygues-14) et des flux drainés par l'Aygues aval (68557 m³/j) et les Meynes (36640 m³/j).

L'illustration suivante présente quant à elle la direction des écoulements dans l'interfluve entre Aygues et Lez. La carte montre l'existence d'écoulements provenant du BV de l'Aygues et partant en direction ouest et nord-ouest au profit du BV du Lez. Le flux quittant la nappe des alluvions du bassin versant de l'Aygues au profit du bassin versant du Lez est estimé par le modèle à 4889 m³/j.

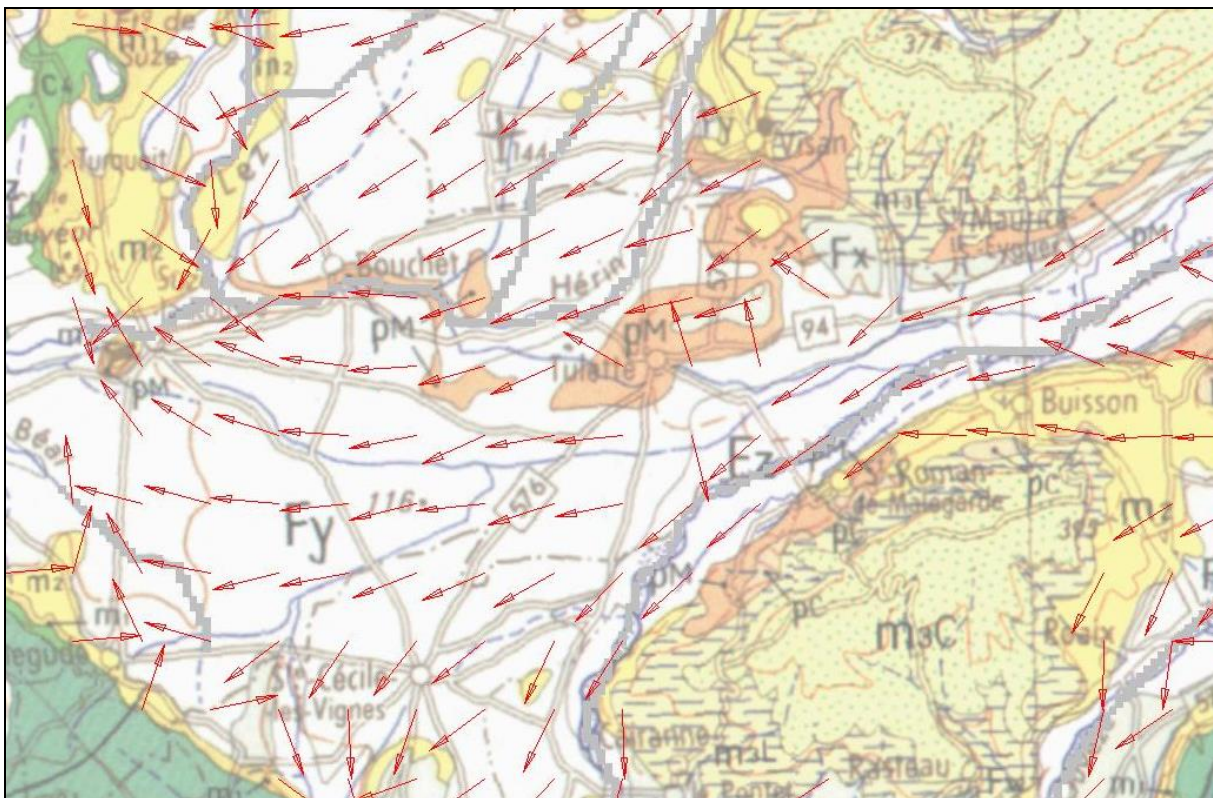


Illustration n°61 : Direction des écoulements dans l'interfluve entre Aygues et Lez

De la même façon, le modèle simule un flux quittant la nappe des alluvions du bassin versant de l'Ouvèze au profit du bassin versant de l'Aygues. Ce flux est estimé par le modèle à 3324 m³/j. Rappelons cependant que nous ne disposons d'aucune information sur le régime influencé du bassin de l'Ouvèze (puisque ce bassin est hors mandat). Nous y avons donc appliqué le régime non influencé (recharge de la nappe due aux précipitations sans prélèvements et apports par les canaux d'irrigation et eaux usées). La simulation ainsi réalisée ne peut donc refléter parfaitement la réalité. Le flux d'échange entre les BV de l'Ouvèze et de l'Aygues doit donc être pris avec réserve.

A titre informatif, le flux quittant la nappe des alluvions du bassin versant de l'Ouvèze au profit du bassin versant des Meynes est estimé par le modèle à 11371 m³/j. C'est donc le secteur des Meynes qui bénéficie le plus des apports depuis le BV de l'Ouvèze. La même réserve s'applique sur le régime non influencé de l'Ouvèze.

□ *Résultats en régime non influencé (naturel)*

Une fois le calage réalisé en régime influencé, la modélisation hydrogéologique a permis de définir les volumes d'apport saisonnier au bassin versant de l'Eygues en régime non influencé.

La simulation en régime transitoire a été réalisée en utilisant les précipitations trimestrielles des 40 dernières années selon la répartition suivante :

- Hiver : pour la période mi-octobre à mi-janvier ;
- Printemps : pour la période mi-janvier à mi-avril ;
- Eté : pour la période mi-avril à mi-juillet ;
- Automne : pour la période mi-juillet à mi-octobre.

Les résultats de la simulation en régime transitoire saisonnier sont présentés aux tableaux et figures ci-après. Tenant compte d'un délai moyen d'écoulement vertical de l'eau au travers de la zone non saturée (zone vadose), l'été correspond à la période mi-juin à mi-septembre, l'automne à celle de mi-septembre à mi-décembre, l'hiver de mi-décembre à mi-mars et le printemps de mi-mars à mi-juin.

	Volume saisonnier en m ³ /j			
	été	automne	hiver	printemps
AYG-8	1220	530	4040	3740
AYG-9	640	406	2100	1830
AYG-10	8470	7880	14720	12810
AYG-11	1040	880	1830	1650
AYG-12	0	0	20	15
AYG-13	1460	260	6690	7090
AYG-14	69740	67490	83080	80070

Tableau n°25 : Débits d'apports en m³/j à l'Eygues en régime naturel en moyenne trimestrielle sur les 40 dernières années

	Débit saisonnier en l/s			
	été	automne	hiver	printemps
AYG-8	14	6	47	43
AYG-9	7	5	24	21
AYG-10	98	91	170	148
AYG-11	12	10	21	19
AYG-12	0	0	0	0
AYG-13	17	3	77	82
AYG-14	807	781	960	927

Tableau n°26 : Débits d'apports en l/s à l'Eygues en régime naturel en moyenne trimestrielle sur les 40 dernières années

On remarque que les volumes drainés peuvent presque doubler entre l'été et l'hiver selon les sous-bassins mais pas de façon suffisamment drastique au point d'annuler le débit contribué aux sous-bassins.

On observe une grande variabilité des apports selon les bassins versants. En effet, le bassin versant n°10 apporte au débit de l'Eygues plus de 127 l/s en moyenne pour chaque saison.

Pour le sous-bassin aval de l'Aygues (AYG-14) les volumes drainés sont vraisemblablement surestimés du fait que le drainage constitue la seule sortie possible de l'eau souterraine. Il y a donc lieu de

considérer avec prudence les valeurs du drainage de ces sous-bassins aval. Dans les parties aval des bassins versants, l'extension de l'aquifère régional a été limitée à celui de la molasse, la présence des alluvions peut permettre en effet un écoulement important d'eau. La non prise en compte de cet écoulement dans le modèle implique que tout le débit souterrain soit drainé dans les derniers sous-bassins.

D.II.4 Conclusion

Cette modélisation montre que les débits d'alimentation de la nappe régionale à l'Eygues sont très importants avec plus de 150 l/s en période d'été (hors BV14). La nappe régionale permet donc d'alimenter la nappe alluviale de l'Eygues où si celle-ci est saturée l'Eygues. Elle permet ainsi un soutien des débits d'été. La nappe régionale s'étend sur plusieurs bassins topographiques : Lez, Eygues, Ouveze

D.III MODELE HYDROLOGIQUE

Après avoir déterminé quelles étaient les apports de la nappe régionale au débit de l'Eygues et de sa nappe alluviale, il est nécessaire de modéliser les débits ruisselés, c'est-à-dire les débits de l'Eygues et de sa nappe alluviale. Pour cela, une modélisation hydrologique est réalisée. Elle permettra par une chaîne de calcul de définir les débits de l'Eygues par sous bassins versants.

D.III.1 Chaîne de calculs pour déterminer les 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 Modèle 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.

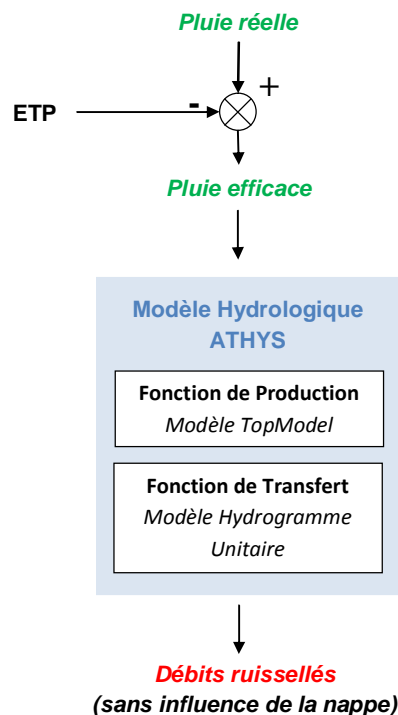


Illustration n°62 : Détails de la chaîne de calcul du modèle hydrologique ATHYS

D.III.2 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 pour entrant 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 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 à l'exutoire du bassin versant. 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 à l'exutoire.

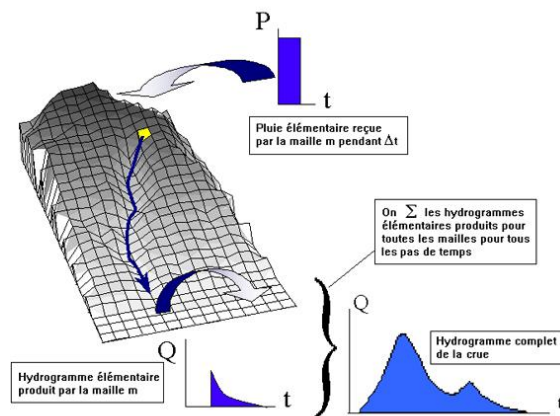


Illustration n°63 : Fonctionnement du modèle ATHYS (source : IRD)

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

- Pour la production, le modèle *pseudo* SCS. C'est un modèle conceptuel à réservoirs particulièrement adapté pour les débits d'étiage ;
- Pour le transfert, le modèle de l'hydrogramme unitaire, couramment utilisé en hydrologie

D.III.3 Présentation du module ETP

Pour tenir compte de l'évapotranspiration, 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.III.4 Période de simulation

Le logiciel est utilisé pour simuler les débits de 1976 à 2010 avec un calage sur la période de 1976 à 1993 par calcul du débit au droit de la station hydrométrique de Saint May.

