

# Caractérisation d'indicateurs piézométriques et définition des volumes prélevables des aquifères molassiques de Sommières (556B1) et de Castries (556B2)

Rapport final

BRGM/RP-63874-FR  
Septembre 2014





# Caractérisation d'indicateurs piézométriques et définition des volumes prélevables des aquifères molassiques de Sommières (556B1) et de Castries (556B2)

Rapport final

**BRGM/RP-63874-FR**  
Septembre 2014

Étude réalisée dans le cadre des opérations (projets)  
de Service public du BRGM PSP08LRO06

**B. Ladouche et C. Lamotte**

**Vérificateur :**

Nom : JCMarechal

Signature :

**Approbateur :**

Nom : M. Audibert

Date :

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,  
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

**Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.**



**Mots-clés** : Volumes prélevables, hydrogéologie, modélisation, molasses du Burdigalien

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**Ladouche B. et Lamotte C.** (2014) – Caractérisation d'indicateurs piézométriques et définition des volumes prélevables des aquifères molassiques de Sommières (556B1) et de Castries (556B2). Rapport final. BRGM/RP-63874-FR, 83 p., 61 ill., 1 ann..

© BRGM, 2014, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.



## Synthèse

L'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse et le BRGM mènent depuis 2011 une étude pour la détermination des volumes prélevables sur la masse d'eau FRDG223 « Calcaires, marnes et molasses oligo-miocènes du bassin de Castries-Sommières et extension des calcaires crétacés sous couverture ».

Les phases 1 et 2 de l'étude découpée en 6 phases, ont permis de faire le point sur les données géologiques et hydrogéologiques du secteur, ainsi que le bilan des prélèvements actuels et l'estimation des prélèvements futurs (BRGM/RP-61207-FR, 2012), pour l'ensemble des usages de l'eau. La phase 3 concerne la délimitation des zones à préserver pour satisfaire les besoins AEP actuels et futurs au sein de cette masse d'eau (BRGM/RP-61344-FR, 2012). **Les phases 4, 5 et 6, qui font l'objet du présent rapport,** consistent en l'analyse du fonctionnement des entités hydrogéologiques 556B1 et 556B2 (bassins molassiques de Sommières et de Castries), la modélisation des niveaux piézométriques de ces aquifères, ainsi que la caractérisation des volumes prélevables et des niveaux de référence associés.

Dans cette étude, les caractérisations et les modélisations du fonctionnement des aquifères des molasses de Sommières (entité 556B1) et de Castries (entité 556B2) ont été réalisées à l'aide d'une approche globale de modélisation par méthodes de transfert mise en œuvre à l'aide du logiciel TEMPO. L'approche méthodologique s'appuie sur l'état des connaissances hydrogéologiques et les chroniques piézométriques des réseaux de surveillance de la masse d'eau.

Pour les deux entités, il ressort que la réponse hydrogéologique à la recharge présente une importante inertie puisque le pic de réponse piézométrique est observé pour des décalages de 100 jours environ. L'allure de la réponse des molasses burdigaliennes à la recharge par les pluies évoque la recharge puis la lente vidange d'un réservoir.

**Pour l'entité 556B1 (molasses de Sommières),** il ressort que le volume de recharge annuel estimé par modélisation (2.9 millions de m<sup>3</sup> en moyenne interannuelle) apparaît bien supérieur au volume des prélèvements annuels (0.7 millions de m<sup>3</sup> en 2010) réalisé sur cette ressource. Cependant, la méconnaissance des flux de sortie de l'aquifère au sein notamment de la gouttière synclinale de Junas-Aubais ne permet pas d'établir de bilan hydrogéologique fiable. Dans ce contexte, la qualification de l'état quantitatif de l'entité hydrogéologique par l'intermédiaire notamment du Ratio Meso (Volume annuel prélevé/Recharge estimée) n'a pu être définie, de même pour les critères piézométriques (niveau piézométrique d'alerte - NPA, et de crise renforcée - NPCR). Un besoin de connaissance hydrogéologique supplémentaire s'impose sur cette entité pour définir ces critères. Une proposition d'investigations complémentaires est formulée dans ce rapport.

**Pour l'entité 556B2 (molasses de Castries),** la modélisation permet de reproduire de manière très satisfaisante les évolutions piézométriques observées depuis 1981 : la baisse des niveaux piézométriques observée à partir de 1981 est liée à l'augmentation continue des prélèvements sur la ressource (de 285 000 m<sup>3</sup>/an en 1981 à 2 700 000 m<sup>3</sup>/an en 2010).

Depuis 2004, les volumes des prélèvements fluctuent autour de 2.7 millions de m<sup>3</sup> par an et les niveaux piézométriques semblent se stabiliser autour de 30 m NGF, soit environ 13 m sous le niveau piézométrique qu'aurait présenté l'aquifère en absence de pompage. Les résultats de la modélisation indiquent donc que le niveau piézométrique de l'aquifère des molasses inférieures en contexte « naturel » devait s'établir autour de 43/45 m NGF. Dans ce contexte, la charge

hydraulique dans le Burdigalien inférieur en condition naturelle était suffisante par alimenter la source de Fontmagne via la faille de Fontmagne, la source étant située à 43 m NGF environ. Les résultats de la modélisation permettent donc de soutenir l'hypothèse que le Burdigalien inférieur contribuait à l'alimentation de cette source avant la mise en exploitation des captages situés dans cette ressource. Depuis, l'exploitation de la molasse a asséché la source de Fontmagne.

L'utilisation du modèle a permis d'estimer **le volume de prélèvements qui satisfait le critère du bon état quantitatif de l'entité hydrogéologique « Ratio [Meso] <1 près de 8 années sur 10 »**. Compte tenu des incertitudes qui pèsent sur l'estimation de la recharge et des volumes prélevés, on estime que **les prélèvements annuels supérieurs à 2 millions de m<sup>3</sup>/an ne permettraient pas de satisfaire le critère du bon état quantitatif de l'entité**. Dans ce contexte, le bilan en eau de l'aquifère apparaît négatif depuis la fin des années 1990 ce qui témoignerait globalement d'une surexploitation de la ressource. De même, les scénarii de prélèvements considérés pour le futur qui intègrent les projections d'augmentation de population ne permettraient pas de satisfaire le critère du bon état quantitatif de l'entité des molasses de Castries.

En s'appuyant sur les résultats du modèle hydrogéologique développé dans le cadre de cette étude et notamment sur les mesures effectuées au piézomètre P3 Décharge, le niveau piézométrique de bonne gestion quantitatif de l'aquifère a pu être défini, ainsi que le niveau piézométrique d'alerte (NPA) et le niveau piézométrique de crise renforcée (NPCR). Pour le scénario de pompage à 2 millions de m<sup>3</sup>/an, on montre que la piézométrie de l'aquifère s'établit autour de 34.9 m NGF (valeur moyenne), l'écart-type lié au climat étant de  $\pm 2.7$  m. Cette valeur ( $34.9 \pm 2.7$  m NGF) peut constituer le niveau piézométrique de bonne gestion quantitatif de l'aquifère. Les valeurs maximale et minimale de la piézométrie simulées sont respectivement de 43.1 m NGF et 30.02 m NGF. Sur la base de la valeur minimale de la piézométrie simulée et de l'écart-type, nous proposons que le niveau piézométrique d'alerte (NPA) de l'aquifère soit fixé à la cote de 27.3 m NGF. Enfin, sur la base des observations réalisées sur la période 1981-2011, nous préconisons que la piézométrie minimale de l'aquifère lors d'une crise renforcée (NPCR) demeure toujours supérieure à 20.3 m NGF, cette valeur constituant le minimum observé en août 2005.

# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>11</b>
1.1. CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE .....	11
1.1.1. Contexte .....	11
1.1.2. Contexte partenarial.....	11
1.2. DEROULEMENT DE L'ETUDE .....	12
<b>2. Modélisation des niveaux piézométriques de la Masse d'eau Castries-Sommières .....</b>	<b>13</b>
2.1. DESCRIPTION GENERALE DE L'APPROCHE METHODOLOGIQUE.....	13
2.1.1. Calcul des réponses impulsionnelles .....	16
2.1.2. Calcul de la recharge .....	17
2.2. MODELISATION DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES DES MOLASSES DE SOMMIERES (ENTITE 556B1).....	19
2.2.1. Cadre conceptuel du fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère du Burdigalien inférieur (molasses de Sommières) .....	19
2.2.2. Les données d'entrées des modèles de transfert.....	20
a) Données de prélèvement AEP.....	20
b) Données de pluie et d'ETP .....	23
c) Données du Vidourle .....	25
2.2.3. Résultats obtenus par un modèle de transfert à 3 entrées en considérant une contribution externe au bassin hydrogéologique de Sommières (recharge rapide par le Vidourle).....	27
2.2.4. Résultats obtenus par un modèle de transfert à 2 entrées (calage et validation) sans contribution du Vidourle.....	33
2.2.5. Résultats des simulations en absence de pompage.....	34
2.2.6. Bilans hydrogéologiques de l'entité 556B1.....	37
2.2.7. Amélioration de la connaissance de l'hydrosystème 556B1 .....	39
2.3. MODELISATION DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE DE LA MOLASSE DE CASTRIES (ENTITE 556B2).....	39
2.3.1. Cadre conceptuel du fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère du Burdigalien inférieur (molasses de Castries) .....	39
2.3.2. Les données d'entrée des modèles de transfert (entité 556B2).....	42
a) Données de prélèvement.....	42
b) Données de pluie et d'ETP .....	43
2.3.3. Résultats obtenus par un modèle de transfert à 2 entrées (recharge, prélèvements AEP) et simulations en absence de pompage.....	45

2.3.4. Résultats obtenus par un modèle de transfert à 3 entrées (recharge, prélèvements AEP, prélèvements « occultes » estimés) et simulations en absence de pompage .....	47
2.3.5. Evaluation des incertitudes du modèle .....	52
2.3.6. Bilan hydrogéologique de l'entité 556B2.....	52
<b>3. Caractérisation des volumes prélevables et des objectifs de niveaux .....</b>	<b>57</b>
3.1. DEFINITION DES SCENARII DE PRELEVEMENTS.....	57
3.2. DEFINITION DES SCENARII HYDROCLIMATIQUES.....	58
3.3. RESULTATS DES SIMULATIONS PREVISIONNELLES POUR L'ENTITE 556B2 (MOLASSES DE CASTRIES).....	59
3.4. RESULTATS DES SIMULATIONS PREVISIONNELLES POUR L'ENTITE 556B1 (MOLASSES DE SOMMIERES).....	62
3.5. DEFINITION DU BON ETAT QUANTITATIF DES ENTITES ETUDIEES.....	64
3.6. CARACTERISATION DES VOLUMES PRELEVABLES A PARTIR DES RESULTATS DES SIMULATIONS ET DEFINITION DES OBJECTIFS DE NIVEAUX.....	66
3.7. DEFINITION DES POINTS DE SURVEILLANCE .....	72
<b>4. Conclusions .....</b>	<b>75</b>
<b>5. Bibliographie.....</b>	<b>79</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1. Evolution de la piézométrie au sein des molasses (Burdigalien inférieur) de l'entité 556B1 de Sommières. ....	14
Illustration 2. Evolution de la piézométrie (Burdigalien inférieur) au sein des molasses de Castries (entité 556B2).....	14
Illustration 3. Architecture du modèle de transfert à 2 entrées.....	15
Illustration 4. Architecture du modèle de transfert à 3 entrées.....	15
Illustration 5 : Réponses impulsionnelles de Oméga à la pluie et à l'ETP (exemple de la méthode de transfert du piézomètre « P3 Décharge » utilisé pour décrire le fonctionnement des molasses de Castries).....	18
Illustration 6 : Nouvelle délimitation de l'entité 556B1 sur fond géologique et positionnement des captages AEP implantés dans le Burdigalien inférieur, ainsi que différents ouvrages .....	20
Illustration 7 : Principales caractéristiques des ouvrages du captage Liverna (commune d'Aubais).....	21

Illustration 8. Evolution des prélèvements annuels des captages Liverna (commune d'Aubais) et Saint Laze (commune de Sommières) .....	22
Illustration 9 : Détail de la procédure adoptée pour estimer l'évolution des prélèvements mensuels du captage de Liverna (commune d'Aubais). .....	22
Illustration 10 : (a) Evolution du cumul des prélèvements AEP mensuels (captage Liverna + captage Boisseron + Captage Saint Laze) depuis 1987. Les informations relatives aux essais de pompage du captage Boisseron en 1992 et 2004 sont présentées. (b) Un détail des évolutions piézométriques mesurées entre 2003 et 2005 est présenté avec l'effet des essais de pompage de 2004 .....	23
Illustration 11 : Evolution de la pluviométrie sur l'impluvium des molasses de Sommières (estimation réalisée à l'aide de la fonction de pondération des pluies de Tempo).....	24
Illustration 12 : Corrélogramme croisé « pluie-piézométrie » pour l'ouvrage B4 (09646X0074/B4), pas de calcul = 15 jours .....	24
Illustration 13 : Evolution piézométrique des piézomètres du Syndicat Garrigues Campagne sur l'aquifère des molasses de Sommières (Burdigalien inférieur) (d'après Pappalardo) ; extrait du rapport BRGM/RP-61207-FR.....	25
Illustration 14 : Données du Vidourle disponibles et estimées.....	26
Illustration 15. Comparaison de la piézométrie modélisée aux observations (périodes de calage et de validation) : <b>exemple de l'ouvrage B3</b> . .....	27
Illustration 16. Comparaison de la piézométrie modélisée aux observations (périodes de calage et de validation) : <b>exemple de l'ouvrage B4</b> . .....	28
Illustration 17. Comparaison de la piézométrie modélisée aux observations (périodes de calage et de validation) : <b>exemple de l'ouvrage B8</b> . .....	29
Illustration 18. Exemple de Réponses Impulsionnelles obtenues (cas du modèle de transfert « Piézo B8 »). .....	29
Illustration 19 : Synthèse des contributions moyennes obtenues par les différents modèles de transfert.....	31
Illustration 20 : Statistiques descriptives du débit du Vidourle au point nodal V5 à Sommières (extrait de l'étude Ginger sur les volumes prélevables sur le Vidourle) .....	32
Illustration 21 : Comparaison de la piézométrie modélisée aux observations, modèles sans contribution du Vidourle (exemples des ouvrages B3, B4 et B8). .....	33
Illustration 22 : Modèles de transfert à 2 entrées : évolution de la piézométrie simulée en absence de pompage pour les ouvrages B3, B4 et B8. Les piézométries mesurées et modélisées sont également reportées.....	35
Illustration 23 : Modèles de transfert à 3 entrées : évolution de la piézométrie simulée en absence de pompage pour les ouvrages B3, B4 et B8. Les piézométries mesurées et modélisées sont également reportées.....	36
Illustration 24 : Modèles de transfert à 3 entrées : évolution de la différence piézométrique calculée par les modèles en présence et en absence de prélèvements (condition sans pompage dite « naturelle »). Les évolutions reportées (modèle « Naturel » - modèle en pompage) concernent les ouvrages B3 et B8. ....	37
Illustration 25 : Modèles de transfert à 2 entrées : évolution de la différence piézométrique calculée par les modèles en présence et en absence de prélèvements (condition sans pompage dite « naturelle »). Les évolutions reportées (modèle « Naturel » - modèle en pompage) concernent les ouvrages B3 et B8. ....	37
Illustration 26. Estimation du bilan de l'aquifère 556B1 depuis 1990 (résultats obtenus par la méthode de transfert à 2 entrées -sans contribution externe- pour l'ouvrage B3). .....	38

Illustration 27. Evolution de la piézométrie de la nappe du Burdigalien inférieur de l'unité de Castries. ....	40
Illustration 28. Carte de localisation de l'entité 556B2 sur fond carte géologique de Lunel au 1/500000 .....	41
Illustration 29 : Détail de la procédure adoptée (cf. texte) pour estimer l'évolution du cumul des prélèvements AEP mensuels pour la période antérieure à 1995. ....	43
Illustration 30 : Evolution de la pluviométrie sur l'impluvium des molasses de Castries (estimation réalisée à l'aide de la fonction de pondération des pluies de Tempo).....	44
Illustration 31 : Corrélogramme croisé « pluie-piézométrique » (résultat pour le piézomètre P3 Décharge 09911X0317/P3BIS, pas de calcul = 15 jours) .....	45
Illustration 32 : Comparaison de la piézométrie modélisée avec la piézométrie mesurée (période de calage et validation, exemple de l'ouvrage P3 Décharge). La piézométrie modélisée en absence de pompage est également reportée.....	46
Illustration 33. Quantification de la diminution piézométrique engendrée par les prélèvements (entité 556B2, molasse de Castries).....	47
Illustration 34. Fonction peigne utilisée pour simuler l'effet des pompages saisonniers agricoles et/ou des forages privés.....	48
Illustration 35. Comparaison de la piézométrie modélisée avec la piézométrie mesurée (période de calage et validation, exemple de l'ouvrage P3 Décharge) : Modèle de transfert à 3 entrées (pluie efficace, Volume AEP, Fonction Peigne). La piézométrie modélisée en absence de pompage est également reportée. ....	49
Illustration 36. Quantification de la diminution piézométrique engendrée par les prélèvements (entité 556B2, molasses de Castries). L'évolution des rabattements associés aux composantes AEP et Privés/Agricoles est également reportée. ....	50
Illustration 37. Quantification des volumes des prélèvements occultes (forage privés et agricoles) de l'entité 556B2 des molasses de Castries. L'évolution des volumes AEP pompés depuis 1981 est également reportée. ....	51
Illustration 38. Evolution des volumes occultes estimés par modélisation depuis 1981 et du ratio de volume exprimé par rapport au volume AEP .....	51
Illustration 39. Evolution de la recharge calculée par le modèle de transfert à 2 entrées.....	53
Illustration 40 : Estimation du bilan de l'aquifère depuis 1981 (entité 556B2, molasses de Castries). ....	54
Illustration 41. Relation entre le volume prélevé et le rabattement moyen estimé par modélisation .....	55
Illustration 42 : Evolution des % d'augmentation des besoins en eau potable à l'horizon 2030 (extrait du rapport BRGM/RP-61207-FR). pop perm : population permanente ; pop de pointe : population en période de pointe.....	57
Illustration 43 : Entité 556B2 (Molasses de Castries) : évolutions mensuelles des prélèvements selon le type de scénario considéré. ....	58
Illustration 44 : Entité 556B1 (Molasses de Sommières) : évolutions mensuelles des prélèvements selon le type de scénario considéré. ....	58
Illustration 45 : Eléments de statistiques descriptives des pluies de l'impluvium de l'entité 556B2 (molasses de Castries). ....	59
Illustration 46 : Simulation du niveau piézométrique au sein de l'entité 556B2 (molasses de Castries) en absence et en présence de prélèvements. 3 scénarii de prélèvements ont été testés. La chronique de prélèvements considérée est identique pour chacun des cycles annuels. Dans ces tests, le climat « futur » est supposé identique à celui mesuré sur la période 1990-2011.....	60

Illustration 47 : Synthèse des principaux résultats des simulations pour l'entité 556B2 (molasses de Castries).....	61
Illustration 48 : Simulation du niveau piézométrique au sein de l'entité 556B2 (molasses de Castries) en absence et en présence de prélèvements. Les 3 scénarii de prélèvements ont été testés pour 3 scénarii climatiques distincts « années médianes, quinquennales sèches et décennales sèches » .....	61
Illustration 49 : Estimation du bilan de l'aquifère (entité 556B2, molasses de Castries) en fonction des différents scénarii de prélèvement testés (dans ces tests, le climat « futur » est supposé identique à celui mesuré sur la période 1981-2011).....	62
Illustration 50 : Simulation du niveau piézométrique au sein de l'entité 556B1 (molasses de Sommières) en absence et en présence de prélèvements (modèles avec et sans contribution du Vidourle). La chronique de prélèvements [1.4 million de m <sup>3</sup> /an] est identique pour chacun des cycles annuels. Dans ce test, le climat « futur » est supposé identique à celui mesuré sur la période 1990-2011.....	63
Illustration 51 : Synthèse des principaux résultats des simulations pour l'entité 556B1 (molasses de Sommières).....	63
Illustration 52 : Evaluation du bilan de l'aquifère (entité 556B1, molasses de Sommières) pour le scénario 3 :+94%/+120% (pop. Perm./pop ; pointe), soit 1.4 millions de m <sup>3</sup> /an (dans ce test, le climat « futur » est supposé identique à celui mesuré sur la période actuelle). .....	64
Illustration 53. Evolutions du ratio [Meso] et du bilan en eau de l'aquifère (entité 556B2, molasses de Castries) pour les 3 scénarii de prélèvements testés (cf.§ 3.1). Dans ces tests, le climat « futur » est supposé identique à celui mesurée sur la période actuelle. ....	67
Illustration 54 : Eléments de statistiques descriptives de la recharge de l'entité 556B2 (molasses de Castries).....	68
Illustration 55. Evolution du niveau piézométrique modélisé à P3 Décharge en considérant un prélèvement de 1.2 millions de m <sup>3</sup> /an. Dans ce test, le climat « futur » est supposé identique à celui mesuré sur la période actuelle (1981-2010).....	69
Illustration 56. Prise en compte du critère [Meso] pour différents scénarii de prélèvements. Dans ces tests, le climat est supposé identique à celui mesuré sur la période actuelle (1981-2010). .....	69
Illustration 57. Evolution du bilan hydrogéologique pour différents scénarii de prélèvements. Dans ces tests, le climat est supposé identique à celui mesuré sur la période actuelle (1981-2010). La ligne matérialisant un bilan nul et les incertitudes associées sont reportés.....	70
Illustration 58. (a) Simulation de la piézométrie de l'aquifère pour un scénario de prélèvement fixé à 2 millions de m <sup>3</sup> /an. La piézométrie de l'aquifère simulée en absence de pompage est également reportée. (b) Les chroniques de prélèvements sont également reportées.....	71
Illustration 59 : Evolution de la piézométrie au piézomètre « P3 Décharge » et au piézomètre Bérange (suivi CG34) sur la période 1997-2012 .....	72
Illustration 60. Evolution de la piézométrie au piézomètre « Décharge » et au piézomètre Bérange (suivi CG34), zoom sur la période du 01/01/2000 au 31/12/2001 .....	73
Illustration 61. Evolution de la piézométrie de la nappe du Burdigalien inférieur de l'entité des molasses de Castries mesurée au piézomètre P3 Décharge et au piézomètre Bérange .....	73

## Liste des annexes

Annexe 1 Volume cumulé des prélèvements AEP effectués sur l'entité hydrogéologique 556B2 (molasses de Castries) .....	81
--	----

# 1. Introduction

## 1.1. CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE

L'étude porte sur la détermination des volumes maximums prélevables dans la masse d'eau (ME) nommée « Calcaires, marnes et molasses oligo-miocènes du bassin de Castries-Sommières et extension calcaires crétacés sous couverture », dont le code est FRDG223. Cette masse d'eau constitue également une entité hydrogéologique du même nom, codée 556B<sup>1</sup>.

Cette étude est découpée en 6 phases (voir paragraphe 1.2). L'objet du présent rapport est un bilan des phases 4, 5 et 6 de l'étude, à savoir l'analyse du fonctionnement des entités hydrogéologiques 556B1 et 556B2 (bassins molassiques de Sommières et de Castries), la modélisation des niveaux piézométriques de ces aquifères, ainsi que la caractérisation des volumes prélevables et des niveaux de référence associés.

### 1.1.1. Contexte

La masse d'eau étudiée regroupe deux grandes entités aquifères que sont les deux bassins molassiques miocènes de Castries au Sud, et de Sommières au Nord. Elle englobe également les formations éocènes, oligocènes (avec le synclinal de Campagne), et crétacées (sous-jacentes et en périphérie orientale notamment).

Au titre de la Directive Cadre Européenne sur l'eau, une partie de cette masse d'eau a été classée en « Risque fort de non-atteinte de bon état », en ce qui concerne les aspects quantitatifs (et qualitatifs avec une problématique de pesticides). L'augmentation actuelle et envisagée à très court terme des prélèvements dans les aquifères en question (pour faire face notamment à la pression démographique), laisse craindre une dégradation de la situation.

La ressource est donc considérée comme fragile et vulnérable, et le SDAGE la considère comme pouvant être en « déséquilibre quantitatif ». Cette étude est engagée en ce sens, afin d'aboutir à la détermination d'indicateurs de gestion et d'alerte et à la détermination des volumes maximums prélevables, éléments à partir desquels une gestion concertée et équilibrée de cette masse d'eau pourra être mise en place.

### 1.1.2. Contexte partenarial

L'étude de la masse d'eau FRDG223 est menée conjointement avec l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse. En outre, elle se déroule dans le cadre d'un partenariat étroit avec l'ensemble des services et structures impliqués dans la problématique eau souterraine du secteur. Des contacts ont ainsi été établis avec les différentes structures suivantes : ARS 30 et 34, Chambres d'Agriculture 30 et 34, DDPP<sup>2</sup>, DDTM 30 et 34, DREAL LR, ONEMA, Conseil Régional Languedoc Roussillon, Conseils Généraux 30 et 34, Communauté d'Agglomération de Montpellier et l'ensemble des communes du territoire, les bureaux d'études (Eau et Geo&Environnement, BRL, Ginger Environnement), les sociétés fermières (Lyonnaise des eaux, Saur, Veolia) et les Syndicat des eaux de Villevieille, Syndicat Mixte Garrigues Campagne, Syndicat Mixte du Vidourle.

---

<sup>1</sup> Synthèse hydrogéologique du Languedoc Roussillon – Bassin Rhône Méditerranée, Rapport BRGM RP-60305-FR

<sup>2</sup> Direction Départementale de la Protection des Personnes (donne des informations sur les prélèvements des caves coopératives)

## 1.2. DEROULEMENT DE L'ETUDE

L'étude se déroule en 6 phases intermédiaires que l'on peut considérer comme grandes étapes indispensables :

- phase 1 : Caractérisation du fonctionnement hydrogéologique de la masse d'eau et des systèmes aquifères associés,
- phase 2 : Caractérisation des prélèvements dans les eaux de surface et les eaux souterraines– Bilan et évolution des pressions et des besoins,

**Ces deux phases ont fait l'objet du rapport BRGM RP-61207-FR.**

- phase 3 : Délimitation des zones à préserver pour satisfaire les besoins AEP actuels et futurs,

**Cette phase a fait l'objet du rapport BRGM RP-61344-FR.**

- phase 4 : Analyse et fonctionnement de l'hydro-système et modélisation,
- phase 5 : Simulation et détermination des objectifs de niveaux et des volumes prélevables,
- phase 6 : Prospective pour une gestion de la ressource à l'échelle de la masse d'eau.

**Ces dernières phases font l'objet du présent rapport.**

## 2. Modélisation des niveaux piézométriques de la Masse d'eau Castries-Sommières

### 2.1. DESCRIPTION GENERALE DE L'APPROCHE METHODOLOGIQUE

La prévision des niveaux piézométriques des nappes en appui aux politiques de gestion de la ressource est le plus souvent réalisée à partir de données piézométriques influencées par des pompages. Cette situation est fréquemment rencontrée dans la plupart des régions à forte densité de population. Trois situations se présentent en fonction des types de prélèvement et de la réaction de la nappe :

- le niveau piézométrique présente une tendance à la baisse sur plusieurs années, voire plusieurs dizaines d'années. La tendance doit être évaluée et prise en compte lors de la caractérisation du fonctionnement hydrogéologique et lors des modélisations notamment en prévisions ;
- Le cône de rabattement se stabilise quelques années après la mise en exploitation des pompages. Le modèle de transfert est alors calibré sur la période d'observation coïncidant avec la stabilisation du cône. Les prévisions restent valides tant que les conditions de pompage sont stationnaires ;
- Le niveau de la nappe est rabattu momentanément lors de pompages saisonniers.

La caractérisation des différents phénomènes qui affectent l'évolution naturelle de la piézométrie doit être menée sur des chroniques pluriannuelles, notamment pour les nappes à forte inertie. Dans cette étude, la caractérisation du fonctionnement des Molasses de Sommières (entité 556B1) et des Molasses de Castries (entité 556B2) a été réalisée à l'aide des chroniques des réseaux de surveillance des eaux souterraines. La description détaillée des données piézométriques disponibles ainsi que leur critique ont été présentées dans le rapport BRGM/RP-61207-FR.

Dans cette étude, les caractérisations du fonctionnement hydrodynamique des molasses de Sommières ont été réalisées sur les ouvrages B3 (09646X0110/F3), B4 (09646X0074) et B8 (09646X0104/F8). Pour les molasses de Castries, la caractérisation du fonctionnement hydrodynamique porte uniquement sur l'ouvrage P3 Décharge (09911X0317/P3BIS). Les évolutions temporelles des différentes chroniques piézométriques considérées sont présentées sur les illustrations suivantes (Illustration 1 et Illustration 2). Les prélèvements AEP au sein des molasses ont débuté en août 1981 pour l'entité 556B2 de Castries et à partir de 1987 pour l'entité 556B1 de Sommières. Pour l'entité 556B1, les prélèvements ont significativement augmenté à partir de 2007 suite à la mise en service du captage de Saint Laze pour la commune de Sommières. La description détaillée des ouvrages recensés au sein de la masse d'eau ainsi que la caractérisation des prélèvements ont été présentées dans le rapport BRGM/RP-61207-FR.

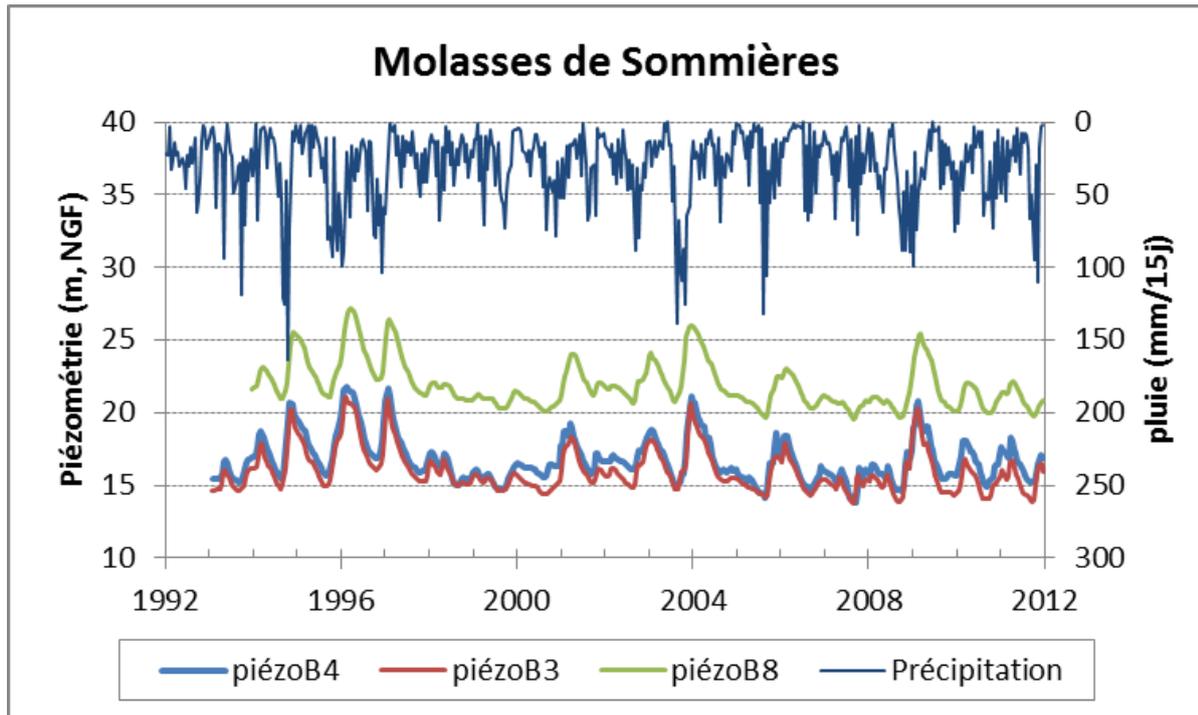


Illustration 1. Evolution de la piézométrie au sein des molasses (Burdigalien inférieur) de l'entité 556B1 de Sommières.

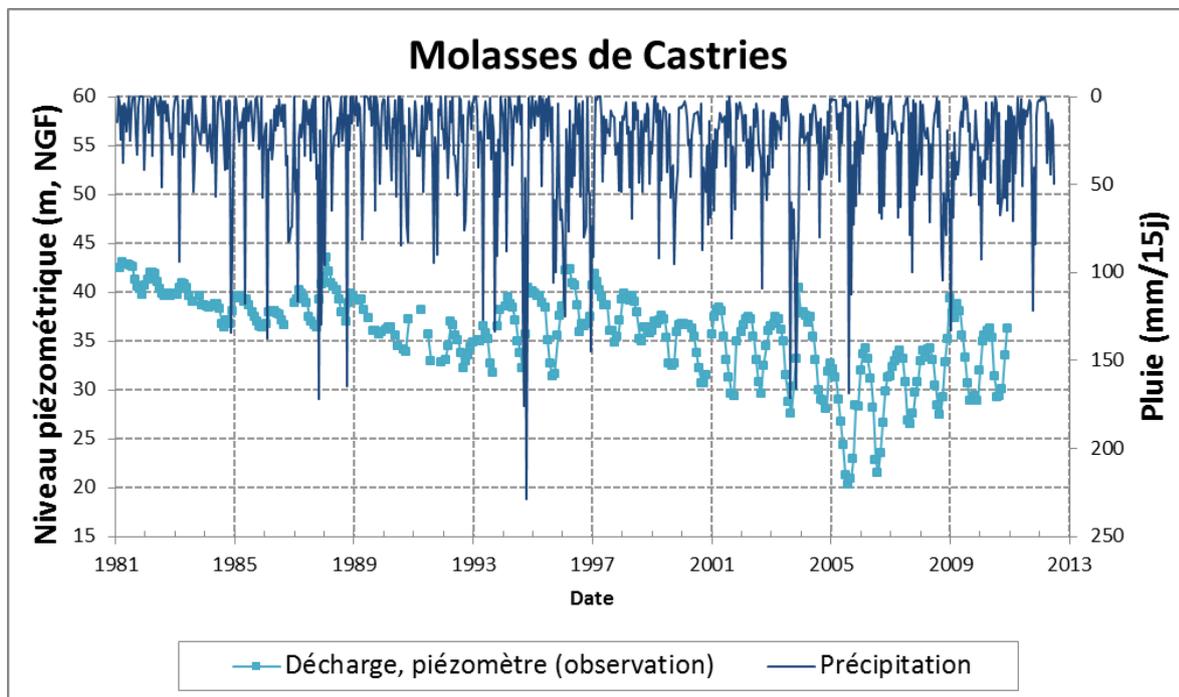


Illustration 2. Evolution de la piézométrie (Burdigalien inférieur) au sein des molasses de Castries (entité 556B2).

Les modèles hydrogéologiques développés dans le cadre de cette étude s'appuient sur l'état des connaissances des systèmes aquifères des molasses de Castries et de Sommières. Les approches de caractérisation et de modélisation ont été réalisées à l'aide de méthodes de transfert mises en œuvre à l'aide du logiciel TEMPO (Pinault, 2001). Cette approche méthodologique dite de modélisation inverse permet de caractériser le fonctionnement d'hydrosystèmes complexes tels que les systèmes karstiques (Pinault et al 2001, 2004, Dörfliiger et al, 2008, Ladouche et al, 2013) mais également des milieux poreux plus homogènes (Pinault et al, 2005 ; Pinault et Schomburgk, 2006 ; Pinault et Allier 2007).

