

Caractérisation du comportement d'un indicateur piézométrique et définition des volumes prélevables sur les compartiments carbonatés Nord et Sud de l'entité MOSSON de la masse d'eau FR_DO_124

Rapport final

BRGM/RP-59658-FR

juin 2011

Caractérisation du comportement d'un indicateur piézométrique et définition des volumes prélevables sur les compartiments carbonatés Nord et Sud de l'entité MOSSON de la masse d'eau FR_DO_124

Rapport final

BRGM/RP-59658-FR
juin 2011

P. Fleury, B. Ladouche
Avec la collaboration de
J-P Marchal

Vérificateur : Lamotte

Approbateur : Audibert

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, karst, modélisation, Mosson, pli Ouest de Montpellier

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : **Fleury, P., Ladouche, B.** (2011) - Caractérisation du comportement d'un indicateur piézométrique et définition des volumes prélevables sur les compartiments carbonatés Nord et Sud de l'entité MOSSON de la masse d'eau FR_DO_124. BRGM/RP-59658-FR, 109 p., 71 ill., 2 ann..

© BRGM, 2011, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Cette étude réalisée dans le cadre d'une convention passée avec l'Agence de l'Eau RM&C a pour objectif de caractériser le comportement d'un indicateur piézométrique et de définir les volumes prélevables sur les compartiments carbonatés Nord et Sud de l'entité Mosson de la masse d'eau FR_DO_124 – calcaires jurassiques du pli ouest de Montpellier et du Massif de la Gardiole (masse d'eau définie au titre de la Directive Cadre Européenne).

Ainsi, à l'issue de l'état hydrogéologique de cette masse d'eau (Vigouroux, 2008, RP-56503-FR), l'entité Mosson a été définie. Cette dernière est constituée au Nord par les calcaires jurassiques dits de la Mosson situés au Nord du fossé de Montbazin-Gigean et au Sud par les calcaires de l'aquifère jurassique captif de la partie nord-est de la Gardiole. Ces deux compartiments sont identifiés sous le terme de compartiment Nord et Sud de l'entité Mosson.

L'état des lieux hydrogéologique réalisé en 2008 concluait pour cette entité :

- les ressources du compartiment Sud sont à un niveau optimal d'exploitation à ne pas dépasser sous peine d'observer des problèmes de qualité ;
- des potentialités d'exploitations complémentaires existent pour l'entité au niveau du compartiment Nord.

Afin de définir les niveaux piézométriques de référence et les volumes prélevables, une étude hydrogéologique basée sur l'analyse de l'ensemble des données disponibles (piézométrie, conductivité et prélèvements des principaux sites de captage) a été réalisée. Cette dernière a mis en évidence des résultats contrastés selon les deux compartiments :

- au niveau du compartiment Sud, les données sont conséquentes, notamment grâce au suivi piézométrique et au suivi de la conductivité électrique réalisés depuis plus de trente ans sur le site de Midi-Libre. Ce compartiment apparaît sensible aux phénomènes de mélange avec des eaux plus minéralisées. La tendance à long terme sur le compartiment révèle ainsi l'existence d'une augmentation de la conductivité comprise entre 100 et 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, selon les sites suivis. Cette tendance à long terme se traduit sur la piézométrie d'étiage par des diminutions significatives des niveaux. Aussi ces dernières années présentent une rupture par rapport à la tendance à long terme : les niveaux piézométriques d'étiages augmentent et la conductivité tend à diminuer. Cette rupture est à relier à la diminution récente des prélèvements sur la zone.
- les informations sur le compartiment Nord sont limitées et ne permettent pas d'y réaliser une étude hydrogéologique. Par ailleurs, la source d'Avy, localisée au Nord du compartiment à Grabels a été identifiée comme étant le principal exutoire de l'entité. La surface de son bassin d'alimentation correspond à l'aire d'affleurement des calcaires jurassiques. Une synthèse des connaissances sur cette source a été

réalisée. Au vu des données disponibles actuellement limitées, le fonctionnement du système ne peut pas être caractérisé, ce qui rend impossible la définition des niveaux piézométriques de références et des volumes prélevables.

Au vu des données disponibles, la définition des niveaux de référence et des volumes prélevables, a pu être réalisée sur le compartiment Sud mais non sur le compartiment Nord.

Le niveau piézométrique d'alerte (NPA), déduit de l'analyse hydrogéologique effectuée sur les données, a ainsi été défini pour le comportement Sud au niveau du site de référence de Midi-Libre. Il est de + 1,2 m NGF, le niveau de crise renforcé (NPCR) est quant à lui égal à + 1 m NGF. Ces niveaux ont été définis pour limiter les intrusions d'eaux plus minéralisées et éviter la dégradation de la qualité de la ressource.

Afin de caractériser les volumes prélevables sur le compartiment Sud, une approche méthodologique basée sur la mise en œuvre d'une modélisation à l'aide du logiciel Tempo a été réalisée. Elle permet :

- dans un premier temps, de caractériser le fonctionnement naturel du système et de définir les niveaux piézométriques non influencés et caractériser ainsi l'impact des prélèvements ;
- puis, de caractériser le fonctionnement de l'aquifère influencé par les pompages.

Le modèle utilisé en mode prévisionnel à partir de différents scénarios climatiques et de prélèvements a permis de définir les volumes prélevables sur le compartiment Sud. Il est ainsi égal à 3.10^6 m³/an. En effet ce volume prélevé permet de conserver un niveau piézométrique supérieur ou égal au NPA et donc une bonne qualité de la ressource.

Enfin, le bilan hydrologique réalisé sur l'ensemble de l'entité met en évidence le transfert d'eau du compartiment Nord vers le compartiment Sud, ainsi que la présence d'écoulements importants dans le compartiment Nord, notamment au niveau de la source d'Avy. La caractérisation de cet écoulement ne sera réalisable qu'à partir d'une étude hydrogéologique. Un programme de travail est ainsi proposé, afin de permettre sur le compartiment Nord, la définition d'un niveau piézométrique de référence et des volumes prélevables qui pourront être exploités, tout en assurant la pérennité de la ressource sur l'ensemble de l'entité.

Sommaire

Introduction	11
1. Caractérisation de l'entité hydrogéologique « Mosson »	13
1.1. PRESENTATION DU SYSTEME.....	13
1.2. SUIVI DE L'AQUIFERE JURASSIQUE	16
1.2.1. Etat des connaissances hydrogéologiques – Compartiment Sud	17
1.2.2. Eclairage géochimique sur le compartiment Sud	30
1.2.3. Etat des lieux hydrogéologique – Compartiment Nord	39
1.2.4. Synthèse des connaissances hydrogéologiques sur le compartiment Nord.....	46
2. Approche méthodologique pour la recherche d'indicateur de niveau d'eau des systèmes karstiques de l'entité Mosson-Gardiole	49
2.1. DESCRIPTION GENERALE DE L'APPROCHE METHODOLOGIQUE	49
2.2. MISE EN ŒUVRE DE LA MODELISATION DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES A MIDI-LIBRE AVEC TEMPO.....	51
2.2.1. Reconstitution des niveaux piézométriques non influencés par les pompages (modèle Piézométrie Naturalisée)	52
2.2.2. Reconstitution des niveaux piézométriques avec prélèvements	65
2.3. REMARQUE	68
2.4. APPORT DE L'OUTIL MODELISATION : SYNTHESE	69
3. Bilan hydrologique	71
3.1. ANALYSE ET BILAN DES PRELEVEMENTS.....	71
3.1.1. Compartiment Sud.....	71
3.1.2. Compartiment Nord	72
3.2. VOLUME D'EXHAURE ISSU DE LA SOURCE D'AVY	73
3.3. RECHARGE DES COMPARTIMENTS NORD ET SUD.....	73
3.4. INCERTITUDES	74
3.5. SYNTHESE DU BILAN HYDROGEOLOGIQUE.....	74
4. Caractérisation des niveaux piézométriques de référence	77

5. Caractérisation des volumes prélevables.....	81
5.1. APPROCHE DES VOLUMES PRELEVABLES A PARTIR DE L'ANALYSE DES DONNEES.....	81
5.2. CARACTERISATION DES VOLUMES PRELEVABLES A PARTIR DE LA MODELISATION	82
5.2.1. Conception des scénarios climatiques.....	82
5.2.2. Utilisation des modèles « piézométrie Midi-Libre » avec et sans prélèvements.....	84
6. Etudes futures à réaliser pour caractériser le compartiment Nord.....	87
6.1. ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DE LA SOURCE D'AVY.....	88
6.2. CARACTERISATION DES RELATIONS KARST-MOSSON	88
6.3. RELATIONS COMPARTIMENTS NORD, SUD ET COMPARTIMENT PLUS MINERALISE.....	92
6.4. DEFINITION DES VOLUMES PRELEVABLES ET DES NIVEAUX DE REFERENCE	93
Conclusion	95
7. Bibliographie	97

Liste des illustrations

Illustration 1. Délimitation de l'entité Mosson à partir de la carte géologique (BRGM) (d'après Vigouroux, 2008)	14
Illustration 2. Délimitation des aires de recharge des deux compartiments carbonatés de l'entité Mosson (fond : carte topo IGN).....	15
Illustration 3. Détail du suivi hydrogéologique réalisé sur les principaux sites de prélèvements dans l'aquifère carbonaté du Jurassique de l'entité Mosson.....	17
Illustration 4. Prélèvements annuels au captage AEP du Mas Neuf (Données AE).....	18
Illustration 5. Prélèvements annuels des captages AEP de la Lauzette (Données 1988- 1993 Languedoc Hydro Services et 2001-2010 AE).....	19
Illustration 6. Conductivité électrique et piézométrie sur le site de la Lauzette (Données SDEI)	20

Illustration 7. Conductivité électrique et piézométrie sur le site de la Lauzette (Languedoc Hydro Service (1987-1989), données DDASS (1998-2007), données SDEI (2003-2010))	21
Illustration 8. Site de Lou Garrigou	21
Illustration 9. Prélèvements annuels du captage AEP de Lou Garrigou (Données AE).....	22
Illustration 10. Conductivité électrique au captage AEP de Lou Garrigou (Données ADES)	22
Illustration 11. Prélèvements annuels du captage AEP Rémy (Données AE).....	23
Illustration 12. Prélèvements annuels du captage AEP du Flès (Données AE)	24
Illustration 13. Conductivité électrique et piézométrie au captage AEP du Flès (Données ADES et CG 34)	25
Illustration 14. Prélèvements annuels du captage Midi Libre (données AE)	26
Illustration 15. Piézométrie au site de Midi Libre (données BRGM – réseau BRGM/ONEMA) et précipitations annuelles (données Météo France)	27
Illustration 16. Conductivité électrique sur le site de Midi Libre (données Midi Libre et BRGM)	27
Illustration 17. Conductivité électrique sur le site de Good Year (données BRGM – réseau BRGM/ONEMA)	28
Illustration 18. Caractérisation des précipitations sur le compartiment Sud pour la période 2000-2010, quantiles définis à partir des données sur les 30 dernières années. Légende : M : médiane, QS : quinquennal sec, QH : quinquennal humide, DS : decennal sec, DH : decennal humide	29
Illustration 19. Contexte géologique et localisation de la coupe N-S et des principaux points d'eau considérés dans cette étude.....	32
Illustration 20. Coupe géologique N-S du secteur oriental de la zone d'étude. La localisation de la coupe est reportée sur l'illustration 19. Modifié d'après F Touet, Juin 2007 (avis d'hydrogéologue agréé, captage de la Crouzette, Castelnau le Lez).....	33
Illustration 21. Liste des points d'eau considéré dans cette étude (points pour lesquels des informations sur la chimie des eaux sont disponibles).....	33
Illustration 22. Evolution des teneurs en bicarbonate en fonction des teneurs en chlorures.....	34
Illustration 23. Evolution de la conductivité électrique des eaux karstiques prélevées dans le jurassique. La conductivité des eaux de la campagne spatiale d'échantillonnage effectuée en 1989 dans le secteur d'étude est également reportée.....	35
Illustration 24. Evolution des teneurs en chlorure des eaux karstiques prélevées dans le Jurassique. Les teneurs en chlorure des eaux de la campagne spatiale d'échantillonnage effectuée en 1989 dans le secteur d'étude sont également reportés.....	36
Illustration 25. Evolution des teneurs en sulfate en fonction des teneurs en chlorure	37
Illustration 26. Evolution des teneurs en nitrate en fonction des teneurs en chlorure	38
Illustration 27. Source d'Avy.....	40
Illustration 28. Brèche du Vitrolien	40

Illustration 29. Coupes géologiques, en haut N-S passant par la source d'Avy en bas WNW – ESE au niveau du pont de la Mosson (Diluca, 1973)	41
Illustration 30. Hydrogramme de la source d'Avy, période du 01/02/1972 au 31/01/1973 (Diluca, 1973)	42
Illustration 31. Prélèvements annuels du captage de la source du Martinet (données AE).....	43
Illustration 32. Evolution des niveaux d'eau à la source du Martinet pour les périodes 2005-2008 et 2009-2011	44
Illustration 33. Evolution des conductivités électriques et températures à la source de Fontcaude (données mairie Juvignac)	45
Illustration 34. Prélèvements annuels du captage Béton Mialanes (données AE)	46
Illustration 35. Evolution de la piézométrie du karst jurassique sous couverture mesurée au site de Midi Libre.....	50
Illustration 36. Modèle de transfert « source Avy » : évolution des débits mesurés (Diluca, 1973) et des débits simulés.....	53
Illustration 37. Modèle de transfert « source Avy » : réponses impulsionnelles des composantes rapide et lente	54
Illustration 38. Modèle de transfert « source Avy » : évolution des débits des composantes simulées (rapide et lente).....	55
Illustration 39. Modèle de transfert « Sce Avy » : évolution de la pluie et de la pluie efficace ainsi que des lames d'eau associées aux composantes (rapide et lente) du modèle de transfert.....	56
Illustration 40. Modèle de transfert « Sce Avy » : évolution de la pluie annuelle et de la lame d'eau associée à la composante lente (recharge) calculée par le modèle de transfert « source Ayy », période 1972-2010	58
Illustration 41. Modèle de transfert « Sce Avy » : évolution du débit spécifique calculée par le modèle de transfert « source Ayy », période 1972-2010	58
Illustration 42. Recharge annuelle calculée par le modèle et débit moyen simulé (période 1971-2010)	59
Illustration 43. Modèle de transfert «Piézo Midi Libre naturalisé » : évolution de la piézométrie mesurée et simulée sur la période 1978-1980	60
Illustration 44. Modèle de transfert «Piézo Midi Libre naturalisé » : évolution de la piézométrie mesurée et simulée sur la période 1971-2008	61
Illustration 45. Modèle de transfert «Piézo Midi Libre naturalisé » : réponse impulsionnelle de (1) la composante « recharge » par les pluies efficaces précipitées sur l'impluvium des calcaires jurassiques affleurants de la Gardiole (compartiment Sud) et de (2) la composante de l'écoulement en provenance des calcaires jurassiques dit « de la Mosson » (compartiment Nord) dont le fonctionnement a été qualifié par le modèle de transfert de la source d'Avy	63
Illustration 46. Modèle de transfert « Midi Libre » : évolution de la pluie à Midi Libre et de la pluie efficace (recharge sur les calcaires jurassiques de la Gardiole, compartiment Sud) calculées par le modèle de transfert. La recharge des calcaires jurassiques dit « de la Mosson » (compartiment Nord) calculée par le modèle de transfert « sce d'Avy » est également reportée	64

Illustration 47. Evolution des prélèvements annuels pris en compte dans la modélisation	65
Illustration 48. Modèle de transfert «Piézo Midi Libre avec prélèvements » : évolution de la piézométrie mesurée et simulée sur la période de calage 2000-2006	66
Illustration 49. Modèle de transfert «Piézo Midi Libre avec prélèvements» : Réponses impulsionnelles de la recharge et du pompage	67
Illustration 50. Modèle de transfert «Piézo Midi Libre avec prélèvements » : évolution des contributions relatives des composantes du modèle sur la période de calage 2000-2006	67
Illustration 51. Modèle de transfert «Piézo Midi Libre avec prélèvement» : évolution de la piézométrie mesurée et simulée sur la période 1980-2010	68
Illustration 52. Piézométrie simulée et mesurée à Midi-Libre avec les chroniques de débit déclarées à gauche et des débits prélevés augmentés en 2005 et 2006 à droite	69
Illustration 53. Prélèvements annuels totaux sur les compartiments Nord et Sud pour la période 2001-2010	72
Illustration 54. Recharge annuelle moyenne sur les 2 compartiments	73
Illustration 55. Bilan sur les deux compartiments carbonatés.....	75
Illustration 56. Niveaux piézométriques simulés avec le modèle Midi Libre naturalisé pour des cycles hydrologiques de type décennal sec (à gauche) et décennal humide (à droite)	78
Illustration 57. Définition des NPA et NPCR	79
Illustration 58. Caractéristiques des périodes d'alertes	80
Illustration 59. Précipitations annuelles sur les compartiments Nord et Sud.....	83
Illustration 60. Quantiles pour les deux compartiments	83
Illustration 61. Années de référence pour les différents quantiles.....	84
Illustration 62. Piézométrie simulée pour des prélèvements de $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ pour un décennal sec (à gauche) et un décennal humide (à droite).....	84
Illustration 63. Impact des prélèvements sur la piézométrie.....	85
Illustration 64. Zone des jaugeages réalisés (Ginger Environnement, 2010).....	89
Illustration 65. Débit de la Mosson à l'amont et à l'aval du compartiment Nord carbonaté (Ginger Environnement).....	89
Illustration 66. Nature des échanges karst – Mosson suite aux observations de terrain du 09/06/2011	91
Illustration 67. Données chimiques (éléments majeurs) collectées par F. Touet (1989).....	101
Illustration 68. Modèle de transfert « Sce Avy » : évolution de la pluie prise en compte dans le modèle de transfert.....	102
Illustration 69. Modèle de transfert « Sce Avy » : évolution de la pluie efficace calculée par le modèle de transfert	103
Illustration 70. Modèle de transfert « Sce Avy » : évolution du débit moyen calculé par le modèle de transfert	104

Illustration 71. Modèle de transfert « source Avy » : évolution des débits moyens
annuels simulés 105

Liste des annexes

Annexe 1 Tableaux divers de données 99
Annexe 2 Fiche technique de la source d'Avy 107

Introduction

Cette étude réalisée dans le cadre d'une convention avec l'Agence de l'Eau RM&C a pour objectif la caractérisation du comportement d'indicateurs piézométriques et des volumes prélevables sur l'entité Mosson de la masse d'eau FR_DO_124 « Calcaires jurassiques du pli ouest de Montpellier et massif de la Gardiole ».

Cette entité est constituée de deux compartiments carbonatés distincts séparés par le bassin de Montbazin-Gigean :

- le compartiment Nord, constitué par les calcaires jurassiques dit de la Mosson ;
- le compartiment Sud, constitué par les calcaires de l'aquifère jurassique captif de la partie nord-est de la Gardiole.

Cette étude nécessitera dans un premier temps de réaliser une synthèse des données hydrologiques comprenant des données de piézométrie et de conductivité électrique mais aussi de prélèvements sur la zone.

A l'issue de cette synthèse, le fonctionnement hydrogéologique des deux compartiments sera étudié et un indicateur du système sera identifié. Les niveaux de références de cet indicateur seront alors définis. Une modélisation visant à caractériser le niveau de l'indicateur piézométrique sera ensuite mise en place. Cette dernière devra permettre de caractériser le comportement du système influencé par les pompes. Testé à partir de différents scénarios climatiques et de prélèvements, le modèle devra permettre de définir les volumes prélevables sur la zone étudiée.

1. Caractérisation de l'entité hydrogéologique « Mosson »

1.1. PRESENTATION DU SYSTEME

Cette entité a été définie en 2008 à l'issue de l'état des lieux hydrogéologiques des calcaires jurassiques du Pli ouest de Montpellier et massif de la Gardiole (BRGM/RP-56503-FR). Elle s'étend entre Grabels au Nord et le littoral au Sud entre Villeneuve les Maguelone et Lattes. Les formations calcaires du Jurassique affleurent au Nord entre Juvignac, Grabels et Murviel les Montpellier. Entre Lavérune et Saint Jean de Védas, cet aquifère est recouvert par des formations plus récentes tertiaires et quaternaires appartenant au bassin de Montbazin-Gigean (Illustration 1). Dans la suite de cette étude l'entité sera découpée en 2 parties : les compartiments Nord et Sud séparés par le bassin de Montbazin-Gigean.

La délimitation de ces deux compartiments, fournie Illustration 1, a été tracée à partir des contours des affleurements des roches calcaires présents sur la carte géologique au 1/50 000^e (BRGM).

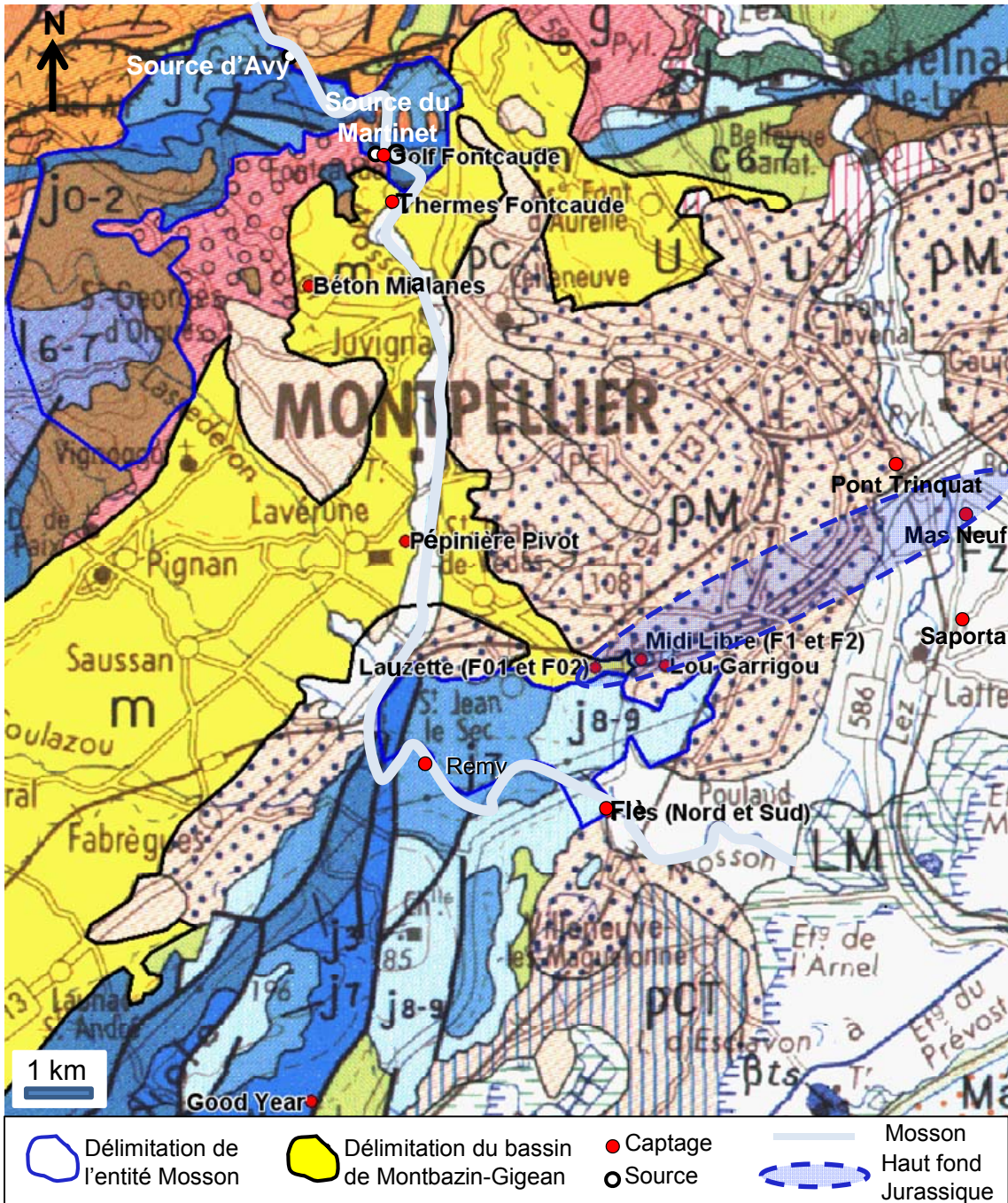


Illustration 1. Délimitation de l'entité Mosson à partir de la carte géologique (BRGM) (d'après Vigouroux, 2008)

Les délimitations des deux compartiments Nord et Sud réalisée à partir de la carte géologique, ont été reportées sur le fond topo IGN au 1/25 000^e (Illustration 2). Cette illustration permet ainsi de localiser les zones de recharge des deux compartiments.

Du fait du changement d'échelle, les limites des affleurements calcaires sur le fond topo présentent une incertitude.

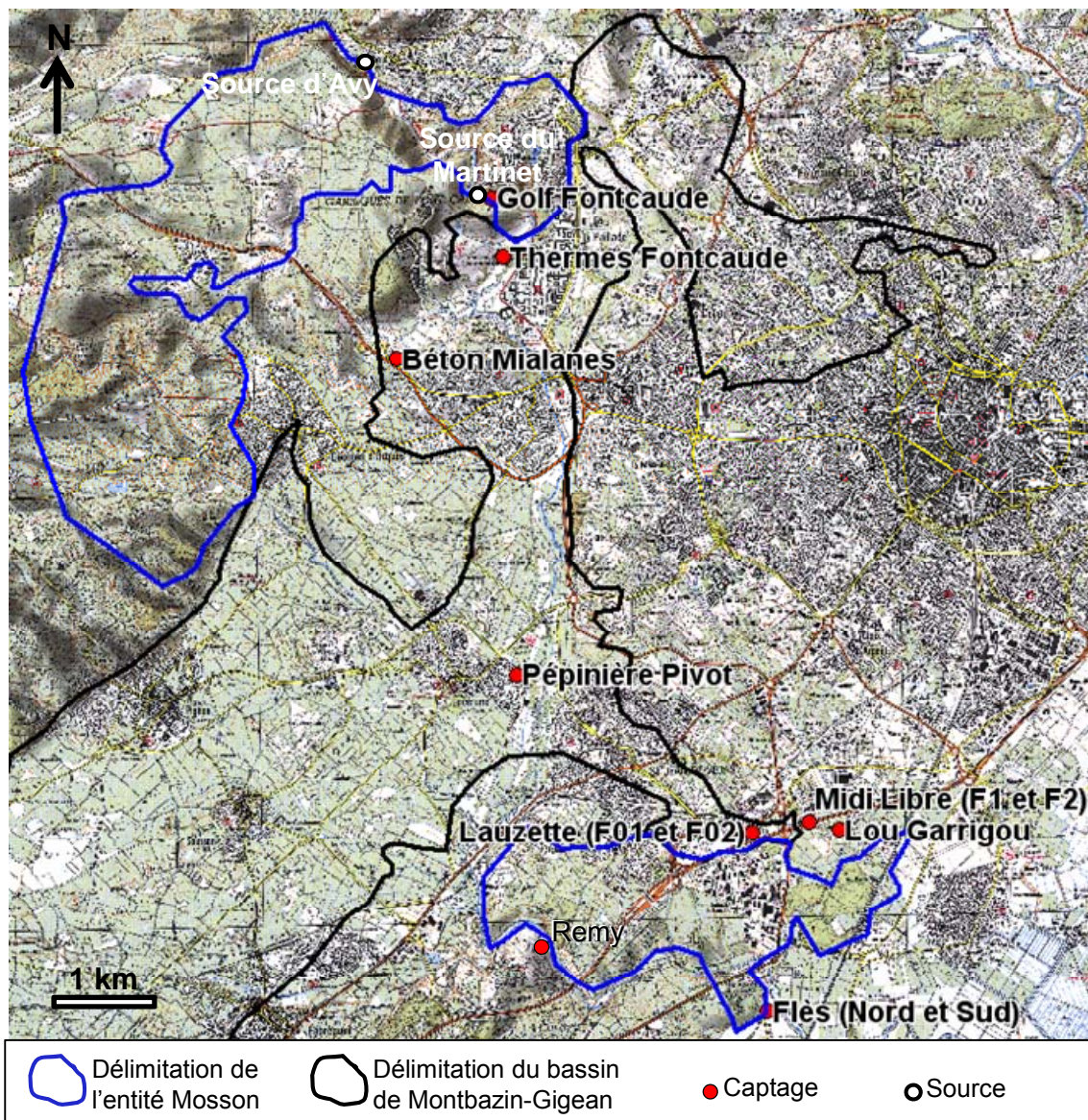


Illustration 2. Délimitation des aires de recharge des deux compartiments carbonatés de l'entité Mosson (fond : carte topo IGN)

L'aquifère carbonaté jurassique se prolonge sous couverture vers l'Est sous une partie des villes de Montpellier et de Lattes.

Le toit des calcaires a été rencontré par forage de recherche de gîte géothermique dans le quartier d'Antigone (703 m de profondeur), le quartier de Bagatelle (288 m) et au Pont Trinquat (40 m). La structure est complexe et très compartimentée. La

présence d'écoulement continu entre le Nord de l'entité et l'aval n'a pas encore été démontrée.

Les différentes observations réalisées sur cette entité "Mosson" montrent le cloisonnement très marqué, soit plus au Nord dans le secteur de Juvignac, soit sous couverture (sites testés par forages géothermiques de Bagatelle et d'Antigone), soit encore plus au Sud au niveau du haut fond jurassique (voir Illustration 1). Dans cette partie de l'entité, l'eau est localement déjà excessivement minéralisée pour l'usage AEP, bien que cette dernière fût conforme à la réglementation en début d'exploitation. L'augmentation de minéralisation semble liée à la mise en exploitation du site de captage du Mas Neuf probablement du fait d'une intrusion d'eaux plus minéralisées. En l'absence de pompage la drainance naturelle est orientée du bas vers le haut : des formations calcaires vers les sables astiens et les alluvions du Lez. Durant les périodes de pompage, il semble qu'il y ait une inversion du gradient de charge hydraulique entre l'aquifère carbonaté et la nappe des alluvions, l'aquifère carbonaté serait alors alimenté par les formations superficielles rendant l'aquifère vulnérable aux pollutions par les eaux superficielles.

Au niveau de la terminaison orientale de la Gardiole, la rivière Mosson ne semble pas impacter l'aquifère, notamment au niveau des captages du Flès (alimentation en eau potable la commune de Villeneuve les Maguelone).

Aussi il existe au niveau de l'entité "Mosson", des sorties d'eau pour le compartiment nord. Les deux principaux exutoires sont :

- la source intermittente d'Avy située sur la commune de Grabels ;
- la source du Martinet, captée par la Ville de Juvignac pour l'alimentation du golf.

La source thermale de Fontcaude est quant à elle située à proximité du compartiment Nord. Egalement appelée Valadière, elle était utilisée dans le passé pour l'alimentation des thermes de Juvignac. Cette source thermale est l'exutoire d'un aquifère plus profond (Dogger, voire Lias) que l'aquifère du Jurassique. Ceci explique que sa minéralisation est différente et sa température plus élevée. De ce fait cet exutoire ne doit pas être rattaché à l'entité Mosson.

Par contre, les sorties naturelles sont inexistantes sur le compartiment Sud. Sur ce compartiment, l'écoulement se fait notamment localement par une alimentation des formations de couverture. On peut supposer qu'il existe des écoulements vers la mer.

1.2. SUIVI DE L'AQUIFERE JURASSIQUE

Un état des lieux hydrogéologique a été réalisé sur les compartiments carbonatés Nord et Sud à partir des observations et suivis réalisés sur les principaux sites de captage (AEP ou industriels). Une compilation de l'ensemble des données disponibles (Agence de l'Eau, exploitants, Ades, BSS, suivis BRGM, CG 34, rapports anciens ...) a permis de reconstituer, en partie ou en totalité selon les sites, les chroniques de débit prélevé, de la piézométrie et de la conductivité électrique.

Les paramètres de suivi de l'aquifère (piézométrie, conductivité) et les principaux prélèvements ont été référencés et les chroniques analysées. Les sites suivis sont

présentés ci-après (Illustration 3), la nature des données et les périodes associées sont également précisées.

