



DOCUMENT PUBLIC

*Couplage des outils géochimiques et hydrologiques
appliqué au fonctionnement du système fluvial
Hérault dans sa partie alluviale*

Contrat de Plan Etat-Région 1994-1998

Janvier 2001
BRGM/RP-51126-FR





DOCUMENT PUBLIC

*Couplage des outils géochimiques et hydrologiques
appliqué au fonctionnement du système fluvial
Hérault dans sa partie alluviale*

Contrat de Plan Etat-Région 1994-1998

Weng P., Petelet-Giraud E., David A., Mathieu H., Aquilina L., Ladouche B., Giraud F., Cubizolles J.,
Izac J.L.

septembre 2001
BRGM/RP-51126-FR



Mots clés : Hérault, aquifère alluvial, hydrogéologie, géochimie, modélisation

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

Weng P., Petelet-Giraud E., David A., Mathieu H., Ladouche B., Cubizolles J., Isac J.L. ; 2001. Couplage des outils hydrologiques et géochimiques appliqué à l'étude du fonctionnement de la plaine alluviale de l'Hérault. Contrat de Plan Etat-Région 1994-1998. Rapport BRGM RP-51126.FR. 127 pages.

Synthèse

L'étude du fonctionnement de la plaine alluviale de l'Hérault, du Pont du Diable (Saint-Jean de Fos) à Florensac a été réalisée par le BRGM, dans le cadre de ses activités de recherche, avec le soutien financier de la région Languedoc-Roussillon (contrat de plan Etat-Région 1994-1998). L'objectif est d'améliorer la connaissance du fonctionnement hydrologique de la plaine alluviale de l'Hérault, en particulier la connaissance des relations entre les eaux souterraines et le fleuve, en mettant simultanément en œuvre une étude hydrologique et géochimique.

Un ensemble de puits et forages préexistants a été sélectionné pour constituer le réseau de suivi piézométrique et géochimique. Trente-huit ouvrages ont été suivis en piézométrie à un pas de temps mensuel ; neuf d'entre eux ont été équipés pour le suivi piézométrique en continu au pas de temps horaire. L'étude géochimique des eaux de surface (Hérault et affluents) et souterraines (28 des 38 ouvrages suivis en piézométrie) a porté sur les éléments majeurs, ainsi que sur les compositions isotopiques de la molécule d'eau ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$) et la composition isotopique du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$). L'ensemble du réseau piézométrique a été nivelé avec précision, de même que les 14 seuils repérés sur l'Hérault en amont d'Aspiran.

Les données hydrologiques et géochimiques ont été acquises d'août 1999 à juillet 2001 couvrant des périodes d'étiage (août 1999 et 2000) et de crues (octobre 1999 et pic de crue du 12 mai 2000). Les suivis piézométrique et géochimique, complétés par la modélisation hydrogéologique, ont permis de montrer que l'Hérault draine les nappes alluviales et d'estimer à 20 600 m^3/h la contribution moyenne des nappes au débit de l'Hérault entre le Pont du Diable et Montagnac. La contribution des eaux souterraines représente alors 10% du débit moyen inter-annuel de l'Hérault (53 m^3/s sur la période 1931-1977) et jusqu'à 60% du débit d'étiage (de l'ordre de 9 m^3/s sur la même période). Cependant, la contribution des nappes est fortement variable à l'échelle de la plaine alluviale puisqu'elle pourrait varier de 250 m^3/h par 200 m de rivière, entre le Pont du Diable et Canet, à seulement 100 $\text{m}^3/\text{h}/200\text{m}$ à l'aval de ce secteur. L'étude géochimique montre en effet que la signature géochimique de l'Hérault n'est modifiée par un apport des nappes alluviales qu'entre le Pont du Diable et la confluence Lergue-Hérault. A l'aval de cette confluence, la signature géochimique de l'Hérault est majoritairement influencée par les apports de la Lergue et reste relativement stable jusqu'à Florensac.

A l'échelle de la plaine alluviale, la composition géochimique des eaux souterraines d'une même terrasse est extrêmement hétérogène. Cette hétérogénéité géochimique est à relier à des hétérogénéités lithologiques locales et met en évidence le relativement faible mélange des eaux souterraines.

Les variations piézométriques des nappes alluviales sont directement des précipitations mais peu influencées par les variations de cotes de l'Hérault. Dans la majeure partie de la plaine alluviale, la ré-alimentation de la nappe par l'Hérault est limitée et/ou extrêmement localisée en conditions naturelles. Plus à l'aval, la ré-alimentation induite

de la nappe existe à proximité des champs captants de Florensac ; bien que très limité dans l'espace, le débit de ré-alimentation peut être important .

Sommaire

Introduction.....	13
1. Bilan des connaissances.....	15
1.1. Présentation du site	15
1.2. Contexte géologique	17
1.2.1. Histoire géologique du bassin versant	17
1.2.2. Description des faciès observés dans la vallée de l'Hérault.....	17
1.3. Contexte hydrogéologique	21
1.3.1. Nappes des formations secondaires	21
1.3.2. Nappes des formations tertiaires	21
1.3.3. Nappes des formations quaternaires	22
1.3.4. Propriétés hydrodynamiques.....	25
1.3.5. Piézométrie	28
1.4. Le fleuve Hérault	32
1.5. Les usages de l'eau	36
1.5.1. Alimentation en eau potable et captages domestiques.....	36
1.5.2. Captages agricoles	37
1.5.3. Bilan des prélèvements	37
1.5.4. Qualité physico-chimique des eaux souterraines	38
1.5.5. Gravières et carrières	39
1.6. Conclusion	40
2. Instrumentation et métrologie	41
2.1. Le réseau de suivi piezométrique.....	41
2.2. Suivi de la ligne d'eau de l'Hérault	43
2.3. Campagnes de mesures géochimiques.....	44
2.3.1. Répartition spatiale de l'échantillonnage	44
2.3.2. Descriptif géologique des niveaux aquifères échantillonnés	44
2.3.3. Les prélèvements	47
2.3.4. Les analyses	48
3. Fonctionnement hydrogéologique de la plaine alluviale	49
3.1. Cartes piézométriques.....	49
3.2. chroniques piézométriques	52
3.3. Recharge de la nappe	55
3.3.1. Présentation du modèle GARDENIA	55
3.3.2. Résultats.....	59
3.4. modélisation hydrodynamique des écoulements	62
3.4.1. Maillage du modèle.....	62

3.4.2. Conditions aux limites	63
3.4.3. Prélèvements	63
3.4.4. Modélisation en régime permanent.....	64
3.4.5. Modélisation en régime transitoire	67
3.5. Conclusions.....	73
4. Chimie et géochimie de la plaine alluviale.....	75
4.1. Intérêt de l'approche géochimique	75
4.1.1. Introduction.....	75
4.1.2. Informations apportées par les espèces majeures	75
4.1.3. Informations apportées par l'hydrochimie isotopique.	77
4.2. Caractérisation des eaux de la nappe alluviale par les éléments majeurs	78
4.2.1. Validité des mesures	78
4.2.2. Faciès chimique des eaux	79
4.2.3. Les relations inter-éléments	81
4.3. les isotopes stables ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$).....	85
4.3.1. Terrasses inférieures	86
4.3.2. Terrasses moyennes	87
4.3.3. Les alluvions récentes.....	89
4.3.4. Les eaux de surfaces	90
4.3.5. Synthèse sur les isotopes stables.....	93
4.4. Les isotopes du Strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)	93
4.4.1. Essai de caractérisation des différentes terrasses alluviales	93
4.4.2. Caractérisation des eaux de surface	95
4.5. La zone de Florensac	97
4.5.1. Les isotopes stables ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$)	98
4.5.2. Relations inter-élémentaires.....	99
4.5.3. Les isotopes du Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$).....	101
4.5.4. Synthèse sur la zone de Florensac	104
4.6. La zone de Pézenas à la confluence Peyne-Hérault	104
4.6.1. Les isotopes stables ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$)	105
4.6.2. Relations inter-élémentaires.....	106
4.6.3. Les isotopes du Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$).....	108
4.6.4. Synthèse sur la confluence Hérault-Peyne.....	111
4.7. La zone de Aniane-Gignac	112
4.7.1. Les isotopes stables ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$)	113
4.7.2. Les relations inter-éléments	113
4.7.3. Les isotopes du Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$).....	116
4.7.4. Synthèse sur la zone de Aniane-Gignac.....	119

4.8. Conclusions de l'approche géochimique.....	120
5. Conclusion générale.....	123

Liste des annexes

Ann. 1 – Données piézométriques et hydrométriques

Ann. 2 – Nivellement des ouvrages

Ann. 1 – Données géochimiques

Liste des illustrations

FIGURES

Figure 1	Localisation du bassin versant de l'Hérault	16
Figure 2	Carte géologique simplifiée du bassin versant de l'Hérault	18
Figure 3	Carte des formations du système fluvial Hérault	20
Figure 4	Cartes des différentes nappes alluviales de l'Hérault.....	24
Figure 5	Carte des transmissivités des formations alluviales de l'Hérault (en m^2/s)	27
Figure 6	Modèle conceptuel des échanges entre la nappe alluviale de l'Hérault et les compartiments adjacents.....	32
Figure 7	Localisation des seuils et des stations pluviométriques et hydrométriques.....	34
Figure 8	Coupes géologiques de la vallée alluviale de l'Hérault.....	36
Figure 9	Carte des prélèvements AEP dans la vallée de l'Hérault	38
Figure 10	Réseau piézométrique de la vallée de l'Hérault et position des seuils	42
Figure 11	Etagement de la ligne d'eau de l'Hérault entre le Pont du Diable et le barrage de Bladier	43
Figure 12 :	Localisation des points de prélèvements dans la plaine alluviale de l'Hérault.....	46
Figure 13 :	Situation des échantillonnages sur la courbe des débits de l'Hérault à la station de Florensac	48
Figure 14	Carte piézométrique de la plaine alluviale de l'Hérault en basses eaux ..	49
Figure 15	Carte piézométrique de la plaine alluviale de l'Hérault en hautes eaux ..	50
Figure 16	Chroniques piézométriques dans la vallée de l'Hérault (a)	53
Figure 17	Chroniques piézométriques dans la vallée de l'Hérault (b)	53
Figure 18	Chroniques piézométriques dans la vallée de l'Hérault (c)	54
Figure 19	Comparaison des niveaux d'eau dans l'Hérault à Aspiran (bleu) et dans le piézomètre 14 (en rouge)	55
Figure 20	Répartition de la pluie efficace entre ruissellement et infiltration	56
Figure 21	Schéma de principe du modèle global à réservoirs GARDENIA	58
Figure 22	Pluviométrie mensuelle mesurée à Canet (34), de 1997 à 2000	61
Figure 23	ETP mensuelle mesurée à Fréjorgues (34), de 1996 à 1999	61
Figure 24	Résultats de la simulation Gardénia sur le piézomètre 31 situé à Tressan ..	61
Figure 25	Bilan des lames d'eau mensuelles calculées sur la période de Septembre 1999 à Août 2000.....	62
Figure 26	Carte des perméabilités simulées par modélisation en régime permanent... .	65
Figure 27	Régime permanent, comparaison de la piézométrie simulée et mesurée ..	66
Figure 28	Résultats du modèle pour quelques piézomètres de contrôle	72
Figure 29	Relation entre la somme des cations et la conductivité dans les échantillons d'eau de surface et souterraine de la plaine alluviale de l'Hérault.....	79
Figure 30	Diagramme de Piper des eaux de la plaine alluviale de l'Hérault.....	80

Figure 31	Relation Chlore - Sodium dans les eaux souterraines et de surface
	de la plaine alluviale de l'Hérault.....	81
Figure 32	Relation Chlore - Nitrates dans les eaux souterraines et de surface
	de la plaine alluviale de l'Hérault.....	83
Figure 33	Relation Chlore - Sulfates dans les eaux souterraines et de surface
	de la plaine alluviale de l'Hérault.....	84
Figure 34	Relation Strontium - Sulfates dans les eaux souterraines et de	
	surface de la plaine alluviale de l'Hérault.....	84
Figure 35	Relation $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ dans les eaux de surface et souterraines de la	
	plaine alluviale de l'Hérault.....	86
Figure 36	Evolution de la signature en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux du puits ATi-2.....	87
Figure 37	Evolution temporelle de la piézométrie du puits AmT-1 comparée
	au débit de l'Hérault à Florensac.....	88
Figure 38	Evolution de la signature en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux du puits AmT-2.....	88
Figure 39	Evolution de la signature en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux du puits AmT-3.....	89
Figure 40	Evolution de la signature en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux des puits Ar-1
	et Ar-2.....	90
Figure 41	Relation $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ dans les eaux de surface et les eaux	
	souterraines de la plaine alluviale de l'Hérault lors de la crue	
	d'octobre 1999.....	91
Figure 42	Evolution de la signature en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux de la Thongue.....	92
Figure 43	Evolution de la signature en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux de la Peyne.....	92
Figure 44	Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de l'inverse de la teneur en strontium	
	dans les eaux de surface et les eaux souterraines de la plaine	
	alluviale de l'Hérault durant la période de basses eaux d'août 1999.....	94
Figure 45	Evolution spatio-temporelle des eaux de surface de la plaine	
	alluviale de l'Hérault dans un diagramme $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de	
	l'inverse de la teneur en strontium.....	96
Figure 46	Localisation des points de prélèvement dans la zone de la	
	station de pompage de Florensac. Extrait des cartes géologiques	
	au 1/50 000° de Pézenas (Feist et al., 1981) et Agde	
	(Barrière et al., 1978).	98
Figure 47	Relation $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ dans les eaux de surface et souterraines de	
	la plaine alluviale de l'Hérault dans la zone de Florensac.....	99
Figure 48	Relation Cl-Na dans les eaux de surface et souterraines de la	
	zone de Florensac. Comparaison avec la droite de dilution de l'eau de	
	mer.....	100
Figure 49	Evolution de la piézométrie du piézomètre Ar-11 en fonction du	
	débit de l'Hérault à Florensac.....	101
Figure 50	Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction du rapport molaire Na/Sr dans les	
	eaux de surface et les eaux souterraines de la plaine alluviale de	
	l'Hérault, zone de Florensac.....	102
Figure 51	Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de l'inverse de la concentration en Sr	
	dans les eaux de surface et les eaux souterraines de la plaine	
	alluviale de l'Hérault, zone de Florensac.....	103

Figure 52	Localisation des points de prélèvement dans la zone de la confluence Peyne-Hérault. Extrait de la carte géologique au 1/50 000° de Pézenas	105
Figure 53	Relation $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ dans les eaux de surface et souterraines de la plaine alluviale à la confluence Peyne-Hérault.....	106
Figure 54	Relation Cl-Na dans les eaux de surface et souterraines à la confluence Peyne-Hérault. Comparaison avec la droite de dilution de l'eau de mer.	107
Figure 55	Relation Cl-NO ₃ dans les eaux de surface et souterraines à la confluence Peyne-Hérault.....	108
Figure 56	Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de l'inverse de la concentration en Sr dans les eaux de surface et les eaux souterraines à la confluence Peyne-Hérault.....	109
Figure 57	Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de Na/Sr dans les eaux de surface et les eaux souterraines à la confluence Peyne-Hérault	111
Figure 58	Localisation des points de prélèvement dans la zone de Aniane-Gignac	113
Figure 59	Relation $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ dans les eaux de surface et souterraines de la plaine alluviale dans la zone de Aniane-Gignac	113
Figure 60	Relation Cl-Na dans les eaux de surface et souterraines dans la zone de Aniane-Gignac. Comparaison avec la droite de dilution de l'eau de mer.	114
Figure 61	Relation Cl-NO ₃ dans les eaux de surface et souterraines dans la zone de Aniane-Gignac.....	115
Figure 62	Relation Cl-SO ₄ dans les eaux de surface et souterraines dans la zone de Aniane-Gignac.....	115
Figure 63	Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de l'inverse de la concentration en Sr dans les eaux de surface et les eaux souterraines de la zone d'Aniane-Gignac.	116
Figure 64	Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de l'inverse de la concentration en Sr dans les eaux de surface et les eaux souterraines de la zone d'Aniane-Gignac.	117
Figure 65	Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction du rapport Na/Sr dans les eaux de surface et les eaux souterraines de la zone d'Aniane-Gignac.....	118
Figure 66	Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction du rapport Na/Sr dans les eaux de surface et les eaux souterraines de la zone d'Aniane-Gignac.....	119

TABLEAUX

Tableau 1	Données utilisées pour l'estimation de la recharge	59
Tableau 2	Récapitulatif des lames d'eau sur la période Septembre 1999-Août 2000 ...	60
Tableau 3	Répartition de la recharge naturelle sur les sept pas de temps du modèle ...	67
Tableau 4	Données quantitatives disponibles pour estimer la recharge par surplus d'irrigation	68
Tableau 5	Estimation de l'alimentation de la nappe par surplus d'irrigation dans le périmètre de l'ASA	69

Introduction

Durant ces trente dernières années, la ressource en eau que représente la plaine alluviale de l'Hérault a fait l'objet d'une sollicitation croissante, tant pour les besoins agricoles que pour l'alimentation en eau potable.

Les nappes alluviales de l'Hérault, en particulier, participent pour près du quart (21%) à l'alimentation en eau potable du département de l'Hérault. Les projections prévoient une augmentation des besoins en eau potable de l'ordre de 30% dans le département de l'Hérault d'ici à l'horizon 2010.

Une connaissance approfondie des nappes alluviales de l'Hérault et du fonctionnement du système alluvial s'avère par conséquent nécessaire pour la planification de son exploitation, en vue de la diversification des implantations de captages et de la gestion des usages (alimentation en eau potable, eaux industrielles et agricoles). Les études réalisées à ce jour sur la plaine alluviale de l'Hérault ont permis l'identification des différentes nappes alluviales et leurs relations au sein de l'hydrosystème, essentiellement par une approche hydrologique.

La présente étude a été réalisée par le BRGM dans le cadre de ses activités de recherche scientifique avec le soutien financier de la région Languedoc-Roussillon, dans le cadre du contrat de plan Etat-Région 1994-1998. L'objectif de l'étude est d'améliorer la connaissance du fonctionnement hydrologique de la plaine alluviale de l'Hérault, et en particulier la connaissance des relations entre les eaux souterraines et le fleuve, par une approche couplée des outils hydrologiques et géochimiques.

La première partie du travail propose un bilan des connaissances acquises à ce jour sur la plaine alluviale de l'Hérault. Ces informations ont été collectées auprès :

- des services de l'Etat : DRIRE, DIREN, DDAF, DDASS ;
- des collectivités territoriales : Conseil Général de l'Hérault ;
- des établissements de recherche : Unité Mixte de Recherche HydroScience ;
- d'établissements publics : BRGM, Chambre d'Agriculture ;
- d'entreprises privées : Autoroutes du Sud de la France, Compagnie d'Aménagement de Coteaux de Gascogne, Berga-Sud.

Sur la base de cette synthèse, un ensemble d'ouvrages a été sélectionné pour constituer un réseau de suivi piézométrique et géochimique à l'échelle de la plaine alluviale. Trente-huit ouvrages ont permis le suivi des niveaux piézométriques à un pas de temps mensuel, neuf d'entre eux ont fait l'objet d'un équipement à demeure permettant le suivi à pas de temps horaire. Trente-sept points de prélèvement ont été échantillonnés au cours de cinq campagnes réalisées en conditions hydrologiques contrastées (étiage, crue ...). Ces réseaux de mesures ainsi que la méthodologie mise en œuvre sont présentés en détail dans la première partie du rapport.

Les données hydrologiques acquises ont permis d'établir des cartes piézométriques en hautes et basses eaux. Les chroniques piézométriques ont conduit à l'estimation de la recharge des nappes alluviales. L'ensemble de ces résultats a été intégré au sein d'une modélisation hydrodynamique de la plaine alluviale.

Les prélèvements d'eau de surface (Hérault et affluents) et d'eaux souterraines ont fait l'objet d'analyses des éléments majeurs (Ca, Na, K, Mg, Cl, NO₃, SO₄, HCO₃) ainsi que des compositions isotopiques de la molécule d'eau ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$) et en compositions isotopiques du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$). Ces analyses ont permis de caractériser les faciès géochimiques des eaux de la plaine alluviale. Trois secteurs ont ensuite été étudiés plus en détail : la zone du champ captant de Florensac, la confluence Peyne/Hérault à Pézenas et la partie Nord de la plaine (Aniane – Canet), afin de mieux comprendre les relations pouvant exister entre l'Hérault et les nappes alluviales associées.

Les résultats hydrologiques et géochimiques constituent respectivement les seconde et troisième parties du rapport.

Enfin, l'interprétation couplée de l'ensemble des données est présentée dans la quatrième et dernière partie du rapport.

1. Bilan des connaissances

1.1. PRÉSENTATION DU SITE

Le bassin versant de l'Hérault, d'une superficie de 2500 km² et d'une altitude moyenne de 400 m, se situe à une cinquantaine de kilomètres à l'Ouest de Montpellier. Il prend sa source sur le flanc sud du Mont Aigoual, à 1288 m d'altitude, et se jette dans la mer Méditerranée après un parcours de 151 km au cours duquel le fleuve traverse trois domaines géologiques bien distincts (Figure 1) :

- le domaine de socle au nord, d'une superficie de 300 km²;
- le domaine karstique au centre, d'une superficie de 1500 km²;
- le domaine alluvial dans la basse vallée, d'une superficie de 700 km².

La pente du fleuve est forte dans la haute vallée (de 5 à 2 %), puis diminue dans la plaine alluviale (0.08 %) pour atteindre sa valeur la plus faible à l'embouchure (0.02%).

La plaine alluviale de l'Hérault, sur laquelle porte l'étude, se situe géographiquement entre les communes de Saint Jean de Fos, à l'aval immédiat du Pont du Diable, et d'Agde. Elle est limitée au Nord par le domaine karstique et au Sud par le littoral.

Les principaux affluents du fleuve sont, de l'amont vers l'aval :

- en rive droite : l'Arre (socle), la Vis et la Buège (karst), l'Avenc, le Lagamas, l'Armoux, la Lergue, la Dourbie, la Boyne, l'Aiguebelle, la Payne, l'Aires et la Thongue (partie alluviale) ;
- en rive gauche : le Lamalou (karst), les Corbières, l'Aurelle, la Rouvière, le Rieutort et l'Ensigaud (partie alluviale).

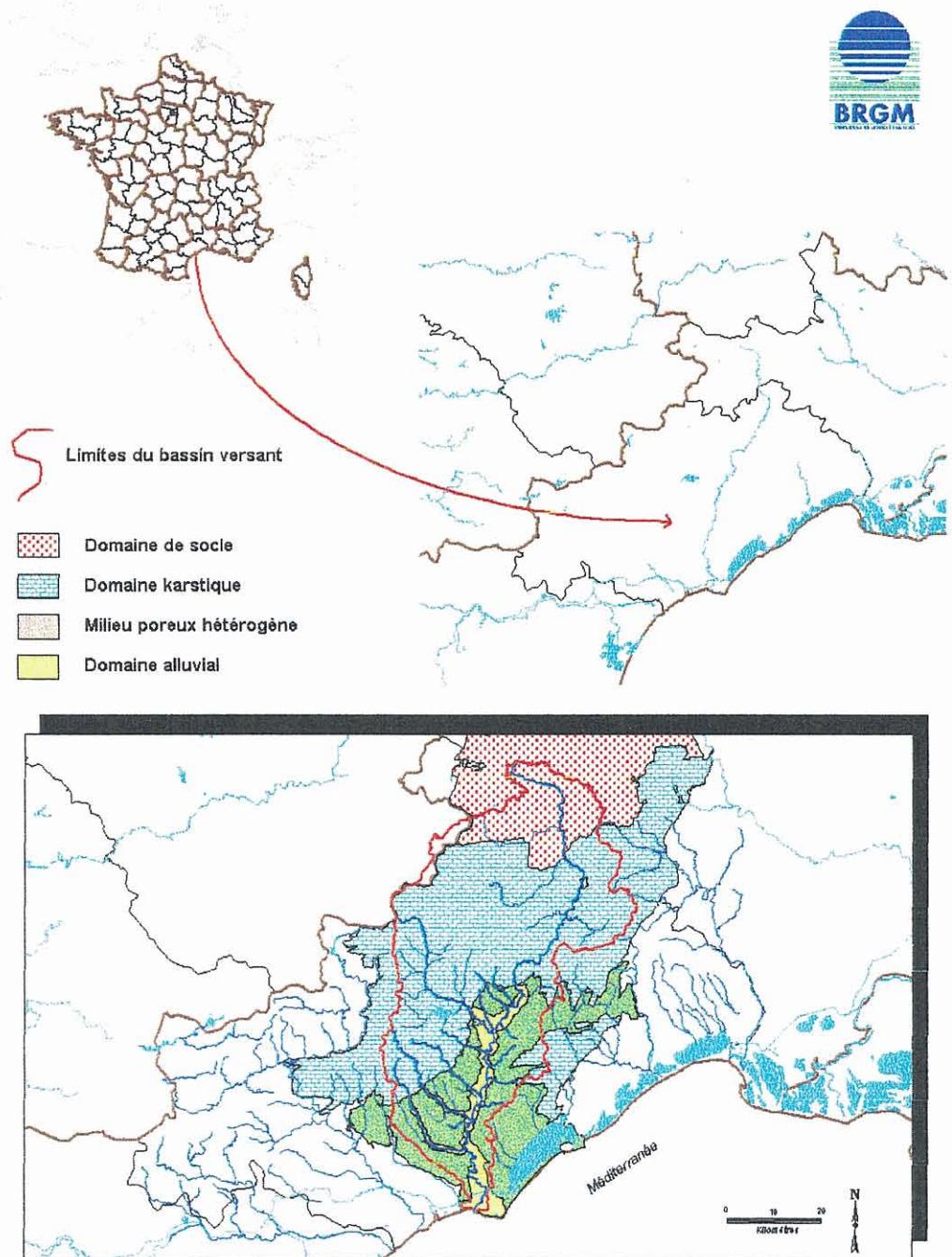


Figure 1 Localisation du bassin versant de l'Hérault

1.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

1.2.1. Histoire géologique du bassin versant

Au cours du Crétacé et de la phase de plissement pyrénéenne, une émersion générale du bassin du Languedoc a débuté et s'est poursuivie jusqu'au Miocène. Cette phase, accompagnée d'une forte érosion des terrains jurassiques, a été suivie par une période de sédimentation des terrains continentaux du crétacé supérieur, Eocène et Oligocène. La fin de l'Eocène est marquée par l'orogenèse pyrénéo-alpine. La phase compressive pyrénéo-provençale s'inscrit, dans le secteur d'étude, par la formation de l'anticlinal de Castelnau-de-Guers et du synclinal de Villeveyrac.