Les hydrogrammes calculés par le modèle sont au pas de temps journalier. Ce pas de temps est particulièrement intéressant pour les problématiques de préservation du milieu aquatique : une non-satisfaction des besoins durant quelques jours suffit pour affecter la vie biologique. Une simulation au pas de temps mensuel ne donne que des valeurs moyennes, qui peuvent occulter une partie des stress subis par le milieu.

D.III.5 Traitement des données

□ Traitement des données géographiques

Par l'intermédiaire de l'Agence de l'Eau Rhône - Méditerranée, le Modèle Numérique de Terrain a été obtenu (source : Bd Alti de l'Institut Géographique National (IGN)).

Le MNT est un ensemble de points altimétriques (trois coordonnées, x, y et z) situé tous les 100 m. L'assemblage de 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).

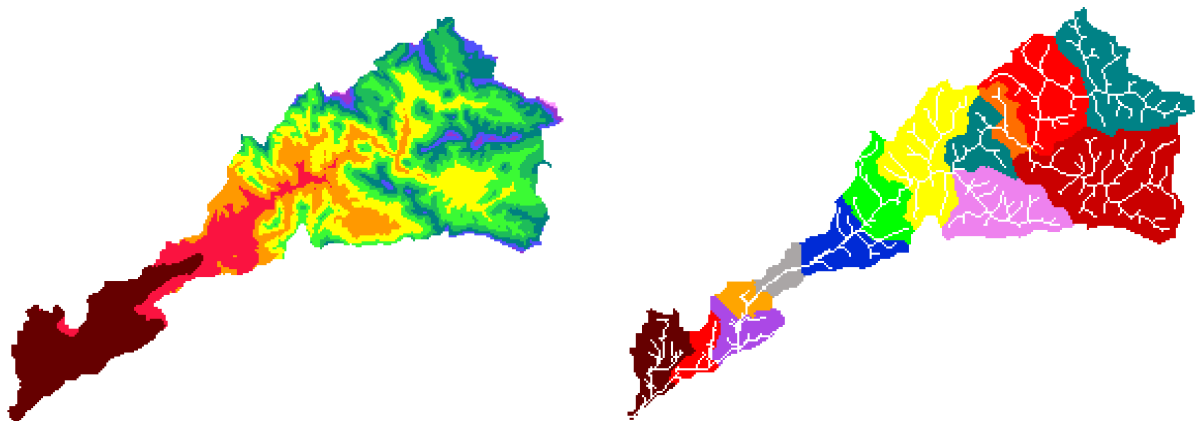


Illustration n°64 : Exemple de carte des altitudes (à gauche) et du réseau hydrographique (à droite)

❑ *Classe de production*

Les ruissellements produits à partir des précipitations sont variables en fonction de nombreux paramètres : durée et/ou l'intensité des précipitations, nature géologique des sols, pentes des terrains, occupations des sols, etc.

Au niveau du bassin versant de l'Eygues, trois classes de production différentes ont été identifiées à partir de l'occupation du sol (CORINE landcover) et de la topographie (pentes) (cf. illustration 21) :

- **Zone de faible ruissellement** qui correspond aux plaines en aval de Nyons;
- **Zone de fort ruissellement** correspondant aux zones de sols nus et de pelouse et/ou de fortes pentes principalement sur les reliefs en amont de Nyons au niveau des bassins versant 1 à 7 ;
- **Zone intermédiaire** avec des ruissellements moyens qui rassemble toute les classes d'occupation du sol de CORINE Landcover non citées précédemment.



Illustration n°65 : Exemple de carte des altitudes (à gauche) et du réseau hydrographique (à droite)

A partir de la classification précédente concernant l'occupation des sols et les pentes, le tableau suivant présente la répartition des superficies du bassin versant de l'Eygues en fonction des classes de production.

Classe de Production	Surface (km ²)	Importance
1 ó fort ruissellement	400	39%
2 ó ruissellement moyen	121	12%
3 ó faible ruissellement	505	49%
Total	1026	100 %

Tableau n°27 : Répartition des superficies des classes de production au niveau du bassin versant

Sur une superficie totale de 1026 km², les zones de fort ruissellement concerne 49% de la superficie du bassin versant (en marron sur l'illustration 24). Ces zones correspondent aux reliefs avec des sols nus et/ou à fortes pentes.

□ *Traitement des données météorologiques*

Pour le calcul hydrologique nous avons utilisé les données météorologiques de 10 postes pluviométriques :Bellegarde, Besignan, Cairanne, Mirabel, Mondragon, Montjoux, Remuzat, Rosans, Saint Nazaire, et Vinsobres.

Les durées d'observation sur ces postes ne sont pas identiques. En conséquence, les données manquantes ont été reconstituées. Les principes d'élaboration sont les suivants :

Station	Durée d'observation	Période reconstituée
Bellegarde	1973-2010	-
Besignan	1990-2010	1973-1989
Cairanne	1988-2007	1973-1987 2008-2010
Mirabel	1980-2010	1973-1980
Mondragon	1996 -2006	1974-1996 2006-2010
Montjoux	1973-2010	1997 - 2008
Remuzat	1973-2010	-
Rosans	1973-2010	-
Saint nazaire	1991-2010	1973-1991
Vinsobres	1990-2010	1973-1990

Tableau n°28 : Données pluviométriques reconstituées

Les principes d'élaboration sont les suivants :

- Pour la pluviométrie, des corrélations linaires ou la méthode d'autocorrélation ont été déterminées entre la station de Cairanne, de Bellegarde, de Remuzat, de Rosans et les autres stations utilisées par le modèle. La corrélation est estimée, lorsque les données sont disponibles, sur la période 1974 à 2010.
- Pour la température, un gradient (décroissant) de température de 0.5 °C par dénivelé de 100 m a été appliqué à partir de la station d'Orange pour obtenir les températures sur les autres stations.
- Pour l'ETP, à partir de la station d'Orange, une corrélation (fonction exponentielle) entre la température et l'ETP a été estimée. Cette corrélation a ensuite été appliquée sur les températures reconstituées des autres stations utilisées dans le modèle pour obtenir leurs valeurs de l'ETP.

❑ *Calcul de la lame d'eau précipitée*

Les informations climatologiques sont connues ponctuellement au droit de 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.

Station	Surface (km ²)	Pourcentage par rapport à la surface total du BV de l'Eygues (%)
Bellegarde	110	10
Besignan	99	9
Cairanne	88	8
Mirabel aux Baronnies	154	14
Mondragon	77	7
Montjoux	33	3
Remuzat	209	19
Rosans	242	22
Saint Nazaire	44	4
Vinsobres	44	4

Tableau n°29 : Influence comparée des stations pluviométriques sur le bassin versant

D.III.6 Calage

D.III.6.1 Choix des stations hydrométriques utilisés et période de calage

Les stations hydrométriques des affluents ainsi que la station de Saint André de Rosans ne seront pas utilisés pour le modèle hydrologique étant donnée les faibles périodes de fonctionnement.

Seule la station de Saint May sera utilisée. Néanmoins, les données récentes sont jugées peu fiables (cf paragraphe C.II.1 : Ecart de plus de 10% lors de comparaison avec des jaugeages réalisés en 2009/2010). **Il est ainsi proposé sur ces stations d'utiliser les débits antérieurs à 1993. Ces données anciennes sur une station influencée présentent l'inconvénient de ne pas connaître les prélèvements de l'époque. Il est révélé lors des entretiens que les prélèvements et restitutions sur le bassin versant et notamment pour l'usage agricole n'ont pas trop variés depuis les années 1970. Il faut aussi noter que cette station se situe à l'amont du bassin avec un flux de prélèvement de 40 l/s environ. L'erreur sur les prélèvements est donc faible. Néanmoins l'erreur possible sur les prélèvements est plus faible que l'erreur sur les mesures.**

❑ *Calage des paramètres sur les débits de l'Eygues à Saint May*

Le calage a été réalisé manuellement et par optimisation numérique car le modèle ATHYS possède un module de calage automatique. Le critère de calage est l'écart quadratique moyen (EQM) sur les débits inférieurs à 10 m³/s.

Compte tenu que trois classes de production (Tableau n°22) ont été créés, il a fallu 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'Eygues. Les valeurs retenues sont en *annexe 2*.

La station de Saint May au pont de la Tune est influencée par les prélèvements. Il n'est donc pas possible de réaliser un calage sans les prendre en compte. Il a donc été réalisé une synthèse des prélèvements présentés dans le rapport de phase 2 avant de revenir sur le calage des modèles.

D.IV MODELE DE NAPPE ALLUVIALE

D.IV.1 Présentation du modèle

□ Généralités

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

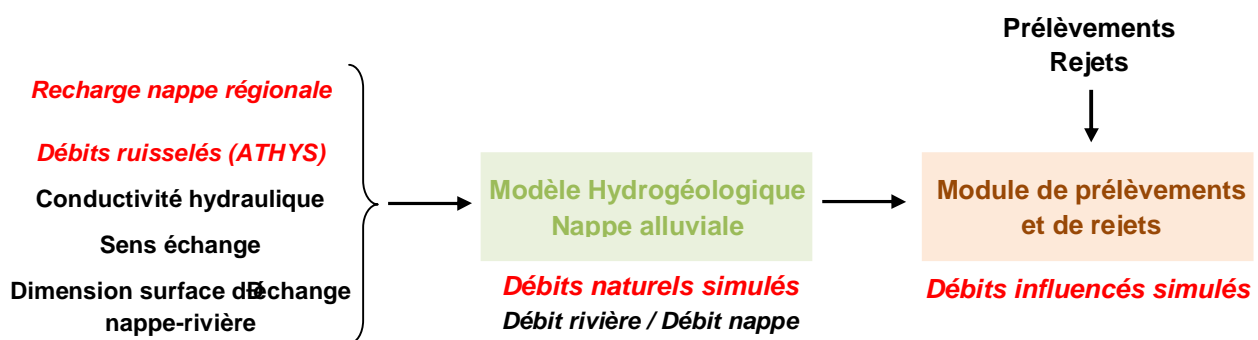


Illustration n°66: Synoptique du modèle hydrogéologique des échanges nappes-rivières

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 et la recharge par la nappe régionale en plusieurs points de références. Ensuite de l'amont vers l'aval à partir de la zone d'influence de la nappe alluviale du cours d'eau principal (ou des affluents), celui-ci est découpé en tronçons hydrogéologiquement cohérents : secteur d'infiltration, secteur de résurgence de la nappe, secteur de nappe indépendante.