Code BSS	Code SISE	Coordonnées Lambert		Commune	Nom du captage	Exploitant	Prélèvements		Piézométrie	Conductivité
		X	Y				données annuelles	données mensuelles		
09907X0402/PISTE	462	722039	1841924	St Jean de Vedas	Lauzette F01	Lyonnaise des eaux				
09907X0434/F2	463	722019	1841924	St Jean de Vedas	Lauzette F02	Lyonnaise des eaux	2000-2010	2001-2010	2004-2008	2003-2008
09907X0364/MAURIN	1179	723032	1841956	St Jean de Vedas / Lattes	Lou Garrgou	Véolia Eau	1998-2010	1998-2010	-	1988-2009
10163X0157/F1	631	733216	1839896	Villeneuve les Maguelone	Fies Sud	Véolia Eau				
10163X0158/F2	632	722222	1839908	Villeneuve les Maguelone	Fies Nord	Véolia Eau	1997-2010	1997-2010	2003-2010	2003-2010
09907X0350/MLF1		722685	1842049	St Jean de Vedas	Midi Libre F1	Midi Libre	1992-1993	1992-1993		
09907X0351/MLF2		722705	1842029	St Jean de Vedas	Midi Libre F2	Midi Libre	1997-2009	1997-2009	1976-2010	1979-2010
10163X0156/SG		718052	1835815	Mireval	Good Year	Good Year	-	-	1997-2007	-
09907X0211/MARTIN		719073	1849116.6	Juignac	Golf Fontcaude		1997-2006	-	2005-2007	-
09907X0168/FONTCA		719224	1848446	Juignac	Thermes	Ville de Juignac	pas de prélèvement		2005-2008	1997-2003
09907X0384/MIALAN		718013	1847293	Juignac	Béton Mialanes	Ent Mialanes	2001-2004	-	-	-

Illustration 3. Détail du suivi hydrogéologique réalisé sur les principaux sites de prélèvements dans l'aquifère carbonaté du Jurassique de l'entité Mosson

Les différents sites sont localisés sur la carte Illustration 1. La synthèse des connaissances réalisée à partir des données disponibles sur les différents sites est présentée ci-après.

1.2.1. Etat des connaissances hydrogéologiques – Compartiment Sud

a- Forage du Mas Neuf

Il s'agit d'un ancien captage à l'Est de Montpellier (Illustration 1). Il n'appartient pas à proprement parlé à l'entité Mosson, car il est localisé plus à l'Est. Il est situé sur le haut fond jurassique et recoupe les calcaires jurassiques à une cinquantaine de mètres de profondeur. Il a été exploité pour l'AEP à partir de juillet 1987. En 1988 le prélèvement était égal à $1,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Illustration 4). L'exploitation s'est poursuivie jusqu'en 1989 ($0,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ prélevés en 1989) puis les prélèvements ont été interrompus en 1990 du fait de la qualité médiocre de l'eau (augmentation de la minéralisation). Les potentialités de l'aquifère étaient localement très fortes, supérieures à $300 \text{ m}^3/\text{h}$. (Rapport Languedoc Hydro Services - Orenco, 1988, 1989). Les volumes annuels prélevés sur la période d'exploitation sont présentés Illustration 4.

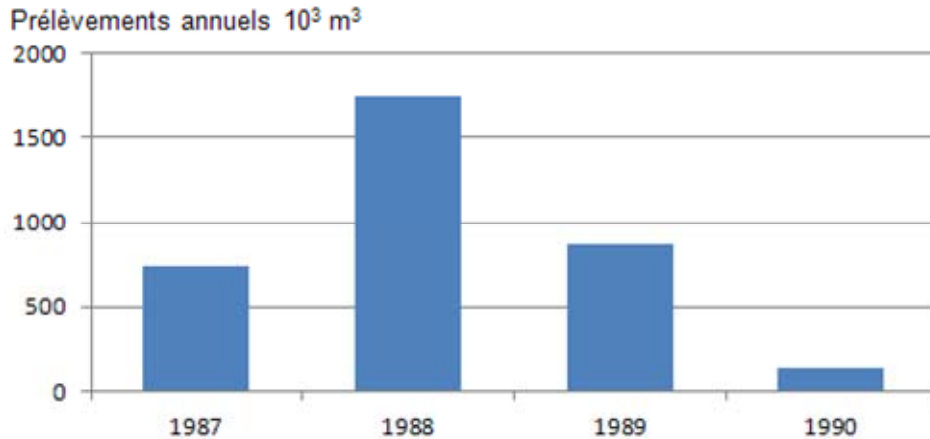


Illustration 4. Prélèvements annuels au captage AEP du Mas Neuf (Données AE)

b- La Lauzette, Saint Jean de Védas

Le site de la Lauzette est exploité pour l'AEP de la commune de Saint-Jean de Védas. Il est constitué de deux forages captant la ressource de l'aquifère karstique du Jurassique. Ils sont localisés en bordure nord de la terminaison occidentale du haut fond Jurassique et à moins d'un kilomètre du Massif de la Gardiole. Le premier ouvrage a été réalisé en 1987 à 125 m de profondeur (rapport Languedoc Hydro Services - Orenco, 1988, 1989). Après 27 m de formations sablo-argileuse tertiaires, il atteint les calcaires jurassiques. Ces derniers sont particulièrement fracturés et fissurés entre 36 et 65 m. Le débit d'exploitation lors des 15 premiers mois a atteint $1,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ et $900\,000 \text{ m}^3$ lors de la première année (Illustration 5). A l'issue de ces deux premières années le site a révélé qu'il présentait d'importantes capacités pour l'exploitation, c'est pourquoi une augmentation des prélèvements fût envisagée. En 1992 un second ouvrage distant de 40 m du captage 1 a été réalisé à 100 m de profondeur. Entre 29 et 71 m les calcaires sont fortement fracturés, une cavité a été rencontrée entre 66 et 71 m. L'essai de pompage réalisé a confirmé les fortes capacités d'exploitation (Rapport Syndicat d'AEP du Bas Languedoc, 1992). A l'issue de ce dernier les volumes annuels prélevables maximaux recommandés pour le site ont été évalués entre $1,8$ et $2,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

En parallèle un suivi de la qualité et de la piézométrie sur le site a été préconisé (Illustration 6 et Illustration 7). Sur la période 1987 – 1989, le plus bas niveau d'étiage était d'environ +1,4 m NGF, la conductivité électrique (définie à partir d'une transformation de données de résistivité mesurées ponctuellement) a quant à elle évoluée sur la période entre 830 et $1\,000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Les volumes prélevés ne sont malheureusement pas connus sur la période 1990-1992.

En 1993 les débits moyens prélevés étaient de $1,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. En 1994 il était proposé d'augmenter les volumes prélevés (Rapport J-L Reille, 1994). Entre 1993 et 2001, nous n'avons pas retrouvé d'information (bases de données et archives BRGM) ni sur les volumes prélevés, ni sur les caractéristiques de la ressource. Il est probable qu'après 1993 les prélèvements aient été croissants jusqu'à atteindre $2 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

Le site de la Lauzette est actuellement le site le plus exploité avec des prélèvements moyens sur les 10 dernières années compris entre 2.10^6 et $2,5.10^6$ m³. Une synthèse des prélèvements annuels réalisée depuis 1988 est fournie (Illustration 5). En 2010 une diminution des prélèvements est observée, le volume annuel prélevé est inférieur à $1,5.10^6$ m³.

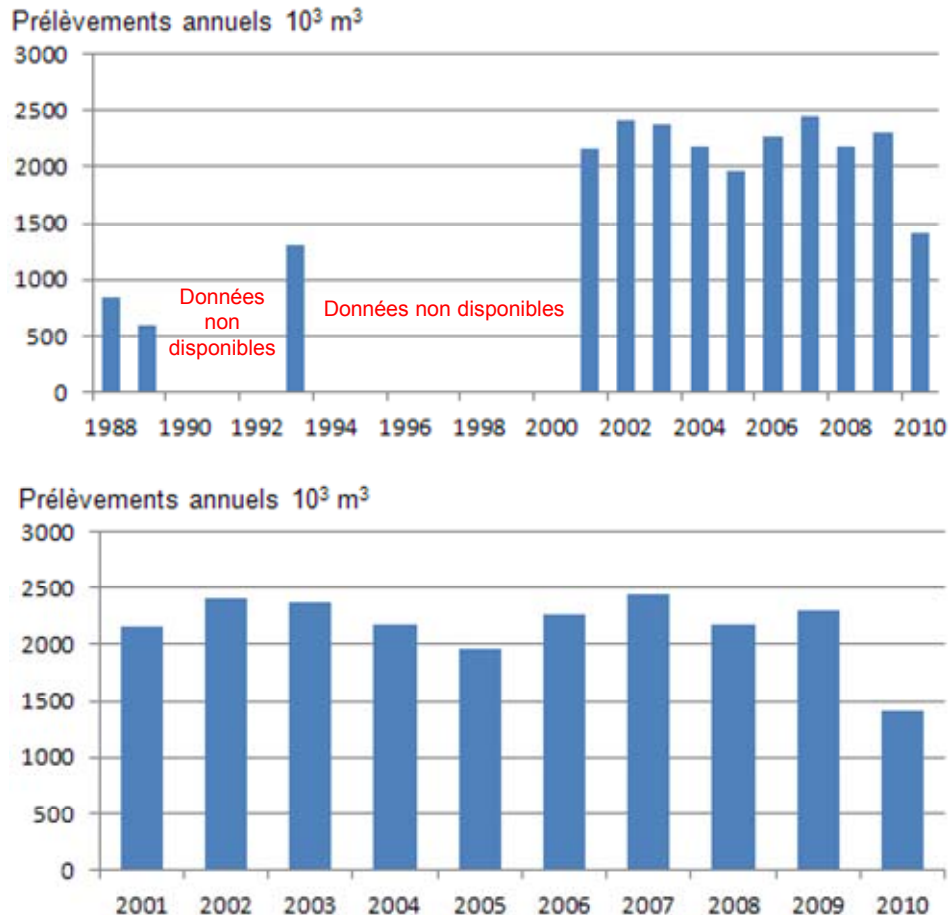


Illustration 5. Prélèvements annuels des captages AEP de la Lauzette (Données 1988-1993 Languedoc Hydro Services et 2001-2010 AE)

Le suivi conjoint des niveaux d'eau et de la conductivité électrique sur la période 2004-2009 révèle une sensibilité de la ressource en étiage suite à des mélanges avec des eaux plus minéralisées (Illustration 6). Aussi, le niveau piézométrique d'étiage est relativement stable sur la période 2004-2007 proche du niveau marin (environ + 1 m NGF). Ce niveau tend à s'accroître progressivement par la suite.

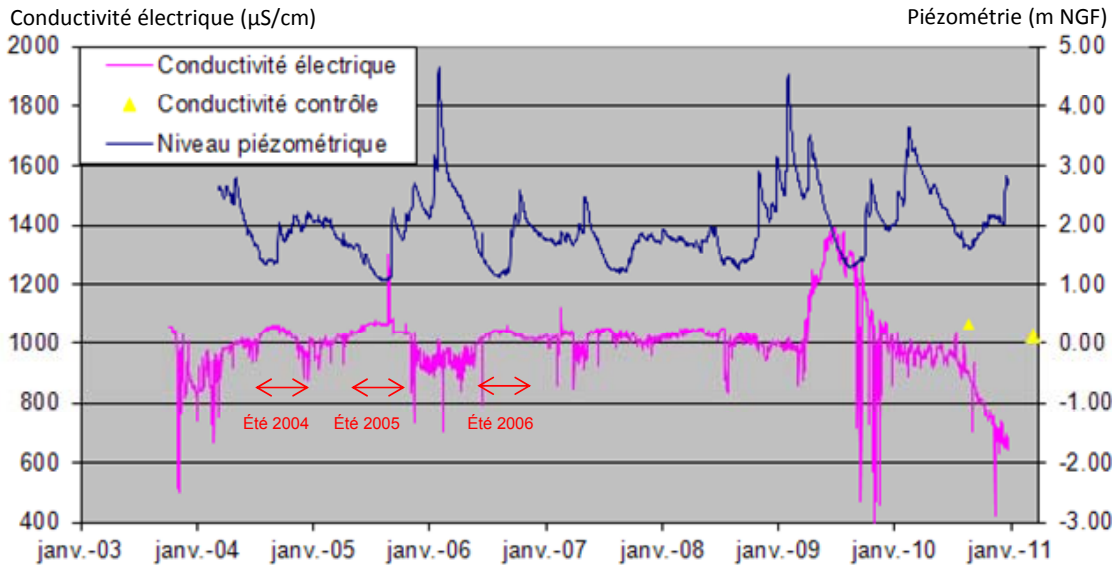


Illustration 6. Conductivité électrique et piézométrie sur le site de la Lauzette (Données SDEI)

Les niveaux d'étiages sur la période 2004-2010 sont compris entre 1 et 1,8 m NGF. Le niveau bas d'étiage en 2009 était égal à 1,5 m, il s'agissait alors d'une période relativement sèche. Ces valeurs confirment la stabilité relative des niveaux piézométriques sur le site (Illustration 7).

La conductivité électrique (Illustration 7), a été reconstituée sur la période 1987 – 1989 à partir de mesures ponctuelles de la résistivité (Languedoc Hydro Service, 1989). Sur la période ante 1990 les conductivités d'étiage étaient légèrement supérieures à 900 $\mu\text{S/cm}$. Sur la période actuelle, elles sont globalement supérieures à 1000 $\mu\text{S/cm}$, ce qui semble montrer une contribution plus importante d'eau minéralisée.

Aussi, l'année 2009 est marquée par un comportement extrêmement particulier de la conductivité électrique avec une augmentation très forte qui atteint 1400 $\mu\text{S/cm}$ au cours de l'été suivie d'une chute avec des valeurs proches de 600 $\mu\text{S/cm}$. Ces variations très fortes, en rupture avec les observations des années précédentes, n'apparaissent pas directement liées aux variations piézométriques. C'est pourquoi, la qualité de la donnée a été mise en cause. Deux mesures manuelles de contrôle ont ainsi été réalisées en juillet 2010 (BRGM) et mars 2011 (SDEI). Ces dernières révèlent une relative stabilité de la conductivité entre 1020 et 1070 $\mu\text{S/cm}$ en accord avec la chronique pour la période ante 2009. Par contre, ces données de contrôle diffèrent des mesures en continue (Illustration 6) : au mois de mars 2011 elle était comprise entre 600 et 700 $\mu\text{S/cm}$ alors que la mesure manuelle de contrôle était supérieure à 1000 $\mu\text{S/cm}$. Cet écart met ainsi en évidence le dysfonctionnement de la sonde. En 2009 il n'y a malheureusement pas eu de mesure de contrôle, toutefois au vu du comportement incohérent et du dysfonctionnement mis en évidence en juillet 2010 et mars 2011, il semble qu'au cours de l'année 2009 la sonde ait également subi un dysfonctionnement. Ainsi la chronique de conductivité électrique ne pourra pas être utilisée sur la période 2009-2010.

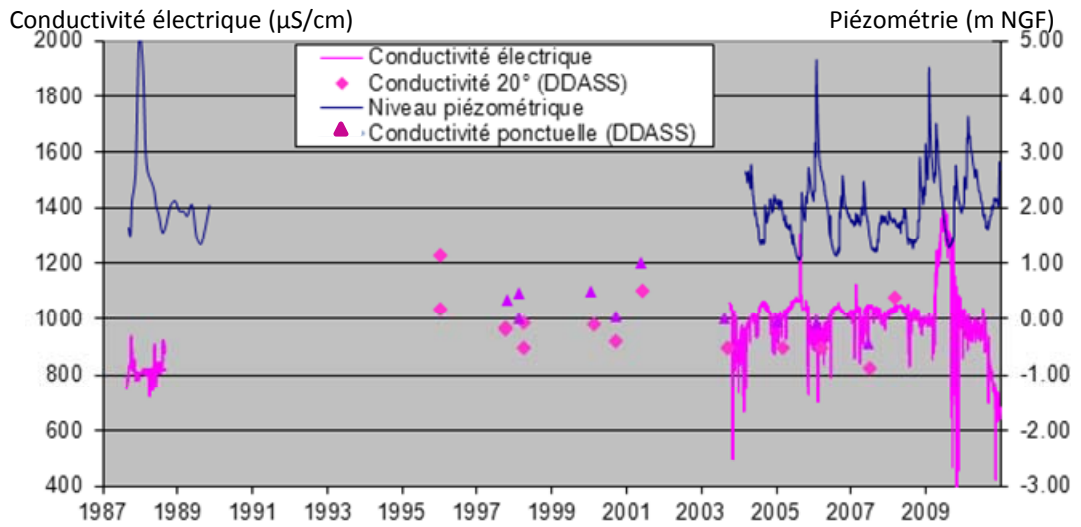


Illustration 7. Conductivité électrique et piézométrie sur le site de la Lauzette (Languedoc Hydro Service (1987-1989), données DDASS (1998-2007), données SDEI (2003-2010))

c- Lou Garrigou – Maurin, Lattes – St Jean de Védas

Ce forage a été réalisé en 1981 pour l'AEP du hameau de Maurin qui fait partie de la commune de Lattes. Les terrains rencontrés sont les calcaires du Jurassique. A partir de 50 m les calcaires étaient fortement fissurés. La profondeur totale de l'ouvrage est de 60 m. L'essai de pompage mis en œuvre au débit maximum de 200 m³/h pendant 48 h a permis de conclure à l'important potentiel d'exploitation (Orengo, 1981).



Illustration 8. Site de Lou Garrigou

Concernant les prélèvements, nous n'avons pas d'information sur la période 1981-1998. Les prélèvements annuels sur la période 1998-2002 sont croissants (entre 30 et 55.10³ m³) et augmentent fortement à partir de 2003. Entre 2003 et 2008, ils sont compris entre 100 et 170.10³ m³/an. En 2009, la production chute fortement et atteint 30.10³ m³. D'après l'ARS (communication orale) les prélèvements ont été diminués du fait de problèmes de qualité des eaux observés sur le captage. Cette valeur de prélèvement est conservée en 2010 (Illustration 9).

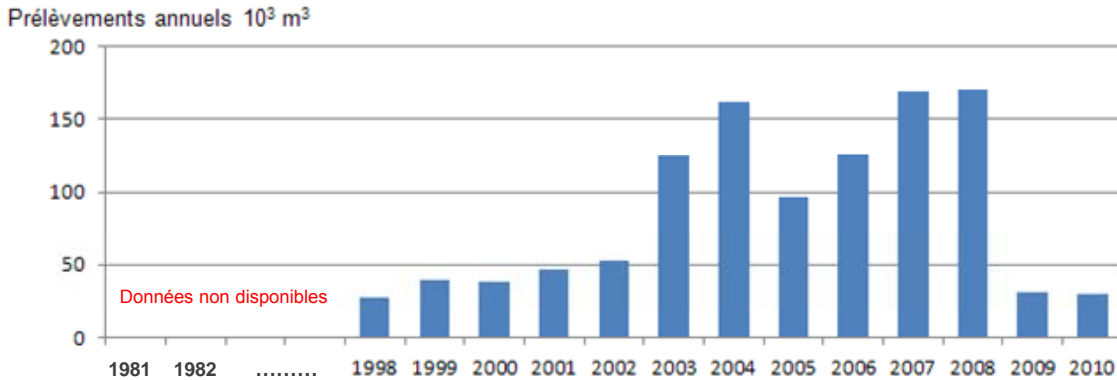


Illustration 9. Prélèvements annuels du captage AEP de Lou Garrigou (Données AE)

Il n'existe pas de suivi des niveaux sur ce captage. Toutefois, ce forage fait partie du réseau (qualité) de surveillance DCE depuis plus de 10 ans avec des prélèvements effectués trois fois par an (maîtrise d'ouvrage Agence de l'Eau). Ce suivi révèle une tendance à l'augmentation croissante de la conductivité avec environ + 300 à 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 20 ans (Illustration 10). Depuis 2008, la conductivité semble s'être stabilisée à environ 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette stabilisation pourrait être corrélée avec la diminution des prélèvements. Aujourd'hui la chronique est trop courte pour pouvoir conclure. Les mesures qui seront réalisées les années à venir devraient permettre de caractériser l'impact de la diminution des prélèvements sur la conductivité électrique.

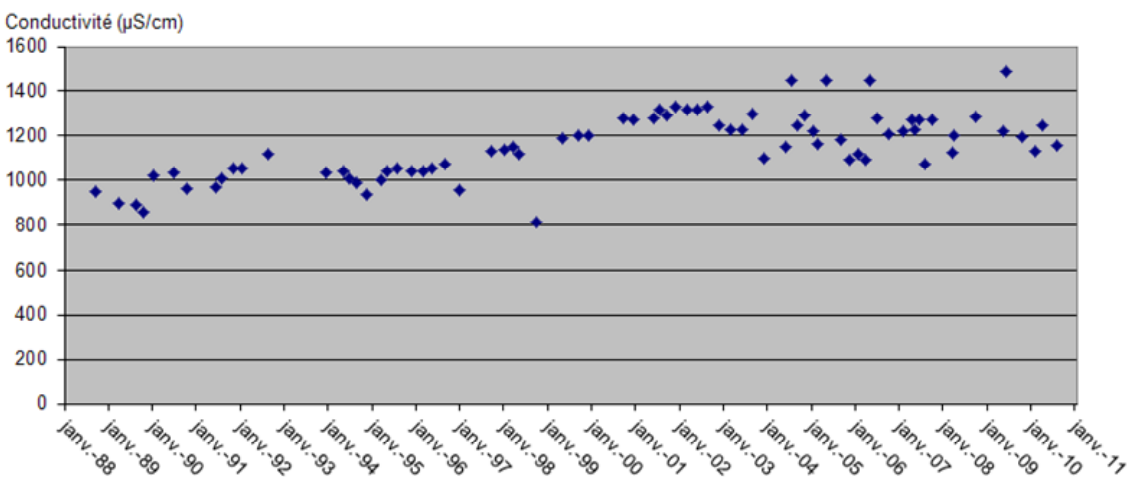


Illustration 10. Conductivité électrique au captage AEP de Lou Garrigou (Données ADES)

d- Rémy, Villeneuve les Maguelonne

Ce captage a été réalisé en 1970 à l'Est du Pont de Villeneuve, dans une boucle de la Mosson en rive droite. Les calcaires jurassiques sont présents dès 4 m de profondeur. A partir de 19 m les calcaires sont fortement fissurés avec la présence d'un conduit (40 cm de hauteur). Les essais de pompage ont révélé des capacités d'exploitation importantes, de l'ordre de 100 m³/h soit 876 000 m³/an (B-L-G-H, Rapport géologique et hydrogéologique, 1970). Ce captage fut partiellement abandonné en 1989 suite à des problèmes de qualité chimique dus à la présence de manganèse liée à un transit par les alluvions de la Mosson (Touet, 1989). Il fut totalement abandonné en 1994 après la mise en service des forages Flès Nord et Flès Sud. Ce captage réalisé dans les calcaires jurassiques est alimenté en partie par la nappe alluviale de la Mosson.

Les données de prélèvement recueillies concernent les périodes 1980-1984 et 1987-1994 (Illustration 11). Entre 1980 et 1983 les prélèvements annuels dépassent 500 000 m³/an. Entre 1987 et 1989 ils dépassent 300 000 m³/an. Ils diminuent ensuite significativement jusqu'à l'abandon du site en 1994.

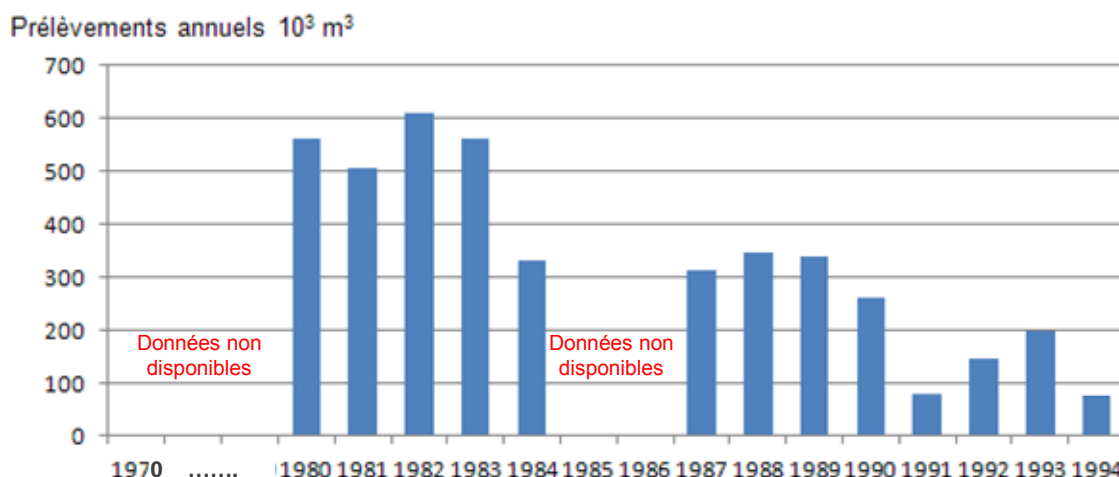


Illustration 11. Prélèvements annuels du captage AEP Rémy (Données AE)

e- Flès, Villeneuve les Maguelonne

Ce captage vient en remplacement du captage Rémy suite aux problèmes de qualité rencontrés. Il est constitué de deux ouvrages : Flès 1 et 2 distants de 300 m. Ils ont été implantés en 1989 à la limite orientale des derniers affleurements calcaires de La Gardiole et les dépôts mio-pliocènes et quaternaires de la plaine littorale de Villeneuve les Maguelonne. Ils recoupent sur moins de 4 mètres les premiers dépôts pliocènes et alluviaux de la plaine littorale puis atteignent les formations jurassiques de calcaires francs à dolomitiques plus ou moins altérés. Les profondeurs atteintes sont 67,5 m pour F1 et 107 m pour F2. (Rapport expertise Hydrogéologue agréé, F. Touet, 1989). Les prélèvements maximaux ont été définis en 1989, ils sont égaux à 200 m³/h

($1,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$). Les prélèvements annuels pour la période 1990-2010 sont compris entre 630 000 et 920 000 m^3 (Illustration 12).

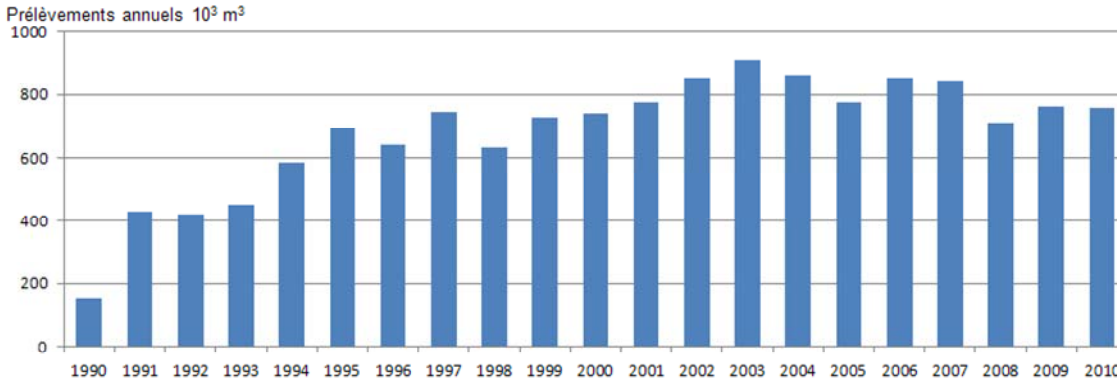


Illustration 12. Prélèvements annuels du captage AEP du Flès (Données AE)

Un suivi de la piézométrie et de la conductivité électrique en continu est réalisé depuis 2003 (Illustration 13) par le Conseil Général 34. La conductivité a par ailleurs été suivie de façon ponctuelle depuis 1996. Ces données révèlent une augmentation de la conductivité électrique de l'ordre de 300 à 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 12 ans, avec une augmentation plus marquée depuis 2008 (+ 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ environ).

Concernant la chronique de conductivité électrique, on observe en 2008 une augmentation brutale. Il s'agit en réalité d'un artéfact lié à un problème instrumental (dérive de la sonde, puis recalibrage). En réalité la conductivité électrique a augmenté progressivement durant le début de l'année 2008.

Le forage Flès Nord est intégré dans le réseau de surveillance qualité mis en place par le Conseil Général 34 avec 4 prélèvements trimestriels tous les 3 ans (analyses complètes y compris pesticides).

Concernant la piézométrie, les niveaux d'étiage diminuent de 40 cm sur la période 2004-2007 et atteignent le niveau le plus bas enregistré sur ce point : + 40 cm NGF en juillet 2007. Depuis 2008 les niveaux d'étiage augmentent progressivement et atteignent + 1 m NGF à l'été 2010. On assiste ainsi à une diminution des niveaux sur la période 2004-2007 suivie d'une remontée qui se poursuit jusqu'en 2010.

Le niveau d'étiage (étiage faisant suite à un cycle hydrologique humide) mesuré de façon ponctuelle en juillet 1988 était égal à + 1,4 m NGF (rapport Touet, 1989).

Ainsi, le plus bas niveau d'étiage observé (+ 40 cm NGF) est près d'un mètre inférieurs à celui de 1988. Les niveaux observés lors de l'été 2010 (+ 1 m NGF) sont quant à eux inférieurs de 40 cm au niveau mesuré ponctuellement en 1988. L'été 2010 se rapproche ainsi des niveaux d'étiages antérieurs à l'exploitation du captage.

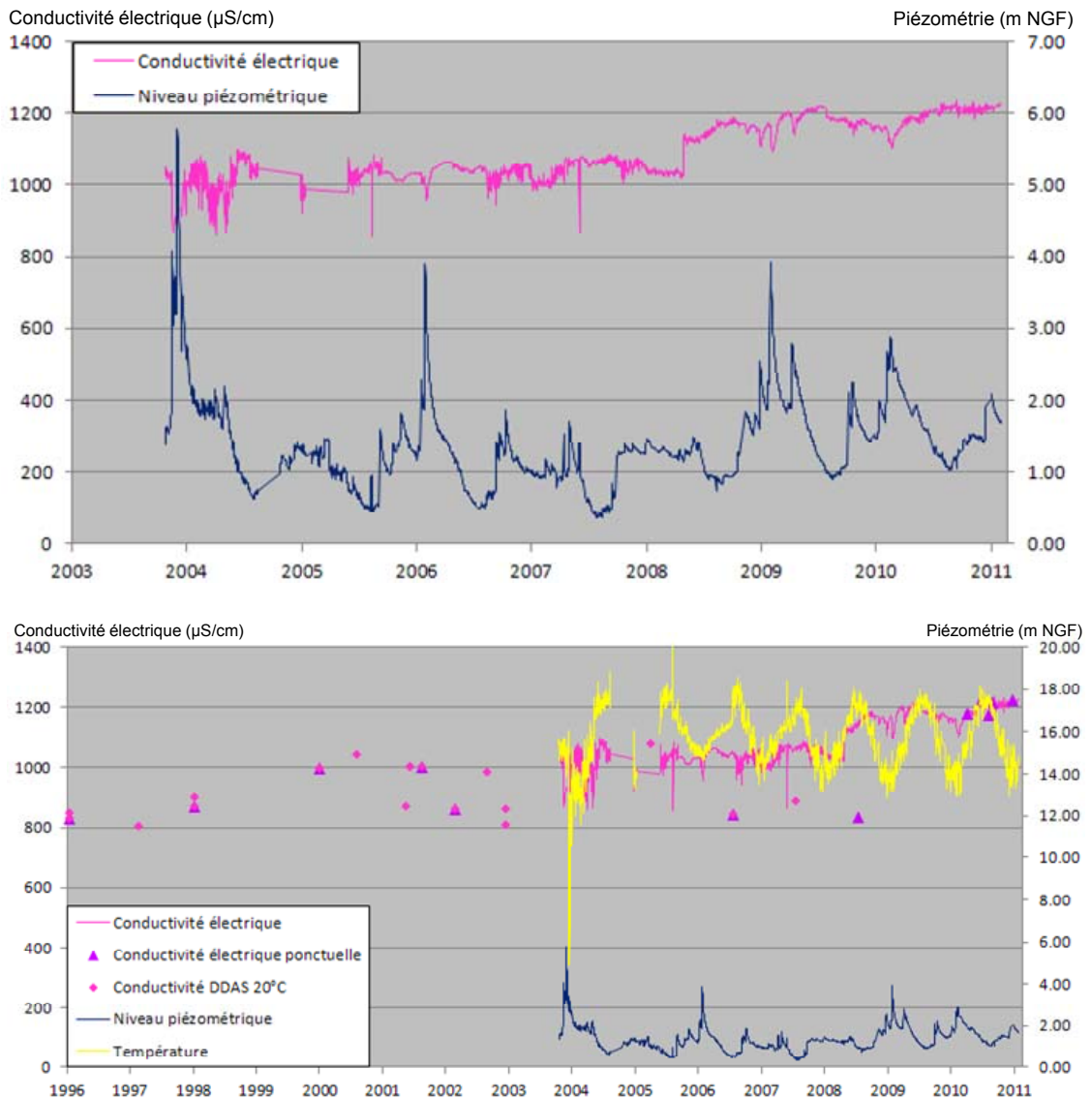


Illustration 13. Conductivité électrique et piézométrie au captage AEP du Flès (Données ADES et CG 34)

f- **Midi Libre, St Jean de Védas**

Le forage Midi Libre (localisé sur le site du journal du même nom) a été réalisé en 1976 à 40 m de profondeur au niveau des calcaires jurassiques extrêmement fracturés. Ces calcaires, selon les différents ouvrages (piézomètre de contrôle, forages ...), ont été recoupés entre 39 et 42 m sous des marnes compactes. Dans ce secteur, l'aquifère est parfaitement captif. Les premiers prélèvements ont été réalisés en 1979. L'eau captée servait essentiellement à la régulation thermique du bâtiment (imprimerie) et dans une moindre mesure à l'arrosage des espaces naturels sur le site. L'installation initiale était constituée de 2 ouvrages de prélèvement et d'un sondage de

reconnaissance dans lequel l'eau utilisée pour la climatisation était réinjectée. Les débits prélevés pour la climatisation étant alors réinjectés directement dans la nappe. Ce fonctionnement s'est poursuivi jusqu'en 1995, date à laquelle, l'ouvrage de réinjection s'est colmaté si bien que l'eau a été réinjectée dans le ruisseau de Rieu Coulon. L'eau rejoignait alors l'aquifère carbonaté via des pertes dans les calcaires à quelques centaines de mètres du site. Les prélèvements pour la climatisation ont été définitivement interrompus en 2005.