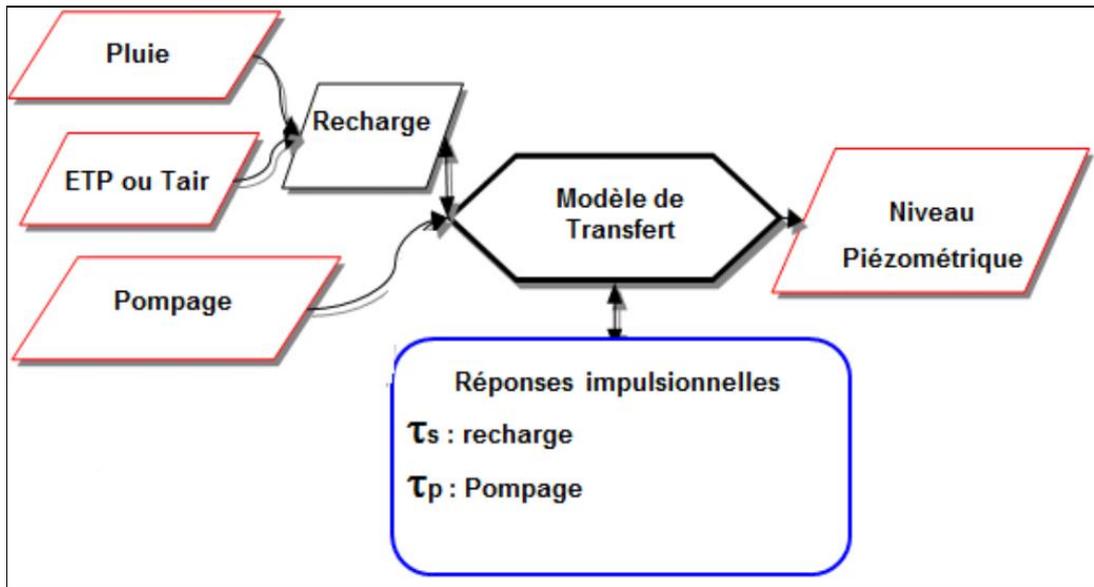


Illustration 3. Architecture du modèle de transfert à 2 entrées

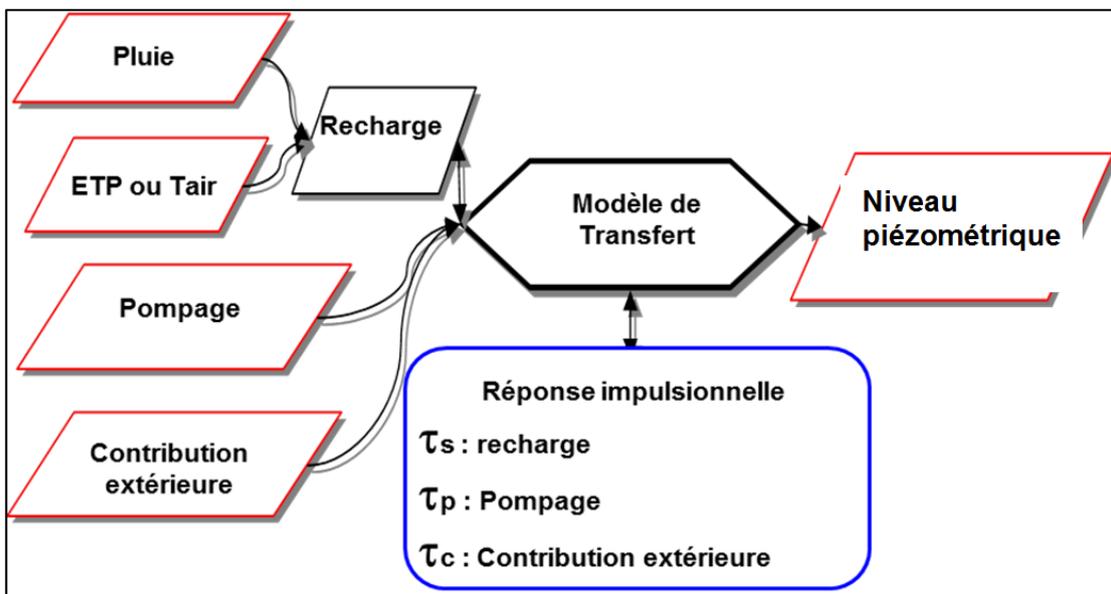


Illustration 4. Architecture du modèle de transfert à 3 entrées

L'architecture du modèle de transfert est illustrée sur les figures précédentes (Illustration 3, Illustration 4). Le modèle peut considérer 2 ou 3 entrées de façon à reproduire le fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère.

Dans un premier temps, nous avons cherché à caractériser et à simuler l'évolution piézométrique mesurée en considérant les prélèvements AEP. Dans un deuxième temps, nous avons utilisé les modèles calibrés afin de déterminer l'évolution piézométrique des aquifères en absence de pompage. Dans un troisième temps, nous avons cherché à simuler l'évolution de la piézométrie future pour différents scénarii de prélèvements et différentes situations hydro-climatiques. Les différentes informations obtenues ont permis la définition des volumes prélevables et des niveaux piézométriques de référence.

### 2.1.1. Calcul des réponses impulsionnelles

La caractérisation des relations entre les entrées et la sortie est basée sur le calcul des réponses impulsionnelles, dont les paramètres sont obtenus par inversion en minimisant la forme quadratique :

$$\sum_{i=1}^N (\Delta H_{obs}(t_i) - \Delta H_{mod}(t_i))^2 \quad \text{Eq. 1}$$

où  $\Delta H_{obs}$  et  $\Delta H_{mod}$  sont les hauteurs d'eau mesurées et modélisées.

Dans le modèle de transfert à deux entrées («recharge par les pluies efficace» et «débit de pompage», l'évolution piézométrique est décrite par la relation de convolution suivante :

$$H(t) = \frac{1}{\eta} \cdot \Gamma_r * R_{eff} + \lambda_p \cdot \Gamma_p * Q_p + \varepsilon \quad \text{Eq. 2}$$

où  $\Gamma_r$  et  $\Gamma_p$  sont les réponses impulsionnelles normalisées (aires égales à 1).  $\Gamma_r$  est la réponse impulsionnelle de la recharge par les pluies efficaces et  $\Gamma_p$  est la réponse impulsionnelle du débit de pompage.  $\varepsilon$  représente la contribution erratique non décrite et expliquée par le modèle. Les paramètres  $\frac{1}{\eta}$  et  $\lambda_p$  sont des coefficients positifs permettant d'exprimer la conservation de la masse d'eau :

$$\frac{1}{\eta} \cdot \overline{\frac{R_{eff}}{\Delta H}} + \lambda_p \cdot \overline{\frac{Q_{Sp}}{\Delta H}} = 1 \quad \text{Eq. 3}$$

Le terme  $\frac{1}{\eta} \cdot \overline{\frac{R_{eff}}{\Delta H}}$  permet de qualifier la contribution relative de la recharge et  $\lambda_p \cdot \overline{\frac{Q_{Sp}}{\Delta H}}$  la diminution relative de piézométrie provoquée par le débit de pompage ( $Q_p$ ). Le calcul des réponses impulsionnelles  $\Gamma_r$  et  $\Gamma_p$  repose sur l'utilisation des techniques de régularisation telles que décrites par Pinault et al., (2001a).

Dans le modèle de transfert à trois entrées («recharge par les pluies efficace», «débit de pompage» et «contribution d'une composante externe»), l'évolution piézométrique est décrite par la relation de convolution suivante :

$$H(t) = \lambda_r \cdot \Gamma_r * R_{eff} + \lambda_p \cdot \Gamma_p * Q_p + \lambda_c \cdot \Gamma_c * H_{2c} + \varepsilon \quad \text{Eq. 4}$$

où  $\Gamma_r$ ,  $\Gamma_p$  et  $\Gamma_c$  sont les réponses impulsionnelles normalisées (aires égales à 1);  $\Gamma_r$  est la réponse impulsionnelle de la recharge par les pluies efficaces;  $\Gamma_p$  est la réponse impulsionnelle du débit de pompage ( $Q_p$ );  $\Gamma_c$  est la réponse impulsionnelle de la composante d'alimentation externe issue d'un autre système.  $\varepsilon$  représente la contribution erratique non décrite et expliquée par le modèle.

$\lambda_r$ ,  $\lambda_p$  et  $\lambda_c$  sont des coefficients positifs permettant d'exprimer la conservation de la masse d'eau :

$$\lambda_r \cdot \frac{\overline{R_{eff}}}{\Delta H} + \lambda_p \cdot \frac{\overline{Q_p}}{\Delta H} + \lambda_c \cdot \frac{\overline{Q_c}}{\Delta H} = 1 \quad \text{Eq. 5}$$

Le terme  $\lambda_p \cdot \overline{Q_p}$  permet de qualifier la diminution relative provoquée par les pompages ( $Q_p$ ). Le terme  $\lambda_c \cdot \overline{Q_c}$  permet de qualifier la contribution relative de la composante externe. Le terme  $\lambda_r \cdot \overline{R_{eff}}$  permet de qualifier contribution de la pluie efficace.

### 2.1.2. Calcul de la recharge

Le calcul de la Recharge  $R_{eff}(t)$  au temps  $t$  est obtenue par :

$$R_{eff}(t) = R_z(t) - \Omega(t) \text{ if } R_z(t) \geq \Omega(t) \text{ sinon } R_{eff}(t) = 0 \quad \text{Eq.6}$$

Le calcul de la recharge ( $R_{eff}$ ) est réalisé à l'aide de l'équation 7 en calculant la fonction seuil Oméga (Pinault et al, 2001a, b)). Ce seuil Oméga ( $\Omega$ ) permet d'exprimer le déficit de la réserve utile des sols. Le calcul du seuil Oméga peut être réalisé à l'aide de l'ETP ou de la température de l'air, car les variables d'entrée et de sortie sont réduites (divisées par leur moyenne), par conséquent seules les variations interviennent et déterminent la précision des modèles (Pinault 2001) :

$$\Omega(t) = G_p * R_z(t) + G_{ETP} * ETP(t) + C \quad \text{Eq.7}$$

où \* représente le produit de convolution discret,  $t$  le temps,  $C$  une constante,  $G_p$  et  $G_{ETP}$  les réponses impulsionnelles de sorte que  $G_p > 0$  et  $G_{ETP} < 0$ . La pluie fait diminuer le seuil Oméga( $t$ ) tandis que l'ETP le fait augmenter. Ces deux réponses impulsionnelles sont représentées par des trapèzes (Illustration 5). Le calcul des réponses impulsionnelles repose sur l'utilisation des techniques de régularisation telles que décrites par Pinault et al., (2001a).

La recharge par les pluies efficaces [ $R_{eff}(t)$ ] peut être parfois décrite par une composante rapide ( $R_f$ ) et une composante lentes ( $R_s$ ). La contribution de la pluie efficace au transfert rapide est décrite au moyen de la fonction Alpha [ $\alpha(t)$ ] dont les valeurs sont comprises entre 0 et 1, et qui dépend de la pluie efficace des jours précédents :

$$\alpha(t) = G_{peff} * R_{eff}(t) = G_{peff} * [R_f(t) + R_s(t)] \quad \text{Eq.8}$$

où \* représente le produit de convolution discret,  $t$  le temps,  $G_{peff}$  la réponse impulsionnelle et ( $R_f + R_s$ ) la pluie efficace.

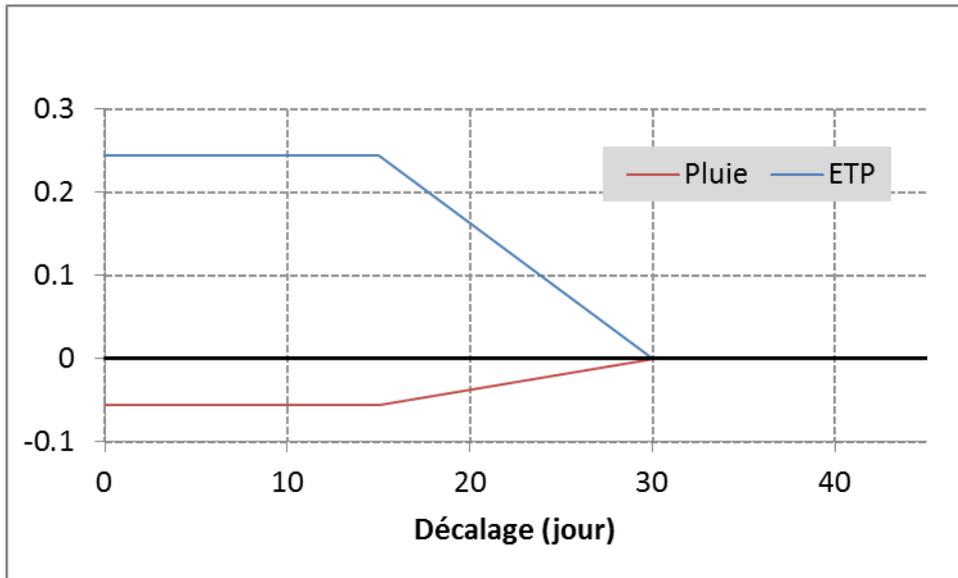


Illustration 5 : Réponses impulsionnelles de Oméga à la pluie et à l'ETP (exemple de la méthode de transfert du piézomètre « P3 Décharge » utilisé pour décrire le fonctionnement des molasses de Castries)

Dans le modèle, le transfert rapide ( $\tau_f$ ) de la recharge, lorsqu'il intervient dans le fonctionnement hydrogéologique, est obtenue par le produit de convolution d'une gaussienne par une exponentielle décroissante :

$$\begin{cases} \tau_f(t_i) = A \cdot \exp\left(-\ln(2) \left(\frac{(t_i - T)}{D}\right)^2\right) * \exp\left(\frac{-t_i \ln(2)}{L}\right) & \text{si } 0 \leq t_i \leq \tau \\ \tau(t_i) = 0 & \text{si } t_i > \tau \end{cases} \quad \text{Eq.9}$$

D'un point de vue physique, ce modèle traduit la recharge d'un réservoir (fonction gaussienne) suivie par sa vidange rapide représentée par la loi exponentielle décroissante. La succession de ces 2 phénomènes est décrite par le produit de convolution (\*). Le paramètre T exprime le retard du processus de recharge par rapport à la pluie tandis que le paramètre D traduit la durée du phénomène. A est la constante de normalisation.

Le transfert lent ( $\tau_s$ ) met en jeu les différents processus d'infiltration et de vidange induisant un retard plus ou moins important entre la pluie et la piézométrie observée en sortie. La vidange de la zone noyée de l'aquifère est également décrite par ce transfert lent. En absence de transfert rapide, la réponse impulsionnelle de la recharge permet de qualifier le transfert lent ( $\tau_s = \tau$ , cf. Eq. 2 et Eq. 4).

## **2.2. MODELISATION DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES DES MOLASSES DE SOMMIERES (ENTITE 556B1)**

### **2.2.1. Cadre conceptuel du fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère du Burdigalien inférieur (molasses de Sommières)**

Ces éléments ont été traités en détail dans le rapport BRGM/RP-61207-FR. Pour rappel, le bassin de Sommières renferme deux aquifères superposés. Ils sont constitués par des formations molassiques, séparées par 20 à 70 mètres de marnes semi-perméables. La productivité la plus importante est rencontrée dans les molasses du Burdigalien inférieur.

Cette entité 556B1, d'une extension totale de 22 km<sup>2</sup>, n'était pas exploitée jusqu'en 2007, hormis par de nombreux forages privés utilisés pour des besoins d'arrosage de jardins individuels, de piscines, de pépinières et quelques campings.

Les études menées par Oringo pour le compte du Syndicat Mixte Garrigues Campagne<sup>3</sup> indiquaient que « le comportement de la nappe au repos (notamment l'observation des courbes de décrue nettement marquées et assez rapides) semblerait indiquer l'existence d'un point de fuite de l'aquifère du Burdigalien inférieur à proximité du Vidourle, près du pont de l'ancienne voie ferrée, légèrement en amont du Moulin de Boisseron ». Aucune information étayant cette hypothèse n'étant disponible, elle n'est pas retenue.

La délimitation hydrogéologique du bassin de Sommières telle que reportée sur l'illustration 13 du rapport BRGM/RP-61207-FR ne montre donc aucun exutoire identifié de cette entité. Nous avons donc considéré, comme évoqué par certains hydrogéologues agréés et dans le rapport BRGM/RP-61207-FR, que la gouttière d'Aubais-Junais contribue à drainer le bassin molassique de Sommières. Une nouvelle délimitation de l'entité est présentée sur l'illustration 6.

Le captage Liverna sur la commune d'Aubais captant les molasses burdigaliennes dans cette « gouttière », ces prélèvements ont donc été intégrés à l'analyse du fonctionnement hydrodynamique de l'entité 556B1. Ces prélèvements seront détaillés ci-après (§ 2.2.2).

---

<sup>3</sup> Seul le rapport de novembre 1992 « Etude hydrogéologique du bassin miocène de Boisseron-Sommières » était disponible pour l'étude actuelle

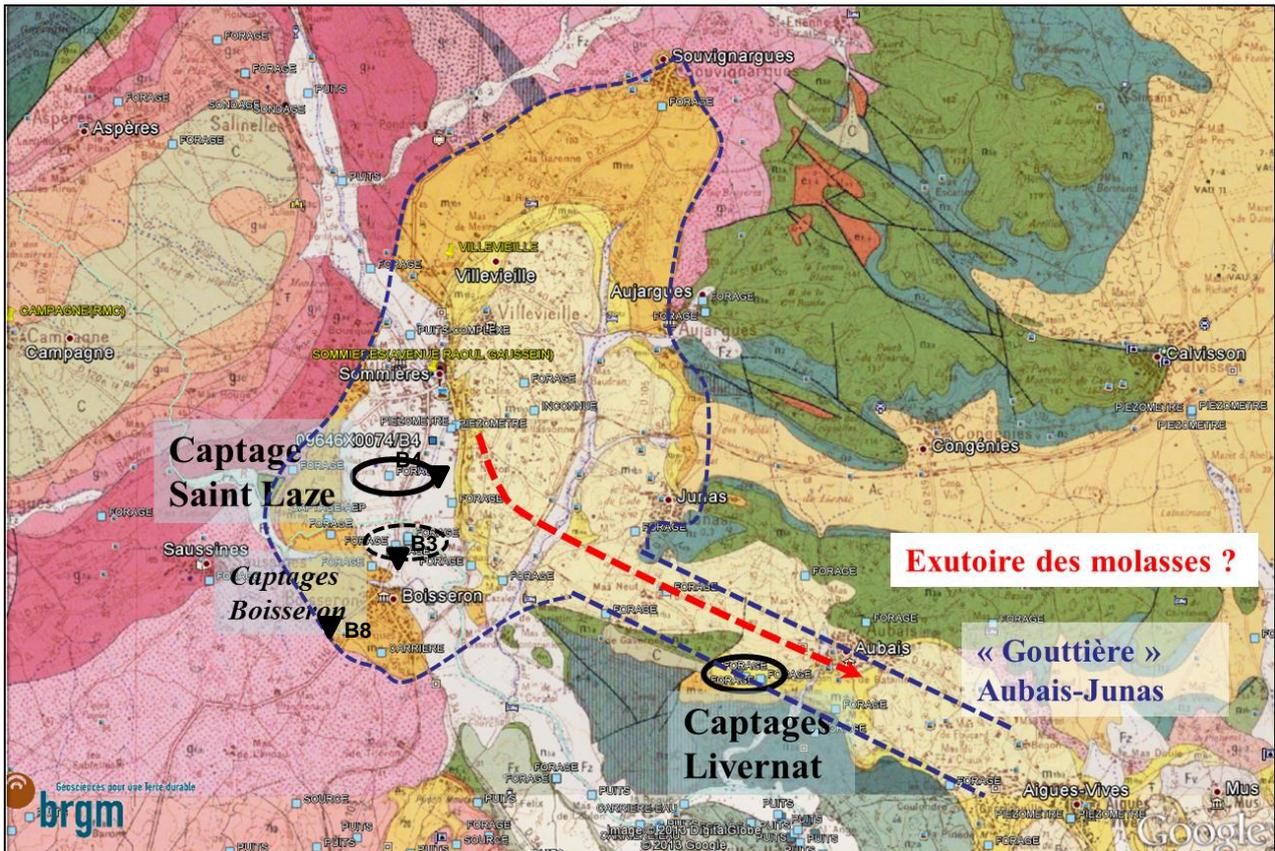


Illustration 6 : Nouvelle délimitation de l’entité 556B1 sur fond géologique et positionnement des captages AEP implantés dans le Burdigalien inférieur, ainsi que différents ouvrages

## 2.2.2. Les données d’entrées des modèles de transfert

### a) Données de prélèvement AEP

Les données des captages AEP Saint Laze (Commune de Sommières) et de Liverna (Commune d’Aubais) sont considérées dans cette étude. La description du captage AEP de Saint Laze est présentée dans le rapport BRGM/RP-61207-FR. Les informations collectées pour le captage Liverna sont rassemblés dans le tableau ci-après (Illustration 7). La synthèse des volumes AEP prélevés sur l’entité et son évolution depuis 1987 sont présentées sur l’Illustration 8.

<b>Captage LIVERNA (commune d'Aubais)</b>				
	<b>Forage F1</b>	<b>F3 (F2 old)</b>	<b>F2(F3 old)</b>	<b>F4</b>
Date réalisation	1984	1986	1994	2006
Prof (m)	98	150	150	150
Diametre (mm)	161	273	161, puis 158 à partir de 90m	74
Q (m3/h)	24	20?	53-47	33
Cimentation	2 m gravitaire	15 m gravitaire	?	15m sous pression
Date	1984	1986	1994	2007
Z (NGF)	41	41	41	41
Niv Stat (m)	23.65		17	27
Niv Stat (m NGF)	17.35		24	14
NiV Dyn (m)	50		38.2	74
Q (m3/h)	24	20?	53-47	33

*Illustration 7 : Principales caractéristiques des ouvrages du captage Liverna (commune d'Aubais)*

Les données de prélèvements du captage AEP Saint Laze sont connues au pas de temps mensuel, celles du captage Liverna au pas de temps annuel. Dans le but de répartir ces prélèvements au même pas de temps mensuel, nous avons déterminé la fonction de production de pompage à l'aide des données du captage AEP Saint Laze (Illustration 9). Cette fonction de production de pompage permet d'estimer l'évolution mensuelle des prélèvements du captage AEP Liverna (Illustration 9).

Pour construire la chronique de pompage à utiliser en entrée du modèle, nous avons également considéré les volumes d'eau pompés lors des essais de pompage réalisés en 1994 et 2004 sur les forages « Boisseron », sondages de reconnaissance réalisés par le Syndicat Mixte Garrigues Campagne afin de tester les capacités hydrogéologiques de l'aquifère du Burdigalien inférieur (Illustration 6, Illustration 10). La chronique de pompage résultante utilisée dans cette étude est reportée sur l'illustration 10a. L'effet des tests de pompage réalisé en 2004 sur le forage « Boisseron Sud » est nettement perceptible sur les chroniques piézométriques disponibles aux piézomètres B3, B4 et B8 (Illustration 10b).

La chronique de pompage au pas de temps mensuel a ensuite été transformée au pas de temps décadaire pour tenir compte du pas de calcul des modèles (10 jours).

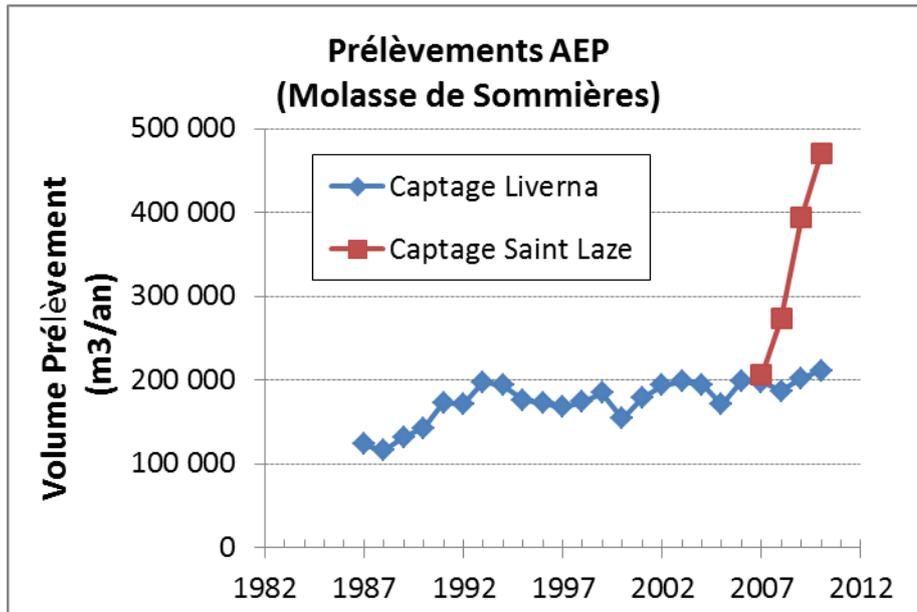


Illustration 8. Evolution des prélèvements annuels des captages Liverna (commune d'Aubais) et Saint Laze (commune de Sommières)

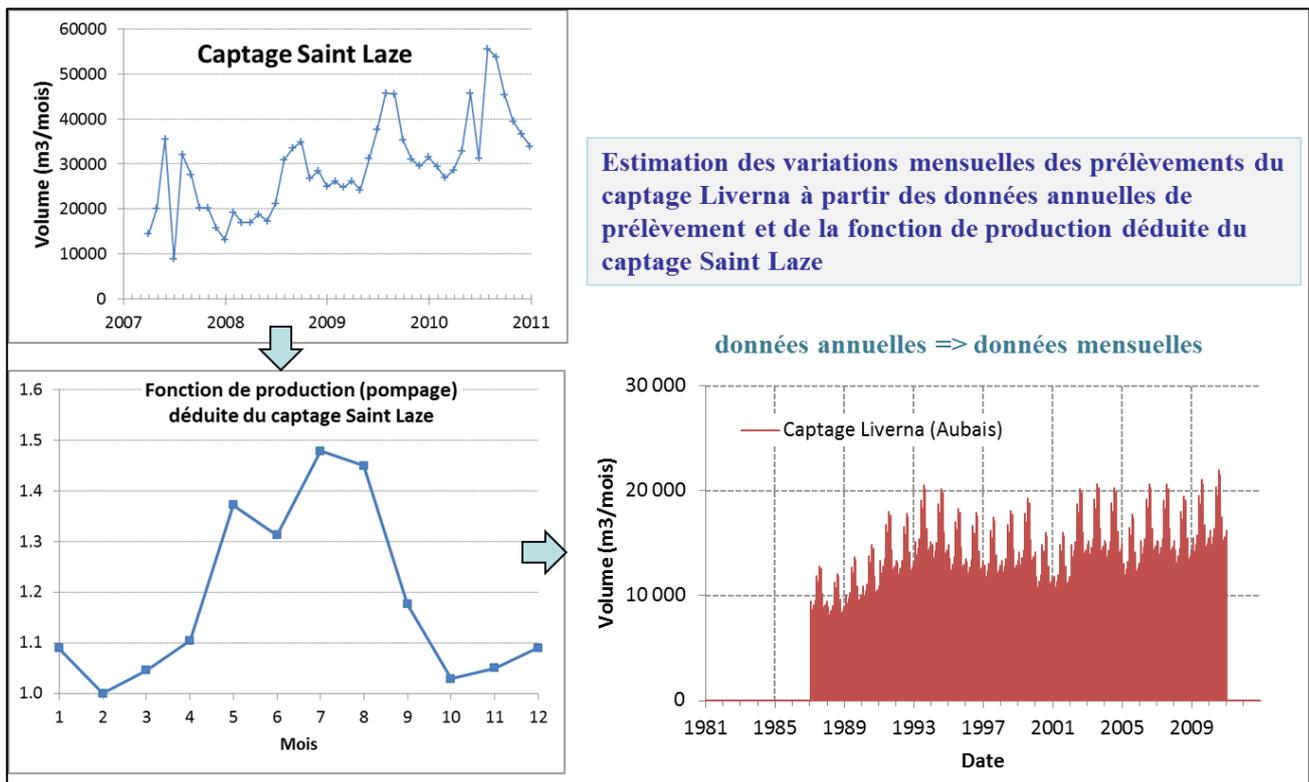


Illustration 9 : Détail de la procédure adoptée pour estimer l'évolution des prélèvements mensuels du captage de Liverna (commune d'Aubais).

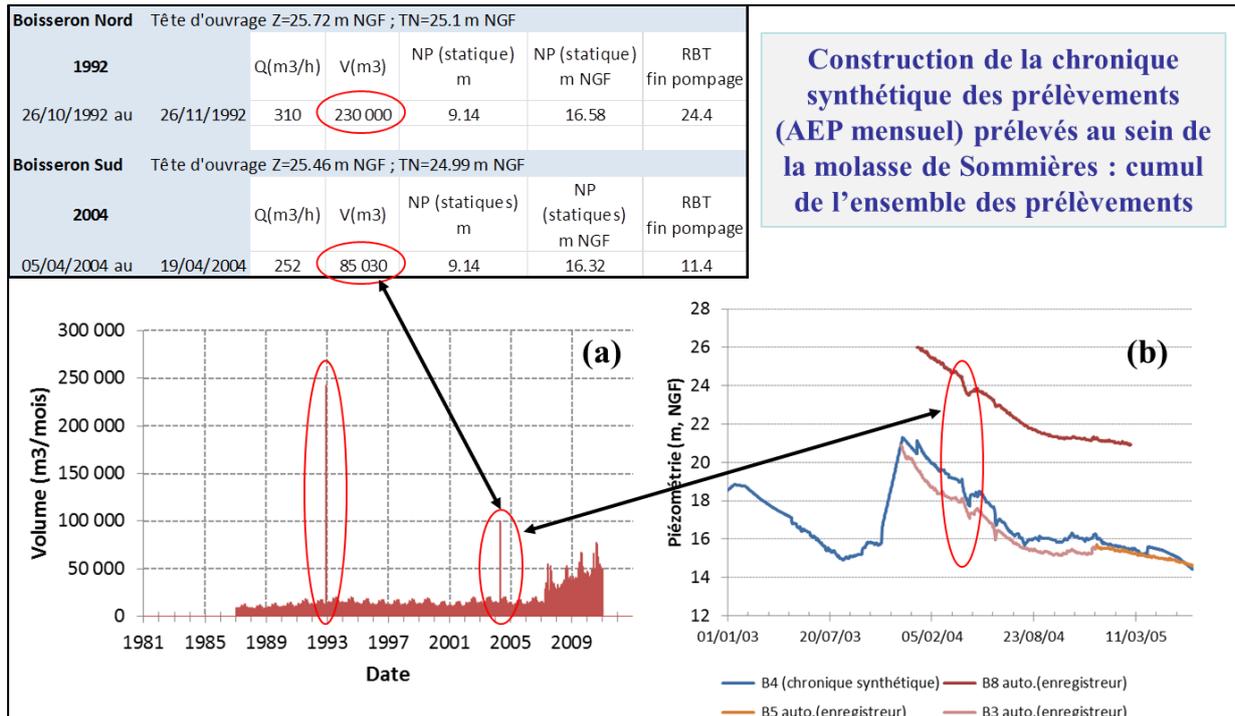


Illustration 10 : (a) Evolution du cumul des prélèvements AEP mensuels (captage Liverna + captage Boisseron + Captage Saint Laze) depuis 1987. Les informations relatives aux essais de pompage du captage Boisseron en 1992 et 2004 sont présentées. (b) Un détail des évolutions piézométriques mesurées entre 2003 et 2005 est présenté avec l'effet des essais de pompage de 2004

### b) Données de pluie et d'ETP

Les données d'ETP utilisées dans cette étude sont celles de la station Météofrance de Montpellier-Fréjorgues (n°34154001). Les données journalières ont été transformées au pas de temps décadaire pour tenir compte du pas de calcul des modèles (10 jours).

Les postes pluviométriques de Météofrance considérés dans cette étude sont les suivants : Villevieille (n°30352002) ; Lunel (n°34145001) ; St-Drézery (n°34249002) et Vérargues (n°34330001). Les données journalières collectées concernent la période 1990-2011. La fonction de pondération des pluies du logiciel Tempo permet d'optimiser la contribution de chaque pluviomètre dans le modèle de transfert. Le principe du calcul est présenté par Pinault et al, 2005. L'objectif du calcul est ici de maximiser la corrélation croisée entre  $P\Sigma$  et la piézométrie mesurée sur la période 1990-2011. Les calculs sont réalisés au pas de temps décadaire.

La combinaison linéaire obtenue pour la pluie ( $R\Sigma$ ) est :

$$R\Sigma = 0.14*Villevieille + 0.47*Lunel + 0.26*St-Drézery + 0.12*Vérargues$$

Les résultats (cumuls mensuels et annuels) sont présentés sur l'illustration 11. Sur la période considérée, l'année 1996 apparaît être l'année la plus humide (1120 mm) et 2006 la plus sèche (423 mm).

**Pluie\_BVMolasse = 0.14\*PI\_Villevieille+0.47\*PI\_Lunel+0.26\*PI\_St-Drézéry+0.12\*PI\_Verargues**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total général
1990	13	57	15	65	57	16	85	59	52	133	25	48	626
1991	37	40	54	48	18	34	28	75	69	95	22	26	547
1992	41	39	38	44	58	77	60	41	108	62	4	30	602
1993	12	47	45	121	24	32	66	68	151	83	84	55	789
1994	25	92	9	40	14	21	78	121	221	188	75	14	897
1995	22	27	11	38	21	12	47	73	114	137	151	104	757
1996	190	82	71	85	22	54	39	77	90	120	121	168	1120
1997	81	5	9	35	52	46	31	35	67	78	68	54	561
1998	19	32	94	78	19	12	46	62	45	20	73	46	547
1999	26	23	60	63	36	32	60	102	130	84	36	11	662
2000	8	28	49	56	39	17	77	88	79	86	116	92	734
2001	77	42	53	25	35	45	31	134	64	75	17	17	616
2002	27	36	67	53	50	43	74	75	120	123	75	56	798
2003	42	30	42	32	8	17	82	209	154	197	163	80	1056
2004	41	40	73	38	9	25	56	93	62	60	41	18	556
2005	4	14	35	50	19	8	60	150	153	67	73	66	699
2006	40	15	12	5	10	5	75	71	66	64	38	22	423
2007	23	33	59	99	45	10	20	122	88	46	45	40	631
2008	43	50	74	91	72	23	11	60	129	160	138	126	975
2009	102	112	79	58	19	18	11	49	56	55	57	102	718
2010	116	59	58	41	52	21	25	81	136	101	64	44	798
2011	60	67	53	30	35	43	21	30	114	125	128	5	711

PI\_Villevieille = station météoFrance n°30352002  
 PI\_Lunel = station météoFrance n°34145001  
 PI\_St-Drézéry = station météoFrance n°34249002  
 PI\_Verargues = station météoFrance n°34330001

Illustration 11 : Evolution de la pluviométrie sur l'impluvium des molasses de Sommières (estimation réalisée à l'aide de la fonction de pondération des pluies de Tempo).