Lors d'une seconde transgression marine au début du Miocène, les formations marno-gréseuses, les sables argileux et les calcaires coquilliers se sont déposés en discordance sur les sédiments d'âge Eocène. Le retrait de la mer à la fin du Miocène entraîne le surcreusement de vallées et la formation d'étangs qui permettront une sédimentation carbonatée.

A la fin du Miocène (crise de salinité 5.8 – 5.3 Ma), la chute du niveau marin entraîne la création en domaine continental de véritables canyons. Lors de la remontée eustatique (5.3 Ma), le niveau marin passe de -1500 m à +70-80 m NGF. La stabilité du niveau marin au Pliocène inférieur (Zancléen 5.3 – 3.8 Ma) entraîne la mise en place de Gilbert deltas (deltas fluviatiles en eaux profondes) qui voient le dépôt synchrone de formations continentales alluviales (pôle proximal), de sables coquilliers marins et d'argiles silteuses marines (pôle distal) (Clauzon, 1990).

Le Quaternaire correspond à la formation de différentes terrasses fluviatiles, colluvions et dépôts de pente ainsi qu'à la mise en place des alluvions récentes. Des éruptions volcaniques se manifestent à Lézignan la Cèbe, Saint-Thibéry et Agde entraînant la mise en place de coulées basaltiques en rive droite de l'Hérault (Figure 2).

1.2.2. Description des faciès observés dans la vallée de l'Hérault

a) Formations alluviales

Les dépôts quaternaires (Figure 3), dans lesquels se développent les aquifères alluviaux, sont de deux types :

Les alluvions anciennes

Organisées en terrasses superposées, elles sont absentes à l'aval de Pézenas mais dominent la partie haute de la vallée en amont de Canet. Elles sont constituées de galets et graviers entourés d'argile et d'une forte proportion d'éléments fins basaltiques plus ou moins altérés qui pourraient leur conférer une perméabilité relativement faible (Dubois, 1988).

Les alluvions modernes ou récentes

Elles s'étendent sur 75 km² de Canet à l'embouchure et voient leur extension latérale croître vers l'aval. Elles sont constituées de formations détritiques à granulométrie croissante en fonction de la profondeur.

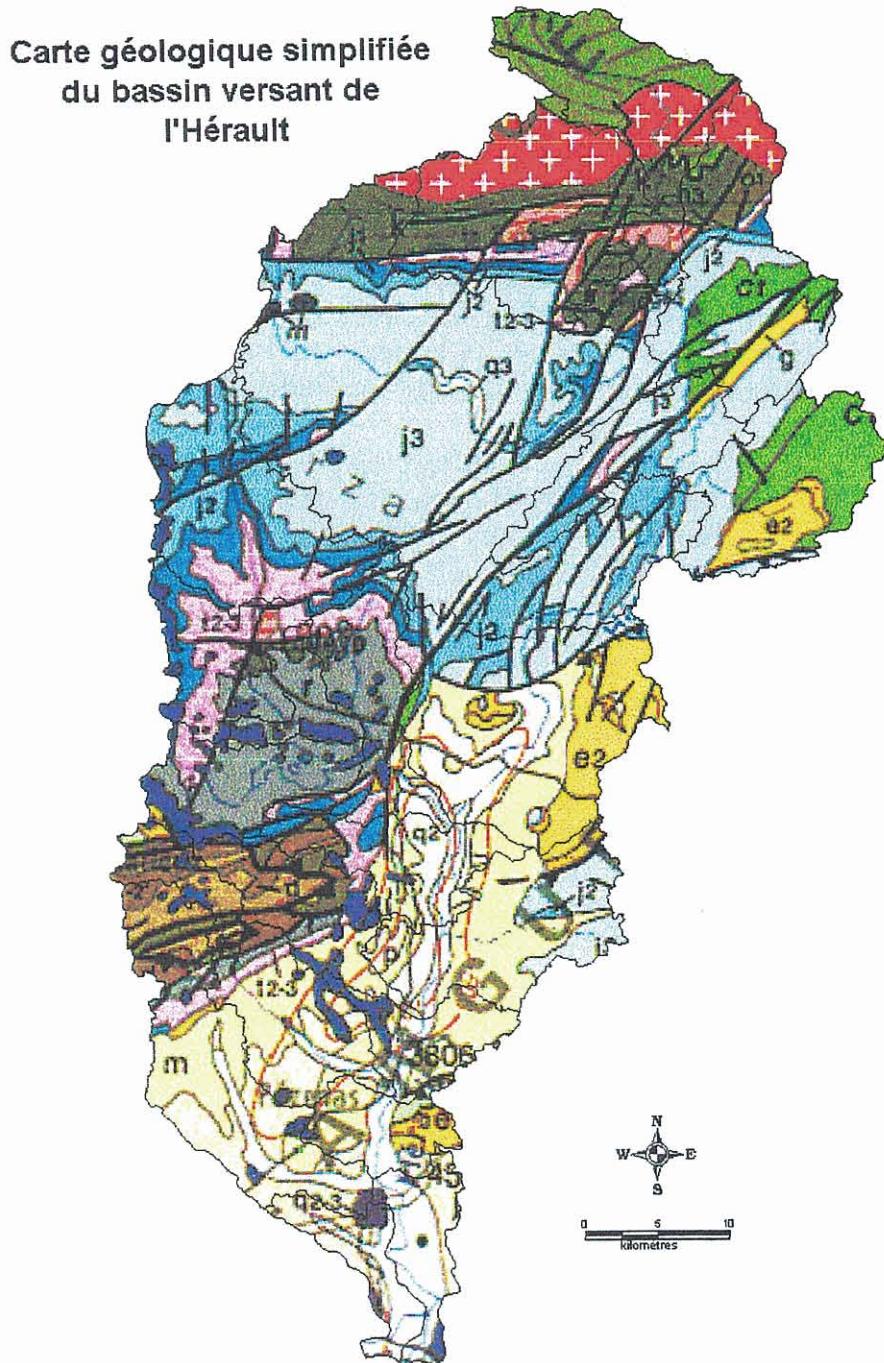


Figure 2 Carte géologique simplifiée du bassin versant de l'Hérault (extrait de la carte géologique de la France à 1/1000 000, BRGM)

Ainsi, de haut en bas la succession suivante est rencontrée :

- (a) des limons d'inondation apportés par l'Hérault ;
- (b) des sables ;
- (c) des graviers et sables ;
- (d) des vases et des argiles imperméables, d'origine marine, qui s'intercalent dans cette série depuis l'aval de Florensac jusqu'au littoral.

b) Formations non alluviales

Les formations alluviales sont en contact avec des formations volcaniques basaltiques et des dépôts anté-quaternaires qui constituent leur substratum (Figure 3) :

Basaltes

Situés en bordure de la vallée à hauteur d'Agde, Saint-Thibéry et Florensac, ces formations renferment des nappes peu importantes compte tenu des faibles perméabilités observées du fait du colmatage des fissures par les argiles d'altération des laves. Les échanges d'eau entre ces formations et les nappes alluviales doivent donc vraisemblablement être très limités.

Sables astiens

En contact direct avec les alluvions qu'ils supportent sur 13 km² environ, ils contiennent une nappe captive d'importance régionale. D'origine détritique, ils correspondent à des sables calcaires plus ou moins grossiers, parfois consolidés, de couleur jaune. En période d'étiage, les sables astiens alimentent la nappe alluviale. En période de mise en charge par les crues de l'Hérault, une inversion de gradient entraînerait l'alimentation de l'Astien par la nappe alluviale, ceci dans les zones où l'éponge argileuse qui s'intercale entre ces deux formations ne réduit pas les échanges.

Calcaires éocènes

Ces alternances de bancs métriques de calcaires lacustres et de marnes jaunes d'âge lutétien, situées au niveau de Castelnau-de-Guers, forment un aquifère dont les caractéristiques hydrodynamiques varient en fonction du degré de fissuration et de développement de la karstification. Ils peuvent participer à l'alimentation de la nappe alluviale mais représentent des ressources en eau très limitées.

Calcaires et grès du Crétacé supérieur

Ces formations font partie de la série du crétacé supérieur où prédominent des faciès marneux. Cependant, des niveaux perméables de grès et de calcaires interstratifiés affleurent en bordure de la vallée de l'Hérault au nord de Castelnau-de-Guers. Cet aquifère, très compartimenté n'offre lui aussi que des ressources très limitées.

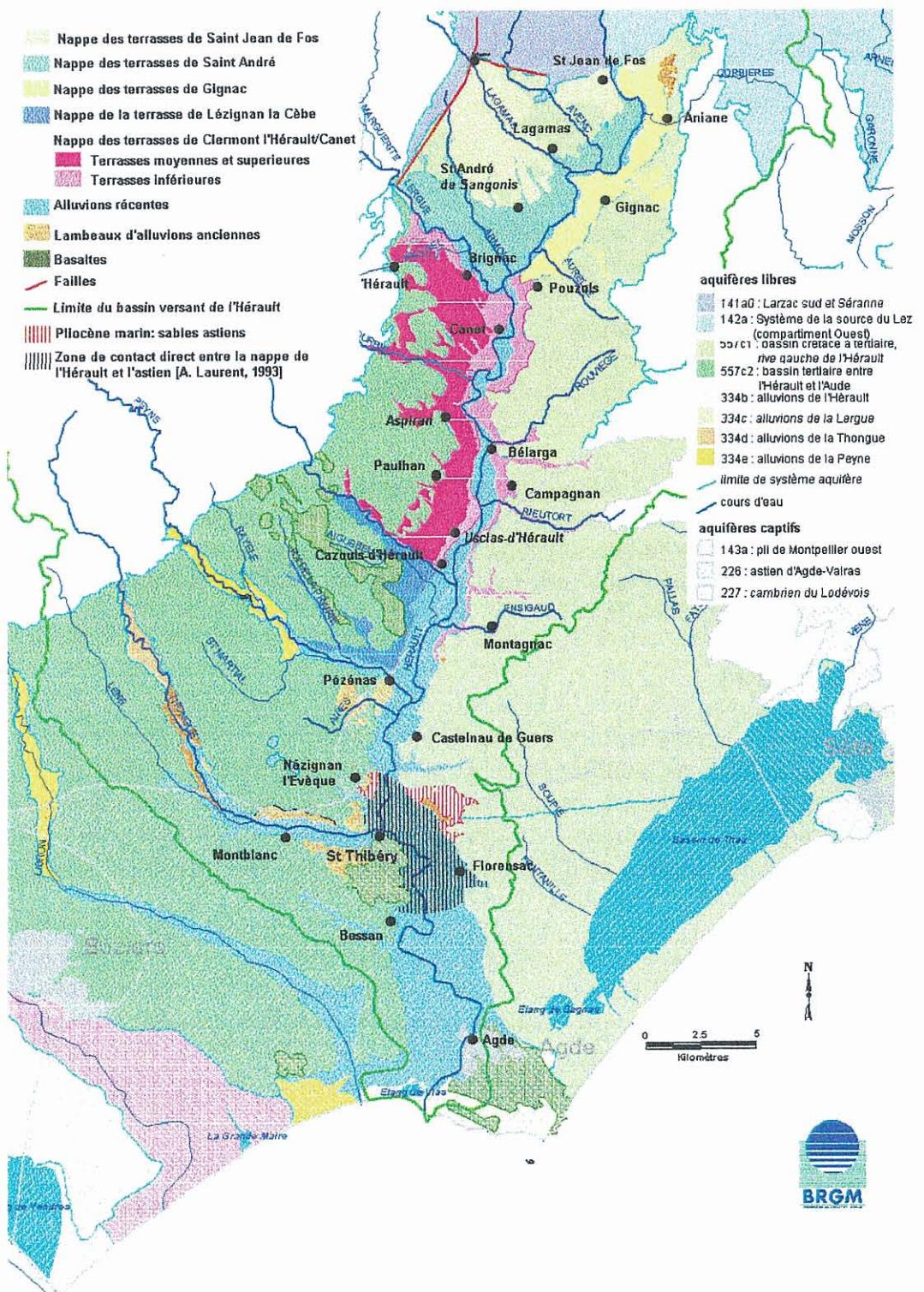


Figure 3 Carte des formations géologiques du système fluvial Hérault

1.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Les caractéristiques hydrogéologiques des différentes formations en contact avec les alluvions de l'Hérault sont décrites ci-dessous. Ces différentes nappes ont été décrites car des échanges d'eau sont possibles entre elles et les systèmes alluviaux de l'Hérault. Une étude géophysique, menée par le Conseil Général de l'Hérault et le B.R.P.G. en 1991-1992, a été exploitée pour déterminer la géométrie de l'ensemble alluvionnaire. Les thèses de V. Dubois (1988), T. Rieu (1986) et S. Jawad (1975), riches en informations, ont également servi de support à cette synthèse.

1.3.1. Nappes des formations secondaires

c) Jurassique

Le contact du Jurassique supérieur avec les alluvions de l'Hérault est peu étendu, limité à la zone de la faille d'Arboras. Les deux formations sont souvent séparées par des formations imperméables du Miocène. Dans la région de Saint Jean de Fos / Montpeyroux, l'alimentation des alluvions voire même de l'Hérault par l'intermédiaire des formations karstiques du Jurassique est très probable.

d) Crétacé

La série du Crétacé est extrêmement pauvre en ressources en eau souterraine. Les faciès marneux qui prédominent sont stériles, à l'exception d'une zone altérée en surface. Les niveaux de grès et calcaires sont aquifères dans les zones où ils affleurent, avec des débits généralement réduits en raison d'une faible perméabilité. Toutefois, des débits de plusieurs dizaines de m^3/h peuvent être obtenus par forage dans les calcaires du Rognacien.

1.3.2. Nappes des formations tertiaires

e) Eocène

Les calcaires lacustres fissurés du Lutétien peuvent constituer un aquifère à débit exploitable (dizaines de m^3/h). Des échanges sont par conséquent possibles entre les alluvions quaternaires et ces formations sous-jacentes dans la région de Castelnau-de-Guers. Par contre, dans le secteur délimité par Gignac, Saint-André-de-Sangonis et Lagamas, les échanges d'eau entre ces deux types d'aquifères sont stoppés par une épaisse couche de marnes très peu perméables qui constitue le substratum de l'aquifère de la haute vallée alluviale.

f) Miocène

Les formations du Miocène présentent trois niveaux à perméabilités différentes :

- un niveau marneux (Helvétien), très faiblement perméable, qui est le plus fréquent dans la vallée, et qui correspond au substratum de la nappe alluviale principale en amont de Pézenas ;
- sous ce niveau marneux, un horizon à galets quartzzeux représente le niveau le plus perméable. Selon J.P. Delmas, qui a réalisé des pompages d'essai au nord de l'étang de Thau, sa transmissivité est de l'ordre de $3 \text{ à } 5.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (valeur ponctuelle) ; les

échanges entre cette nappe et les alluvions sont peu probables compte tenu de la présence sus-jacente du niveau marneux Helvétien ;

- un niveau peu productif de molasses sablo-gréseuses ;

g) Pliocène

Les sables astiens jouent un rôle important dans la basse vallée de l'Hérault. Ils sont en communication directe avec les alluvions dans la région de Saint-Thibéry / Bessan, et constituent le substratum de la nappe. En aval de Bessan cependant, les formations du Pliocène continental (argiles rouges graveleuses villafranchiennes) s'intercalent entre ces deux aquifères.

h) Basalte

Etant très fissurés en surface, les basaltes constituent des nappes perchées peu profondes et sans échanges d'eau significatifs avec les aquifères alluviaux avec lesquels ils sont en contact.

1.3.3. Nappes des formations quaternaires

i) Nappes des alluvions anciennes

La Figure 4 représente les différentes nappes alluviales mises en évidence dans les alluvions anciennes de l'Hérault.

Nappe du cône alluvial, nappe des terrasses de Saint Jean de Fos

Cette nappe couvre une zone située entre la faille d'Arboras au nord et une ligne qui passe par Aniane et Lagamas au sud (superficie de 10 km² environ). Sa puissance est nettement supérieure à celle des terrasses situées à l'aval, puisque l'épaisseur des alluvions peut y atteindre une vingtaine de mètres en certains endroits.

Nappe des terrasses de Saint-André

Elles couvrent une superficie de 30 km² environ en rive droite du fleuve entre Lagamas et la Lergue. Formées de plusieurs bancs de cailloutis des alluvions anciennes et de dépôts colluviaux, elles ne présentent pas un grand intérêt hydrogéologique, car seule la terrasse inférieure contient une zone saturée, qui reste en outre de très faible épaisseur.

Nappe des terrasses de Gignac

Entre Aniane au nord et Pouzols au sud, en rive gauche de l'Hérault, ces terrasses couvrent une superficie de 10 km² environ. La profondeur jusqu'au substratum Eocène varie entre 5 et 10 mètres. Ces marnes éocènes affleurent par ailleurs en certains endroits provoquant ainsi la formation de nappes perchées au pied desquelles s'écoulent des sources de faibles débits, de l'ordre de 1 à 2 m³/h (Jawad, 1975).

Nappe des terrasses de Clermont-l'Hérault - Canet

Deux nappes ont été identifiées au confluent de la Lergue et de l'Hérault :

- la nappe des terrasses moyenne et supérieure, d'une superficie de 13.5 km² ;
- la nappe de la terrasse inférieure, d'une surface de 2.5 km², et d'une épaisseur variant de 3 à 12 mètres, qui correspond probablement à un ancien lit de l'Hérault.

Les deux terrasses sont séparées en certains endroits (au sud) par des affleurements de marnes miocènes qui conduisent à la formation de sources et d'aquifères perchés.

Nappe de la terrasse de Lézignan-la-Cèbe

Située entre la Boyne au nord et la Peyne au sud, cette nappe couvre une superficie de 6 km² environ. Son épaisseur dépasse parfois 10 mètres, mais, compte tenu de la forte teneur en argile et en éléments fins basaltiques, son intérêt hydrogéologique est limité. Elle est recouverte localement par des dépôts basaltiques.

j) Nappe des alluvions modernes

Les dépôts d'alluvions modernes constituent la nappe principale de la vallée de l'Hérault. Ils couvrent toute la basse vallée entre Pézenas et la mer ainsi qu'une partie importante de la moyenne vallée, entre Canet et Pézenas, soit une superficie totale de 75 km² environ. L'épaisseur des alluvions s'accroît régulièrement du Nord au Sud et des bordures de l'aquifère à l'Hérault, avec un maximum de 35 à 40 m à l'embouchure du fleuve (Dubois, 1988).

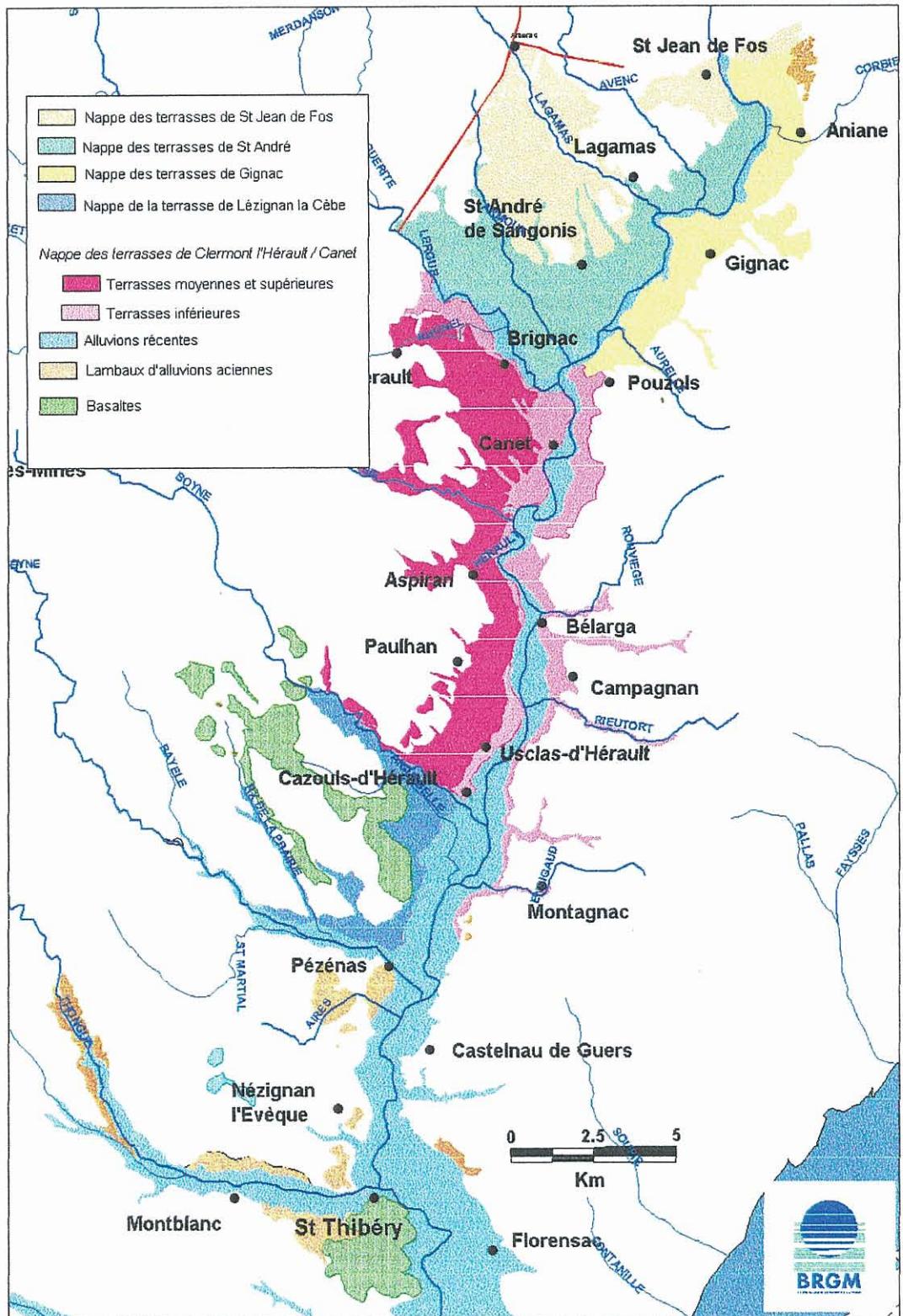


Figure 4 Cartes des différentes nappes alluviales de l'Hérault

Un rapport de Berga-Sud (1993) met en évidence la présence de trois couches dans l'aquifère des alluvions modernes (partie aval):

- une couche superficielle de limons plus ou moins sableux, particulièrement aux abords de l'Hérault et en rive droite, s'épaississant vers le sud ;
- une couche intermédiaire de sables fins, sables et graviers plus ou moins argileux qui se biseautent à l'aval à partir de St Mathieu / Les Esquinlous entre Bessan et Agde pour disparaître et faire place aux vases ;
- une couche à la base, composée de sables grossiers, graviers et galets villafranchiens (entre -22 m et -29 m) qui se biseauteraient au sud du Canal du Midi.

D'Usclas d'Hérault à Pézénas, l'extension latérale de la nappe est nettement plus importante en rive droite qu'en rive gauche, avec une continuité d'une rive à l'autre sous le lit de la rivière. Les alluvions grossières (graviers essentiellement), de 2 à 10 m d'épaisseur, sont surmontées par une couche limoneuse de faible importance (inférieure à 5 m). La puissance de l'ensemble ne dépasse pas une douzaine de mètres.

Entre Pézénas et Florensac, la nappe correspond à un chenal de 1 à 2 km de largeur, de 10 à 20 m d'épaisseur, remplis de sables et de graviers et recouvert par 5 à 10 m de limons. Entre Nézignan et Florensac, les alluvions modernes surmontent la nappe de l'Astien dont l'épaisseur est inférieure à 10 m, formant alors un aquifère bicouche, dans lequel viennent s'intercaler des lentilles argileuses (de 50 cm à 2 m d'épaisseur). En aval de Bessan, la plaine alluviale atteint son maximum d'extension (4 km au sud de Bessan). Ce secteur apparaît géologiquement le plus complexe avec la présence sous jacente des sables astiens et l'intercalation, à l'embouchure, de formations vaso-argileuses. Ces intercalations provoquent ainsi la division de la couche alluviale en trois niveaux d'épaisseurs variables, correspondants aux dépôts laissés par le cours d'eau lors de ses divagations. La couche graveleuse la plus épaisse et la plus profonde contient la nappe alluviale, qui devient captive à partir de Florensac. Les formations argilo-graveleuses du pliocène continental, peu perméables, sont transgressives sur les sables astiens et s'épaissent progressivement vers la côte, séparant définitivement les deux nappes.

1.3.4. Propriétés hydrodynamiques

La majorité des pompages d'essai réalisés dans la plaine alluviale de l'Hérault ont été effectués dans la basse vallée entre Agde et Florensac. Lors de la modélisation de la nappe, Rieu (1985) a utilisé les résultats de pompages effectués en 1960-1968 par l'Université des Sciences de Montpellier et par le BURGEAP.