Lors des pompages, les observations réalisées sur les ouvrages de captage ont montré qu'après une première phase de rabattement lié aux pertes de charge quadratique (fonction de la structure de l'ouvrage), les niveaux se stabilisaient très rapidement pour finalement ne plus évoluer. Aussi lors des prélèvements, l'ouvrage de contrôle situé à 200 m de l'ouvrage principal n'était pas impacté (absence de rabattement). Ces deux informations militent en faveur d'un système localement très bien connecté au niveau d'une zone particulièrement productive (fonctionnement en limite alimentée).

Les prélèvements pour la climatisation sur ce système se révèlent ainsi non impactants sur l'aquifère, l'eau étant réinjectée à faible distance dans le système karstique à priori bien connecté (forage de réinjection puis pertes du Rieu Coulon dans les calcaires).

Les prélèvements annuels sur la zone sont connus depuis leur mise en place (1979). Ils ont évolués de 1979 à 2005 entre 170.10^6 et près de 900.10^6 m³. La répartition entre l'utilisation pour la climatisation et l'arrosage est connue sur la période 1997 à 2005. Sur cette période l'arrosage représente environ 10 % des prélèvements totaux. Depuis 2006 les prélèvements annuels (destinés uniquement à l'arrosage) sont inférieurs à 20.10^3 m³.

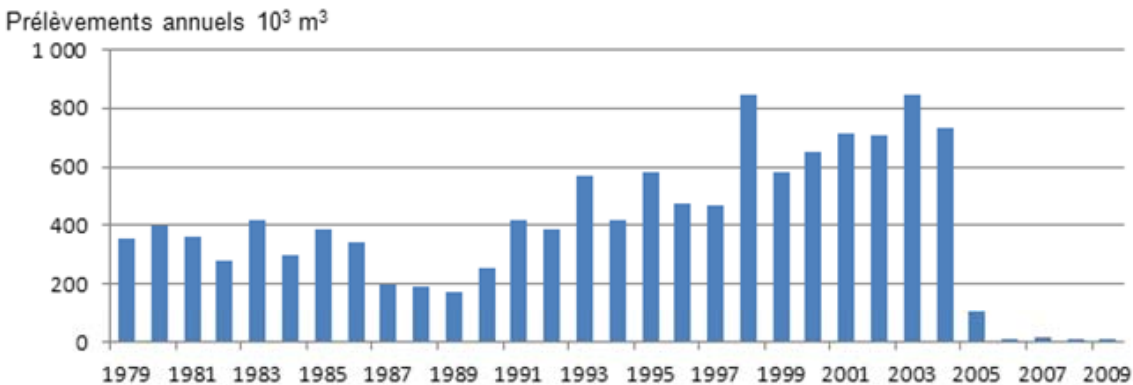


Illustration 14. Prélèvements annuels du captage Midi Libre (données AE)

La piézométrie et la conductivité électrique (mesures ponctuelles) sont suivies depuis respectivement 1976 et 1979 (Illustration 15 et Illustration 16). Concernant la piézométrie des étiages, une relative stabilité des niveaux est observée sur la période 1976-1983 avec un niveau proche de 2 m NGF. Les dix années suivantes ont quant à elles été caractérisées par une diminution de la piézométrie d'étiage, atteignant 1 m NGF. De 1993 à 2006 une relative stabilité des niveaux est observée (environ + 1 m

NGF). Depuis 2006 les niveaux piézométriques d'été sont remontés d'environ 80 cm. Lors de l'été 2010 les niveaux atteignent + 1,70 m NGF s'approchant des niveaux observés en début de chronique.

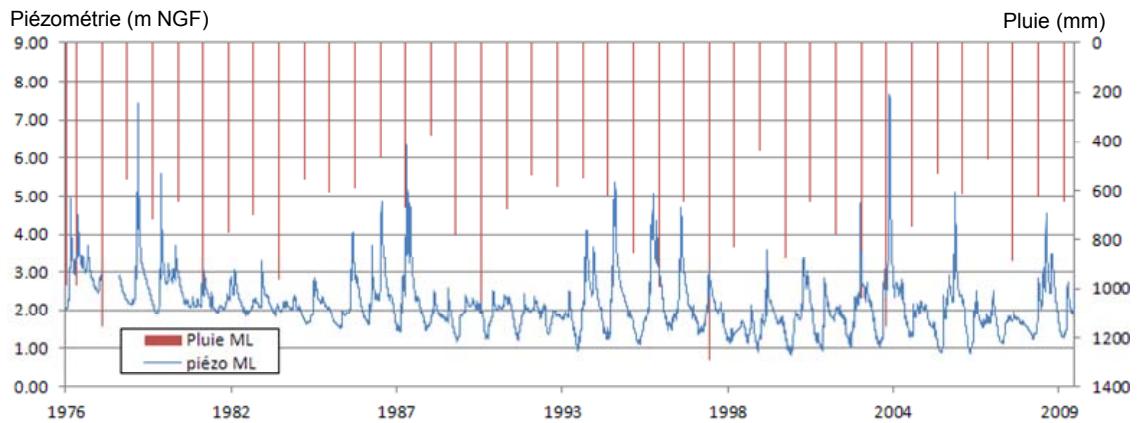


Illustration 15. Piézométrie au site de Midi Libre (données BRGM – réseau BRGM/ONEMA) et précipitations annuelles (données Météo France)

Concernant la conductivité électrique (mesures ponctuelles) elle fluctue entre 1000 et 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sur la période 1979-2003. Entre 2003 et 2007 elle diminue de plus 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Entre 2007 et 2010 il y a une lacune de mesure. On estime que les données sont comprises entre 900 et 950 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ces valeurs sont comparables à celle de 2007 montrant une relative stabilité en fin de chronique.

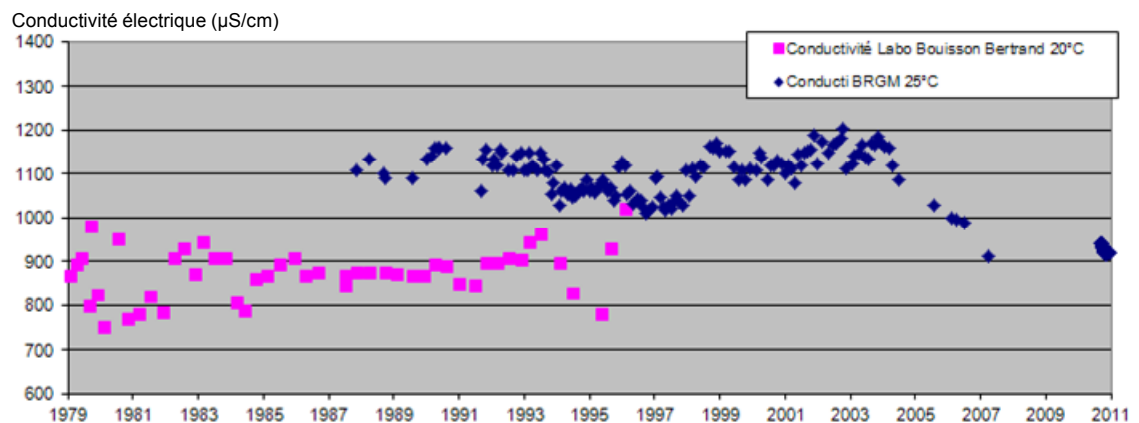


Illustration 16. Conductivité électrique sur le site de Midi Libre (données Midi Libre et BRGM)

g- Good Year, Mireval

Ce point n'appartient pas à l'entité Mosson. Il est situé au Sud de cette dernière. Les informations rattachées à ce point sont toutefois présentées ici car elles permettent d'étendre les observations sur les calcaires jurassiques à une zone plus vaste que celle de l'entité étudiée. Le site de Good Year présente un suivi piézométrique depuis

1997. Des prélèvements y sont effectués pour l'arrosage sur le site, nous n'avons pas eu accès à ces valeurs. Ces derniers sont très probablement faibles au vu de l'utilisation.

La chronique sur la période 1997 à 2007 montre des niveaux d'étiages relativement stables entre 1 et 1,5 m NGF (Illustration 17). La chronique est interrompue entre mars 2007 et septembre 2008. Les niveaux d'étiages 2009 et 2010 présentent une augmentation d'un mètre par rapport à 2007, la piézométrie d'étiage est désormais supérieure à + 2 m NGF.

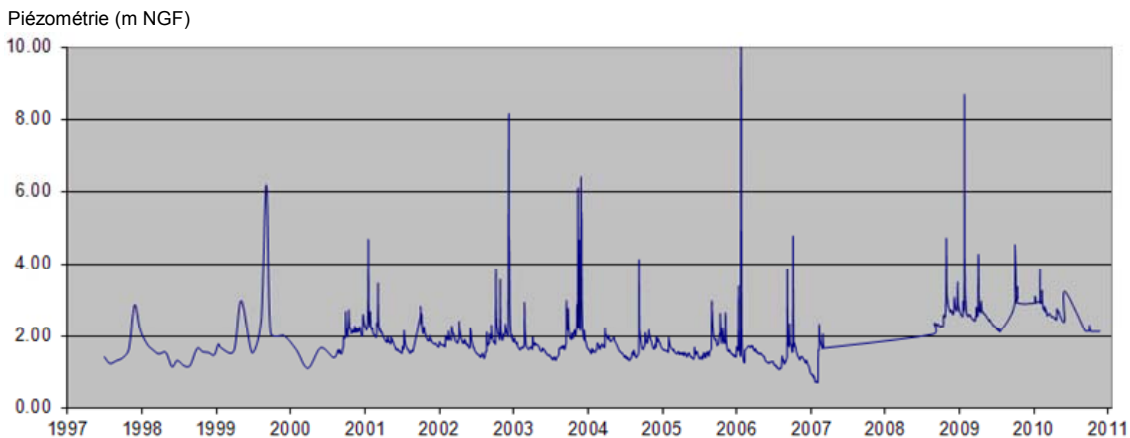


Illustration 17. Conductivité électrique sur le site de Good Year (données BRGM – réseau BRGM/ONEMA)

h- Synthèse état des lieux hydrogéologique compartiment Sud

Ce compartiment paraît sensible aux phénomènes de mélange avec des eaux plus minéralisées. C'est ce que révèlent les pics de conductivité électrique mesurés à la Lauzette lors des périodes estivales.

Cette sensibilité se manifeste également à plus long terme par des augmentations significatives de la conductivité électrique :

- +400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 20 ans à Lou Garrigou ;
- +200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 20 ans à la Lauzette ;
- +400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 14 ans au Flès ;
- +100 à 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 20 ans à Midi-Libre.

Les maximums de conductivité sont ainsi obtenus :

- à la Lauzette : 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lors de l'été 2005 ;

- au Flès : 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2009 et 2010 ;
- à Midi-Libre : 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2002 et 2003 ;
- à Lou Garrigou : 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à plusieurs reprises depuis 2004.

Il faut noter que les pics de conductivité (ponctuels) ne sont pas nécessairement synchrones avec les bas niveaux piézométriques.

La tendance à moyen terme du compartiment Sud (période 1980-2005) est caractérisée grâce au suivi réalisé à Midi-Libre et se traduit par :

- une diminution de la piézométrie ;
- une augmentation de la conductivité électrique.

Ce fonctionnement indique ainsi que lorsque la charge hydraulique diminue, des échanges avec un réservoir plus minéralisé se mettent en place.

Il existe une tendance actuelle à court terme en rupture avec la tendance à moyen terme. Concernant (i) la piézométrie, une augmentation des niveaux d'étiages est observée : la chronique de la Lauzette atteste de niveaux stables de 2004 à 2009 et une remontée en 2010. Au Flès la piézométrie d'étiage est stable entre 2004 et 2007 et remonte ensuite de 50 cm. A Midi-Libre l'augmentation est continue entre 2007 et 2010. A Good Year les niveaux sont également remontés lors des 2 derniers cycles. Concernant (ii) la conductivité électrique elle diminue à Midi-Libre (-200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de 2004 à 2010), mais aussi à la Lauzette (-300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2010).

Par ailleurs la rupture à court terme qui s'effectue à partir de 2007 n'est pas liée aux précipitations. En effet les précipitations calculées et les quantiles associés (voir partie § 5.2.2) montrent qu'il n'y a pas de tendance à la hausse sur les précipitations à court terme (Illustration 18). Ainsi les années 2002 et 2003 bien qu'étant des années décennales humides sont caractérisées par des niveaux bas, alors qu'à partir de 2007, 3 des 4 années qui se succèdent sont caractérisées par des cumuls de précipitations inférieurs à la médiane (676 mm), pourtant les niveaux piézométriques remontent.

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
P Sud (mm)	651	777	1040	1158	748	533	614	473	888	625	648
Quantile	M	M	DH	DH	M - QH	DS	QS - M	DS	M - QH	QS - M	M

Illustration 18. Caractérisation des précipitations sur le compartiment Sud pour la période 2000-2010, quantiles définis à partir des données sur les 30 dernières années. Légende : M : médiane, QS : quinquennal sec, QH : quinquennal humide, DS : decennal sec, DH : decennal humide

Ainsi, la tendance à court terme se caractérise par :

- une augmentation des niveaux piézométriques
- une diminution de la conductivité électrique

Les chroniques piézométriques sur l'entité caractérisent ainsi le même phénomène, à savoir des niveaux bas lors des dernières décennies. Cette diminution de la charge entraîne des mélanges avec des eaux plus minéralisées. Cette situation a été interrompue récemment, une remontée généralisée, qui diffère toutefois dans le temps selon les sites, se produit. Elle a lieu dès 2007 à Midi-Libre, en 2008 au Flès et seulement à partir de 2010 à la Lauzette. Selon les sites, cette augmentation de la charge hydraulique entraîne des diminutions de la part de la composante eau plus minéralisée (Midi-Libre).

A Lou Garrigou et au Flès les diminutions de la conductivité n'ont pas encore été observées malgré l'augmentation des niveaux piézométriques d'étiage. Au vu du comportement global du système, il semble probable que les diminutions sur ces deux sites aient lieu dans les années à venir, dès lors que les sollicitations sur le système resteront comparables à celle de ces dernières années (période 2007-2010).

L'évolution de la minéralisation est fonction de la charge hydraulique dans l'aquifère. Cette dernière est directement fonction des entrées et sorties dans l'aquifère. Afin de caractériser les fluctuations des charges hydrauliques et de la minéralisation un bilan des prélèvements et de la recharge a été réalisé (voir § 3)

Afin de caractériser l'origine de cette eau plus minéralisée un éclairage géochimique a été mené à partir des données acquises sur le compartiment Sud. Les résultats sont présentés ci-après.

1.2.2. Eclairage géochimique sur le compartiment Sud

Nous présentons dans ce paragraphe un éclairage géochimique sur le contexte hydrogéologique du secteur d'étude dans le but d'améliorer le schéma conceptuel de fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère Jurassique. L'approche méthodologique consiste à replacer le contexte géochimique de l'aquifère Jurassique dans le contexte régional proche en utilisant et valorisant les données chimiques disponibles sur les eaux des différents systèmes aquifères de la zone d'étude. L'étude a donc consisté en une compilation des données chimiques de la zone d'étude (extraction de données depuis ADES et des données référencées dans les rapports des hydrogéologues agréés concernant les points d'eau AEP du secteur d'étude). L'approche d'interprétation des données géochimiques (éléments majeurs) repose sur l'utilisation de diagramme binaire (HCO₃ vs Cl par exemple) permettant l'identification des pôles géochimiques et la mise en évidence des processus de mélanges d'eau, lorsqu'ils existent.

Données consultées :

- Données chimiques (éléments majeurs) collectées en 1989 (F. Touet, tableau en annexe) lors d'une campagne spatiale d'échantillonnage sur les points d'eau (1) du jurassique supérieur : Flès (F1 et F2), Lauzette, Midi Libre, Lou Garrigou, Saporta et Pont Trinquat, (2) au captage de la Crouzette (jurassique moyen) et (3) données de la Mosson.
- Les données chimiques des suivis réalisés en 1987 et 1988 à la Lauzette (Hydroexpert, Orengo, 1989).
- Données chimiques (éléments majeurs) des suivis réalisées à Midi Libre (auto-surveillance) entre 1978 et 1982.
- Des données extraites de la banque de données ADES concernant les forages du Flès, Lauzette, Lou Garrigou et la Crouzette.

Contexte géologique et géochimique :

La coupe Nord-Sud présentée sur l'illustration 20 permet d'illustrer le contexte géologique de l'aquifère jurassique sous couverture dans le secteur du pont Trinquat et du Mas Neuf. La présence de failles normales s'enracinant profondément, jusqu'au Trias (>2000 m) voire dans le socle hercynien (>2500 m), autorise la remontée des fluides chauds et minéralisés et potentiellement chargés en CO₂ dissous. Les eaux du forage de Saporta (cf localisation Illustration 1) sont chaudes (22 °C) et apparaissent très minéralisées en HCO₃ (1049 mg/l) et Cl (275 mg/l) par rapport aux autres eaux karstiques (Illustration 22). Ce point d'eau (jurassique à 40 m de profondeur) permet de témoigner du rôle joué par les eaux minéralisées d'origine profonde dans le fonctionnement du système karstique de la Gardiole et de la nappe sous couverture. C'est l'augmentation relative de cette composante de l'écoulement qui apparaît être responsable de l'augmentation de minéralisation des eaux de l'aquifère comme le suggère les résultats du suivi des teneurs en Cl et de la conductivité électrique (Illustration 23 ; Illustration 24), la conductivité étant principalement contrôlée par les teneurs en HCO₃. Dans ce contexte, l'aquifère karstique sous couverture pourrait être en connexion hydraulique avec la structure profonde du pli de Montpellier (calcaire bajocien de la Crouzette notamment).

Dans le secteur du Pont Trinquat (Illustration 20), le jurassique est recouvert par les formations mio-pliocènes et notamment par les sables astiens. F. Touet (1989) indique que l'aquifère jurassique dans le secteur du pont Trinquat et du Mas neuf est réalimenté localement par drainage des formations supérieures et notamment des sables astiens, ce qui se traduit, par une dégradation de la qualité de l'eau du karst (NO₃ et SO₄) en raison des teneurs élevées mesurées dans les formations du plio-quadernaire (NO₃ de 40 mg/l à 150 mg/l ; SO₄ de l'ordre de 180 mg/l, d'après F.Touet (1989). Les teneurs mesurées dans le karst (NO₃ compris entre 20 et 60 mg/l, SO₄ compris entre 40 et 140 mg/l) apparaissent principalement liées aux apports des formations de couverture (Illustration 25, Illustration 26). Au sein de la nappe d'eau karstique sous couverture, une graduation de qualité est observée, les eaux situées à l'ouest apparaissant de meilleure qualité que celles pompées au niveau du pont Trinquat et du Mas Neuf.

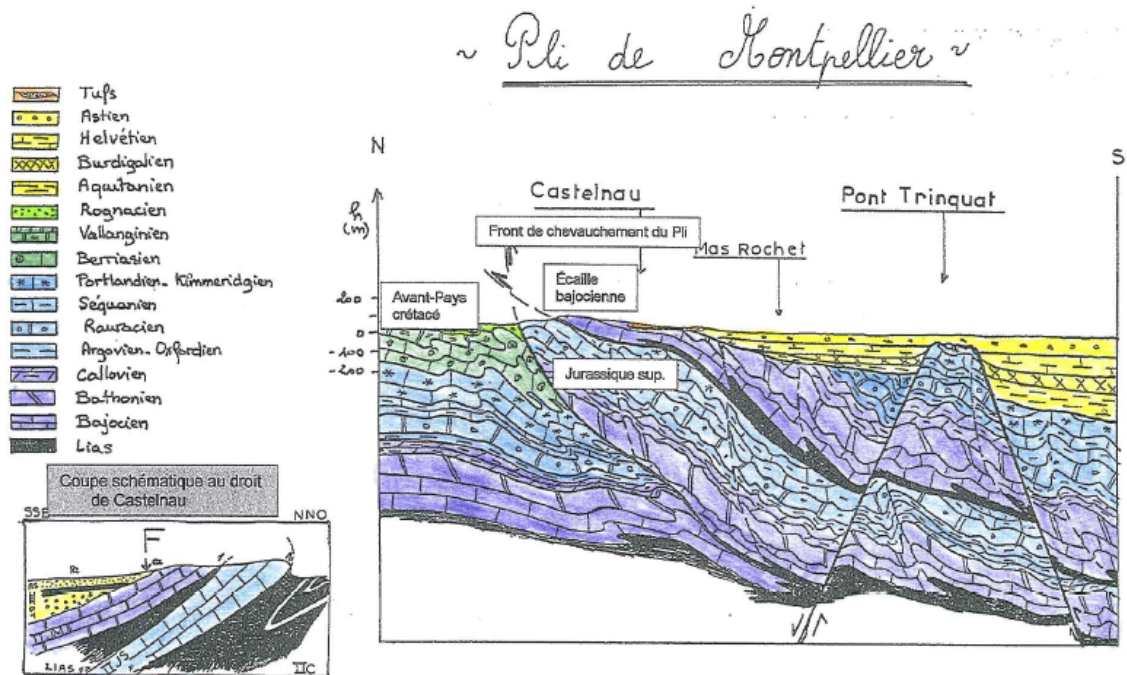


Illustration 20. Coupe géologique N-S du secteur oriental de la zone d'étude. La localisation de la coupe est reportée sur l'illustration 19. Modifié d'après F Touet, Juin 2007 (avis d'hydrogéologue agréé, captage de la Crouzette, Castelnaud le Lez)

Nom	Commune	BSS
Mas Neuf	Lattes	09908X0337/F
Maurin_Lou Garrigou	St-Jean de Vedas	09907X0364
SP2	Lattes	09908X0202
2579	Lattes	09908X0400
Midi Libre	St-Jean de Vedas	09907X0321/MLS3
Lauzette	St-Jean de Vedas	09907X0402/PISTE [Lauzette]
Crouzette	Castelnaud-le-Lez	09908X0351/F [Crouzette]
Flès F2	Villeneuve-les-Maguelonnes	10163X0158/F2
Flès F1	Villeneuve-les-Maguelonnes	10163X0157/F1
PZ1	Lattes	09908X0409
PZ2	Lattes	09908X0410
PZ3	Lattes	09908X0411
Pont Trinquat	Lattes	09908X0165/CERE11
Mas Saporta	Lattes	09908X0167/CERE13

Illustration 21. Liste des points d'eau considéré dans cette étude (points pour lesquels des informations sur la chimie des eaux sont disponibles)

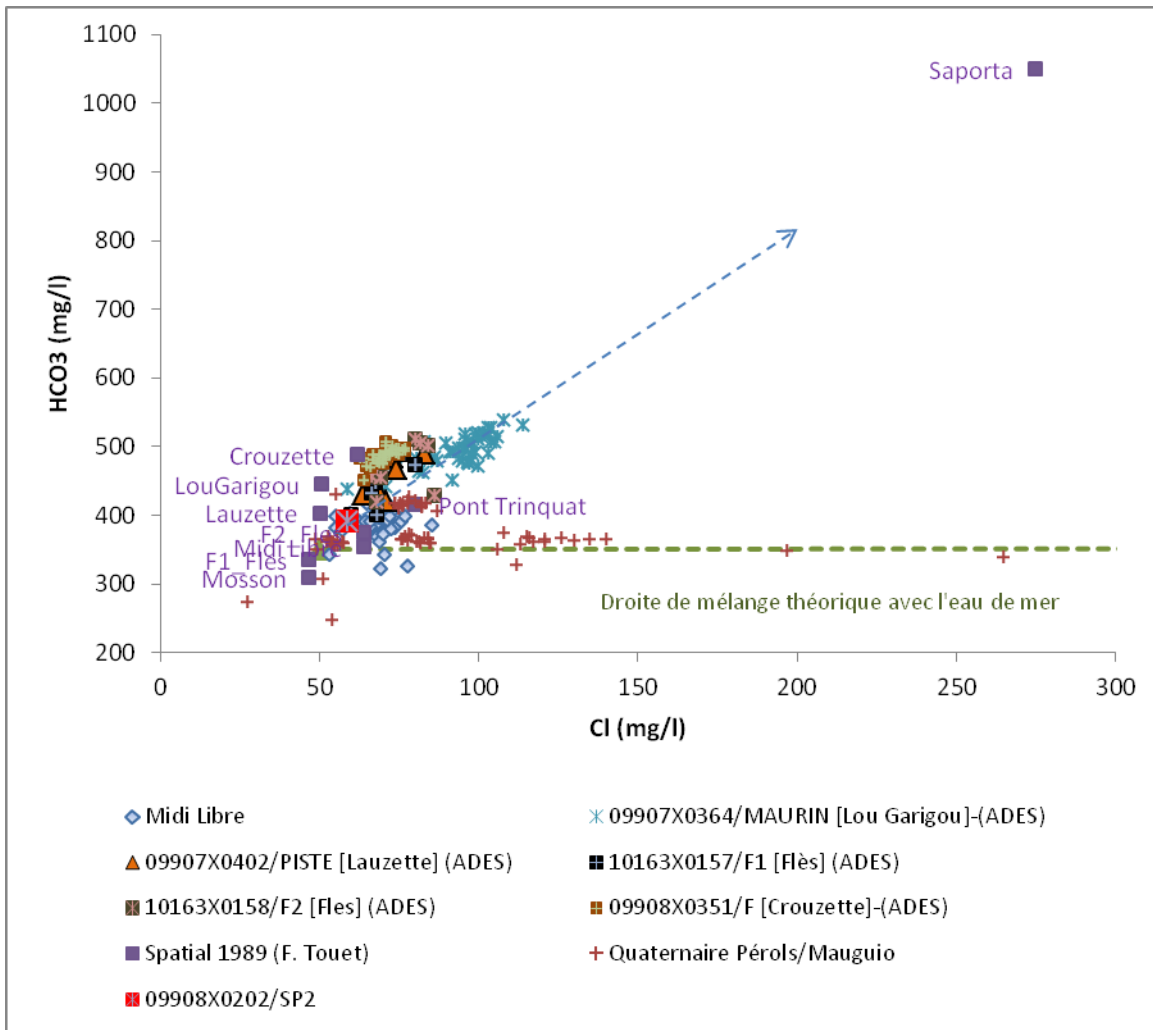


Illustration 22. Evolution des teneurs en bicarbonate en fonction des teneurs en chlorures

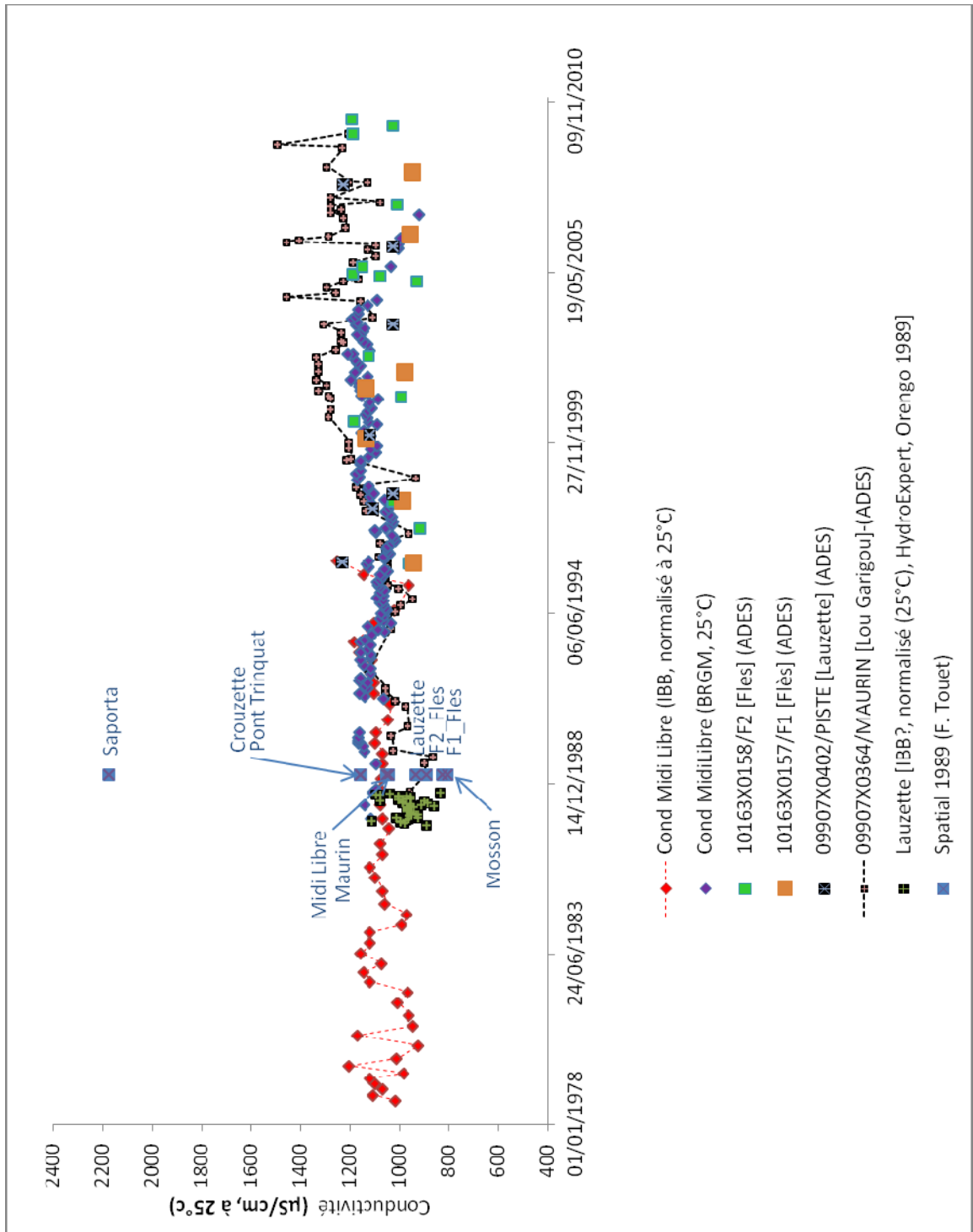


Illustration 23. Evolution de la conductivité électrique des eaux karstiques prélevées dans le jurassique. La conductivité des eaux de la campagne spatiale d'échantillonnage effectuée en 1989 dans le secteur d'étude est également reportée