Le calcul des débits de surface et de nappe est alors réalisé en cascade, des tronçons amont aux tronçons aval, en fonction du type de tronçon :

- Sur les tronçons d'infiltration, le débit infiltré calculé sur la base de la loi de Darcy est retranché au débit de surface. La nappe alluviale voit elle son débit augmenter du débit perdu en surface. Si la nappe est saturée, le débit reste en surface.
- Sur les tronçons de résurgence (caractérisés par des secteurs où le débit capable de la nappe alluviale est limitée par des verrous rocheux, une hauteur d'alluvion réduite ou une faible perméabilité), le débit estimé de la nappe à l'aval du tronçon est comparé à la capacité maximale de la nappe, le débit ne pouvant transiter par la nappe est redistribué en surface ;

- Sur les tronçons où la nappe est indépendante de la rivière, il n'y a aucun échange entre les deux ressources en eaux.

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

Lorsque des prélèvements (ou des rejets) sont pris en compte, ils sont sectorisés pour déterminer le tronçon et la ressource (surface ou nappe) auxquels ils s'appliquent. Le prélèvement (ou le rejet) est ensuite appliqué au calcul des débits tronçon par tronçon. Ils interviennent donc dans la détermination des débits échangés entre la nappe et la rivière.

Dès lors, il est possible de voir que, sur des secteurs d'infiltration, les prélèvements en nappe vont tendre à limiter les débits de surface, alors que dans des secteurs de non échange nappe rivière, 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.

□ *Découpage en secteurs hydrogéologiques homogènes de l'Eygues*

A partir des éléments concernant les relations nappe/rievière, la nappe alluviale de l'Eygues a été découpée en tronçons hydrogéologiques homogènes. Le découpage se base principalement sur le sens des échanges entre la rivière et la nappe.

Sachant que les caractéristiques de la nappe alluviale ont été prises en compte lors du découpage des sous-bassins versants de l'Eygues les tronçons homogènes sont communs avec les sous bassins versants prenant en compte :

- La géométrie de la nappe alluviale avec son extension latérale et son épaisseur. L'importance de la nappe alluviale est très variable d'amont en aval sur l'Eygues;
- Les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe alluviale par tronçons : perméabilité, gradient de la nappe, débit maximum possible ;
- Les sens des échanges entre la nappe alluviale et les cours d'eau avec la valeur « 1 » pour les échanges de la nappe alluviale vers la rivière et « -1 » pour les échanges de la rivière vers la nappe alluviale.

Compte tenu des informations sur les extensions des nappes alluviales et les propriétés hydrodynamiques des terrains en contact avec les cours d'eau, plusieurs sous bassins versants présentent des nappes alluviales de faibles extensions voire même inexistantes :

- BV1 (Eygues Amont) ;
- BV2 (Oule amont) ;
- BV3 (Oule aval);
- BV4 (Saint May) ;
- BV5 (Eygues) ;
- BV6 (Ennuye).

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

Bassin versant	Nappe alluviale	Sens d'échange 1 : Nappe ó Rivière - 1 : Rivière ó Nappe	Perméabilité moyenne (m/s)	Largeur du cours d'eau (m)	Longueur secteur (m)
BV7	Eygues	-1	10 ⁻³	12	8600
BV8	Eygues	-1	10 ⁻³	12	8600
BV9	Eygues	-1	10 ⁻³	12	6100
BV10	Eygues	-1	10 ⁻³	12	3800
BV11	Eygues	-1	10 ⁻³	10	5700
BV12	Eygues	-1	10 ⁻³	10	6600
BV13	Eygues	-1	10 ⁻³	6	11200
BV14	Eygues	-1	10 ⁻³	6	11500

Tableau n°30 : Secteurs homogènes de nappe alluviale sur le bassin

Les largeurs des cours d'eau ont été mesurées lors des investigations de terrain et des campagnes de jaugeages. En ce qui concerne les longueurs de chacun des secteurs hydrogéologiques, ils ont été mesurés à partir de la carte IGN.

D.IV.2 Calage

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.

Il est donc réalisé dans un premier temps une synthèse des prélèvements présentés dans le rapport de phase 2 avant de revenir sur le calage des modèles.

□ Méthode de calage

La reconstitution des débits simulés influencés sur l'aval du bassin versant se réalise par l'équation suivante :

$$Q \text{ influencé simulé} = \text{Recharge nappe régionale} + Q_{\text{ruisselé}} \text{ ó } Q_{\text{nappe}} \text{ ó } Q_{\text{prélèvement/restitution}}$$

Q correspond à un débit

La modélisation hydrologique sous ATHYS permettra de caractériser le débit ruisselé et la modélisation de la nappe régionale a permis de connaître les débits de recharge. L'appréciation des débits de prélèvements et restitutions sont donc nécessaires pour reconstituer le débit influencé simulé. La modélisation de la nappe alluviale consiste en un calage de la capacité potentielle de la nappe alluviale.

E. CALAGE DES DEBITS INFLUENCES

E.I MODELE DE PRELEVEMENTS ET RESTITUTIONS

Afin de prendre en compte l'impact des usages sur le fonctionnement hydrologique du bassin, un module prélèvements et restitutions a été créé afin d'affecter un bilan de flux (restitutions et prélèvements) à chaque sous bassin correspondant. Lors de cette étape, plusieurs questions se posent notamment la localisation des prélèvements et des restitutions, ainsi que leur impact sur le débit des cours d'eau.

La prise en compte des prélèvements et des restitutions permet d'obtenir des débits réels à partir des débits naturels. Cette étape permet de valider la modélisation (comparaison avec les données mesurées) avant de définir les volumes prélevables en phase 5.

□ Localisation des prélèvements / restitutions et prise en compte dans le modèle

Suite à la caractérisation de l'ensemble des prélèvements et restitutions sur le bassin versant, ceux-ci ont été répartis sur chaque sous bassin en fonction du lieu de prélèvement ou de restitution.

La prise en compte et la localisation des prélèvements et restitutions sont faites selon la méthodologie suivante :

- Les points de prélèvements avaient été géolocalisés, ou affectés par sous bassins versants pour les prélèvements domestiques par exemple, lors de la phase 2 de l'étude
- Les restitutions des stations d'épuration ont été localisées selon les informations du SATESE ;
- Les restitutions des structures individuelles d'épuration ont été localisées selon la répartition des habitations non connectées au réseau collectif ;
- Les restitutions des stations d'épuration à proximité des cours d'eau (moins de 500 m d'un cours d'eau) ont été considérées comme des contributions aux débits de surface alors que les restitutions des stations d'épuration plus éloignées ont été considérées comme des contributions aux écoulements de la nappe d'accompagnement.

□ Conversion des volumes en débits

La phase 2 de l'étude a permis d'établir un bilan des flux en volume à l'échelle mensuelle à partir de la limite du bassin hydrographique. Ces volumes ont été convertis en débit journalier.

Pour ce faire, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Les prélèvements AEP sont considérés en continu sur 24 heures (débit en continu non régulé) ;
- Les prélèvements agricoles individuels sont considérés sur 10 heures (le temps de pompage est dépendant du taux d'équipement de l'exploitation et de la surface à arroser) ;
- Le prélèvement agricole collectif (canaux) est considéré en continu ;
- Toutes les restitutions sont considérées en continu sur 24 heures.

Le tableau suivant présente le bilan des flux en débit par sous bassin des débits à l'échelle annuelle et en période d'été (juin à septembre). Les prélèvements ont été mensualisés dans le cadre de l'étude.

		Flux moyen annuel (l/s)	Flux moyen annuel cumulé (l/s)	Flux moyen étiage (juin à septembre (l/s)	Flux moyen étiage cumulé (juin à septembre (l/s)
BV1	Eygues	-8	-8	-11	-11
BV2	Oule	-7	-7	-14	-14
BV3		-4	-11	-5	-29
BV4	Eygues	-22	-40	-37	-66
BV5		4	-37	5	-61
BV6	Ennuye	-1	-1	-2	-2
BV7	Eygues	-5	-43	-9	-72
BV8		-37	-80	-72	-145
BV9		-68	-148	-122	-266
BV10		-70	-218	-150	-416
BV11		-83	-301	-168	-584
BV12		-57	-358	-121	-705
BV13		-28	-386	15	-690
BV14		-95	-481	-144	-833

Tableau n°31 : Bilan annuel et en saison d'étiage des prélèvements et restitutions par bassin versant

Le flux moyen cumulé correspond au flux total des prélèvements et restitutions sur les bassins versants amont au point de calcul.

Les prélèvements pris en compte sont issus d'une hypothèse moyenne et réaliste. Dans les phases ultérieures, une analyse de sensibilité sera réalisée sur d'autres hypothèses.

E.II CALAGE DES MODELES POUR LA RECONSTITUTION DES DEBITS INFLUENCES

E.II.1 Résultats de la reconstitution des débits sur l'amont du bassin versant.

E.II.1.1 Comparaison avec les données mesurées

❑ Station du Pont de la Tune à Saint May (BV4)

Le graphique suivant présente une comparaison des débits moyens mensuels sur l'ensemble de la période observée et simulée (1978 à 1993) au niveau de la station du Pont de la Tune à Saint May (BV4).

On constate que les écarts entre les valeurs observées et reconstituées restent inférieurs à 10% pour l'ensemble des mois sauf pour le mois de janvier, novembre et décembre. Sur la période d'été (juin à septembre), les écarts sont de moins de 2%.

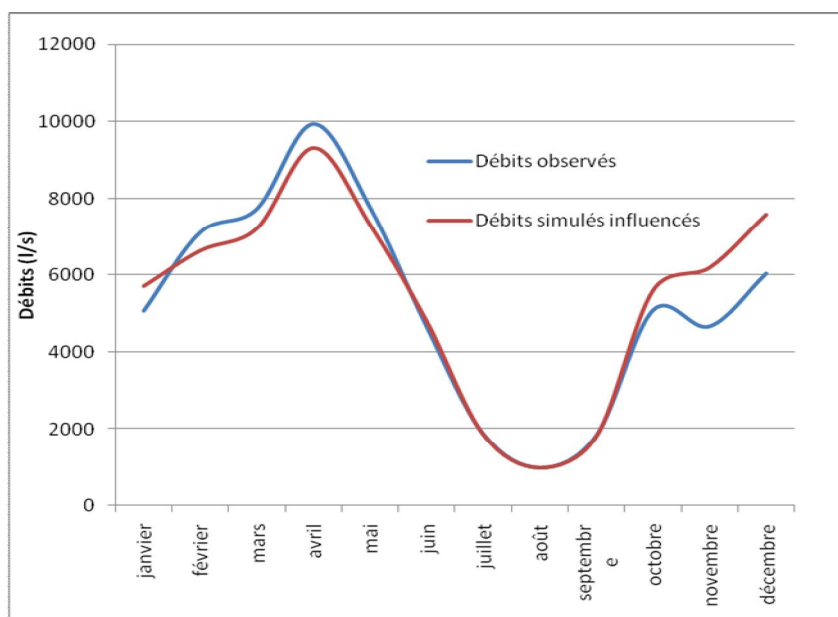


Illustration n°67: Débits moyens mensuels observés et simulés à Saint May sur la période 1978 - 1993

Le graphique ci-dessous montre un exemple de hydrogramme simulé et mesuré.