En 1983, la réalisation de forages par le SRAE dans le secteur de Bessan-La-Sauzède et Florensac (St Joseph), a permis de nouveaux essais de pompage dans la vallée alluviale.

Plus récemment, lors du rapport préliminaire à la modélisation en 1991 et 1992, Berga-Sud (1993) a réalisé quatre essais de pompages à Agde (La Devèze - Jardin de la vallée - Les Esquinlous - St Sylvestre).

A partir de l'ensemble des résultats des pompages d'essai, il a été possible de dresser la carte des transmissivités des formations alluviales de l'Hérault (Figure 5).

En 1993, lors de sa thèse, Laurent (1993) a rassemblé les valeurs de transmissivités et de coefficients d'emmagasinements sur l'Astien. Ses caractéristiques hydrodynamiques sont homogènes sur l'ensemble de la nappe, la transmissivité varie entre 3.10^{-5} m²/s et 2.10^{-4} m²/s dans le secteur nord-est et entre 10^{-3} m²/s et 6.10^{-3} m²/s en bordure littorale ; le coefficient d'emmagasinement quant à lui, atteint des valeurs comprises entre 10^{-4} et 6.10^{-4} . De plus, dans cet aquifère sableux, la porosité efficace peut atteindre 25% (Dubois, 1988).

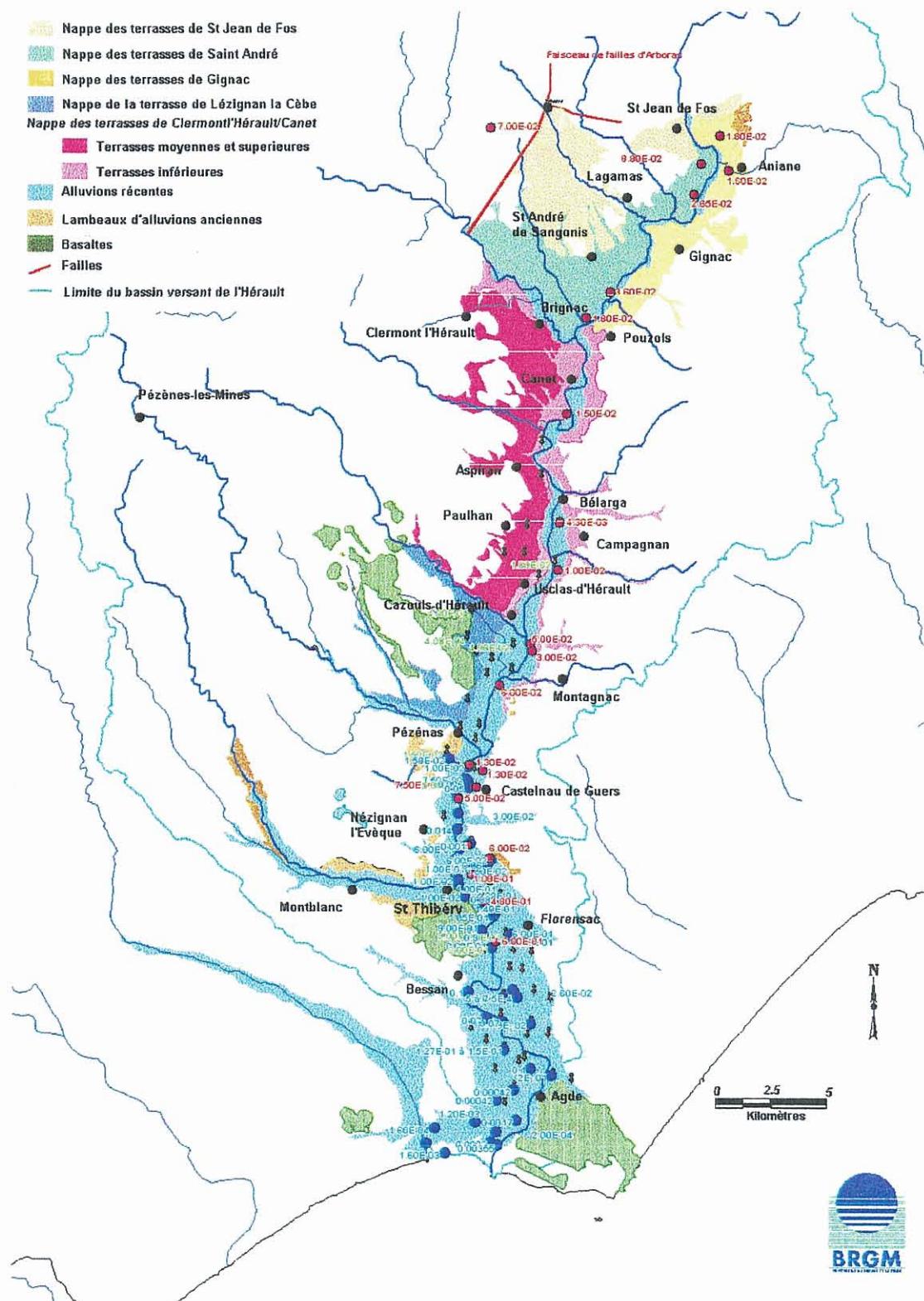


Figure 5 Localisation des mesures de transmissivités des formations alluviales de l'Hérault (en m^2/s)

1.3.5. Piézométrie

k) Réseaux de piézomètres

Le réseau de surveillance piézométrique de référence de la nappe alluviale de l'Hérault a été mis en place au printemps 1973 par le S.R.A.E. du Languedoc-Roussillon (aujourd'hui DIREN/Sema). Il comprenait initialement plus de 150 points de mesure, répartis sur l'ensemble de la vallée alluviale. Certains étaient équipés de limnigraphes mais, dans l'ensemble, les données étaient acquises au cours de campagnes de mesures ponctuelles. Il a cependant fait l'objet d'études spécifiques visant à optimiser la répartition des points de surveillance (Jawad, 1975 ; CEMAGREF, 1980 ; Dubois, 1988)¹. En 1988, environ 110 points étaient régulièrement suivis, une soixantaine situés dans la moyenne et la basse plaine (53 dans les alluvions récentes, 10 dans les terrasses et les colluvions), une quarantaine dans la haute vallée, en amont d'Aspiran.

Plus récemment, en 1993, pour la modélisation de l'aquifère de la basse vallée de l'Hérault, Berga-Sud a effectué un suivi piézométrique mensuel sur soixante points du réseau précédent, de mars 1991 à mars 1992.

Enfin, le BRGM Languedoc-Roussillon, dans le cadre de la réalisation du Schéma des Carrières du département de l'Hérault en 1998, a étudié l'évolution de la piézométrie de la nappe alluviale de l'Hérault dans sa partie amont entre Saint-Jean-de Fos et Aspiran. Les variations piézométriques pouvant être le résultat de l'extraction de granulats et des aménagements associés du lit de l'Hérault, des relevés de niveaux piézométriques ont été effectués (les 25 et 27 août 1998) sur 20 points de mesure initialement compris dans le premier réseau du SRAE Languedoc-Roussillon. Si une relation entre l'exploitation des granulats dans le lit de l'Hérault et une baisse du niveau du fleuve a été mise en évidence, aucune conclusion n'a pu être tirée quant aux relations entre exploitation de granulats et niveaux piézométriques. En effet, les piézomètres mis en place par la DIREN en 1973 sont essentiellement implantés sur les moyennes et anciennes terrasses alluvionnaires qui ne sont pas en continuité hydraulique avec le fleuve.

En 1999, seuls trois piézomètres de la vallée alluviale de l'Hérault étaient suivis en continu par la DIREN. Ponctuellement, et souvent localement pour des besoins très ciblés, certains bureaux d'étude se consacrent également à de l'acquisition de données piézométriques, notamment la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne pour le compte des autoroutes du Sud de la France dans le secteur de Florensac (CACG, 1999).

I) Piézométrie des alluvions

Dans la bibliographie, notamment Rieu (1986), Dubois (1988), Berga-Sud (1991) et plus récemment CACG (1999), quelques cartes piézométriques concernant la vallée alluviale de l'Hérault ont été établies, en périodes de hautes et de basses eaux. Ces cartes mettent en évidence le rôle de drain joué par l'Hérault au sein de la plaine alluviale.

¹ Pour sa thèse, "Caractérisation d'une nappe en milieu alluvial à partir des chroniques mensuelles piézométriques" (1988), V. Dubois a exploité les chroniques mensuelles, entre mars 1973 et décembre 1986, de 50 piézomètres situés dans la basse vallée de l'Hérault.

Cependant, la faible densité d'ouvrages ne permet pas de quantifier les échanges nappes-rivière ni de les localiser.

m) Zonage de la nappe alluviale

En 1988, V. Dubois a réalisé une analyse comparative de limnigrammes sélectionnés sur la période mars 1973 / décembre 1986, dans la basse et moyenne vallée de l'Hérault. L'évolution du niveau de l'eau au cours du temps a été analysée pour chacun des piézomètres et ceux-ci ont pu être regroupés en ensembles aux comportements hydrodynamiques similaires. A l'issue de ce travail, quatre secteurs ont été individualisés :

- de St Jean de Fos à Usclas d'Hérault, le fonctionnement hydraulique de la nappe alluviale n'a pu être décrit de manière fiable compte tenu de la géométrie complexe des formations et de la faible extension latérale de l'aquifère ;
- d'Usclas d'Hérault à Pézenas, la nappe alluviale, développée essentiellement en rive droite, est alimentée par la nappe des terrasses de Lézignan et par le cône alluvial de la Boyne ; les échanges d'eau entre le cône de la Boyne, les terrasses et les alluvions sont évidents en hautes eaux. A l'étiage en revanche, ils ne semblent pas prépondérants, le niveau de l'Hérault étant maintenu élevé à l'aide de seuils ;
- de Pézenas à Saint-Thibéry, l'influence des terrasses devient négligeable ; les écoulements convergent vers le lit de l'Hérault ; des apports en provenance des calcaires et grès du crétacé à la hauteur de Castelnau-de-Guers semblent alimenter l'aquifère en rive gauche de l'Hérault ;
- à l'aval de Saint-Thibéry, l'Hérault alimente à la fois la nappe alluviale et indirectement la nappe astienne sous-jacente en période de crue ; à l'étiage au contraire, le cours d'eau draine ces formations ; le niveau de la nappe astienne baisse rapidement suite aux prélèvements, ce qui entraîne un drainage des alluvions *per descensum*.

Les résultats de l'étude de V. Dubois sont comparables à la "classification ascendante hiérarchique" effectuée dans le cadre de l'étude de la rationalisation du réseau de surveillance piézométrique du CEMAGREF en 1980 (Dubois, 1988).

Suite à la classification des piézomètres, Dubois (1988) a déterminé trois comportements piézométriques distincts, correspondant à trois modes d'alimentation de la nappe alluviale de l'Hérault :

- une piézométrie "**axiale**", sensible aux nombreuses variations du niveau de l'Hérault, traduisant des relations nappe/rivière importantes et une alimentation de la nappe par l'Hérault et les précipitations en dehors des périodes de crues ;
- une piézométrie "**latérale**", alimentée par les précipitations efficaces et/ou par les nappes adjacentes (terrasses et nappe astienne) ;
- une piézométrie "**en aval**", particulièrement stable et perturbée principalement par les prélèvements saisonniers dans la nappe.

Par ailleurs, un bilan des apports et des sorties au niveau de la nappe alluviale a été effectué respectivement par Rieu (1985) pour la modélisation de la nappe de l'Hérault,

et par Berga-Sud (1993) dans l'étude préliminaire à la modélisation. Ces bilans prennent en compte la pluviométrie et les échanges entre la nappe alluviale et les compartiments adjacents (fleuve Hérault, sables astiens, terrasses alluviales).

D'après ces différentes études, l'alimentation de la nappe alluviale s'effectue essentiellement par l'Hérault et, dans une moindre mesure, par la nappe astienne et les autres aquifères (calcaires, basaltes) qui présentent des ressources relativement limitées. Les fuites à la mer paraissent peu importantes compte tenu des formations semi-perméables déposées en bordure côtière au Miocène, et varient peu au cours de l'année.

n) Relations avec les aquifères connexes

Le substratum des alluvions est perméable au niveau des formations calcaires du Crétacé et des sables astiens lorsque ces derniers ne sont pas séparés par les formations du pliocène continental. Des axes de surcreusement ont été mis en évidence par la géophysique, un axe principal Nord-Sud par rapport auquel d'autres axes convergent ou divergent notamment :

- au droit de Saint Thibéry, où un ancien lit de l'Hérault emprunte en partie la vallée de la Thongue ; il est recouvert de coulées basaltiques et conflue peut-être avec le lit actuel ;
- au sud du domaine de Saint Mathieu (entre Bessan et Agde) où plusieurs axes divergent ; une des branches de cet ancien "delta" de l'Hérault serait dirigée vers l'étang de Thau à Mèze.

Le toit des alluvions passe de +5 m NGF au nord de St Thibéry à -5 m NGF entre St Thibéry et Florensac. Au sud de Florensac, la nappe se met progressivement en charge : la cote du toit varie de 0 à -15 m NGF jusqu'à Bessan et descend jusqu'à -25 m NGF en bordure côtière. Les gradients sont faibles ce qui traduit la présence des formations vaso-argileuses imperméables.

Les limites latérales du système alluvial peuvent être considérées comme imperméables à l'exception :

- des bordures des terrasses alluviales en rive droite de l'Hérault au nord de Pézénas ;
- au niveau des cônes alluviaux de la Peyne et de la Thongue (rive droite) ;
- entre Castelnau-de-Guers et Florensac ;
- au contact avec les calcaires jurassiques.

L'Hérault permet l'alimentation ou au contraire le drainage de la nappe alluviale de Campagnan à Pézénas et entre Castelnau-de-Guers et Bessan.

o) Cas particulier de l'Astien

Les affleurements de sables astiens couvrent une superficie de 17 km². Leduc (1985) a calculé un apport direct de 1.7 million de m³ par an pour une infiltration efficace de 100 mm sur cette formation. La molasse sableuse du Miocène constitue une source potentielle d'échanges avec la nappe des sables astiens (recharge de la nappe astienne) malgré l'existence de faciès peu perméables au sommet du Miocène. Néanmoins, les volumes d'eau échangés entre la molasse sableuse et les sables astiens ne sont pas

connus, mais sont certainement faibles. Au nord-est de l'emprise de la nappe astienne, les formations de calcaire gréseux et de grès crétacés du bassin synclinal de Villeveyrac fournissent des débits de l'ordre de 1 à 3 m³/h jusqu'à plus de 10 m³/h (par forage). A l'Ouest du bassin de Villeveyrac, les calcaires Eocène, peu karstifiés, ne fournissent pas de débits supérieurs à une dizaine de m³/h.

Echanges verticaux avec les aquifères sous-jacents

En rive droite de l'Hérault, les marnes bleues du Pliocène constituant un écran imperméable, aucun échange significatif avec les aquifères sous-jacents n'est possible. En rive gauche de l'Hérault, les échanges entre les calcaires jurassiques qui affleurent (causse d'Aumelas, montagne de la Moure, massif de la Gardiole et Mont Saint Clair à Sète) sont considérés comme négligeables (Laurent, 1993).

Echanges verticaux avec les aquifères alluviaux

Dans la zone de Nézignan-l'Evèque, Saint-Thibéry et Florensac, la nappe alluviale repose directement sur les sables astiens. Cette région constitue une zone d'échanges privilégiée. Plus à l'aval, l'interface argileuse étant encore de faible épaisseur, la nappe alluviale est alimentée par l'Astien en régime naturel, l'Astien étant généralement en charge par rapport à la nappe alluviale. Cependant, lors des crues de l'Hérault, les sens de circulation des eaux sont susceptibles de s'inverser, la nappe alluviale alimentant alors les sables astiens. Au niveau de la ville d'Agde, l'écran s'épaississant, les échanges deviennent nettement moins importants entre ces deux systèmes aquifères alors bien différenciés. De plus, on suppose qu'une communication, au moins indirecte, existe entre l'Astien et les alluvions de la Thongue, les échanges diminuant progressivement vers l'aval par interposition d'un écran semi-imperméable à imperméable.

Echanges avec la mer

Durant les mois d'été, la piézométrie de l'Astien est inférieure au niveau de la mer et laisse craindre une intrusion d'eau salée par avancée subhorizontale de l'interface eau douce/eau salée au sein de l'aquifère astien, et/ou une contamination par drainance verticale de l'eau douce profonde par la masse d'eau marine superficielle. Cependant, les récents travaux de Barbéco (1999) mettent en évidence que la salinisation de l'Astien à proximité du littoral n'est pas due à de l'eau de mer actuelle mais est le fait d'une contamination *per ascensum* depuis des aquifères profonds.

Les échanges d'eau possibles entre le système alluvial et ses compartiments adjacents sont schématisés sur la Figure 6.

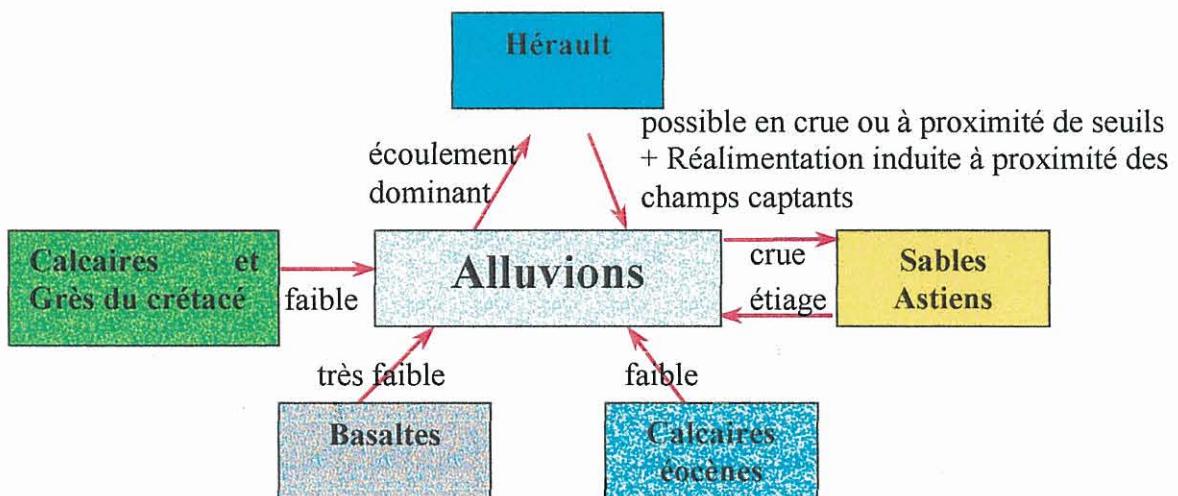


Figure 6 Modèle conceptuel des échanges entre la nappe alluviale de l'Hérault et les compartiments adjacents

1.4. LE FLEUVE HERAULT

L'Hérault est soumis à de fortes variations de débit entre les périodes de hautes et de basses eaux. En décembre, le débit moyen mensuel mesuré à Montagnac sur la période de 1931 à 1973 est de 104 m³/s, il n'est plus que de 8.7 m³/s au même endroit pour le mois d'août. A cette même station, le débit moyen annuel du fleuve sur la même période est de 53 m³/s.

Les stations de jaugeage du cours d'eau de l'Hérault sont gérées par la DIREN Languedoc-Roussillon, responsable de l'alimentation de la Banque Hydro. Dans la partie alluviale du fleuve (Figure 7), les stations actuellement en service sont celles de Gignac, Aspiran, Florensac et Agde (Bassin rond). La station de Montagnac, située entre celles d'Aspiran et de Florensac fournissait des données depuis 1922 mais n'est plus en service à ce jour. D'autres stations hydrométriques permettent de suivre les débits sur certains affluents de l'Hérault : l'Arre, la Vis, la Lergue et la Peyne.

Les débits et hauteurs d'eau du fleuve ont été influencés au cours du temps par les diverses modifications anthropiques entreprises sur le cours d'eau ; aménagements agricoles et hydroélectriques du bassin supérieur de l'Hérault ; successions de seuils sur le cours aval, susceptibles de modifier localement la piézométrie et d'inverser le sens des échanges nappe/rivière. Les différents seuils et ouvrages sur le cours aval de l'Hérault ont été repérés et les niveaux d'eaux ont été mesurés en amont et aval de chacun d'entre eux. Leur position est repérée sur la Figure 7.

A l'amont d'Aspiran, quatorze seuils sur l'Hérault ont été répertoriés. Plusieurs années de mesures mensuelles du niveau de l'Hérault en amont et en aval de chacun de ces seuils sont disponibles (Moulin de Laurès : 83-87, Moulin de Roquemengarde : 83-87, Seuil de Cazouls aval : 83-87, Moulin des prés aval : 83-87, Seuil de Castelnau-de-Guers, Moulin de Conas : 83-87, seuil du Pont romain à St Thibéry : 83-87, seuil de

Pézenas : 83-87, moulin du Duc d'Uzès, seuil de moulin Bladier : 85-92, seuil d'Agde : 83-92), à l'exception de celui du moulin de Haguenot et de celui de Bélarga. Le seuil d'Agde a été ébréché lors de la crue de décembre 1997. Le niveau actuellement maintenu à 1.5 mNGF a donc légèrement baissé lors de cet événement. Le seuil a cependant été réparé très rapidement.

Le seuil de Bladier Ricard à Bessan, qui appartient au Syndicat du Bas-Languedoc, est à la cote 3.5 mNGF et possède des clapets de 1 m depuis 1994. Lorsque les clapets sont en place, le plan d'eau remonte jusqu'au seuil de St Thibéry.

Le seuil de Florensac (pont de la RD 18) a été mis en place en septembre 1989 et est actuellement à la cote 4.27 mNGF.

Le seuil du Pont Romain de St Thibéry était à la cote 6.8 mNGF. Depuis sa reconstruction en 1989, sa cote actuelle est de 7.5 mNGF.

Le seuil de Cazouls d'Hérault appartient au Syndicat des Eaux de la moyenne Vallée de l'Hérault. Celui de Roquemengarde, au niveau de Usclas d'Hérault, a été restauré en 1989 par le département. Le barrage de Bélarga a été reconstruit en 1985. Il est actuellement à une cote supérieure à 19 mNGF.

La Compagnie du Bas Rhône a reconstruit un seuil au droit de l'ancien ouvrage du 19^{ème} siècle à Aspiran. La cote actuelle de ce seuil est de 22.2 mNGF avec une échancrure de 70 cm à 21.5 mNGF.

Entre Aspiran et le Pont du Diable (partie amont du système étudié), un seuil d'une amplitude de l'ordre de 7 mètres a été mis en place sur la commune de Gignac, dans un objectif de production d'électricité.

La construction de seuils sur le cours des rivières peut conduire à modifier les échanges d'eau avec la nappe (infiltration vers la nappe en amont du seuil et drainage de celle-ci en aval du seuil). Il est donc important de tenir compte de ces différents ouvrages.

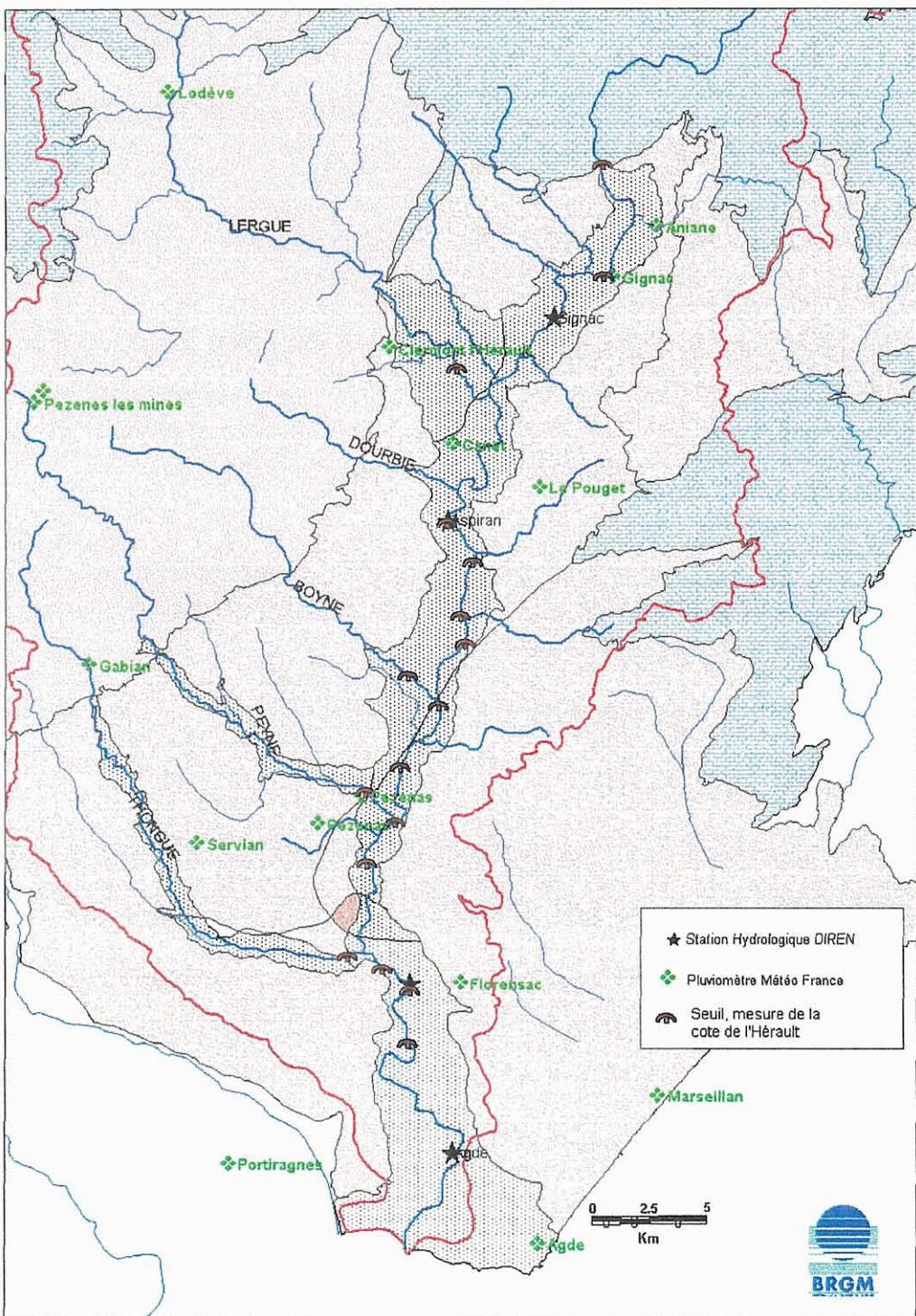


Figure 7 Localisation des seuils et des stations pluviométriques et hydrométriques

La vallée de l'Hérault est soumise à un climat de type méditerranéen, caractérisé par l'irrégularité de son régime pluviométrique, avec notamment une période de sécheresse en été et une prépondérance des pluies d'automne et de printemps. Souvent, les précipitations présentent un caractère catastrophique avec d'importantes quantités d'eau tombées en des temps très courts. On note cependant de grands contrastes du Nord au Sud, en raison des différences d'altitudes du bassin versant. Ces dernières n'étant pas significatives dans le domaine alluvial, elles n'ont pas d'effet notable sur la pluviométrie de la basse plaine, mais l'hydraulique de l'Hérault dans sa partie alluviale est logiquement influencée par les fortes variations pluviométriques constatées en amont du bassin versant. De nombreuses stations pluviométriques, gérées par Météo France notamment, sont reparties sur l'ensemble du bassin versant de l'Hérault. Huit d'entre-elles sont localisées dans ou à proximité de la plaine alluviale de l'Hérault entre Aniane au Nord et Agde au Sud (Figure 7), elles permettent d'y intégrer la variabilité spatio-temporelle des précipitations.