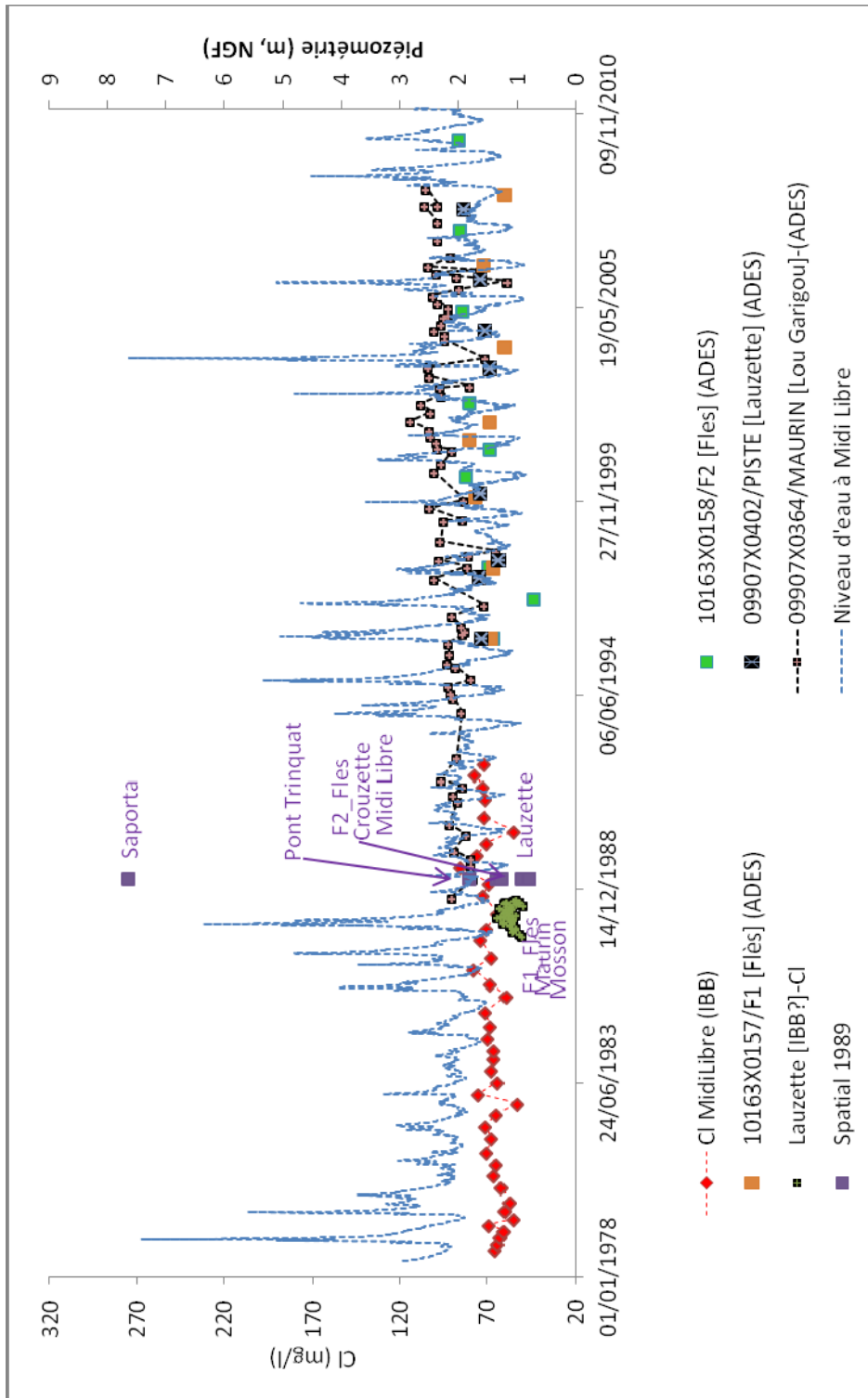


Illustration 24. Evolution des teneurs en chlorure des eaux karstiques prélevées dans le Jurassique. Les teneurs en chlorure des eaux de la campagne spatiale d'échantillonnage effectuée en 1989 dans le secteur d'étude sont également reportés

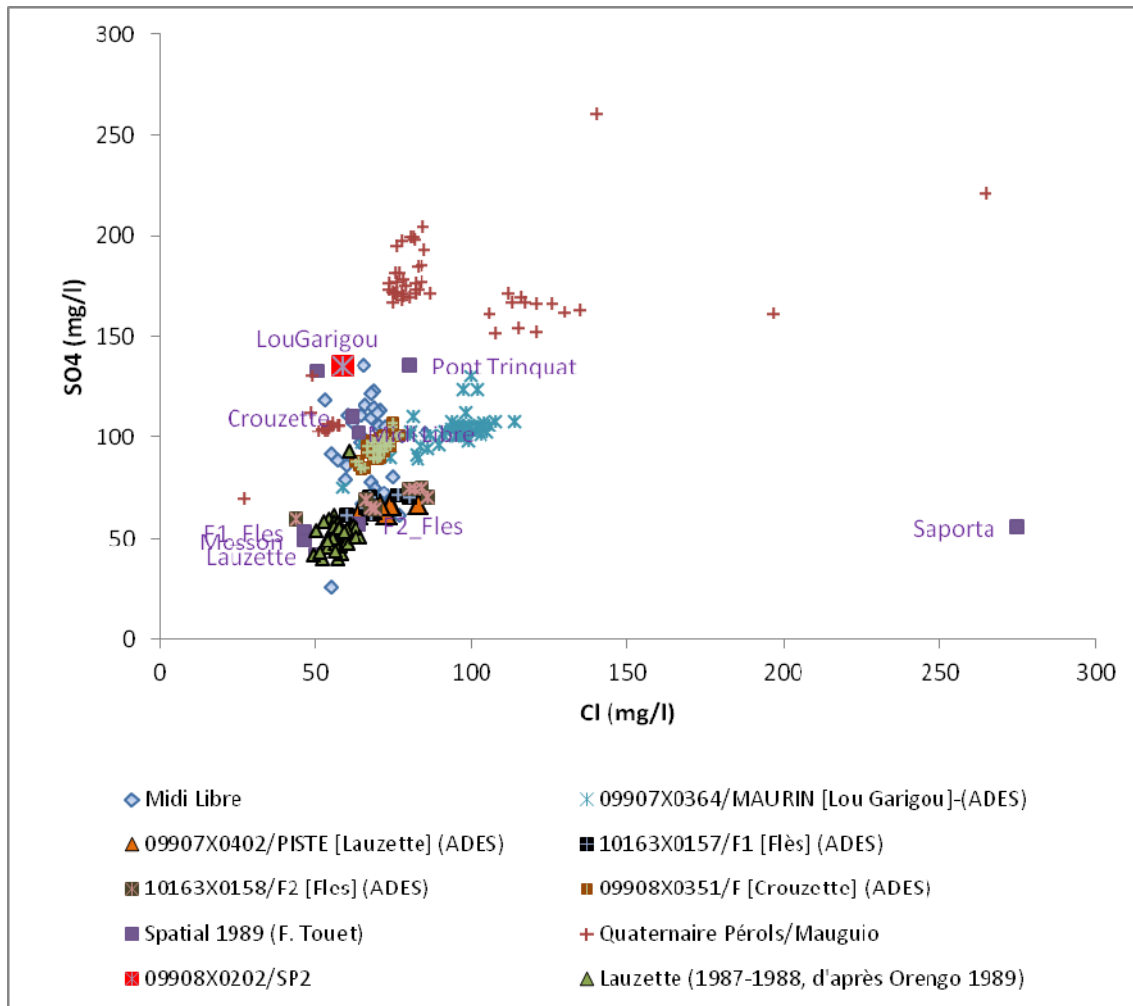


Illustration 25. Evolution des teneurs en sulfate en fonction des teneurs en chlorure

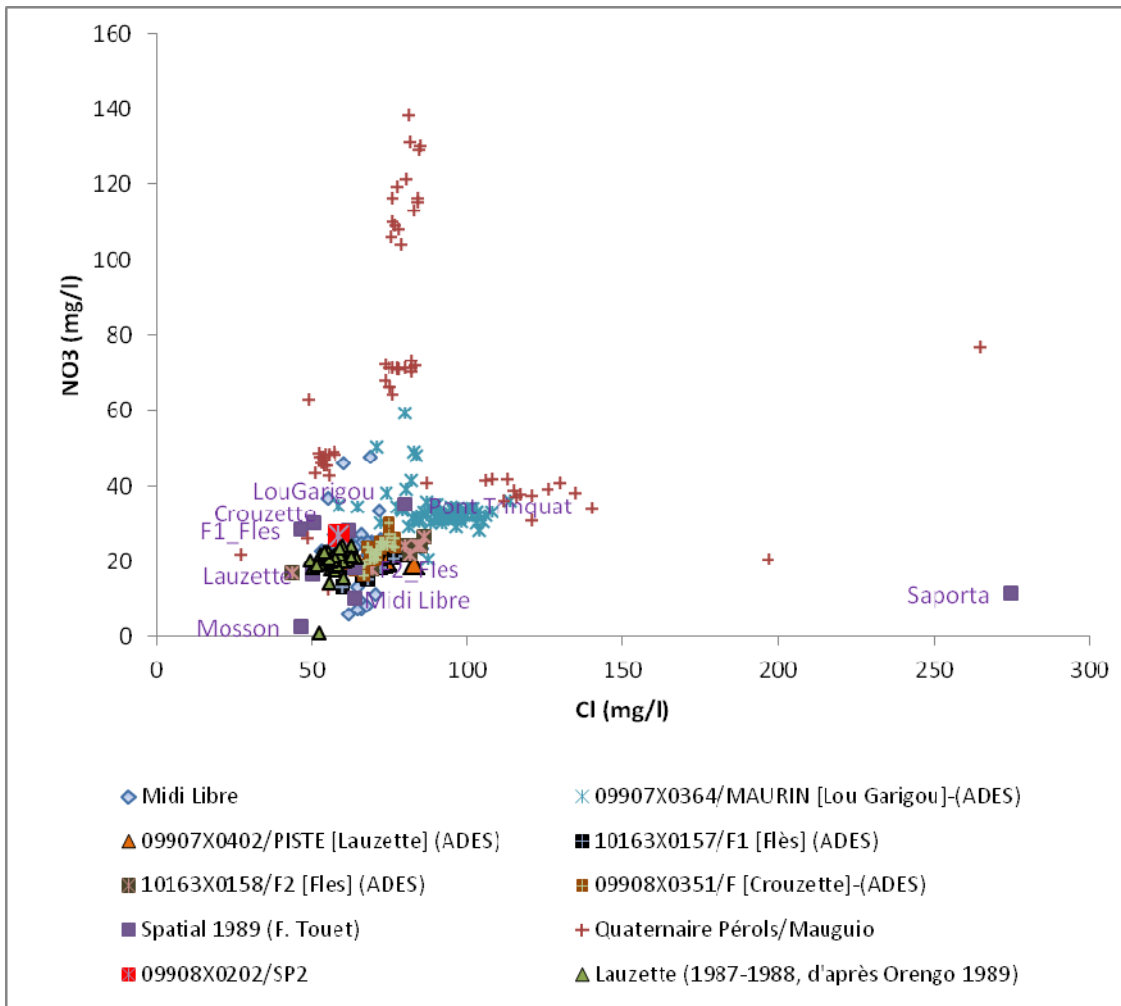


Illustration 26. Evolution des teneurs en nitrate en fonction des teneurs en chlorure

En résumé, l'aquifère karstique développé dans le compartiment carbonaté Sud de l'entité MOSSON de la masse d'eau FR_DO_124 apparaît influencé par des eaux minéralisées d'origines profondes (chargées en Cl et HCO_3 en raison du CO_2 d'origine mantellique) et des eaux plus superficielles issues des formations plio-quadernaires. Ces dernières eaux sont localement, chargées en nitrate et présentent des teneurs élevée en sulfate (200 mg/l, Illustration 26). L'origine des teneurs élevées en nitrate est anthropique tandis que les teneurs élevées en SO_4 est vraisemblablement à rattacher au contact de l'eau avec les formations argilo-silteuses. Néanmoins, à ce stade de la connaissance, on ne peut pas exclure qu'une partie des sulfates mesurées dans les eaux karstiques soit liée à la composante profonde, même si d'après les informations collectées au Mas de Saporta, les teneurs en SO_4 du flux profond sont faibles (<50 mg/l, Illustration 25).

Les flux d'eaux d'origines profondes et superficielles se mélangent avec les eaux du réservoir karstique non influencées. Dans l'état actuel de la connaissance, nous ne connaissons pas précisément la signature chimique de ce pôle chimique pour le

compartiment sud. Aucune information n'est disponible pour le compartiment nord. Nous supposons donc que les données du fleuve Mosson peuvent, en premier approximation, décrire la signature du pôle karstique non influencé par les flux d'eau d'origine profonde et superficielle. Dans ce contexte, les diagrammes binaires présentés permettent de montrer que les eaux du compartiment sud présentent une importante variabilité spatiale. Un gradient de concentration croissant apparaît entre le secteur du Flès et le secteur du pont Trinquat, les eaux du forage Lou Garigou apparaissant les plus impactées par les eaux du secteur du pont Trinquat. Ces résultats renforcent donc l'idée que les augmentations de minéralisation observées lors des périodes estivales aux forages AEP sont liées à une mobilisation plus importante des eaux karstiques situées sous couverture dans le secteur du Pont Trinquat.

Les résultats permettent, dans ce contexte de fonctionnement, de rejeter l'idée selon laquelle l'augmentation de la minéralisation des ouvrages AEP est liée au phénomène d'intrusion marine, tel qu'évoqué avant cette étude.

1.2.3. Etat des lieux hydrogéologique – Compartiment Nord

L'ensemble des sources et forage est représenté sur l'illustration 1.

Source d'Avy

Cette source également appelée « Fesses-Madame » est l'exutoire principal des calcaires jurassiques de l'entité Mosson (Illustration 27, annexe 2). Elle se situe sur la commune de Grabels, en rive droite de la Mosson. Il s'agit d'une source intermittente dite de trop plein. L'eau de la source alimente la Mosson. Cette source a été étudiée en 1972 et 1973 par J. Diluca (thèse, 1973).

L'eau sort des formations vitroliennes (Illustration 28), il s'agit de brèches de démantèlement à éléments calcaires et matrice argileuse. Ces terrains du Vitrolien sont surmontés en contact anormal chevauchant par les calcaires jurassiques.

Des explorations de la source ont été réalisées (voir fiche descriptive annexe 2). Un conduit descendant a été reconnu jusqu'à un rétrécissement impénétrable profond de 4 à 5 m. D'après les descriptions faites par les spéléologues plongeurs cette zone reste noyée.



Illustration 27. Source d'Avy



Illustration 28. Brèche du Vitrolien

Diluca, propose deux coupes géologiques schématiques sur le secteur, la première Nord-Sud passant par la source d'Avy et la seconde WNW-ESE au niveau du Pont de la Mosson (Illustration 29).

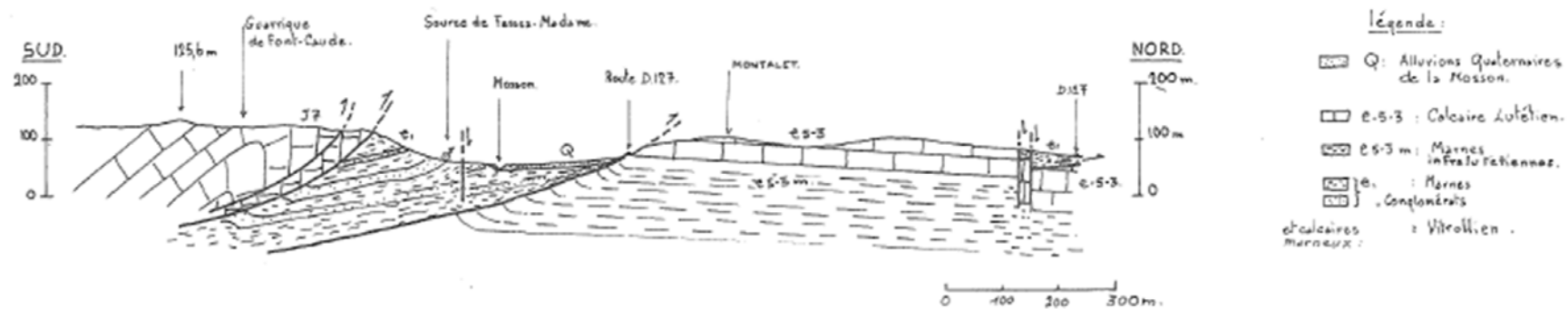


Illustration 29. Coupes géologiques, en haut N-S passant par la source d'Avy en bas WNW – ESE au niveau du pont de la Mosson (Diluca, 1973)

Les volumes annuels prélevés sur la période 1992–2010 sont compris entre 200 et 300.10³ m³/an. Nous n'avons pas eu accès aux données de prélèvement antérieures à 1992.

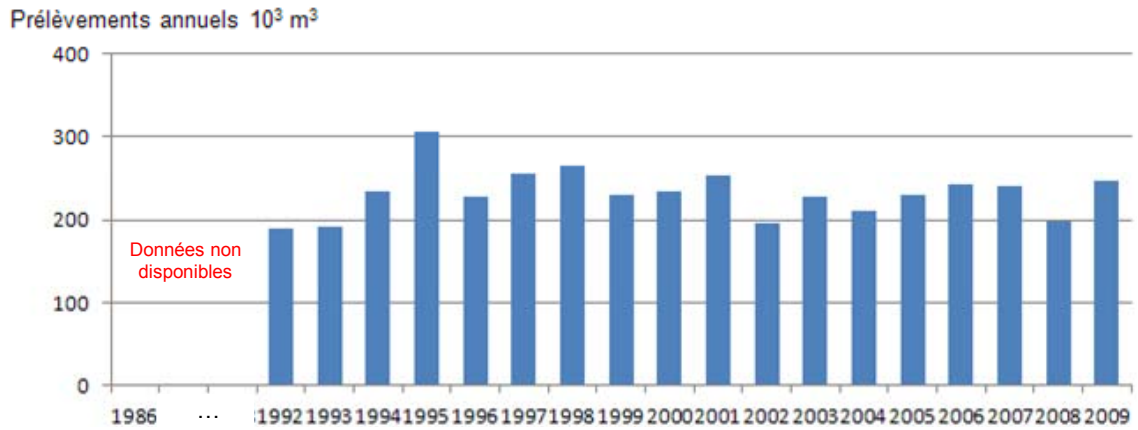
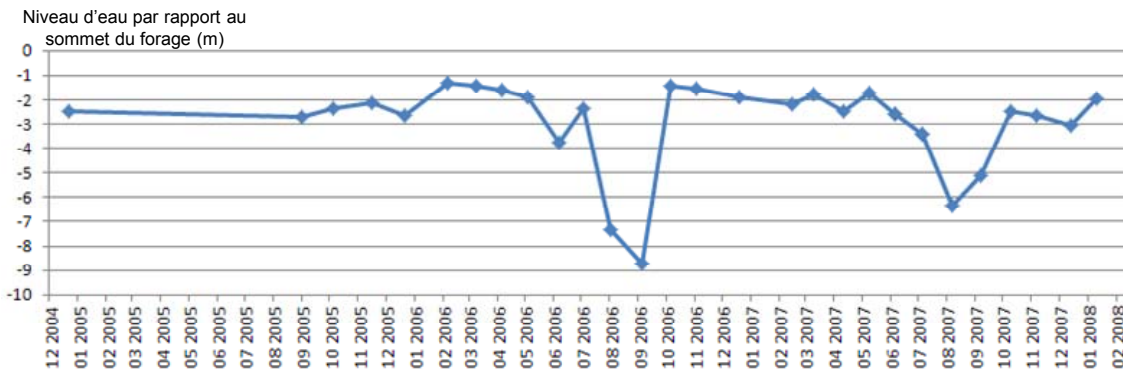


Illustration 31. Prélèvements annuels du captage de la source du Martinet (données AE)

La chronique piézométrique constituée par des mesures mensuelles (2005-2007) et des mesures à un pas de temps fin (2009-2010) révèle que les niveaux d'étiages sur la période sont compris entre -6 et -9 m par rapport au sommet de l'ouvrage. Les niveaux d'étiages sont fortement influencés par les prélèvements.



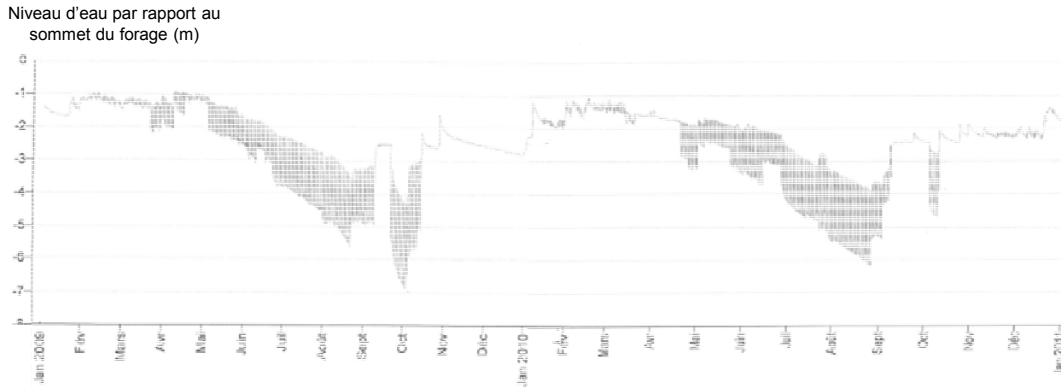


Illustration 32. Evolution des niveaux d'eau à la source du Martinet pour les périodes 2005-2008 et 2009-2011

Source thermale Fontcaude ou source de la Valladière

Il s'agit d'une source ancienne artésienne exploitée au XIX^e siècle pour le thermalisme. Sa localisation est précisée Illustration 1 « Thermes Fontcaude ». Cette source est un trop plein du système profond des calcaires jurassiques remontant au gré de failles. L'agrément permettant son exploitation a été abrogé en 1963 (la source n'étant alors plus utilisée ni contrôlée). La ville de Juvignac a décidé de réactiver son utilisation à partir de 1990. En 1991, un forage de 450 m a été réalisé à 40 m de la source originelle, cette dernière présentait alors une vulnérabilité aux pollutions (Crochet, 2008). Une zone productive a été rencontrée à 356 m de profondeur. En condition d'exploitation le débit de 26 m³/h est retenu, soit 230.10³ m³/an (Crochet, 2008).

L'arrêté d'autorisation d'exploitation de cette source date de 1999. Aujourd'hui cette source n'est pas exploitée et l'eau jaillissante du captage (source ancienne et forages) est laissée à la libre utilisation du public. L'eau s'écoule ensuite vers la Mosson. Le débit d'exploitation fourni par l'artésianisme naturel du forage est compris entre 1,5 à 3,5 m³/h (Crochet, 2008), ce qui représente sur l'année un débit d'environ 20 000 m³. Le débit naturel de la source est du même ordre de grandeur.

L'eau captée par le forage provient de l'aquifère profond constitué par les calcaires dolomitiques du Jurassique autochtone sous le Pli de Montpellier. Aussi ces formations n'affleurent pratiquement pas et ce réservoir thermal semble indépendant de l'aquifère lié aux formations du Jurassique supérieur de cette entité Nord Mosson.

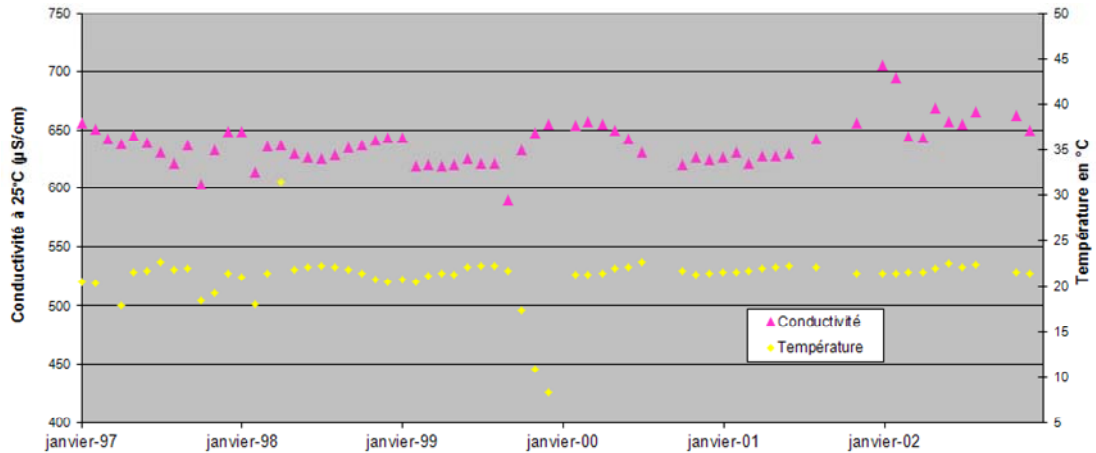


Illustration 33. Evolution des conductivités électriques et températures à la source de Fontcaude (données mairie Juvignac)

Il existe à ce jour un projet de réhabilitation du site thermale de Fontcaude. Dans le futur, des prélèvements probablement importants auront lieu sur cette ressource. Dans l'état actuel de la connaissance, il n'est pas possible d'évaluer les impacts que pourraient avoir une future exploitation du système thermal de Fontcaude sur les écoulements au sein des calcaires jurassiques supérieures de l'entité Mosson. Ainsi bien que ces réservoirs semblent aujourd'hui indépendants (réservoir thermal de Fontcaude développé au sein des calcaires jurassiques moyens et inférieurs), ils peuvent localement être en connexion hydraulique par l'intermédiaire des accidents structuraux associés au Pli de Montpellier. Ainsi des prélèvements supplémentaires sur l'aquifère profond pourraient engendrer des déséquilibres au niveau des masses d'eau et ainsi impacter le système des calcaires jurassiques de l'entité Mosson. C'est pourquoi dans le cas de prélèvements supplémentaires conséquents sur la ressource thermal de Fontcaude, un suivi et une étude hydrogéologique au moins à l'échelle locale devront être réalisés dans le but de qualifier et quantifier les interférences entre ces systèmes aquifères.

Forage pour l'arrosage du stade de la Mosson

Ce captage est effectué dans les calcaires jurassiques pour l'arrosage du stade de la Mosson, le volume prélevé représente environ 4 000 m³/an (données 2008, Agence de l'Eau). Nous n'avons pas retrouvé d'information spécifique sur ce forage dans les archives du Brgm concernant notamment la profondeur ou les horizons captés.

Pépinière Pivot

Les prélèvements sont effectués dans les eaux superficielles de la Mosson et dans sa nappe d'accompagnement (rapport Ginger Environnement) et non pas dans les calcaires. Ce prélèvement n'affecte donc pas directement l'aquifère jurassique.

Béton Mialanes

Les prélèvements sur ce site sont partiellement connus pour la période 1997 – 2004. De 1997 à 2000 nous n'avons pas retrouvé d'information. Sur cette période ils sont en moyenne de 40 000 m³/an. Les prélèvements sur le site ont été interrompus en 2004.

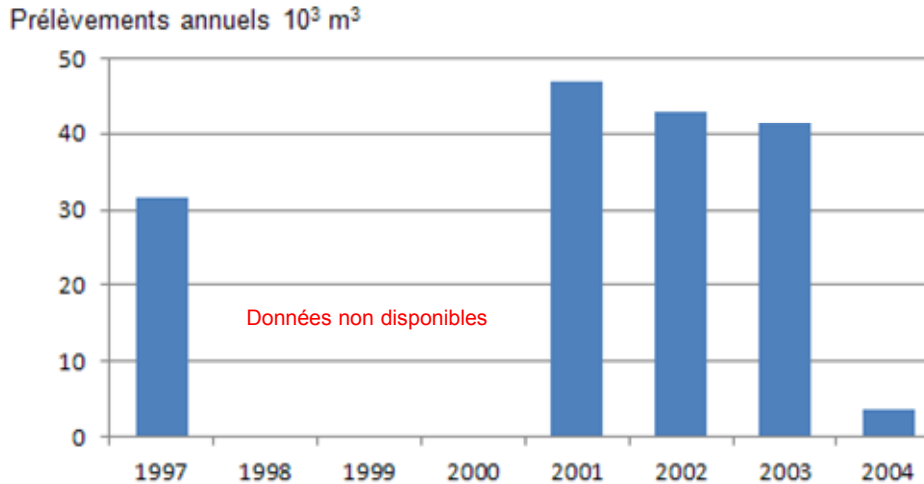


Illustration 34. Prélèvements annuels du captage Béton Mialanes (données AE)

1.2.4. Synthèse des connaissances hydrogéologiques sur le compartiment Nord

La source d'Avy est l'exutoire principal de ce système. Il s'agit d'une source intermittente, source de trop plein du système karstique des calcaires du Jurassique. Cette source a été instrumentée et étudiée en 1972 et 1973 par J. Diluca. Les volumes annuels évacués étaient alors de respectivement 12.10⁶ et 6.10⁶ m³. Il n'existe plus à ce jour de suivi sur cette source.

La source du Martinet est un exutoire secondaire du système, son débit est aujourd'hui influencé par le captage servant à l'irrigation du golf et il n'est malheureusement pas connu. Les débits annuels prélevés sont de l'ordre de 200 à 300 000 m³. Les données piézométriques acquises à la source sont difficilement exploitables du fait de la forte influence des pompages journaliers, mais aussi parce que nous n'avons pas eu accès aux données à ce même pas de temps.

La source de Fontcaude capte une ressource profonde partiellement déconnectée du système karstique superficiel. Au vu des débits artésiens actuels, les échanges entre les deux masses d'eau semblent limités. En cas d'exploitation du site les paramètres physico-chimiques de la source devront faire état d'un suivi afin de caractériser le fonctionnement du système influencé par le captage et les éventuels échanges entre les masses d'eau. Aujourd'hui une étude spécifique sur cette source dans le but de caractériser le fonctionnement du karst de la Mosson et de définir un indicateur de l'état du système ne semble pas pertinent. La mesure des débits d'exhaure doit

toutefois se poursuivre afin de replacer ce prélèvement dans le contexte général des prélèvements sur le compartiment.

Le principal prélèvement sur ce compartiment est réalisé sur la source du Martinet (200 à 300 000 m³/an), les autres prélèvements sont beaucoup plus faibles avec 40 000 m³/an à béton Mialanes (interruption en 2004) et 4 000 m³/an pour l'arrosage du stade de la Mosson (données Agence de l'Eau).

A ce jour, les données de prélèvements annuels sont bien connues. **Il manque les informations nécessaires (mesures piézométriques et de conductivité électrique sur un site représentatif de l'aquifère) pour caractériser l'état de la masse d'eau, les niveaux de référence et les volumes prélevables.** Pour ce faire, une étude hydrogéologique complète devra être réalisée, elle permettra de caractériser le fonctionnement de la source d'Avy et s'attachera à représenter l'état de la masse d'eau grâce à ce point, exutoire principal du système. En complément, les niveaux et les débits de la source du Martinet devront faire l'objet d'un suivi à un pas de temps fin (à minima journalier) pour caractériser ce sous-système aquifère du karst jurassique. Les données de prélèvements à un pas de temps mensuel ou inférieur seront nécessaires.

L'étude à mettre en place est ainsi détaillée dans le chapitre 6 (p 87).

2. Approche méthodologique pour la recherche d'indicateur de niveau d'eau des systèmes karstiques de l'entité Mosson-Gardiole

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 prévision.
- 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 affecte l'évolution naturelle de la piézométrie doit être menée sur des chroniques pluriannuelles, notamment pour les nappes à fortes inerties ou les aquifères captifs. Dans cette étude, la caractérisation du fonctionnement de l'aquifère jurassique captif de la partie nord-est de la Gardiole a été réalisée à l'aide de la chronique de Midi Libre acquise par le BRGM depuis juillet 1976¹ (Illustration 35). C'est en effet la seule chronique de longue durée sur la zone (plus de 30 ans). Les autres chroniques piézométriques du Flès et de la Lauzette débutent en 2003 et 2004. Compte tenu de la durée, elles ne permettent pas d'approcher les tendances à long terme. Par ailleurs des mesures ponctuelles de la conductivité ont également été réalisées à Midi-Libre, ce qui permet d'appréhender les évolutions de la minéralisation des eaux de l'aquifère.

¹ <http://ro.brgm.fr/>

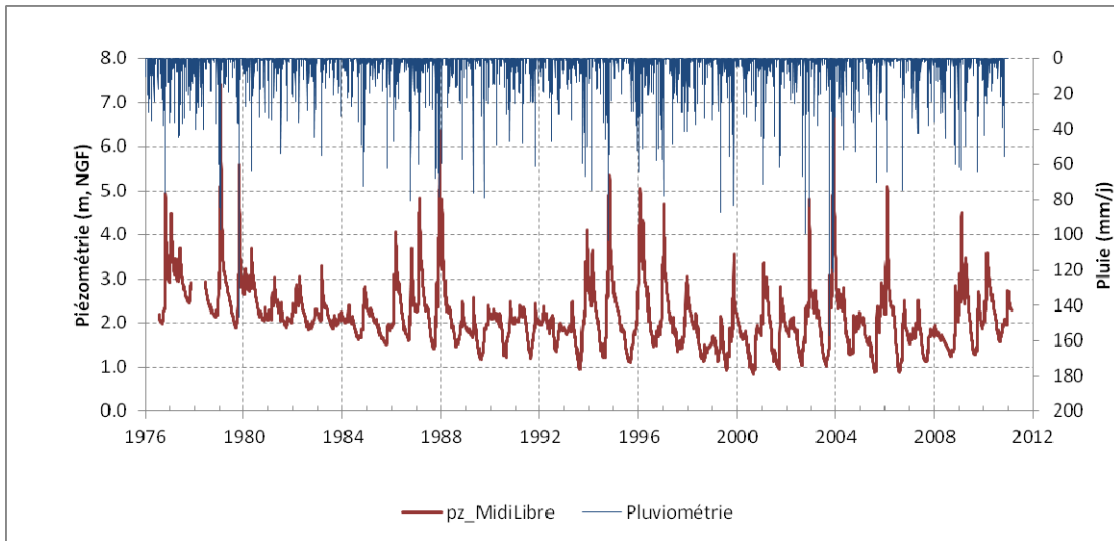


Illustration 35. Evolution de la piézométrie du karst jurassique sous couverture mesurée au site de Midi Libre

Sur cette chronique, nous pouvons distinguer une première phase de diminution à long terme de la piézométrie (jusque vers les années 1990), puis une seconde période caractérisée par des cycles saisonniers plus marqués en été (influence de l'augmentation des pompages lors des périodes estivales). Cette chronique est donc marquée par une tendance à long terme et correspond finalement à la première situation présentée précédemment.