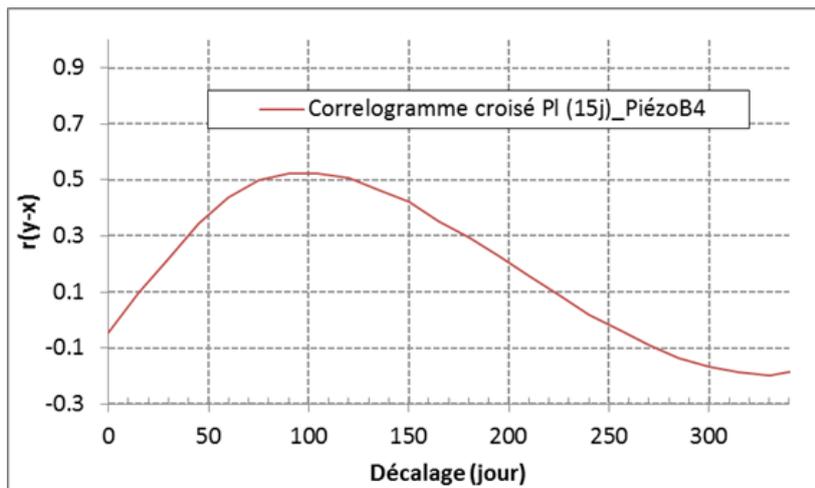


Illustration 12 : Corrélogramme croisé « pluie-piézométrie » pour l'ouvrage B4 (09646X0074/B4), pas de calcul = 15 jours

Le corrélogramme croisé « Pluie-Piézométrie » permet d'accéder à l'image de la réponse impulsionnelle des molasses burdigaliennes à la recharge par les pluies. La réponse de l'aquifère à la recharge présente une inertie puisque le pic ( $r = 0.5$ ) est observé pour des décalages de 100 jours environ. L'allure du corrélogramme croisé « Pluie-Piézométrie » évoque la recharge puis la vidange d'un réservoir.

### c) Données du Vidourle

L'évolution piézométrique observée du niveau de l'aquifère (Illustration 13) est quasi-indépendante de celle du Vidourle<sup>4</sup>, et se maintient, en toutes saisons, au-dessous des niveaux de la rivière, ce qui indiquerait que les relations entre la nappe et le Vidourle, si elles existent, sont très indirectes.

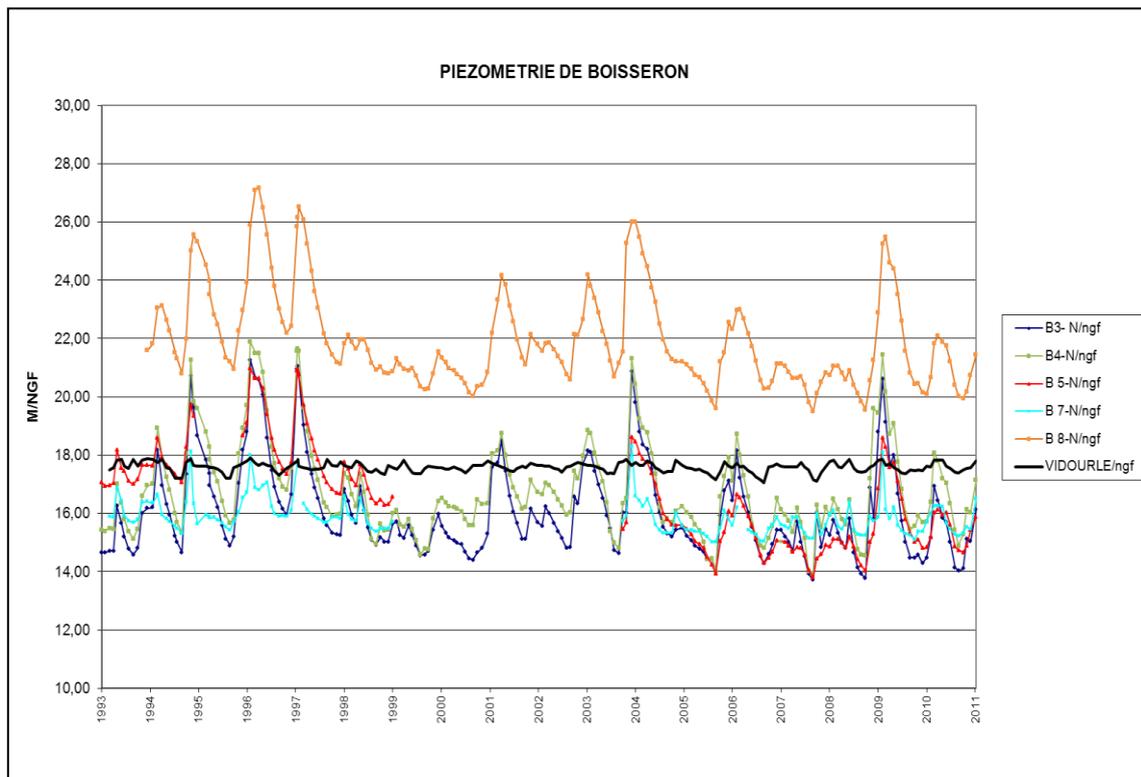


Illustration 13 : Evolution piézométrique des piézomètres du Syndicat Garrigues Campagne sur l'aquifère des molasses de Sommières (Burdigalien inférieur) (d'après Pappalardo) ; extrait du rapport BRGM/RP-61207-FR

Cependant, les eaux du Vidourle pourraient alimenter l'aquifère molassique notamment en amont du pont de la RN.110, au Nord de Sommières, au contact des molasses du Burdigalien inférieur avec les calcaires de Pondres, et/ou par la faille d'effondrement limitant vers le Nord-

<sup>4</sup> Le point de mesure du niveau du Vidourle se situe à l'amont immédiat (au nord) du moulin de Boisseron au droit de la rampe bétonnée (accès pour les canoës), au niveau d'une encoche sur le bord de la rampe, à proximité du piézomètre B7 (09646X0109/BOIF7).

Ouest la bordure du synclinal de Sommières, ainsi que dans la zone des ouvrages B5 et B6 où les molasses affleurent dans le lit du Vidourle.

Dans le but de tester l'influence et le rôle joué par une composante de recharge rapide extérieure aux molasses burdigaliennes nous avons donc considéré les données du débit du Vidourle en tant que contribution externe au bassin hydrogéologique. Dans l'approche de modélisation, il est souligné que la dynamique rapide (qualifiée par les débits du Vidourle) pourrait en fait exprimer la contribution d'un autre aquifère à dynamique rapide : aquifère karstique adjacent (calcaires de Pondres, Crétacé). L'absence de chronique piézométrique sur les aquifères karstiques adjacents ne permet pas de tester ces hypothèses.

Les données du débit du Vidourle à Sommières sont connues depuis 2003. Avant 2003, les débits du Vidourle ont été mesurés à Salinelles entre 1994 et 2002. Dans le but de construire une chronique synthétique du débit du Vidourle à Sommières, nous avons calculé le débit théorique du Vidourle en considérant les valeurs mesurées à Salinelles et le coefficient de rapport des bassins versants ( $650 \text{ km}^2 / 539 \text{ km}^2$ ). Il s'agit là d'une approche très simplificatrice, qui ne permet pas d'intégrer les apports intermédiaires des tributaires situés entre les stations de Salinelles et de Sommières. Dans le but de reconstituer les lacunes de mesures notamment de la période antérieure à 1994, nous avons utilisé un modèle de transfert calibré sur la période 2003-2011 (non détaillé dans ce rapport). Les différentes données utilisées et estimées sont présentées sur l'illustration 14.

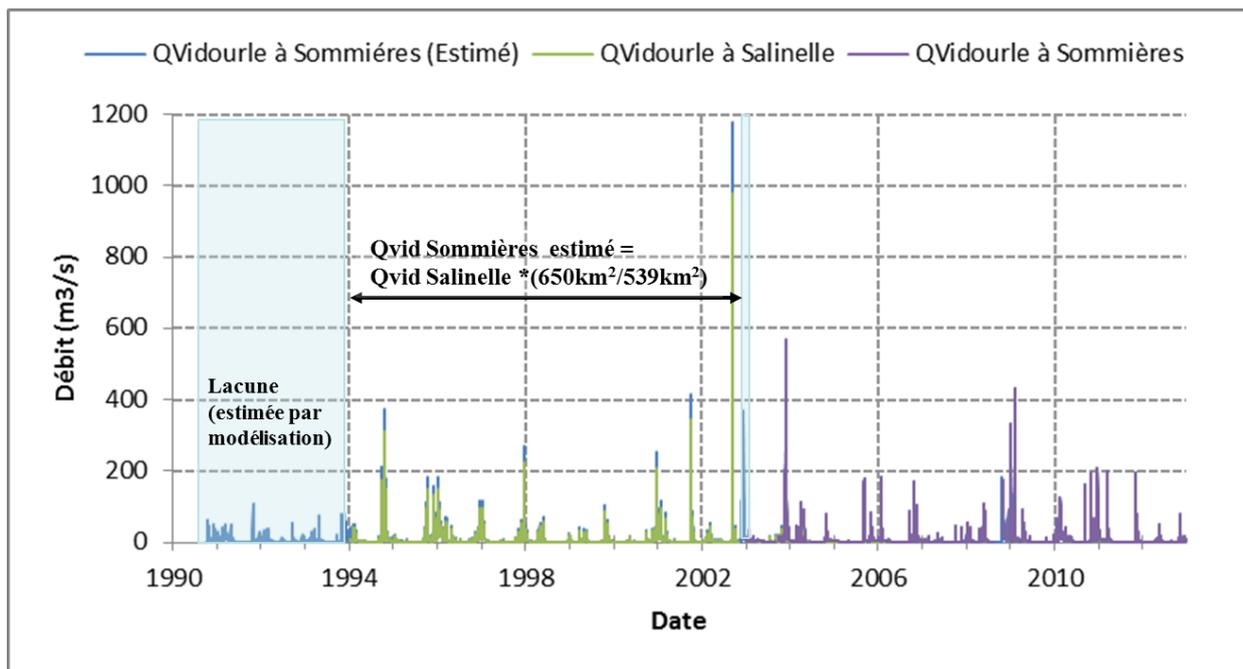


Illustration 14 : Données du Vidourle disponibles et estimées

### 2.2.3. Résultats obtenus par un modèle de transfert à 3 entrées en considérant une contribution externe au bassin hydrogéologique de Sommières (recharge rapide par le Vidourle)

Dans le but de tester l'influence et le rôle joué par une composante de recharge rapide extérieure aux molasses burdigaliennes nous avons considéré les données du débit du Vidourle (cf. 2.2.2).

La technique d'inversion par l'approche TEMPO consiste à calculer les réponses impulsionnelles et le seuil  $\Omega$  de pluie efficace de telle sorte que le niveau d'eau simulé par le modèle soit le plus proche possible des observations. Ce seuil  $\Omega$  est estimé à partir de la pluie et de l'ETP de telle façon que seule la hauteur de pluie située au-dessus de ce seuil génère une réponse hydrologique du système. Il est calculé à partir de la réponse impulsionnelle du système à la pluie et à l'ETP, également obtenue par inversion (cf. 2.1.2). Le travail de modélisation a été conduit sur les chroniques des piézomètres B3, B4 et B8.

Les résultats obtenus sur les périodes de calage et de validation (ouvrages B3, B4 et B8) sont présentés (Illustration 15, Illustration 16, Illustration 17). L'évolution des contributions relatives des différentes composantes est également reportée pour chaque modèle. Les modèles permettent de reproduire de manière satisfaisante les chroniques observées compte tenu des valeurs du critère de Nash des périodes de validation ( $>0.8$ ).

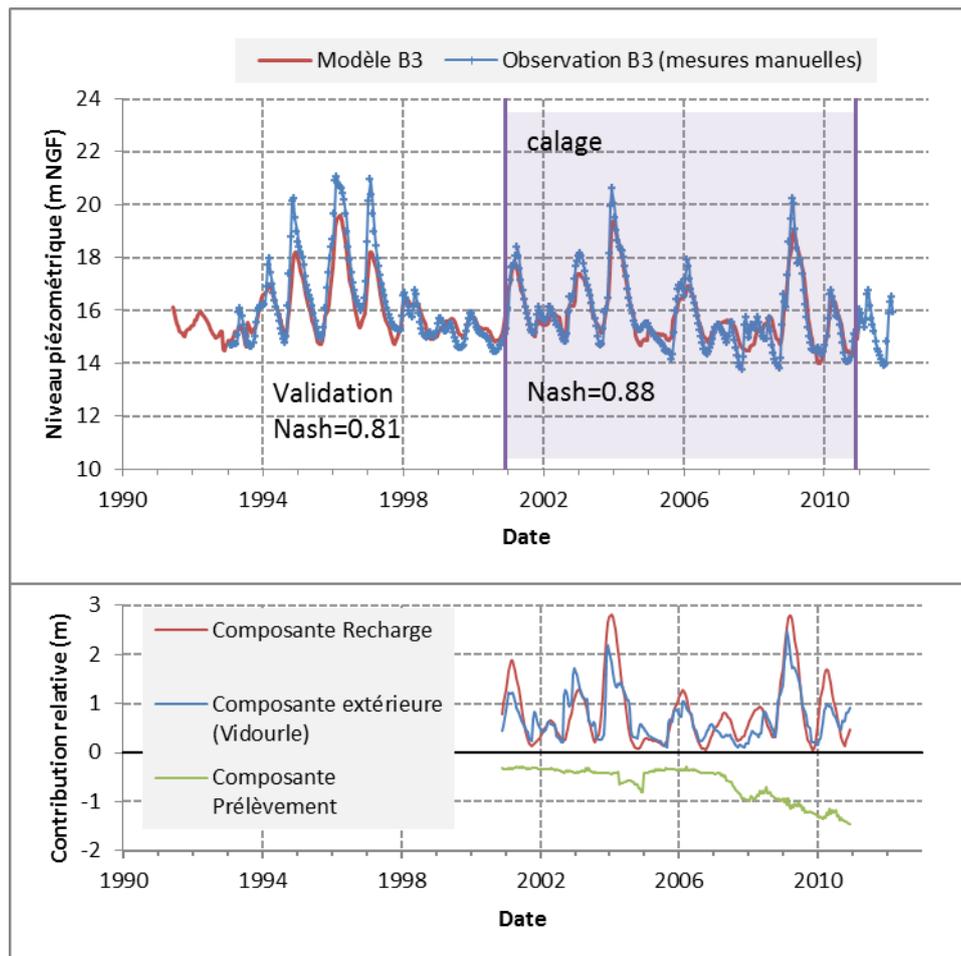


Illustration 15. Comparaison de la piézométrie modélisée aux observations (périodes de calage et de validation) : **exemple de l'ouvrage B3.**

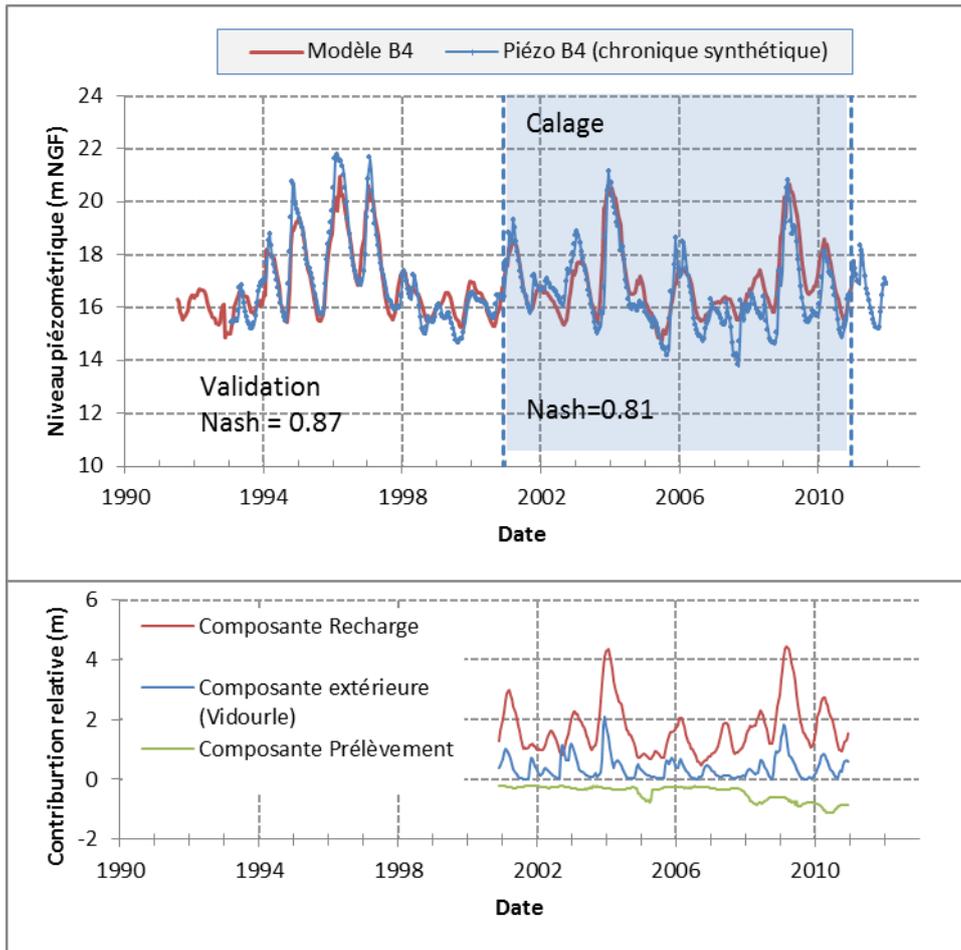


Illustration 16. Comparaison de la piézométrie modélisée aux observations (périodes de calage et de validation) : **exemple de l'ouvrage B4.**

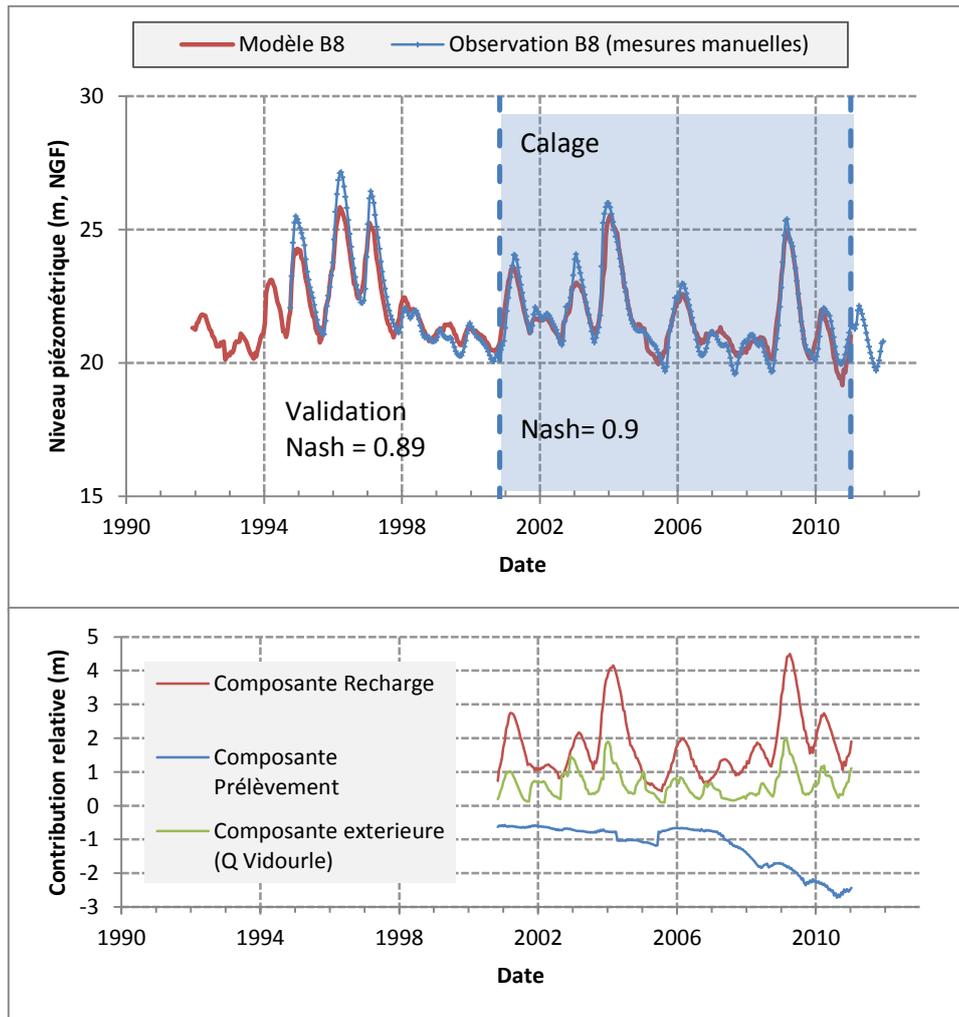


Illustration 17. Comparaison de la piézométrie modélisée aux observations (périodes de calage et de validation) : **exemple de l'ouvrage B8.**

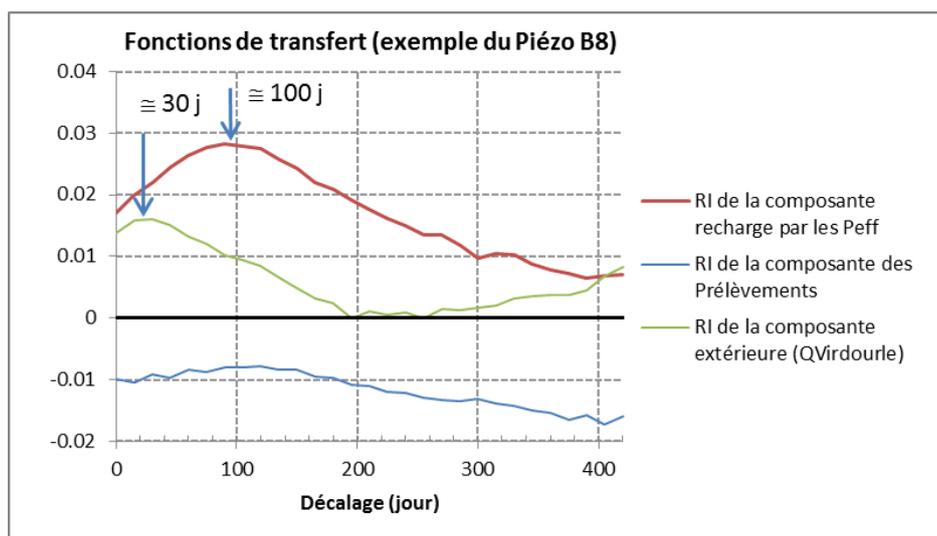


Illustration 18. Exemple de Réponses Impulsionnelles obtenues (cas du modèle de transfert « Piézo B8 »).

La fonction de transfert de la recharge par les pluies efficaces (Illustration 18) présente un maximum pour des décalages de 100 jours environ. L'allure de la réponse impulsionnelle de la recharge par les pluies efficaces est comparable à l'image de la réponse impulsionnelle calculée à l'aide du corrélogramme croisé pluie-piézométrie (cf. Illustration 12). L'allure générale de la réponse impulsionnelle évoque la recharge d'un réservoir suivi de sa vidange.

La fonction de transfert de la composante extérieure présente globalement le même type de comportement (recharge puis vidange) mais la réponse est maximale pour des décalages plus faibles (30 jours). La composante de recharge rapide, qualifiée dans notre approche de modélisation par le débit du Vidourle à Sommières, semble contribuer de manière significative (de 13 à 32%, Illustration 19) au fonctionnement de l'aquifère des molasses burdigaliennes de Sommières. Comme évoqué précédemment, cette composante à réponse rapide qualifiée à l'aide du Vidourle pourrait en fait exprimer la contribution d'un autre aquifère à dynamique rapide comme un aquifère karstique adjacent (calcaires de Pondres, Crétacé) mais l'absence de chronique piézométrique sur les aquifères karstiques adjacents ne permet pas de tester ces hypothèses. Dans l'état actuel des connaissances, on ne peut donc pas exclure que le Vidourle contribue à l'alimentation de l'aquifère des molasses de Sommières. Des investigations hydrogéologiques spécifiques devront être mises en œuvre pour apporter des réponses à ce questionnement.

On souligne toutefois, sur la base des cotes d'eau mesurées dans l'aquifère et le Vidourle (Illustration 13), que la charge hydraulique dans l'aquifère apparaît globalement inférieure au potentiel imposé par le Vidourle, à l'exception des périodes de très hautes eaux. Dans ce contexte, le Vidourle pourrait temporairement et localement alimenter l'aquifère des molasses. A l'inverse, au niveau du piézomètre B8, on ne peut pas imaginer une contribution du Vidourle puisque la charge hydraulique mesurée dans l'aquifère est nettement supérieure à la cote du Vidourle. Dans ce contexte, la contribution rapide mis en évidence à l'aide du modèle de transfert serait à rattacher à la contribution d'un autre aquifère à dynamique rapide (calcaires de Pondres ?).

Le tableau de l'illustration 19 présente les contributions moyennes des deux composantes de recharge identifiées. Les quantifications des flux d'eau de la composante Vidourle ont été calculées de manière globale en considérant la surface totale de l'impluvium, soit 8 km<sup>2</sup>. Sur la période 2001-2010, le débit moyen de la contribution extérieure associée au Vidourle serait compris entre 0.01 et 0.04 m<sup>3</sup>/s. En suivant l'hypothèse d'une contribution du fleuve à l'alimentation des molasses, les débits de contribution estimés apparaissent globalement faibles en comparaison des débits statistiques reportés pour le Vidourle à Sommières (Illustration 20).

<b>Contribution moyenne des différentes entrées considérées :</b>			
<b>Ouvrage</b>	<b>Recharge pluie efficace</b>	<b>Prélèvements mensuels</b>	<b>Recharge par le Vidourle</b>
<b>B4</b>	64%	20%	13%
<b>B3</b>	38%	30%	32%
<b>B8</b>	49%	34%	17%

année	Pluie efficace (mm)	Recharge Vidourle (mm)	
2001	236	101	<b>S=8 km<sup>2</sup></b>
2002	299	160	
2003	524	145	
2004	187	78	
2005	234	93	
2006	118	70	
2007	272	42	
2008	425	115	
2009	355	80	
2010	251	100	

Illustration 19 : Synthèse des contributions moyennes obtenues par les différents modèles de transfert.

	Débits influencés (m <sup>3</sup> /s) - Point nodal V5								
	Mois			10 jours			3 jours		
	Moyen	médian	5 ans	Moyen	médian	5 ans	Moyen	médian	5 ans
janvier	12.83	6.53	2.40	5.84	3.06	1.33	3.15	2.07	0.97
février	8.39	4.02	1.39	3.73	2.13	0.88	1.83	1.44	0.77
mars	6.51	3.04	1.02	2.23	1.41	0.60	1.79	1.23	0.56
avril	3.56	2.21	0.97	1.30	0.98	0.51	1.12	0.87	0.46
mai	3.72	2.13	0.84	1.32	1.05	0.59	0.88	0.78	0.50
juin	1.54	0.87	0.41	0.60	0.44	0.24	0.57	0.47	0.31
juillet	0.36	0.28	0.15	0.26	0.20	0.12	0.36	0.31	0.24
août	0.22	0.15	0.08	0.17	0.11	0.06	0.27	0.22	0.18
septembre	6.52	1.43	0.29	0.53	0.15	0.03	0.20	0.13	0.09
octobre	9.99	3.92	1.04	1.72	0.63	0.17	0.59	0.35	0.13
novembre	12.75	7.91	2.65	2.58	1.56	0.58	1.72	1.06	0.38
décembre	15.83	5.54	1.35	4.21	2.03	0.70	2.13	1.37	0.58
QMNA / VCN10 / VCN3	0.19	0.14	0.08	0.08	0.05	0.02	0.07	0.04	0.02
module	6.85								
	Débits naturels reconstitués (m <sup>3</sup> /s) - Point nodal V5								
	Mois			10 jours			3 jours		
	Moyen	médian	5 ans	Moyen	médian	5 ans	Moyen	médian	5 ans
janvier	12.82	6.52	2.38	5.83	3.04	1.32	3.15	2.07	0.97
février	8.36	3.99	1.36	3.71	2.10	0.86	1.83	1.44	0.77
mars	6.50	3.03	1.02	2.23	1.41	0.59	1.79	1.23	0.56
avril	3.54	2.19	0.96	1.29	0.97	0.50	1.12	0.87	0.46
mai	3.74	2.15	0.86	1.34	1.07	0.61	0.88	0.78	0.50
juin	1.65	0.98	0.52	0.71	0.55	0.35	0.57	0.47	0.31
juillet	0.50	0.41	0.28	0.39	0.33	0.25	0.36	0.31	0.24
août	0.34	0.27	0.20	0.29	0.23	0.19	0.27	0.22	0.18
septembre	6.59	1.49	0.36	0.59	0.21	0.10	0.20	0.13	0.09
octobre	10.00	3.93	1.05	1.73	0.64	0.18	0.59	0.35	0.13
novembre	12.75	7.90	2.65	2.57	1.55	0.57	1.72	1.06	0.38
décembre	15.82	5.52	1.34	4.19	2.01	0.68	2.13	1.37	0.58
QMNA / VCN10 / VCN3	0.31	0.26	0.20	0.14	0.11	0.08	0.13	0.11	0.08
module	6.88								

Illustration 20 : Statistiques descriptives du débit du Vidourle au point nodal V5 à Sommières (extrait de l'étude Ginger sur les volumes prélevables sur le Vidourle)

### 2.2.4. Résultats obtenus par un modèle de transfert à 2 entrées (calage et validation) sans contribution du Vidourle

Les résultats des modélisations obtenues sans contribution du Vidourle pour les piézomètres B3, B4 et B8 sont présentés sur l'illustration 21.

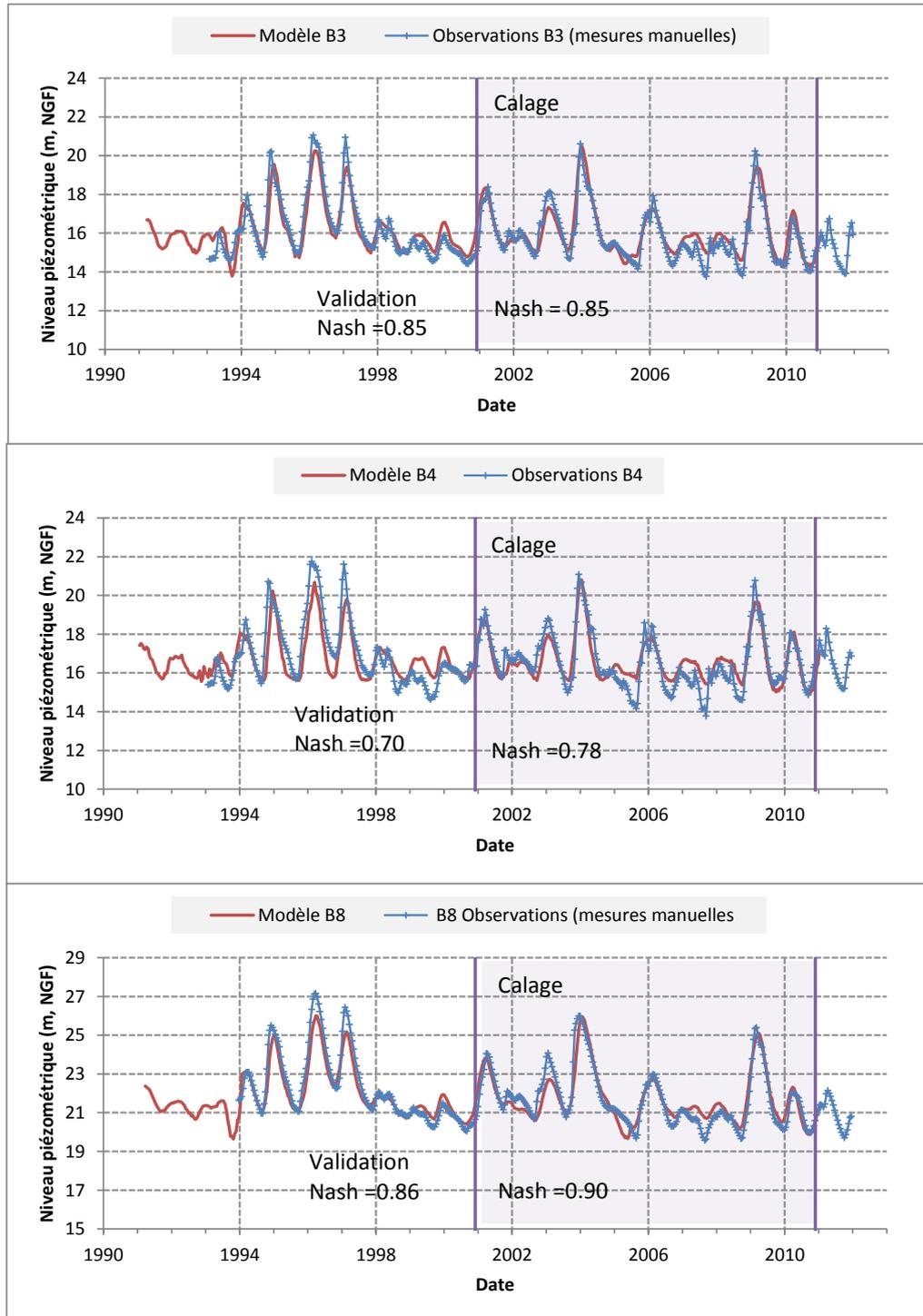


Illustration 21 : Comparaison de la piézométrie modélisée aux observations, modèles sans contribution du Vidourle (exemples des ouvrages B3, B4 et B8).

Les résultats de modélisation obtenus pour les piézomètres B3 et B8 sont jugés satisfaisants. Les critères de Nash des périodes de validation sont élevés ( $>0.8$ ), les résultats apparaissent légèrement moins satisfaisants que ceux obtenus à l'aide du modèle précédent qui prenait en compte une alimentation extérieure au bassin hydrogéologique (cf. Illustration 15 et Illustration 17).

Les résultats de modélisation obtenus pour les piézomètres B4 apparaissent nettement moins satisfaisants. Le modèle peine à reproduire les évolutions lors des étiages des années déficitaires (2005 et 2007 notamment). Le modèle précédent à trois entrées (cf. Illustration 4 et Illustration 16) permet globalement de mieux reproduire les évolutions mesurées au piézomètre B4.

### **2.2.5. Résultats des simulations en absence de pompage**

Les modèles de transferts à 2 ou 3 entrées (cf. Illustration 3 et Illustration 4) ont été utilisés pour simuler l'évolution de la piézométrie en absence de pompage. Les tests ont été réalisés en considérant les variables climatiques (pluie et ETP) de la période d'observation (1990-2011). Pour les modèles à 3 entrées, la chronique extérieure considérée est celle du débit du Vidourle telle que définie précédemment (cf. § 2.2.2). Les résultats des simulations sont présentés ci-après (Illustration 22 et Illustration 23).