Si l'ensemble des données recueillies au cours de ce travail semble indiquer un drainage important des systèmes alluviaux par l'Hérault, une inversion des échanges nappe/rivière peut se produire localement en période de crue ; elle dépend de la position du lit mineur par rapport aux différentes terrasses alluviales. Dans la partie amont de la plaine alluviale, du fait de l'érosion et de l'enfoncement du fleuve dans le substratum tertiaire, les éboulis et éluvions d'abord, puis les terrasses anciennes, se trouvent ainsi perchés et isolés, donnant naissance à plusieurs petites sources pérennes ou temporaires aux différentes altitudes d'emboîtement, dès lors que le substratum est affleurant ou sub-affleurant. Dans ce cas, les relations entre le niveau de la rivière et les niveaux piézométriques sont très limitées.

En aval de la confluence avec la Lergue et à partir de Canet, le fleuve coule sur des alluvions grossières ou en est isolé par une faible épaisseur de limons. La continuité hydraulique entre la rivière et la nappe alluviale est plus probable que dans la partie Nord (Figure 8).

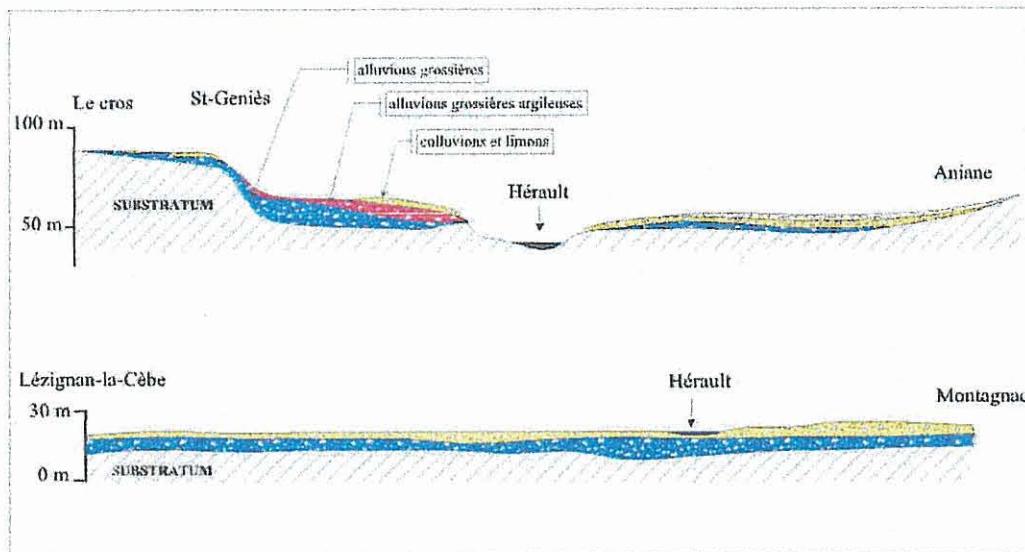


Figure 8 Coupes géologiques de la vallée alluviale de l'Hérault

1.5. LES USAGES DE L'EAU

Les captages AEP, ainsi que les puits et autres points d'eau, sont référencés sur la Figure 9. Les prélèvements, notamment à usage agricole, sont difficilement actualisables étant donné leur multitude et le manque d'informations obtenues lors des enquêtes effectuées auprès des agriculteurs.

1.5.1. Alimentation en eau potable et captages domestiques

En 1993, pour la modélisation de l'aquifère de la basse vallée de l'Hérault, Berga-Sud a évalué les prélèvements annuels des captages A.E.P. dans la basse plaine de l'Hérault à 16,5 Mm³ (estival = 6,5 Mm³ dont 2,3 Mm³ pour le seul mois de juillet). Les communes concernées étaient celles d'Agde, Bessan, Florensac, Pézenas, St Thibéry et Vias. Dans la même zone d'étude en 1993, les prélèvements annuels comptabilisés pour les campings et les A.S.L. (Associations Syndicales Libres) étaient d'un peu plus de 0,1 Mm³.

Les aquifères mobilisés se sont avérés être essentiellement les alluvions récentes de l'Hérault et, dans une moindre mesure, les sables astiens au sud d'Agde-Vias (le volume pompé dans l'Astien ne représentant que 0,94% du volume total pompé annuellement).

En 1993, le volume total prélevé dans la plaine alluviale pour l'AEP s'élevait donc à 16,7 Mm³, 40% de ce volume étant prélevé en été. La répartition spatiale des captages est très hétérogène puisqu'on peut observer (Figure 9) une concentration de treize captages à l'ouest de Florensac le long de l'Hérault, captages qui représentent 80% du volume total annuel prélevé.

1.5.2. Captages agricoles

Par rapport aux usages AEP et domestiques, il est beaucoup plus délicat d'obtenir une estimation précise des prélèvements à usage agricole du fait d'une méconnaissance de toutes les surfaces irriguées, de l'identification des différentes cultures, mais aussi par manque de coopération de certains exploitants agricoles et par l'existence de pompages clandestins non négligeables. Le nombre d'ouvrages répertoriés et les volumes calculés dans le rapport de Berga-Sud (1993) sont largement sous-estimés. Ainsi, le volume annuel minimum prélevé dans la nappe avait été évalué à 4.2 Mm^3 en 1993, et celui prélevé dans l'Hérault à 0.2 Mm^3 .

Les prélèvements par pompages mobiles et prises d'eau dans le Canal du Midi, ainsi que la prise en compte des pertes liées aux pompages dans la nappe de part et d'autre du canal (dont la non étanchéité a été mise en évidence au moins au niveau du bassin rond à Agde), s'élèveraient en 1993 à $1 \text{ Mm}^3/\text{an}$.

Le volume total annuel des prélèvements agricoles est ainsi évalué en 1993 à 5.4 Mm^3 , eaux de surface et nappe alluviale comprises. Ces prélèvements augmentent chaque année.

1.5.3. Bilan des prélèvements

D'après l'étude de Berga-Sud, le volume total de prélèvements à usages agricoles et domestiques s'élevait à 22.2 Mm^3 en 1993. Ces prélèvements étaient répartis comme suit : 21 Mm^3 dans la nappe alluviale et 1.2 Mm^3 dans les eaux de surface. De plus, cette étude précise que volumes prélevés durant le seul mois de juillet représentent 20% des prélèvements annuels.

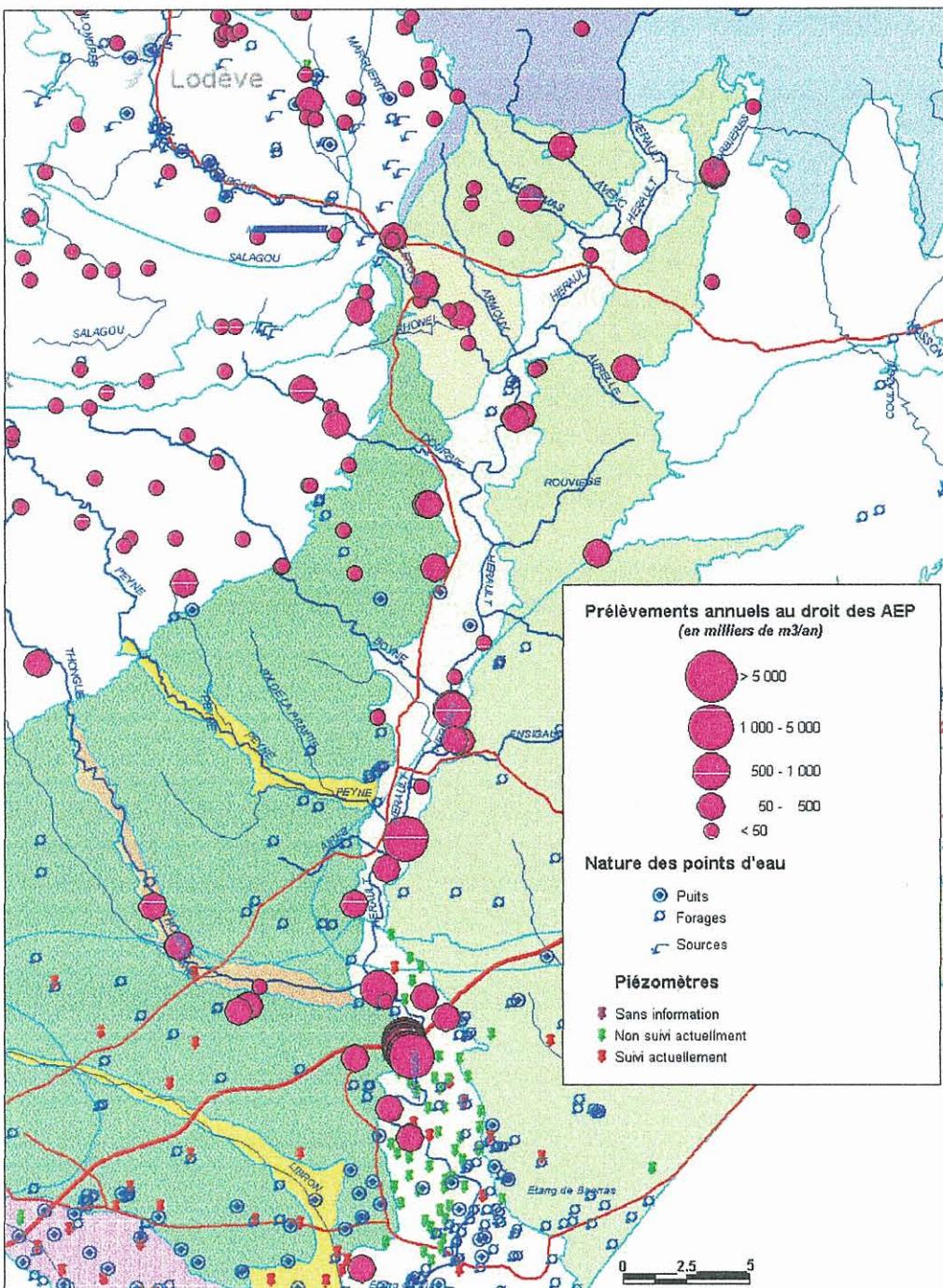


Figure 9 Carte des prélèvements AEP dans la vallée de l'Hérault

1.5.4. Qualité physico-chimique des eaux souterraines

p) Nappe alluviale

Lors du rapport préliminaire à la modélisation rédigé par Berga-Sud en 1993, une campagne de prélèvements a été effectuée du 28 novembre au 19 décembre 1991. La

température, le pH, le Eh, la conductivité, le taux d'oxygène et les teneurs en Na, Cl, NO₃, Fe et Mn ont été déterminés.

Plusieurs campagnes physico-chimiques ont également été réalisées de mars 1995 à octobre 1996 dans le cadre de la thèse de Petelet (1998). L'étude des mouvements d'eaux dans les bassins versants de l'Hérault (socle et partie karstique principalement) et de la Peyne, a été réalisée à travers l'analyse complète des éléments majeurs, de certains éléments traces, du strontium et des isotopes de l'eau (oxygène18/ Deutérium). Les caractéristiques géochimiques des différentes eaux se sont avérées être en étroite relation avec les lithologies des terrains traversés, particulièrement dans l'analyse des éléments majeurs et traces. Les trois types de terrains qui composent l'ensemble du bassin versant de l'Hérault ont une signature géochimique spécifique. A titre d'exemple, les eaux de la partie nord du bassin (socle) présentent des teneurs en K et Rb élevées, tandis que les eaux qui drainent les calcaires jurassiques et crétacés présentent des concentrations en Ca, Mg et HCO₃ élevées. Le "compartimentage" géochimique de la partie alluviale, plus complexe géologiquement, s'avère plus problématique compte tenu de l'influence des entrées d'aérosols marins et de l'existence de zones agricoles, détectées classiquement par des teneurs spécifiques en éléments majeurs et traces.

q) Aquifère de l'Astien

De nombreux travaux ont été menés ces dernières années pour comprendre le fonctionnement de la nappe captive de l'Astien, développée dans la partie sud du département de l'Hérault dans les environs d'Agde. Elle fait l'objet de nombreuses études dont notamment les thèses de Leduc (1985) et de Laurent (1993) et plus récemment celle de Barbéri (1999).

En se basant sur l'analyse de la bibliographie relative à ce secteur, Leduc (1983) entreprend le développement du réseau piézométrique existant et étudie le comportement de la nappe captive par une double approche hydrodynamique et physico-chimique. Il organise des campagnes d'échantillonnage et d'analyses de la résistivité des eaux, des teneurs en sulfates, nitrates et fer. Il souligne l'existence d'une zone littorale peu minéralisée et d'une zone intérieure plus chargée et met en évidence, en considérant les sulfates et nitrates comme traceurs conservatifs, des phénomènes de drainage (provenant du Pliocène continental), notamment dans la région de Bessan et de Saint-Thibéry.

1.5.5. Gravières et carrières

Les nombreuses extractions de sable et de graviers au cours de ces dernières décennies dans le lit mineur de l'Hérault ont entraîné quelques modifications locales de la piézométrie de la nappe alluviale. En 1986, une gravière, dont l'exploitation a débuté en 1964, était encore en activité, juste en amont de Pézenas, à proximité du seuil du Moulin des Prés et de celui de Roquemengarde. Six autres, situées au niveau de Saint-Thibéry et de Bessan, ne sont plus en activité depuis une quinzaine d'années. Les extractions réalisées dans le lit majeur de l'Hérault ont un impact beaucoup plus limité, voire nul, sur cette piézométrie. La dernière exploitation en relation directe avec l'Hérault (carrière SAGRAHER à Canet) n'est plus en activité depuis 1998. Les

sablières en activité actuellement sont localisées sur les hautes terrasses dans le secteur de Gignac-Aniane et n'ont aucun effet sur la piézométrie de la nappe alluviale étudiée.

1.6. CONCLUSION

La synthèse des études et travaux réalisés sur la géologie et l'hydrogéologie de la plaine alluviale de l'Hérault montre le caractère très hétérogène du milieu alluvial, les successions de dépôts alluviaux permettant la formation non pas d'une nappe alluviale mais d'un ensemble de nappes, plus ou moins connectées entre elles et avec le fleuve Hérault. Ce paramètre, ainsi que la vaste étendue du système alluvial (la plaine s'étend sur une cinquantaine de kilomètres du Pont du Diable à la mer), rendent la compréhension du fonctionnement hydrologique de la plaine délicate dans le détail.

Un second point peut être mis en avant à la lecture de ce chapitre. Jusqu'à présent, les études hydrologiques réalisées sur la plaine de l'Hérault se sont essentiellement concentrées sur la partie aval, couramment appelée la basse plaine de l'Hérault. Peu d'entre elles ont été mises en œuvre jusqu'au Pont du Diable, au débouché de la zone karstique, car ce secteur est formé de plusieurs terrasses emboîtées, à la topographie très prononcée et dont on ne connaît pas les liens hydrologiques avec la partie centrale des alluvions.

Enfin, les travaux réalisés sur l'Hérault ont toujours privilégié l'outil hydrologique ou hydrogéologique (mesures des niveaux d'eau des rivières, mesures des niveaux d'eau dans les puits), rares sont celles qui ont doublé ces mesures d'une étude géochimique, c'est à dire d'une étude de la signature chimique des eaux pour identifier des pôles hydrologiques différents et ainsi pouvoir différencier l'origine des eaux présentes dans les alluvions et dans les rivières. L'objectif du présent travail vise donc à tester des outils géochimiques et de les comparer aux données hydrologiques afin de mieux comprendre le fonctionnement du système alluvial Hérault, composé de la nappe alluviale et du fleuve.

2. Instrumentation et métrologie

A l'issue de la synthèse hydrogéologique réalisée sur la plaine alluviale et des inventaires des puits, piézomètres et forages disponibles sur cette zone, une sélection a été réalisée pour effectuer un suivi régulier de la piézométrie et de la chimie des eaux souterraines. Par ailleurs, le suivi de la ligne d'eau de l'Hérault a été entrepris afin de mettre en évidence les directions d'écoulements et les échanges possibles entre nappe et rivière.

2.1. LE RESEAU DE SUIVI PIEZOMETRIQUE

Le suivi piézométrique réalisé par le BRGM a démarré en août 1999 et s'est arrêté en juillet 2001. Le réseau est constitué de 38 points de mesures piézométriques (puits fermiers, piézomètres) repartis sur la plaine alluviale du Pont du Diable au Nord à Florensac au Sud. Neuf points ont été équipés d'appareils de suivi du niveau d'eau en continu (Orphimèdes, OTT hydrométrie). Les mesures automatiques sont effectuées au pas de temps horaire et l'ensemble des ouvrages est relevé manuellement tous les mois. L'ensemble des points suivis est représenté sur la Figure 10. Les données acquises dans le cadre de ce travail sont présentées détail dans l'annexe 1.

Des lacunes d'enregistrement apparaissent sur certains puits, elles sont liées à la crue d'octobre 1999 où les prises d'air des appareils se sont retrouvées noyées. Pour remédier à ce problème, les installations ont été modifiées en conséquence.

Les données acquises ont permis de dresser des cartes piézométriques qui donnent accès aux (1) directions d'écoulement de l'eau souterraine, (2) gradients des écoulements c'est à dire aux pentes de la surface piézométrique et (3) aux relations hydrologiques entre l'Hérault et les nappes alluviales.

De plus, les chroniques piézométriques, obtenues à partir des enregistrement en continu, permettent de visualiser l'évolution des niveaux de l'eau souterraine et de déterminer si ces niveaux sont influencés par les précipitations et/ou par la cote de l'Hérault.

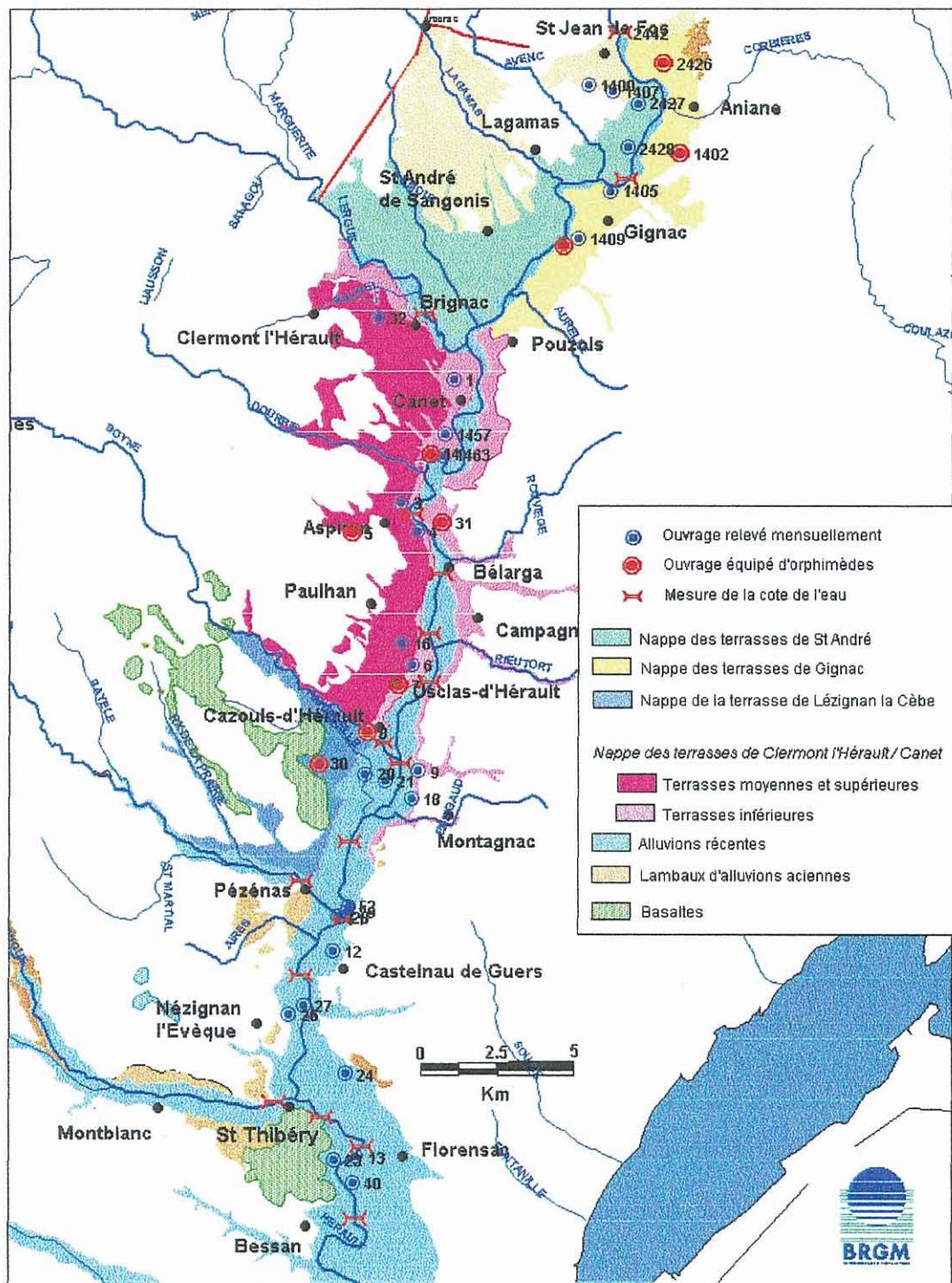


Figure 10 Réseau piézométrique de la vallée de l'Hérault et position des seuils

2.2. SUIVI DE LA LIGNE D'EAU DE L'HERAULT

Le suivi de la ligne d'eau de l'Hérault a été effectué à plusieurs périodes clés de l'année (étiage, crues, niveau moyen). Pour ce faire, treize points ont été nivelés entre le Pont du Diable et le seuil de Bladier de manière à mesurer rapidement la cote de l'Hérault en amont et aval des différents seuils. Les cotes d'eau de l'Hérault sont exprimées en mètres NGF de façon à pouvoir être raccordées aux cotes piézométriques mesurées dans la nappe alluviale. Outre le suivi de la ligne d'eau de l'Hérault, un suivi du niveau d'eau des principaux affluents (la Lergue, la Boyne, la Peyne, la Thongue) a été réalisé à proximité de leur confluence avec l'Hérault.

Les différents ouvrages suivis dans la plaine alluviale ont fait l'objet d'un niveling de précision afin de raccorder toutes les mesures au système NGF. Le niveling a été réalisé sur 55 points, comprenant les puits, piézomètres ainsi que les seuils sur l'Hérault et quelques affluents. Cette tâche a été confiée au Cabinet de Géomètres B3R à Lattes. La méthode utilisée est le niveling direct à partir des repères IGN, la précision est de +/- 1 cm en altitude. L'ensemble des données collectées à cette occasion est présenté sous forme d'un tableau récapitulatif dans l'annexe 2. Les coordonnées des points sont exprimées en mètres dans la projection Lambert III Sud.

Les niveaux des plans d'eau en amont et aval des seuils ont été mesurés en période de basses eaux (5 avril 2000) et en crue (12 mai 2000) (Figure 11 et annexe 1).