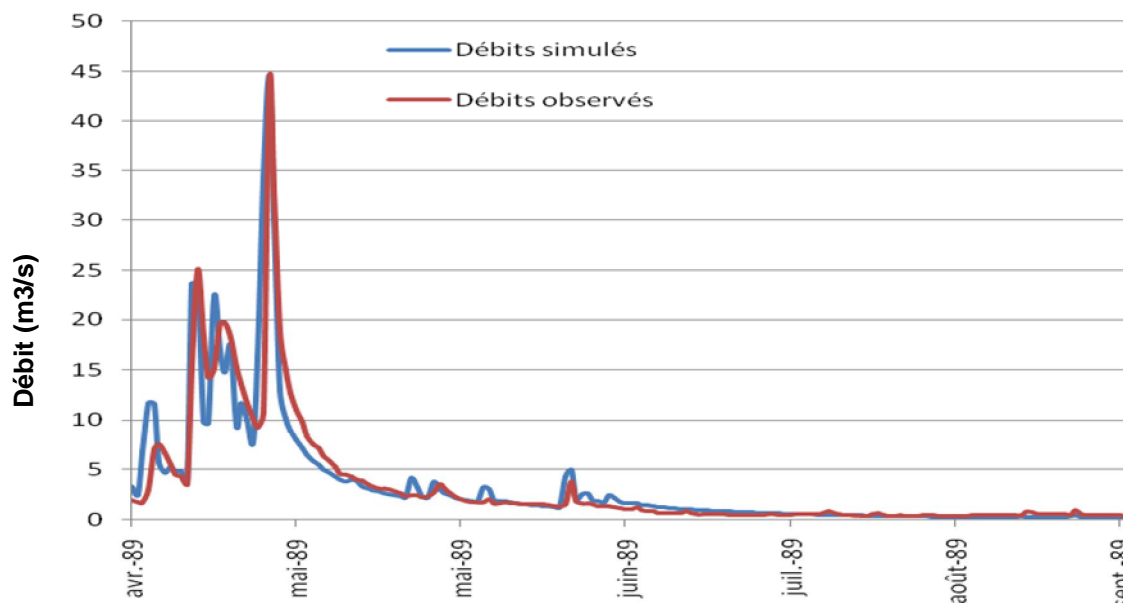


Illustration n°68: Débits observés et simulés de l'Eygues à Saint May entre mai et décembre 1989

Il a été constaté que les données de la station hydrométrique sur les années 2009 et 2010 ne sont pas fiables. Une comparaison des débits influencés simulés avec ces données a tout de même été simulée. Les débits simulés et observés ont un écart de l'ordre de 20% sur la période d'étiage.

E.II.1.2 Comparaison avec les données statistiques

Afin de compléter la comparaison entre les débits observés et les débits modélisés, une analyse statistique des résultats obtenus au droit des stations hydrométriques est présentée.

□ Station de Saint May (BV4)

Le tableau suivant rassemble les débits caractéristiques statistiques observés et simulés (influencés) de Saint May entre 1978 et 1993.

On constate que la reconstitution reproduit correctement les valeurs issues de l'observation, ce qui signifie que **le modèle mis en place a la capacité de reproduire les débits observés.**

	Module (m ³ /s)	Débit moyen mensuel d'août (l/s)	QMNA5 (l/s)	VCN10 (l/s)	VCN3 (l/s)
Simulé influencé	5.41	525	360	240	229
Observé	5.21	538	419	314	281

Tableau n°32 : Débits caractéristiques influencés à la station de Saint May sur la période 1978 - 1993

Le graphique suivant compare les modules influencés simulés et observés à la station hydrométrique de Saint May. Ce graphique, et les suivants, s'organisent selon trois axes :

- L'axe de couleur noire représentant une erreur nulle entre les deux séries comparées ;
- Les axes de couleur orange représentant de part et d'autre de l'axe précédent une erreur de 10% ;
- Les axes de couleur rouge représentant de part et d'autre de l'axe précédent une erreur de 20%.

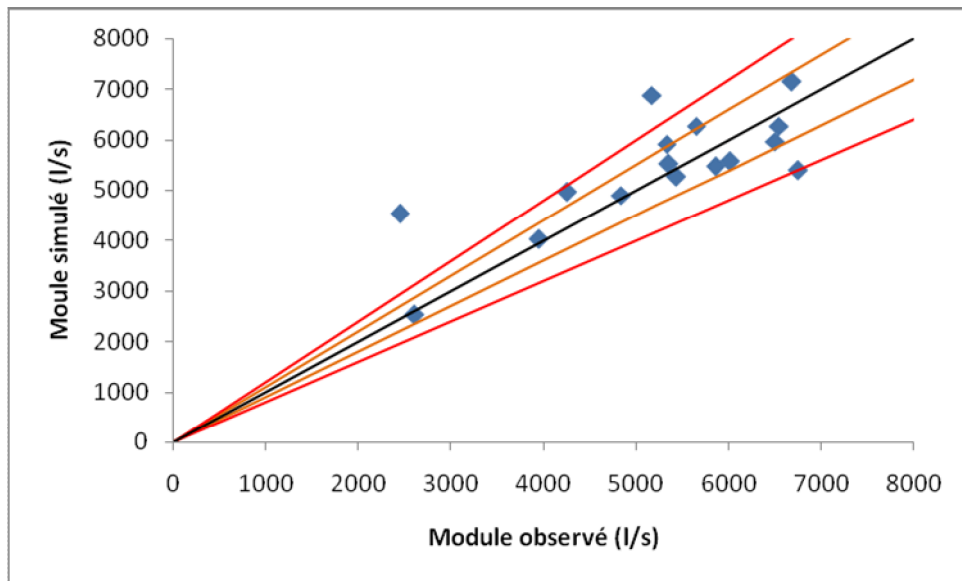


Illustration n°69 : Comparaison des modules observés et simulés de l'Eygues à Saint May

Le graphique suivant présente la comparaison des QMNA des débits simulés et observés toujours entre 1978 et 1993 à la station de Saint May.

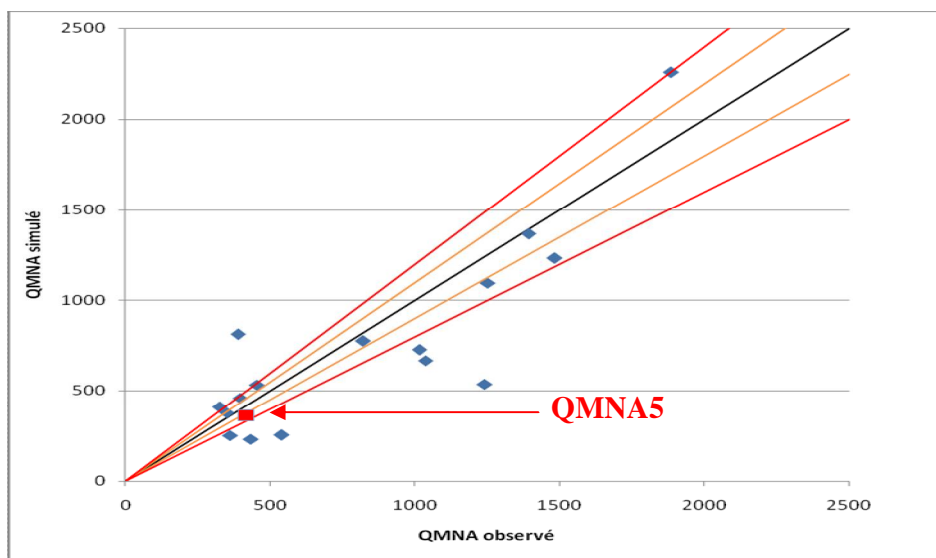


Illustration n°70 : Comparaison des débits moyens influencés simulés et observés du mois d'août à la station de Saint May entre 1978 et 1993

Le graphique suivant présente la comparaison des débits moyens mensuels des mois d'août simulés et observés toujours entre 1978 et 1993 à la station de Saint May.

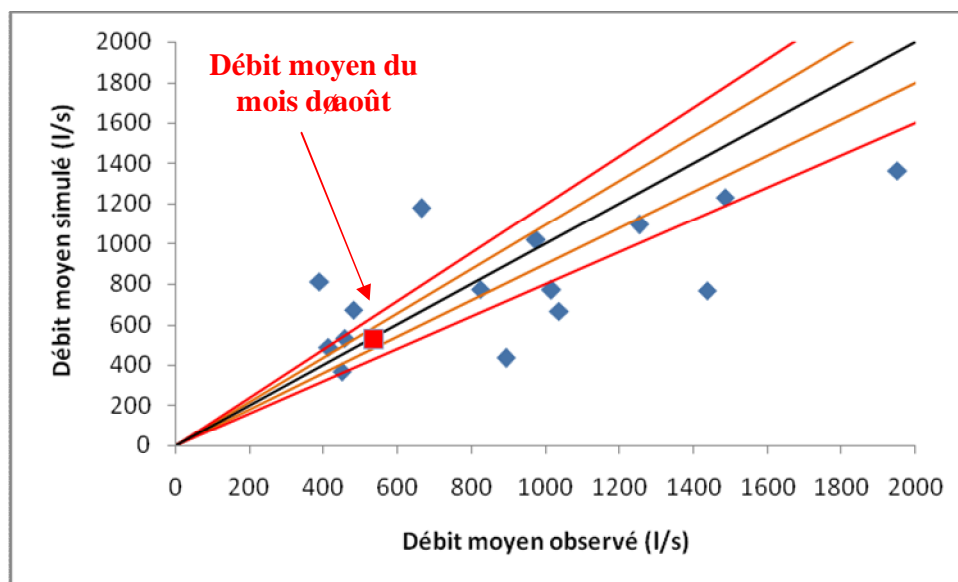


Illustration n°71 : Comparaison des débits moyens influencés simulés et observés du mois d'août à la station de Saint May entre 1978 et 1993

En conclusion de cette comparaison des données observées et simulées aux stations hydrométriques de Saint May, les éléments suivants sont à retenir :

- Les débits de pointe sont sous estimés ;
- La représentation du module est très bonne avec une erreur inférieure à 10 % 12 années sur 16 ;
- Les débits après un événement pluvieux, en période de ressuyage des sols, sont surestimés ;
- Les périodes d'étiage sont correctement simulés.
- Les débits d'étiage ont eux une tendance à la sous estimation. Ceci s'explique essentiellement par les orages estivaux largement sous représentés. La modélisation est correcte sur les valeurs avant et après orage, elle est donc correcte sur le volume d'eau utilisable.
- Les débits spécifiques dans les Baronnie sont bien représentés.