Pour le modèle à 3 entrées, nous présentons l'évolution de la différence piézométrique calculée par les modèles en présence et en absence de prélèvements (Illustration 24). La piézométrie calculée en absence de prélèvement est dite « naturelle » car elle permet d'estimer l'évolution qu'aurait présenté l'aquifère sans pompage. Les évolutions reportées permettent de bien souligner que la mise en fonctionnement du captage de Saint-Laze s'est traduite depuis 2007 par une augmentation de la baisse piézométrique liée aux prélèvements. En 2010, l'écart entre la piézométrie dite « naturelle » et la piézométrie influencée par les prélèvements est comprise entre 1.5 m et 2.5 m selon l'ouvrage considéré (B3 ou B8). Ces évolutions encadrent celles mesurées au piézomètre B4 (non présenté). L'effet des essais de pompages conduit aux forages de la commune de Boisseron est nettement visible. Ils induisent globalement une augmentation ponctuelle du rabattement de la nappe de l'ordre de 1 m en 1993 (230 000 m<sup>3</sup> pompés en 30 jours) et de l'ordre de 0.3 m en 2004 (85 000 m<sup>3</sup> pompés en 15 jours).

Des résultats globalement comparables sont obtenus à l'aide du modèle à 2 entrées (Illustration 25). Toutefois, nous remarquons que l'effet des prélèvements se fait d'avantage ressentir au piézomètre B8 (cf. Illustration 24, résultats obtenus à l'aide du modèle de transfert à 3 entrées). Ces résultats nous apparaissent plus logiques car l'amplitude piézométrique la plus grande est observée au piézomètre B8. Les essais de pompages conduits sur les forages de Boisseron induisent globalement une augmentation ponctuelle du rabattement de la nappe de l'ordre de 1.5 m en 1993 (230 000 m<sup>3</sup> pompés en 30 jours) et de l'ordre de 0.6 m en 2004 (85 000 m<sup>3</sup> pompés en 15 jours).

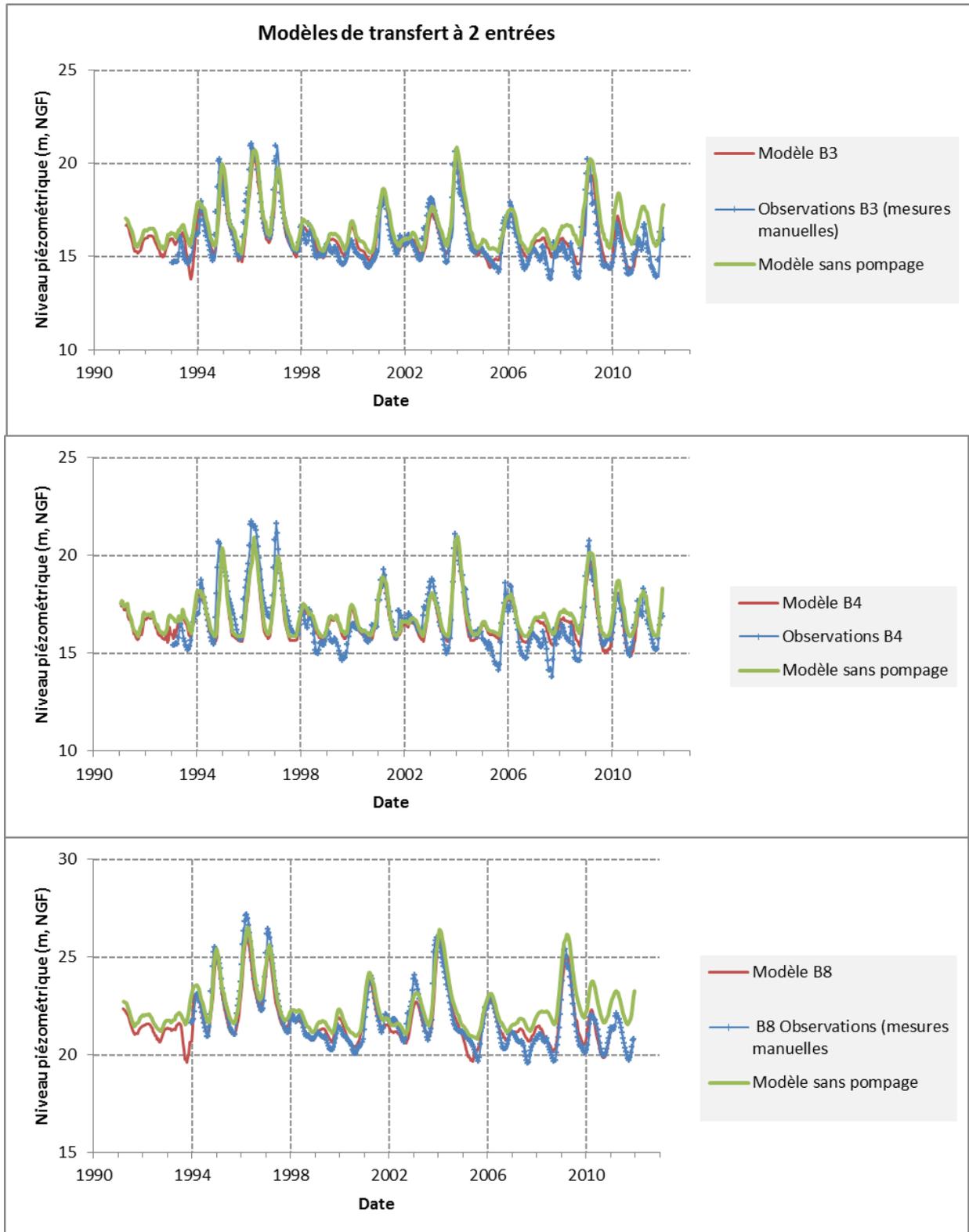


Illustration 22 : Modèles de transfert à 2 entrées : évolution de la piézométrie simulée en absence de pompage pour les ouvrages B3, B4 et B8. Les piézométries mesurées et modélisées sont également reportées.

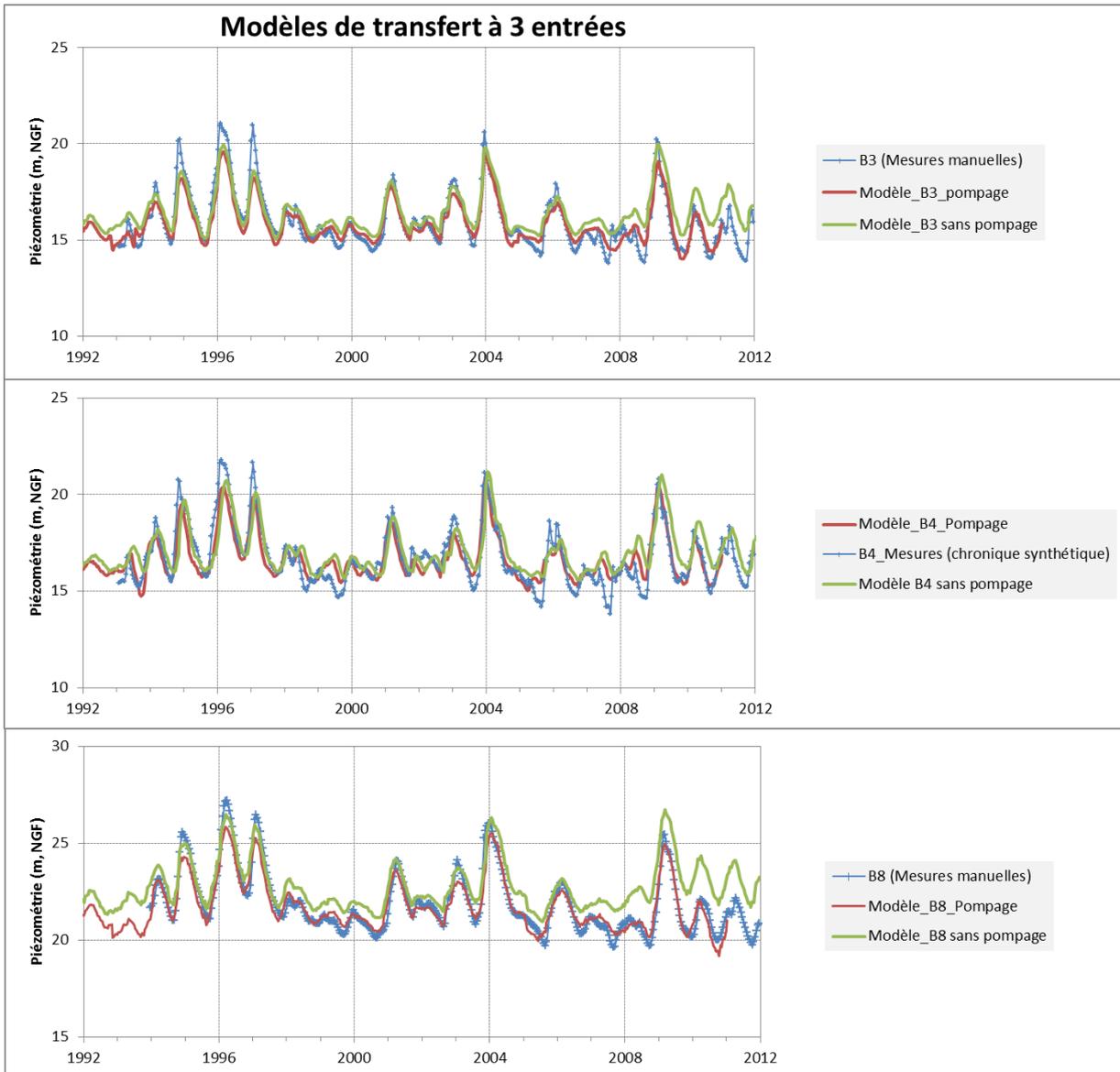


Illustration 23 : Modèles de transfert à 3 entrées : évolution de la piézométrie simulée en absence de pompage pour les ouvrages B3, B4 et B8. Les piézométries mesurées et modélisées sont également reportées.

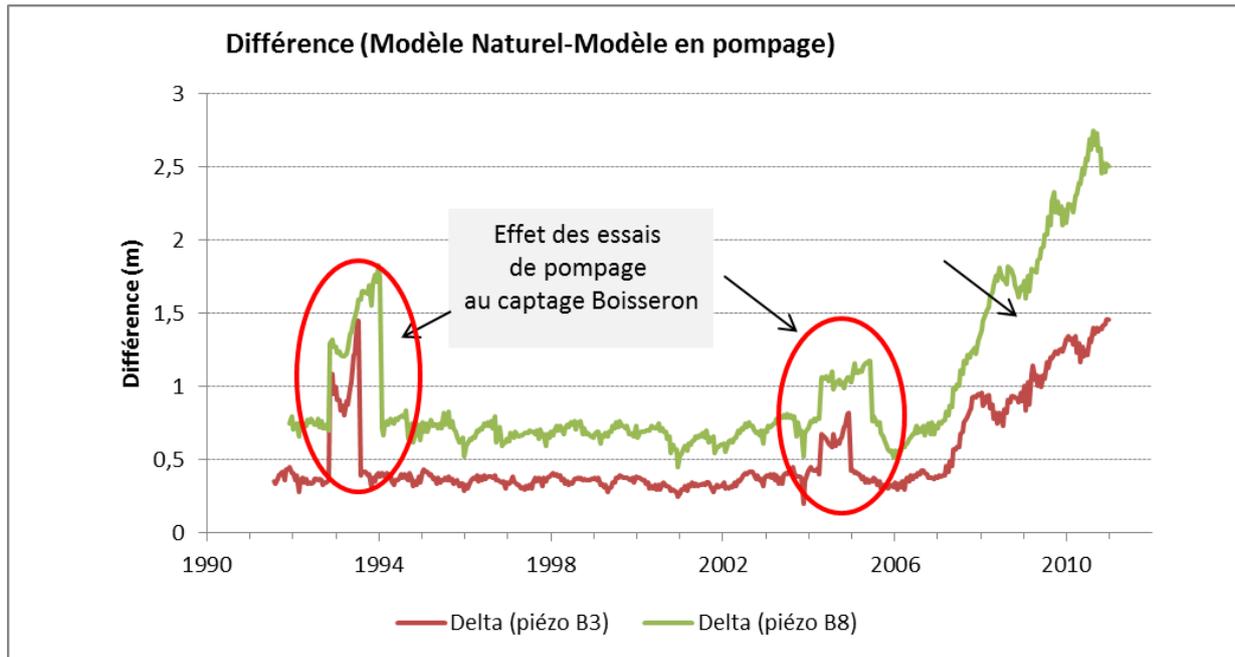


Illustration 24 : Modèles de transfert à 3 entrées : évolution de la différence piézométrique calculée par les modèles en présence et en absence de prélèvements (condition sans pompage dite « naturelle »). Les évolutions reportées (modèle « Naturel » - modèle en pompage) concernent les ouvrages B3 et B8.

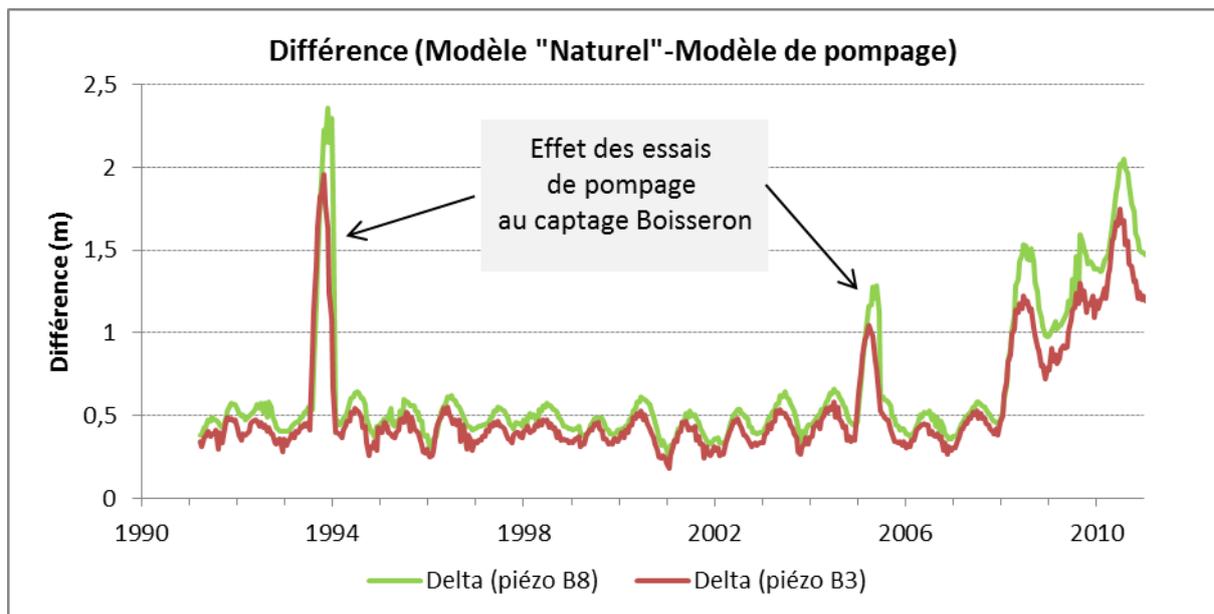


Illustration 25 : Modèles de transfert à 2 entrées : évolution de la différence piézométrique calculée par les modèles en présence et en absence de prélèvements (condition sans pompage dite « naturelle »). Les évolutions reportées (modèle « Naturel » - modèle en pompage) concernent les ouvrages B3 et B8.

## 2.2.6. Bilans hydrogéologiques de l'entité 556B1

Sur la base des résultats du modèle de transfert à 2 entrées, nous avons estimé le volume de recharge de l'aquifère par les pluies efficaces en considérant que l'impluvium des molasses du Burdigalien inférieur est de 8 km<sup>2</sup>. Les résultats de ces estimations sont reportés sur l'illustration 26. Le coefficient de porosité/emmagasinement équivalent de l'aquifère est estimé

à 0,061 sur la base des résultats obtenus par le modèle au piézomètre B3. Le volume de recharge annuel (2.9 millions de m<sup>3</sup> en moyenne inter annuelle) apparaît bien supérieur au volume des prélèvements annuels (0.7 millions de m<sup>3</sup> en 2010). Pour établir un bilan hydrologique, il faut au préalable estimer le flux de sortie qui transite au travers de la gouttière synclinale de Junas-Aubais. En absence d'information piézométrique dans ce secteur, il est impossible d'évaluer précisément le gradient hydraulique et par conséquent le flux d'eau qui peut transiter sur un cycle hydrologique. La seule information récente disponible date de 2006 : le niveau statique mesuré dans l'ouvrage F4 du captage Liverna (commune d'Aubais) était alors autour de 14 m NGF, soit environ 1.5 m en dessous du niveau moyen du piézomètre B3 (niveau moyen = 15.6 m NGF en 2006). Dans le but d'estimer un bilan hydrologique, nous avons considéré en première approximation que le flux d'eau de sortie pourrait correspondre tout au plus au volume minimum de la recharge, soit environ 1.4 millions de m<sup>3</sup>/an, puisque le niveau piézométrique apparaît stable sur la période 1990-2006. Dans ce contexte, le bilan (entrée-sortie) apparaît globalement à l'équilibre, voire excédentaire sur la période 1990-2010.

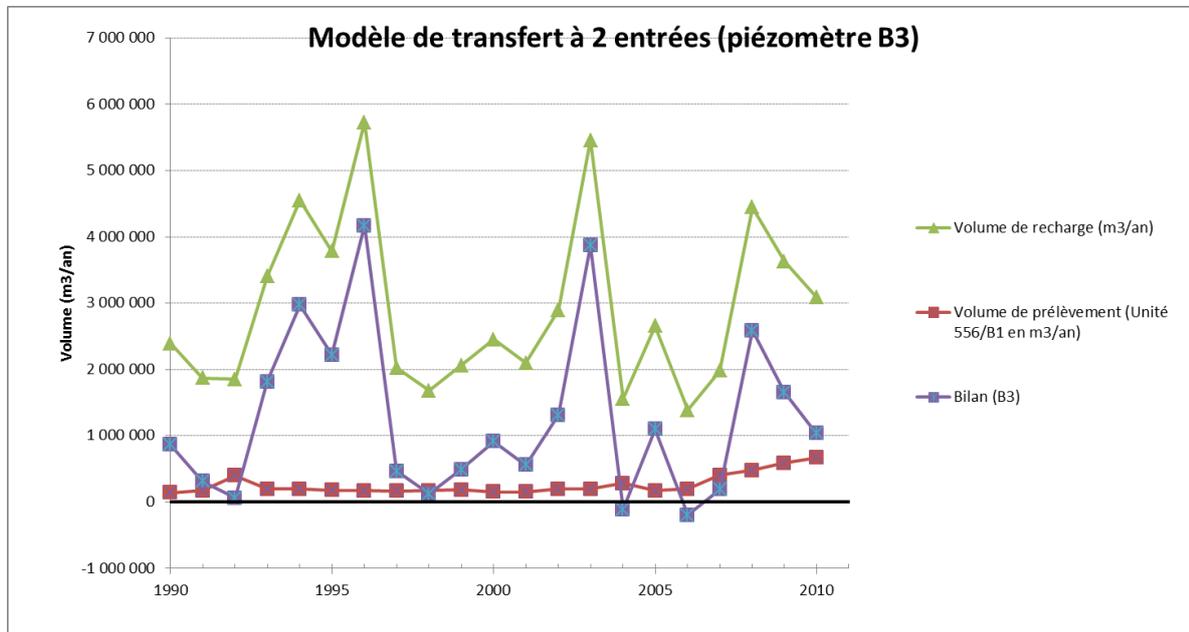


Illustration 26. Estimation du bilan de l'aquifère 556B1 depuis 1990 (résultats obtenus par la méthode de transfert à 2 entrées -sans contribution externe- pour l'ouvrage B3).

Les tests de modélisation conduits en considérant une contribution possible des pertes du Vidourle ne permettant pas de conclure de manière probante sur le rôle effectif ou non d'une alimentation en eau, l'estimation du bilan de l'aquifère n'a pas été réalisée pour le modèle à trois entrées.

**La méconnaissance des flux de sortie de l'aquifère entraîne d'importantes incertitudes dans l'évaluation de ces bilans hydrogéologiques. Il conviendra à l'avenir de mieux contrôler les flux de sortie qui transitent au sein de la gouttière synclinale de Junas-Aubais en suivant notamment l'évolution piézométrique dans ce secteur.**

### **2.2.7. Amélioration de la connaissance de l'hydrosystème 556B1**

Tout au long des chapitres précédents, des lacunes de connaissance et des hypothèses ont été évoquées. L'un des principaux éléments sur lequel il faudrait travailler concerne les relations entre la nappe du Burdigalien inférieur et le Vidourle. Pour cela, il est nécessaire d'avoir une meilleure connaissance des débits du fleuve, en améliorant la qualité de la mesure au niveau de la station hydrométriques de Sommières en période d'étiage, et en procédant à des campagnes de jaugeages en amont et aval des zones de pertes hypothétiques. Il faudrait également procéder à des campagnes piézométriques hautes eaux/basses eaux sur l'aquifère, en incluant la gouttière d'Aubais, et la mesure du Vidourle dans plusieurs secteurs. L'acquisition de données géochimiques permettrait également de qualifier les échanges nappe/Vidourle.

Concernant la définition du réseau de suivi, il faudrait poursuivre l'acquisition de données en temps continu au minimum sur les piézomètres B3, B4 et B8. Un suivi de la piézométrie sur le champ captant d'Aubais (Liverna) pourrait apporter des informations sur la « gouttière » molassique. De même, un suivi de la piézométrie des systèmes aquifères adjacents permettrait d'avancer sur la connaissance des éventuelles relations hydrauliques entre les différents aquifères.

## **2.3. MODELISATION DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE DE LA MOLASSE DE CASTRIES (ENTITE 556B2)**

### **2.3.1. Cadre conceptuel du fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère du Burdigalien inférieur (molasses de Castries)**

Ces éléments ont été traités en détail dans le rapport BRGM/RP-61207-FR. Comme pour l'entité des molasses de Sommières, deux niveaux aquifères du Burdigalien sont séparés par un niveau marno-gréseux jugé peu perméable (aquitard). Ce sont les molasses du Burdigalien inférieur, les plus profondes, qui renferment l'aquifère principal. L'évolution de la piézométrie (piézomètre Décharge, 09911X0317/P3BIS) est reportée Illustration 27 et la délimitation de la zone d'étude sur l'Illustration 28.

La seule carte piézométrique dont on dispose est celle établie par Ginesty en décembre 1981. L'exutoire principal de l'aquifère est bien connu puisqu'il s'agissait de la source de Fontmagne. Aujourd'hui, avec l'augmentation des prélèvements, cette source, comme d'autres plus diffuses dans le lit du Bérage, ne présente plus d'écoulement.

Trois cours d'eau traversent le synclinal de Castries : la Garonette, le Valentibus et le Bérage. Ces cours d'eau ne possèdent pas d'alimentation pérenne, les écoulements sont observés sur une période de 6 à 8 mois par an. D'après les informations bibliographiques, des pertes sont observées sur ces cours d'eau, principalement sur le Bérage et contribuent à alimenter l'aquifère du Burdigalien inférieur. Le débit de ces pertes n'est pas connu.

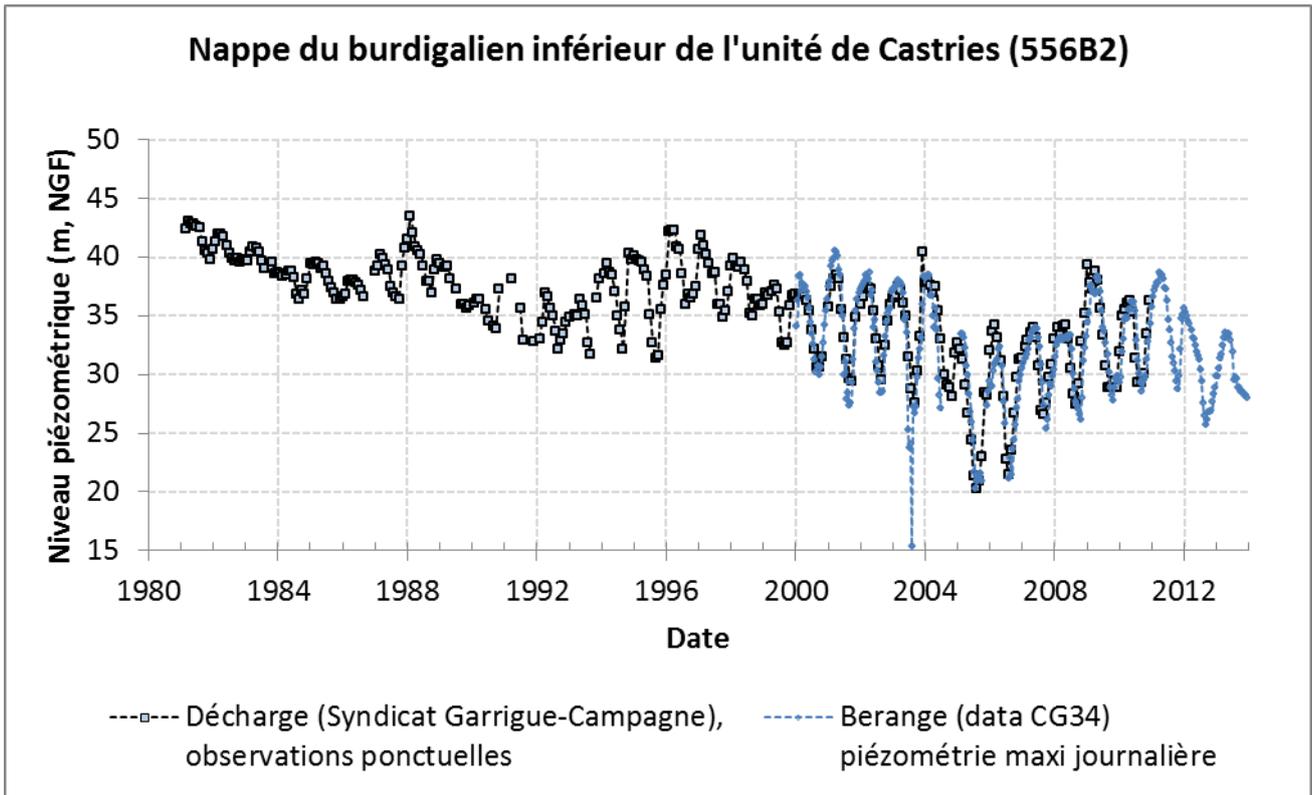


Illustration 27. Evolution de la piézométrie de la nappe du Burdigalien inférieur de l'unité de Castries.

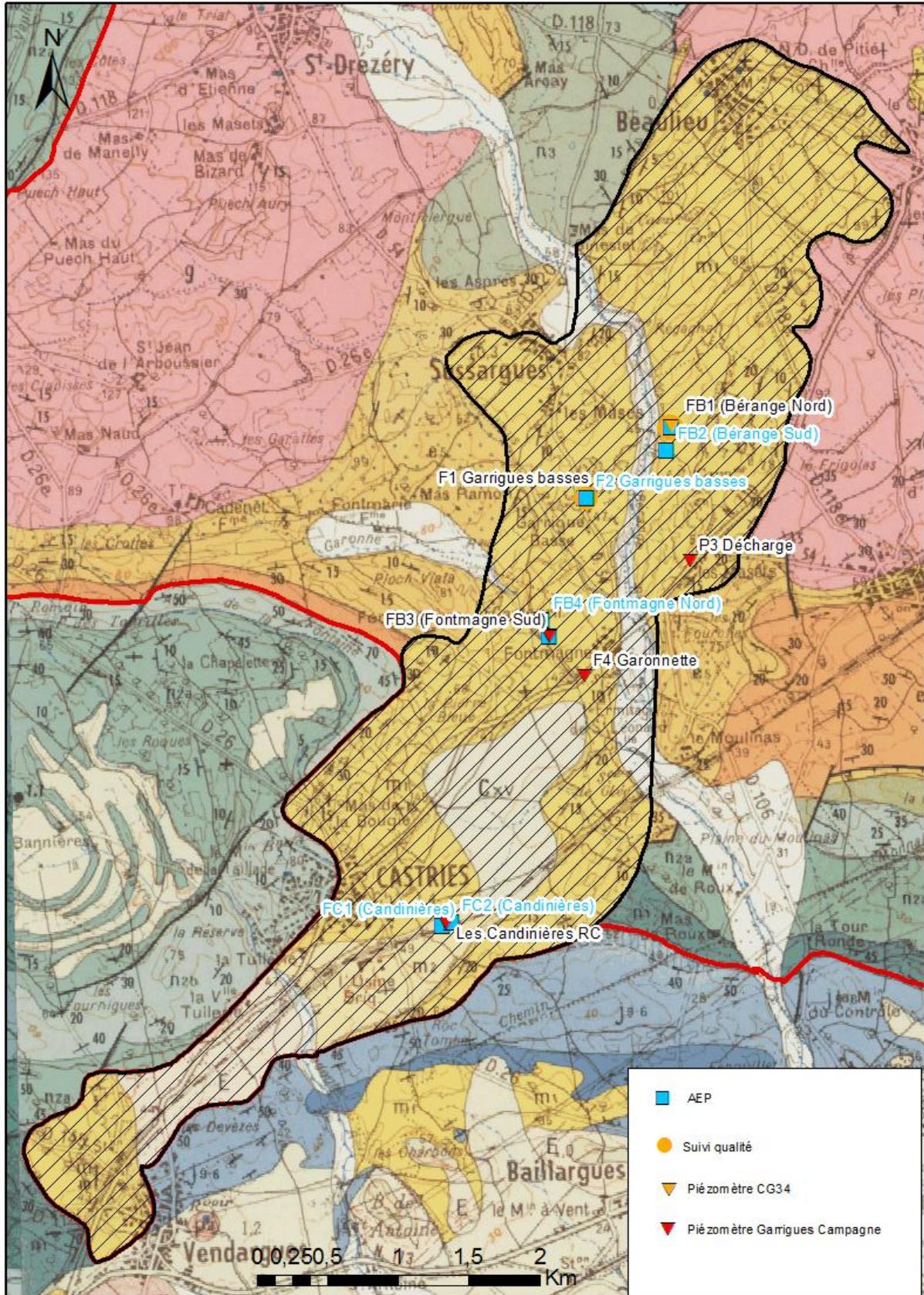


Illustration 28. Carte de localisation de l'entité 556B2 sur fond carte géologique de Lunel au 1/500000

### 2.3.2. Les données d'entrée des modèles de transfert (entité 556B2)

#### a) Données de prélèvement

La description des captages AEP recensés au sein des molasses de l'entité de Castries (556B2) est présentée dans le rapport BRGM/RP-61207-FR. L'aquifère du Burdigalien inférieur est sollicité par 4 captages AEP : Garrigues Basses, Fontmagne, Candinières et Bérange (situés sur Illustration 28).

Les données des prélèvements AEP sont connues au pas de temps mensuel depuis 1995 (à l'exception de Garrigues Basses<sup>5</sup>) et au pas de temps annuel avant 1995. Les prélèvements sur la nappe ont continuellement augmenté depuis 1981 ; en 2010 le volume de prélèvement annuel cumulé était de 2.7 millions de m<sup>3</sup>. Les prélèvements du captage Bérange sont les plus importants et représentaient 1.07 millions de m<sup>3</sup> en 2010.

Les prélèvements des ouvrages privés et des prélèvements agricoles sur l'unité 556B2 ne sont pas connus avec précision. Les volumes prélevés annuellement ont été estimés (BRGM/RP-61207-FR) et seraient compris entre 50 000 et 600 000 m<sup>3</sup> selon les hypothèses considérées, et vraisemblablement compris entre 50 000 et 100 000 m<sup>3</sup>. Les prélèvements agricoles seraient compris entre 100 000 et 400 000 m<sup>3</sup>. Les volumes prélevés dans l'unité 556B2 pour l'industrie seraient peu importants (négligeables ?) mais toutefois mal connus.

Dans le but de construire une chronique de prélèvements au pas de temps mensuel, nous avons au préalable calculé la fonction de production de pompage du captage AEP du Bérange. L'évolution des prélèvements moyens mensuels calculés sur la période 1995-2011 est présentée sur l'illustration 29(a). En considérant le volume annuel, on peut exprimer de manière relative l'évolution annuelle des prélèvements et ainsi définir une fonction de production (Illustration 29b). A l'aide de cette fonction de production, nous pouvons estimer l'évolution des débits mensuels de prélèvements à partir des volumes annuels. Nous présentons sur l'illustration 29(c) l'évolution mensuelle du cumul de prélèvement de l'ensemble des captages AEP. Les résultats sont exprimés en volume journalier (volume mensuel prélevé divisé par le nombre de jours du mois). L'approche de reconstitution adoptée permet de reproduire de manière satisfaisante les évolutions mensuelles mesurées depuis 1995, ce qui permet une validation de la procédure de calcul pour la période antérieure. La procédure de calcul a été utilisée pour estimer les volumes mensuels de la période antérieure à 1995. Les données mensuelles sont présentées en annexe.

---

<sup>5</sup> Pour ce captage, seuls les prélèvements annuels sont connus

[Moyenne mensuelle interannuelle de la période 1995-2011]

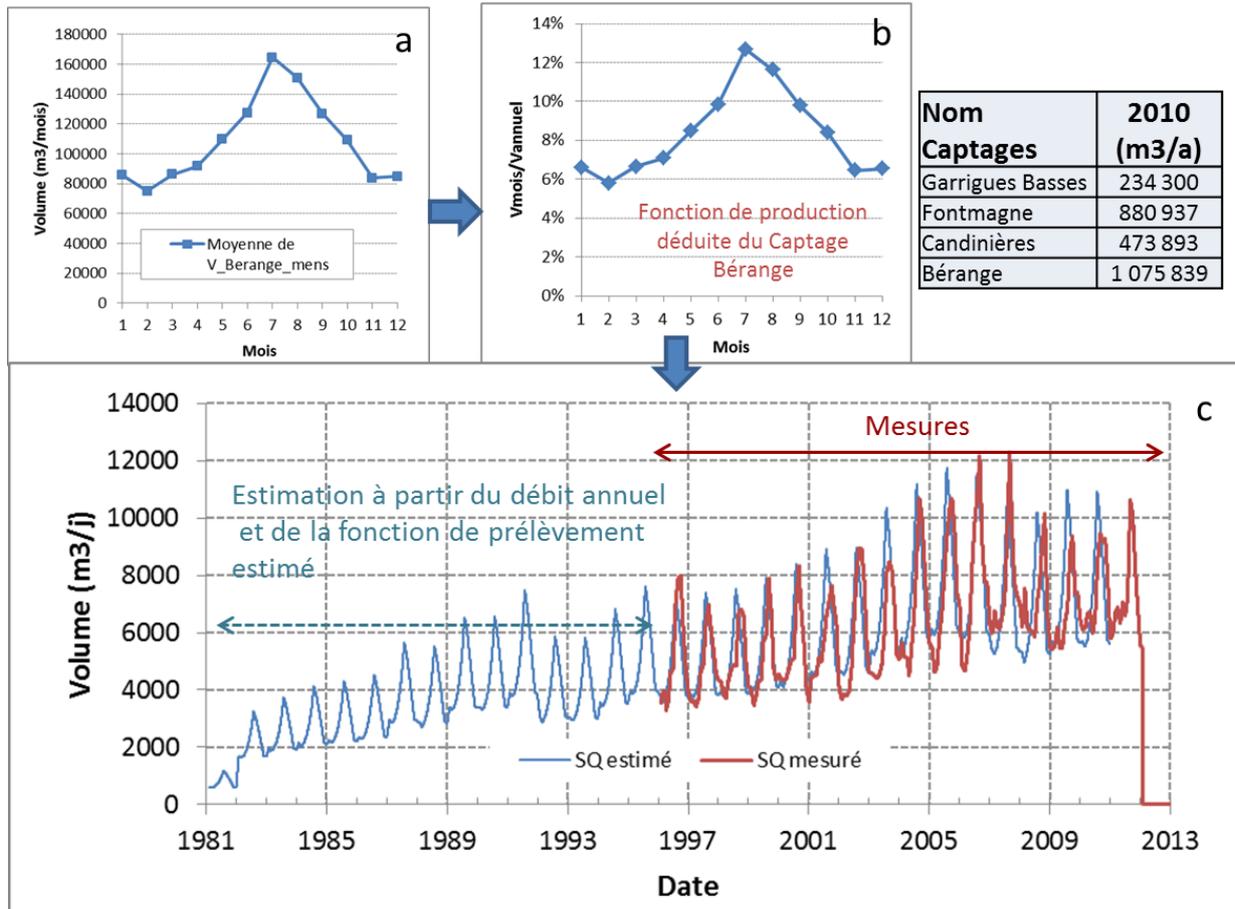


Illustration 29 : Détail de la procédure adoptée (cf. texte) pour estimer l'évolution du cumul des prélèvements AEP mensuels pour la période antérieure à 1995.