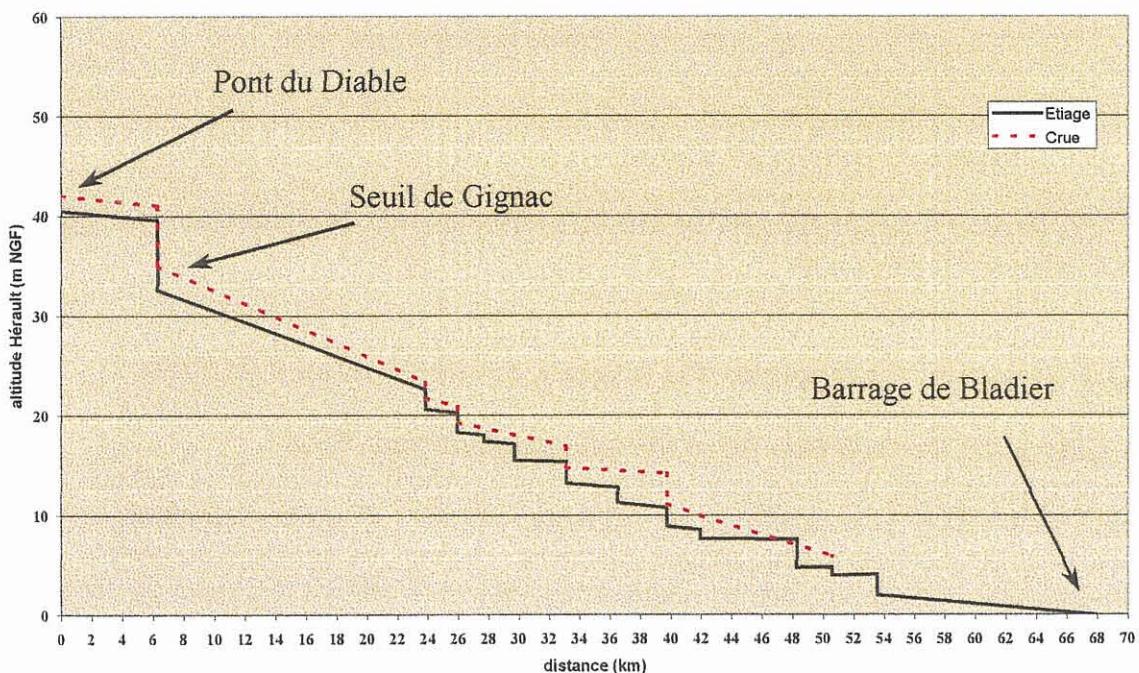


Figure 11 Etagement de la ligne d'eau de l'Hérault entre le Pont du Diable et le barrage de Bladier

Le seuil le plus marqué est celui de Gignac (environ 7 mètres de dénivelé) ; les autres ouvrages présentant des différences de hauteurs d'eau de l'ordre d'un à deux mètres à l'étiage, les dénivélés diminuant en période de hautes eaux.

2.3. CAMPAGNES DE MESURES GEOCHIMIQUES

2.3.1. Répartition spatiale de l'échantillonnage

Les points d'échantillonnage ont été déterminés à partir de la synthèse hydrogéologique réalisée sur la plaine alluviale. Différents niveaux aquifères ont été identifiés en partant des terrasses supérieures et moyennes en passant par les terrasses inférieures jusqu'aux alluvions récentes les plus proches du fleuve.

Chaque compartiment hydrologique est échantillonné afin de le caractériser géochimiquement, c'est à dire de tenter de lui associer une "signature" distincte. Les différents points de prélèvements sont représentés sur la Figure 12 .

Au total 38 points de prélèvements ont été utilisés, 10 points pour les eaux de surface (Hérault et affluents) et 28 points pour les eaux souterraines répartis comme suit :

- 6 dans les terrasses supérieures ;
- 2 dans les terrasses inférieures ;
- 12 dans les alluvions récentes ;
- 1 dans les calcaires crétacés à l'Est de la plaine alluviale ;
- 2 dans les alluvions anciennes ;
- 2 dans les terrasses de St André ;
- 3 dans les terrasses de Gignac.

La plupart des échantillonnages sont réalisés dans les mêmes puits que ceux utilisés pour le suivi piézométrique.

2.3.2. Descriptif géologique des niveaux aquifères échantillonnes

r) Glacis d'accumulation de matériel cryoclastique (FPx)

Située entre la faille d'Aboras et une ligne reliant St André-de-Sangonis à Aniane, cette nappe correspond à un épandage de cailloutis calcaires d'origine cryoclastique dont l'épaisseur peut atteindre une dizaine de mètres et dont les horizons de surface sont souvent consolidés en une brèche rougeâtre fossilisant la surface terminale du dépôt. A l'amont, ces glacis viennent buter contre le relief jurassique. A l'aval, ils se raccordent à la terrasse rissienne par une petite cuesta ou par un talus très émoussé. Ils sont sans doute très peu antérieurs à cette terrasse qui emprunte d'ailleurs largement leur matériel.

s) Alluvions anciennes de haute terrasse (Fx)

La haute terrasse est surtout développée en rive droite de l'Hérault jusqu'à la vallée de la Lergue et s'individualise à une altitude de 25 à 30 m au dessus du lit majeur. Les dépôts vont des sables aux galets avec une abondance de matériel cryoclastique peu façonné le long de l'Hérault. La puissance de cette terrasse est généralement de inférieure à 10 mètres.

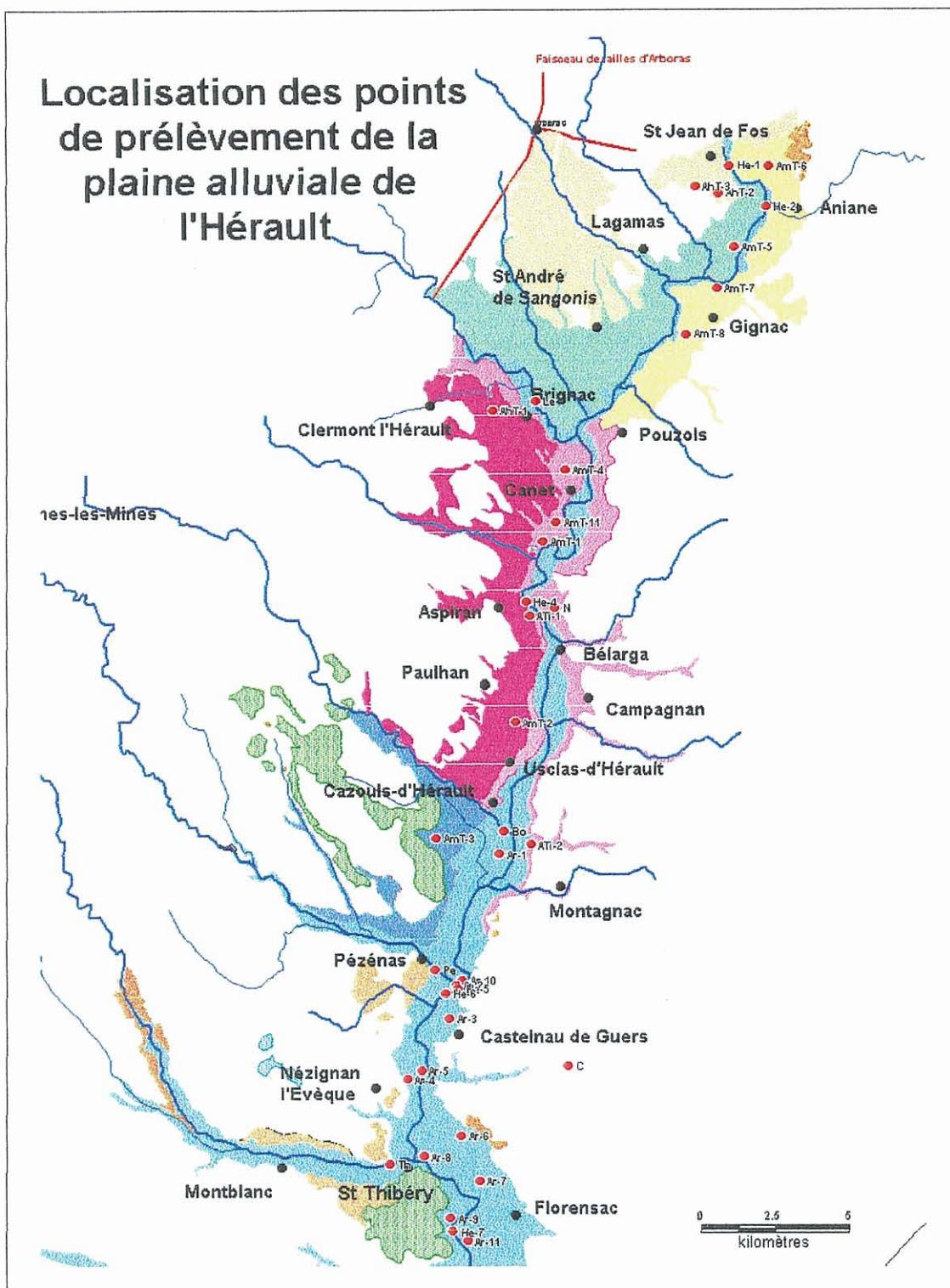


Figure 12 : Localisation des points de prélèvements pour analyses dans la plaine alluviale de l'Hérault

Plus au sud, la haute terrasse se compose de lambeaux d'alluvions étalés en petites terrasses discontinues à 20 - 30 m d'altitude au dessus du cours majeur de l'Hérault. D'un point de vue pétrographique, elle se compose de cailloutis "villafranchiens" constitués majoritairement de galets siliceux (quartz, quartzites, schistes quartzeux) enrobés d'une matrice argilo-sableuse jaunâtre et parfois rubéfiées en surface. La puissance de ces dépôts est de 3 à 4 mètres environ.

t) Alluvions de moyenne terrasse (Fya) et de la terrasse inférieure (Fyb)

Elles se composent de sables et graviers de calcaires siliceux. Les deux terrasses se distinguent par un important ressaut morphologique où apparaît le substratum marneux miocène qui entraîne la formation de sources et d'aquifères perchés dans la moyenne terrasse.

u) Alluvions récentes et actuelles (Fz)

Dans la partie amont, ces alluvions récentes sont assez peu développées, elles sont sablonneuses avec des chenaux de graviers et galets souvent repris des alluvions anciennes.

Dans la partie aval de la plaine, l'Hérault, en provenance des Cévennes, a déposé une puissante couche (10 à 15 m) de sables (30-50 %), graviers et galets (50-70%) surmontés dans le lit majeur d'une couverture limoneuse dont l'épaisseur augmente progressivement vers l'aval (2 à 8 m). ces galets et graviers sont constitués de calcaires, de quartz blancs, de quartzites, de schistes et de rares basaltes.

2.3.3. Les prélèvements

Cinq campagnes de prélèvements ont été réalisées en conditions hydrologiques contrastées de façon à disposer d'un échantillonnage représentatif des principales phases du cycle hydrologique :

- Basses eaux (Août 1999) ;
- Hautes eaux (Octobre 1999) ;
- Pic de crue de l'épisode du 12 mai 2000 ;
- Décrue le 16 mai 2000 ;
- Basse eaux (Août 2000).

La Figure 13 situe les échantillonnages sur l'hydrogramme de l'Hérault à Florensac entre mai 1999 et août 2000.

En même temps que les prélèvements, les paramètres physico-chimiques de base sont mesurés : température, pH, conductivité, potentiel d'oxydo-réduction (Eh) et teneur en oxygène dissous.

De même, la piézométrie des puits échantillonés est relevée au moment du prélèvement afin de pouvoir recaler les observations géochimiques dans le contexte hydrologique.

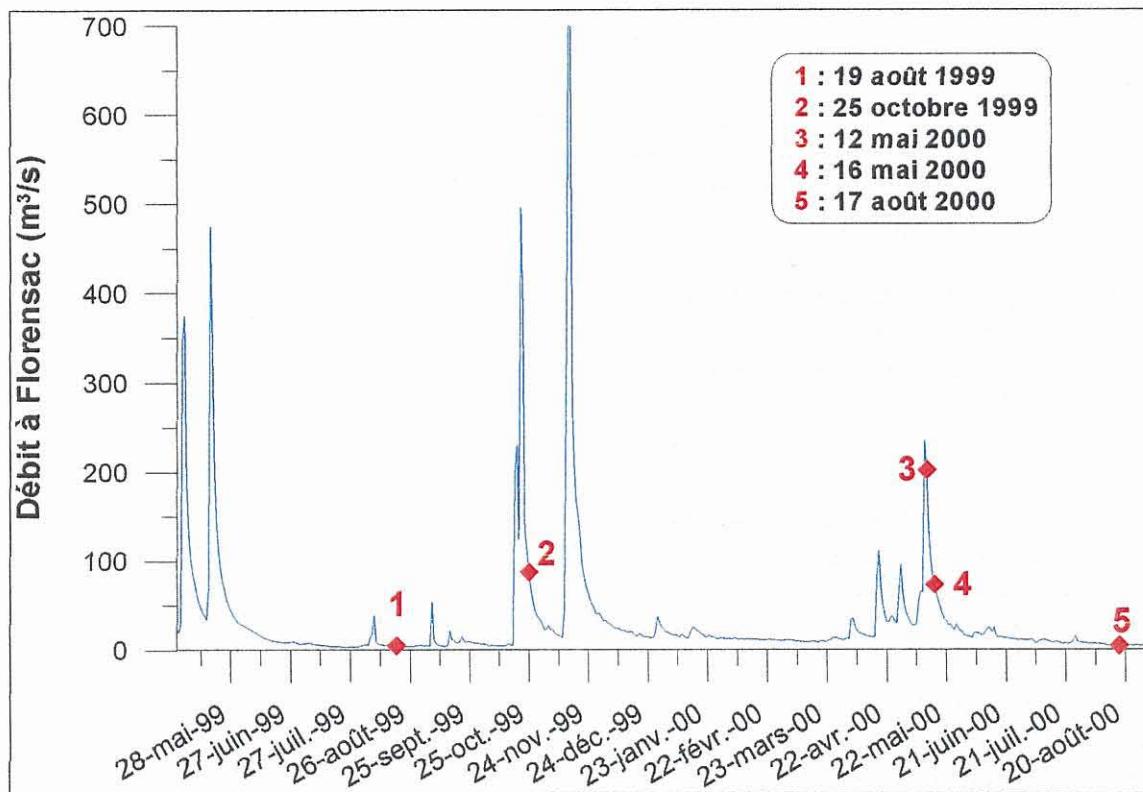


Figure 13 : Situation des échantillonnages sur la courbe des débits de l'Hérault à la station de Florensac

2.3.4. Les analyses

Avant analyse, les échantillons font l'objet de traitements (filtration à 0.45 µm, acidification à pH=2 en milieu nitrique et conservation au froid à 4°C) variant suivant le type d'analyse à réaliser. Ces précautions sont nécessaires afin d'éviter une évolution de l'échantillon entre le moment où il est prélevé et l'analyse.

Les analyses concernent :

- Eléments majeurs : Ca, Mg, Na, K, Cl, NO₃, SO₄, HCO₃
- Eléments traces : Sr, Ba, Rb, B, Br
- Isotopes stables de la molécule d'eau : δ¹⁸O, δD
- Isotopes radiogéniques du strontium : ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr

L'ensemble des résultats disponibles sont présentés dans les tableaux de l'annexe 3.

3. Fonctionnement hydrogéologique de la plaine alluviale

3.1. CARTES PIEZOMETRIQUES

Les données acquises sur le site ont permis, dans un premier temps, de dresser les cartes piézométriques de la plaine alluviale de l'Hérault en basses eaux (Figure 14) et en hautes eaux (Figure 15).

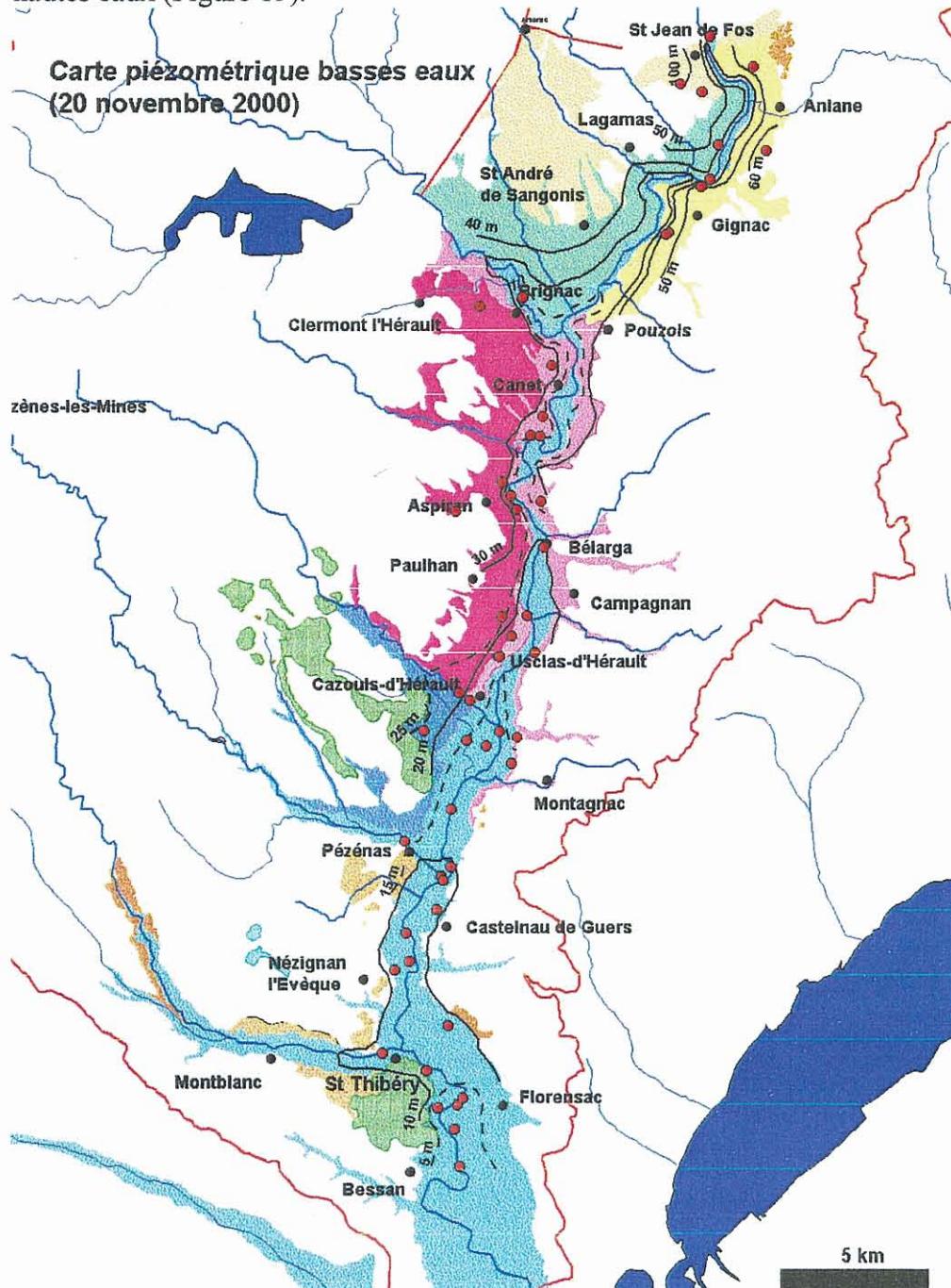


Figure 14 Carte piézométrique de la plaine alluviale de l'Hérault en basses eaux
(mNGF)

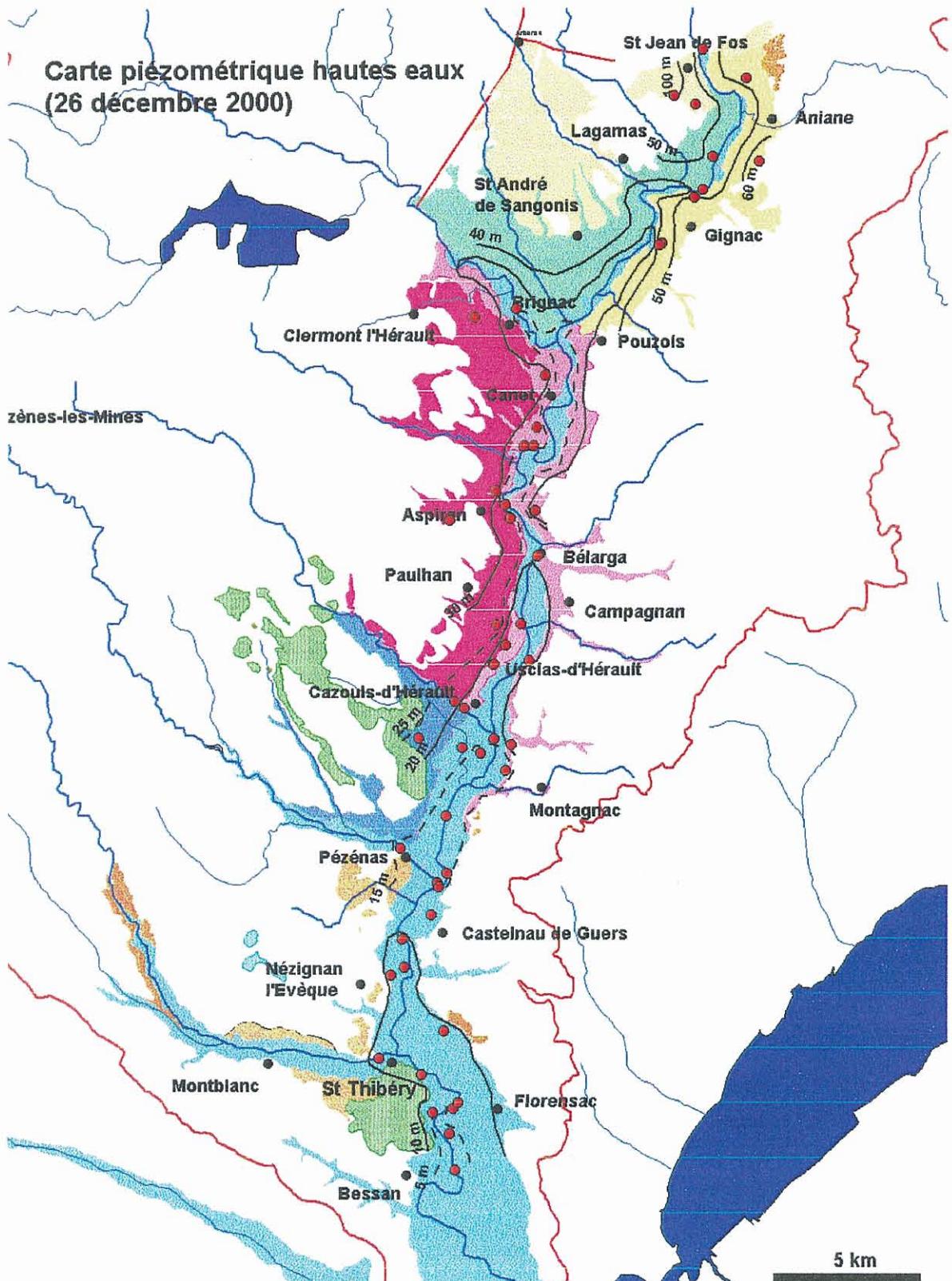


Figure 15 Carte piézométrique de la plaine alluviale de l'Hérault en hautes eaux
(mNGF)

A l'échelle de la plaine alluviale, les isopièzes indiquent toutes que l'Hérault draine les nappes alluviales et ce aussi bien en période de hautes eaux qu'en période de basses eaux. Les isopièzes sont disposées de manière concave autour du cours d'eau principal. De la même manière, la Lergue et la Thongue présentent un drainage marqué des alluvions. Pour les autres affluents, ce phénomène, bien que supposé, n'est pas mis en évidence par manque de données piézométriques.

Les cartes piézométriques en basses et hautes eaux ne présentent pas de différences fondamentales à l'échelle de la plaine alluviale, ce qui signifie qu'il existe, tout au long de l'année, une contribution des nappes alluviales au débit de l'Hérault. La proportion de l'eau souterraine au débit de l'Hérault doit cependant varier au cours de l'année, la contribution relative des nappes à l'Hérault étant plus importante à l'étiage qu'en hautes eaux.

A une échelle plus locale, par contre, l'effet d'une brusque montée des eaux dans l'Hérault doit se traduire par une inversion temporaire des écoulements. L'Hérault est ainsi susceptible de s'infiltrer dans les alluvions. Ce phénomène de stockage temporaire de l'eau dans la plaine alluviale a été mis en évidence sur les grands fleuves français comme la Seine (Weng, 2000) ou la Garonne (Weng, 2001). Cependant, ce type de stockage est généralement limité à quelques décamètres de part et d'autre du lit mineur. Pour le mettre en évidence et le quantifier, il faudrait ainsi disposer d'une batterie de piézomètres à proximité du cours d'eau principal et les suivre à un pas de temps de l'ordre de l'heure.

Toujours à une échelle locale, la présence de seuils peut entraîner des modifications des échanges nappe/rivière. En effet, la mise en place d'un seuil sur une rivière a pour conséquence une infiltration d'une partie de l'eau de la rivière vers la nappe en amont du seuil et un drainage de la nappe accentué en aval de ce même seuil. A l'échelle de la plaine de l'Hérault et avec le maillage piézométrique à notre disposition il n'est pas possible de mettre en évidence ces phénomènes locaux.

Entre les niveaux piézométriques de hautes eaux et ceux de basses eaux, les différences les plus importantes sont de l'ordre de 1.5 m à 2 m et sont localisées à proximité de l'Hérault (ouvrages F1, F2, 1407, 23, 40, 13 et 12). Alors que la très grande majorité des ouvrages indique un niveau d'eau supérieur en décembre 2000 (date choisie pour l'état des hautes eaux) par rapport à novembre 2000, deux cependant présentent une très légère diminution (3 cm), il s'agit des points 1 et 9.

Les cotes piézométriques varient de +100 mNGF dans la partie amont du bassin versant (St Jean de Fos / Aniane) à +5 mNGF dans le secteur de Bessan. Comme pour la majorité des nappes à surface libre, les gradients de charge hydraulique sont plus importants dans la partie amont qui présente un relief plus marqué que dans la partie aval.