Dans la suite de l'étude, nous considérons que la période 1976-1981 est la moins impactée par les prélèvements par pompage (piézométrie d'étiage haute et stable), les besoins directement corrélés à la démographie (nombre d'habitant et développement de l'activité industrielle) étant alors faibles par rapport à la situation actuelle. L'analyse détaillée de la piézométrie acquise sur cette période permettra d'accéder au fonctionnement dit naturel de l'hydrosystème.

Dans un premier temps (§ 2.2.1, p52), la caractérisation du fonctionnement naturel de l'aquifère jurassique à Midi Libre a été réalisée en supposant qu'il existe une connexion hydraulique profonde entre le compartiment Nord et les calcaires jurassiques affleurant et situés dans la partie nord-est de la Gardiole (compartiment Sud). La dynamique de fonctionnement des formations jurassiques du karst de la Mosson sur le compartiment Nord a été appréhendée à l'aide des données anciennes de la source d'Avy collectées par Diluca (1973).

Dans cette étude, la description et la quantification des phénomènes ont été réalisées à l'aide d'un modèle de transfert développé à l'aide du logiciel TEMPO², logiciel destiné au traitement et à la modélisation des séries temporelles en hydrogéologie et en hydrogéochimie. L'utilisation du modèle a permis d'évaluer la charge piézométrique qu'aurait pu présenter l'aquifère karstique en absence de pompage (période 1974-2010).

Dans un second temps (§2.2.2, p65), nous avons cherché à caractériser le fonctionnement de l'aquifère influencé par les pompages. En raison de la nature captive de l'aquifère à Midi Libre, nous avons considéré que l'ensemble des pompages réalisés dans les calcaires jurassiques de la zone d'étude (compartiment Sud) affectent la piézométrie enregistrée à Midi Libre. Aussi, du fait de cette nature captive, le site de Midi-Libre est jugé représentatif du compartiment, de ce fait, cette seule chronique est jugée suffisante pour caractériser le système.

L'enjeu a donc principalement porté sur la délimitation du système aquifère (Vigouroux, 2008) et sur l'estimation des prélèvements au sein de cette zone d'étude (cf § 1.2.1). L'élaboration d'un modèle intégrant les prélèvements a été mise en œuvre afin de reproduire la piézométrie mesurée à Midi Libre.

2.2. MISE EN ŒUVRE DE LA MODELISATION DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES A MIDI-LIBRE AVEC TEMPO

Les données suivantes ont été utilisées pour mener à bien la modélisation :

- **Débit** : digitalisation de l'hydrogramme de la source de l'Avy du 01/02/1972 au 31/01/1973 (données Diluca, 1973, voir Illustration 30)
- **Pluie journalière (données Météo France)** :
 - Montarnaud (1978-2010, lacune pour l'année 1986) ;
 - Villeneuve les Maguelonne (1978-2010) ;
 - Saint Martin de Londres (1970-2009) ;

² Le logiciel TEMPO est doté d'un ensemble d'outils mathématiques permettant de déterminer et d'analyser les relations entre des séries temporelles de mesure à partir de la caractérisation des fonctions de transfert (également appelée réponse impulsionnelle).

Les traitements peuvent conduire à la caractérisation du fonctionnement d'un système, à la modélisation inverse des phénomènes ou bien à leur simulation prévisionnelle. Le terme modélisation inverse recouvre ici les techniques visant à reproduire un débit, un niveau piézométrique ou un flux (transfert de masse) à partir d'une chronique de pluie et d'ETP (ou de température moyenne journalière), éventuellement de concentrations ou de paramètres physico-chimiques.

L'utilisation d'un modèle inverse à plusieurs entrées permet de séparer les contributions des différentes entrées sur la sortie : c'est ainsi que le débit d'une rivière peut être exprimé en fonction de la contribution du ruissellement de surface et d'une eau souterraine, la nappe pouvant alimenter ou au contraire drainer la rivière.

- . Aniane (1971-2009)
- . Montpellier Fréjorgues depuis 1970.

Avant 1978, les données de Montarnaud et de Villeneuve les Maguelone n'existent pas. Pour cette période, les données d'Aniane ont été utilisées en lieu et place de la station de Montarnaud. La lacune de 1986 de Montarnaud a été remplacée par les données de pluie de la station d'Aniane. Les données de Sète ont été utilisées en lieu et place de la station de Villeneuve avant 1978.

- **ETP journalière (données Météo France)** : station de Montpellier Fréjorgues à partir de 1970.
- **Piézométrie** : données journalières du piézomètre de Midi Libre, période 1976-2008.
- **Données de prélèvements mensuels sur le compartiment Sud** : période 2001-2010 (captage du Flès, de la Lauzette, Lou Garigou et Midi-Libre irrigation)

2.2.1. Reconstitution des niveaux piézométriques non influencés par les pompages (modèle Piézométrie Naturalisée)

Mise en œuvre

La caractérisation du fonctionnement naturel de l'aquifère jurassique à Midi Libre a été réalisée en supposant qu'il existe une connexion hydraulique profonde entre le compartiment jurassique situé au nord du fossé de Montbazin-Gigean (compartiment Nord) et les calcaires jurassiques du compartiment Sud situés dans la partie nord-est de la Gardiole (calcaires jurassiques affleurant et sous couverture). Cette hypothèse de transfert de flux du compartiment Nord vers le compartiment Sud est également étayée à partir du bilan hydrologique (voir paragraphe 3). La dynamique de fonctionnement des formations jurassiques du karst de la Mosson a été appréhendée à l'aide des données anciennes de la source d'Avy collectées par Diluca (1973). Les étapes suivantes ont été mises en œuvre :

- Caractérisation du fonctionnement hydrogéologique de la source d'Avy à l'aide d'un modèle de transfert³ construit avec le logiciel Tempo (période 1972-1973).
- Reconstitution du débit de la source d'Avy à l'aide du modèle de transfert, sur la période 1970-2008. A l'issue de cette modélisation la variable « débit source d'Avy » ou « QAvy » est créée. La pluie efficace sur le compartiment Nord est également calculée.
- Caractérisation du fonctionnement hydrogéologique des calcaires jurassiques sous couverture (à partir de la chronique du Piézomètre de Midi Libre) à l'aide d'un

³ Modèle de transfert « source Avy » caractérisé par deux composantes (rapide et lente). La composante lente est décrite par le modèle paramétrique de Samani-Ebrahimi ($n=3$, $\Theta=0.2371$, $k1(j)=15.10$), la composante rapide par la convolution d'une fonction gaussienne par une fonction exponentiel décroissante.

modèle de transfert construit avec le logiciel Tempo. Ce modèle de transfert intègre la composante karstique des calcaires Jurassique de la Mosson dont le fonctionnement est qualifié à l'aide de la source d'Avy.

Les fonctions de pondération des chroniques de pluie calculées par le logiciel Tempo qui seront utilisées dans les modélisations sont les suivantes :

Modèle « source d'Avy » :

$pl_Optimum = 0.51 * pl_Montarnaud + 0.49 * pl_StMartinLondres;$

Modèle « Midi Libre » :

$pl_Optimum = 0.28 * pl_Montarnaud + 0.30 * pl_Villeneuve + 0.32 * pl_Montpellier + 0.10 * pl_StMartinLondres;$

Modèle de transfert de la source d'Avy

Les données d'entrée du modèle (débit de la source d'Avy et Pluie Optimum Avy) sont au pas de temps journalier. La modélisation est réalisée au même pas de temps. Les résultats obtenus à l'aide du modèle de transfert « source d'Avy » sont présentés sur les Illustration 36 à Illustration 38. Le modèle permet de reproduire de manière acceptable l'évolution des débits observés en 1972 par Diluca (Illustration 31). Les pics de crues et les tarissements sont globalement bien reproduits. Les critères de qualité du modèle à savoir la variance et le Critère de Nash, ont été calculés. Plus les critères sont proches de 1, meilleure est la qualité du modèle. On convient généralement que les modèles sont de très bonne qualité dès lors qu'ils sont proches ou supérieurs à 0,9 pour la variance et de 0,8 pour le critère de Nash. La variance du modèle est ici égale à 0,89 et le critère de Nash est de 0,79, ce qui constitue un résultat satisfaisant.

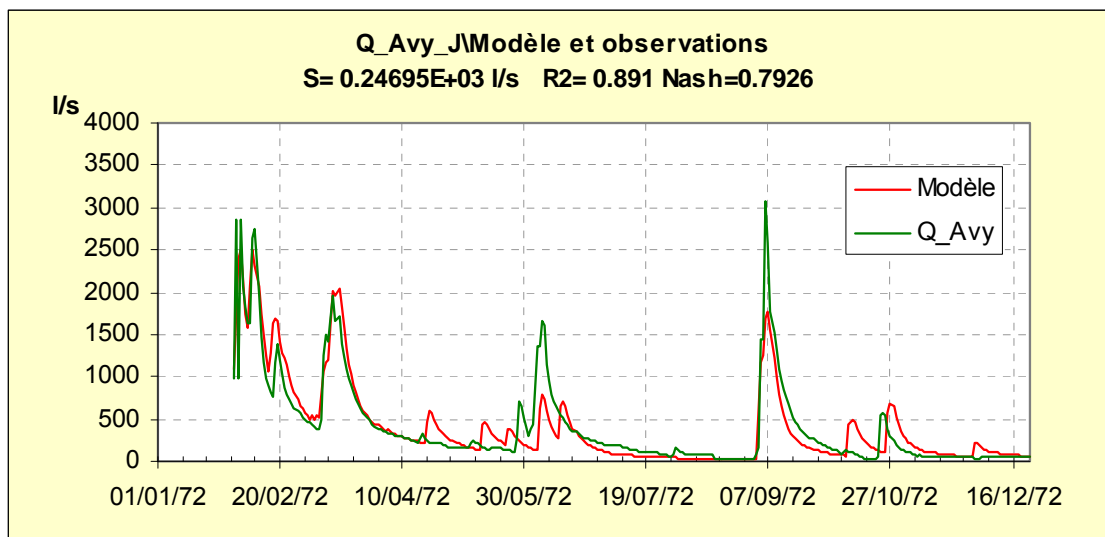


Illustration 36. Modèle de transfert « source Avy » : évolution des débits mesurés (Diluca, 1973) et des débits simulés

Le calcul des réponses impulsionnelles indique qu'il y a deux composantes, l'une rapide et l'autre lente (Illustration 37). La composante rapide de la pluie efficace n'intervient plus dans l'écoulement au bout de 15 jours après un épisode de pluie. L'allure de la composante lente évoque la vidange d'un réservoir. Le flux d'eau associé à cette composante permet de qualifier la recharge du système karstique de la source d'Avy (Illustration 38).

La recharge du système karstique de la source d'Avy est ainsi constituée par les pluies efficaces. Le modèle scinde ces pluies efficaces en deux parties :

- une pluie efficace rapide qui contribue à générer l'écoulement rapide à la source d'Avy lors des crues (contribution pendant les 15 jours qui suivent l'événement pluvieux) ;
- une pluie efficace lente qui contribue à générer l'écoulement lent à la source notamment en période d'étiage. Nous supposons que cet écoulement permet également de décrire la dynamique du flux d'eau qui contribue à l'alimentation du compartiment Sud.

Les lames d'eau associées aux composantes rapides et lentes du modèle sont également calculées. La surface du bassin d'alimentation de la Source d'Avy est estimée par le modèle à 14,85 km². Cette surface est cohérente avec la surface des calcaires jurassiques affleurants sur le compartiment Nord délimitant l'entité. La surface de ce compartiment est égale à 15 km² (Vigouroux, 2008).

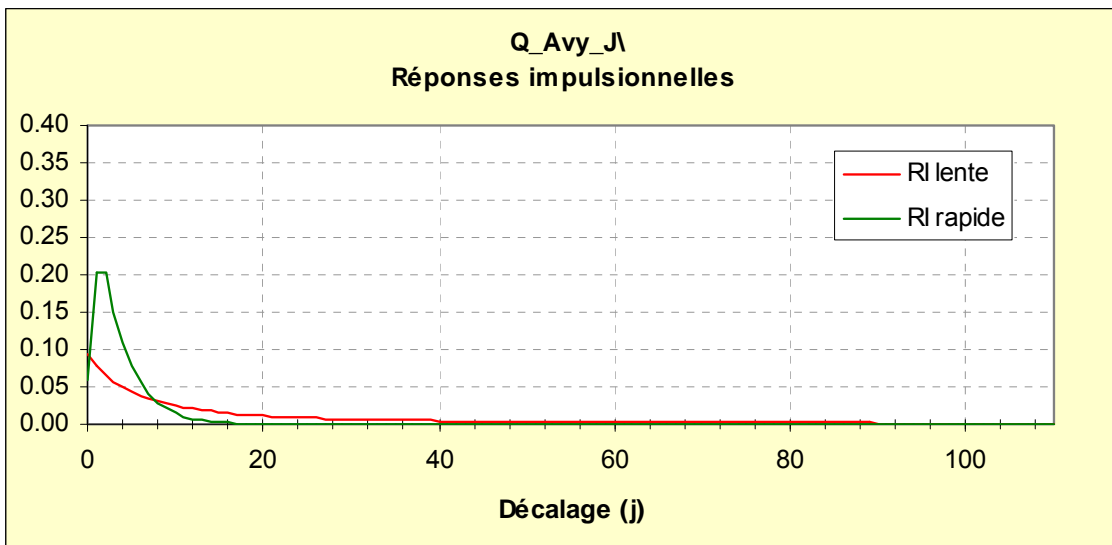


Illustration 37. Modèle de transfert « source Avy » : réponses impulsionnelles des composantes rapide et lente

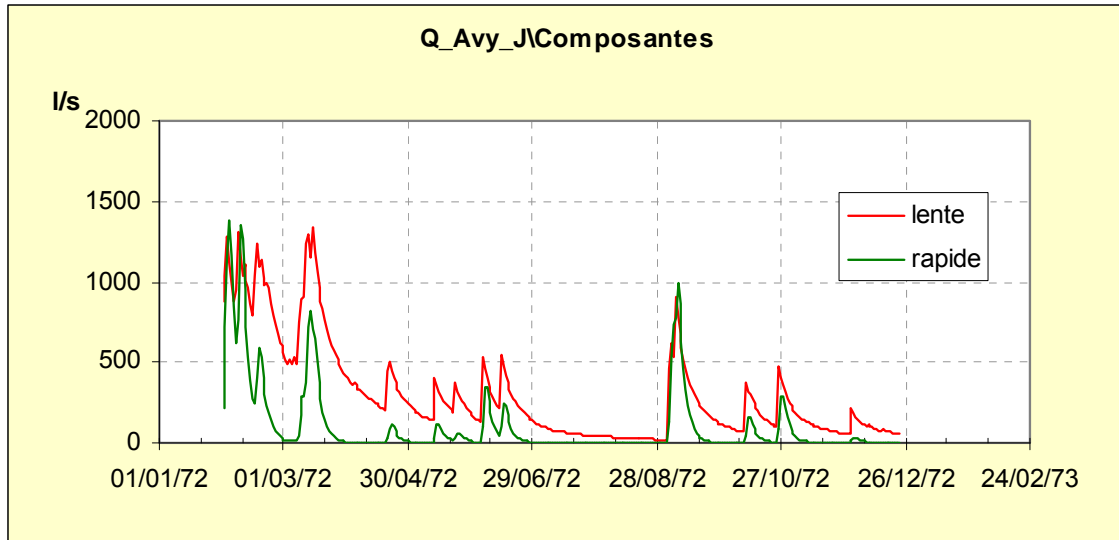


Illustration 38. Modèle de transfert « source Avy » : évolution des débits des composantes simulées (rapide et lente)

Année	Données en mm				Remarques
	Somme de pl_Op_Avy	Somme de Pl.eff.	Somme de Pl.eff.Lente	Somme de Pl.eff.Rapide	
1971	1144	659	181	69	de Mai à Déc.
1972	1648	1240	832	408	
1973	741	533	347	186	
1974	962	642	505	137	
1975	872	537	430	106	
1976	1336	900	591	309	
1977	1045	519	408	111	
1978	813	669	477	192	
1979	1050	694	355	340	
1980	690	376	299	77	
1981	735	415	337	78	
1982	799	415	303	113	
1983	606	245	168	77	
1984	978	563	342	222	
1985	547	271	229	42	
1986	907	563	393	171	
1987	1372	947	564	383	
1988	944	524	314	210	
1989	698	400	299	101	
1990	742	293	240	54	
1991	650	320	271	49	
1992	842	263	224	40	
1993	1139	673	467	206	
1994	1284	728	308	420	
1995	1017	550	384	166	
1996	1893	1413	824	589	
1997	1236	738	333	406	
1998	580	273	215	58	
1999	1144	548	328	220	
2000	941	328	221	108	
2001	946	374	254	120	
2002	1434	738	379	359	
2003	1303	849	474	375	
2004	999	539	392	148	
2005	679	186	151	35	
2006	819	373	221	152	
2007	597	219	181	38	
2008	1291	836	510	326	
2009	769	470	307	163	
2010	827	477	359	118	de Janv. à Oct

Illustration 39. Modèle de transfert « Sce Avy » : évolution de la pluie et de la pluie efficace ainsi que des lames d'eau associées aux composantes (rapide et lente) du modèle de transfert

L'utilisation du modèle de transfert « source Avy » permet de reconstituer les débits de la source d'Avy sur la période 1971-2010, à partir des données de précipitations (voir Illustration 68, Annexe 1). Le modèle calcule ainsi la pluie efficace associée (voir Illustration 69, Annexe 1). L'année 1972 a été particulièrement pluvieuse, c'est ce qui explique que la source ait coulé en été cette année-là. En contexte pluviométrique normal, la source d'Avy ne coule plus en période estivale. Les débits calculés par le modèle en étiage sont en général très faibles, inférieurs à 10 l/s (voir Illustration 71).

L'année 1972 a ainsi été caractérisée par un débit maximum de 3 m³/s, un débit moyen de 400 l/s, un débit médian⁴ de 200 l/s et un débit minimum obtenu en fin d'étiage supérieur à 30 l/s.

La reconstitution des débits sur l'ensemble de la chronique à partir du modèle a ainsi permis d'évaluer les débits moyen et médian sur la période 1971 – 2010. Ces derniers sont égaux à respectivement 240 l/s et 85 l/s. Les périodes d'assèchement de la source ont également été évaluées, elles ont lieu en moyenne une année sur deux avec des durées variables, de quelques jours à près de 4 mois en 1982. Ces résultats (débits et période d'assèchement) étant issus des résultats de la modélisation calée sur un cycle particulièrement humide (débit médian en 1972 plus de 2 fois supérieur au débit médian calculé sur l'ensemble de la chronique), il existe une incertitude importante sur les résultats du modèle. Malheureusement puisqu'il n'existe pas d'autres données sur cette source, il n'est pas possible de travailler sur une autre période hydrologique. Les résultats du modèle seront ainsi utilisés comme ordre de grandeur. Par ailleurs l'incertitude sur les débits calculés par le modèle sur la période simulée est égale à 20 %.

La recharge du compartiment Nord de l'aquifère jurassique dit de la Mosson calculée par le modèle (Illustration 40) est comprise entre 151 mm (2005) et 832 mm (1972) (824 mm en 1996). L'année 1996 était également particulièrement humide avec 824 mm de précipitation.

⁴ Le débit médian est la valeur de débit qui permet de partager la chronique de données en deux parties de même nombre d'éléments.

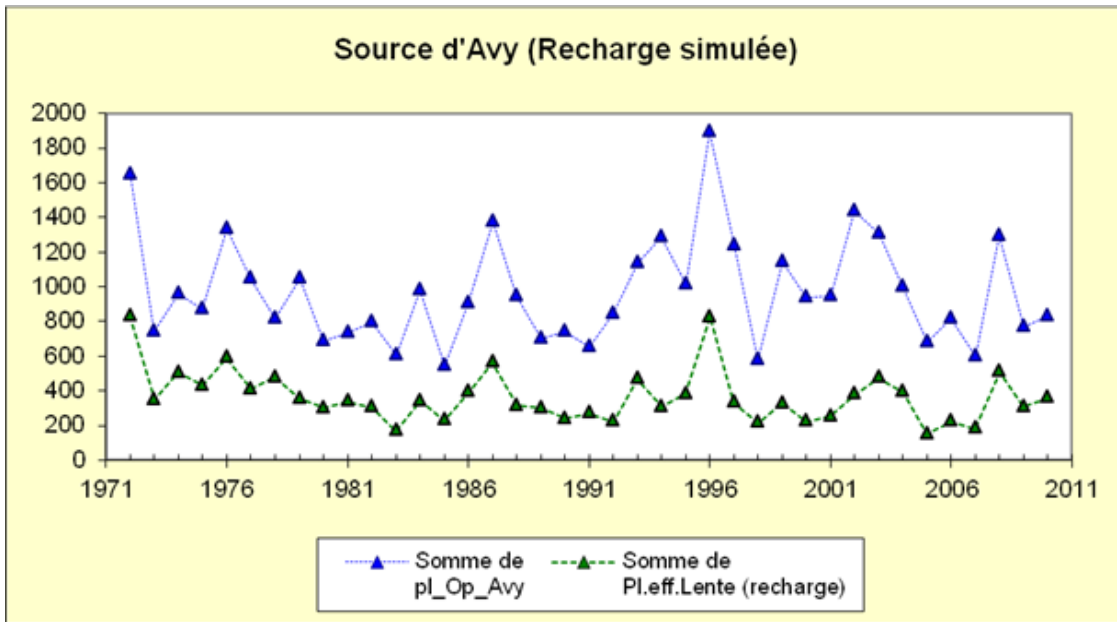


Illustration 40. Modèle de transfert « Sce Avy » : évolution de la pluie annuelle et de la lame d'eau associée à la composante lente (recharge) calculée par le modèle de transfert « source Ayy », période 1972-2010

Les débits spécifiques de la source sont également calculés, ils évoluent entre 5 l/s/km² en 2005 et 40 l/s/km² en 1996 (Illustration 41).

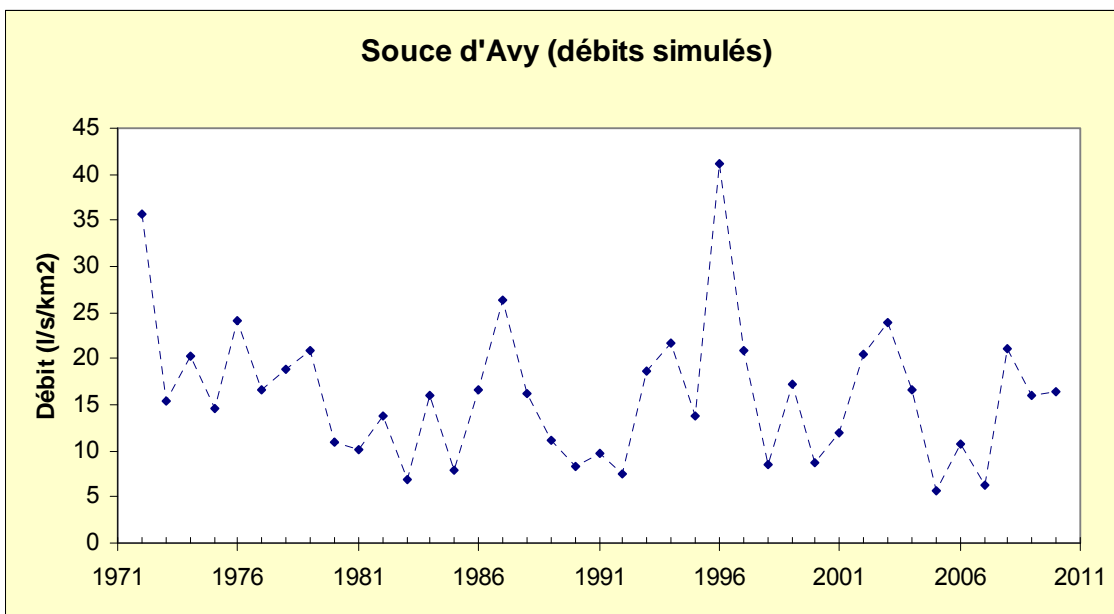


Illustration 41. Modèle de transfert « Sce Avy » : évolution du débit spécifique calculée par le modèle de transfert « source Ayy », période 1972-2010

Enfin, sur le graphique présenté sur l'illustration 42, la recharge annuelle et les débits moyens annuels sont mis en regard, permettant d'évaluer le rôle des précipitations dans l'évolution des débits.

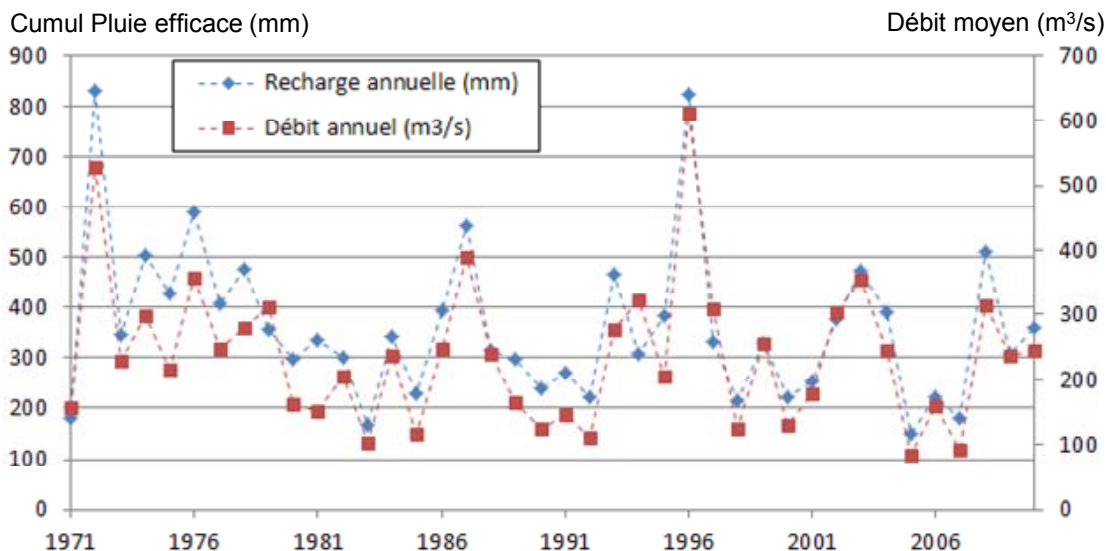


Illustration 42. Recharge annuelle calculée par le modèle et débit moyen simulé (période 1971-2010)

Ainsi, le modèle « source d'Avy » a été calé sur l'année 1972. Ce modèle permet d'évaluer les composantes lentes et rapides constituant l'écoulement de la source ; Le modèle a ensuite été utilisé en mode prévisionnel à partir de la chronique de pluie optimisée afin de reconstituer la chronique des débits sur la période 1972-2010.

Modèle de transfert « Midi Libre sans prélèvement » ou « Midi Libre Naturalisé »

La période antérieure à 1980 permet de qualifier le fonctionnement de l'hydrosystème dans un contexte de prélèvement faible, voire négligeable. Les prélèvements à Midi Libre ont débuté en 1978. Ils ont à priori peu d'impact sur la ressource puisque l'essentiel des eaux prélevées était réinjecté dans le système karstique après usage (voir § 1.2.1 – Midi Libre).

Le modèle de transfert⁵ « Midi Libre sans prélèvement » a été calé sur la période juin 1978 octobre 1980. Nous supposons que cette période est représentative d'un état

⁵ Modèle de transfert « Midi Libre sans prélèvement » caractérisé par deux composantes. La composante recharge par les pluies efficaces et la composante profonde en provenance du karst dit « de la Mosson » sont décrites par des modèles paramétriques convolution d'une fonction gaussienne par une fonction exponentiel décroissante).

naturel de fonctionnement (hypothèse de travail). Ainsi, la composante « prélèvement » n'est pas prise en compte par ce modèle.

Le modèle de transfert « Midi Libre naturalisé » a deux modules. Le premier module permet de qualifier la dynamique de recharge sur les calcaires jurassiques affleurant de la partie Nord-Est du Causse de la Gardiole (compartiment Sud). Le second module permet de prendre en compte la part de l'écoulement qui transite sous la couverture du bassin de Montbazin-Gigean en provenance des calcaires jurassiques qui affleurent au Nord de la Mosson (compartiment Nord). Dans le modèle, nous supposons que la dynamique de fonctionnement de l'écoulement en provenance du compartiment nord, s'il existe, est similaire à celui caractérisé à la source d'Avy. Cette hypothèse est réalisée car une partie de la recharge du compartiment Sud est effectuée au niveau du compartiment Nord (voir bilan hydrologique, paragraphe 3). L'absence de chronique piézométrique dans le compartiment nord n'a pas permis de tester d'autre alternative lors de la phase de caractérisation/calibration du modèle.

La chronique de débit de la source d'Avy simulée par le modèle de transfert « Source d'Avy » a donc été utilisée en entrée du modèle de transfert « Midi Libre » en connexion hydraulique de type piézo, ce faisant la variable est centrée, et donc seules les variations par rapport à la moyenne sont prises en comptes.

Le modèle est développé au pas de temps journalier à partir des données journalières de piézométrie, de débit à la source d'Avy et de pluie optimisée à Midi-Libre.

Les résultats du calage du modèle « piézo Midi Libre naturalisé » (sans prélèvements) sont présentés sur l'illustration 43. Le modèle permet de reproduire de manière très satisfaisante l'évolution piézométrique sur la période juin 1978 – octobre 1980 (Critère de Nash = 0,92).

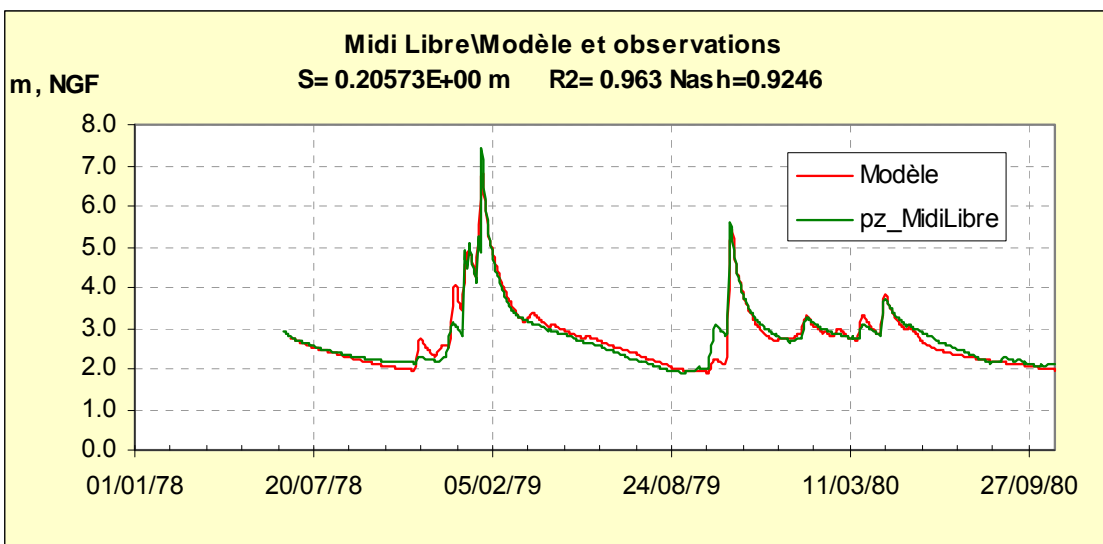


Illustration 43. Modèle de transfert «Piézo Midi Libre naturalisé » : évolution de la piézométrie mesurée et simulée sur la période 1978-1980

L'utilisation du modèle de transfert « Midi Libre naturalisé » permet de reconstituer l'évolution piézométrique en contexte naturel (absence de prélèvements) sur la période 1971-2008. Les résultats pour cette période sont présentés sur l'illustration 44.