### b) Données de pluie et d'ETP

Les données d'ETP utilisées dans cette étude sont celles de la station Météofrance de Montpellier-Fréjorgues (n°34154001). Les données journalières ont été transformées au pas de temps décadaire pour tenir compte du pas de calcul des modèles (10 jours).

Sur la période 1980-2011, les postes pluviométriques de Météofrance considérés dans cette étude sont les suivants : Lunel (n°34145001) et Vérargues (n°34330001) et Montpellier-Fréjorgues (n°34154001).

La fonction de pondération des pluies du logiciel Tempo permet d'optimiser la contribution de chaque pluviomètre dans le modèle de transfert. Le principe du calcul est présenté par Pinault et al, 2005. L'objectif du calcul est ici de maximiser la corrélation croisée entre  $R\Sigma$  et la piézométrie mesurée sur la période 1990-2011. Les calculs sont réalisés au pas de temps décadaire.

La combinaison linéaire obtenue pour la pluie ( $R\Sigma$ ) est :

$$R\Sigma = 0.61*\text{Lunel} + 0.39*\text{Verargues}$$

Les résultats (cumuls mensuels et annuels) sont présentés sur l'illustration 30. Sur la période considérée, l'année 1996 apparait être l'année la plus humide (1175 mm) et l'année 1981 la plus sèche (284 mm).

Pluie=0.61*PI_Lunel+0.39*PI_Verargues													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total (mm)
1981	16	25	44	11	28	25	11	2	28	32	0	62	284
1982	14	28	22	14	6	14	52	12	16	28	55	11	273
1983	0	100	47	36	26	17	0	99	31	46	24	20	447
1984	49	40	64	6	71	14	10	45	45	12	192	79	626
1985	8	31	45	16	119	21	7	40	2	38	22	82	431
1986	73	130	40	63	26	21	19	20	42	198	104	84	822
1987	54	163	39	33	35	25	43	29	4	258	139	95	917
1988	125	5	9	97	43	40	9	42	21	155	30	15	591
1989	20	18	13	105	0	8	1	28	65	21	54	22	354
1990	11	47	12	77	60	17	84	26	61	164	24	52	635
1991	21	33	66	59	26	24	13	61	101	122	17	18	560
1992	49	51	24	14	72	97	25	38	133	70	4	30	608
1993	0	25	52	157	19	36	25	46	153	98	105	12	729
1994	32	110	4	47	20	21	13	61	278	249	91	15	944
1995	25	17	7	52	29	1	24	32	112	161	115	108	682
1996	241	88	79	106	18	46	29	79	80	76	108	226	1175
1997	114	3	0	11	61	43	39	31	25	69	84	62	542
1998	22	13	74	102	23	4	20	67	73	29	53	62	543
1999	22	13	47	77	49	15	54	102	134	116	49	13	691
2000	10	9	41	69	38	20	43	86	80	72	98	121	686
2001	71	45	60	23	24	51	25	77	73	77	14	14	555
2002	21	26	65	54	62	21	37	68	117	89	92	59	711
2003	51	18	44	43	13	14	10	235	136	171	216	100	1050
2004	33	38	70	49	12	10	42	96	81	60	54	28	572
2005	4	4	28	57	28	5	11	172	169	98	49	78	703
2006	57	19	9	6	15	1	20	68	72	80	50	11	407
2007	23	29	42	110	74	10	6	90	110	61	38	41	636
2008	51	38	42	88	83	28	9	20	122	159	145	122	907
2009	116	84	100	69	22	14	7	25	71	61	43	85	697
2010	134	78	44	36	68	28	6	73	125	94	79	53	819
2011	16	82	66	11	29	58	24	13	54	162	95	5	616

Lunel = station météoFrance N°34145001 ; Verargues = station météoFrance N°34330001

Illustration 30 : Evolution de la pluviométrie sur l'impluvium des molasses de Castries (estimation réalisée à l'aide de la fonction de pondération des pluies de Tempo).

Le corrélogramme croisé « Pluie-Piézométrie » permet d'accéder à l'image de la réponse impulsionnelle des molasses burdigaliennes à la recharge par les pluies (Illustration 31). La réponse de l'aquifère à la recharge présente une inertie puisque le pic ( $r = 0.28$ ) est observé pour des décalages de 130 jours environ. L'allure du corrélogramme croisé « Pluie-Piézométrie » évoque la recharge puis la vidange d'un réservoir. L'allure du corrélogramme croisé « Pluie-Piézométrie » des molasses de Castries apparait très comparable à celle obtenue pour les molasses de Sommières (cf. Illustration 12).

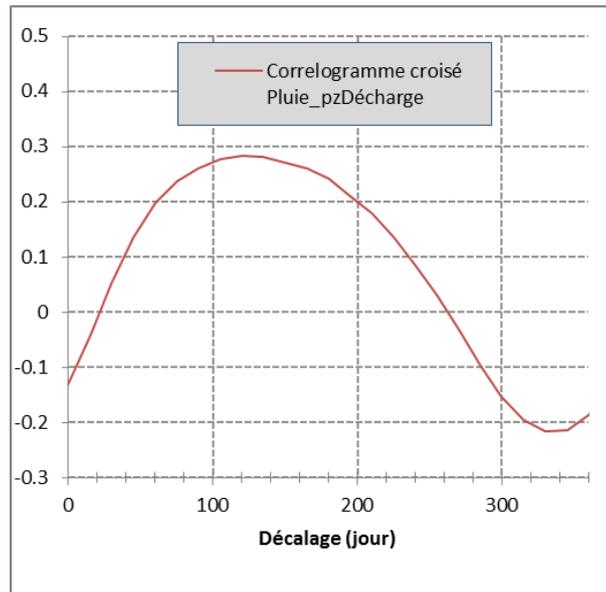


Illustration 31 : Corrélogramme croisé « pluie-piézométrique » (résultat pour le piézomètre P3 Décharge 09911X0317/P3BIS, pas de calcul = 15 jours)

### 2.3.3. Résultats obtenus par un modèle de transfert à 2 entrées (recharge, prélèvements AEP) et simulations en absence de pompage

Nous avons cherché à évaluer dans un premier temps, le rôle joué par les prélèvements AEP dans l'évolution de la piézométrie mesurée au piézomètre « P3 Décharge ». L'approche de modélisation par fonction de transfert a été uniquement menée sur les données de ce piézomètre puisque les autres chroniques disponibles (cf. BRGM/RP-61207-FR) sur les autres ouvrages ne permettent pas de couvrir l'ensemble de la période d'étude (1981-actuel).

**Le premier test de modélisation a été conduit à l'aide d'un modèle de transfert à 2 entrées (cf. Illustration 3) en considérant la chronique des prélèvements AEP définie précédemment (cf. § 2.3.2 a)) et la recharge par les pluies efficaces calculée par le modèle. Les résultats de la modélisation sont présentés sur l'illustration 32.**

Le modèle permet de reproduire de manière satisfaisante les évolutions piézométriques observées : le critère de Nash est de 0.79 sur la période de calage et 0.57 sur la période de validation (Illustration 32a). Les résultats permettent de montrer que **les prélèvements AEP contrôlent l'essentiel de l'évolution de la piézométrie de l'aquifère** (Illustration 32b). Les variations piézométriques induites par la recharge par les pluies efficaces sont plus faibles (comprises entre 1 et 5 m) que celles provoquées par les pompages (comprises entre 5 et 10 m au cours d'un cycle hydrologique). On note que les baisses piézométriques mesurées en 2005 et 2006 sont mal reproduites par le modèle contrairement aux autres cycles hydrologiques de la période de calage (Illustration 32a). Ces résultats pourraient s'expliquer si l'on suppose l'existence d'autres prélèvements dit « occultes » car non connus (prélèvements privés et agricoles).

L'utilisation du modèle permet également de simuler l'évolution de la piézométrie en absence de pompage (contexte dit « naturel »). Les tests ont été réalisés en considérant les variables climatiques (pluie et ETP) de la période d'observation (1980-2011). Les résultats indiquent que le niveau piézométrique en contexte « naturel » s'établit autour de 43/45 m NGF (Illustration 32a). Dans ce contexte, le modèle semble indiquer que la charge hydraulique dans le Burdigalien inférieur en condition naturelle est suffisante par alimenter la source de Fontmagne

via la faille de Fontmagne, la source étant située à 43 m NGF environ. Ces résultats permettent de soutenir l'hypothèse que le Burdigalien inférieur contribuait très certainement à l'alimentation de cette source avant la mise en exploitation des captages situés dans cette ressource.

Les résultats de la modélisation indiquent que la baisse des niveaux piézométriques a débuté dès le début de l'exploitation de la molasse, asséchant ainsi la source de Fontmagne, située autour de 43 m NGF. L'augmentation des prélèvements depuis 1981 (Illustration 29c) induit donc une diminution progressive du niveau de charge au sein de l'aquifère. Depuis 2004, les volumes de prélèvements annuels fluctuent autour de 2.8 millions de m<sup>3</sup> par an, les niveaux piézométriques semblent se stabiliser autour de 30 m NGF, soit environ 13 m (Illustration 32a, Illustration 33) sous le niveau piézométrique qu'aurait présenté l'aquifère en absence de pompage.

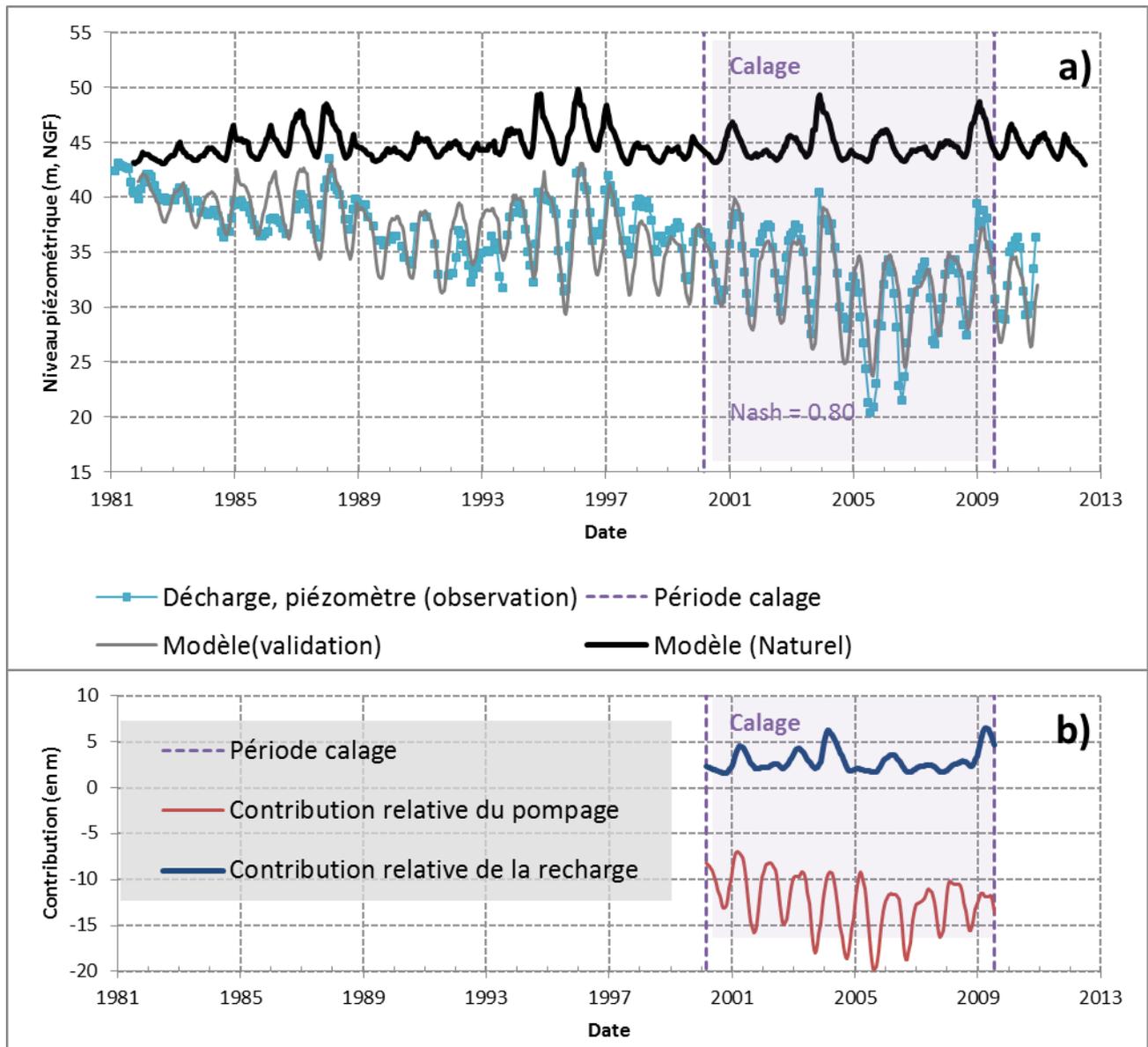


Illustration 32 : Comparaison de la piézométrie modélisée avec la piézométrie mesurée (période de calage et validation, exemple de l'ouvrage P3 Décharge). La piézométrie modélisée en absence de pompage est également reportée.

L'illustration 33 permet de visualiser l'évolution de la diminution de la charge hydraulique de l'aquifère du Burdigalien inférieur engendrée par les prélèvements pour l'AEP. D'après le résultat de la simulation, la source de Fontmagne se serait asséchée dès 1981 si l'on suppose que son débit était uniquement assuré par l'aquifère du Burdigalien inférieur.

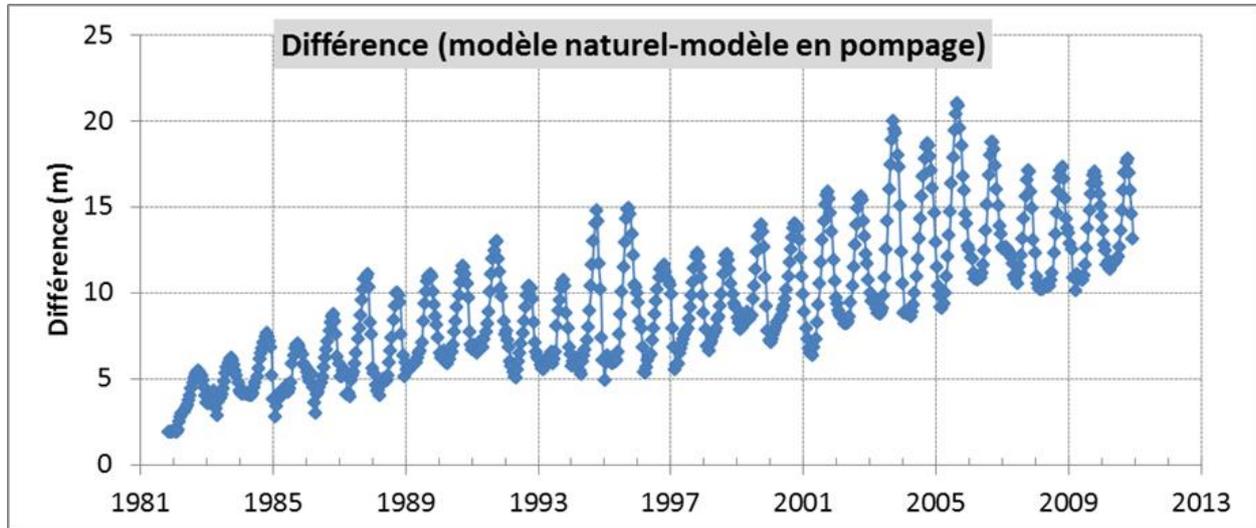


Illustration 33. Quantification de la diminution piézométrique engendrée par les prélèvements (entité 556B2, molasse de Castries).

#### 2.3.4. Résultats obtenus par un modèle de transfert à 3 entrées (recharge, prélèvements AEP, prélèvements « occultes » estimés) et simulations en absence de pompage

Les résultats du modèle de transfert à 2 entrées (recharge, prélèvement AEP) ne permet pas de reproduire les baisses piézométriques mesurées au cours des étés 2005 et 2006 (cf. §2.3.3). Ces résultats pourraient s'expliquer si l'on suppose l'existence d'autres prélèvements dit « occultes » car non connus (prélèvements privés et agricoles) et non pris en compte dans la modélisation précédente.

Nous avons donc, dans un second temps, cherché à évaluer le rôle et l'importance des débits de prélèvements occultes (forages privés et agricoles) dans l'évolution de la piézométrie mesurée au piézomètre P3 Décharge.

Un second test de modélisation a donc été conduit à l'aide d'un modèle de transfert à 3 entrées (cf. Illustration 4) en considérant d'une part, la recharge et la chronique de débit de prélèvement AEP définie précédemment (cf. § 2.3.2 a)) et d'autre part, les pompages privés et/ou agricoles. Cette dernière chronique n'est pas connue mais a pu être estimée à posteriori à l'aide des résultats de l'approche de la modélisation mise en œuvre. Les résultats présentés ci-après constituent donc un exercice théorique de modélisation puisque la chronique des prélèvements occultes n'est pas connue. Cet exercice de modélisation a été réalisé dans le but d'évaluer la sensibilité et l'erreur commise par le modèle dans un contexte de sous-estimation des prélèvements sur l'aquifère.

Dans le but d'évaluer l'importance ou non des prélèvements saisonniers privés et/ou agricoles à l'aide de l'approche de modélisation par fonction de transfert (logiciel Tempo), nous avons au préalable défini une fonction « peigne » (Illustration 34). Cette fonction est nulle partout sauf à

une date précise (la même tous les ans<sup>6</sup>) choisie avant le début des pompages. Il est supposé que les prélèvements « occultes » (privés et/ou agricoles) impactent l'évolution de la piézométrie de l'aquifère seulement lors des périodes printanières et estivales. Cette fonction est utilisée en entrée du modèle de transfert : la composante qui lui correspond est le rabattement piézométrique dû aux pompages privés et/ou agricoles. La fonction de transfert utilisée pour convoluer la fonction « peigne » est de type gaussien-exponentiel.

Cette fonction « peigne » est supposée proportionnelle au débit cumulé des pompages privés et/ou agricoles. Les amplitudes des pics de cette fonction ont été estimées par un processus itératif dit « d'essais et erreurs » dans le but d'augmenter l'efficacité du modèle qualifié par le critère de Nash et Sutcliffe (1970).

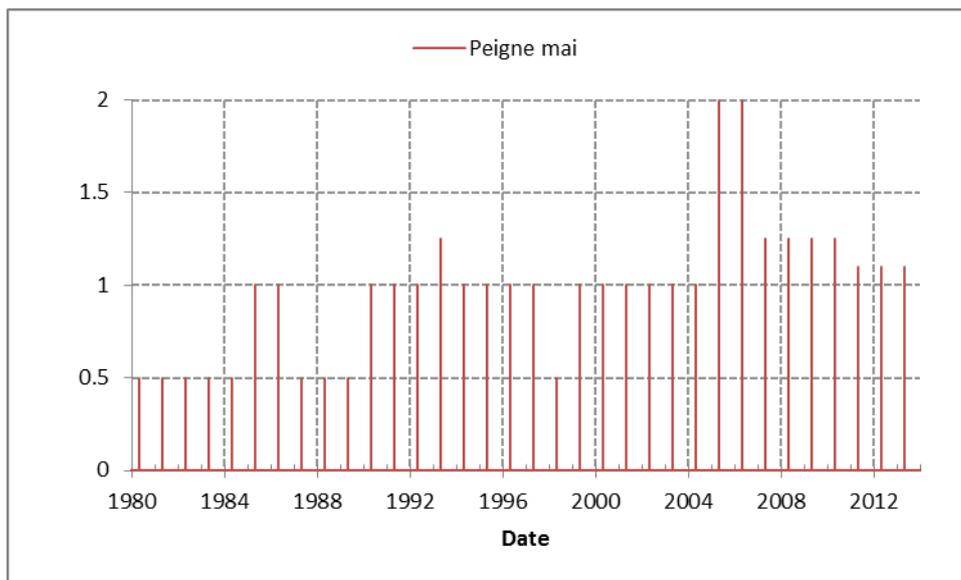


Illustration 34. Fonction peigne utilisée pour simuler l'effet des pompages saisonniers agricoles et/ou des forages privés

Les résultats de la modélisation sont présentés sur Illustration 35. Le modèle permet de reproduire de manière satisfaisante les évolutions piézométriques observées : le critère de Nash est de 0.85 sur la période de calage et 0.64 sur la période de validation (Illustration 32). De manière globale, ce modèle apparaît plus performant que le précédent pour décrire et simuler les évolutions piézométriques mesurées à l'ouvrage P3 Décharge.

La diminution piézométrique engendrée par les prélèvements AEP et les pompages occultes (privés/agricoles) par rapport à la situation naturelle sans pompage est présentée sur l'illustration 36. Les résultats permettent de montrer que les prélèvements AEP contrôlent toujours l'essentiel de l'évolution de la piézométrie de l'aquifère et que les pompages occultes (forages privés et agricoles) contribuent plus faiblement. Pour 2005 et 2006, une influence maximale de l'ordre de 20 m pour les pompages AEP et d'environ 4 m pour les pompages occultes est mise en évidence d'après les résultats de la simulation.

D'après les résultats obtenus, nous montrons ainsi que l'absence de prise en compte des prélèvements occultes peut conduire à sur-estimer la piézométrie simulée par le modèle de transfert à 2 entrées (recharge et prélèvement occultes) lors des périodes estivales.

<sup>6</sup> Le 1<sup>er</sup> mai de chaque année dans cette étude

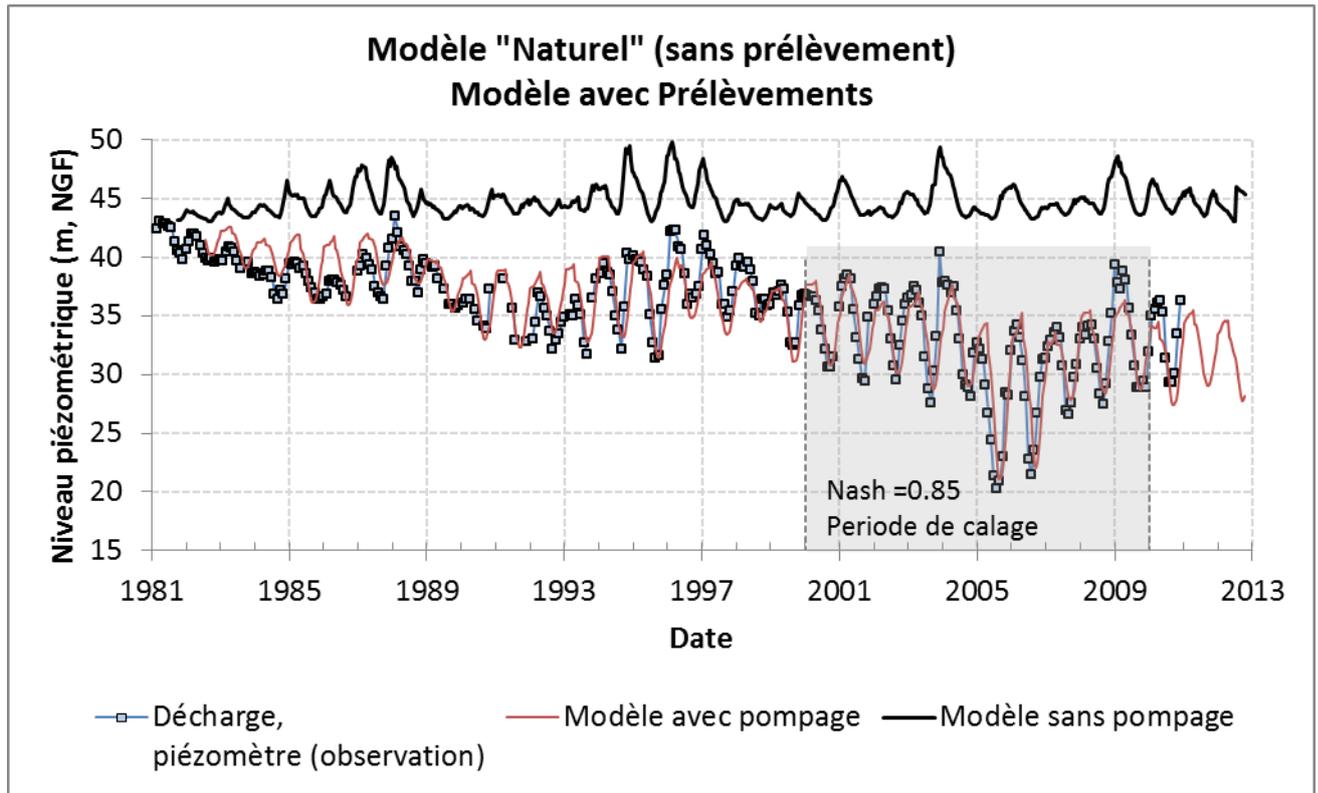


Illustration 35. Comparaison de la piézométrie modélisée avec la piézométrie mesurée (période de calage et validation, exemple de l'ouvrage P3 Décharge) : Modèle de transfert à 3 entrées (pluie efficace, Volume AEP, Fonction Peigne). La piézométrie modélisée en absence de pompage est également reportée.

En poussant l'exercice théorique de modélisation, nous avons cherché à évaluer, à partir du rabattement associé à la fonction peigne, le volume des prélèvements occultes. Moyennant la calibration des résultats obtenus par la fonction « peigne » avec ceux obtenus pour la composante AEP dont les débits de pompage sont connus, on a pu estimer le volume de pompage des prélèvements occultes.

Sur la base de l'évolution piézométrique de la composante AEP et des volumes de pompages associés, nous avons donc pu estimer les volumes de prélèvement des forages occultes (privés/agricoles) en considérant les variations piézométriques de la composante des pompages occultes (privés/agricoles). Les résultats des estimations depuis 1981 sont présentés sur l'illustration 37. Les volumes cumulés annuels sont également présentés (Illustration 38). Les volumes prélevés via des forages occultes (privés/agricoles) sont variables d'un cycle hydrologique à l'autre et seraient compris entre 63 000 et 370 000 m<sup>3</sup>/an, le maximum étant observé pour l'année 2005. Ces volumes estimés par modélisation sont dans l'ordre de grandeur des volumes précédemment estimés à dire d'expert (BRGM/RP-61207-FR), compris entre 100 000 et 400 000 m<sup>3</sup>/an pour l'unité 556B2. Ces volumes « occultes » représenteraient en moyenne 10% des volumes pompés pour l'AEP sur la période 1981-2012.

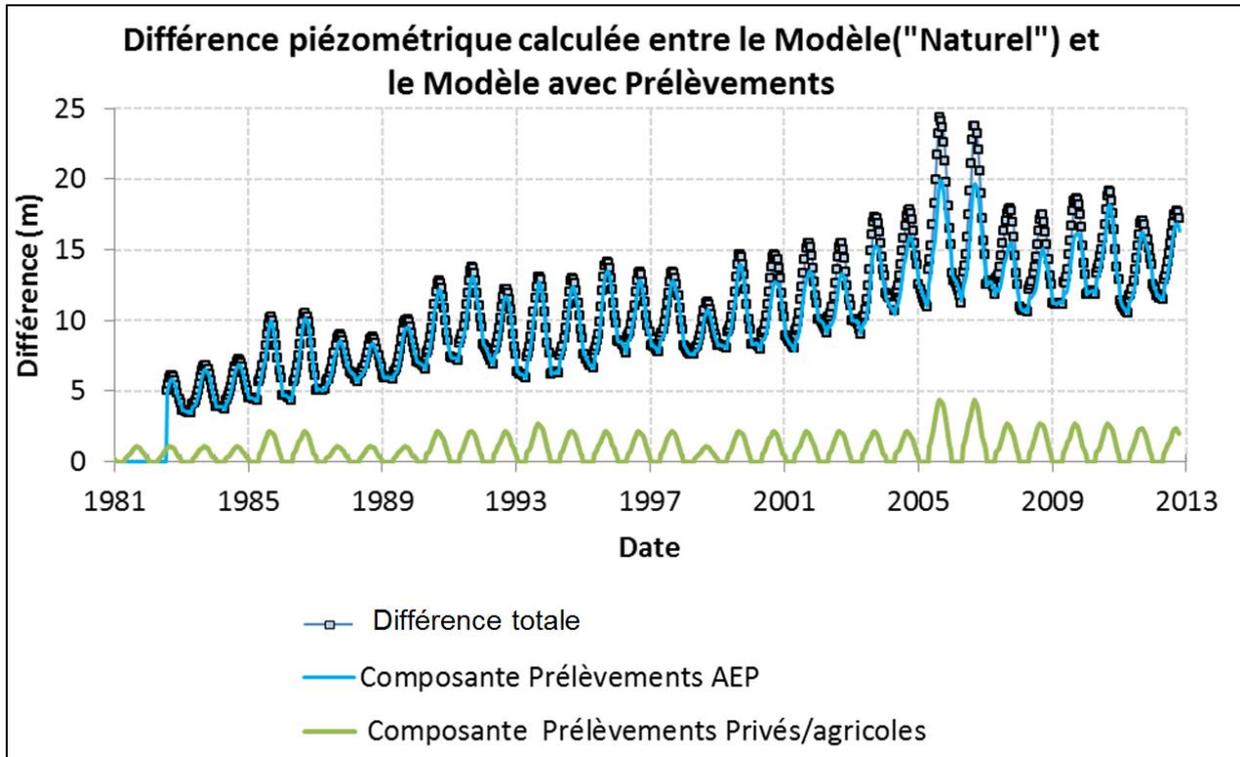


Illustration 36. Quantification de la diminution piézométrique engendrée par les prélèvements (entité 556B2, molasses de Castries). L'évolution des rabattements associés aux composantes AEP et Privés/Agricoles est également reportée.

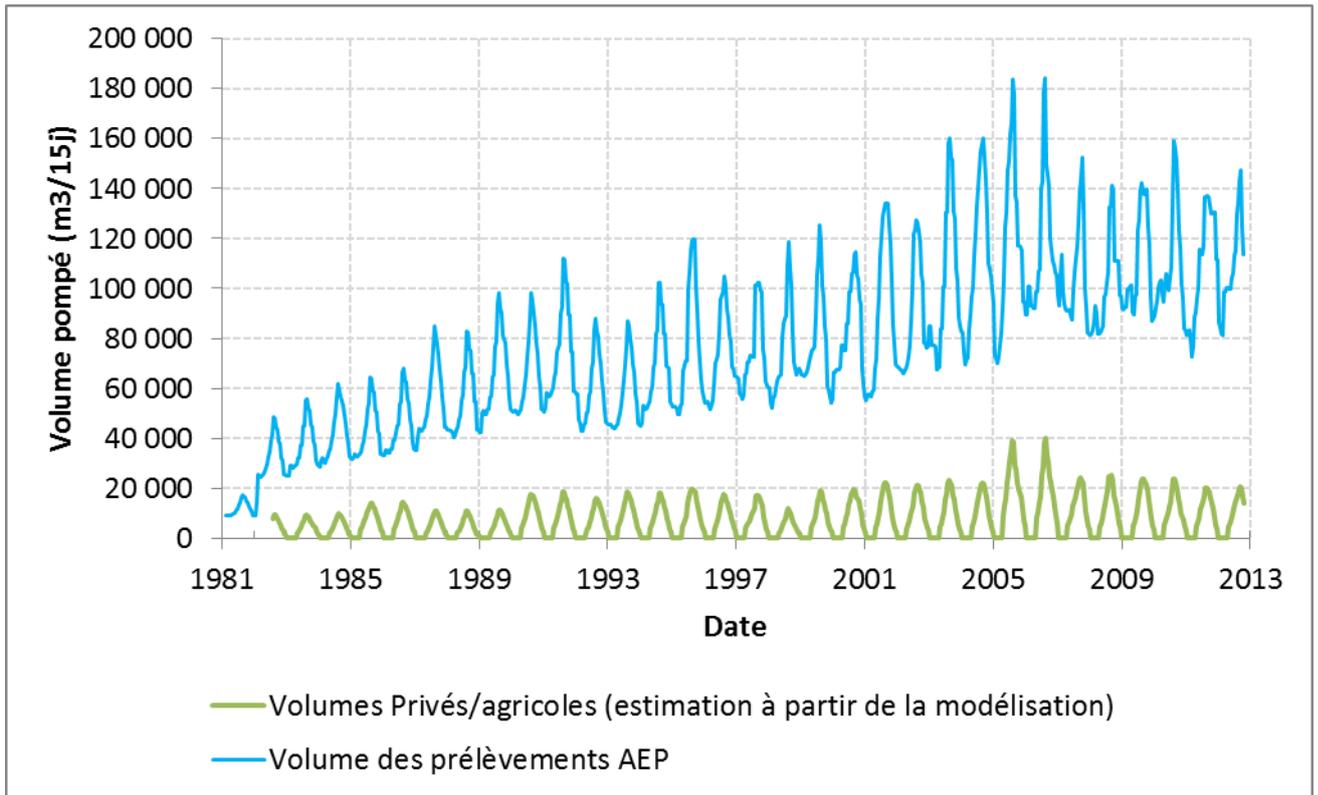


Illustration 37. Quantification des volumes des prélèvements occultes (forage privés et agricoles) de l'entité 556B2 des molasses de Castries. L'évolution des volumes AEP pompés depuis 1981 est également reportée.