3.2. CHRONIQUES PIEZOMETRIQUES

Des chroniques piézométriques horaires sont disponibles sur neuf ouvrages équipés d'Orphimèdes et répartis sur l'ensemble de la plaine alluviale. Six ouvrages ont fait l'objet d'un suivi sur deux années (août 1999 à juillet 2001), il s'agit des points 5, 7, 8, 14, 30 et 31 (Figure 16, Figure 17). Trois autres ont été équipés d'Orphimèdes plus récemment, en octobre 2000, il s'agit des points 2426, 1402 et 1409b (Figure 18).

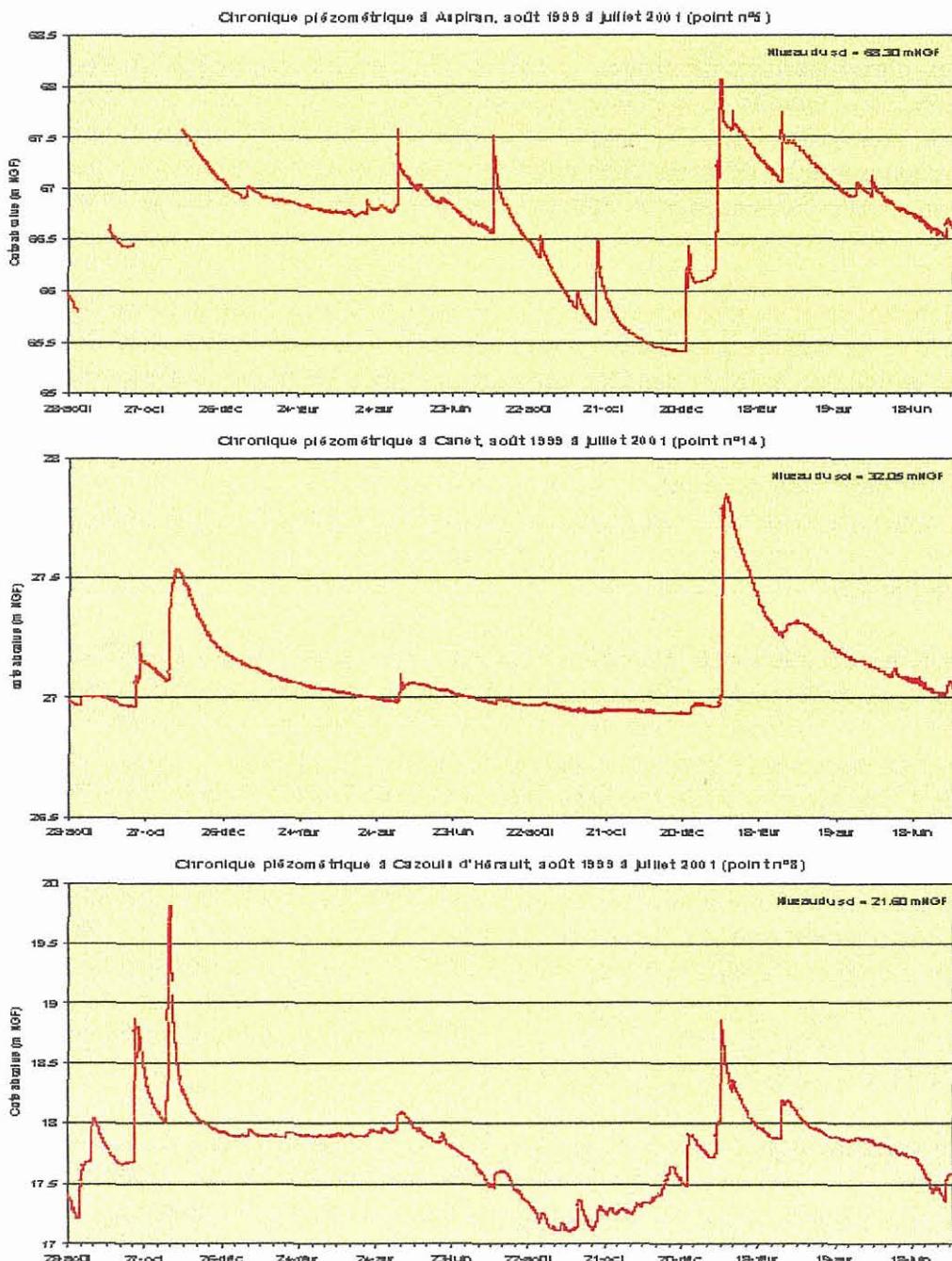


Figure 16 Chroniques piézométriques dans la vallée de l'Hérault (a)

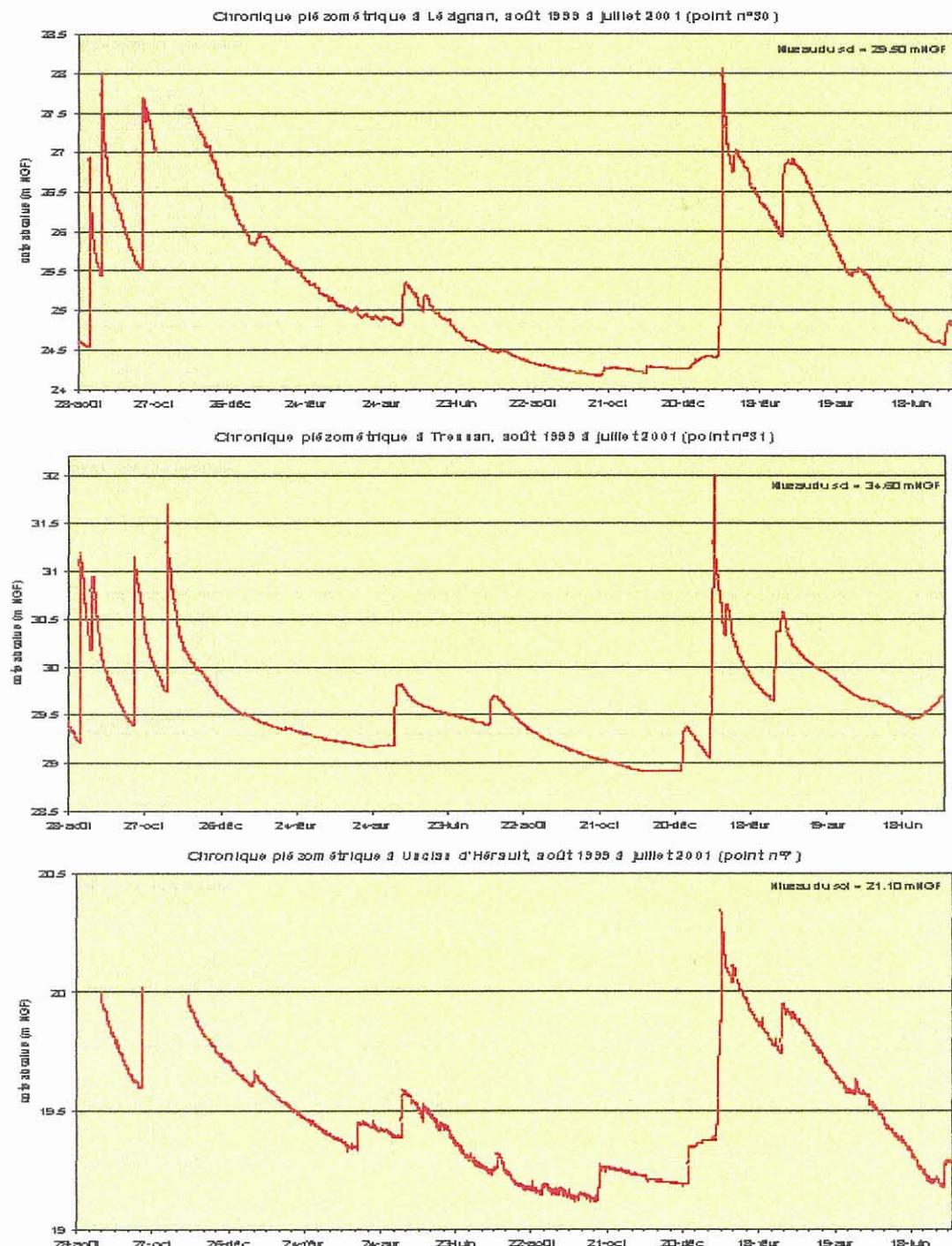


Figure 17 Chroniques piézométriques dans la vallée de l'Hérault (b)

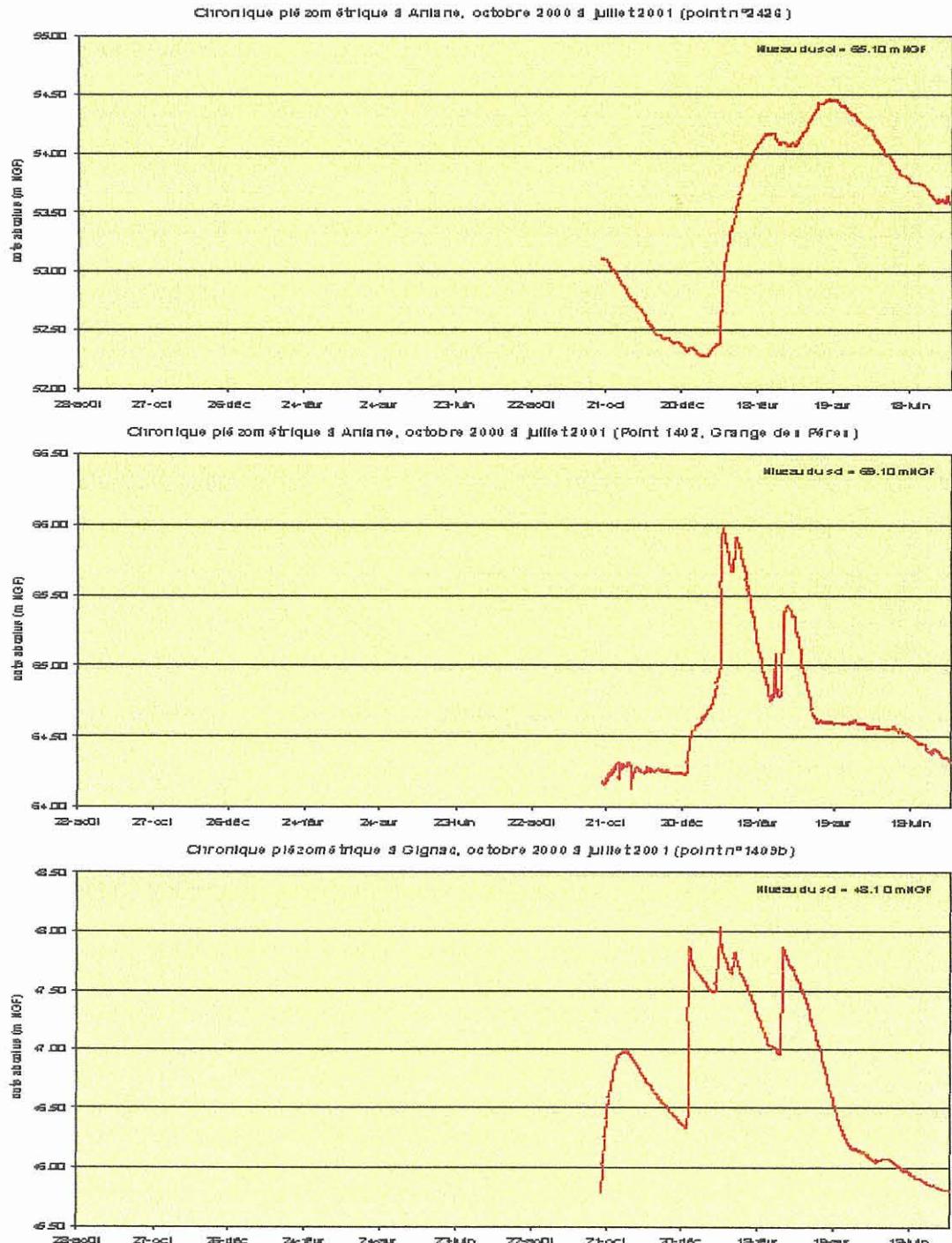


Figure 18 Chroniques piézométriques dans la vallée de l'Hérault (c)

Les variations des niveaux de nappes enregistrées par les différents Orphimèdes sont similaires quelle que soit la position des ouvrages dans la plaine alluviale, qu'il s'agisse de son éloignement à la rivière ou de son altitude. En effet, on peut observer que les piézomètres réagissent tous aux pics de crue de novembre-décembre 1999 et décembre 2000 (à l'exception bien sûr des piézomètres 2426, 1402 et 1409b qui n'ont été équipés qu'en 2000) et ce pour des altitudes allant de 21 mètres NGF (en bordure de l'Hérault

pour Cazouls d'Hérault ou Usclas d'Hérault à 69 mètres NGF pour les terrasses situées à proximité d'Aniane. Les variations de niveau d'eau dans chacun des piézomètres sont cependant amorties selon que les piézomètres se situent dans du matériel alluvial grossier ou plus fin, dont la porosité efficace varie en conséquence. Les variations les plus faibles sont de l'ordre du mètre pour le piézomètre 14 à Canet, alors que les plus importantes atteignent presque 4 mètres pour le piézomètre 30 à Lézignan. *A priori*, les chroniques piézométriques peuvent être influencés par les précipitations qui rejoignent la nappe (la recharge), les variations du niveau de l'Hérault, les actions anthropiques (pompages localisés, recharge artificielle sur le périmètre irrigué de Gignac etc). Les piézomètres semblent cependant davantage réagir à la recharge qu'aux variations brusques du niveau de l'Hérault, et ce, même pour des piézomètres situés très près du lit mineur comme le piézomètre N°14 par exemple (Figure 19). Notons que, sur la période de mesures, les niveaux d'eau les plus bas ont été atteints en novembre 2000 pour la grande majorité des piézomètres.

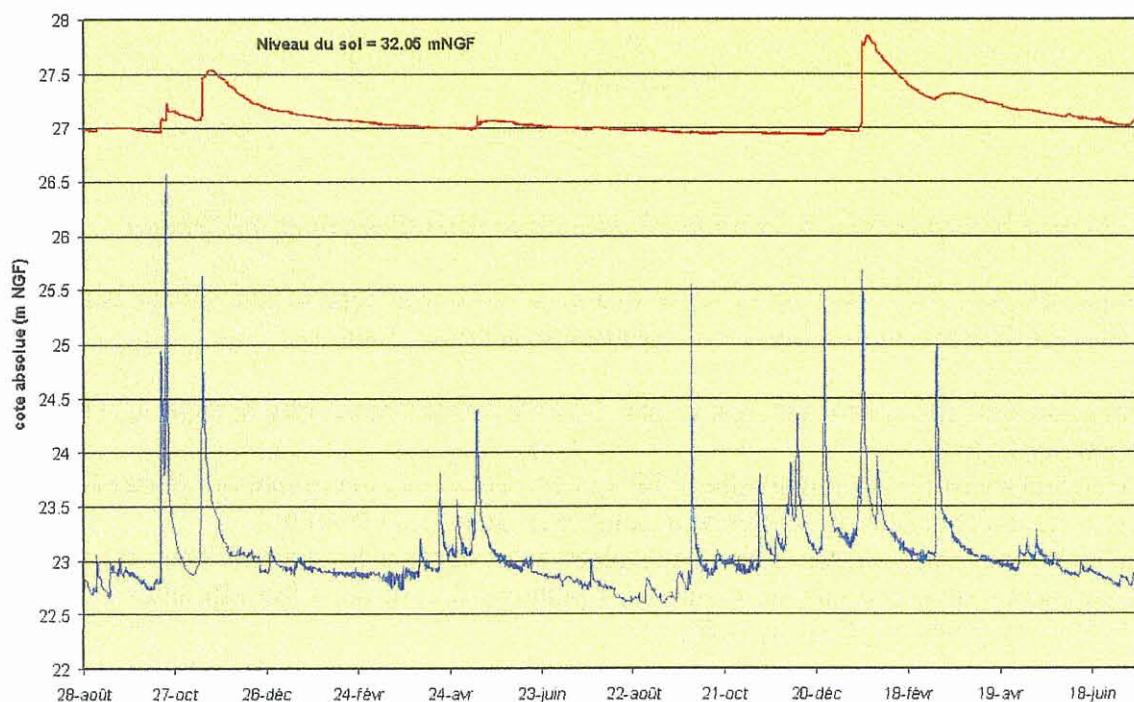


Figure 19 Comparaison des niveaux d'eau dans l'Hérault à Aspiran (bleu) et dans le piézomètre 14 (en rouge)

3.3. RECHARGE DE LA NAPPE

3.3.1. Présentation du modèle GARDENIA

La recharge de la nappe est constituée par les apports d'eau aux aquifères. Ceux qui ont pour origine les précipitations atmosphériques sur le bassin versant subissent plusieurs mécanismes de transfert qui interviennent dans les compartiments de la partie souterraine de l'hydrosystème : le sol, la zone non saturée, et la zone saturée (aquifère) (Figure 20).

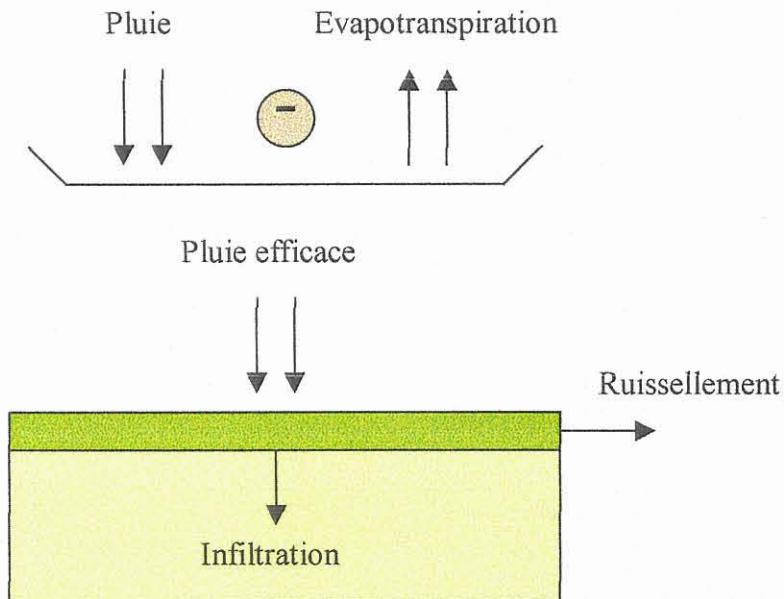


Figure 20 Répartition de la pluie efficace entre ruissellement et infiltration

La pluie efficace est la part de la pluie totale qui n'est pas reprise par l'évaporation directe et par la transpiration foliaire des plantes (évapotranspiration).

L'estimation des pluies efficaces passe par celle de l'évapotranspiration réelle (ETR), paramètre qui dépend :

- de l'évapotranspiration potentielle (ETP, qui correspond au maximum qui puisse être évapotranspiré si l'eau est toujours disponible en quantité suffisante),
- de la réserve utile du sol (RU). Cette réserve est égale à la quantité d'eau du sol facilement extractible par les racines des plantes, réserve dans laquelle elles iront puiser si l'apport des pluies ne suffit pas.

La pluie efficace se répartit ensuite entre deux composantes :

- un ruissellement de surface,
- une infiltration dans le sous-sol en direction des nappes souterraines.

Pour évaluer l'alimentation de la nappe, nous avons utilisé le logiciel GARDENIA développé par le BRGM (modèle Global A Réservoirs pour la simulation des DEbits et des NIveaux Aquifères). Il fonctionne sur le principe de réservoirs en série représentant conceptuellement les différents compartiments de l'hydrosystème : le sol, la zone non

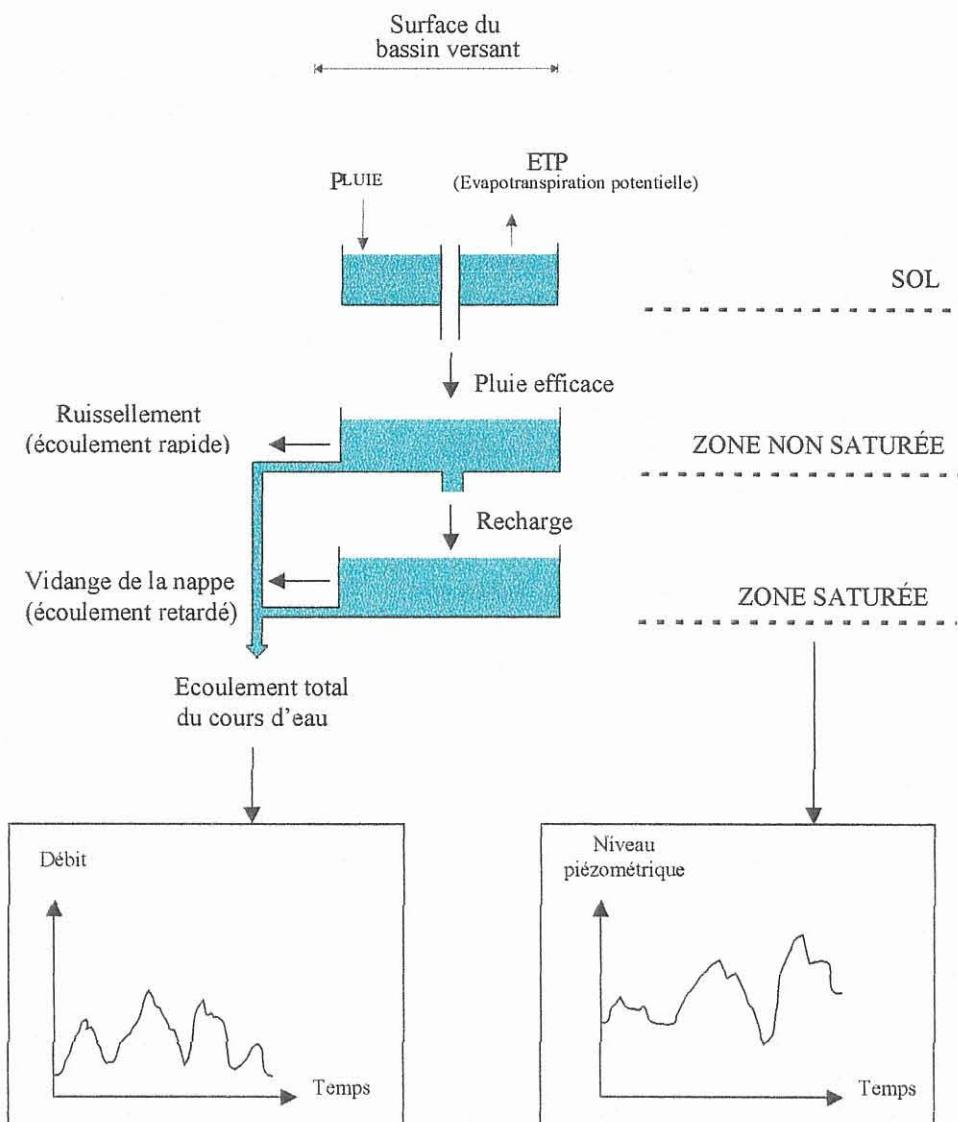


Figure 21 Schéma de principe du modèle global à réservoirs GARDENIA

Les données d'entrée du modèle sont des chroniques concomitantes :

- de pluie ;
- d'évapotranspiration potentielle (ETP) ;
- de débits ou de niveaux piézométriques.

Le modèle comporte plusieurs paramètres, qui permettent d'ajuster les échanges entre les différents réservoirs :

- réserve utile dans le sol, exprimée en mm, pour estimer la pluie efficace à partir des données de pluie et d'évapotranspiration potentielle ;
- répartition entre l'écoulement rapide (assimilée au ruissellement), et l'écoulement retardé (assimilée à la recharge de la nappe) dans le réservoir superficiel (assimilée à la zone non saturée) ;
- temps de vidange des différents réservoirs.

Le modèle comporte en outre d'autres paramètres mathématiques qui permettent de prendre en compte d'éventuelles incertitudes sur les données de base et d'optimiser le calage (coefficients de correction des pluies, des ETP,...).

L'ajustement des différents paramètres du modèle s'effectue par calage des chroniques de débits (ou de piézométrie) calculées sur les chroniques réelles.

Le modèle GARDENIA est un modèle global, qui fournit en sortie un bilan des lames d'eau écoulées dans les différents réservoirs :

- Pluie efficace
- Écoulement rapide (assimilé au ruissellement)
- Écoulement retardé (assimilé à la recharge)
- Écoulement total au cours d'eau

Les données utilisées pour estimer la recharge en donnée d'entrée du modèle hydrodynamique sont résumées dans le Tableau 1.

Type de données	Station de mesure	Origine des données	Disponibilité des données	Pas de mesure
Pluie	Canet	Météo France	1997-2000	journalier
ETP Penman	Fréjorgues	Météo France	1996-1999	journalier
Piézométrie	Tressan (n°31)	BRGM	23/08/1999 – 31/08/2000	horaire

Tableau 1 Données utilisées pour l'estimation de la recharge

La recharge a été estimée sur le point n° 31 situé à Tressan, choisi pour plusieurs raisons :

- proximité de la station météorologique de Canet,
- point situé sur les terrasses inférieures de Canet, assez loin de l'Hérault pour ne pas être influencé par les variations de niveau de la rivière,
- point équipé depuis Août 1999 d'un appareil Orphimède pour le suivi en continu des variations piézométriques.

La recharge a été calée sur la période du 23/08/1999 au 31/08/2000. Les données d'ETP étant absentes pour l'année 2000, nous avons utilisé celles de 1999 (sur un même lieu, les valeurs d'ETP sont peu variables d'une année sur l'autre). Pour améliorer le calage, les données de pluies et d'ETP des années 1997, 1998, et jusqu'en Août 1999 ont été utilisées pour un premier calcul d'initialisation.

Les figures (Figure 22 et Figure 23) montrent respectivement les valeurs mensuelles de pluies relevées à Canet de 1997 à 2000, et d'ETP mesurées à Fréjorgues (aéroport de Montpellier) de 1996 à 1999. Si les valeurs d'ETP affichent une moyenne inter annuelle relativement stable, la pluviométrie est plus irrégulière.