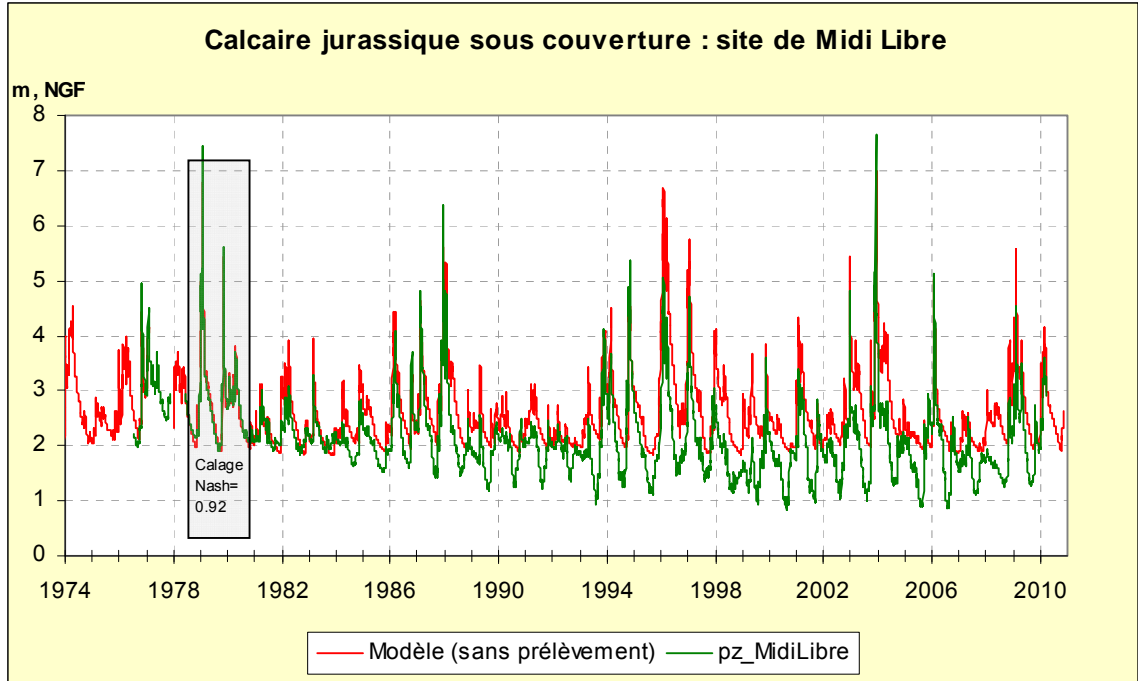


Illustration 44. Modèle de transfert «Piézo Midi Libre naturalisé » : évolution de la piézométrie mesurée et simulée sur la période 1971-2008

Résultats de la modélisation et apport à la caractérisation du fonctionnement du système

La piézométrie mesurée entre août 1976 et octobre 1977 est supposée représentative du fonctionnement de l'hydrosystème faiblement influencé par les prélèvements (hypothèse de travail). Le modèle permet de reproduire de manière très satisfaisante la piézométrie de cette période. Ces résultats valident le modèle de transfert « Midi Libre » dit « sans prélèvement ».

Nous constatons (Illustration 44) que la piézométrie observée commence à diverger nettement de celle calculée par le modèle à partir 1985. A partir de cette date la piézométrie d'étiage simulée par modèle (sans prélèvement) est supérieure à la chronique mesurée. Cette différence s'accroît progressivement jusqu'à atteindre 1 m au début des années 2000.

Cette différence s'explique par l'effet des pompages qui, rappelons-le, ne sont pas pris en compte dans la présente modélisation. L'écart ainsi mesuré au début des années 2000 indique que l'impact des prélèvements sur le système conduit à une diminution de la piézométrie d'environ 1 m.

On remarque également que les niveaux piézométriques d'étiages mesurés en 2010 se rapprochent de ceux simulés par le modèle de transfert sans prélèvement. Ce résultat laisse suggérer que l'effet des pompages sur le compartiment Sud a été moins important en 2010.

Aussi, les réponses impulsionnelles des deux composantes du modèle de transfert « Midi Libre sans prélèvements » peuvent être approchées (Illustration 45). Elles révèlent ainsi que la réponse du système à la pluie efficace est rapide et présente un maximum 6 jours après un épisode de recharge puis décroît exponentiellement pendant 100 jours environ. Ce comportement évoque la recharge puis la vidange d'un réservoir alimenté par les précipitations.

La réponse de l'écoulement en provenance des calcaires jurassiques dit « de la Mosson » (compartiment Nord) présente un caractère très inertiel, c'est ce que montre la réponse impulsionnelle associée à cette composante (Illustration 45). Le maximum de réponse est observé entre 20 et 50 jours après un épisode de recharge puis une décroissance très lente est observée. L'allure de la réponse impulsionnelle évoque un transfert de charge dans un milieu faiblement diffusif. Ce comportement pourrait qualifier la nature du transfert au sein de calcaires situés sous la couverture dans le bassin de Montbazin-Gigean.

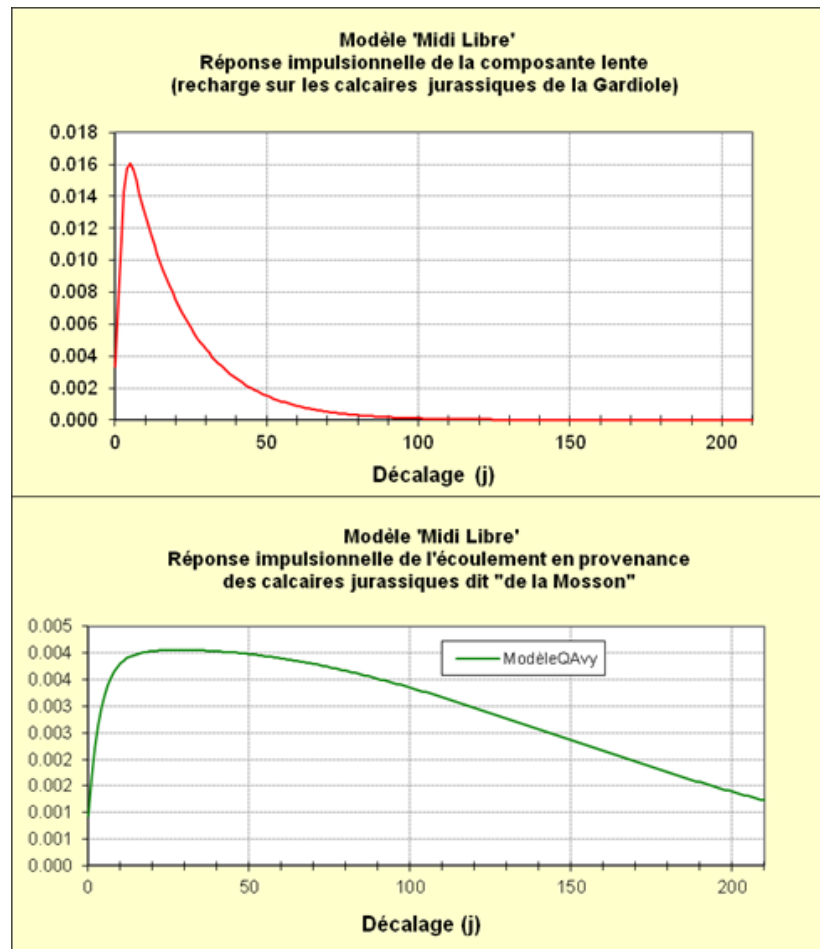


Illustration 45. Modèle de transfert «Piézo Midi Libre naturalisé » : réponse impulsionnelle de (1) la composante « recharge » par les pluies efficaces précipitées sur l'impluvium des calcaires jurassiques affleurants de la Gardiole (compartiment Sud) et de (2) la composante de l'écoulement en provenance des calcaires jurassiques dit « de la Mosson » (compartiment Nord) dont le fonctionnement a été qualifié par le modèle de transfert de la source d'Avy

Enfin, la recharge sur le compartiment Sud est calculée par le modèle. Elle est comprise entre 108 mm en 2005 et 879 mm en 1996 (Illustration 46).

Année	Données en mm		
	Somme de pl_Op_ML	Somme de Pl.eff. (Recharge Jurassique Gardioles)	Somme de Pl.eff.Lente (recharge Jurassique Mosson)
1971	987	544	181
1972	1157	795	832
1973	554	369	347
1974	718	425	505
1975	650	358	430
1976	1000	630	591
1977	770	328	408
1978	702	542	477
1979	967	645	355
1980	557	294	299
1981	606	342	337
1982	590	280	303
1983	471	200	168
1984	673	361	342
1985	372	161	229
1986	783	476	393
1987	1102	736	564
1988	679	328	314
1989	541	271	299
1990	587	199	240
1991	548	277	271
1992	619	144	224
1993	856	473	467
1994	995	436	308
1995	651	276	384
1996	1291	879	824
1997	832	423	333
1998	437	197	215
1999	875	363	328
2000	651	166	221
2001	777	362	254
2002	1040	485	379
2003	1158	721	474
2004	748	349	392
2005	533	108	151
2006	614	291	221
2007	473	174	181
2008	888	490	510
2009	625	368	307
2010	648	369	359

Illustration 46. Modèle de transfert « Midi Libre » : évolution de la pluie à Midi Libre et de la pluie efficace (recharge sur les calcaires jurassiques de la Gardiole, compartiment Sud) calculées par le modèle de transfert. La recharge des calcaires jurassiques dit « de la Mosson » (compartiment Nord) calculée par le modèle de transfert « sce d'Avy » est également reportée

2.2.2. Reconstitution des niveaux piézométriques avec prélèvements

Une fonction d'entrée spécifique au pompage a été insérée dans le modèle précédemment développé (Illustration 47). Il s'agit de la composante pompage. Cette fonction dite « peigne » est définie en avril de chaque année à partir des chroniques annuelles de prélèvement sur le compartiment Sud. La réponse impulsionnelle est calculée lors de la phase de calage du modèle de transfert et permet de reproduire l'impact lié aux prélèvements saisonniers. Le choix du niveau de référence est crucial lors de la phase de calage, l'effet des pompages ne pouvant être évalué que pour les périodes où le niveau piézométrique est inférieur à ce niveau de référence. En absence de prélèvement, ce niveau de référence permet de fixer le niveau vers lequel tendrait naturellement le système en absence de recharge. Dans cette étude, la valeur optimale du niveau de référence défini par calage est de 1,95 m NGF.

Le principal prélèvement sur le compartiment est effectué sur le site de la Lauzette, avec en moyenne sur les 10 dernières années un volume de $2,2 \cdot 10^6$ m³/an. Or les volumes prélevés sur ce site ne sont connus qu'à partir de 2001, alors que la mise en activité du site date de 1988. C'est pourquoi, faute de données antérieures à 2001 au principal captage, la modélisation sera effectuée à partir de cette date et ne prendra pas en compte les années antérieures, bien qu'il existe des données de prélèvements sur les autres ouvrages. La chronique est reconstituée pour 1999-2000 à partir des données partielles pour permettre l'initialisation du modèle.

Ainsi, la somme des principaux prélèvements (Lauzette, Lou Garrigou, Flès, Midi-Libre irrigation) sur la période 2000-2010 est fournie (Illustration 47). Le débit moyen annuel prélevé sur le compartiment Sud pour la période est égal à $3,1 \cdot 10^6$ m³/an.

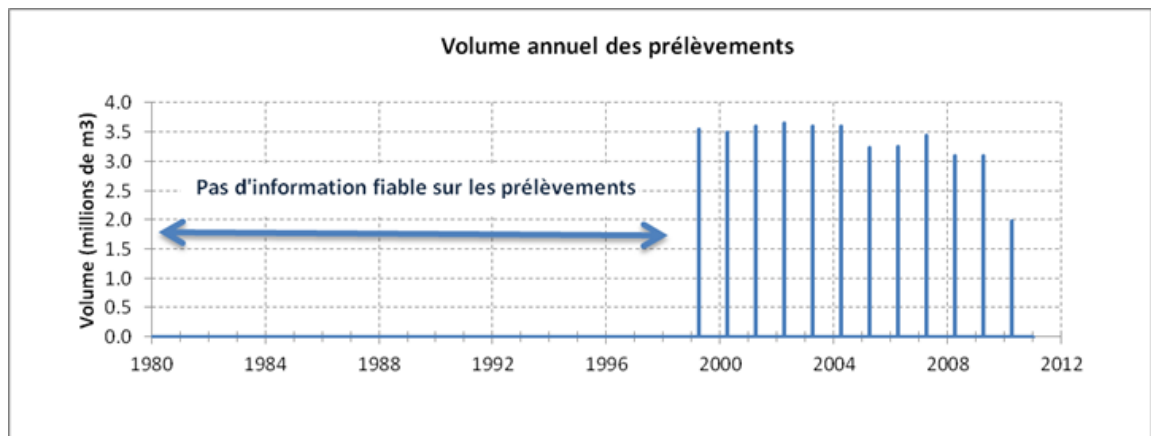


Illustration 47. Evolution des prélèvements annuels pris en compte dans la modélisation

La prise en compte de la part de l'écoulement qui transite sous la couverture du bassin de Montbazin-Gigean en provenance des calcaires jurassiques du compartiment Nord ne permet pas d'améliorer les résultats de la simulation (résultats non présentés). Les premiers résultats de la modélisation montrent que l'information apportée par la composante recharge sur le compartiment Nord, est, en terme de signal, masquée par « la composante pompage » qui s'exprime de manière importante dès le mois de mai.

Le modèle est ainsi repris en supprimant cette composante recharge sur le compartiment Nord.

Les résultats du calage du modèle « piézo Midi Libre avec prélèvements » sont présentés sur l'illustration 48. Bien qu'il existe des différences sensibles sur certaines périodes (janvier à mars 2002 ou mars 2005) le modèle permet dans l'ensemble de reproduire de manière très satisfaisante l'évolution piézométrique mesurée sur cette période (mars 2000 - février 2006, Nash = 0.84). Les écarts observés sont liés aux erreurs sur la modélisation mais aussi à la variabilité des précipitations.

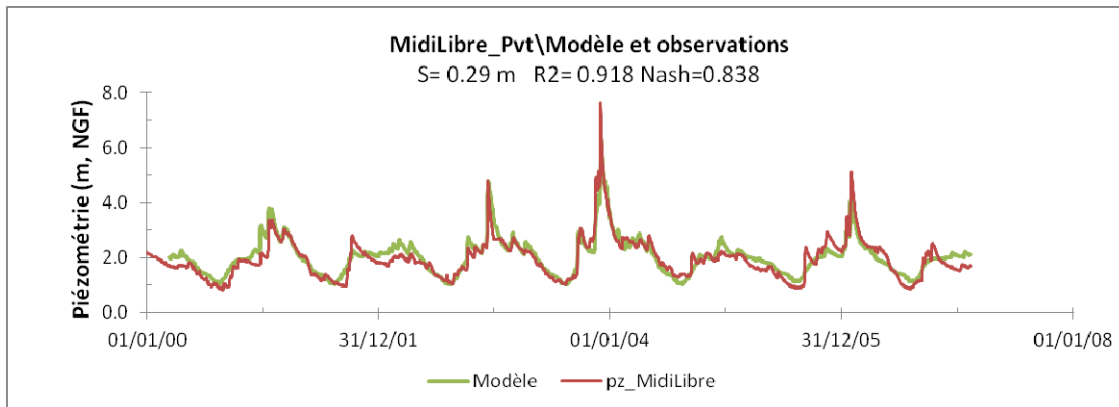


Illustration 48. Modèle de transfert «Piézo Midi Libre avec prélèvements » : évolution de la piézométrie mesurée et simulée sur la période de calage 2000-2006

Les réponses impulsionnelles des composantes « recharge » et « prélèvement » sont présentées sur l'illustration 49. La réponse du système à la pluie efficace est rapide et présente un maximum 6 jours après un épisode de recharge puis décroît durant 80 jours. Les deux réponses impulsionnelles « recharge » définies sur les modèles « naturalisés » et « avec prélèvements » sont proches, ce qui est cohérent. La réponse impulsionnelle des prélèvements présente un maximum pour des décalages de l'ordre de 120-140 j, ce qui coïncide à la période fin juillet mi-août (1 avril + 120j ou 140 j). L'effet des pompages est perceptible sur la piézométrie pour des décalages de 30 jours environ, soit à partir du mois de mai.

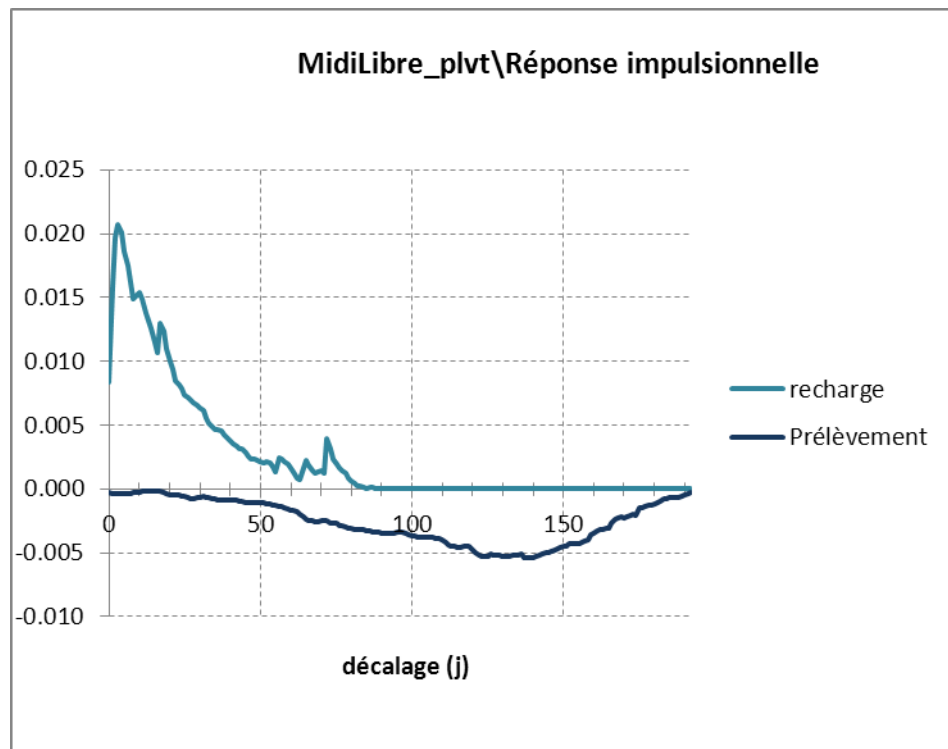


Illustration 49. Modèle de transfert «Piézo Midi Libre avec prélèvements» : Réponses impulsionnelles de la recharge et du pompage

De plus, la composante « prélèvement » contribue à expliquer près de 1 m de variation piézométrique lors des périodes estivales (Illustration 50). Ce résultat en terme d'impact des prélèvements sur la piézométrie est comparable à ce qui a été défini à partir du modèle naturalisé (paragraphe 2.2.1).

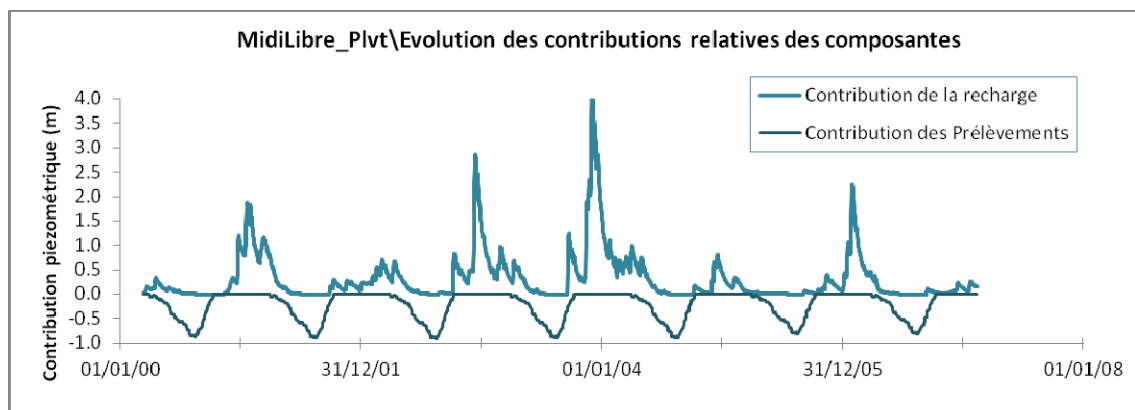


Illustration 50. Modèle de transfert «Piézo Midi Libre avec prélèvements» : évolution des contributions relatives des composantes du modèle sur la période de calage 2000-2006

Le modèle de transfert « Midi Libre avec prélèvements » calé sur la période 2000-2006 puis utilisé en mode prévisionnel permet de reconstituer l'évolution piézométrique

mesurée après 2006 (Illustration 51). Le modèle permet de reproduire de manière très satisfaisante les évolutions observées. Avant 2000, l'absence de données fiables sur les prélèvements ne permet pas d'évaluer la piézométrie des périodes estivales. Aussi, les périodes de recharge apparaissent globalement bien reproduites.

Il faut également noter que le modèle représente de façon très satisfaisante la période récente de remontée des niveaux piézométriques. Cette adéquation entre chronique simulée et observée permet de valider le modèle.

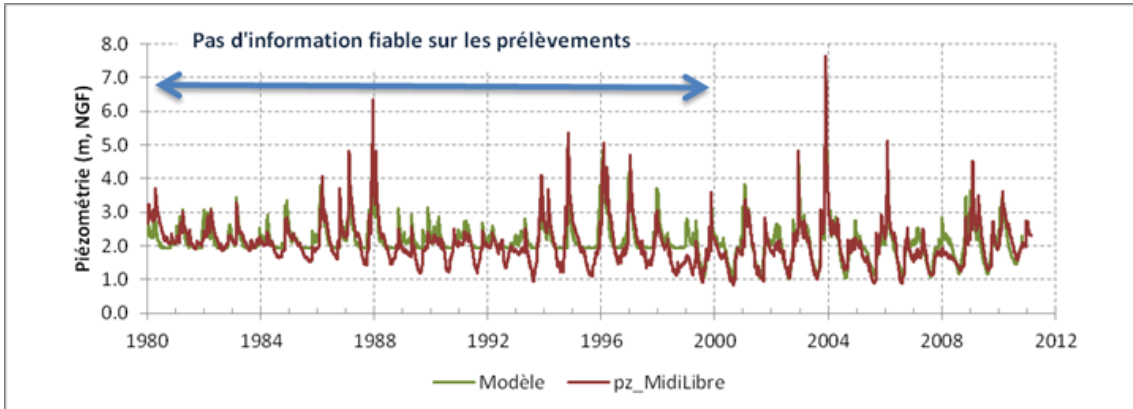


Illustration 51. Modèle de transfert «Piézo Midi Libre avec prélèvement» : évolution de la piézométrie mesurée et simulée sur la période 1980-2010

2.3. REMARQUE

Dans l'ensemble les niveaux d'étiages sont bien reproduits à l'exception des étiages 2005 et 2006 où la piézométrie simulée est surestimée de 20 à 30 cm (Illustration 52). Rappelons que ces deux cycles proches respectivement des décennaux et quinquennaux secs ont été caractérisés, d'après les volumes de prélèvements déclarés à l'Agence de l'Eau, par des volumes prélevés inférieurs à la moyenne des prélèvements sur la période 2001-2007.

Aussi, les autres cycles simulés étant bien représentés, le modèle a été testé en utilisant pour les années 2005 et 2006 d'autres valeurs de prélèvements. Une bonne reconstitution de ces deux périodes d'étiages est obtenue avec des prélèvements de $4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Illustration 52). Il semble ainsi probable que pour ces deux cycles les débits réellement prélevés aient été supérieurs ($4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ au lieu de $2,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ et $3,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$).

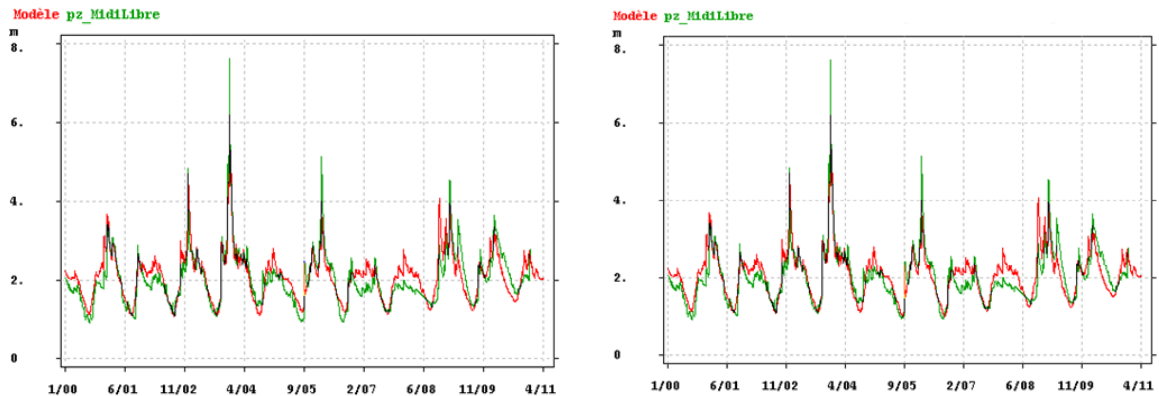


Illustration 52. Piézométrie simulée et mesurée à Midi-Libre avec les chroniques de débit déclarées à gauche et des débits prélevés augmentés en 2005 et 2006 à droite

2.4. APPORT DE L'OUTIL MODELISATION : SYNTHÈSE

Le modèle « Piézo Midi Libre sans prélèvement » permet de reconstituer sur la période ancienne la piézométrie à Midi-Libre en faisant intervenir une composante recharge au niveau du compartiment Nord. Le modèle met ainsi en évidence le transfert de flux du compartiment Nord vers le compartiment Sud. Aussi, la structure de la réponse impulsionnelle associée à cette composante caractérise un écoulement via un milieu faiblement diffusif. Enfin, les résultats de la modélisation montrent que les bas niveaux d'étiages de la chronique mesurée sont inférieurs de 1 m à la chronique simulée sans prélèvement. Ceci indique que les pompages conduisent à un abaissement des niveaux d'étiages de l'ordre de 1 m.

Concernant le modèle « Piézo Midi Libre avec prélèvement » il permet de bien reproduire les évolutions piézométriques à Midi-Libre, dès lors que les prélèvements mensuels sont bien connus (période 2000-2010). Ce modèle quantifie l'impact des pompages en terme de piézométrie tout au long de l'année. La composante prélèvement contribue à un abaissement de la piézométrie d'étiage d'environ 1 m pour la période 2000-2006. Pour la période récente, l'impact sur la piézométrie est plus faible, les prélèvements étant inférieurs.

Ce modèle sera utilisé ultérieurement avec en entrée différents scénarios (climatiques et de prélèvements), dans le but d'appréhender les évolutions piézométriques associées et pouvoir ainsi trancher quant aux volumes prélevables envisageables. En fonction des niveaux piézométriques d'étiage simulés et des niveaux piézométriques de référence définis par la suite, les volumes prélevables pourront être envisagés.

3. Bilan hydrologique

Le bilan hydrogéologique comprend en entrée la recharge par les pluies efficaces sur les bassins d'alimentation Nord et Sud. La sortie est constituée par les prélèvements et par les débits issus de l'exutoire principal : la source d'Avy.

Des pertes existent au niveau de la Mosson, il y a également des arrivées du karst entre la source d'Avy et la source du Martinet. La Mosson au Nord de la source d'Avy est en partie alimentée par des sources temporaires (notamment les arrivées d'eau dans le secteur de Montlobre) issues d'un autre karst (compartiment occidental de la source du Lez). A ce jour les sorties d'eau du karst alimentant la Mosson dans le compartiment Nord ne sont pas connus, ni le volume infiltré vers le karst via des pertes dans le lit de la Mosson. Fautes de mesures de débit différentiel sur le cycle hydrologique ces entrées et sorties du système ne pourront pas être quantifiées dans le présent bilan hydrologique. De ce fait il présentera une part d'incertitude. Dans le cadre des études futures préconisées (compartiment Nord), un volet sera dédié à la caractérisation des relations karst – Mosson.

3.1. ANALYSE ET BILAN DES PRELEVEMENTS

3.1.1. Compartiment Sud

Les prélèvements à Midi-Libre pour la climatisation ne seront pas pris en compte dans ce bilan. En effet la totalité de ces volumes prélevés était réinjectée dans l'aquifère et n'impactait donc pas la ressource. Seuls les prélèvements pour l'irrigation seront pris en compte.

Le principal prélèvement sur le compartiment est effectué sur le site de la Lauzette, avec en moyenne sur les 10 dernières années un volume de $2,2 \cdot 10^6$ m³/an. Les volumes prélevés n'étant connus qu'à partir de 2001, le bilan annuel des prélèvements ne sera effectué que depuis 2001, soit sur une période de 10 ans.

Ainsi, la somme des principaux prélèvements (Lauzette, Lou Garrigou, Flès, Midi-Libre irrigation) sur la période 2000-2010 est fournie Illustration 53. Le débit moyen annuel prélevé sur le compartiment Sud pour la période est égal à $3,1 \cdot 10^6$ m³.

Pour la période 2001-2009 les prélèvements totaux sont relativement stables à +/- 10%. L'année 2010 est caractérisée par un débit prélevé total d'environ $2,3 \cdot 10^6$ m³/an, soit inférieur de 25 % par rapport à la moyenne des débits de la décennie.

D'un point de vue local, une diminution significative des prélèvements s'opère :

- à partir de 2005 à Midi-Libre, avec des débits pour l'irrigation qui passent d'environ 70 000 à moins de 20 000 m³/an,

- à partir de 2008 à Lou Garrigou, avec des débits qui passent à 30 000 m³ alors que le volume annuel moyen des 6 années précédentes atteignait 140 000 m³,
- en 2010 à la Lauzette, les prélèvements sont inférieurs à 1,5.10⁶ m³/an alors que la moyenne des 10 années précédentes était égale à 2,2.10⁶ m³/an soit 30 % inférieure,
- de 2003 à 2007 les prélèvements annuels au Flès sont en moyenne égaux à 850 000 m³, de 2008 à 2010 ils sont égaux à 740 000 m³, soit une légère diminution d'environ 15 %.

3.1.2. Compartiment Nord

Les prélèvements sur le compartiment Nord pour la période 2001-2010 sont en moyenne de 270.10³ m³. Ils sont faibles devant ceux du compartiment Sud. Ils sont constitués essentiellement par les prélèvements de la source du Martinet avec un volume annuel compris entre 200 et 300.10³ m³. Il existe des prélèvements secondaires à Béton Mialanes (40.10³ m³ par an environ jusqu'à 2004) ainsi que le captage dans les calcaires pour l'arrosage du stade de la Mosson (environ 4 000 m³/an).

La synthèse des débits prélevés sur les compartiments Nord et Sud pour la période 2001-2010 est présentée Illustration 53.

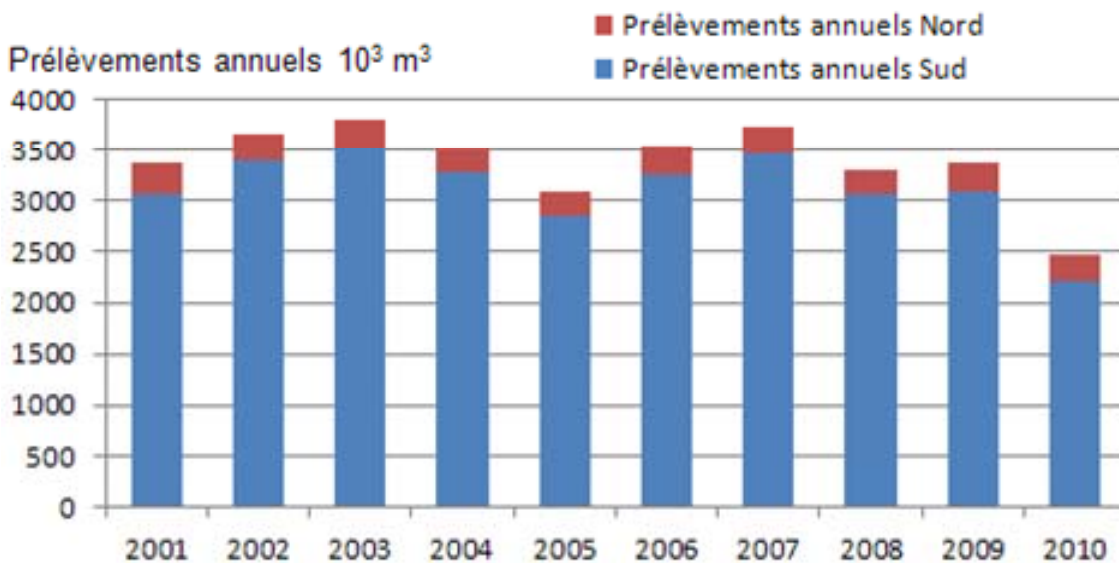


Illustration 53. Prélèvements annuels totaux sur les compartiments Nord et Sud pour la période 2001-2010

3.2. VOLUME D'EXHAURE ISSU DE LA SOURCE D'AVY

Le volume annuel moyen déduit de la reconstitution des débits de la source sur la période 2001-2010 par la modélisation Tempo est égal à $6,6.10^3 \text{ m}^3$ (§ 2.2.1. Modèle de transfert source d'Avy).