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Volume Forages Privés/agricoles (estimation par modélisation) en m3/a		63 526	89 347	96 155	140 902	143 897	105 875	100 228	105 274	171 042
Volume Forages AEP en m3/a	264 231	756 005	892 609	1 019 658	1 034 721	1 092 018	1 388 303	1 330 304	1 563 271	1 632 308
Ratio Volume "occultes"/Volume AEP		8%	10%	9%	14%	13%	8%	8%	7%	10%
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Volume Forages Privés/agricoles (estimation par modélisation) en m3/a	178 787	157 481	185 034	174 558	191 064	174 680	173 483	104 180	174 461	194 339
Volume Forages AEP en m3/a	1 792 682	1 484 815	1 402 784	1 632 701	1 894 921	1 740 840	1 797 384	1 866 117	1 909 963	2 045 149
Ratio Volume "occultes"/Volume AEP	10%	11%	13%	11%	10%	10%	10%	6%	9%	10%
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Volume Forages Privés/agricoles (estimation par modélisation) en m3/a	218 701	203 769	213 618	221 737	369 622	348 024	238 938	239 476	237 786	223 660
Volume Forages AEP en m3/a	2 194 607	2 135 700	2 509 335	2 793 436	2 810 094	2 765 980	2 628 389	2 433 980	2 659 001	2 735 928
Ratio Volume "occultes"/Volume AEP	10%	10%	9%	8%	13%	13%	9%	10%	9%	8%
	2011	2012								
Volume Forages Privés/agricoles (estimation par modélisation) en m3/a	213 294	160 487								
Volume Forages AEP en m3/a	2 602 109	2 163 116								
Ratio Volume "occultes"/Volume AEP	8%	7%								

Illustration 38. Evolution des volumes occultes estimés par modélisation depuis 1981 et du ratio de volume exprimé par rapport au volume AEP

### 2.3.5. Evaluation des incertitudes du modèle

En préambule, il faut rappeler qu'un modèle est un outil mathématique permettant de représenter de manière simplifiée le comportement d'un système réel plus ou moins complexe. Les sources d'erreur et d'incertitude d'un modèle sont multiples. Elles sont principalement liées : 1) au modèle proprement dit et 2) aux données utilisées pour son calage, sa validation.

Les incertitudes liées à la structure d'un modèle résultent des simplifications retenues dans le modèle pour représenter et décrire les processus du milieu étudié. Quelle que soit l'approche utilisée, le modèle reste toujours une représentation grossière d'un système naturel qui est complexe. Les processus hydrogéologiques ne peuvent donc être simulés que de façon imparfaite.

Les incertitudes liées aux données et aux variables d'entrées des modèles sont nombreuses et variées ; elles peuvent être dues, entre autres choses, aux erreurs de mesure et à la faible représentativité spatiale de certaines mesures ponctuelles (précipitation par exemple), aux erreurs dans la collecte et le traitement des données (erreur sur des mesures piézométriques), à la méconnaissance de certaines perturbations anthropiques (prélèvements par pompage par exemple).

Nous avons montré précédemment que la méconnaissance des prélèvements occultes et leur non prise en compte en entrée du modèle de transfert pouvait conduire à sous-estimer les rabattements calculés par le modèle de transfert à 2 entrées (pluie efficace et prélèvements AEP). Les tests effectués indiquent que l'incertitude sur la piézométrie mesurée peut atteindre les 4 m lors des périodes estivales, la piézométrie simulée apparaissant globalement supérieure à la piézométrie mesurée. Dans le contexte de cette étude, les incertitudes sur la piézométrie liées à la méconnaissance des prélèvements apparaissent nettement supérieures à celles liées à une sous ou sur-estimation de 10% de la pluie du secteur d'étude (résultat non présenté).

### 2.3.6. Bilan hydrogéologique de l'entité 556B2

Sur la base des résultats du modèle de transfert à 2 entrées (pluie efficace et prélèvements AEP), nous avons cherché à réaliser un bilan hydrologique de l'aquifère du Burdigalien inférieur. Nous avons supposé et considéré que l'aquifère du Burdigalien inférieur présente un seul exutoire : la source de Fontmagne. Puisque la source n'est plus alimentée par le Burdigalien inférieur en raison des prélèvements dans l'aquifère, le calcul du bilan (entrée-sortie) apparaît plus simple à réaliser car il n'y a plus lieu d'estimer, comme pour les molasses de Sommières, le flux sortant de l'aquifère. Pour le cas des molasses de Castries, le flux sortant de l'aquifère correspond en fait au flux d'eau prélevé par les différents captages.

Nous présentons dans le tableau ci-après l'évolution de la recharge calculée par le modèle de transfert. Sur la période considérée (1981-2011), la recharge annuelle est comprise entre 124 mm et 812 mm, la médiane est estimée à 343 mm (Illustration 39). Dans l'approche de modélisation mise en œuvre, cette valeur de recharge calculée par le modèle pour l'aquifère correspond à une valeur globale, elle peut intégrer aussi bien (1) les flux d'eau apportés par les pertes du Bérange lorsque le cours d'eau coule que (2) le flux de recharge lié à la pluie précipitée sur les molasses du Burdigalien inférieur qui sont à l'affleurement que (3) les éventuels apports des systèmes aquifères adjacents (Lutécien) et Burgalien supérieur par drainance descendante comme suggéré par certains auteurs (Etude Alizé Environnement pour le compte du Syndicat Mixte Garrigues Campagne).

Faute de connaissance précise sur le flux d'eau des pertes du Bérange situées à Sussarges (pont de la D120) et sur les flux d'alimentation issus des autres aquifères potentiellement

impliqués dans la recharge du Burdigalien inférieur, nous avons été amenés à considérer pour le calcul du bilan hydrologique que toute la recharge de l'aquifère se produit sur l'impluvium des molasses du Burdigalien inférieur à l'affleurement, étant entendu qu'une part de la recharge de l'aquifère est en réalité assurée par le flux de pertes et possiblement par les autres aquifères tel que souligné ci-dessus. Cette hypothèse revient de fait à surestimer la capacité d'infiltration réelle des molasses du Burdigalien inférieur situées à l'affleurement.

Année	Recharge (mm/an)		Cycle * Hydrologique	Recharge (mm)
1981	130			
1982	124		1981-1982	120
1983	206		1982-1983	207
1984	417		1983-1984	211
1985	261		1984-1985	417
1986	609		1985-1986	369
1987	701		1986-1987	607
1988	388		1987-1988	634
1989	223		1988-1989	305
1990	367		1989-1990	249
1991	307		1990-1991	367
1992	316		1991-1992	325
1993	472		1992-1993	341
1994	758		1993-1994	455
1995	496		1994-1995	655
1996	812		1995-1996	839
1997	294		1996-1997	552
1998	210		1997-1998	270
1999	327		1998-1999	209
2000	317		1999-2000	256
2001	304		2000-2001	500
2002	357		2001-2002	177
2003	740		2002-2003	464
2004	246		2003-2004	675
2005	411		2004-2005	235
2006	236		2005-2006	381
2007	329		2006-2007	289
2008	537		2007-2008	315
2009	469		2008-2009	721
2010	470		2009-2010	388
2011	373		2010-2011	376

Tableau des percentiles (Pluie efficace mm/an) :				
Percentile	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	
Maximum	812			
99%	795	740	812	
95%	748	609	812	
90%	691	472	812	
3 <sup>ème</sup> Quartile 75%	470	373	701	
Médiane 50%	343	294	417	
1 <sup>er</sup> Quartile 25%	257	130	317	
10%	206	124	223	
5%	127	124	130	
1%	126	124	130	
Minimum	124			

Valeur du 20-percentile : 238 mm

\* cycle hydrologique du 01 sept au 31 août de l'année suivante

Illustration 39. Evolution de la recharge calculée par le modèle de transfert à 2 entrées

Nous avons estimé le volume de recharge de l'aquifère par les pluies efficaces en considérant que l'impluvium des molasses du Burdigalien inférieur à l'affleurement est de 5 km<sup>2</sup>. L'évolution du bilan hydrogéologique annuel (Recharge-Prélèvement) est reportée sur l'illustration 40a. Depuis la fin des années 1990, le volume de recharge annuel (2 millions de m<sup>3</sup> en moyenne interannuelle sur la période 1980-2010) apparaît globalement inférieur au volume de prélèvement annuel (Illustration 40). Dans ce contexte, le bilan en eau de l'aquifère apparaît négatif depuis la fin des années 1990 ce qui témoigne globalement d'une surexploitation de la ressource.

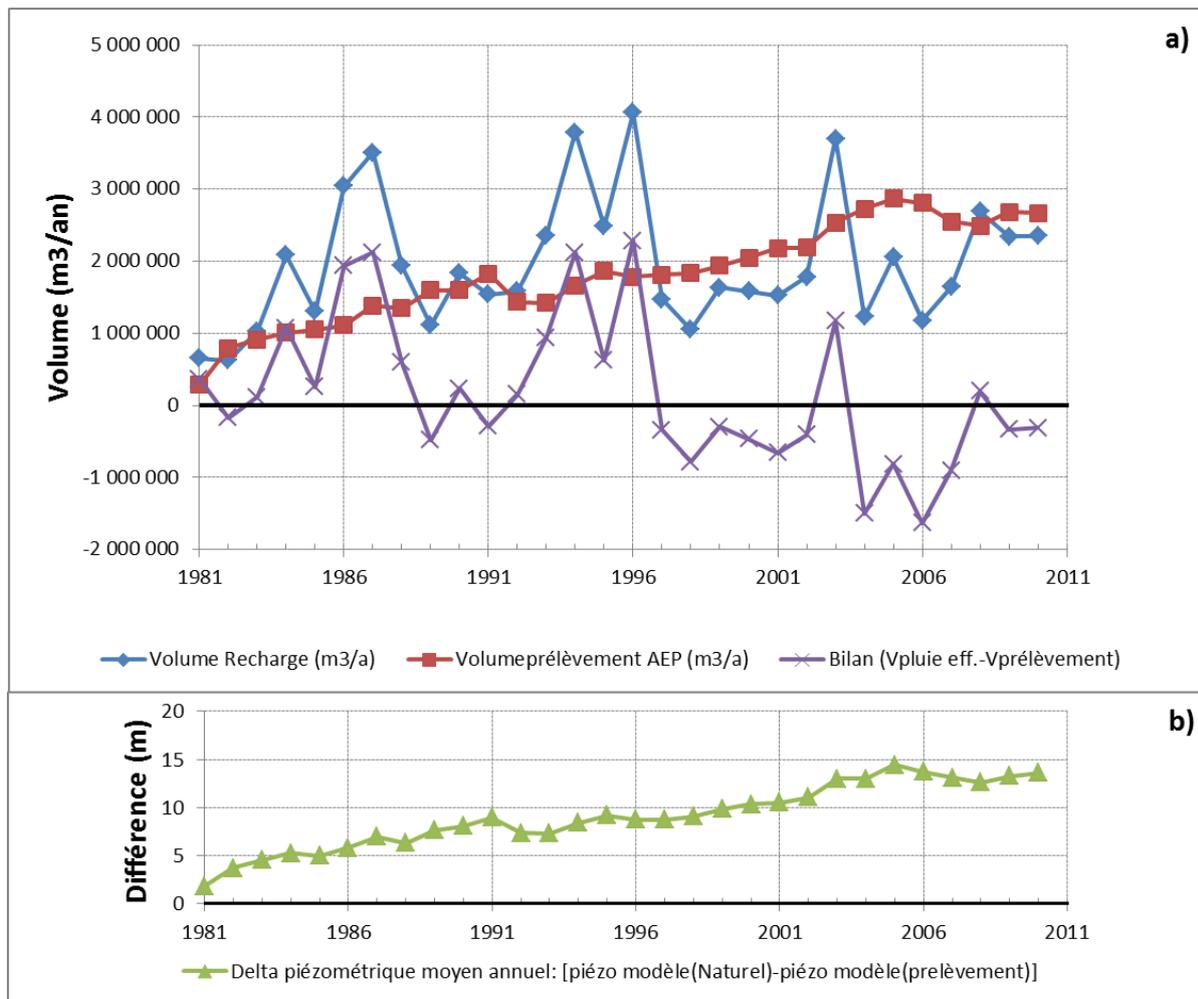


Illustration 40 : Estimation du bilan de l'aquifère depuis 1981 (entité 556B2, molasses de Castries).

Les rabattements moyens liés aux pompages ont été estimés en considérant les piézométries modélisées en absence et en présence des pompages AEP (Illustration 40b). On observe une bonne concordance entre l'évolution du rabattement moyen annuel et le volume moyen annuel des prélèvements AEP (Illustration 41). Sur la base du rabattement piézométrique moyen exprimé par rapport au niveau naturel sans pompage, l'emmagasinement moyen de l'aquifère correspondant à la pente de la droite (Illustration 42) est de 200 500 (m<sup>3</sup>/m de tranche d'eau).

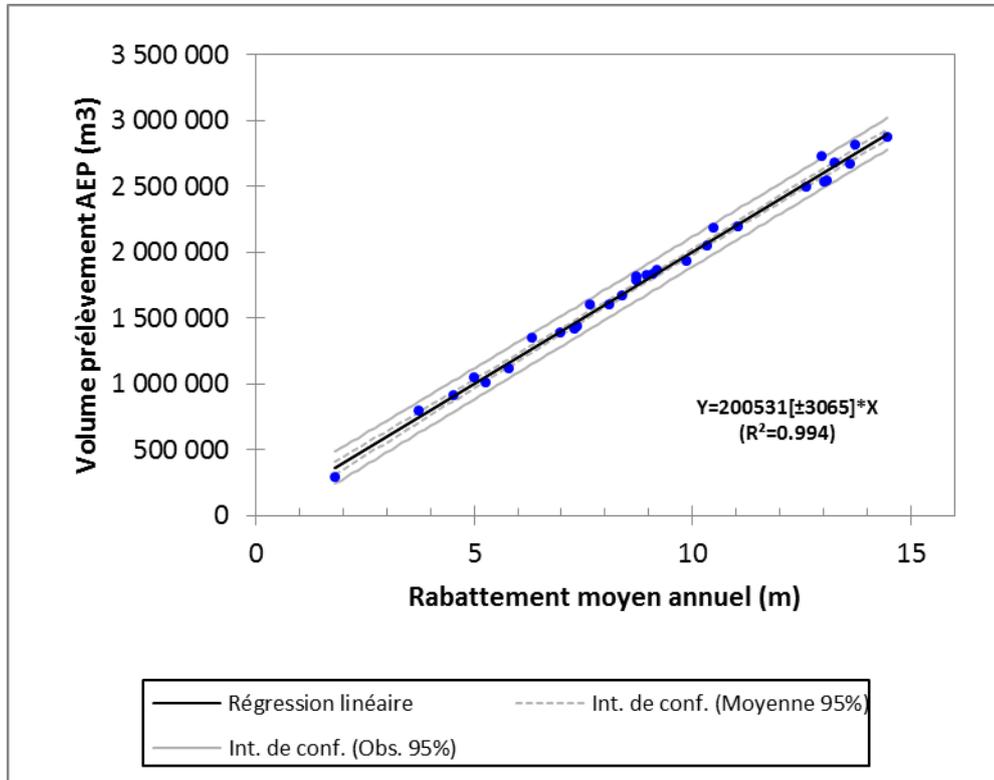


Illustration 41. Relation entre le volume prélevé et le rabattement moyen estimé par modélisation



### 3. Caractérisation des volumes prélevables et des objectifs de niveaux

En s'appuyant sur les modèles hydrogéologiques développés dans le cadre de cette étude, des critères de volumes prélevables et de niveaux piézométriques vont pouvoir être proposés. Au préalable, différents scénarii en entrée des modèles sont à définir dans le but d'établir les stratégies de gestion adaptée.

#### 3.1. DEFINITION DES SCENARII DE PRELEVEMENTS

Plusieurs scénarii de prélèvement ont été choisis en concertation avec le comité de pilotage du projet. Les éléments considérés s'appuient sur les évolutions des besoins en eau potable à l'horizon 2030 telles que définies dans le rapport BRGM/RP-61207-FR (Illustration 42).

Les scénarii considérés sont les suivants :

- 1<sup>er</sup> scénario : prise en compte de prélèvements identiques à ceux de 2010,
- 2<sup>ème</sup> scénario : prélèvements majorés en considérant la « projection INSEE »,
- 3<sup>ème</sup> scénario : prélèvements majorés en considérant une « prolongation taux 1999-2008 » (reconnu comme surévalué).

prélèvements 2030 pop perm						
	prolongation tx 1999-2008	prolongation tx 1999-2008	projections INSEE	projections INSEE	prospective déplacements interurbains	prospective déplacements interurbains
	rdt actuel	rdt objectif	rdt actuel	rdt objectif	rdt actuel	rdt objectif
<b>B1</b>	126	94	86	60	129	97
<b>B2</b>	101	62	82	46	93	55
<b>B3</b>	219	117	137	60	196	100
<b>B4</b>	233	135	126	60	176	95
<b>B5</b>	271	173	100	46	141	76
prélèvements 2030 pop de pointe						
	prolongation tx 1999-2008	prolongation tx 1999-2008	projections INSEE	projections INSEE	prospective déplacements interurbains	prospective déplacements interurbains
	rdt actuel	rdt objectif	rdt actuel	rdt objectif	rdt actuel	rdt objectif
<b>B1</b>	156	120	110	81	160	123
<b>B2</b>	127	83	106	66	118	75
<b>B3</b>	261	146	168	81	235	126
<b>B4</b>	277	166	156	81	212	120
<b>B5</b>	319	209	126	66	172	99

Illustration 42 : Evolution des % d'augmentation des besoins en eau potable à l'horizon 2030 (extrait du rapport BRGM/RP-61207-FR). pop perm : population permanente ; pop de pointe : population en période de pointe.

Les caractéristiques des fonctions de prélèvement considérées dans les scénarii 2 et 3 sont construites à partir des prélèvements de 2010. Les évolutions des chroniques de prélèvement

des différents scénarii sont présentées pour les molasses de Castries (Illustration 43) et de Sommières (Illustration 44).

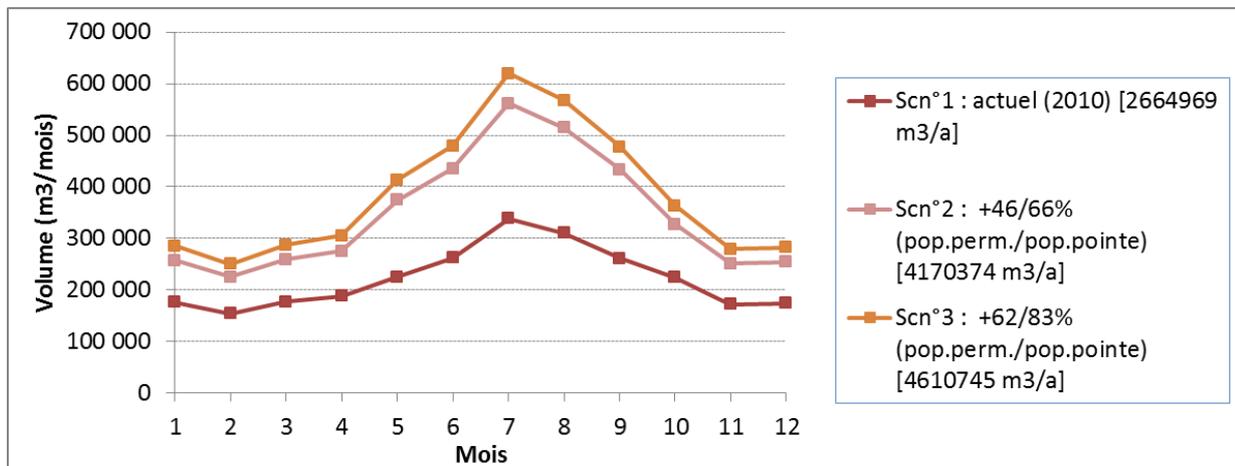


Illustration 43 : Entité 556B2 (Molasses de Castries) : évolutions mensuelles des prélèvements selon le type de scénario considéré.

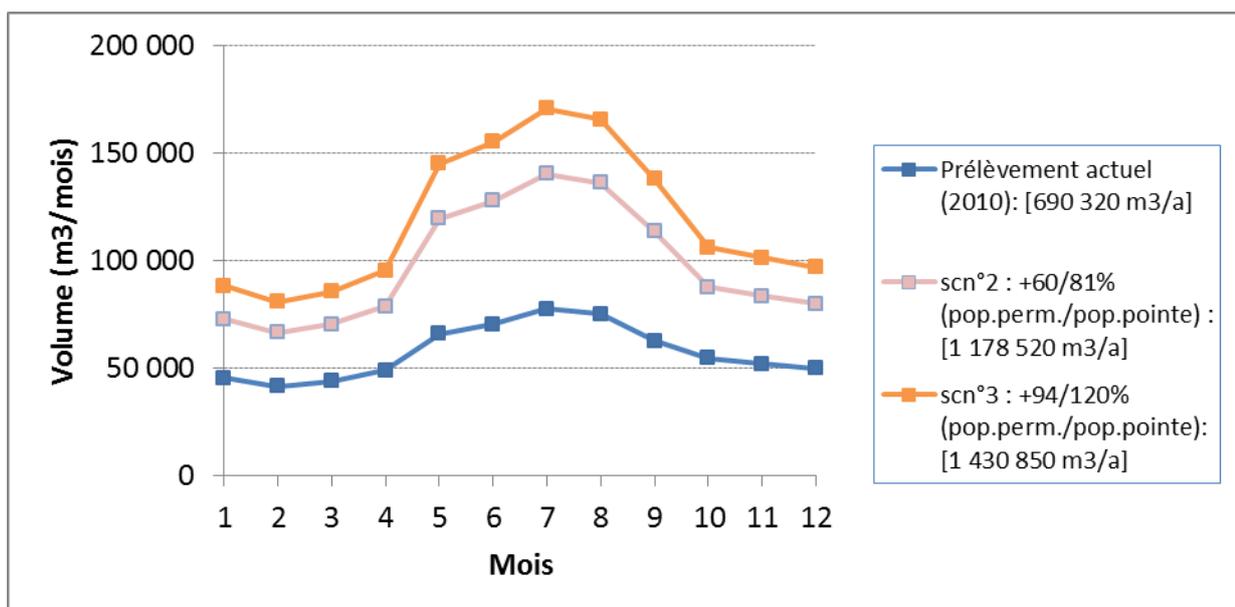


Illustration 44 : Entité 556B1 (Molasses de Sommières) : évolutions mensuelles des prélèvements selon le type de scénario considéré.

### 3.2. DEFINITION DES SCENARII HYDROCLIMATIQUES

Différents scénarii hydroclimatiques ont été choisis en concertation avec le comité de pilotage du projet. Il a été décidé que la simulation de la piézométrie prévisionnelle (selon les différents scénarii de prélèvement) serait menée en considérant les données de pluie et d'ETP de la période d'observation présente (1981/2010). Sur la base des éléments de statistiques descriptives de la chronique des pluies des molasses de Castries (Illustration 45), nous avons extrait les années 1983, 1989 et 2007, qui permettront d'évaluer le comportement des aquifères

pour différents contextes de précipitations (respectivement, quinquennal sec, décennal sec et médian).

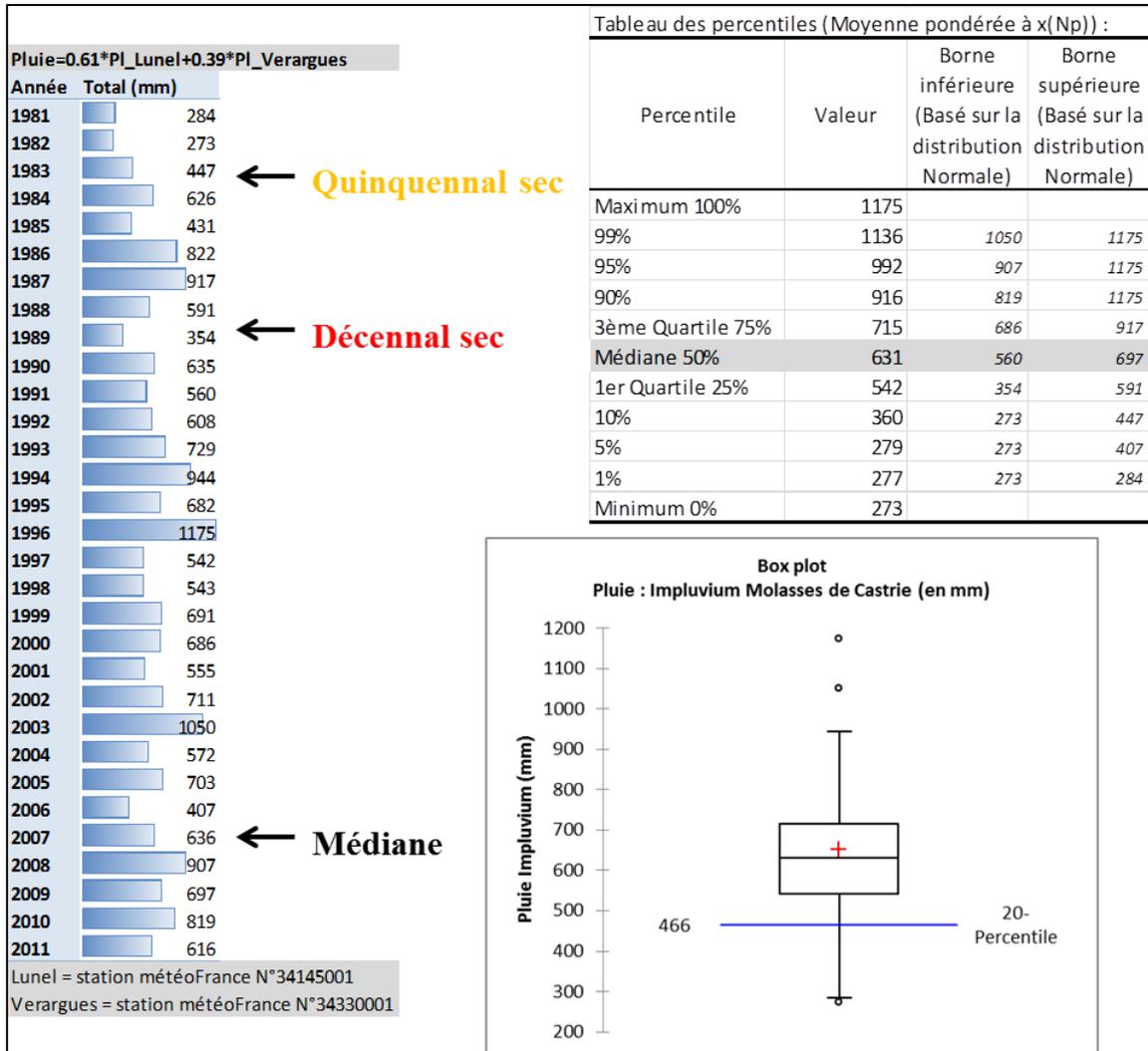


Illustration 45 : Eléments de statistiques descriptives des pluies de l'impluvium de l'entité 556B2 (molasses de Castries).

### 3.3. RESULTATS DES SIMULATIONS PREVISIONNELLES POUR L'ENTITE 556B2 (MOLASSES DE CASTRIES)

Les résultats des simulations des niveaux piézométriques obtenus en considérant les différents scénarii de prélèvements testés et le « climat » (pluie et ETP) de la période actuelle (mesures 1980-2011) sont présentés en Illustration 46. Selon l'importance des prélèvements, les niveaux piézométriques se stabilisent autour de différentes côtes piézométriques (cf. piézométrie moyenne dans le tableau de synthèse de l'illustration 47).

L'effet du contexte hydroclimatique sur le contrôle de la piézométrie apparait faible en comparaison de celui lié aux prélèvements comme en témoignent les résultats de l'illustration 48.

Une limite de l'approche de modélisation par fonction de transfert à l'aide du logiciel Tempo est ici mise en évidence. On ne dispose pas de données antérieures à la mise en exploitation du système hydrogéologique. Cette absence de données en contexte naturel ne permet pas de qualifier finement la dynamique de vidange de l'aquifère en absence de recharge et d'accéder au temps de régulation des aquifères (sans influence des pompages). Les chroniques piézométriques utilisées sont fortement impactées par l'augmentation des pompages au cours des périodes estivales. La périodicité annuelle des pompages masque en partie la dynamique à long terme de la vidange de l'aquifère. Du fait de cette périodicité annuelle des pompages, la longueur des réponses impulsionnelles caractérisées est inférieure ou égale à 1 an. Dans ce contexte, les modèles développés ne permettent pas de qualifier l'effet transitoire induit par exemple par une succession d'années déficitaires en recharge (exemple de l'illustration 48). Le modèle permet seulement de qualifier le niveau piézométrique vers lequel va tendre le système si l'on change les conditions de pompage. Pour Tempo, la réponse du système s'observe rapidement dans l'année en cours alors que le comportement réel de l'aquifère (réponse transitoire de l'aquifère) pourrait présenter une dynamique plus longue (> 1 an).

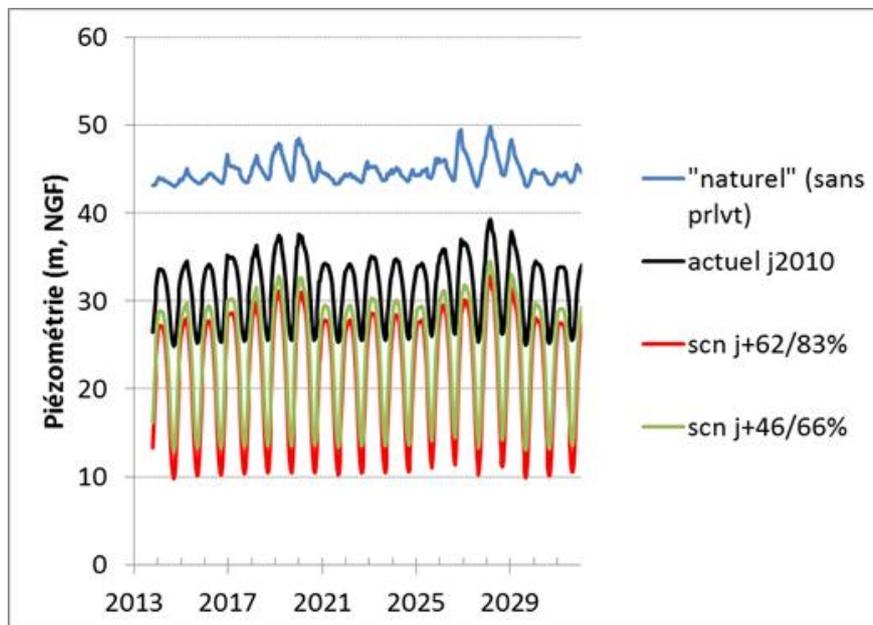


Illustration 46 : Simulation du niveau piézométrique au sein de l'entité 556B2 (molasses de Castries) en absence et en présence de prélèvements. 3 scénarii de prélèvements ont été testés. La chronique de prélèvements considérée est identique pour chacun des cycles annuels. Dans ces tests, le climat « futur » est supposé identique à celui mesuré sur la période 1990-2011.

Climat (pluie&ETP)	Cumul Pluie (mm)	Scénario Prélèvement	Volume m3/an	Piézométrie Moyenne*, m NGF	Piézométrie Minimale (m NGF)	Piézométrie Maximale (m NGF)	Volume recharge m3/an	Bilan*** m3/an
1981-2011**		"Naturel"	0	44.7	43.0	49.8		cf figure
1981-2011		actuel (2010)	2 664 969	31.4	24.9	39.2		cf figure
1981-2011		scn2010+(46%/66%)	4 170 374	23.9	12.9	34.5		cf figure
1981-2011		scn2010+(62%/83%)	4 610 745	21.7	9.8	32.9		cf figure
Médian(2007)	636	"Naturel"	0	44.6	43.8	45.3	1 644 168	-
Médian(2007)	636	scn2010+(46%/66%)	4 170 374	23.6	13.2	29.8	1 644 168	-2 526 206
Médian(2007)	636	scn2010+(62%/83%)	4 610 745	21.4	10.1	28.1	1 644 168	-2 966 577
Quinquénal Sec (1983)	447	"Naturel"	0	44.0	43.4	45.3	1 028 664	-
Quinquénal Sec (1983)	447	scn2010+(46%/66%)	4 170 374	23.0	12.9	29.5	1 028 664	-3 141 710
Quinquénal Sec (1983)	447	scn2010+(62%/83%)	4 610 745	20.8	9.8	27.8	1 028 664	-3 582 081
Décennal Sec (1989)	354	"Naturel"	0	43.9	43.4	44.5	1 113 505	-
Décennal Sec (1989)	354	scn2010+(46%/66%)	4 170 374	23.0	12.8	29.3	1 113 505	-3 056 869
Décennal Sec (1989)	354	scn2010+(62%/83%)	4 610 745	20.8	9.6	27.6	1 113 505	-3 497 240

\*Moyenne interannuelle  
 \*\*1981-2011= le climat est identique à celui mesuré sur la période 1998-2011  
 \*\*\*Bilan = Volume de pluie efficace-Volume prélèvement

Illustration 47 : Synthèse des principaux résultats des simulations pour l'entité 556B2 (molasses de Castries)

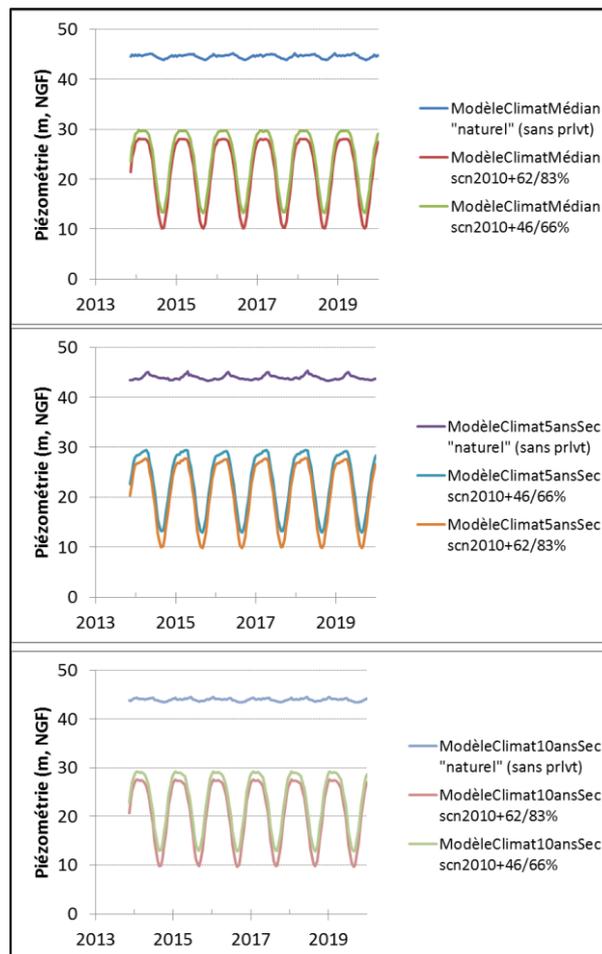


Illustration 48 : Simulation du niveau piézométrique au sein de l'entité 556B2 (molasses de Castries) en absence et en présence de prélèvements. Les 3 scénarii de prélèvements ont été testés pour 3 scénarii climatiques distincts «années médianes, quinquennales sèches et décennales sèches »

Les bilans hydrogéologiques ont été estimés sur la base des résultats des modélisations obtenues en considérant les différents scénarii de pompage et le « climat » actuel (Illustration 49). Les bilans des autres scénarii testés sont rassemblés dans le tableau de synthèse (Illustration 47).