3.3.2. Résultats

La Figure 24 présente la comparaison des variations piézométriques mesurées à Tressan, et calculées avec Gardénia. Le Tableau 2 récapitule les bilans des lames d'eau

obtenus avec Gardénia sur la période de Septembre 1999 à Août 2000. La recharge est estimée à 184 mm, soit la moitié environ de la pluie efficace. La répartition mensuelle de la recharge est présentée sur la Figure 25. Pour l'année 1999-2000, cette recharge est essentiellement concentrée sur la période de septembre à décembre avec un maximum de 50 mm/mois en novembre. Par ailleurs, notons qu'une recharge de l'ordre de 10 mm/mois est calculée pour toute la période estivale.

Données d'entrée sur la période Septembre 1999 – Août 2000		Résultats de calage GARDENIA sur la période Septembre 1999 – Août 2000			
Lame d'eau (mm)	Pluie	ETP	ETR	Pluie efficace	Recharge
	784	1152	414	359	184

Tableau 2 Récapitulatif des lames d'eau sur la période Septembre 1999 – Août 2000

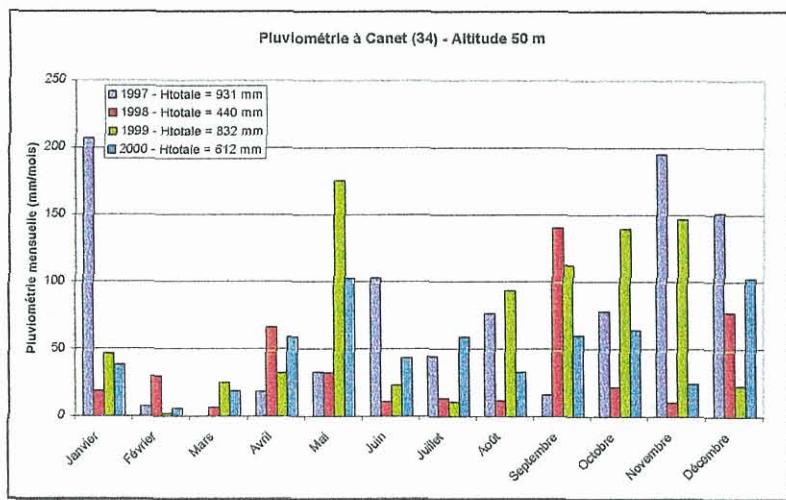


Figure 22 Pluviométrie mensuelle mesurée à Canet (34), de 1997 à 2000

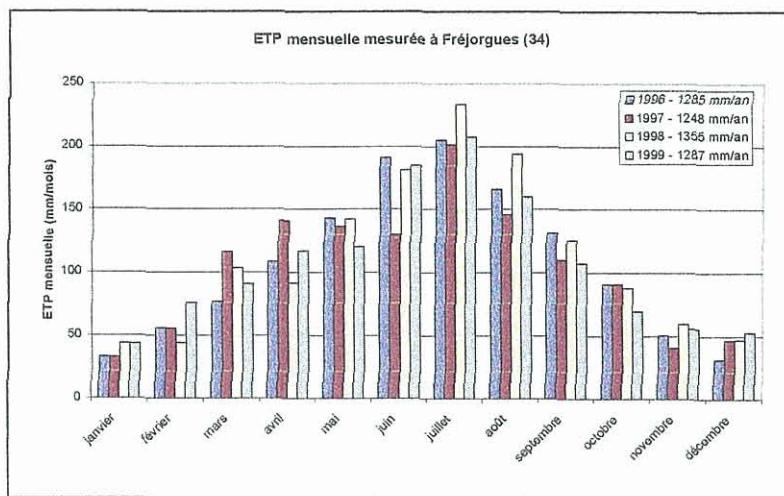


Figure 23 ETP mensuelle mesurée à Fréjorgues (34), de 1996 à 1999

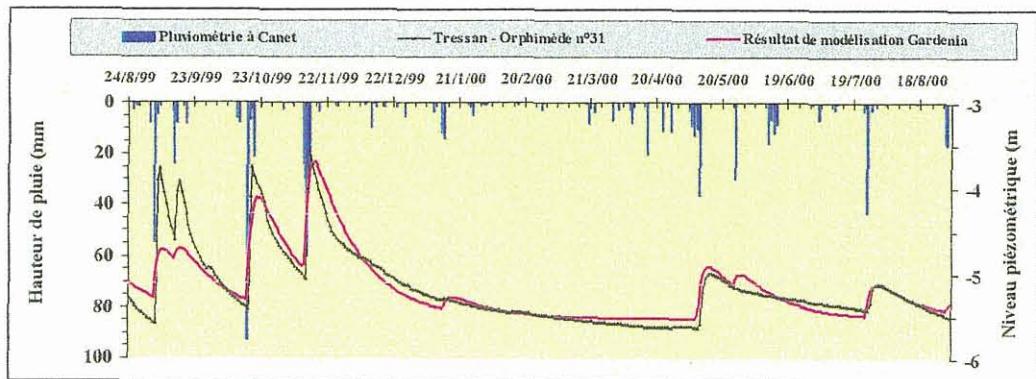


Figure 24 Résultats de la simulation Gardénia sur le piézomètre 31 situé à Tressan

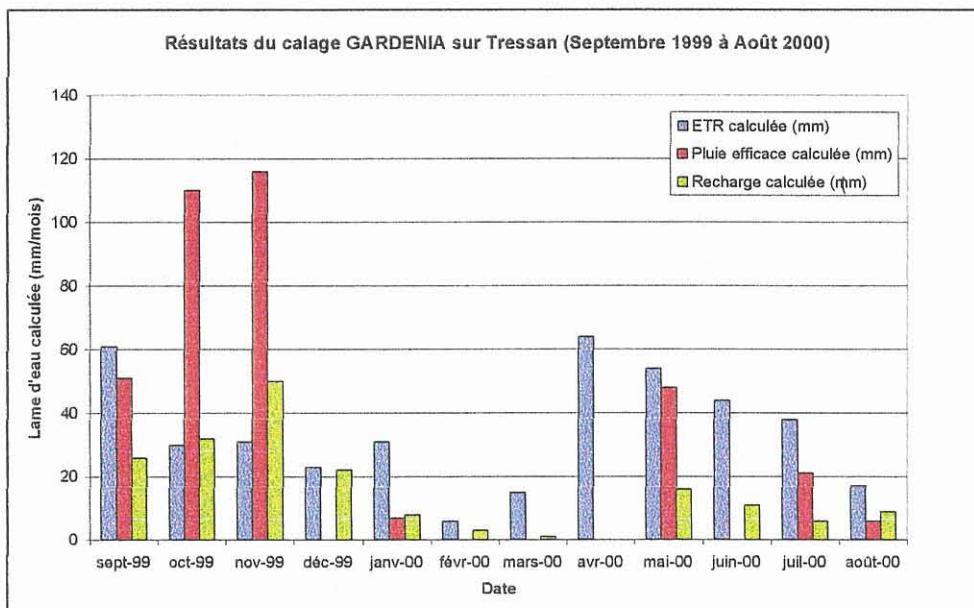


Figure 25 Bilan des lames d'eau mensuelles calculées sur la période de Septembre 1999 à Août 2000

3.4. MODELISATION HYDRODYNAMIQUE DES ECOULEMENTS

Une première approche de modélisation hydrodynamique de l'aquifère alluvial est la suite logique des études de terrain menées dans le cadre de ce travail. Cette partie ne figure pas au cahier des charges du présent rapport mais elle a fait l'objet de travaux de recherche initiés dans le cadre d'un programme européen (GOUVERNe) dans lequel les interactions entre la demande sociologique et économique et la réponse du système hydrologique « Hérault » sont analysées. Il nous a donc semblé opportun de quantifier les débits échangés entre les différents compartiments hydrologiques en présentant cette modélisation hydrodynamique de la plaine alluviale de l'Hérault entre le Pont du Diable et Montagnac. Le code de calcul utilisé pour cette modélisation est MARTHE, développé par le BRGM, qui résout les équations hydrodynamiques en trois dimensions par un schéma de calcul en différences finies.

3.4.1. Maillage du modèle

La zone représentée par le modèle s'étend du Pont du Diable au Nord à Montagnac au Sud, elle comprend le périmètre irrigué de l'Association Syndicale Autorisée (ASA) de Gignac (Figure 26). L'aquifère alluvial est représenté par un modèle mono-couche, de maillage régulier. Les mailles sont des carrés de 200 m de côté et sont au nombre de 2798 au total. La répartition spatiale de l'épaisseur des mailles a fait l'objet d'une extraction de toutes les données de forages existants pour ce secteur dans la banque du sous-sol (BSS) gérée par le BRGM.

Tant pour les terrasses anciennes que pour la partie amont de la plaine alluviale, l'aquifère est représenté par une nappe libre, le plus souvent perchée, sans relation directe ou indirecte avec les écoulements superficiels du fleuve. Les alluvions anciennes et récentes des secteurs médian et sud de la plaine sont dans la continuité hydraulique des eaux de surface. Plus en aval, on peut noter des épaisseurs plus importantes des matériaux graveleux, ou plusieurs niveaux grossiers intercalés par des formations de moindre perméabilité. La nappe alluviale sous la couverture de limons d'inondation devient alors captive. Les perméabilités de l'aquifère alluvial sont comprises entre 10^{-3} et 8.10^{-2} m/s, alors que le limons, et l'Astien ont des valeurs de perméabilité comprises entre 10^{-5} et 10^{-3} m/s.

3.4.2. Conditions aux limites

La plaine alluviale de l'Hérault est alimentée par l'Hérault lui-même au droit du Pont du Diable en aval immédiat des aquifères karstiques de la moyenne vallée de l'Hérault. Les échanges entre l'Hérault et la nappe alluviale (apport ou drainage selon le secteur) sont les termes les plus élevés du bilan de la nappe. L'Hérault alimente également les aquifères par l'intermédiaire du canal de Gignac destiné à l'irrigation (prise d'eau dans l'Hérault en amont du Pont du Diable et restitution diffuse par le biais de l'irrigation).

Les limites latérales de l'aquifère ont été considérées comme imperméables à l'exception des calcaires jurassiques au nord : une partie de ce réservoir karstique se déverse dans les terrasses alluviales

Le substratum est aussi globalement imperméable sauf au niveau des formations calcaires du Crétacé et des sables astiens. Les débits sont cependant négligeables à l'échelle du bilan du bassin.

Dans le modèle, le fleuve a été représenté par des mailles à potentiel imposé avec les cotes d'eau mesurées à l'étiage.

3.4.3. Prélèvements

Les informations suivantes portent sur l'ensemble de la nappe alluviale, elles ont été présentées dans la partie de synthèse sur la plaine de l'Hérault. Elles ne font ici que l'objet d'un rappel.

v) Captages AEP et domestiques

Les données les plus exhaustives datent de 1993 (étude de Berga-Sud) : les prélèvements annuels AEP se sont élevés à 16,6 millions de m³.

w) Captages agricoles

Les volumes prélevés pour l'agriculture sont très mal connus. Selon le service hydraulique de la DDAF, seuls les prélèvements collectifs (ASA, BRL) sont connus. Ce service estime connaître moins de 1 % des prélèvements individuels. Les prélèvements par l'ASA, par l'intermédiaire du canal de Gignac, sont de 60 millions de m³.

Les estimations en 1993 sont les suivantes :

- prélèvements dans la nappe : au minimum de 4,2 millions de m³ ;
- prélèvements dans l'Hérault (hors ASA) : 0,2 millions de m³.

x) Zone d'étude

Sur la zone modélisée, les pompages AEP sont de l'ordre de 600 m³/h.

3.4.4. Modélisation en régime permanent

y) Description de la modélisation

Dans un premier temps une modélisation en régime permanent est réalisée pour permettre un calage du champ de perméabilités du modèle. Les perméabilités ont été ajustées automatiquement afin que les charges simulées correspondent au plus près aux charges hydrauliques mesurées lorsque les fluctuations de la nappe sont minimales, avec le minimum de variation de stockage d'eau dans l'aquifère (carte piézométrique réalisée en étiage). Le champ initial de valeurs de perméabilité est issu des données ponctuelles disponibles. Celles-ci ont été étendues sur l'ensemble de la surface du modèle en fonction de la géologie, c'est-à-dire de la nature des différentes terrasses alluviales.

z) Résultats en régime permanent

La carte des valeurs de perméabilités obtenue est présentée sur la Figure 26. Les modifications par rapport aux valeurs initiales sont minimales, la répartition des valeurs en fonction de leur appartenance à une terrasse est respectée. Les gradients hydrauliques simulés sont très élevés (jusqu'à 20%) ce qui entraîne des différences de charge dans l'aquifère importantes à peu de distance.

La carte de la Figure 27 présente les courbes piézométriques observées et mesurées. Les sens d'écoulement et les gradients hydrauliques sont correctement reproduits. Les différences absolues entre les valeurs observées et calculées peuvent être significatives en raison du fort gradient hydraulique.

Le bilan en eau de la zone modélisée pour ce calcul en régime permanent en situation basses eaux est le suivant :

Apport par les pluies :	2400 m ³ /h
Apport par les irrigations :	8100 m ³ /h
Apport par les limites :	9600 m ³ /h
Pompages :	600 m ³ /h
Drainage par l'Hérault :	20300 m ³ /h
Apport par l'Hérault :	60 m ³ /h

Dans cette configuration, les débits apportés par les nappes alluviales à l'Hérault sont de l'ordre de 100 m³/h par maille (c'est à dire 200 m de rivière) dans le secteur compris entre Canet et Montagnac, ce débit est un peu plus élevé dans la partie amont du modèle, de l'ordre de 200 à 250 m³/h par maille en amont de Pouzols.

L'infiltration d'eau de l'Hérault vers les alluvions est uniquement localisée dans le méandre marqué situé entre Canet et Aspiran.

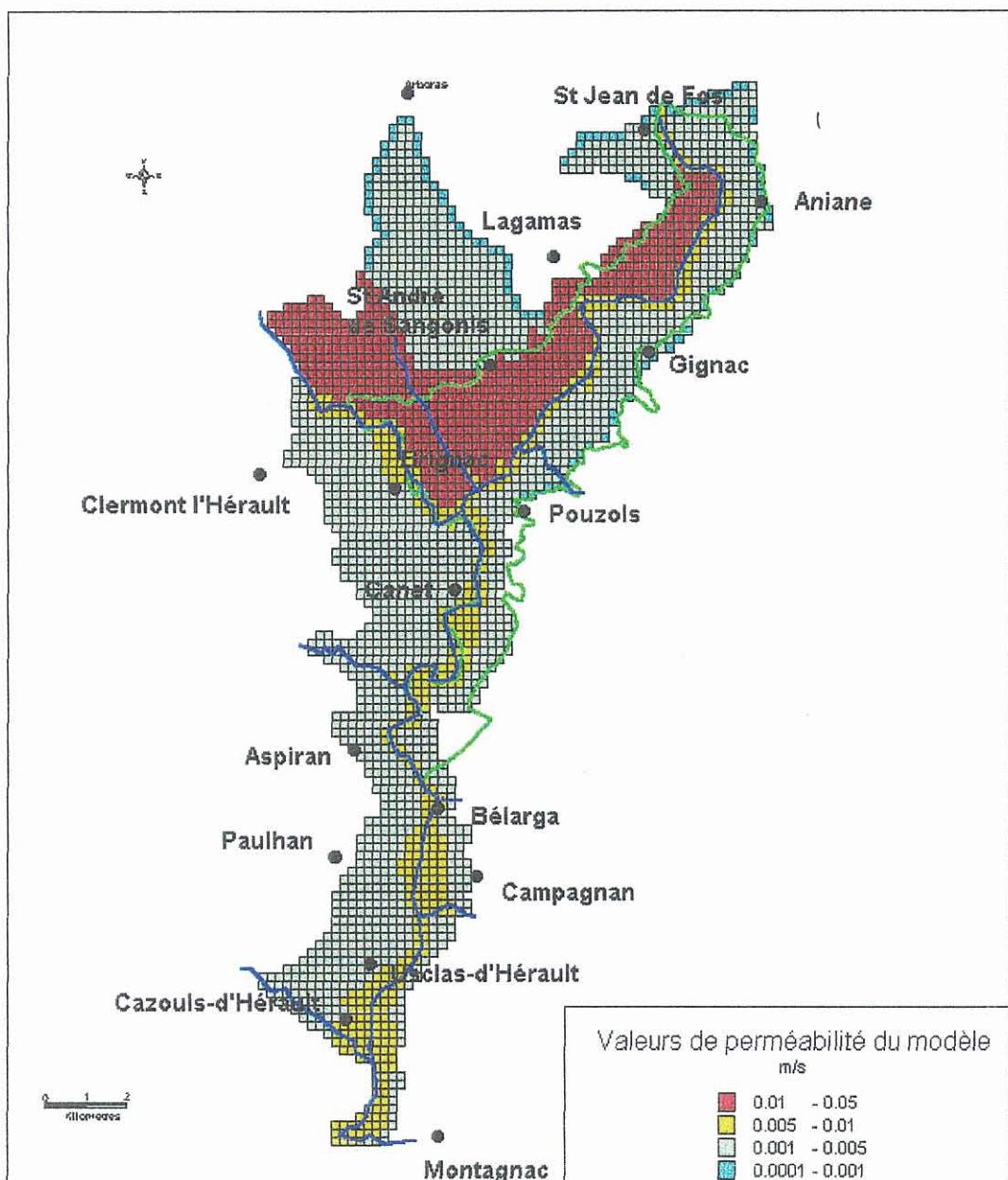


Figure 26 Carte des perméabilités simulées par modélisation en régime permanent

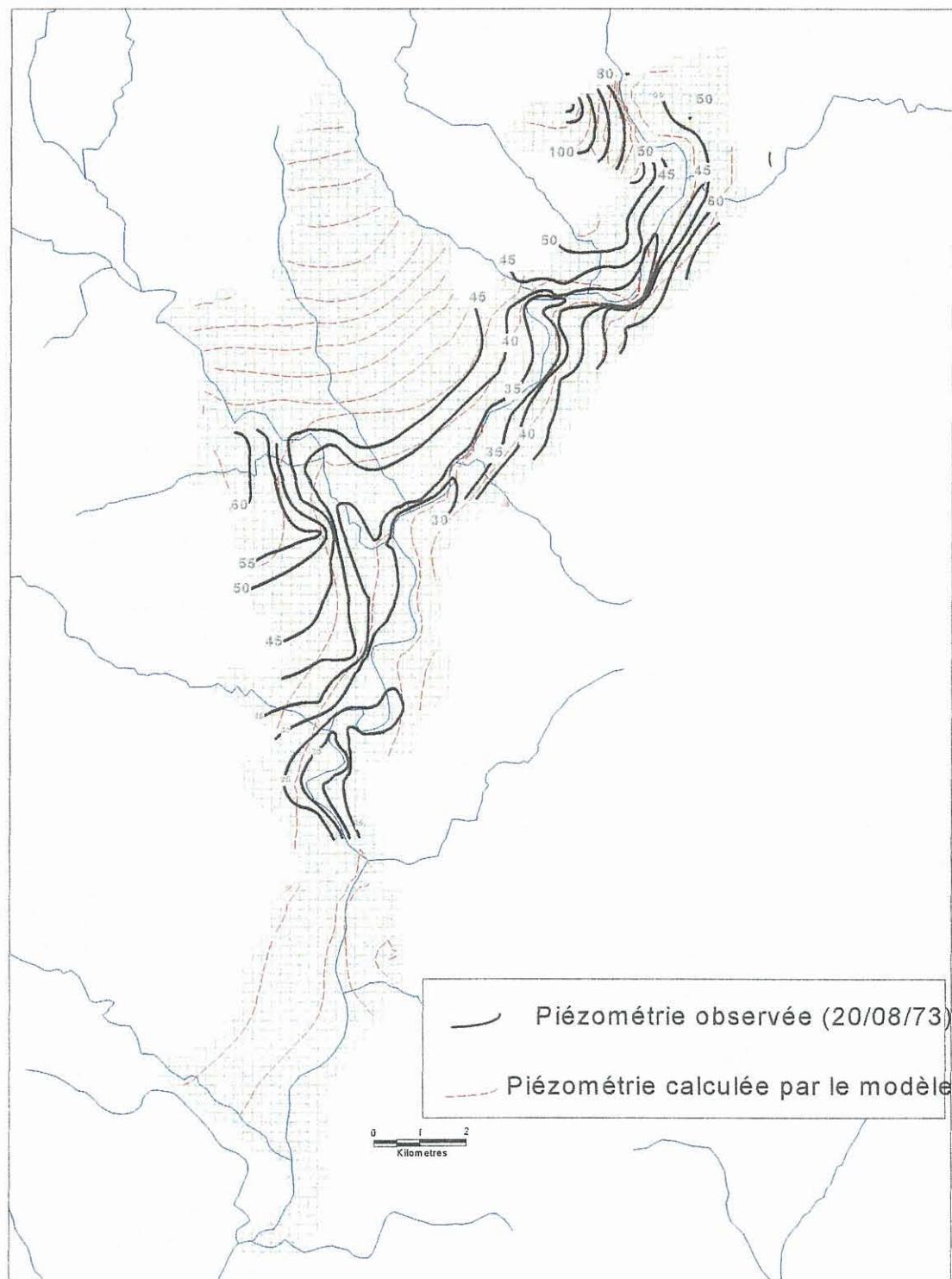


Figure 27 Régime permanent, comparaison de la piézométrie simulée et mesurée

3.4.5. Modélisation en régime transitoire

aa) Description de la modélisation

La modélisation en régime permanent a permis de restituer des niveaux piézométriques en période de basses eaux et de calculer des ordres de grandeur des flux intervenant dans le bilan de la zone modélisée, toujours en période de basses eaux où les fluctuations de stockage d'eau dans l'aquifère sont minimales. A l'issue de cette première étape, on dispose d'un champ de valeurs de perméabilités qui représente correctement celui de l'aquifère.

Lors d'une seconde étape, le régime transitoire a pour objectif le calage des valeurs du coefficient d'emmagasinement. On peut ainsi évaluer, l'évolution en fonction du temps, sur la période considérée, de ces mêmes flux et les fluctuations piézométriques en différents points de l'aquifère alluvial.

Le calage en régime transitoire présenté dans la suite ne constitue qu'une étape préliminaire de la modélisation destinée :

- à fournir des ordres de grandeur des variations saisonnières des flux ;
- à tester la sensibilité du modèle à certains paramètres (comme la recharge naturelle par les pluies, la recharge induite par le surplus d'eau du canal de Gignac...).

Choix de la période et du pas de temps

Pour un premier essai de modélisation en régime transitoire, la période modélisée est celle de février 2000 à août 2000 au pas de temps mensuel. La période à modéliser a été choisie en fonction de la disponibilité des chroniques piézométriques, ainsi que pour tenir compte des différentes phases d'irrigation de l'ASA du canal de Gignac. Pour celui-ci, la période d'irrigation majeure concerne les mois d'été : Juin, Juillet et Août. Durant les périodes antérieure (15 mars - 31 mai) et postérieure (1^{er} septembre - 15 octobre), l'irrigation est présente, mais moins intense.

Alimentation par les pluies

Pour estimer l'alimentation de la nappe par les pluies, nous avons utilisé les résultats de calculs avec GARDENIA. La répartition de l'alimentation sur les sept pas de temps du modèle est donnée dans le Tableau 3. La recharge globale sur ces sept mois est estimée à 46 mm.

Pas de temps	Février 2000	Mars 2000	Avril 2000	Mai 2000	Juin 2000	Juillet 2000	Août 2000
Recharge calculée (mm)	3	1	0	16	11	6	9

Tableau 3 Répartition de la recharge naturelle sur les sept pas de temps du modèle

Alimentation induite par le surplus d'irrigation de l'ASA du canal de Gignac

La recharge induite par le surplus d'irrigation de l'ASA du canal de Gignac a été estimée de façon très approximative à partir des quelques données quantitatives disponibles et moyennant plusieurs hypothèses de travail. Les données quantitatives disponibles sont résumées dans le Tableau 4.

	Période "creuse" 15/03 – 15/10 (hors mois d'été)	Surplus en période d'irrigation intense Juin-Juillet-Août	Volume total (Mm ³ /an)	Origine des données
Volume prise eau canal de Gignac (Mm ³)	35	28	63	ASA Gignac
Volume évaporé par les plantes (Mm ³)	2	4	6	

Tableau 4 Données quantitatives disponibles pour estimer la recharge par surplus d'irrigation

Nous avons fait les hypothèses de travail suivantes :

- la répartition du volume d'eau évaporé par les plantes est la suivante : les deux tiers dans les trois mois d'été, le tiers restant pendant la période du 15 mars au 15 octobre,
- le surplus d'irrigation se répartit en retour direct à l'Hérault (par ruissellement et trop plein des canaux) et en infiltration vers l'aquifère. La part du surplus d'irrigation qui retourne directement à l'Hérault est supposée égale à 40% pendant les trois mois d'été, et à 80% pendant la période du 15 Mars au 15 Octobre.

Moyennant ces hypothèses de travail, les résultats des lames d'eau infiltrées sur le périmètre de l'ASA pendant les deux périodes d'irrigation sont donnés dans le Tableau 5.