3.3. RECHARGE DES COMPARTIMENTS NORD ET SUD

La recharge sur le compartiment Nord est définie à partir des Pluies efficaces calculées avec le modèle de transfert de la source d'Avy. La surface du bassin versant calculée lors de la modélisation est $14,85 \text{ km}^2$. La surface du compartiment Nord correspondant aux affleurements calcaires définis à dire d'expert (Vigouroux, 2008) est égale à 15 km^2 (Illustration 1). Cette valeur est en cohérence avec la surface calculée pour la simulation de la source d'Avy. L'aire d'alimentation de la source représente donc la quasi-totalité de la surface des calcaires affleurants. Les précipitations moyennes annuelles pour la période 2001-2010 sont égales à 970 mm . La pluie efficace calculée par le modèle est quasiment deux fois inférieure, égale à 510 mm . La recharge moyenne annuelle est ainsi égale à $7,7.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

Pour le compartiment Sud, les pluies utilisées sont celles définies par la modélisation réalisée sur la piézométrie du site Midi-Libre. Les précipitations moyennes sur la période sont égales à 750 mm . La pluie efficace est égale à 370 mm .

La surface du bassin d'alimentation Sud définie à partir de la surface d'affleurement des calcaires (voir Illustration 1) est égale à $5,7 \text{ km}^2$ (Vigouroux, 2008). Il s'agit de la partie de la Gardiole où les calcaires jurassiques sont à l'affleurement entre la limite de captivité et la Mosson. La recharge moyenne annuelle du compartiment Sud est ainsi égale à $2,1.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

Les données permettant de calculer la recharge sont précisées ci-après (Illustration 54).

	Zone Nord	Zone Sud
Surface (km ²)	15	5.7
Pluie moyenne (mm)	970	750
Peff moy 10 ans (mm)	510	370
Recharge (10 ⁶ m ³ /an)	7,7	2,1

Illustration 54. Recharge annuelle moyenne sur les 2 compartiments

La recharge annuelle moyenne sur les 10 dernières années pour l'entité Mosson est proche de $10.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

3.4. INCERTITUDES

Concernant la recharge, ce terme sera défini avec une incertitude liée aux approximations sur la surface des bassins d'alimentation et sur le calcul de la pluie efficace. L'absence de pluviomètre de référence situé sur l'impluvium karstique de la source de l'Avy peut engendrer une forte incertitude dans l'estimation des flux de recharge. Dans cette étude, la chronique de pluie est estimée à partir des postes de St-Martin de Londres et de Montarnaud. Compte tenu, de la distance des stations pluviométriques par rapport au site d'étude, l'incertitude sur l'entrée est évaluée entre 10 et 20 %, valeur communément admise dans le domaine de l'hydrogéologie.

Le débit de la source d'Avy a pu être reconstitué à partir de la modélisation. Pour l'année 1972, le bilan du volume écoulé annuel simulé ($14,3.10^6 \text{ m}^3$) a été comparé à celui mesuré ($13,2.10^6 \text{ m}^3$). Le modèle a surestimé pour cette année les volumes de moins de 10 %. Cette méthode mise en œuvre est jugée « robuste », si bien que l'on peut évaluer que les volumes simulés sont corrects. L'incertitude sur les volumes sortants est ainsi évaluée à 20 %.

Concernant les prélèvements, leur détermination pour la période récente est assez fiable. L'erreur sur ces données est inférieure à 10 %.

Ainsi la réalisation du bilan va permettre de caractériser les ordres de grandeur des différents termes. Il faudra tout de même garder à l'esprit que compte tenu des approximations il existe une incertitude de l'ordre de 20 % sur ce bilan.

3.5. SYNTHESE DU BILAN HYDROGEOLOGIQUE

Les différents termes du bilan (Illustration 55) révèlent que la recharge annuelle globale (compartiments nord et sud) est d'environ $10.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$. Les sorties du système (prélèvements + volume écoulé source) sont également égales à $10.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$. Ce bilan est ainsi relativement équilibré.

Ce bilan montre que le compartiment Nord est globalement excédentaire de $0,8.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$, alors que le compartiment Sud est lui déficitaire d'un volume équivalent ($1.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$). Ce bilan contribue à mettre en évidence les relations qui existent entre les deux compartiments, les transferts s'effectuent ainsi au sein des formations carbonatées sous le bassin de Montbazin-Gigean.

	Zone Nord	Zone Sud	Global entité
Prélèvements ($10^6 \text{ m}^3/\text{an}$)	0,3	3,1	3,4
Volume source	6,6	0	6,6
Recharge ($10^6 \text{ m}^3/\text{an}$)	7,7	2,1	9,9
Bilan ($10^6 \text{ m}^3/\text{an}$)	+ 0,8	- 1	-0,2

Illustration 55. Bilan sur les deux compartiments carbonatés

Compte tenu de l'incertitude et de la méconnaissance du terme « échange karst-Mosson » on peut conclure sur le fait que le bilan à l'échelle de l'entité est globalement équilibré.

Les volumes d'exhaure de la source d'Avy représentent 2/3 des sorties, alors que les prélèvements dans le système représentent le tiers restant.

Ce bilan révèle qu'une part importante est évacuée dans la partie amont du système via la source d'Avy. Cette source temporaire située à l'amont du système constitue une source de trop plein. L'étude du fonctionnement hydrogéologique de cette source devrait ainsi permettre de caractériser les ressources amont de cette entité.

4. Caractérisation des niveaux piézométriques de référence

A l'issue de la synthèse de l'état des connaissances sur le compartiment Nord (§ 1.2.4, p 46), il a été montré que les informations à disposition aujourd'hui sur ce compartiment ne permettaient pas de caractériser un niveau piézométrique de référence. Les études ultérieures à mener pour atteindre cet objectif seront détaillées au chapitre 6.

La caractérisation des niveaux de référence de l'aquifère jurassique captif dans la partie nord-est de la Gardiole va être réalisée à partir de la chronique Midi-Libre (Illustration 15). En effet cette dernière, du fait de sa longueur, permet de caractériser le système selon les conditions successives énumérées ci-après :

- une période ancienne (ante 1984) associée à des prélèvements limités dans l'aquifère karstique et des niveaux piézométriques d'étiages hauts (environ + 2 m NGF) ;
- une période (1985 - 1993) où la piézométrie d'étiage diminue (- 1 m), elle est associée à des prélèvements importants en augmentation sur l'ensemble du compartiment Sud ;
- une période de stabilisation des niveaux d'étiages à environ + 1 m NGF (1994 – 2007), en contexte de prélèvements importants ;
- une période d'augmentation de la piézométrie d'étiage (à partir de 2007) associée à des diminutions des prélèvements.

Cette chronique, grâce aux différents états du système qu'elle représente, va pouvoir être utilisée pour caractériser les niveaux piézométriques de référence.

Les chroniques acquises au Flès (2003-2010) et à la Lauzette (2004-2010) sont trop courtes pour pouvoir caractériser les différents états de l'aquifère. Nous avons toutefois pu vérifier (chapitre 1.2.1) que les niveaux d'étiages étaient bas en début de chronique (2003-2004) avec + 1 m NGF à la Lauzette et + 0,5 m NGF au Flès puis qu'ils augmentaient à partir de 2007 pour atteindre en 2010 respectivement + 1,8 m NGF et + 1 m NGF. L'augmentation de la piézométrie à court terme est donc observée sur l'ensemble du compartiment.

Le suivi de la conductivité électrique réalisé à Midi-Libre et sur les sites de captage AEP permet d'appréhender les tendances sur la qualité de la ressource. Les périodes de bas niveaux piézométriques d'étiage sont associées sur l'entité à des augmentations de la conductivité électrique et donc à une dégradation de la qualité des eaux. A l'inverse, la qualité s'améliore avec la remontée des niveaux piézométriques.

Suite à l'analyse des données piézométriques, de conductivité électrique et des résultats de la modélisation, les niveaux de références ont pu être définis sur le site de Midi-Libre. Ces niveaux sont :

Niveau initial du système défini à partir des chroniques :

Il correspond au niveau initial sur le système. Sur la chronique, pour la période 1976-1980 (succession de cycles humides par rapport à la médiane), les bas niveaux d'étiages sont compris entre 1,9 m (1979) et 2,1 m (1978) soit un niveau d'étiage à **+ 2 m NGF +/- 10 cm**.

Niveau initial du système à partir du modèle Midi Libre naturalisé :

Le modèle Midi Libre naturalisé a été utilisé pour caractériser les niveaux piézométriques d'étiage non influencés par les prélèvements en testant différents scénarios climatiques. Ces scénarios ont été élaborés à partir des différents quantiles calculés à partir d'une analyse statistique mise en œuvre sur la période 1971-2010. Ce travail est présenté par la suite au paragraphe 5.2.1. Les résultats des modélisations montrent que les niveaux piézométriques minimum d'étiage varient peu selon les différents scénarios climatiques, ils sont compris entre 1,8 m NGF pour un décennal sec et 2,0 m NGF pour un décennal humide (Illustration 56). L'impact climatique sur les niveaux d'étiage est ainsi d'environ 20 cm. Le modèle permet de définir le niveau piézométrique non influencé, il est égal à **1,9 m NGF +/- 10 cm**.

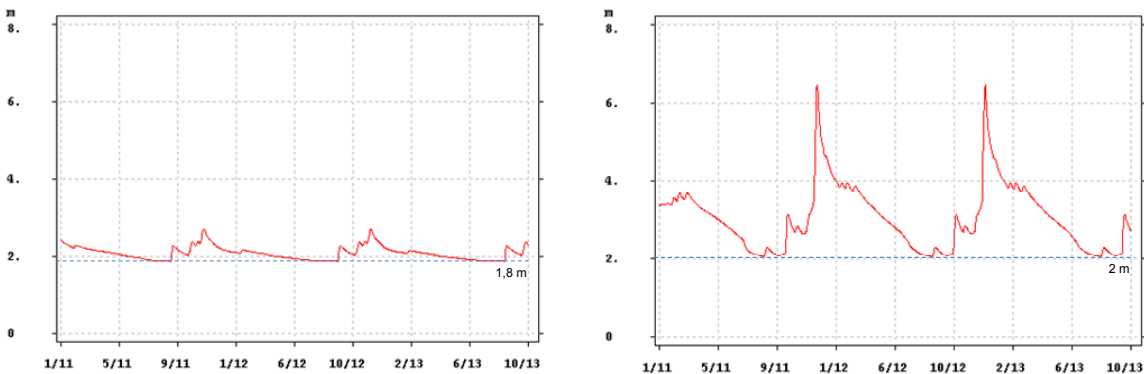


Illustration 56. Niveaux piézométriques simulés avec le modèle Midi Libre naturalisé pour des cycles hydrologiques de type décennal sec (à gauche) et décennal humide (à droite)

Ce niveau, résultat de la modélisation, est proche du précédent défini à partir des chroniques. Il permet ainsi de le valider. On conservera toutefois la valeur **2 m NGF pour le niveau initial moyen du système** correspondant à l'observation, et également présent dans la gamme (supérieure) de niveau calculé par le modèle (1,9 m NGF +/- 10 cm).

Le Niveau Piézométrique de Crise Renforcée (NPCR) :

Il s'agit du « *niveau à ne jamais dépasser et donc d'interdiction des pompages à l'exception de l'alimentation en eau potable, qui peut faire l'objet de restrictions* ».

Ce niveau a été défini à partir des chroniques piézométriques et de conductivité électrique. Pour des niveaux inférieurs ou égaux à 1 m NGF, la qualité de la ressource n'est pas assurée, la conductivité électrique augmentant jusqu'à atteindre des valeurs de l'ordre de 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sur certains captages. Ce niveau piézométrique a été atteint voire dépassé à 5 reprises au cours des étiages de la période 2000-2006. Aussi, cette période est associée à une augmentation progressive de la conductivité électrique. Ainsi, le **Niveau Piézométrique de Crise Renforcé (NPCR) est fixé à 1 m NGF** (Illustration 57).

Niveau Piézométrique d'Alerte (NPA) :

Il correspond au « *niveau piézométrique de début de conflits d'usages et de premières limitations des pompages* ». Du fait des connexions entre le compartiment Sud et un réservoir plus minéralisé, le niveau piézométrique d'alerte représente le niveau au-dessous duquel il existe des risques d'intrusion d'eau plus minéralisées potentiellement dommageables pour la qualité de la ressource. Aussi ce niveau est défini pour permettre la mise en place de mesures visant à éviter ou retarder l'atteinte du NPCR. Cette valeur est fixée à **1,2 m NGF** (Illustration 57). Le NPA est donc supérieur au NPCR de 20 cm.

Relations NPA et NPCR :

Ces deux seuils sont espacés de 20 cm. Les tarissements observés en période d'étiage sont caractérisés par des vitesses de baisse de niveau d'eau dans l'aquifère comprises entre 0,5 et 1 cm/j. Ces vitesses sont fonction de la recharge antérieure et surtout des volumes prélevés. La durée séparant le franchissement des deux seuils en l'absence de recharge conséquente est ainsi comprise entre 20 et 40 jours.

L'illustration 57 permet d'appréhender les occurrences de dépassements des différents niveaux. Ainsi **en contexte de prélèvements forts** (période 2000-2008) le NPA a été franchi 7 fois, le NPCR a été atteint voir dépassé à 5 reprises.

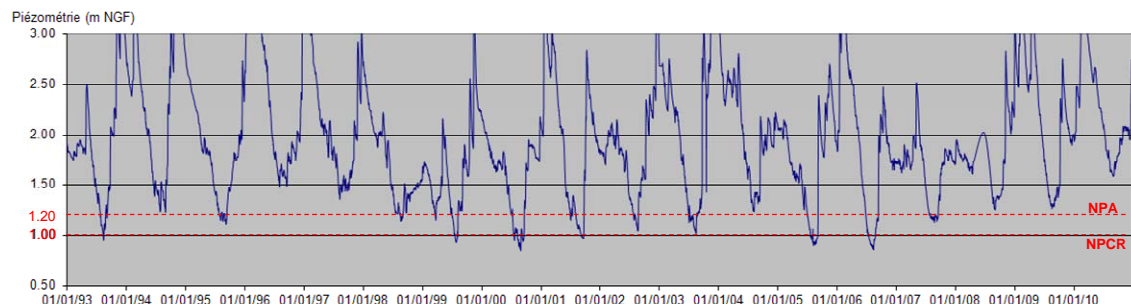


Illustration 57. Définition des NPA et NPCR

Les caractéristiques associées à ces franchissements (durée, prélèvements annuels, pluviométrie annuelle ...) sont précisées dans le tableau ci-après.

Année	Durée sous le NPA (j)	Durée sous le NPCR (j)	Prélèvements ($10^6.m^3$)	Pluviométrie (mm)	Quantile
2000	75	35	3,5-4	651	Médiane
2001	50	15	3	777	Médiane
2002	30		3,4	1040	Décennal humide
2003	47		3,5	1158	Décennal humide
2005	70	46	2,8	533	Quinquennal sec
2006	70	33	3,3	614	Quinquennal Sec - Médiane

Illustration 58. Caractéristiques des périodes d'alertes

Ces dépassements de seuils ont lieu lorsque les prélèvements sont forts, ils concernent tout type d'année en terme de pluviométrie (du décennal sec au décennal humide). Les prélèvements semblent ainsi avoir un rôle prépondérant par rapport à la recharge dans les baisses des niveaux de l'aquifère. Les impacts respectifs de la pluviométrie et des prélèvements seront précisés dans la partie suivante grâce à l'outil de modélisation.

5. Caractérisation des volumes prélevables

Le volume prélevable correspond au volume qui peut être prélevé dans l'aquifère sans risquer de mettre en péril la ressource.

A l'issue de la synthèse de l'état des connaissances sur le compartiment Nord (§ 1.2.4, p 46), il a été montré que les informations à disposition aujourd'hui sur ce compartiment ne permettaient pas d'y caractériser les volumes prélevables. Les études ultérieures à mener pour atteindre cet objectif sont détaillées dans le chapitre 6.

A l'inverse sur le compartiment Sud, l'analyse des données ainsi que la mise en œuvre de la modélisation va permettre de caractériser ces volumes prélevables. Aussi, la recharge du compartiment Sud étant en partie réalisée par un transfert des eaux du compartiment Nord sous le bassin de Montbazin-Gigean, **la définition des volumes prélevables sur le compartiment Sud restera valide tant que les prélèvements seront du même ordre de grandeur que ceux qui existent actuellement sur le compartiment Nord**. Ceci étant, dans le cas où une gestion intégrée de la ressource n'impactant pas les volumes transférés vers le Sud serait possible, les volumes prélevables qui seront définis dans le cadre de la présente étude pourront être conservés, malgré l'augmentation des prélèvements sur le compartiment Nord. Dans tous les cas, ces points devront être précisés lors d'une étude future réalisée sur le compartiment Nord (voir § 6).

Les volumes prélevables vont être caractérisés selon deux méthodes distinctes. La première, basée sur l'analyse des chroniques, permet d'approcher de façon globale et approximative ces volumes. La seconde, utilisant le modèle développé sur Midi-Libre (§ 2.2.2, p 65) permettra de définir ce volume de façon plus précise, en testant notamment différents scénarios climatiques et de prélèvements.

5.1. APPROCHE DES VOLUMES PRELEVABLES A PARTIR DE L'ANALYSE DES DONNEES

Le bilan annuel des prélèvements réalisés sur le compartiment Sud révèle **une relative stabilité** pour la période 2000-2009 (environ +/- 10%) avec un prélèvement moyen égal à **3,1.10⁶ m³/an**. L'année 2010 est caractérisée par un débit prélevé total d'environ 2,2.10⁶ m³/an, soit inférieur de 25 % à la moyenne des débits des 10 années précédentes. Aussi, localement, des diminutions significatives des prélèvements s'opèrent :

- à partir de 2005 à Midi-Libre, avec des débits pour l'irrigation qui passent d'environ 70 000 à moins de 20 000 m³/an ;
- à partir de 2008 à Lou Garrigou, avec des débits qui passent à 30 000 m³ alors que le volume annuel moyen des 6 années précédentes atteignait 140 000 m³ ;

- en 2010 à la Lauzette, les prélèvements sont inférieurs à $1,5 \cdot 10^6$ m³/an alors que la moyenne des 10 années précédentes était égale à $2,2 \cdot 10^6$ m³/an ce qui représente une diminution de 30 % ;
- de 2001 à 2003 au Flès les prélèvements annuels moyens sont égaux à 880 000 m³, ils passent à 740 000 m³ pour la période 2007-2010, soit une diminution de près de 20 %.

Par ailleurs, les chroniques piézométriques et de conductivité électrique révèlent qu'avant les diminutions de prélèvement opérées sur les différents sites, la ressource était particulièrement sensible aux intrusions d'eau minéralisée. Entre 2001 et 2007, les prélèvements étaient compris entre 3 et $3,5 \cdot 10^6$ m³/an (à l'exception de 2005 où les prélèvements déclarés étaient légèrement inférieurs, mais les résultats de la modélisation semblent montrer que cette valeur a été sous-estimée).

A l'inverse, lorsque se succèdent des années avec des prélèvements inférieurs ou égaux à $3 \cdot 10^6$ m³ (2008-2010, cf. Illustration 53) la piézométrie d'étiage augmente et la conductivité électrique diminue progressivement.

Ainsi la valeur de $3 \cdot 10^6$ m³ peut être retenue en première approche pour définir les volumes prélevables sur le compartiment Sud. Ce volume a été dépassé 5 fois et atteint à 3 reprises au cours des 10 dernières années.

5.2. CARACTERISATION DES VOLUMES PRELEVABLES A PARTIR DE LA MODELISATION

Afin de caractériser l'impact des prélèvements, le modèle sera dans un premier temps utilisé en fixant les prélèvements et en testant différents scénarios climatiques. Ces scénarios ont été établis à partir d'une analyse statistique réalisée sur la période 1971-2010, ils sont présentés ci-après.

5.2.1. Conception des scénarios climatiques

A partir d'une analyse statistique des chroniques de précipitations reconstituées sur les 40 dernières années (Illustration 59) les quantiles sont définis (Illustration 60). La chronique utilisée dans la modélisation pour la source d'Avy est représentative des précipitations sur le compartiment Nord, celle utilisée pour Midi-Libre est représentative des précipitations sur le compartiment Sud. Les poids des différentes stations Météo France associés à ces chroniques sont rappelés ci-après :

$$P_{\text{source d'Avy}} = 0.51 \cdot P_{\text{Montarnaud}} + 0.49 \cdot P_{\text{StMartinLondres}};$$

$$P_{\text{M-L}} = 0.28 \cdot P_{\text{Montarnaud}} + 0.3 \cdot P_{\text{Villeneuve}} + 0.32 \cdot P_{\text{Montpellier}} + 0.10 \cdot P_{\text{StMartinLondres}};$$

Les précipitations annuelles pour les deux compartiments sont présentées Illustration 59.

Année	P_source d'Avy	P_Midi-Libre	Année	P_source d'Avy	P_Midi-Libre
1971	1144	987	1991	650	548
1972	1648	1157	1992	842	619
1973	741	554	1993	1139	856
1974	962	718	1994	1284	995
1975	872	650	1995	1017	651
1976	1336	1000	1996	1893	1291
1977	1045	770	1997	1236	832
1978	813	702	1998	580	437
1979	1050	967	1999	1144	875
1980	690	557	2000	941	651
1981	735	606	2001	946	777
1982	799	590	2002	1434	1040
1983	606	471	2003	1303	1158
1984	978	673	2004	999	748
1985	547	372	2005	679	533
1986	907	783	2006	819	614
1987	1372	1102	2007	597	473
1988	944	679	2008	1291	888
1989	698	541	2009	769	625
1990	742	587	2010	827	648

Illustration 59. Précipitations annuelles sur les compartiments Nord et Sud

Les différents quantiles calculés sur les deux compartiments sont fournis ci-après (Illustration 60).

	Décennal sec	Quinquennal sec	Médiane	Quinquennal humide	Décennal humide
Compartiment Nord	645	727	942	1245	1339
Compartiment Sud	527	557	676	971	1046

Illustration 60. Quantiles pour les deux compartiments

Des années de référence vont ainsi être déduites à partir de la valeur du cumul des précipitations annuelles associée aux différents quantiles. Ces années sont présentées Illustration 61, elles seront utilisées pour créer les scénarios climatiques.

	Décennal sec	Quinquennal sec	Médiane	Quinquennal humide	Décennal humide
Compartiment Nord	1991 (650 mm)	1981 (735 mm)	2000 (941 mm)	1997 (1236 mm)	2003 (1303 mm)
Compartiment Sud	2005 (533 mm)	1980 (557 mm)	1988 (679 mm)	1979 (967 mm)	2002 (1040 mm)

Illustration 61. Années de référence pour les différents quantiles

5.2.2. Utilisation des modèles « piézométrie Midi-Libre » avec et sans prélèvements

Les niveaux d'étiage sans prélèvement sont calculés grâce au modèle « piézométrie naturalisée » (cf paragraphe 4). Ainsi pour des scénarios climatiques allant du décennal sec au décennal humide, le niveau piézométrique d'étiage est compris entre 1,8 et 2 m NGF (Illustration 56). L'impact du climat est donc de l'ordre de 20 cm sur les étiages, le niveau piézométrique déduits du modèle s'exprime ainsi de la façon suivante : 1,9 m +/- 10 cm.

Le modèle avec prélèvements a été utilisé pour différents volumes prélevés, en testant plusieurs scénarios climatiques. Les résultats montrent ainsi que quel que soit le scénario climatique utilisé (succession d'années décennales sèches à décennales humides) le niveau piézométrique d'étiage évolue très peu. Un exemple est fourni avec des prélèvements de 3.10^6 m^3 pour une succession de décennaux secs et de décennaux humides. Le niveau d'étiage dans tous les cas est égal à 1,2 m NGF.

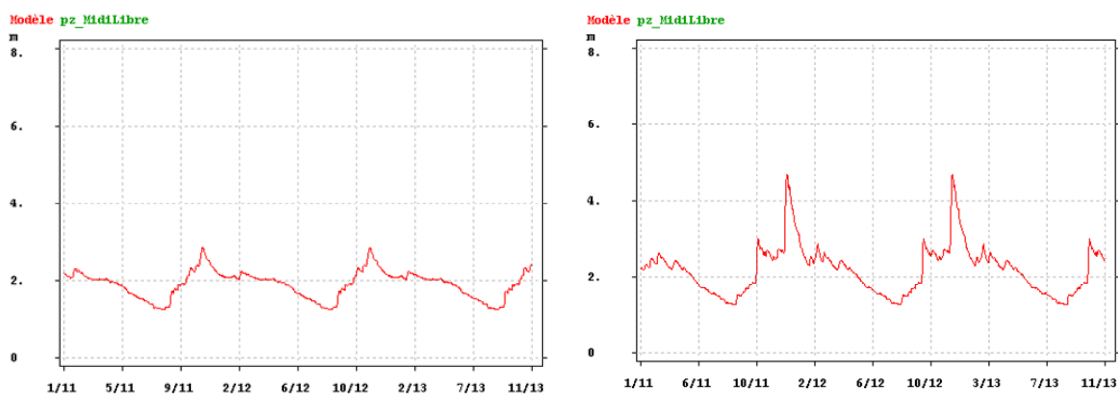


Illustration 62. Piézométrie simulée pour des prélèvements de 3.10^6 m^3 pour un décennal sec (à gauche) et un décennal humide (à droite)

Le poids des prélèvements est essentiel dans le modèle en période d'étiage du fait de la structure du modèle conditionnée par les réponses impulsionnelles (Illustration 49 et Illustration 50). En effet en période d'étiage l'information est exclusivement portée par les prélèvements. C'est pourquoi l'impact des variations climatiques est occulté. Il semble ainsi que l'on atteigne les limites du modèle, ce dernier du fait de sa structure n'est pas capable d'intégrer les fluctuations climatiques. Toutefois, à partir des résultats du modèle naturalisé (sans prélèvement), il est possible d'approcher l'impact de ces variations climatiques (Illustration 56). Ces dernières sont égales à environ 20 cm. Par la suite nous ferons l'hypothèse que les variations piézométriques induites par les précipitations seront de 20 cm, ce qui semble cohérent avec les observations.

Les résultats en terme de niveaux piézométriques d'étiage simulés et de rabattements pour des prélèvements compris entre 0 et $4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ par pas de $0,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ sont présentés dans le tableau Illustration 63. Compte tenu de la non prise en compte par le modèle de l'impact climatique les niveaux sont fournis avec une incertitude de +/- 10 cm. Cet intervalle correspond aux fluctuations induites par le climat qu'il est réaliste d'envisager.

Les niveaux d'étiage obtenus sans prélèvement évoluent selon le scénario climatique entre 1,8 et 2 m NGF (voir Illustration 56). Aussi, les rabattements engendrés par les prélèvements sont évalués dans le tableau ci-après (Illustration 63).

Prélèvements (10^6 m^3)	Niveau piézométrique d'étiage (m NGF +/- 10 cm)	Rabattements engendrés (cm)
0	1,9	0
0,5	1,8	10
1	1,7	20
1,5	1,6	30
2	1,45	45
2,5	1,3	60
3	1,2	70
3,5	1,05	85
4	0,95	95

Illustration 63. Impact des prélèvements sur la piézométrie

Les simulations mises en œuvre révèlent que pour des prélèvements supérieurs à $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ le Niveau Piézométrique d'Alerte (NPA = 1,2 m NGF) est atteint. Le Niveau

Piézométrie de Crise Renforcée (NPCR = 1 m NGF) sera atteint pour des prélèvements supérieurs à $3,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Au vu de ces résultats, il convient de fixer le **volume prélevable pour le compartiment Sud de l'entité à $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$** . Des prélèvements inférieurs à ce volume permettront d'obtenir des niveaux d'étiage supérieurs au NPA ce qui devrait permettre progressivement de diminuer les intrusions d'eau plus minéralisées et donc d'améliorer la qualité des eaux de l'aquifère.

6. Etudes futures à réaliser pour caractériser le compartiment Nord

Le bilan hydrologique réalisé sur l'entité et les modélisations mises en œuvre sur la Source d'Avy et Midi-Libre mettent en évidence l'existence d'un transfert des eaux du compartiment Nord vers le compartiment Sud. Ce transfert s'effectue sous le bassin de Montbazin-Gigean. Le volume annuel concerné déduit du bilan hydrologique est d'environ 1.10^6 m^3 .

Les travaux réalisés dans le cadre de ce projet ont mis en évidence le rôle prépondérant de la source d'Avy dans le fonctionnement de l'entité. Cette source intermittente localisée au Nord de l'entité et du compartiment Nord fonctionne comme un trop plein du système. Les volumes qui y sont écoulés regagnent la Mosson. Ces derniers ont été reconstitués à partir de données anciennes, ils représentent les 2/3 (soit environ $6.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$) des volumes entrants et sortants de l'entité Mosson ($10.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$).

L'aquifère karstique du compartiment Nord n'est pas aujourd'hui impacté par des problèmes de qualité liés à une éventuelle surexploitation.

Malheureusement, les données actuelles ne permettent pas de caractériser ni les niveaux de références ni les volumes prélevables.

Les flux transitant au sein de ce compartiment sont importants, c'est pourquoi afin de caractériser ce système (fonctionnement, volumes écoulés, volume des réserves, transferts du compartiment Nord vers le compartiment Sud), il est impératif de caractériser le fonctionnement de l'entité et plus particulièrement le fonctionnement de la source d'Avy.

Cette étude devra permettre de caractériser une piézométrie de référence. Aujourd'hui il semble que le site de la source d'Avy est idéal car représentatif de l'ensemble du compartiment Nord (son bassin d'alimentation correspond à l'aire de recharge des calcaires du compartiment). Aussi, l'étude hydrogéologique devra également permettre de définir un volume prélevable sur le compartiment Nord. Ce dernier sera défini afin d'assurer le maintien de la qualité du compartiment Nord, mais aussi à l'aval (compartiment Sud) en n'impactant pas ou peu le flux transféré sous le bassin de Montbazin-Gigean.

Les tâches à réaliser pour mener à bien cette étude future comprennent ainsi :

- une étude du fonctionnement hydrogéologique de la source de l'Avy ;
- une caractérisation des relations karst compartiment Nord – rivière Mosson ;
- une étude des relations entre les compartiments Nord, Sud et un compartiment plus minéralisé ;

- la définition des niveaux de référence et des volumes prélevables sur le compartiment Nord.

Ces tâches sont précisées ci-après.

6.1. ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DE LA SOURCE D'AVY

Cette étude passera par l'instrumentation de la source (mesure de niveaux). Une courbe de tarage sera réalisée afin de convertir les niveaux en débit à la source. En parallèle un ou deux sites complémentaires devront être suivis sur le compartiment. Enfin, afin de caractériser les écoulements au sein de ce compartiment Nord, un éclairage chimique et isotopique sera nécessaire.

Les tâches à réaliser sont précisées ci-dessous :

- Instrumentation de la source dans le drain principal noyé.
- Réalisation de la courbe de tarage.
- Instrumentation et suivi d'un à deux sites complémentaires.
- Suivi instrumental 2 cycles hydrologiques.
- Analyses pour éclairage chimique et isotopique.
- Etude hydrogéologique.

6.2. CARACTERISATION DES RELATIONS KARST-MOSSON

Une première approche des relations entre le karst et la Mosson a été tentée à partir de jaugeages réalisés par Ginger Environnement au cours de l'été 2010. La Mosson a été jaugée dans sa partie amont au niveau de la source d'Avy et à l'aval au niveau du pont de Juvignac dans les formations tertiaires et quaternaires (Illustration 64).