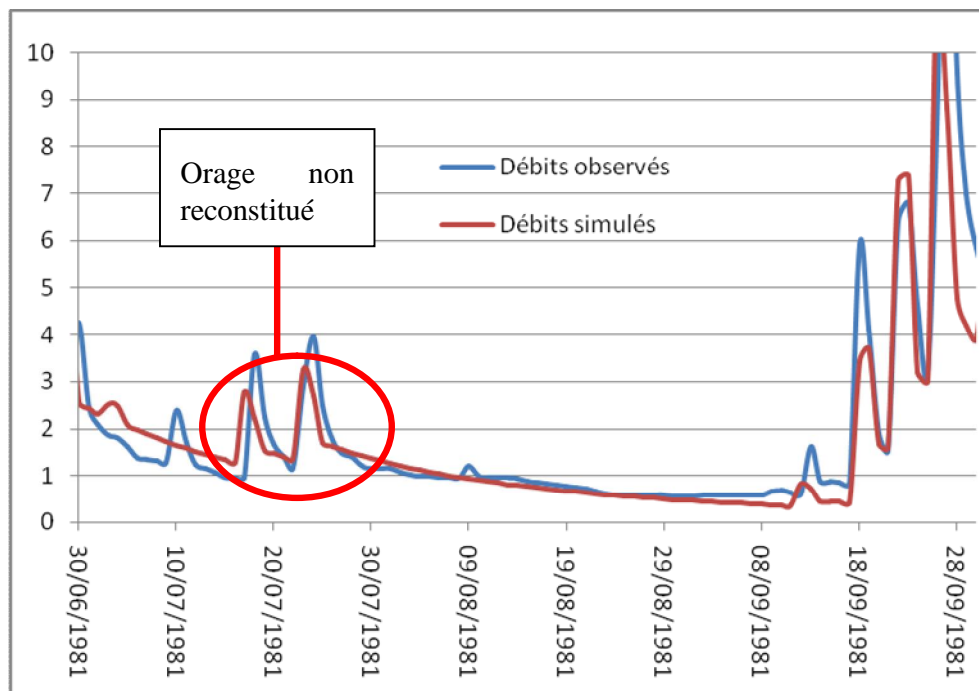


Illustration n°72 : Comparaison des débits influencés simulés et observés sur l'année 1993

La station de Saint May est la station hydrométrique représentative de l'écoulement des eaux dans le massif des Baronnies. (BV1 à BV5). Le calage réalisé a donc été appliqué sur les bassins versants avals jusqu'à Nyons (BV5). De plus, la nappe alluviale étant de très faible extension sur ces bassins versants (hors BV7) voire inexistante, aucune présence de nappe n'a été prise en compte.

E.II.1.3 Validation des classes de production du modèle hydrologique sur la partie aval du bassin versant

L'application des paramètres de calage de Saint May sur le bassin versant BV6 a donné des résultats peu représentatifs de la réalité. Les débits générés en période d'étiage étaient trop importants (QMNA5 proche de 70 l/s). Une troisième aptitude au ruissellement a donc été créée de manière à minimiser les débits sur la partie aval du bassin versant (BV6 à BV14). Les paramètres choisis pour les différentes aptitudes au ruissellement sont affichés en *annexe 2*.

E.II.2 Calage de la reconstitution des débits sur l'aval du bassin versant.

A partir des données d'entrée que sont le sens d'échange, les dimensions du secteur et les 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 débits maximum de la nappe qui sont évalués à partir de données difficilement mesurables comme l'extension ou la perméabilité de la nappe alluviale.

La modélisation a été réalisée sur les sous bassins versants de l'Eygues pour l'ensemble de la chronique disponible (1978 à 2010).

Les paramètres retenus pour le modèle de la nappe alluviale sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Bassin versant	Sens d'échange	Perméabilité (m/s)	Débit maximum de la nappe (l/s)
BV1	Sans nappe alluviale		
BV2			
BV3			
BV4			
BV5			
BV6			
BV7	-1	0.001	150
BV8	-1	0.01	150
BV9	-1	0.01	150
BV10	-1	0.01	150
BV11	-1	0.01	750
BV12	-1	0.01	750
BV13	-1	0.01	1200
BV14	-1	X	X

Tableau n°33 : Paramètres des tronçons de rivières et de nappes alluviales du module hydrogéologique

Le calage du module de nappe a été réalisé au niveau de Cairanne où des données ROCA sont disponibles. Les apports de la nappe régionale ont été pris en compte et ajouté aux débits ruisselés d'ATHYS afin d'obtenir le débit total ruisselé. Il a consisté ensuite à caler les débits de surface et souterrains en fonction des caractéristiques d'écoulement de la nappe d'accompagnement.

De plus, il a été vérifié sur les autres bassins versant (BV8 à BV13) que ce calage ne dispose pas d'un débit maximum d'écoulement de la nappe estimé trop important car il peut entraîner un assèchement total des débits de surface, dans des secteurs où ce phénomène est inconnu. A contrario un débit maximum de la nappe trop faible va maximiser les débits de surface.

Cette étape a donc consisté à ajuster les paramètres d'écoulement de la nappe, afin de caler les débits de surface. Le graphique ci-dessous montre l'hydrogramme simulé à l'exutoire du BV11 au niveau de Cairanne en comparaison avec les données ROCA à Cairanne et les relevés SMIAA à Orange.

E.II.2.1 Calage sur les données ROCA à Cairanne

La comparaison entre les données simulées influencées et les données ROCA met en évidence que la simulation permet de reproduire les assecs de manière fiable. Le début de l'assec chaque année a été calé sur le début de l'indice ROCA assec et non débit invisible car cela permet d'obtenir que la remontée des débits en fin de période d'étiage se réalise de manière concomitante avec l'indice ROCA débit normal. Une augmentation des débits de nappe provoquerait un allongement de la durée d'assec et une remontée des eaux plus tardive (ce qui ne correspond pas aux données ROCA). Les illustrations suivantes permettent la superposition des débits simulés avec les données ROCA : (en rouge : assec, orange : débit invisible, en bleu : débit normal).

- La décroissance des débits se réalise de la même manière que l'indique les données ROCA.
- Le début de l'assec se réalise de manière concomitante. La période d'assec est égale à 10% près à celle indiqués par le ROCA

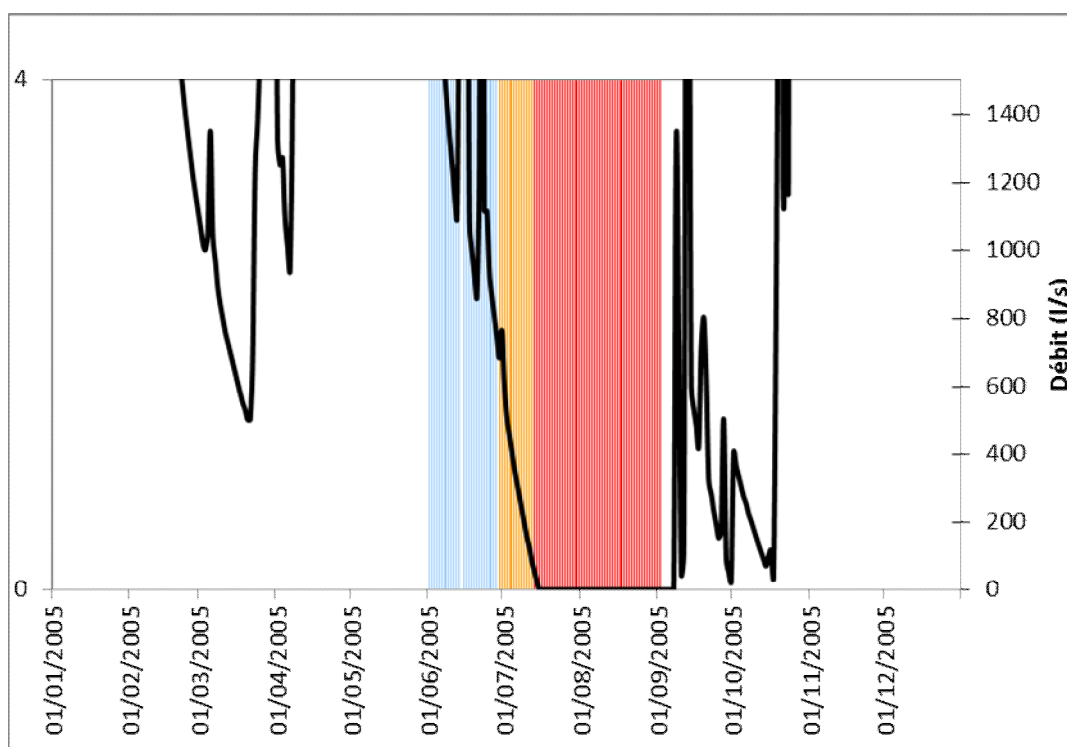


Illustration n°73: comparaison des données ROCA 2005 aux débits simulés influencés

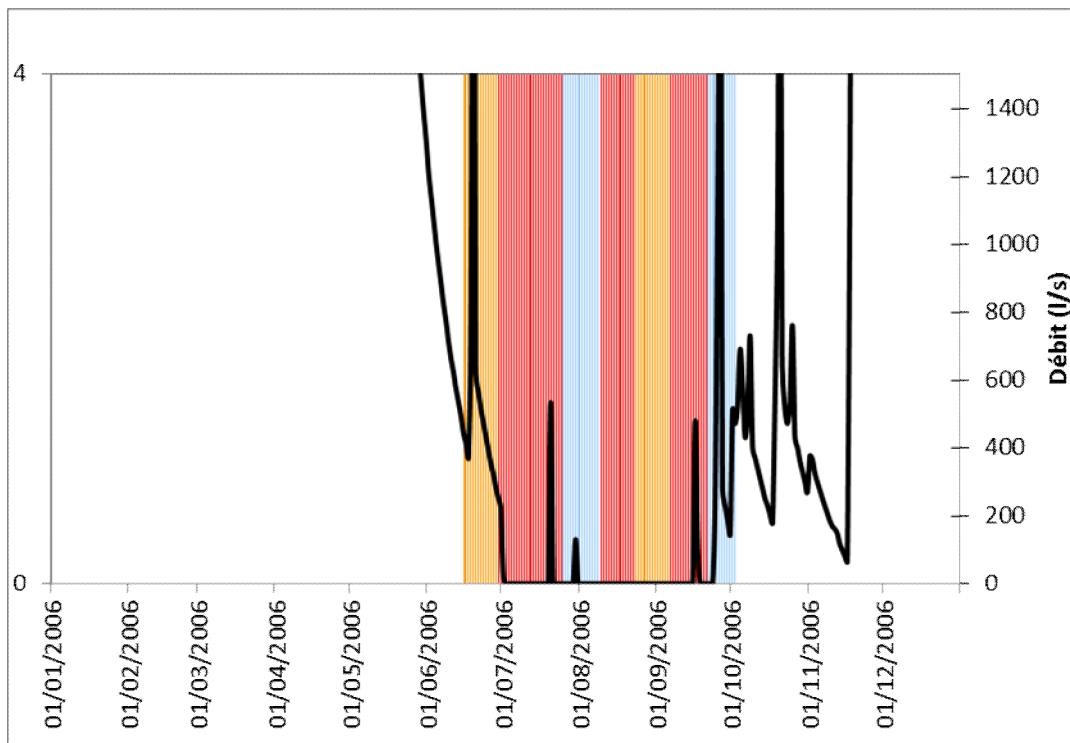


Illustration n°74: comparaison des données ROCA 2006 aux débits simulés influencés

E.II.2.2 Calage sur les relevés du SMIAA

La comparaison entre les données simulées influencés et les relevés du SMIAA met en évidence que la simulation permet de reproduire les assecs de manière fiable la majorité des 12 années avec des écarts inférieurs à 10 jours. Par contre, on remarque que les écarts sont plus important (plus de 20 jours) sur 4 années :

- En 1999, 2000 et 2010 où l'assec a été assez pro longé (plus de 80 jours).Le modèle a tendance à sous-estimé la durée de l'assec sur ces années ;
- En 2004, où le modèle a surestimé la durée de l'assec.