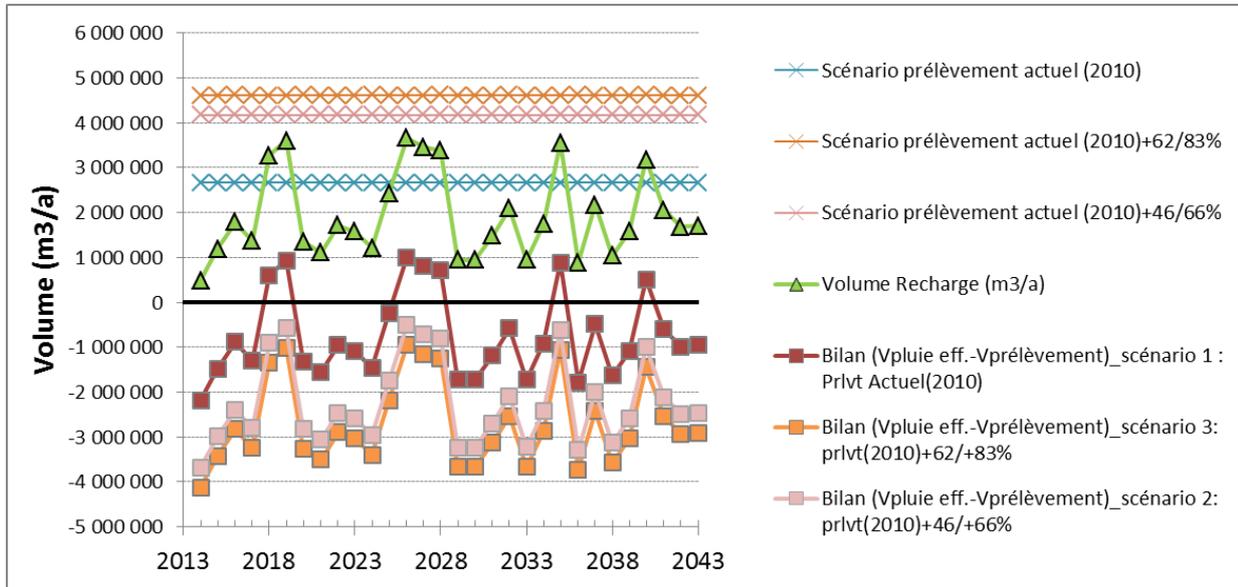


Illustration 49 : Estimation du bilan de l'aquifère (entité 556B2, molasses de Castries) en fonction des différents scénarii de prélèvement testés (dans ces tests, le climat « futur » est supposé identique à celui mesuré sur la période 1981-2011).

**Pour les scénarii considérés, le volume de recharge annuel apparaît globalement très inférieur au volume de prélèvement annuel. Dans ces différents contextes, le bilan de l'aquifère apparaît négatif ce qui témoignerait globalement d'une surexploitation de la ressource.**

### 3.4. RESULTATS DES SIMULATIONS PREVISIONNELLES POUR L'ENTITE 556B1 (MOLASSES DE SOMMIERES)

Les résultats des simulations des niveaux piézométriques obtenues à l'aide des deux modèles de transfert développés pour l'étude du comportement de l'aquifère des molasses de Sommières sont présentés (Illustration 50) en considérant le scénario de prélèvement n°3 défini au § 3.1 (prélèvement annuel de 1.4 millions de m<sup>3</sup>). Le « climat » considéré (pluie et ETP) est celui de la période d'observation (1990-2011). Pour le modèle à 3 entrées, la chronique de débit du Vidourle est celle de la période d'observation.

L'effet d'une augmentation des prélèvements (de 0.7 millions de m<sup>3</sup> (2010) à 1.4 millions de m<sup>3</sup> par an) se traduirait par un abaissement du niveau de la nappe, la piézométrie s'établirait autour de 13 m NGF, soit environ 3.5 m sous le niveau simulé en absence de pompage (Illustration 51). D'autres tests pour des volumes de prélèvement supérieurs ont été réalisés. Les niveaux piézométriques s'établiraient respectivement autour de 11 m NGF et 8 m NGF pour des prélèvements annuels de l'ordre de 2.1 et 3.2 millions de m<sup>3</sup> (Illustration 51).

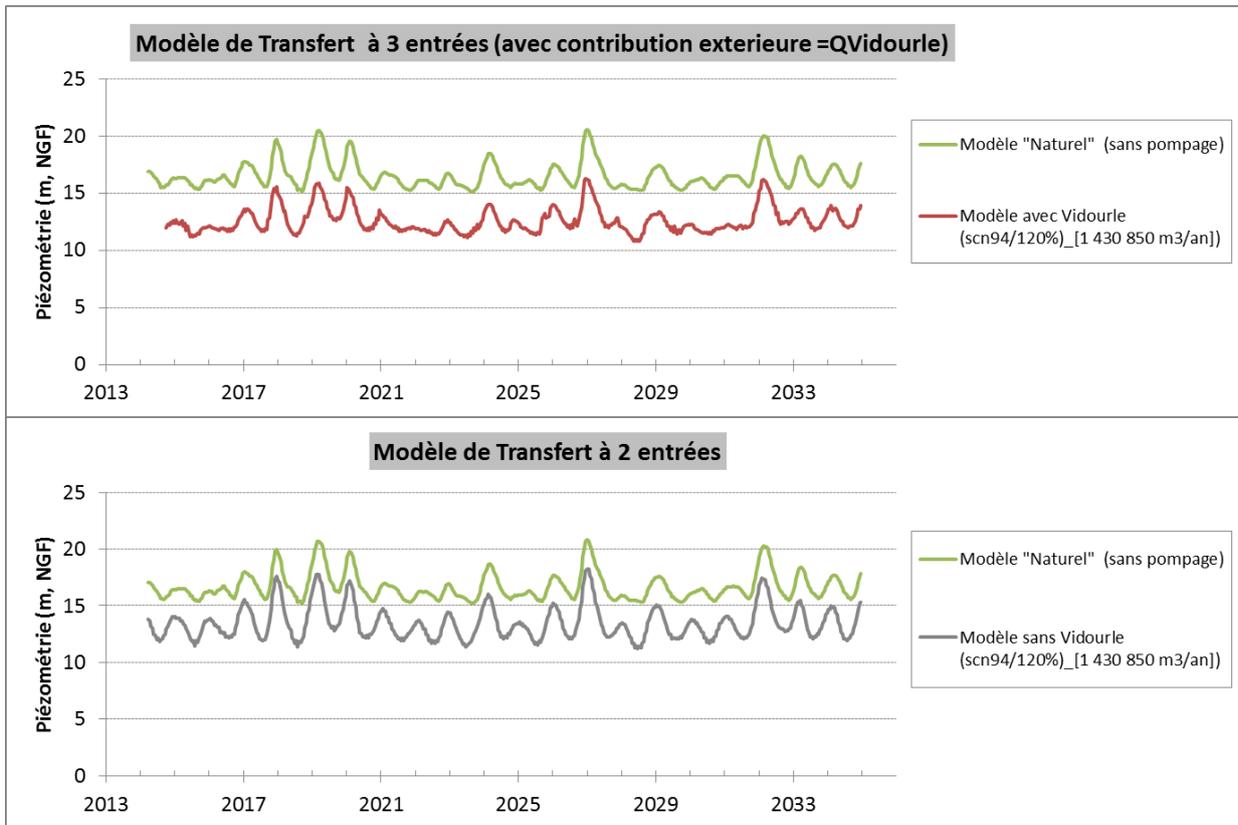


Illustration 50 : Simulation du niveau piézométrique au sein de l'entité 556B1 (molasses de Sommières) en absence et en présence de prélèvements (modèles avec et sans contribution du Vidourle). La chronique de prélèvements [1.4 million de m3/an] est identique pour chacun des cycles annuels. Dans ce test, le climat « futur » est supposé identique à celui mesuré sur la période 1990-2011.

Climat (pluie&ETP)		Scénario Prélèvement	Volume m3/an	Piézométrie Moyenne* (m NGF)	Piézométrie Minimale (m NGF)	Piézométrie Maximale (m NGF)
1990-2011**	MT sans Vidourle	"Naturel"	0	16.6	15.9	18.3
1990-2011	MT sans Vidourle	scn2010+(94%/120%)	1 430 850	13.5	12.7	15.0
1990-2011	MT sans Vidourle	scn(94%/120%)=>+150%	2 146 270	11.9	11.1	13.4
1990-2011	MT sans Vidourle	scn(94%/120%)=>+300%	3 219 410	9.6	8.8	11.1
1990-2011**	MT avec Vidourle	"Naturel"	0	16.6	15.8	18.2
1990-2011	MT avec Vidourle	scn2010+(94%/120%)	1 430 850	12.6	11.8	14.1
1990-2011	MT avec Vidourle	scn(94%/120%)=>+150%	2 146 270	10.6	9.7	12.0
1990-2011	MT avec Vidourle	scn(94%/120%)=>+300%	3 219 410	7.6	6.7	8.9

\*Moyenne interannuelle  
 \*\*1981-2011= le climat "futur " est supposé identique à celui mesuré sur la période 1998-2011  
 MT = Méthode de Transfert

Illustration 51 : Synthèse des principaux résultats des simulations pour l'entité 556B1 (molasses de Sommières)

Le bilan hydrogéologique de l'aquifère a été estimé sur la base des résultats des modélisations obtenues par le modèle de transfert à 2 entrées en considérant le scénario 3 de prélèvement et le « climat » actuel (Illustration 52). Nous rappelons que la méconnaissance des flux de sortie de cet aquifère ne permet pas de discuter de manière fiable des résultats obtenus. En supposant que le flux de sortie de l'aquifère est de 1.9 millions de m<sup>3</sup> par an (valeur probablement surestimée, cf. § 2.2.6), un prélèvement de 1.4 millions de m<sup>3</sup> par an conduirait globalement à des bilans négatifs, et donc à une surexploitation de la ressource de l'aquifère.

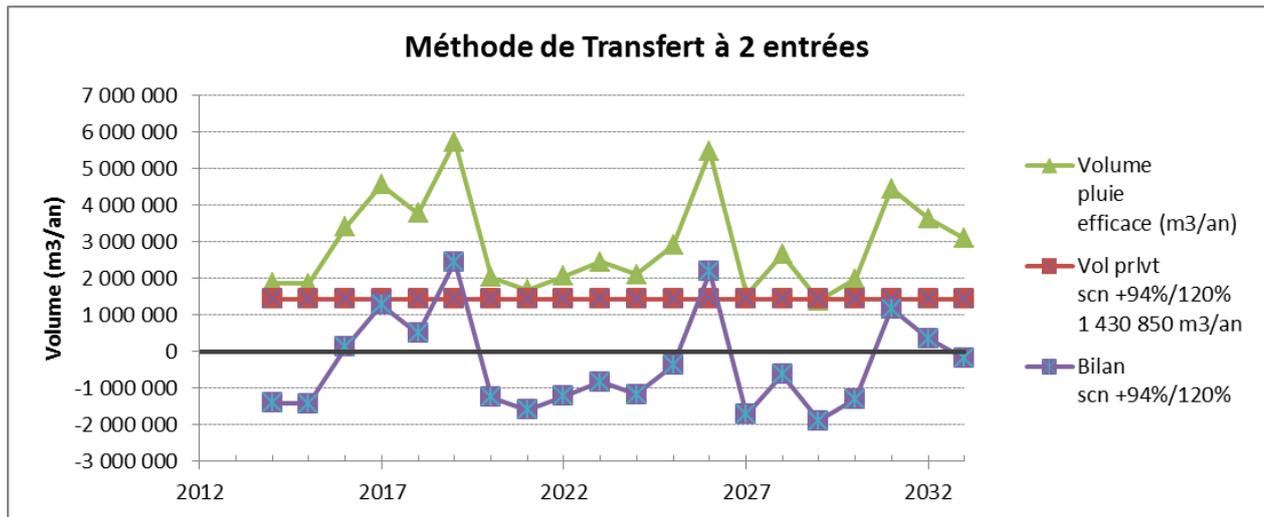


Illustration 52 : Evaluation du bilan de l'aquifère (entité 556B1, molasses de Sommières) pour le scénario 3 :+94%/+120% (pop. Perm./pop ; pointe), soit 1.4 millions de m<sup>3</sup>/an (dans ce test, le climat « futur » est supposé identique à celui mesuré sur la période actuelle).

### 3.5. DEFINITION DU BON ETAT QUANTITATIF DES ENTITES ETUDIEES

Rappel : « L'état quantitatif d'une eau souterraine est considéré comme bon lorsque les prélèvements ne dépassent pas la capacité de renouvellement de la ressource disponible, compte tenu de la nécessaire alimentation en eau des écosystèmes aquatiques de surface et des zones humides directement dépendantes en application du principe de gestion équilibrée énoncé à l'article L.211-1.

Les objectifs fixés par la DCE pour atteindre le bon état quantitatif sont :

- d'assurer un équilibre sur le long terme entre les volumes s'écoulant au profit des autres milieux ou d'autres nappes, les volumes captés et la recharge de chaque nappe (point 1),
- d'éviter une altération significative de l'état chimique et/ou écologique des eaux de surface liée à une baisse d'origine anthropique du niveau piézométrique (point 2),
- d'éviter une dégradation significative des écosystèmes terrestres dépendants des eaux souterraines en relation avec une baisse du niveau piézométrique (point 3),

- *d'empêcher toute invasion saline ou autre liée à une modification d'origine anthropique des écoulements (point 4).*

*Une masse d'eau souterraine n'est en bon état que si tous ces objectifs sont respectés.*

*Pour déterminer l'état quantitatif, l'article 3 de l'arrêté du 17 décembre 2008 liste cinq éléments à prendre en compte pour comparer le niveau de prélèvements avec la capacité de renouvellement de la ressource disponible, à savoir :*

- *l'évolution des niveaux piézométriques des eaux souterraines ;*
- *l'évolution de l'état des eaux de surface associées ;*
- *l'évolution des écosystèmes terrestres qui dépendent directement de la masse d'eau souterraine;*
- *les modifications de la direction d'écoulement occasionnant une invasion d'eau salée ou autre ou montrant une tendance durable susceptible d'entraîner de telles invasions ;*
- *les zones de répartition des eaux (ZRE) telles que définies à l'article R. 211-71 du code de l'environnement. »<sup>7</sup>*

Des éléments d'informations seront apportés pour discuter le point 1 dans le chapitre suivant (§ 3.6).

Pour les points 2 et 3, la synthèse des connaissances et des données disponibles (BRGM/RP-61207-FR) et les résultats présentés précédemment permettent d'indiquer que :

- pour l'entité de Castries : le contexte géologique indique que le Bérange est ponctuellement au contact avec le Burdigalien inférieur au nord et au sud du bassin. Dans l'état actuel des connaissances, aucun argument hydrogéologique ou hydrologique ne permet de quantifier le flux d'eau du Bérange contribuant à l'alimentation des molasses du Burdigalien inférieur. A l'inverse, les résultats de l'étude permettent de confirmer que la source de Fontmagne pouvait être alimentée par le Burdigalien inférieur en contexte naturel de fonctionnement, et qu'à ce titre, l'aquifère contribuait à alimenter le Bérange, principalement lors des périodes de hautes eaux. Dans l'état actuel des connaissances, le gain environnemental d'un retour aux conditions naturelles qui prévalaient avant 1981 (début de prélèvement) ne peut pas être évalué dans le cadre de ce projet. Des études spécifiques devront être réalisées pour apporter les informations nécessaires avant de pouvoir envisager cette possibilité ;
- pour l'entité de Sommières, dans l'état actuel des connaissances, on ne peut pas exclure que le Vidourle contribue à l'alimentation de l'aquifère des molasses de Sommières. Des investigations hydrogéologiques spécifiques devront être mises en œuvre pour apporter des réponses à ce questionnement (voir § 2.2.7).

Concernant le point 4, les entités des molasses (556 B1 et B2) ne sont pas concernées par les problématiques d'intrusions salines.

---

<sup>7</sup> Extrait de la Circulaire du 23 octobre 2012 relative à l'application de l'arrêté du 17 décembre 2008 – Evaluation de l'état quantitatif

### 3.6. CARACTERISATION DES VOLUMES PRELEVABLES A PARTIR DES RESULTATS DES SIMULATIONS ET DEFINITION DES OBJECTIFS DE NIVEAUX

D'après la circulaire du 23 octobre 2012, le Ratio [Meso] = (Volume annuel prélevé/recharge estimée) permet d'évaluer l'état d'équilibre entre la ressource disponible et les prélèvements. Ce ratio permet d'exprimer différemment les résultats des calculs des bilans hydrogéologiques comme on peut le constater sur l'illustration 53 pour l'entité 556B2, molasses de Castries.

Tous les scénarii de prélèvement testés (cf. § 3.3) conduisent globalement à des ratios [Meso] supérieurs à 1 ce qui dénoterait pour ce critère une surexploitation de l'aquifère. L'entité hydrogéologique souterraine, dans ce contexte de prélèvement et de recharge, serait donc en mauvais état quantitatif sur la base de ce critère de la circulaire du 23/10/2012.

De plus, le Ratio [Meso] doit être inférieur à 1 près de 8 années sur 10 pour que l'aquifère soit considéré en bon état quantitatif<sup>8</sup>. Formulé autrement, le critère Meso peut être supérieur à 1 les années quinquennales sèches. En concertation avec le comité de pilotage du projet, nous avons cherché à évaluer quelle serait la gamme de prélèvements possibles permettant de satisfaire ce critère.

**Pour l'entité 556B1 (molasses de Sommières)**, nous avons précédemment montré que la méconnaissance des flux de sortie du système ne permettait pas d'établir de bilan hydrogéologique fiable. Dans ce contexte, le Ratio [Meso] ne peut pas être défini, de même pour les critères piézométriques (NPA et NPCR). Un besoin de connaissance supplémentaire s'impose sur cette masse d'eau pour définir ces critères.

---

<sup>8</sup> Circulaire du 30/06/08 relative à la résorption des déficits quantitatifs en matière de prélèvement d'eau et gestion collective des prélèvements d'irrigation

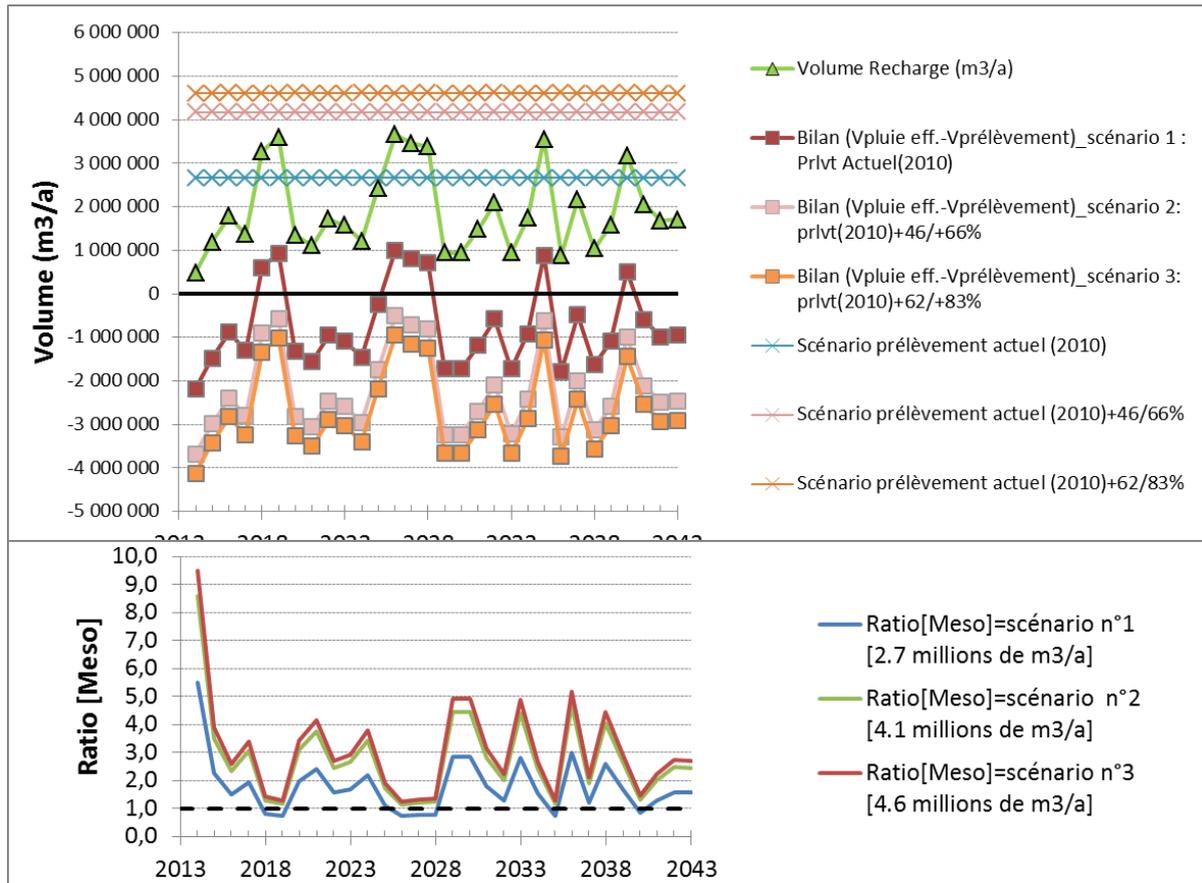


Illustration 53. Evolutions du ratio [Meso] et du bilan en eau de l'aquifère (entité 556B2, molasses de Castries) pour les 3 scénarii de prélèvements testés (cf. § 3.1). Dans ces tests, le climat « futur » est supposé identique à celui mesuré sur la période actuelle.

### Pour l'entité 556B2 (molasses de Castries) :

Au préalable, sur la base des résultats de modélisation obtenus par le modèle de transfert du piézomètre « P3 Décharge », et notamment de la pluie efficace calculée par le modèle, nous avons conduit une analyse statistique descriptive pour qualifier la recharge quinquennale des années sèches (Illustration 54). La recharge d'occurrence quinquennale est évaluée à 240 mm, les bornes inférieures et supérieures des incertitudes sont respectivement de 130 mm et 310 mm, ce qui dénote une forte incertitude. Sur la base de ces valeurs, le volume de recharge annuelle des années quinquennales sèches est estimé à 1.2 millions de m<sup>3</sup>/an en considérant l'aire de la zone de recharge de 5 km<sup>2</sup> de l'aquifère (cf. § 2.3.6). Compte tenu des incertitudes, le volume de la recharge des années quinquennales sèches serait compris entre 0.7 et 1.6 millions de m<sup>3</sup>/an, ce qui pourrait se traduire par des volumes prélevables compris entre 0.7 et 1.6 millions de m<sup>3</sup>/an.

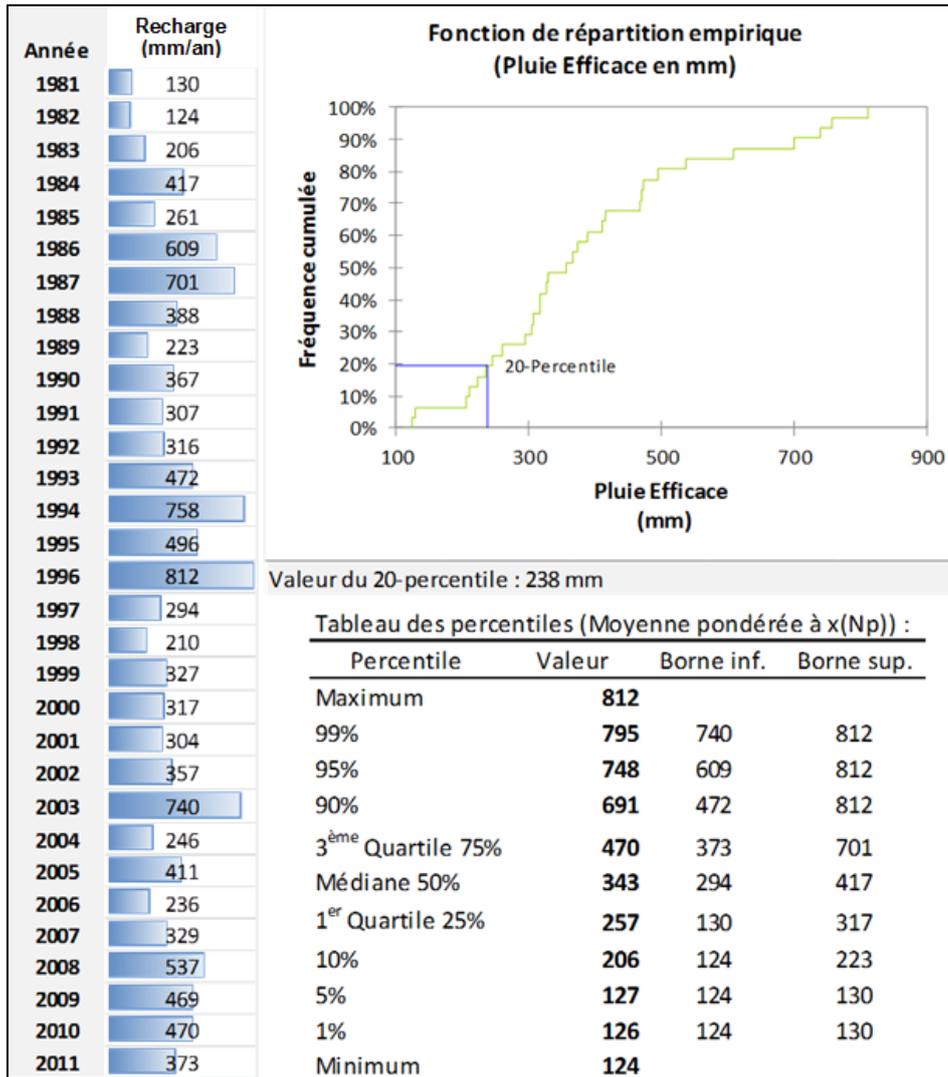
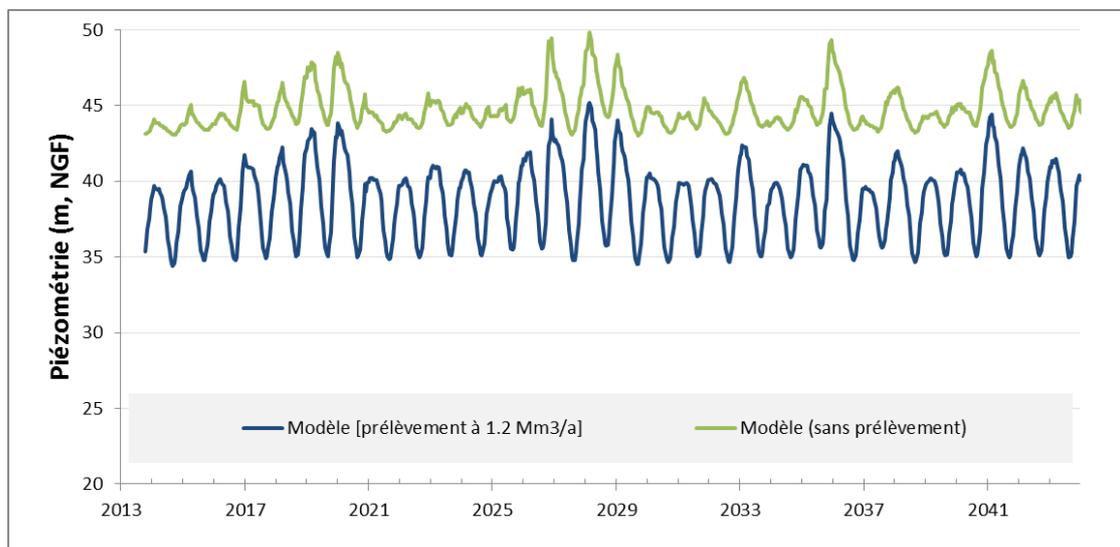
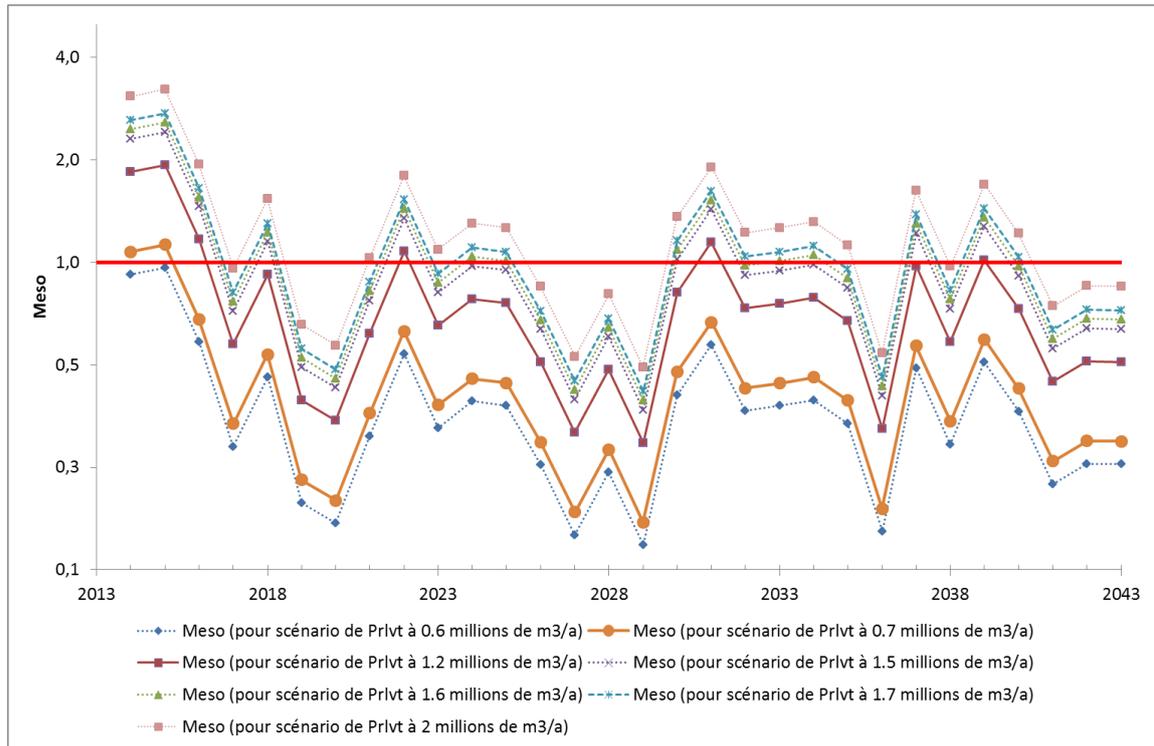


Illustration 54 : Eléments de statistiques descriptives de la recharge de l'entité 556B2 (molasses de Castries).

Dans un second temps, sur la base des valeurs estimées de recharge des années quinquennales sèches, nous avons cherché à vérifier à l'aide du modèle développé si ces volumes de prélèvement (volumes correspondant à la recharge d'occurrence quinquennale comprise entre 130 mm et 310 mm) permettait effectivement de satisfaire le critère Meso « Ratio [Meso] <1 près de 8 années sur 10 ». Dans ce test, les volumes de prélèvement annuels varient donc entre 0.7 et 1.6 millions de m<sup>3</sup>/an, le climat est supposé être identique à celui de la période 1981-2010. Des valeurs inférieures et supérieures de prélèvement ont également été testées (Illustration 55). On constate que le critère Meso est vérifié pour les scénarii de prélèvement compris entre 0.7 et 1.6 Mm<sup>3</sup>/an, avec une période de calcul statistique de 30 ans. Le critère Meso n'apparaît plus vérifié lorsque les prélèvements annuels deviennent supérieurs à 1.6 millions de m<sup>3</sup>/an.

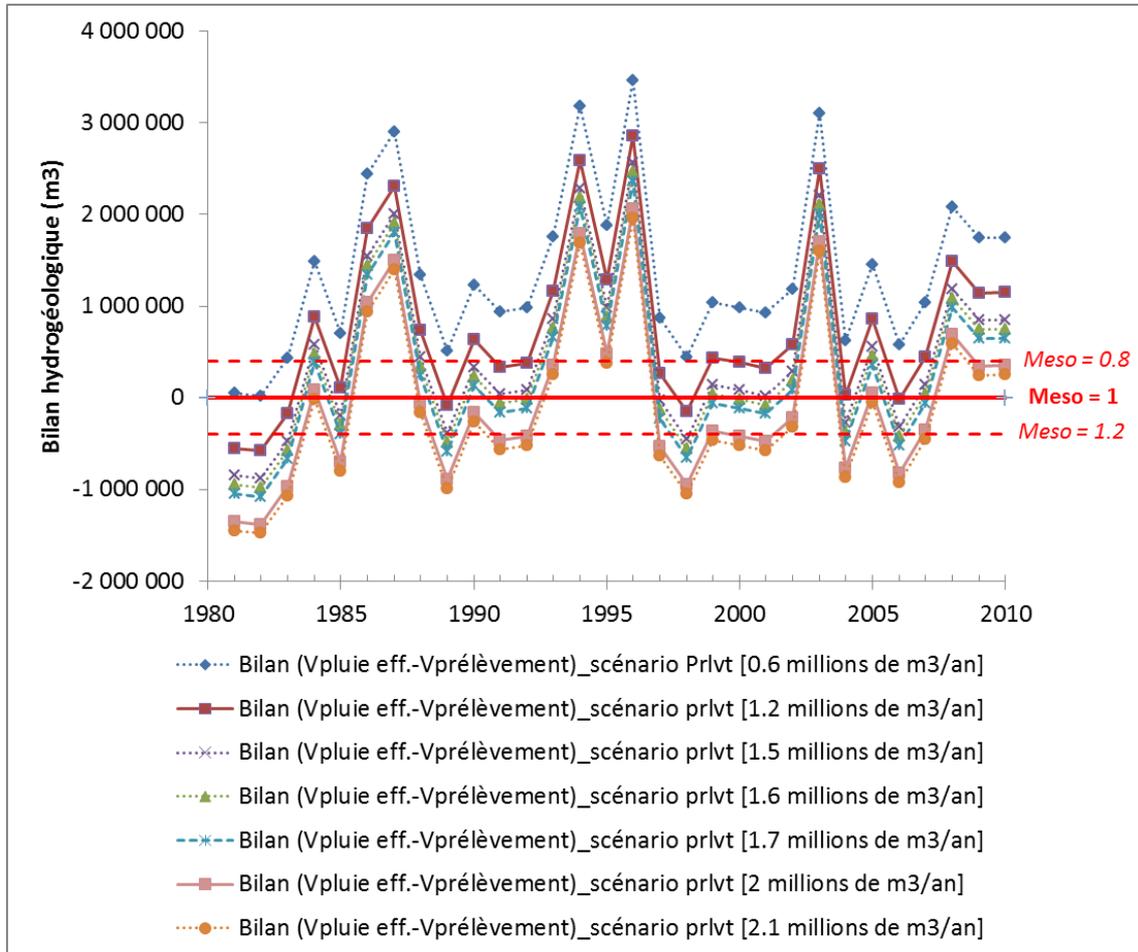
L'évolution des niveaux piézométriques simulés est présentée sur l'illustration 56, la piézométrie s'établit autour de 38.6 m NGF (valeur médiane) pour un prélèvement correspondant à 1.2 millions m<sup>3</sup>/an (Illustration 55).