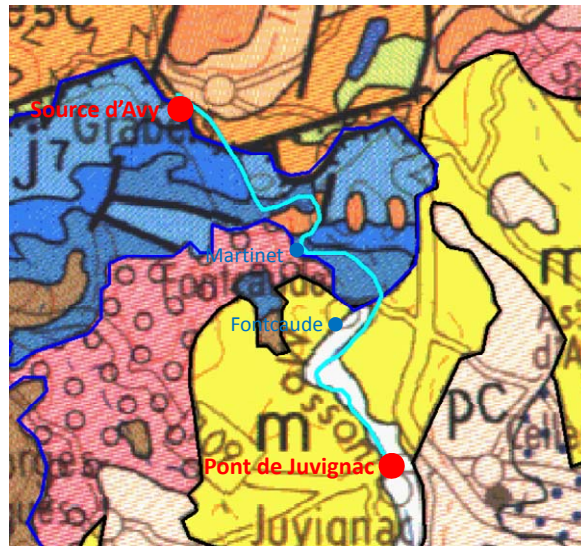


Illustration 64. Zone des jaugeages réalisés (Ginger Environnement, 2010)

Les données de débits de la Mosson sont fournies (Illustration 65).

Date	Débit au niveau source d'Avy (l/s)	Débit au Pont de Juvignac (l/s)	Différence de débit amont / aval (l/s)
27/07/2010	26	75	49
29/07/2010	35	68	33
06/09/2010	18	47	29

Illustration 65. Débit de la Mosson à l'amont et à l'aval du compartiment Nord carbonaté (Ginger Environnement)

Les deux points de jaugeages sont distants d'environ 6 km. La moyenne des différences de débit est égale à 37 l/s. Ainsi, le débit arrivant par kilomètre linéaire est égal à 6 l/s/km.

Les apports d'eau à la Mosson se font de manière diffuse à l'exception des arrivées d'eau des sources du Martinet et de Fontcaude. Le débit restitué à la Mosson par la source du Martinet est fixé par la DUP à 10 % du volume prélevé qui ne doit pas dépasser 350 000 m³/an. Aussi, un débit de 10 m³/h (soit 3 l/s) est restitué à la Mosson en cas d'assèchement de la source.

Le débit de Fontcaude rejeté à la Mosson, correspond à l'artésianisme naturel du forage, il était égal à 2 m³/h durant l'été (données Ville de Juvignac) soit environ 1 l/s. L'alimentation en été par ces deux sources doit être d'environ 4 l/s.

Ainsi entre l'amont et l'aval, le débit de la Mosson augmente. Une première partie du flux provient des sources du Martinet et de Fontcaude. Une seconde partie du flux

arrive de façon diffuse (alimentation nappe / rivière). Du fait de l'absence de mesure au niveau des deux sources mais aussi parce que le jaugeage aval est réalisé très à l'amont des roches carbonatées (2 km) il est difficile de conclure quant à la nature des relations karst – Mosson en étiage.

Afin d'améliorer la connaissance des relations entre le karst et la Mosson, des observations de terrains ont été menées sur le lit de la Mosson au début de l'étiage 2011 (le 09 juin 2011). Ces observations synthétisées à l'illustration 66 montrent :

- une augmentation progressive du débit de la Mosson à l'amont des calcaires jurassiques jusqu'à la source d'Avy (portion 1) ;
- l'existence de petites sources dans les calcaires au niveau du Moulin situé 300 m à l'amont de la source d'Avy, ces sources alimentent la Mosson ;
- une forte augmentation du débit de la Mosson au niveau de la confluence avec la source d'Avy (portion 2) ;
- les débits à l'aval de la Mosson semblent ensuite stable pendant environ 500 m (portion 3) ;
- les débits diminuent ensuite significativement sur près de 2 km (portion 4) ;
- ils augmentent ensuite pendant 1,5 km environ (portion 5 – fin du compartiment Nord).

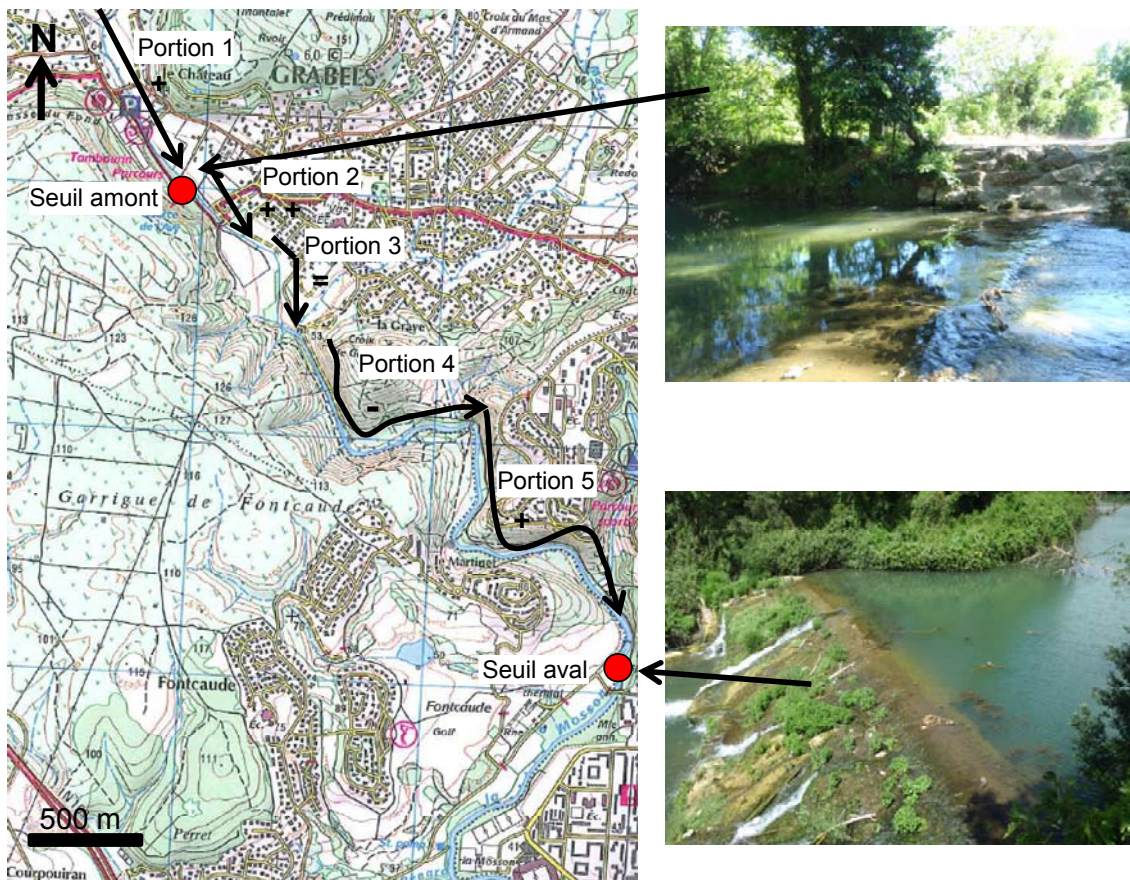


Illustration 66. Nature des échanges karst – Mosson suite aux observations de terrain du 09/06/2011

Ces observations purement qualitatives réalisées ponctuellement montrent l'existence d'échanges complexes entre le karst et la Mosson. Afin de quantifier les différents flux en jeu il est préconisé (i) de procéder à des campagnes de jaugeages spatiales à partir de jaugeages sur une dizaine de site au cours des périodes d'étiages, et également (ii) d'installer des stations de jaugeages à l'amont et à l'aval du compartiment Nord.

Deux anciens seuils ont ainsi été identifiés, ils sont présentés à l'illustration 66. Il s'agit à l'amont du seuil situé juste à l'aval de la confluence avec la source d'Avy et à l'aval du seuil de la Gloriette. Ces derniers partiellement détériorés nécessiteront dans un premier temps des aménagements. Des sondes capteurs de pression seront également nécessaires. Enfin, une courbe de tarage devra être établie en période de basses et moyennes eaux. Les jaugeages ne pourront pas être réalisés en période de hautes eaux pour des raisons de sécurité.

Aussi, le SYBLE lance une étude globale des ouvrages hydrauliques transversaux du bassin versant du lez dont la rivière Mosson fait partie. La première phase consiste à la réalisation d'un inventaire de ces ouvrages accompagné d'un diagnostic. Il sera ainsi

nécessaire de se mettre en relation avec le SYBLE afin de vérifier que les instrumentations sur les deux seuils identifiés seront compatibles avec les éventuels aménagements de la rivière.

Ainsi grâce à ce programme de mesure, les échanges karst-rivière Mosson seront caractérisés de façon spatiale au cours des étiages. Aussi, le bilan des flux karst – rivière Mosson sera réalisé à l'échelle du compartiment pour les périodes de basses et moyennes eaux grâce aux mesures de débit réalisées à l'aval et à l'amont du compartiment. Concernant les périodes de hautes eaux le bilan ne pourra pas être réalisé du fait de la difficulté de réalisation des mesures de débit en hautes eaux. Précisons que durant cette période les mesures de débit sont associées à d'importantes incertitudes.

En parallèle, la mesure des débits de la source du Martinet restitués à la Mosson devra être récupérée. Cette mesure de contrôle devrait normalement être archivée par la commune de Juvignac (Cf article 2 – Prescriptions de l'Arrêté n° 96.I.2114)

Les tâches à réaliser sont précisées ci-dessous :

- Récupération des données de débit du Martinet rejeté à la Mosson.
- Mesure sur un cycle hydrologique des niveaux sur la Mosson à l'amont et à l'aval du compartiment carbonaté (réhabilitation de seuils, instrumentation, jaugeages, courbe de tarage, suivi).
- Campagnes (3) spatiales de mesure de débit au cours d'un étiage.
- Analyse des résultats et approche des volumes échangés en moyennes et basses eaux.

6.3. RELATIONS COMPARTIMENTS NORD, SUD ET COMPARTIMENT PLUS MINERALISE

Les travaux de modélisation réalisés sur le compartiment Sud dans le cadre de la présente étude devront être mis à jour. Une étude hydrogéologique globale devra également être réalisée. Pour ce faire une campagne géochimique sur l'entité et en périphérie sera nécessaire afin de caractériser les échanges entre les différents compartiments.

Les tâches à réaliser sont précisées ci-dessous :

- Campagne géochimique et isotopique.
- Etude des relations compartiment Nord et Sud.

6.4. DEFINITION DES VOLUMES PRELEVABLES ET DES NIVEAUX DE REFERENCE

A partir des résultats de l'étude hydrogéologique les niveaux piézométriques de référence ainsi que les volumes prélevables seront proposés. Pour ce faire les tâches suivantes devront être réalisées :

- Elaboration d'une stratégie de gestion – Définition des volumes prélevables.
- Synthèse des données pluviométriques et de prélèvements.
- Définition d'un niveau piézométrique de référence.

Conclusion

L'étude hydrogéologique menée sur l'entité Mosson de la masse d'eau FR_DO_124 « Calcaires jurassiques Pli ouest de Montpellier et Massif de la Gardiole » a mis en évidence l'hétérogénéité des connaissances sur les deux compartiments. Le compartiment Nord présente peu de données exploitables, ce qui ne permet pas aujourd'hui la caractérisation de son fonctionnement, ni la définition d'un niveau piézométrique de référence ou d'un volume prélevable.

A l'inverse, le compartiment Sud présente une chronique piézométrique longue qui est associée à des mesures de conductivité sur le site de Midi-Libre, mais aussi d'autres points de suivis des niveaux et de la qualité de l'aquifère. Ainsi la piézométrie de référence définie à Midi-Libre, permet de caractériser le fonctionnement du système. Une tendance à long terme est mise en évidence avec la diminution des niveaux et l'augmentation de la conductivité électrique. Ce fonctionnement s'explique par une diminution de la charge hydraulique responsable de l'intrusion d'eau plus minéralisée en provenance des formations mio-pliocènes et notamment des sables astiens situés à l'Est de l'entité (secteur Mas Neuf – Pont Trinquat) et également par la contribution d'un flux d'origine profonde caractérisé par des teneurs élevées en Cl et HCO₃. Cette tendance a été interrompue ces dernières années, on assiste désormais à une remontée des niveaux et à une diminution de la conductivité électrique. Cette rupture est reliée à la diminution des prélèvements qui s'est opérée au cours des dernières années. Le système révèle qu'il possède des capacités à se régénérer qui sont relativement rapides.

A l'issue de cette étude les niveaux piézométriques de référence proposés sont les suivants :

- Niveau Piézométrique d'Alerte (NPA) : + 1,2 m NGF ;
- Niveau Piézométrique de Crise Renforcé (NPCR) : + 1 m NGF.

Par la suite, afin de définir les volumes prélevables, une modélisation de la piézométrie a été mise en œuvre sur le site de référence à savoir Midi-Libre. Ce modèle développé à partir du logiciel Tempo, utilise en entrée les données climatiques et les données de prélèvements. Il a été calé sur la période 2000-2006 et validé sur la période 2007-2010. Il représente ainsi les évolutions de la piézométrie en fonction de la pluviométrie et des prélèvements. Le modèle a ensuite été utilisé en mode prévisionnel en testant l'impact de différents scénarios climatiques et de prélèvements sur la piézométrie. Les résultats montrent que pour un prélèvement de $3 \cdot 10^6$ m³/an, associé à un scénario climatique pessimiste (succession de quinquennaux ou décennaux secs), les niveaux piézométriques simulés sont supérieurs ou égaux au Niveau Piézométrique d'Alerte. Le modèle testé avec des prélèvements supérieurs et des scénarios climatiques comparables simule des niveaux piézométriques inférieurs au NPA. C'est pourquoi la valeur du volume prélevable maximum proposé est égale à $3 \cdot 10^6$ m³/an.

Par ailleurs l'analyse des données (piézométrie, conductivité électrique, pluviométrie et prélèvement) sur la période 2000-2010 a conduit à proposer la même valeur pour le volume prélevable. En effet, à partir de 2007 les prélèvements diminuent, ils deviennent inférieurs ou égaux à 3.10^6 m³/an. En parallèle, cette période récente est associée à une remontée de la piézométrie et une diminution de la conductivité électrique. Elle reflète une amélioration de l'état de la ressource sur le compartiment Sud de l'entité Mosson dès lors que les prélèvements sont inférieurs ou égaux à 3.10^6 m³/an.

Ainsi, les niveaux de références et volumes prélevables seront par la suite soumis pour validation auprès à la CLE (Commission Locale de l'Eau).

Aussi, il existe à ce jour un projet de réhabilitation du site thermal de Fontcaude. Dans le futur des prélèvements importants sont à prévoir pour le fonctionnement du centre et des thermes. Ainsi des prélèvements supplémentaires sur l'aquifère profond pourraient engendrer des déséquilibres au niveau des deux masses d'eau à savoir le réservoir thermale de Fontcaude développé au sein des calcaires jurassiques moyens et inférieurs et celui des calcaires jurassiques supérieurs de l'entité Mosson. Ce déséquilibre pourrait ainsi impacter le système des calcaires jurassiques de l'entité Mosson. Même si à ce jour, ces réservoirs semblent indépendants l'un de l'autre des connexions hydrauliques peuvent exister notamment par l'intermédiaire d'accidents structuraux associés au Pli de Montpellier. Ainsi, l'augmentation des prélèvements dans l'aquifère profond pourrait engendrer des déséquilibres entre les deux systèmes, et impacter l'aquifère des calcaires jurassiques de l'entité Mosson. En cas de prélèvements supplémentaires pour l'usage des thermes un suivi et une étude hydrogéologique au moins à l'échelle locale devront être réalisés dans le but de qualifier et quantifier les interférences entre ces systèmes aquifères.

Par ailleurs, l'étude hydrogéologique réalisée, notamment le bilan hydrologique, met en évidence le transfert de flux du compartiment Nord vers le compartiment Sud. Ce flux est évalué à 1.10^6 m³/an, il représente 1/3 des prélèvements effectués sur le compartiment Sud. Une augmentation des prélèvements sur le compartiment Nord pourrait engendrer une diminution du flux transitant vers le compartiment Sud et créer alors un déficit d'alimentation au niveau du compartiment Sud.

Aussi, les principaux volumes d'exhaure du système (2/3 des flux entrants et sortants) sont évacués au niveau de la source d'Avy, trop plein du système localisé au nord de l'entité Mosson à Grabels.

Ainsi, nous préconisons de réaliser une étude complète sur le compartiment Nord et plus spécifiquement sur la source d'Avy. Elle devra permettre de caractériser le système ainsi que son fonctionnement, mais aussi les niveaux de référence sur le compartiment Nord et les volumes prélevables. En parallèle une étude hydro-géochimique devra permettre de caractériser les relations entre les différents compartiments, fournissant les informations essentielles pour la gestion de la ressource en eau.

7. Bibliographie

B-L-G-H (Bureau Languedocien d'Etudes Géologiques et Hydrologiques), 1970. Rapport hydrogéologique sur le forage d'exploitation et les essais de débit par pompage de courte durée, Villeneuve-les-Maguelonne, Hérault, 5p.

Crochet P., 2008. Exploitation de la source de la Valadière en buvette publique – Avis sanitaire, Rapport Hydrogéologue Agréé Département de l'Hérault, Réf DDASS : 2008-013, 39p.

Diluca J., 1973. Contribution à l'étude hydrogéologique de la région de Montarnaud – Grabels – Les Matelles. Thèse. 145 p.

Ginger Environnement et Infrastructures, 2010. Etude de définition des débits d'étiage de référence, de détermination des volumes maximums prélevables et d'un plan de gestion de l'étiage.

Orengo R., 1981. Rapport relatif aux résultats obtenus lors d'un essai par pompage sur le forage d'exploitation de l'A.E.P. de Maurin Cne de Lattes. Rapport Languedoc Hydro Services, 5p.

Orengo R., Pappalardo, A., 1986. Essai par pompage, Forage du Martinet Juvignac (Hérault). Rapport Languedoc Hydro Services, 9p.

Orengo R., 1988. Note sur l'exploitation du captage du Mas Neuf – SIVOM du MEJAN. Rapport Languedoc Hydro Services, 3p.

Orengo R., 1988. Captage de Saint Jean de Vedas, Rapport d'exploitation, 4^{ème} trimestre, Juin 1988 - Août 1988. Rapport Languedoc Hydro Services, 4p.

Orengo R., 1989. Rapport d'exploitation du captage du Mas Neuf – SIVOM du MEJAN. Rapport Languedoc Hydro Services, 7p.

Orengo R., 1989. Rapport annuel d'exploitation, Captage de Saint Jean de Vedas, Syndicat du Bas Languedoc. Rapport Languedoc Hydro Services, 10p.

Orengo R., 1989. Piézométrie de l'aquifère karstique de la zone de Saint Jean de Vedas (Hérault), Janvier-Octobre 1989. Rapport Languedoc Hydro Services, 7p.

Pappalardo A., Orengo R., Teissier J-L., 1996. Commune de Juvignac (Hérault). Rapport de fin de forage N°1 Bis de Fontcaude, 7p.

Reille J-L., 1994. Syndicat intercommunal du Bas-Languedoc, commune de St Jean-de-vedas, Captage de la Lauzette, détermination des périmètres de protection, 17p.

Syndicat d'AEP du Bas Languedoc, 1992. Rapport de fin de travaux, Captage n°2, Saint Jean de Vedas, 17p.

Touet F., 1989. Alimentation en eau potable d'une commune publique – Commune de Villeneuve-les-Maguelonne. Rapport d'hydrogéologue agréé, 17p.

Vigouroux P., Marchal J-P., Le Strat P., Tissier G., 2008. Calcaires jurassiques – Pli ouest de Montpellier et Massif de la Gardiole – Etat des lieux hydrogéologique. BRGM/RP-56503-FR, 137p.

Annexe 1

Tableaux divers de données

	F1	F2	Lauzette	Maurin Lattes	Midi- Libre	Pont- Trinquat	Saporta	Castelnau Crouzette	Mosson
résist. .cm	1400	1300	1240	1100	1110	1000	530	1000	1440
Ca ⁺⁺ mg/l	144	160	157	200	160	188	368	190	127
Mg ⁺⁺ "	9,7	12,7	9,3	8,8	11,6	9,6	36,8	14	7,4
Na ⁺ "	23,7	28,8	24,8	21,6	36,7	36,0	129	37	27,9
K ⁺ "	1,6	1,4	1,2	1,7	0,8	2,7		5	1,9
TAC °f	27,4	30,6	33	36,5	29,0	34,0	86	40	25,3
TH "	40,0	45,4	43,0	53,6	44,8	51,0	107	47	34,8
Cl ⁻ mg/l	46,8	64,2	50,2	50,8	64,2	80,0	275	62	46,6
SO ₄ ⁻² "	52,9	56,8	41,2	132,5	102,1	136,0	55,3	110	48,9
NO ₃ "	28,4	18,0	16,5	30,0	10,0	35,0	11,2	28	2,4

Illustration 67. Données chimiques (éléments majeurs) collectées par F. Touet (1989)

pl Op_Avy=0.51*pl_Montarnaud_KM+0.0*P_Villeneuve+0.0*P_Montpellier+0.49*pl_St-MartinLondres;													
Somme de pl Op_Avy (mm)	Mois												Total
Année	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
1971	163	2	101	251	88	55	49	35	136	105	45	114	1144
1972	345	302	164	45	71	137	14	35	249	145	27	114	1648
1973	149	9	59	18	13	69	48	20	15	58	74	210	741
1974	84	122	213	80	50	63	35	71	194	8	40	2	962
1975	47	81	77	14	114	96	15	146	88	18	55	120	872
1976	47	192	42	121	43	14	37	67	227	313	89	143	1336
1977	165	45	67	29	171	103	60	42	32	192	40	99	1045
1978	111	84	95	121	86	15	8	14	19	2	75	183	813
1979	265	11	54	50	49	2	13	17	25	530	12	23	1050
1980	70	58	89	85	100	22	14	110	10	42	76	14	690
1981	29	85	98	19	67	119	20	2	89	19	0	189	735
1982	57	128	75	32	18	33	66	45	47	64	202	32	799
1983	0	132	27	73	22	31	6	123	35	46	34	78	606
1984	32	22	109	15	143	17	4	70	91	34	342	98	978
1985	23	31	26	77	59	58	20	27	0	145	16	63	547
1986	101	176	61	98	25	7	4	17	79	251	57	30	907
1987	60	233	48	62	32	28	108	46	17	387	137	215	1372
1988	207	10	14	141	101	67	7	66	34	76	208	13	944
1989	53	18	33	153	8	3	6	43	90	98	170	24	698
1990	13	61	16	96	81	19	40	39	32	241	35	69	742
1991	30	83	121	64	37	23	22	51	66	121	22	10	650
1992	38	52	31	13	168	155	44	27	123	105	7	80	842
1993	1	54	59	224	37	49	35	29	131	242	255	22	1139
1994	30	168	1	52	44	43	21	8	302	358	197	61	1284
1995	22	12	10	48	30	4	6	34	200	264	130	255	1017
1996	477	166	126	87	53	65	59	67	186	123	98	387	1893
1997	243	5	0	16	66	127	37	97	13	68	237	326	1236
1998	30	26	8	159	75	11	18	13	110	29	16	86	580
1999	70	2	103	73	179	32	18	97	141	226	187	15	1144
2000	26	4	31	95	85	65	53	63	179	69	79	191	941
2001	229	18	106	32	66	34	77	26	115	195	43	5	946
2002	31	66	57	102	87	80	21	141	138	181	108	421	1434
2003	11	107	20	95	36	3	2	32	259	125	325	287	1303
2004	54	65	122	149	28	42	2	95	128	224	19	70	999
2005	3	31	22	47	45	90	3	16	197	156	65	5	679
2006	301	9	35	12	11	4	11	38	220	112	35	30	819
2007	42	54	14	66	132	42	4	16	93	75	47	11	597
2008	135	56	27	113	181	86	22	16	25	163	270	197	1291
2009	84	155	54	196	21	27	23	9	7	132	13	50	769
2010	140	185	118	19	120	36	15	14	51	129			827

Illustration 68. Modèle de transfert « Sce Avy » : évolution de la pluie prise en compte dans le modèle de transfert

Pluie efficace de la composante lente => permet de qualifier également la recharge de l'aquifère karstique sous couverture													
Somme de Pl.eff.Lente (mm)	Mois												Total
Année	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
1971					23	0	1	0	33	31	5	89	181
1972	179	203	125	25	32	51	0	0	77	49	11	79	832
1973	100	9	41	17	0	29	0	0	0	0	42	109	347
1974	75	89	172	52	21	23	0	0	43	0	29	2	505
1975	36	67	67	13	51	33	0	39	0	0	30	94	430
1976	36	128	38	95	21	0	0	0	26	105	46	97	591
1977	118	23	31	1	61	24	3	0	3	46	19	80	408
1978	77	70	63	75	42	0	0	0	0	0	41	109	477
1979	168	11	38	22	12	0	0	0	0	83	0	21	355
1980	62	48	58	43	23	0	0	15	0	5	33	12	299
1981	25	63	64	0	4	28	0	0	3	0	0	150	337
1982	53	105	59	18	0	0	0	0	0	0	64	5	303
1983	0	83	21	18	0	0	0	0	0	1	2	43	168
1984	31	21	92	12	45	0	0	7	28	0	52	54	342
1985	22	29	25	39	7	13	0	0	0	40	0	53	229
1986	76	137	46	52	5	0	0	0	0	52	13	12	393
1987	53	126	43	53	14	0	18	0	0	89	57	112	564
1988	133	10	12	72	21	11	0	0	1	0	43	11	314
1989	40	18	25	56	0	0	0	0	18	38	86	18	299
1990	13	52	10	37	12	0	0	0	0	60	0	56	240
1991	29	68	90	28	16	0	0	0	0	30	1	9	271
1992	35	46	23	0	24	34	0	0	32	9	0	21	224
1993	1	48	51	120	0	0	0	0	20	91	117	19	467
1994	27	95	0	17	10	0	0	0	63	29	46	21	308
1995	20	12	7	15	0	0	0	0	61	72	56	139	384
1996	306	115	81	36	2	17	0	0	17	44	27	178	824
1997	124	5	0	3	1	22	0	0	0	10	80	88	333
1998	26	23	4	85	13	0	0	0	1	0	1	63	215
1999	57	2	40	23	49	0	0	0	16	66	61	14	328
2000	24	4	13	39	15	2	1	0	40	0	14	70	221
2001	114	17	73	0	0	0	12	0	18	16	0	4	254
2002	30	56	27	41	23	2	0	23	26	42	20	89	379
2003	11	83	15	51	0	0	0	0	59	36	133	86	474
2004	50	51	89	71	0	13	0	0	30	34	0	54	392
2005	3	27	21	19	5	18	0	0	47	3	4	4	151
2006	156	9	10	0	0	0	0	0	27	9	0	10	221
2007	31	39	6	26	20	0	0	0	24	0	24	11	181
2008	80	46	13	53	53	21	0	0	0	46	64	133	510
2009	72	54	30	54	0	0	0	0	0	55	0	42	307
2010	86	142	52	0	20	0	0	0	0	58			359

Illustration 69. Modèle de transfert « Sce Avy » : évolution de la pluie efficace calculée par le modèle de transfert

Débit moyen de la source d'Avy en l/s (S=14.85 km²)

Moyenne de l'Année	Mois												Qmoy
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1971					294	122	49	12	196	264	65	308	158
1972	1685	1509	939	334	254	365	68	28	526	254	120	311	529
1973	809	189	251	178	66	204	30	11	5	0	198	783	228
1974	516	662	931	576	218	161	62	15	252	56	115	65	300
1975	188	396	377	147	221	274	63	238	50	16	177	447	215
1976	172	991	367	557	235	65	27	5	451	595	511	367	358
1977	942					115	92	31	16	175	146	420	248
1978	517	442	468	321	482	109	42	16	1	0	225	749	281
1979	1167	322	255	209	87	34	11	3	0	1188	340	96	311
1980	274	278	374	422	167	73	23	65	17	23	176	56	162
1981	150	152	408	221	69	93	90	16	9	13	2	580	151
1982	461	638	269	414	69	25	9	0	0	0	541	93	206
1983	29	371	356	124	65	21	5	1	0	1	10	259	102
1984	131	136	369	265	239	85	26	30	54	133	1009	379	237
1985	143	182	155	232	85	85	20	6	2	175	82	250	118
1986	237	939	535	341	132	38	13	2	0	587	108	81	247
1987	236	1130	339	351	139	47	92	18	7	733	556	1082	390
1988	927	284	130	377	184	86	35	9	4	4	770	85	240
1989	210	108	116	412	160	35	16	3	72	126	512	222	165
1990	89	310	105	244	95	27	11	3	0	262	96	254	124
1991	185	282	563	243	198	51	16	5	0	82	80	51	146
1992	137	185	226	49	102	170	63	21	187	77	38	83	111
1993	33	174	315	536	317	73	33	8	65	475	971	338	278
1994	235	826	127	94	94	21	9	4	242	1269	816	172	322
1995	112	85	60	58	37	10	4	1	298	411	289	1065	204
1996	2003	1177	907	338	133	124	21	7	552	321	170	1576	611
1997	1273	223	96	41	12	117	15	7	3	45	518	1331	309
1998	456	204	74	327	238	76	28	9	4	3	2	88	125
1999	553	97	374	199	531	66	27	11	68	372	630	134	257
2000	144	74	47	174	131	44	20	7	67	192	53	598	130
2001	929	292	468	104	37	15	47	12	68	106	22	22	177
2002	122	277	189	231	143	52	18	82	181	363	115	1844	303
2003	143	262	359	307	90	31	12	1	365	327	890	1481	356
2004	299	385	459	543	339	113	33	9	133	334	38	268	246
2005	61	157	90	112	69	95	27	9	323	46	32	20	86
2006	965	521	130	53	15	2	0	0	112	63	23	46	159
2007	150	247	101	147	131	32	13	3	74	45	93	87	92
2008	607	253	123	339	382	166	57	21	5	352	909	547	313
2009	623	1063	200	434	97	30	14	1	0	242	74	133	237
2010	673	831	433	151	140	28	8	3	0	215			244

Illustration 70. Modèle de transfert « Sce Avy » : évolution du débit moyen calculé par le modèle de transfert

Sce Avy (débits simulés)

année	1971	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Qmoy		266	476	196	252	176	297	212	232	267

année	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Qmoy	118	118	152	83	183	86	204	318	201	114

année	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Qmoy	91	124	82	211	263	130	500	255	103	205

année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Total
Qmoy	88	124	230	272	200	65	140	57	162	188

Illustration 71. Modèle de transfert « source Avy » : évolution des débits moyens annuels simulés

Annexe 2

Fiche technique de la source d'Avy

Source de DAVIS

ou de LABIT, ou de GRABELS ou de l'Avy

Commune de GRABELS-HERAULT

X=717,36 Y=151,12 Z=64,31m
Développement: 7m
Dénivellation: -4m



Localisation

Coupe Plan

Récit

par Christian Moreau

Situation

Dans le village de Grabels, suivre les panneaux indicateurs situés en direction de Saint-Gély du Fesc.

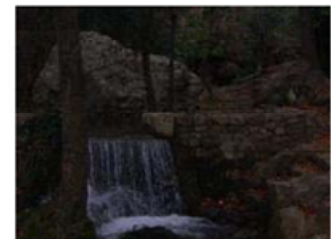
La source est canalisée par un joli ruisseau dans la forêt, puis une cascade artificielle permet de voir son débit (photo), puis passe sous une jolie passerelle de bois pour enfin se jeter dans la MOSSON.



par Christian Moreau

Historique

En 1950, Henri LOMBARD (SCM) plongeait en apnée et explorait un conduit descendant jusqu'à un rétrécissement impénétrable, à -4m. Le 02/07/1963, M.ROGER (SCAL) bute à nouveau sur l'étréouiture à -4m. Dernièrement, les plongeurs du CLPA (CLPA) puis du GSRM ont revu cette source sans plus de résultats.



par Christian Moreau

Description

La vasque est d'accès facile et de jolie taille 3 X 3 M. L'eau est cristalline sa température de 10°C. Le conduit de 2 à 3 M de diamètres, orienté au sud, descend sur 15 M de long et atteint 5 M de profondeur. Au sol quelques roches et au fonds un joli banc d'une cinquantaine de gardons apeurés pensent que leur fin est proche... Une faille verticale sévère empêche tout passage et ne laisse entrevoir aucune solution. La faille fait 3 M de haut, 20 cms de large, les parois sont polies par un passage incessant d'eau. On a "vue" dans cette faille sur 2,5 M avec les éclairages.

Karstologie

Cette petite source intéresse le pli de Montpellier, caractérisé localement par une structure chevauchante et des nappes de charriage.

Bibliographie

LAURES.M : 1954. Annales de spéléologie, SPELUNCA 3°série, Fasc.2 Tome 9, P.105

SCAL: 1965. SPELUNCA N°1. P.47.

<http://www.plongeesout.com/sites/roussilon-pyrenees/herault/davis.htm>



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Languedoc-Roussillon
1039 rue de Pinville
34000 – Montpellier - France
Tél. : 04 67 15 79 80