Année	Durée d'assec observée (jours)	Durée d'assec simulée (jours)	Ecart (jours)
1999	83	56	27
2000	89	64	25
2001	41	47	6
2002	49	34	15
2003	114	101	13
2004	79	105	26
2005	120	99	21
2006	93	125	32
2007	108	106	2
2008	14	22	8
2009	48	49	1
2010	72	30	42

Tableau n°34 : comparaison des durées d'assecs simulés et observés à Orange

E.II.3 Validation du modèle : Comparaison du profil en long hydrographique

L'analyse des données, et notamment des débits jaugés lors des deux campagnes de jaugeages de l'été 2011 réalisé par Cereg Ingenierie, a montré que les réactions de l'Eygues sur la partie aval (aval de Nyons) pouvaient être très différentes. En effet, les apports de la nappe régionale sont variables pendant la période estivale. Il a donc été demandé de comparer le profil en long hydrographique issu des débits jaugés à celui issu des débits simulés influencés.

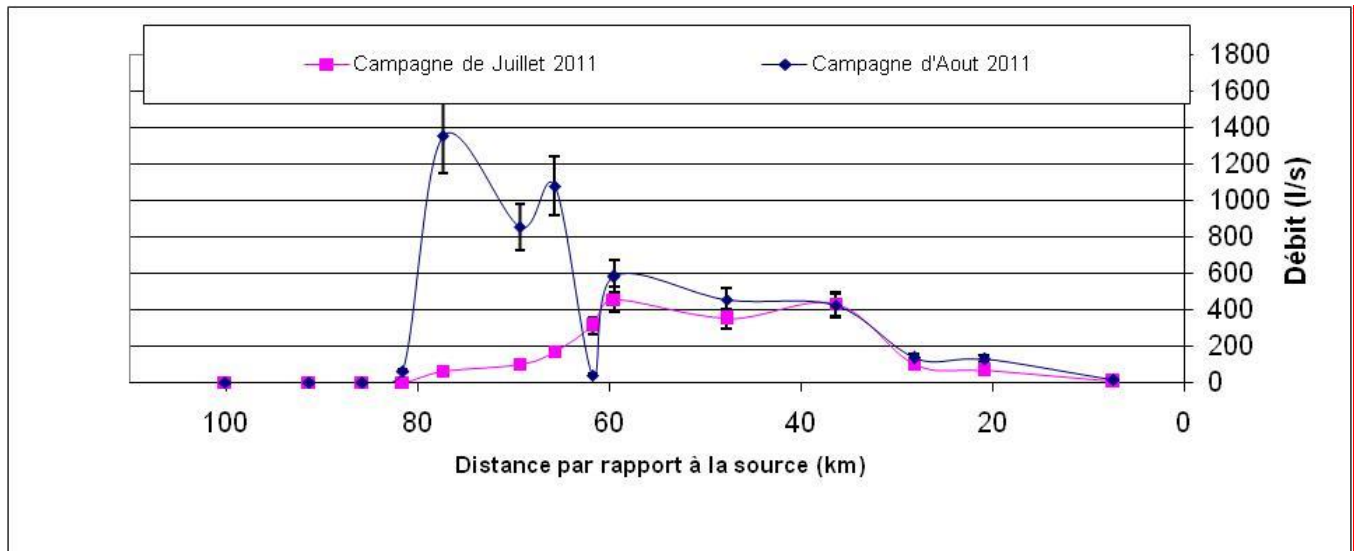


Illustration n°75: Profil en long hydrographique issu des jaugeages réalisés entre le 4 et 6 juillet 2011 et entre le 8 et 10 août 2011.

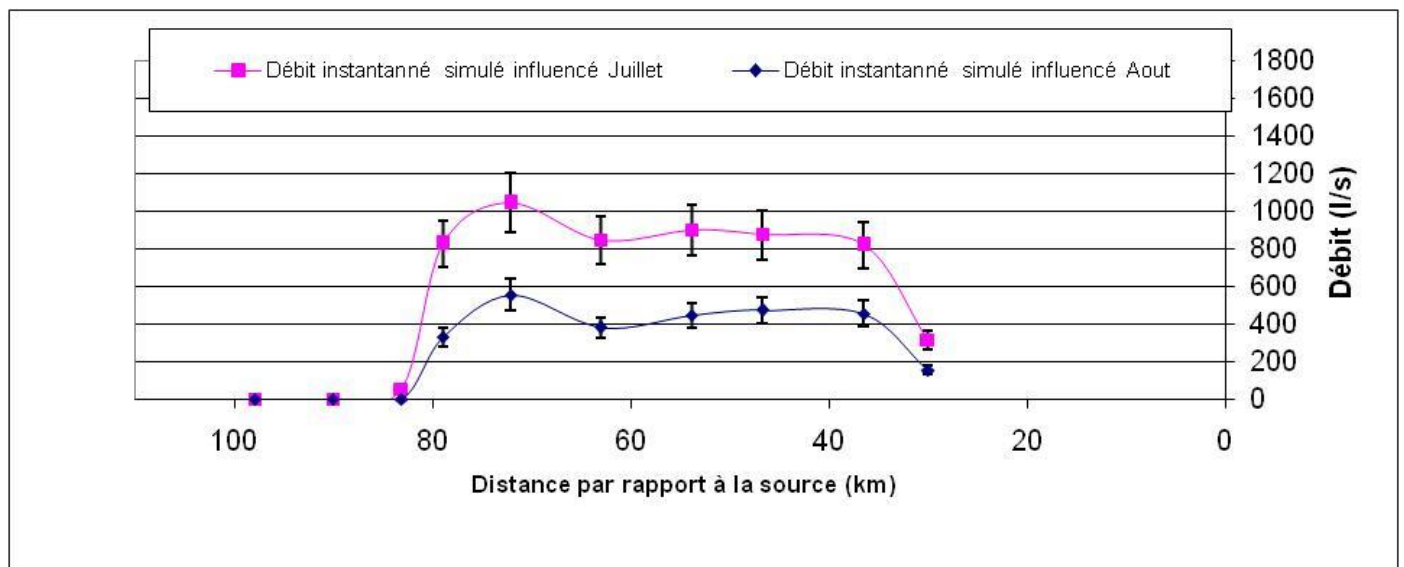


Illustration n°76: Profil en long hydrographique issu des débits simulés influencés entre le 4 et 6 juillet 2011 et entre le 8 et 10 août 2011.

L'analyse de ces deux profils en long montre que :

- Les débits simulés influencés sur la campagne de juillet surestiment les débits. En effet, les débits jaugés en amont du PK 60 sont de l'ordre de 400 l/s alors que la modélisation donne un débit de l'ordre de 800 l/s. Sur la partie aval (PK60), les débits sont aussi surestimés. Cette mauvaise représentation de l'événement s'explique par plusieurs phénomènes :
 - La période printanière de 2011 a été marquée par un important épisode pluvieux début juin (un épisode de 40 mm à Mirabel les Baronnies généralisé sur l'ensemble du bassin versant) durant la décroissance des débits. La modélisation a eu tendance à surestimer ce pic de crue et retarder le retour à des débits d'étiage de 15 jours environ. Il faut noter que les débits jaugés en août sont eux parfaitement reproduit.
 - Les apports de la nappe régionale ont été déterminés de manière trimestrielle. (moyenne des débits d'apports entre juillet et septembre). Il n'est donc pas possible de rendre compte, pour la partie aval, d'une différence d'apport entre les deux campagnes.
- Les débits simulés influencés, sur la partie amont (amont du PK60) représente de manière fiable les débits jaugés (- de 10 % d'erreur). Par contre sur la partie aval, fortement influencée par les apports du Miocène et les nombreux prélèvements, les débits jaugés sont sous-estimés.

En conclusion, le phénomène exceptionnel de l'année 2011 ne peut pas être représenté correctement. Ceci montre la limite des modèles qui ont bons résultats sur les débits moyens et débits statistiques, mais représentent parfois assez mal les phénomènes ponctuel.

E.III ESTIMATIONS DES INCERTITUDES

La principale limite sur les résultats provient du fait qu'une seule station hydrométrique a été utilisée pour le calage des débits. Les mesures, tout comme le modèle, peuvent être entachées d'erreur. De plus, le calage a été réalisé sur les années 80-90, la connaissance des prélèvements à cette époque est très mal connue. Il a donc été pris comme hypothèse que les prélèvements étaient les mêmes qu'aujourd'hui.

Même si celle-ci est jugée représentative des écoulements dans les Baronnies, elle ne permet pas d'appréhender la dynamique du bassin sur sa partie aval. Les données ROCA nous ont permis de pouvoir appréhender les phénomènes d'assec.

Il y a donc une incertitude sur les résultats, due à ce manque de connaissances. En fonction des résultats du modèle et de notre expertise, il a été évalué les incertitudes suivantes (par ordre croissant) :

- + ou - 10% d'erreur sur les moyennes annuelles ;
- + ou - 15% d'erreur sur les débits mensuels (débits moyen, QMNA) ;
- + ou - 20% d'erreur sur les débits moyens sur plus de 3 jours ;
- + ou - 30% d'erreur sur les débits journaliers d'étiage ;
- Très fortes sur les débits de crue

E.IV RESULTATS DE LA RECONSTITUION DES DEBITS INFLUENCES

Le tableau suivant présente les débits influencés, avec prise en compte des prélèvements et des restitutions, pour chaque sous bassin versant de l'Eygues.

BV	Cours d'eau	Surface BV (km ²)	Module (l/s)	QMNA5 (l/s)	QMNA2	VCN10_5 (l/s)	VCN3_5 (l/s)
1	Eygues	200	2300	170	270	120	110
2	Oule	130	1590	110	190	70	70
3		244	3060	210	350	150	140
4	Eygues	471	5660	380	670	260	250
5		515	6210	380	710	260	230
6	Ennuye	96	580	50	80	40	40
7	Eygues	734	7510	410	780	260	230
8		805	7860	340	730	170	140
9		866	8420	440	860	290	270
10		895	8460	270	680	160	120
11		923	7890	0	80	0	0
12		958	7940	0	60	0	0
13		992	7690	0	30	0	0

Tableau n°35 : Débits caractéristiques influencés de l'Eygues

Les débits influencés seront plus finement analysés en phase 5. Une étude de sensibilité sera réalisée afin de mieux appréhender l'impact des prélèvements.