Toutefois, pour caractériser le volume de prélèvements qui satisfait la condition « Ratio [Meso] < 1 près de 8 années sur 10, il nous apparait nécessaire de considérer les incertitudes qui pèsent sur ce critère. Le Ratio [Meso] est entaché d'une incertitude car les variables qui le définissent (volume de recharge, volumes prélevés) sont elles-mêmes soumises à une incertitude. Nous considérons que le Ratio [Meso] est entaché d'une incertitude minimale

de 20 % puisque l'incertitude relative de chacune des variables est de l'ordre de 10 % au moins. Cette incertitude sur le graphique du bilan hydrogéologique (Illustration 57) correspond à une incertitude absolue de  $\pm 400\,000\text{ m}^3/\text{an}$ .

**En considérant la gamme d'incertitude du critère Meso (Illustration 57), les prélèvements annuels inférieurs ou égaux à 2 millions de  $\text{m}^3/\text{an}$  permettraient de satisfaire le critère du bon état quantitatif de l'entité 556B2.**



*Illustration 57. Evolution du bilan hydrogéologique pour différents scénarii de prélèvements. Dans ces tests, le climat est supposé identique à celui mesuré sur la période actuelle (1981-2010). La ligne matérialisant un bilan nul et les incertitudes associées sont reportés.*

Dans le but de définir le niveau piézométrique de gestion quantitative de l'aquifère (NPA) pour cette consigne de prélèvement AEP, nous présentons l'évolution temporelle de la piézométrie calculée par le modèle pour un prélèvement annuel de 2 millions de  $\text{m}^3$  et en supposant que le climat est identique à celui mesuré sur la période 1981-2010 (Illustration 58).

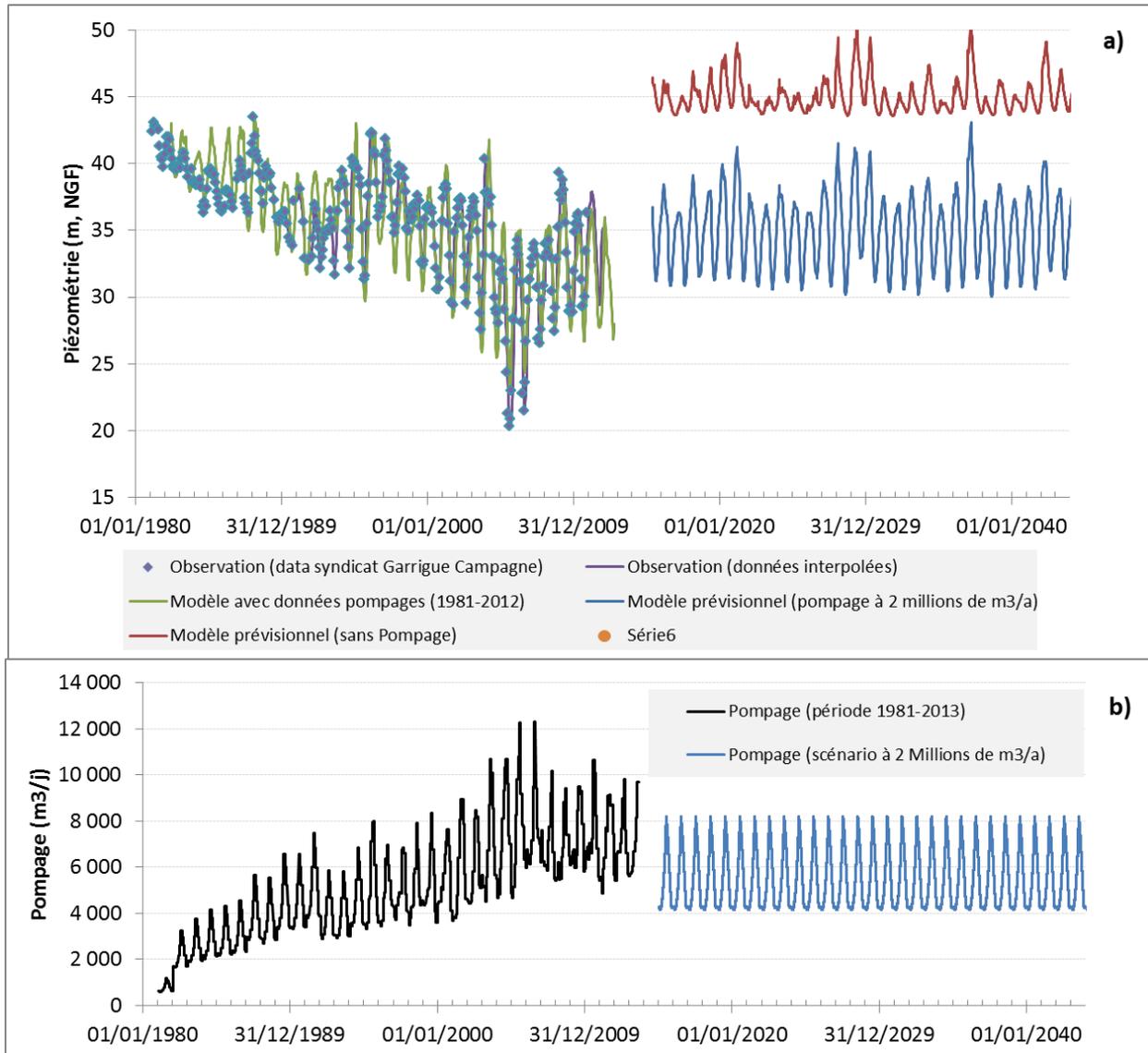


Illustration 58. (a) Simulation de la piézométrie de l'aquifère pour un scénario de prélèvement fixé à 2 millions de m<sup>3</sup>/an. La piézométrie de l'aquifère simulée en absence de pompage est également reportée. (b) Les chroniques de prélèvements sont également reportées.

Pour le scénario de pompage à 2 millions de m<sup>3</sup>/an, on montre que la piézométrie de l'aquifère s'établit autour de 34.9 m NGF (valeur moyenne), l'écart-type lié au climat étant de  $\pm 2.7$  m. Cette valeur ( $34.9 \pm 2.7$  m NGF) peut constituer le niveau piézométrique de bonne gestion quantitatif de l'aquifère. Les valeurs maximale et minimale de la piézométrie simulée sont respectivement de 43.1 m NGF et 30.02 m NGF (Illustration 58). **Sur la base de la valeur minimale de la piézométrie simulée et de l'écart-type, nous proposons que le niveau piézométrique d'alerte de l'aquifère (NPA) soit fixée à la cote de 27.3 m NGF. Enfin, sur la base des observations réalisées sur la période 1981-2011, nous préconisons que la piézométrie minimale de l'aquifère lors d'une crise renforcée (NPCR) demeure supérieure à 20.3 m NGF, cette valeur constituant le minimum observée en août 2005.**

### 3.7. DEFINITION DES POINTS DE SURVEILLANCE

Pour l'entité 556B2 (molasses de Castries), les modélisations réalisées dans le cadre de cette étude s'appuient sur les mesures effectuées au piézomètre P3 Décharge, géré par le Syndicat Mixte Garrigues Campagne, car seul ce point présentait une chronique longue. Depuis 2000, le CG34 suit également un piézomètre sur le site de captage Bérange à Saint-Geniès-des-Mourgues (09911X0280/F). Les chroniques piézométriques mesurées (Illustration 59 et Illustration 60) indiquent que l'ouvrage est fortement influencé par les pompages de la station du Bérange. En absence de pompage, la piézométrie mesurée à Bérange apparaît assez comparable à celle du piézomètre P3 Décharge (Illustration 60). La piézométrie maximale journalière déduite des mesures horaires permet de reproduire de manière assez fidèle les évolutions globales observées au piézomètre P3 Décharge (Illustration 61). Toutefois, la comparaison détaillée des évolutions piézométriques enregistrées aux deux ouvrages (cf. Illustration 60) permet de montrer des différences décimétriques à métriques. Dans le but de s'affranchir des effets locaux liés à l'exploitation du captage Bérange, nous préconisons néanmoins que la surveillance de l'état quantitatif de l'entité 556B2 soit réalisée au niveau du piézomètre P3 Décharge.

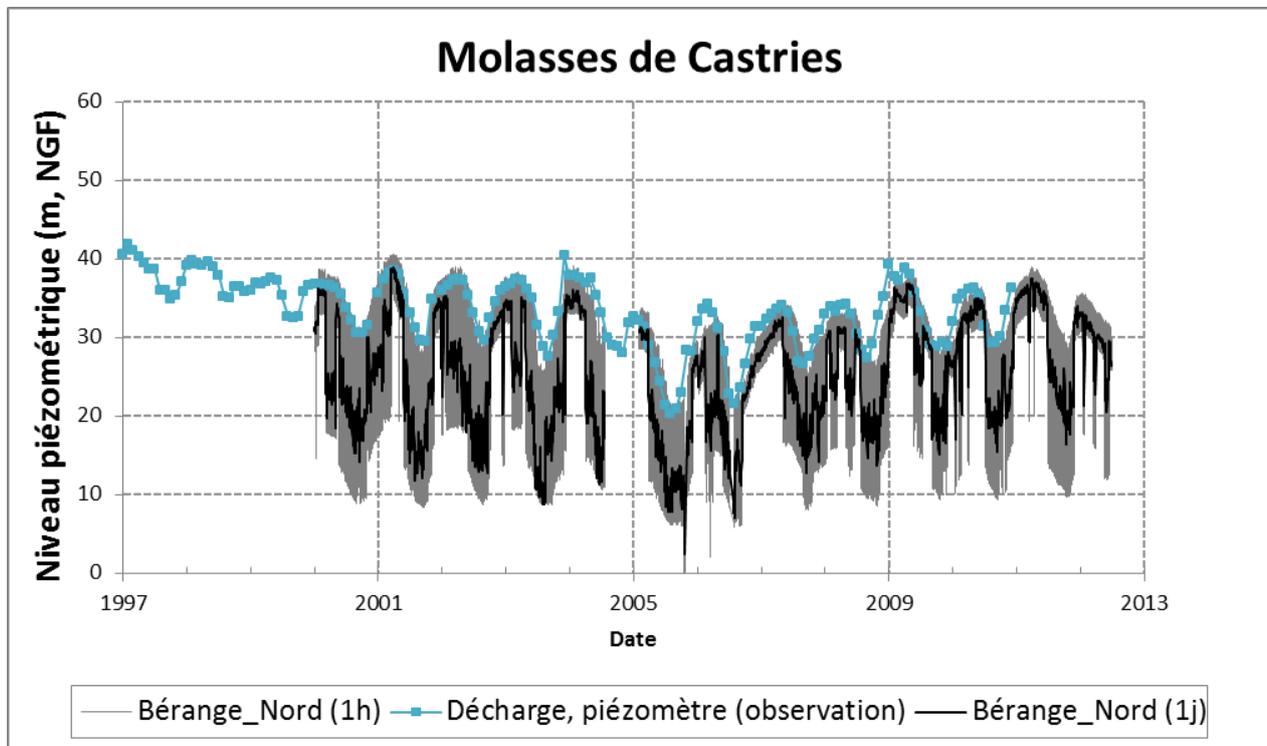


Illustration 59 : Evolution de la piézométrie au piézomètre « P3 Décharge » et au piézomètre Bérange (suivi CG34) sur la période 1997-2012

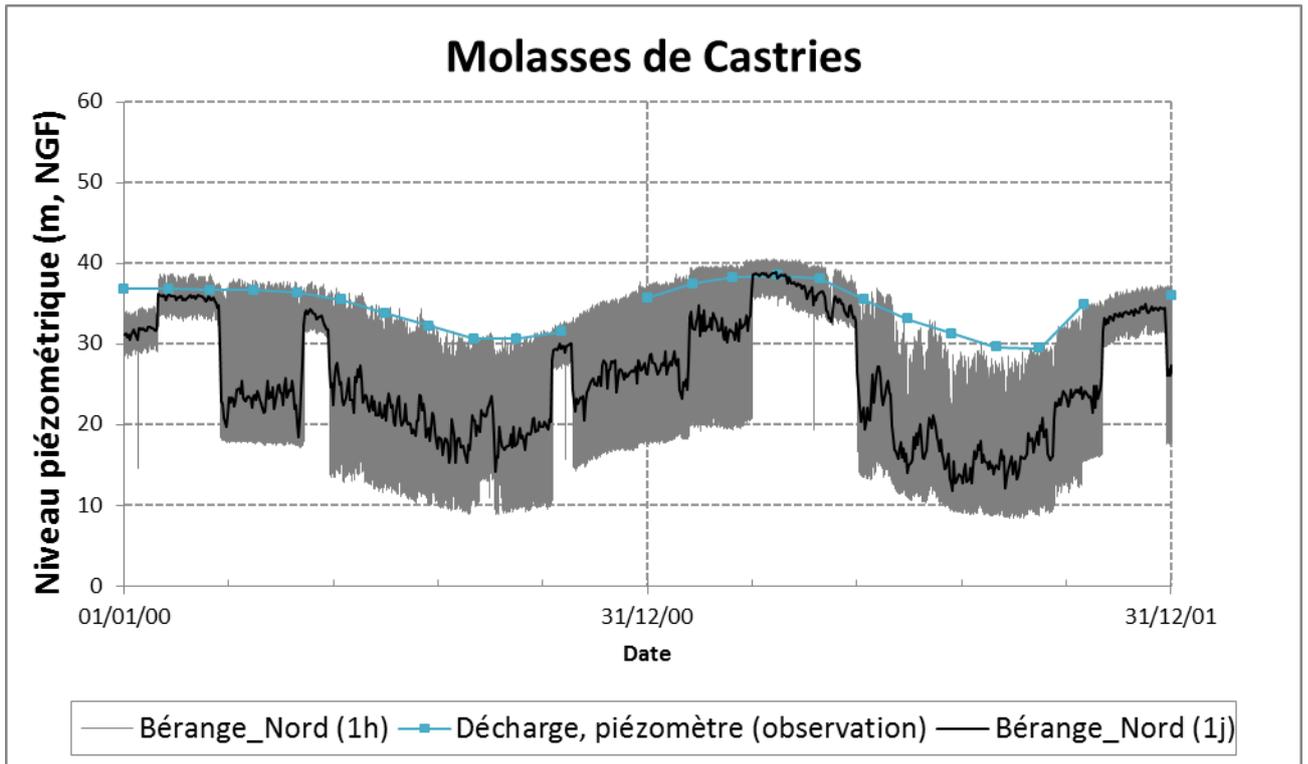


Illustration 60. Evolution de la piézométrie au piézomètre « Décharge » et au piézomètre Bérange (suivi CG34), zoom sur la période du 01/01/2000 au 31/12/2001

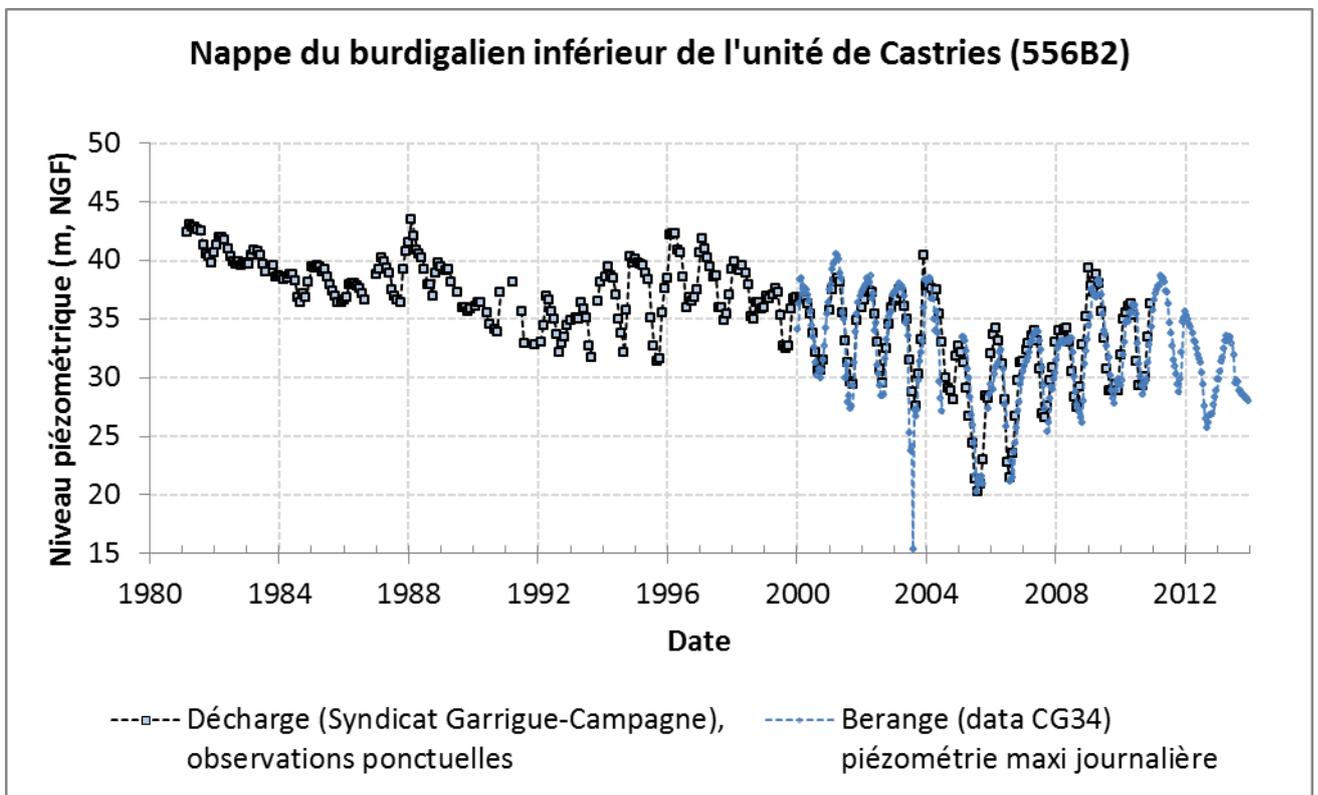


Illustration 61. Evolution de la piézométrie de la nappe du Burdigalien inférieur de l'entité des molasses de Castries mesurée au piézomètre P3 Décharge et au piézomètre Bérange

**Pour l'entité 556B1 (molasses de Sommières)**, le point B4 (09646X0074/B4) actuellement suivi dans le réseau ONEMA/BRGM apparaît satisfaisant pour décrire et modéliser les évolutions piézométriques de l'aquifère.

## 4. Conclusions

Dans cette étude, les caractérisations et les modélisations du fonctionnement des aquifères des molasses de Sommières (entité 556B1) et de Castries (entité 556B2) ont été réalisées à l'aide d'une approche globale de modélisation par méthodes de transfert à l'aide du logiciel TEMPO. L'approche méthodologique mise en œuvre s'appuie sur l'état des connaissances hydrogéologiques et les chroniques piézométriques des réseaux de surveillance des deux entités hydrogéologiques.

Pour les deux entités, il ressort que la réponse hydrogéologique des aquifères à la recharge est lente et inertielle puisque le pic de réponse piézométrique est observé pour des décalages de 100 jours environ. L'allure de la réponse des molasses burdigaliennes à la recharge par les pluies évoque la recharge puis la lente vidange d'un réservoir.

**Pour l'entité 556B1 (molasses de Sommières)**, les modèles de transfert mis en œuvre permettent de décrire et simuler les évolutions piézométriques observées depuis 1991, date des premiers suivis. L'approche de modélisation permet par ailleurs d'estimer la piézométrie de l'aquifère en absence de pompage. L'impact des prélèvements (0.7 millions de m<sup>3</sup> en 2010) sur la piézométrie est variable selon la localisation des ouvrages d'observation, les rabattements par rapport à la situation sans pompage étant compris entre 1 m et 3 m (en 2010). **Les tests de modélisation conduits en considérant une contribution possible de pertes sur le Vidourle ne permettent pas de conclure de manière probante sur le rôle effectif ou non d'une alimentation par le cours d'eau.** Les contributions estimées (comprises entre 42 mm/an et 160 mm/an) sont rattachées à une composante dite « rapide » qui présente une réponse maximale dans les 30 jours qui suivent un épisode de recharge. Cette composante rapide (qualifiée à l'aide de la chronique du débit du Vidourle) pourrait en fait exprimer la contribution d'un autre aquifère à dynamique rapide comme par exemple celle d'un aquifère karstique adjacent (calcaires de Pondres, Crétacé). L'absence de chronique piézométrique sur les aquifères karstiques adjacents ne permet pas de tester ces hypothèses. Des investigations hydrogéologiques spécifiques devront être mises en œuvre pour identifier et qualifier le rôle joué par le Vidourle et les systèmes karstiques adjacents dans le fonctionnement des molasses de Sommières.

La délimitation hydrogéologique du bassin des molasses de Sommières telle que reportée dans le rapport des phases 1 et 2 (BRGM/RP-61207-FR) ne montre aucun exutoire, ce qui d'un point de vue du fonctionnement hydrogéologique pose un problème. Nous avons donc considéré, comme évoqué par certains hydrogéologues agréés, que la gouttière d'Aubais-Junais contribue à drainer le bassin molassique de Sommières. Une nouvelle délimitation de l'entité a donc été présentée dans ce rapport. Pour l'aquifère, on estime à l'aide des modélisations que le volume de recharge annuel serait de l'ordre de 2.9 millions de m<sup>3</sup> (en moyenne interannuelle), donc bien supérieur au volume des prélèvements annuels (0.7 millions de m<sup>3</sup> en 2010) réalisés sur cette ressource. Cependant, **la méconnaissance des flux de sortie de l'aquifère au sein notamment de la gouttière synclinale de Junais-Aubais ne permet pas d'établir de bilan hydrogéologique fiable. Dans ce contexte, la qualification de l'état quantitatif de l'entité des molasses de Sommières par l'intermédiaire notamment du Ratio Meso (Volume annuel prélevé/Recharge estimée) n'a pu définir**, de même pour les critères piézométriques de bonne gestion quantitative de l'aquifère (NPA) et de crise renforcée (NPCR). Un besoin de connaissance hydrogéologique supplémentaire s'impose sur cette entité pour définir ces critères.

**Pour l'entité 556B2 (molasses de Castries)**, la modélisation permet de reproduire de manière très satisfaisante les évolutions piézométriques observées depuis 1981, il ressort que la baisse des niveaux piézométriques observée à partir de cette date est fortement liée à l'augmentation continue des prélèvements sur la ressource (de 285 000 m<sup>3</sup>/an en 1981 à 2 700 000 m<sup>3</sup>/an en 2010). L'utilisation du modèle a également permis d'évaluer l'évolution piézométrique qu'aurait présentée l'aquifère en absence de pompage (contexte dit « naturel »). Sur la base du rabattement piézométrique moyen exprimé par rapport au niveau naturel sans pompage, on estime l'emmagasinement moyen de l'aquifère à 200 500 (m<sup>3</sup>/m de tranche d'eau).

Depuis 2004, les volumes des prélèvements annuels fluctuent autour de 2.7 millions de m<sup>3</sup> par an, les niveaux piézométriques semblent se stabiliser autour de 30 m NGF, soit environ 13 m sous le niveau piézométrique qu'aurait présenté l'aquifère en absence de pompage. Les résultats de la modélisation indiquent donc que le niveau piézométrique de l'aquifère des molasses inférieures en contexte « naturel » devait s'établir autour de 43/45 m NGF. Dans ce contexte naturel, la charge hydraulique dans le Burdigalien inférieur était suffisante pour alimenter la source de Fontmagne via la faille de Fontmagne, la source étant située à 43 m NGF environ. Les résultats de la modélisation permettent donc de soutenir l'hypothèse que le Burdigalien inférieur contribuait à l'alimentation de cette source avant la mise en exploitation des captages situés dans cette ressource. Depuis, l'exploitation des molasses a asséché la source de Fontmagne.

L'utilisation du modèle a permis d'estimer **le volume des prélèvements qui satisfait le critère du bon état quantitatif de la masse d'eau. (Ratio [Meso] <1 près de 8 années sur 10)**. Compte tenu des incertitudes qui pèsent sur l'estimation de la recharge et des volumes prélevés, on estime que les prélèvements annuels supérieurs à **2 millions de m<sup>3</sup>/an** ne permettraient pas de satisfaire le critère du bon état quantitatif de la masse d'eau. Dans ce contexte, le bilan en eau de l'aquifère apparaît négatif depuis la fin des années 1990 ce qui témoignerait globalement d'une surexploitation de la ressource. De même, les scénarii de prélèvements considérés (scn°2 : +46% du prélèvement pour la Population Permanente/+66% du prélèvement pour la pointe estivale, soit 4.14 millions de m<sup>3</sup>/a et scn°3 : +62%/+83%, soit 4.6 millions de m<sup>3</sup>/a) pour le futur qui intègrent les projections d'augmentation de population ne permettraient pas de satisfaire le critère du bon état quantitatif de l'entité des molasses de Castries.

En s'appuyant sur les résultats du modèle hydrogéologique développé dans le cadre de cette étude, le niveau piézométrique de bonne gestion quantitatif de l'aquifère a pu être défini. Pour le scénario de pompage à 2 millions de m<sup>3</sup>/an, on montre que la piézométrie de l'aquifère s'établit autour de 34.9 m NGF (valeur moyenne), l'écart-type lié au climat étant de ± 2.7 m. Cette valeur (34.9 ± 2.7 m NGF) peut constituer le niveau piézométrique de bonne gestion quantitatif de l'aquifère. Les valeurs maximale et minimale de la piézométrie simulées sont respectivement de 43.1 m NGF et 30.02 m NGF. Sur la base de la valeur minimale de la piézométrie simulée et de l'écart-type, nous proposons que le niveau piézométrique d'alerte (NPA) de l'aquifère soit fixé à la cote de 27.3 m NGF. Enfin, sur la base des observations réalisées sur la période 1981-2011, nous préconisons que la piézométrie minimale de l'aquifère lors d'une crise renforcée (NPCR) demeure toujours supérieure à 20.3 m NGF, cette valeur constituant le minimum observée en août 2005.

**Pour l'entité 556B1 (molasses de Sommières)**, le point B4 (09646X0074/B4) actuellement suivi dans le réseau ONEMA/BRGM apparaît satisfaisant pour décrire et modéliser les évolutions piézométriques de l'aquifère.

**Pour l'entité 556B2 (molasses de Castries)**, la description et la modélisation des évolutions piézométriques ont été réalisées sur les mesures effectuées au piézomètre P3 Décharge, géré par le syndicat Garrigues Campagne, car seul ce point présentait une chronique longue. Il est

**préconisé que la surveillance de l'état quantitatif de l'entité 556B2 soit réalisée au niveau du piézomètre P3 Décharge.**



## 5. Bibliographie

### **Références des travaux réalisés à l'aide du logiciel TEMPO**

**Belle P., Aunay B., Bernardie S., Grandjean G., Ladouche B., Mazué R., Join J.L.** (2013). The application of an innovative inverse model for understanding and predicting landslide movements (Salazie cirque landslides, Reunion Island). *Landslides*. DOI 10.1007/s10346-013-0393-5

**Charlier, J-B., Lachassagne, P., Ladouche, B., Cattan, P., Moussa, R., Voltz, M.**, Structure and hydrogeological functioning of an insular tropical humid andesitic volcanic watershed: a multi-disciplinary experimental approach, *Journal of Hydrology* (2010), doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.10.006

**Dorfliger N, Fleury P, Ladouche B**, 2009. Inverse Modeling Approach to Allogenic Karst System Characterization. *Ground Water* ;47(3):414-26.

Etude de protection de l'aire d'alimentation des captages Garrigues Bérange Nord et Sud (Saint Geniès des Mourgues, 34). Juillet 2013. BET EAU ET GEOENVIRONNEMENT, Alizé Environnement.

**Ladouche B., Marechal J.C.; Dorfliger N.** (2014). Semi-distributed lumped model of a karst system under active management. *Journal of Hydrology*, Vol 509: 215-230, doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.11.017.

**Pinault, J.-L., and F. Berthier** (2007), A methodological approach to characterize the resilience of aquatic ecosystems with application to Lake Annecy, France, *Water Resour. Res.*, 43, W01418, doi:10.1029/2006WR005125.

**Pinault, J.-L., and S. Schomburgk** (2006), Inverse modeling for characterizing surface water/groundwater exchanges, *Water Resour. Res.*, 42, W08414, doi:10.1029/2005WR004587.

**Pinault, J.-L., N. Amraoui, and C. Golaz** (2005), Groundwater-induced flooding in macropore-dominated hydrological system in the context of climate changes, *Water Resour. Res.*, 41, W05001, doi:10.1029/2004WR003169

**Pinault, J.-L., N. Doerfliger, B. Ladouche, and M. Bakalowicz** (2004), Characterizing a coastal karst aquifer using an inverse modeling approach: The saline springs of Thau, southern France, *Water Resour. Res.*, 40, W08501, doi:10.1029/2003WR002553.

**Pinault J-L, Pauwels H. and Cann Ch.**, Inverse modeling of the hydrological and the hydrochemical behavior of hydrosystems: Application to nitrate transport and denitrification, *Water Res. Research*, 37 (8), pp 2179-2190, 2001.

**Pinault J-L, Plagnes V, Aquilina L. and Bakalowicz M.**, Inverse modeling of the hydrological and the hydrochemical behavior of hydrosystems: Characterization of karst system functioning, *Water Res. Research*, 37 (8), pp 2191-2204, 2001.

**Lachassagne P, Pinault J-L, Laporte P, Radon** 222 emanometry: a relevant methodology for water well siting in hard rock aquifers, *Water Res. Research*, 37 (12), pp 3131-3148, 2001.

**Pinault J-L, Baubron J-C**, Signal processing of diurnal and semidiurnal variations in radon and atmospheric pressure: A new tool for accurate in situ measurement of soil gas velocity, pressure gradient, and tortuosity, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, N° B8, pp 18,101-18,120, 1997

**Pinault J-L, Baubron J-C**, Signal processing of soil gas radon, atmospheric pressure, moisture and soil temperature data: A new approach for radon concentration modelling, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, N° B2, pp 3157-3171, 1996



## **Annexe 1**

# **Volume cumulé des prélèvements AEP effectués sur l'entité hydrogéologique 556B2 (molasses de Castries)**



Volume cumulé des prélèvements AEP (unité 552B2)													
(FB1-FB2)Bérange + (FS1-FS2)Sussargues + (FB3+FB4)Fontmagne + (FC1-FC2)Candinière													
année	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Cumul
1981	18 871	16 541	19 007	20 196	24 187	28 084	36 260	33 231	27 968	24 046	18 452	18 672	285 516
1982	52 310	45 851	52 685	55 981	67 046	77 846	100 511	92 114	77 524	66 654	51 146	51 757	791 426
1983	60 171	52 742	60 602	64 393	77 121	89 545	115 615	105 957	89 174	76 671	58 833	59 535	910 358
1984	66 636	58 408	67 113	71 312	85 407	99 165	128 037	117 340	98 755	84 908	65 153	65 931	1 008 166
1985	69 303	60 746	69 800	74 166	88 825	103 134	133 162	122 037	102 707	88 307	67 761	68 570	1 048 520
1986	73 263	64 217	73 788	78 404	93 901	109 028	140 771	129 011	108 576	93 353	71 633	72 488	1 108 433
1987	91 231	79 967	91 885	97 633	116 930	135 767	175 296	160 651	135 205	116 248	89 202	90 266	1 380 281
1988	88 987	77 999	89 625	95 231	114 054	132 427	170 983	156 699	131 879	113 388	87 007	88 046	1 346 325
1989	105 642	92 598	106 399	113 055	135 401	157 213	202 985	186 027	156 562	134 611	103 292	104 525	1 598 311
1990	105 688	92 639	106 446	113 105	135 460	157 282	203 074	186 109	156 631	134 670	103 337	104 571	1 599 012
1991	120 682	105 781	121 547	129 150	154 677	179 595	231 884	212 511	178 851	153 775	117 997	119 405	1 825 857
1992	94 636	82 951	95 315	101 277	121 295	140 834	181 838	166 647	140 251	120 587	92 531	93 635	1 431 799
1993	93 841	82 254	94 514	100 426	120 276	139 651	180 310	165 247	139 073	119 574	91 754	92 849	1 419 768
1994	110 111	96 515	110 900	117 837	141 128	163 863	211 572	193 896	163 185	140 305	107 661	108 946	1 665 919
1995	123 034	107 843	123 916	131 668	157 692	183 095	236 404	216 654	182 338	156 772	120 297	121 733	1 861 447
1996	112 931	99 555	113 979	139 971	151 901	190 924	216 230	188 912	162 325	141 897	129 883	132 632	1 781 140
1997	119 221	104 288	134 748	140 799	151 307	145 550	209 420	211 633	197 678	149 226	122 739	124 469	1 811 080
1998	107 746	106 000	132 662	130 774	177 791	177 684	245 140	209 337	140 953	135 191	136 217	135 265	1 834 760
1999	134 323	123 587	146 406	150 722	158 434	210 844	258 726	209 127	169 495	125 887	107 903	137 466	1 932 920
2000	139 338	130 891	159 465	150 027	177 581	197 170	220 071	236 560	207 468	193 860	122 625	114 195	2 049 250
2001	119 192	106 338	122 292	142 819	198 468	241 898	277 455	276 509	236 298	176 222	138 879	141 610	2 177 980
2002	139 475	123 442	140 092	145 377	179 697	243 553	262 805	253 732	212 231	161 936	152 355	175 204	2 189 900
2003	159 405	144 414	139 567	167 466	207 787	261 025	331 360	312 475	255 996	213 044	169 466	170 440	2 532 443
2004	143 917	139 320	184 194	200 344	251 007	280 318	319 888	331 294	287 806	227 459	209 688	150 664	2 725 901
2005	144 368	144 154	189 719	248 120	304 045	323 548	379 820	283 866	234 493	240 577	189 219	185 041	2 866 970
2006	209 591	173 516	189 856	197 252	222 111	285 325	380 936	292 123	230 056	225 767	210 377	192 666	2 809 577
2007	234 735	174 438	187 853	182 651	180 922	214 057	240 606	286 226	304 804	205 682	164 482	168 348	2 544 803
2008	171 891	180 186	169 256	164 400	199 289	204 952	273 734	291 316	221 684	229 365	194 346	189 039	2 489 459
2009	191 123	186 607	208 906	179 481	201 997	254 372	294 126	284 752	278 862	243 416	173 843	183 814	2 681 300
2010	207 395	193 042	195 650	211 496	204 823	217 335	329 307	312 591	246 751	210 711	167 644	168 224	2 664 969
2011	172 336	135 524	183 263	192 369	238 589	227 097	282 111	283 254	259 494	269 313	223 204	174 600	2 641 154
2012	168 338	184 300	207 149	199 196	218 392	230 060	278 708	304 522	227 555	204 772	170 147	173 942	2 567 081
2013	178 035	162 388	187 985	200 036	220 221	243 976	300 619						1 493 260
Cumul													43 655 356

Période 1981-1995 : les volumes mensuels ont été estimés à partir des volumes annuels et de la fonction de production de prélèvement (cf. texte)

Les volumes mensuels reportés dans le tableau pour la période 1981-1995 ont été estimés à partir des volumes annuels et de la fonction de production établie sur la période 1996-2012 (cf. texte)



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique**

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**Direction régionale Languedoc Roussillon**

1039 rue de Pinville

34 000 MONTPELLIER – France

Tél. : 04.67.15.79.80