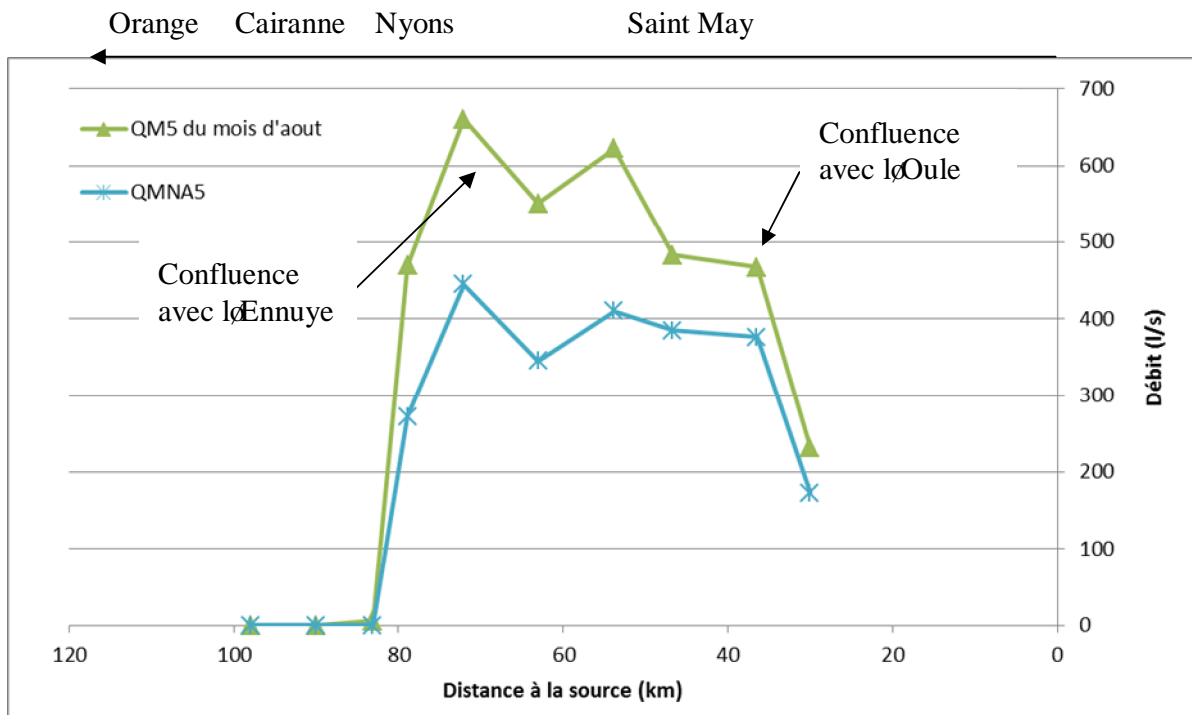


Illustration n°77: débits caractéristiques influencés par rapport à la distance à la source

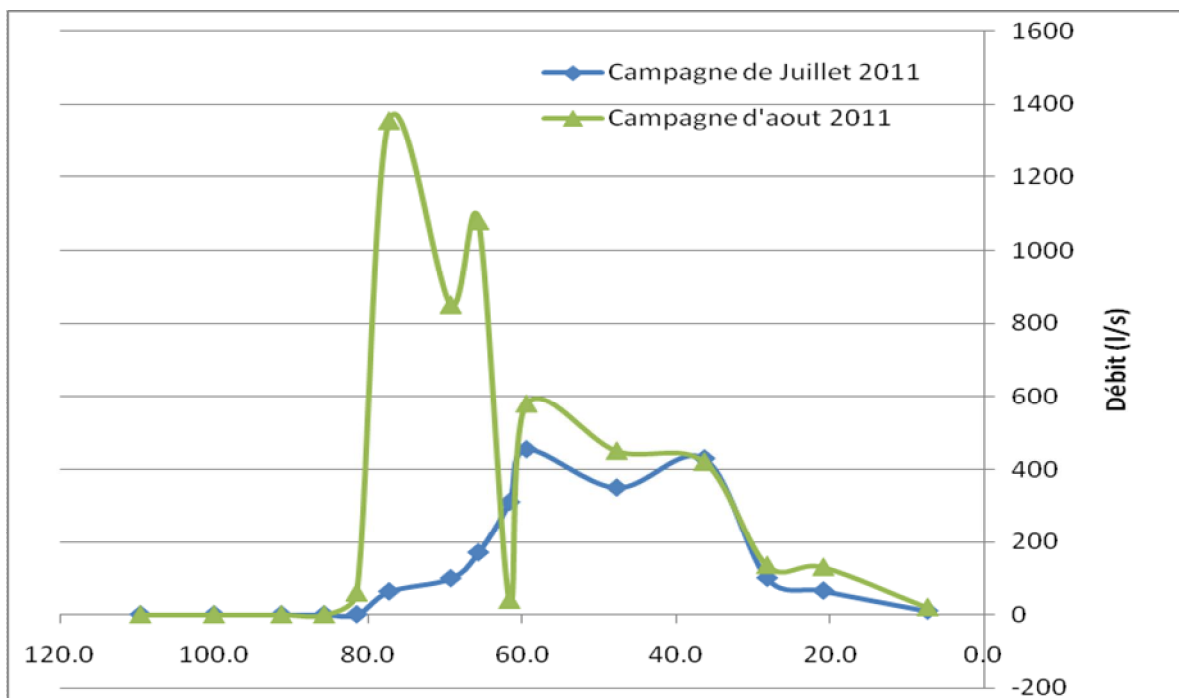


Illustration n°78: débits jaugés en 2011 par rapport à la distance à la source

La comparaison des débits caractéristiques influencés avec les jaugeages réalisés en 2011 montre que l'hydrologie a bien été reconstituée. Le profil en long des campagnes en comparaison avec cette reconstitution est similaire.

- Les débits augmentent entre le BV1 et le BV4 ce qui s'explique par la confluence avec l'Oule qui double les débits ;
- Les débits stagnent entre le BV5 et le BV7 ce qui s'expliquent par la présence de la nappe alluviale et par des prélèvements (plus de 70 l/s) et par la confluence avec l'Ennuye ;
- Les débits chutent entre le BV7 et le BV8 ce qui s'expliquent par la présence de canaux d'irrigation sur le BV8 ;
- Les débits augmentent au niveau du BV9 ce qui est du aux apports de plus de 340 l/s de la nappe du Miocène et de l'Eygues ;
- Les débits entre le BV9 et les BV11 chutent ce qui est expliqué par le nombre important de prélèvement ainsi que par la présence de la nappe alluviale avec une capacité de plus de 2 m³/s au total sur le linéaire ;
- Les assecs apparaissent ensuite au niveau du BV11.

F. CONCLUSION

F.I QUALITE DU MODELE

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

- 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 de proposer un partage du volume prélevable et des solutions pour éventuellement mobiliser de nouvelles ressources.

Toutefois, il est à préciser que des incertitudes sont présentes sur l'estimation des débits de la nappe alluviale de l'Eygues.

F.II RESULTATS DES DEBITS NATURELS

F.II.1 Compréhension du fonctionnement du bassin versant

La dynamique sur le bassin versant est assez complexe. Le bassin versant peut être sectorisée en trois parties :

- Les débits de l'amont du bassin versant ne sont garantis que par le ruissellement en surface et en sub-surface. La nappe alluviale est très restreinte.
- **A partir de Nyons (BV8) jusqu'à Buisson (BV10), les apports de la nappe des alluvions anciens et Miocène permettent une alimentation du système Eygues-nappe alluviale et notamment au BV9.** La nappe alluviale débute au niveau de Nyons avec une très faible extension (capacité potentielle de moins de 150 l/s sur les BV8, BV9, BV10). De plus, les débits ruisselés stagnent à partie du BV8 ce qui s'explique par, d'une part une surface de bassin versant faible sur chacun des sous bassin versant mais aussi, une aptitude au ruissellement plus faible que sur la partie amont. La recharge de la nappe profonde alimente ainsi le débit de surface et permet de maintenir un débit sur cette partie de l'Eygues.
- **Par contre à partir de Cairanne (BV11), les apports du Miocène sont très faible (moins de 50 l/s) tout comme l'augmentation des débits ruisselés.** L'extension de la nappe alluviale est maximale à partir de ce sous-bassin versant. **La majorité des apports va donc alimenter le débit de la nappe alluviale et non le débit de surface.**

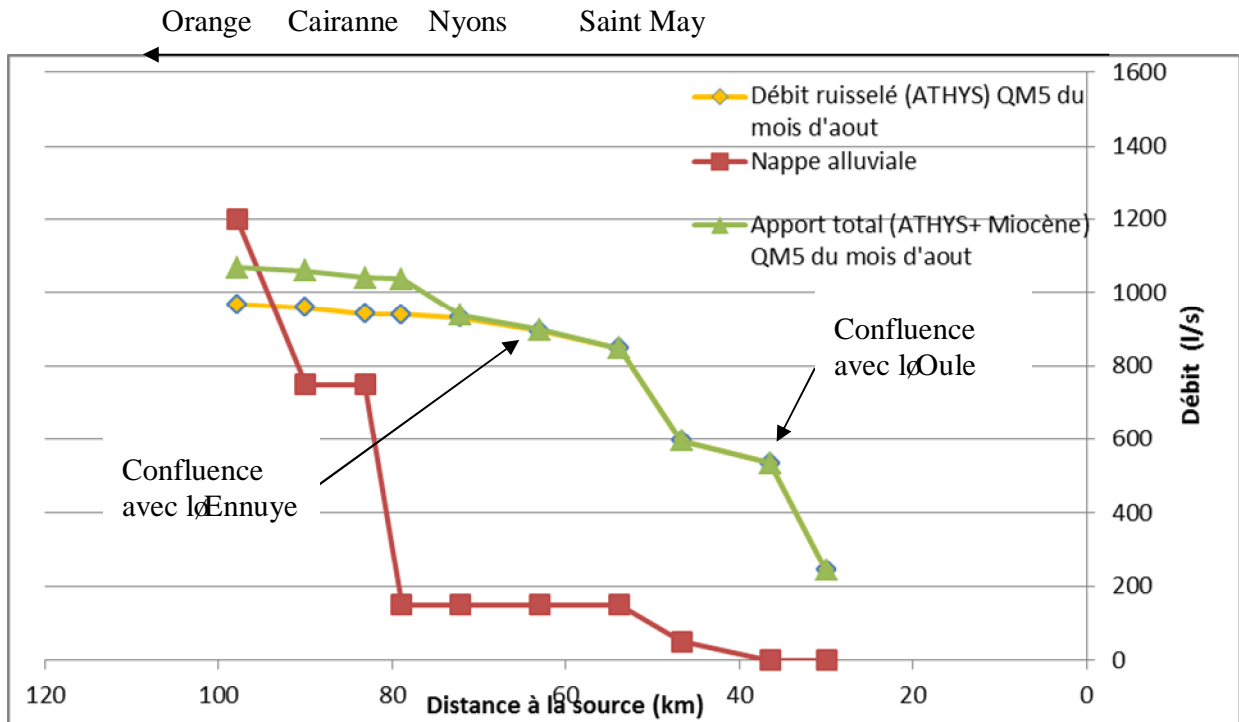


Illustration n°79: Profils en long des différentes composantes du débit pour le QMNA5

F.II.2 Résultats des débits naturels

Le tableau suivant présente les débits naturels (sans prise en compte des prélèvements et des restitutions) pour chaque sous bassin versant de l'Eygues.

BV	Cours d'eau	Surface BV (km²)	Module (l/s)	QMNA5 (l/s)	VCN10 (l/s)	VCN3 (l/s)
1	Eygues	200	2310 [2080-2540]	180 [150-210]	120 [100-140]	120 [100-140]
2	Oule	130	1600 [1440-1760]	120 [100-140]	80 [60-100]	80 [60-100]
3		244	3070 [2760-3380]	220 [190-250]	160 [130-190]	150 [120-180]
4	Eygues	471	5710 [5140-6280]	430 [370-490]	320 [260-380]	310 [250-370]
5		515	6250 [5620-6880]	430 [370-490]	310 [250-370]	290 [230-350]
6	Ennuye	96	580 [520-640]	50 [40-60]	40 [30-50]	40 [30-50]
7	Eygues	734	7550 [6800-8300]	470 [400-540]	310 [250-370]	290 [230-350]
8		805	7940 [7140 - 8730]	440 [370 - 510]	280 [220 - 340]	260 [210 - 310]
9		866	8570 [7710-9430]	660 [561 - 759]	500 [400 - 600]	480 [384 - 576]
10		895	8680 [7810 - 9550]	680 [580 - 780]	470 [380 - 560]	440 [350 - 530]
11		923	8160 [7340 - 8980]	80 [70 - 90]	0	0
12		958	8250 [7420 - 9070]	80 [70 - 90]	0	0
13		992	7980 [7180 - 8780]	0	0	0
14		1093	X	X	X	X

Tableau n°36 : Débits caractéristiques naturels de l'Eygues

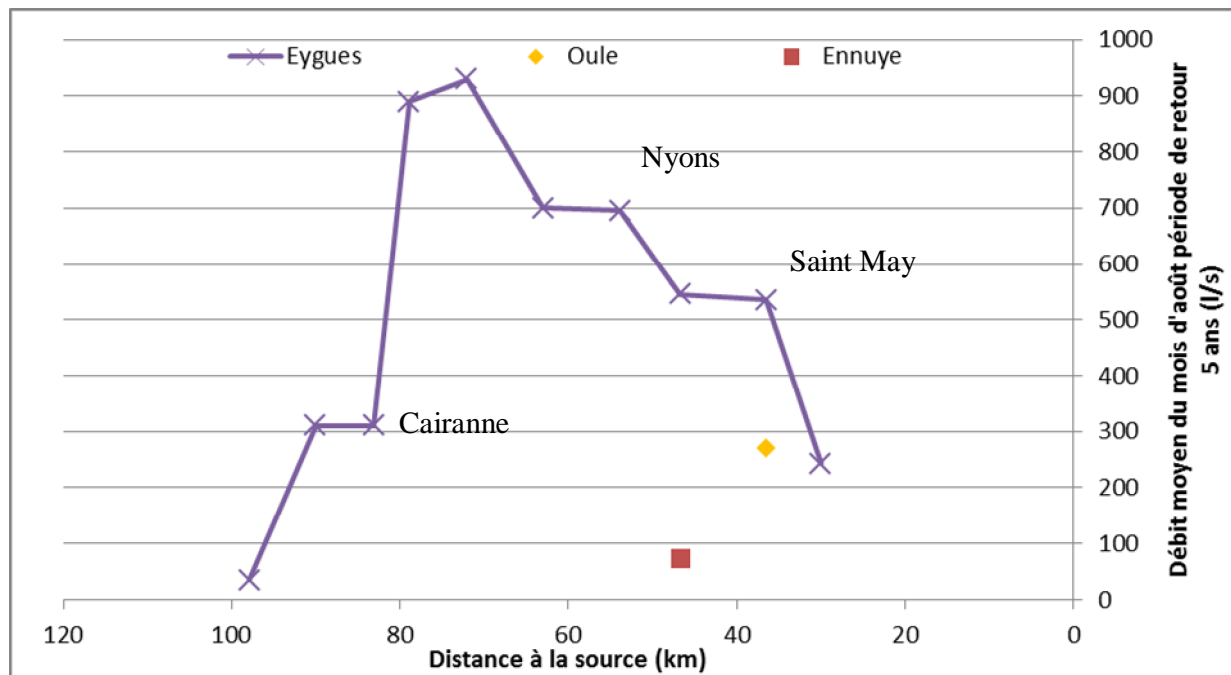


Illustration n°80: Profils en long du cours d'eau Eygues pour le débit moyen du mois d'août de période de retour 5 ans

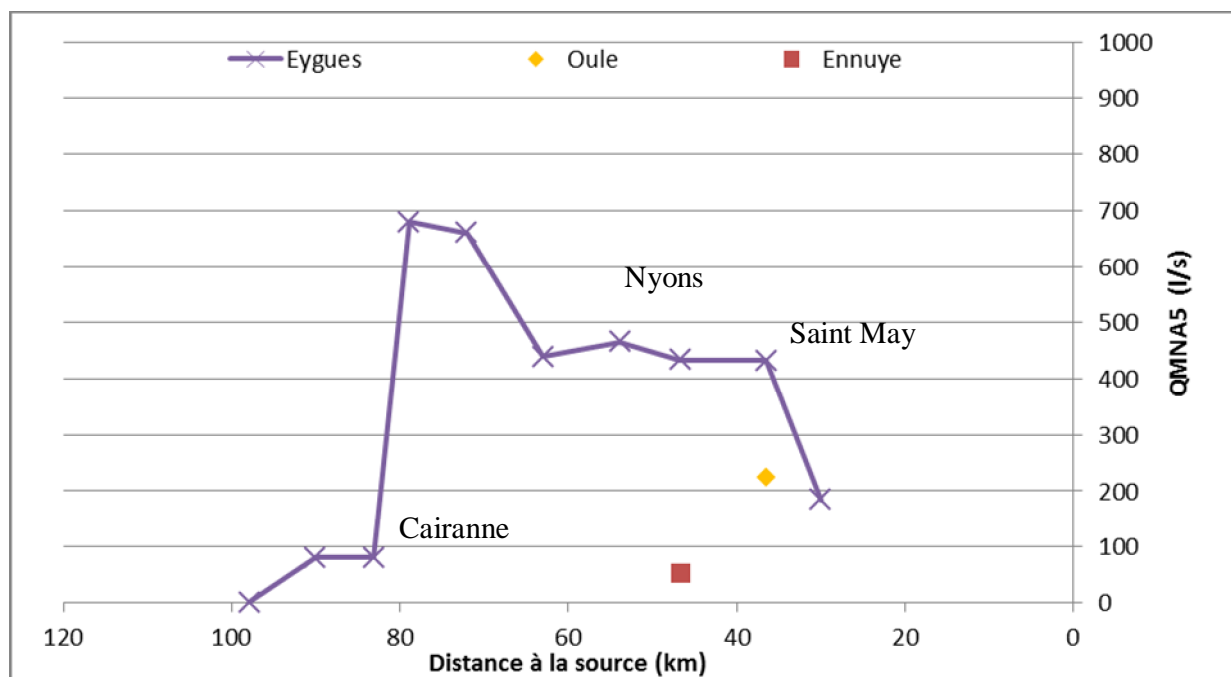


Illustration n°81: Profils en long du cours d'eau Eygues pour le QMNA5

□ *Analyse de la zone d'assec :*

Les assecs sur la zone en aval de Cairanne sont naturels. Ils sont susceptibles de survenir 14 années sur 32 soit une probabilité de 44%. La majorité des assecs sont très long: ils surviennent dans le mois de juillet et peuvent perdurer jusqu'au mois d'octobre.

L'analyse des débits naturels montre que :

- le débit de l'Oule contribue fortement au débit de l'Eygues. il double le débit de l'Eygues en période d'étiage.
- le débit augmente avec la superficie drainée jusqu'au niveau du BV9 (pont de Buisson)
- les débits chutent à partir du BV10 pour laisser place à une zone d'assec débutant au niveau de Cairanne (BV11).
- La zone d'assec en aval de Cairanne est naturelle. Les assecs sont alors très prononcés et perdurent plusieurs mois.

F.III INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES

Le bassin versant ne dispose pas aujourd'hui de station hydrométrique fiable sur les débits d'étiage. De plus, la seule station en fonctionnement ne permet pas d'appréhender les débits sur l'aval du bassin versant. L'incertitude sur notre modèle est en partie liée à ce manque de données sur l'aval du bassin versant.

Afin de fiabiliser la reconstitution des débits sur l'aval de l'Eygues, il semble intéressant de disposer d'un point de mesure. Néanmoins, le lit de l'Eygues sur l'aval du bassin versant est très mobile (lit de graviers). L'implantation d'une station hydrométrique est donc difficile du fait de risque de fréquent détarrage.

Il est donc préconisé de réaliser un suivi indirect des débits à l'aide de la piézométrie sur la nappe d'accompagnement du fait de l'équilibre entre cette nappe et le niveau de la rivière. Le suivi piézométrique accompagné d'un nivellement de la rivière permettra de détecter les débuts et fin d'assecs.



**ATTEINDRE
L'ÉQUILIBRE QUANTITATIF
EN AMÉLIORANT
LE PARTAGE
DE LA RESSOURCE EN EAU
ET EN ANTICIPANT
L'AVENIR**

ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVABLES GLOBAUX

Les études volumes prélevables visent à améliorer la connaissance des ressources en eau locale dans les territoires en déficit de ressource.

Elles doivent aboutir à la détermination d'un volume prélevable global sur chaque territoire. Ce dernier servira par la suite à un ajustement des autorisations de prélèvement dans les rivières ou nappes concernées, en conformité avec les ressources disponibles et sans perturber le fonctionnement des milieux naturels.

Ces études sont également la première étape pour la définition de plans de gestion de la ressource et des étiages, intégrant des règles de partage de l'eau et des actions de réduction des prélèvements.

Les études volumes prélevables constituent une déclinaison opérationnelle du SDAGE et répondent aux objectifs de l'Orientation fondamentale 7 « Atteindre l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir ».

Elles sont menées par des bureaux d'études sur 70 territoires en déficit du bassin Rhône-Méditerranée.

Maître d'ouvrage :

- Agence de l'eau Rhône-Méditerranée & Cors

Financeurs :

- Agence de l'eau Rhône-Méditerranée & Corse

|

Bureau d'études :

- CEREG Ingénierie
- Idées Eaux
- Lisode
- Hydriad
- Brigitte Lambey