	Période "creuse" 15/03-15/10 (hors été)	Irrigation intense Mois d'été Juin-Juillet- Août	
Hypothèses	% (du volume total annuel évaporé par les plantes) sur les 2 périodes d'irrigation	33%	67%
	Part du surplus d'irrigation qui retourne directement à l'Hérault par ruissellement et trop-plein des canaux	80%	40%
Résultats	Volume évaporé par plantes (Mm ³ /mois)	0,5	1,3
	Lame d'eau évaporée par plantes (mm/mois)	27,8	74,1
	Volume retourné à l'Hérault (Mm ³ /mois)	6,6	3,2
	Volume infiltré dans la nappe par excès d'irrigation (Mm ³ /mois)	1,7	4,80
	Lame infiltrée dans la nappe par excès irrigation (mm/mois)	92	267

Tableau 5 Estimation de l'alimentation de la nappe par surplus d'irrigation dans le périmètre de l'ASA

Nous avons donc imposé comme alimentation par surplus d'irrigation dans le périmètre de l'ASA :

- 92 mm pendant les pas de temps Février, Mars, Avril, et Mai 2000,
- 267 mm pendant les pas de temps Juin, Juillet et Août 2000.

L'alimentation induite sur le périmètre de l'ASA de Gignac est très largement supérieure à la recharge naturelle par les pluies.

Prélèvements

Les prélèvements par pompages sont identiques dans les simulations en régime permanent et transitoire.

Prise en compte de l'Hérault dans le modèle

Pour cette première version du modèle en régime transitoire, la rivière Hérault a été figurée sous forme de mailles à potentiel imposé. Lors de la construction du modèle, les 35 km de rivière (du Pont du Diable à 10 km environ en aval du seuil de Cazouls) ont été décomposés en 174 mailles de 200 m de côté, avec une perméabilité de $5 \cdot 10^{-3}$ m/s. Pour le calage en régime transitoire, 57 zones géométriques ont été définies, dans lesquelles, à chaque pas de temps du modèle, une charge (hauteur d'eau dans la maille rivière) est imposée. Le découpage en zones géométriques tient compte des différents seuils présents sur l'Hérault sur le secteur modélisé. Les zones géométriques sont

composées de 2 à 4 mailles modèles (3 mailles en moyenne). Entre deux points de mesure des cotes de l'Hérault, les données ont été interpolées linéairement

Paramètres hydrodynamiques

Les perméabilités ont été conservées telles que définies lors du calage du modèle en régime permanent. Des valeurs de coefficient d'emmagasinement libre de 0,1 et captif de 0,001 ont été appliqués sur toute l'étendue du modèle (le modèle déterminant lui-même si la nappe est libre ou captive dans la maille considérée).

bb) Résultats

La Figure 28 présente des exemples de sorties du modèle en régime transitoire pour quelques piézomètres de contrôle, situés dans ou en dehors du périmètre d'irrigation de l'ASA de Gignac Afin de tester la sensibilité du modèle à la recharge naturelle par les pluies, deux simulations ont été effectuées avec respectivement 46 mm et 92 mm de recharge, répartis dans les deux cas avec les mêmes pourcentages sur les sept pas de temps mensuels du modèle.

Principales conclusions sur la piézométrie simulée :

- L'influence de l'alimentation naturelle par les pluies est visible sur toutes les courbes de sortie. Elle est marquée par une montée des niveaux piézométriques à partir du pas de temps 4 (mai 2000).
- La sensibilité du modèle à la valeur de l'alimentation par les pluies est assez marquée. Avec une valeur doublée (92 mm au lieu de 46 mm), l'augmentation de niveau piézométrique est en général comprise entre 20 et 50 cm.
- L'influence importante de la recharge induite par excès d'irrigation de l'ASA est bien visible sur les points 2426 et 31, situés dans le périmètre.
- La comparaison entre charges calculées et charges observées montre que les tendances sont respectées pour la plupart des piézomètres. Le modèle donne cependant des amplitudes de variations piézométriques nettement plus marquées que dans la réalité.

Si les tendances sont respectées, les charges calculées restent en général inférieures, en valeurs absolues, aux charges observées. Ceci peut s'expliquer par une sous-estimation de la recharge dans le modèle. L'imprécision est aussi due à la taille des mailles, qui bien que réduite (200 m de côté), est trop étendue dans les zones de fort gradient et tient au calage en régime permanent.

Contrairement à la modélisation en régime permanent, cette modélisation en régime transitoire fait apparaître le rôle des seuils dans les échanges nappe-rivière. En effet, si les débits échangés entre l'Hérault et les nappes alluviales restent à peu près les mêmes sur l'ensemble du maillage, quelques points précis sont sujet à une infiltration plus importante de l'Hérault dans les alluvions juste après le pic de crue (avril 2000). Au niveau de l'amont des seuils de Bélarga, d'Usclas d'Hérault et de l'ancien Moulin des

Prés (entre Usclas d'hérault et Montagnac), les débits d'infiltration sont respectivement de 36, 63 et 69 m³/h (sur un pas de temps mensuel).

Tout comme dans la simulation en régime permanent, une tendance générale au drainage des alluvions par l'Hérault est cependant mise en évidence avec des débits de l'ordre de 100 m³/h par maille dans la partie située entre Canet et Montagnac et des débits de drainage un peu plus importants (jusqu'à 250 m³/h) dans la partie comprise entre Pouzols et le Pont du Diable. De plus, une infiltration de l'Hérault dans les alluvions est toujours simulée dans le méandre situé entre Canet et Aspiran.

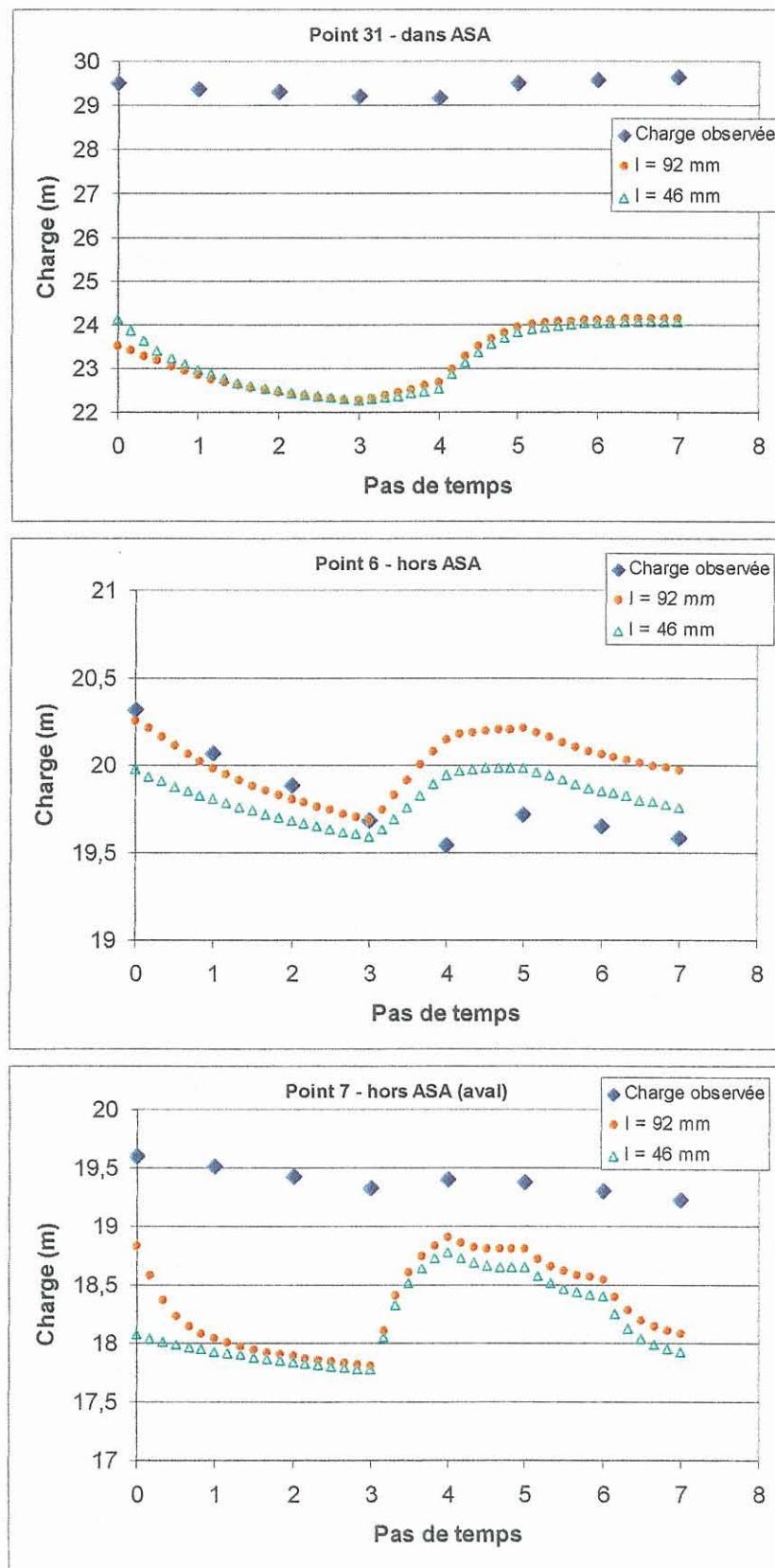


Figure 28 Résultats du modèle pour quelques piézomètres de contrôle

3.5. CONCLUSIONS

L'amélioration de la connaissance du fonctionnement hydrologique de la plaine alluviale de l'Hérault a été abordée, dans un premier temps, par des mesures piézométriques et limnimétriques entre le Pont du Diable, en amont, et Florensac en aval. Au total un réseau de trente-huit points répartis dans les différents complexes alluviaux a été suivi entre août 1999 et juillet 2001. Neuf d'entre eux ont été suivis au pas de temps horaire à l'aide de capteurs de pression. De plus les cotes de l'eau en amont et aval de chaque seuil de l'Hérault ont été relevées ponctuellement.

L'ensemble des données acquises a permis de décrire le fonctionnement de la plaine alluviale de manière qualitative. La tendance au drainage naturel des alluvions par le fleuve Hérault et ses affluents a été mise en évidence sur les cartes piézométriques, aussi bien en basses eaux qu'en hautes eaux. La densité de piézomètres et de puits à disposition pour cette étude n'a cependant pas permis de mettre en évidence le rôle exact de tous les seuils dans les échanges nappe/rivière.

Les chroniques piézométriques ont montré que les nappes réagissent de manière synchrones quelle que soit la position des piézomètres dans la plaine alluviale. Ces variations sont de l'ordre d'un à quatre mètres sur la période de mesures. Les variations rapides et répétées du niveau d'eau de l'Hérault dues aux précipitations et/ou à des manipulations d'ouvrages hydrauliques n'ont pas été enregistrées sur les chroniques piézométriques ce qui nous permet d'avancer que les niveaux piézométriques sont davantage influencés par les précipitations que par le niveau de l'Hérault.

Sur la base d'une chronique piézométrique, la recharge vers les nappes alluviales a été calculée, pour la période de septembre 1999 à août 2000, en utilisant le code de calcul GARDENIA (BRGM). Les calculs ont montré que cette recharge est de l'ordre de 184 mm/an sur la période considérée avec une concentration de cette recharge entre les mois de septembre et décembre (de l'ordre de 30 mm/mois) et un minimum entre janvier et avril. De plus, une recharge de l'ordre de 10 mm/mois a été calculée pour les mois estivaux.

Enfin, la somme des données hydrologiques acquises sur la plaine de l'Hérault ainsi que la connaissance de la géologie du secteur a permis de construire un premier modèle hydrodynamique des écoulements de la partie la plus au Nord de la plaine (entre Montagnac et le Pont du Diable) à l'aide du code MARTHE (BRGM). Tant en régime permanent que transitoire, le fort drainage des alluvions par l'Hérault est simulé, ce drainage étant plus important dans la partie Nord du secteur étudié (en amont de Canet). La modélisation suggère que trois seuils seulement favorisent une infiltration significative de l'eau de l'Hérault vers les alluvions, et ce uniquement en régime transitoire après la crue d'avril 2000 (seuils de Bélarga, d'Usclas d'Hérault et du moulin des Prés). De plus, dans le méandre bien marqué situé entre Canet et Aspiran, une infiltration de l'Hérault vers les alluvions est mise en évidence quelle que soit la simulation. Ces premières sorties du modèle montrent en outre l'importance de la

recharge induite par l'excès d'irrigation de l'ASA de Gignac. L'estimation quantitative de cette recharge induite sera à affiner pour les prochaines versions du modèle en régime transitoire.

4. Chimie et géochimie de la plaine alluviale

4.1. INTERET DE L'APPROCHE GEOCHIMIQUE

4.1.1. Introduction

La géochimie est née au début du siècle et s'est tout d'abord intéressée à ce qui fait son nom : la chimie de la Terre et de ses matériaux. Très vite il est apparu que l'eau est un agent de la dissolution et que c'est elle qui régit les équilibres à la surface de la Terre. Ainsi est née l'hydrogéochimie ou hydrochimie.

Dans le milieu naturel, l'eau subit le poids de la gravité et circule au sein des milieux rocheux pour se frayer un chemin vers son point d'exutoire. Ce faisant, l'eau interagit avec les minéraux des roches à travers une série d'équilibres chimiques qui la poussent soit à les dissoudre, soit au contraire à précipiter de nouveaux minéraux à partir de ses éléments dissous.

Le contenu en éléments dissous, obtenu par l'analyse chimique, est la base de l'hydrochimie. En effet, c'est à partir de la composition chimique que l'on va chercher à retracer l'histoire de l'eau. Cette composition chimique constitue une **signature** d'un environnement naturel.

Par exemple, le séjour dans un milieu calcaire chargerà l'eau en calcium et en bicarbonates, produits de la dissolution de la calcite. Dans le sol, elle entraînera dans son trajet une partie du CO₂ produit par l'activité biologique. Ainsi, on peut retrouver à travers la composition chimique d'une eau les environnements dans lesquels elle a séjourné.

L'application à l'hydrologie consiste à individualiser les signatures des différents réservoirs dans lesquels l'eau a circulé. Si l'on peut ainsi les distinguer, on pourra reconnaître, à l'exutoire, l'origine des eaux qui émergent, même si elles se mélangent entre elles. On peut dire qu'une partie de l'application de l'hydrochimie consiste à faire un **tracage naturel** des différents milieux. Tout comme on utilise des colorations à partir de produits artificiels, les différentes matrices rocheuses « colorent » les eaux qu'elles contiennent et l'on peut interpréter les indications obtenues.

De plus, ces traçages naturels donnent des indications sur les temps de résidence de l'eau et sur l'influence plus ou moins grande des niveaux de production. Ces éléments sont particulièrement importants en terme de définition de la vulnérabilité des aquifères étudiés.

4.1.2. Informations apportées par les espèces majeures

a) Le chlore (Cl⁻)

Les minéraux utilisant du chlore en tant que constituant dans leur matrice sont peu nombreux, il s'agit exclusivement des minéraux évaporitiques (NaCl, KCl, MgCl...) qui

nécessitent de très fortes saturations avant de précipiter (300 g/l par exemple pour NaCl). Ces minéraux sont donc uniquement trouvés dans les environnements où des évaporations extrêmement fortes sont possibles ou ont été réalisées dans le passé.

En conséquence, l'anion Cl⁻ ne peut être affecté par des processus de dissolution ou de précipitation. De plus, sa charge électrique négative n'est pas propice aux phénomènes d'adsorption.

Dans le milieu considéré, l'anion Cl⁻ ne peut donc être affecté que par un processus physique : l'évaporation (ou l'évapotranspiration) qui conduit à une augmentation des concentrations en chlorure. A l'exception de ce phénomène, les variations observées ne peuvent être dues qu'à une variation des teneurs d'entrée du système (pluies), ou à des apports d'eaux usées (pollution anthropique).

A noter toutefois que l'on trouve quelques évaporites du Trias en bordure de la plaine alluviale, essentiellement constituées de gypse (CaSO₄, 2H₂O).

b) Le sodium (Na⁺)

Dans le milieu naturel, les variations des teneurs en sodium peuvent être liées soit à des phénomènes de dissolution de minéraux silicatés (feldspath, plagioclases), soit à des phénomènes d'échange de cation avec la matrice argileuse, soit à des phénomènes d'adsorption par les plantes. Les feuillets argileux contiennent des éléments à charge électrique positive qui peuvent être échangés facilement avec ceux de la phase aqueuse.

A l'inverse du chlorure, les phénomènes d'évapotranspiration provoquent une diminution des teneurs en sodium, retenu par les systèmes racinaires des plantes. Ce phénomène est donc également une cause de variation des teneurs en sodium.

c) Les sulfates (SO₄²⁻)

La source principale de sulfate dans le milieu naturel provient des minéraux évaporitiques de type gypse ou anhydrite. Ces minéraux sont communs dans les formations triasiques.

Une source secondaire peut être recherchée à travers les formations argileuses. Une fois dans la phase liquide, le sulfate peut être considéré, en première approche, comme un élément conservatif, au même titre que l'anion Cl⁻.

d) Les espèces du système calco-carbonique

Les espèces Ca²⁺, Mg²⁺ et HCO₃⁻ sont quasi exclusivement liées au système carbonaté. Les interactions avec les autres minéraux sont en effet négligeables face aux dissolutions de minéraux carbonatés.

Dans les formations carbonatées où on est en présence de dolomies, le système carbonaté est à même de fournir non seulement du calcium (Ca²⁺) et du bicarbonate (HCO₃⁻) mais également du magnésium (Mg²⁺). Cependant les cinétiques de dissolution sont très différentes pour ces deux minéraux et l'acquisition du magnésium est un phénomène lent qui signe des temps d'interaction importants.

4.1.3. Informations apportées par l'hydrochimie isotopique.

On utilise beaucoup de nos jours les analyses isotopiques. Les atomes d'un même élément chimique (caractérisé par ses charges électriques) peuvent posséder un nombre différent de neutrons dans leur noyau et donc présenter une masse différente. On les appelle des isotopes de l'élément chimique. Ceci n'entraîne pas de modification majeure des réactions chimiques. Par contre, de très faibles variations lors de processus physiques, comme l'évaporation, ou simplement, du fait de l'origine et de l'histoire différentes des formations géologiques, se marqueront par des signatures différentes.

On utilise leur analyse pour caractériser soit les processus (hydrogène, oxygène de l'eau) ou des roches avec lesquelles l'eau a été en interaction (strontium). Ce sont des outils extrêmement performants pour l'analyse hydrochimique.

a) *Les isotopes stables de la molécule d'eau (^{18}O et ^2H)*

Par opposition aux traceurs chimiques, les isotopes stables de la molécule d'eau (^{18}O et ^2H) sont strictement conservatifs car il n'existe, aux températures habituellement rencontrées dans le domaine de l'hydrogéologie de sub-surface, aucun échange isotopique entre l'eau et la matrice minérale des systèmes. L'intérêt des isotopes stables de l'eau réside donc dans le fait qu'ils permettent de tracer très fidèlement les flux hydriques qui s'écoulent dans les systèmes, dans la mesure où ils sont intimement liés à l'eau.

Les variations des compositions isotopiques de l'eau dans le cycle hydrologique résultent soit de fractionnement isotopique qui intervient lors des changements de phase (évaporation, condensation), soit de mélange d'eaux de composition isotopique différente. L'évaporation entraîne toujours la formation de vapeur appauvrie en isotopes lourds par rapport au liquide d'origine. A l'inverse, lors de la condensation, la phase condensée (pluie par exemple) est toujours enrichie en isotopes lourds au détriment de la phase vapeur résiduelle (nuage). A l'échelle mondiale, les teneurs en deutérium des pluies sont reliées aux teneurs en oxygène 18 par la relation suivante : $\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 10$, couramment appelée droite mondiale des eaux météoriques.

La signature isotopique des précipitations est extrêmement variable dans le temps et dans l'espace, et peut constituer à ce titre, un bon marqueur des eaux infiltrées dans les systèmes, dès lors que la signature isotopique de l'eau préexistante dans le système est différente de celles des précipitations. L'utilisation des isotopes stables de l'eau permet à la fois de déterminer l'origine des eaux qui s'écoulent à l'exutoire d'un système et également d'estimer le temps de résidence de l'eau au sein de l'aquifère. Enfin, ils apportent des informations quant à la nature des processus mis en jeu lors des crues.

a) *Les isotopes radiogéniques du Strontium (Sr)*

Le Strontium (Sr) est un élément chimique de type alcalino-terreux dont les propriétés physico-chimiques sont proches de celles du calcium. Cette similarité permet au Sr de se substituer au Ca dans les réseaux cristallins.

L'élément strontium peut être utilisé comme traceur dans les études environnementales puisqu'il est naturellement présent dans le milieu. Il possède 4 isotopes : ^{88}Sr , ^{87}Sr , ^{86}Sr et ^{84}Sr sont stables, seul le strontium 87 (^{87}Sr) est radiogénique c'est à dire qu'il est issu de la désintégration radioactive d'un isotope père, en l'occurrence le rubidium 87 (^{87}Rb) par désintégration β^- . L'abondance des isotopes ^{88}Sr , ^{86}Sr et ^{84}Sr reste constante au cours du temps alors que l'abondance de l'isotope ^{87}Sr va augmenter dans le temps suite à la production via la désintégration du ^{87}Rb . En Sciences de la Terre et dans les études environnementales, on utilise le rapport de l'isotope radiogénique sur un isotope stable soit : $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

D'une manière générale, les eaux qui drainent les roches acquièrent la composition isotopique en Sr (rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) des minéraux de cette roche les plus sensibles à la dissolution. Ainsi, les eaux qui drainent des roches silicatées (granite par exemple) présentent des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ relativement élevés, celles qui drainent des roches carbonatées ont des signatures plus faibles (moins radiogéniques). Ces variations isotopiques peuvent être utilisées pour mettre en évidence et quantifier des mélanges d'eaux de diverses origines.

4.2. CARACTERISATION DES EAUX DE LA NAPPE ALLUVIALE PAR LES ELEMENTS MAJEURS

4.2.1. Validité des mesures

Afin de valider les analyses réalisées en éléments majeurs, il est habituel de calculer la balance ionique, c'est à dire la différence entre les charges positives et négatives ($\Sigma^+ = 2\text{Ca}^{2+} + 2\text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$; $\Sigma^- = \text{Cl}^- + \text{HCO}_3^- + \text{NO}_3^- + 2\text{SO}_4^{2-}$). La balance ionique est considérée comme excellente lorsque cette différence est inférieure à 1%, et bonne jusqu'à 5%.

Pour les eaux souterraines de la plaine alluviale de l'Hérault, la balance ionique est toujours inférieure à 5%. Pour les eaux de surface (Hérault et ses affluents), elle peut atteindre 10% avec un excès de charges négatives. Cet excès de charges négatives est connu et est généralement expliqué par la présence d'ions organiques dosés lors de l'analyse de l'alcalinité (Meybeck, 1986). De tels déséquilibres ioniques ont été mis en évidence à l'échelle mondiale, sur le Congo (Négrel et al., 1993), l'Amazone (Gaillardet et al., 1997), mais aussi à l'échelle locale sur l'Hérault (Petelet et al., 1998).

La relation entre la somme des cations (Σ^+) et la conductivité de l'eau qui traduit la minéralisation totale d'une eau est très bonne (Figure 29). Les points qui s'écartent le plus de la corrélation linéaire vers le bas correspondent aux eaux de rivières présentant un excès de charges négatives.

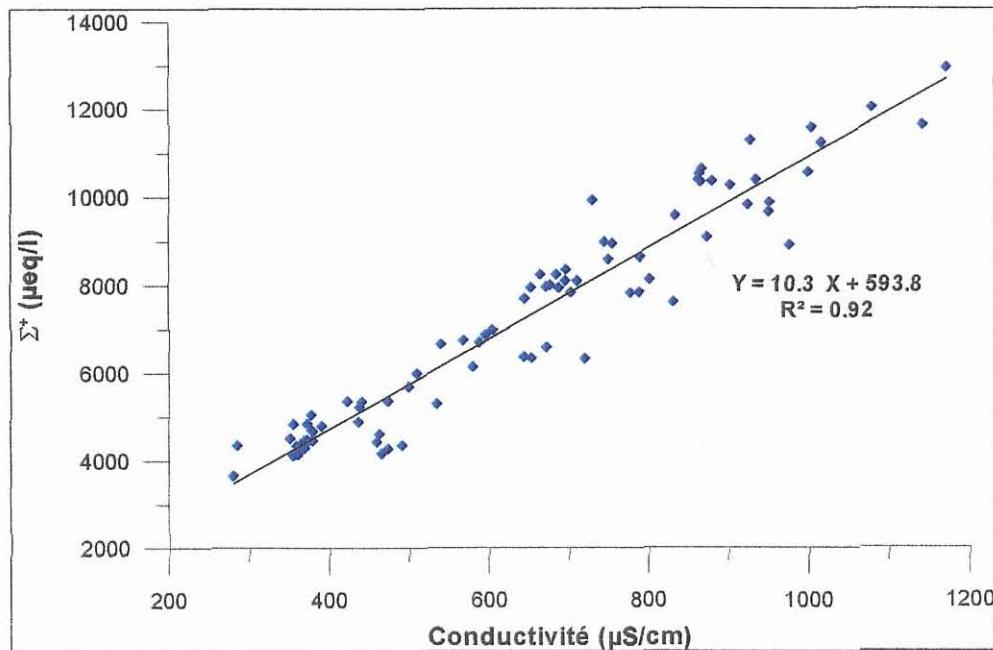


Figure 29 Relation entre la somme des cations et la conductivité dans les échantillons d'eau de surface et souterraine de la plaine alluviale de l'Hérault

4.2.2. Faciès chimique des eaux

Les analyses des eaux de surface et des eaux souterraines ont été reportées dans un diagramme de Piper qui permet d'identifier les grands types d'eaux.

La Figure 30 montre que la plupart des eaux sont de type bicarbonaté calcique. Seuls quelques échantillons présentent un faciès sulfaté calcique, il s'agit des eaux suivantes :

- ATI-2 : puits dans les formations des terrasses inférieures, localisé dans une vigne au nord de Montagnac. Cet échantillon présente à la fois de fortes teneurs en sulfates et chlore. Ces concentrations élevées sont très certainement à rattacher à l'activité viticole de cette parcelle.

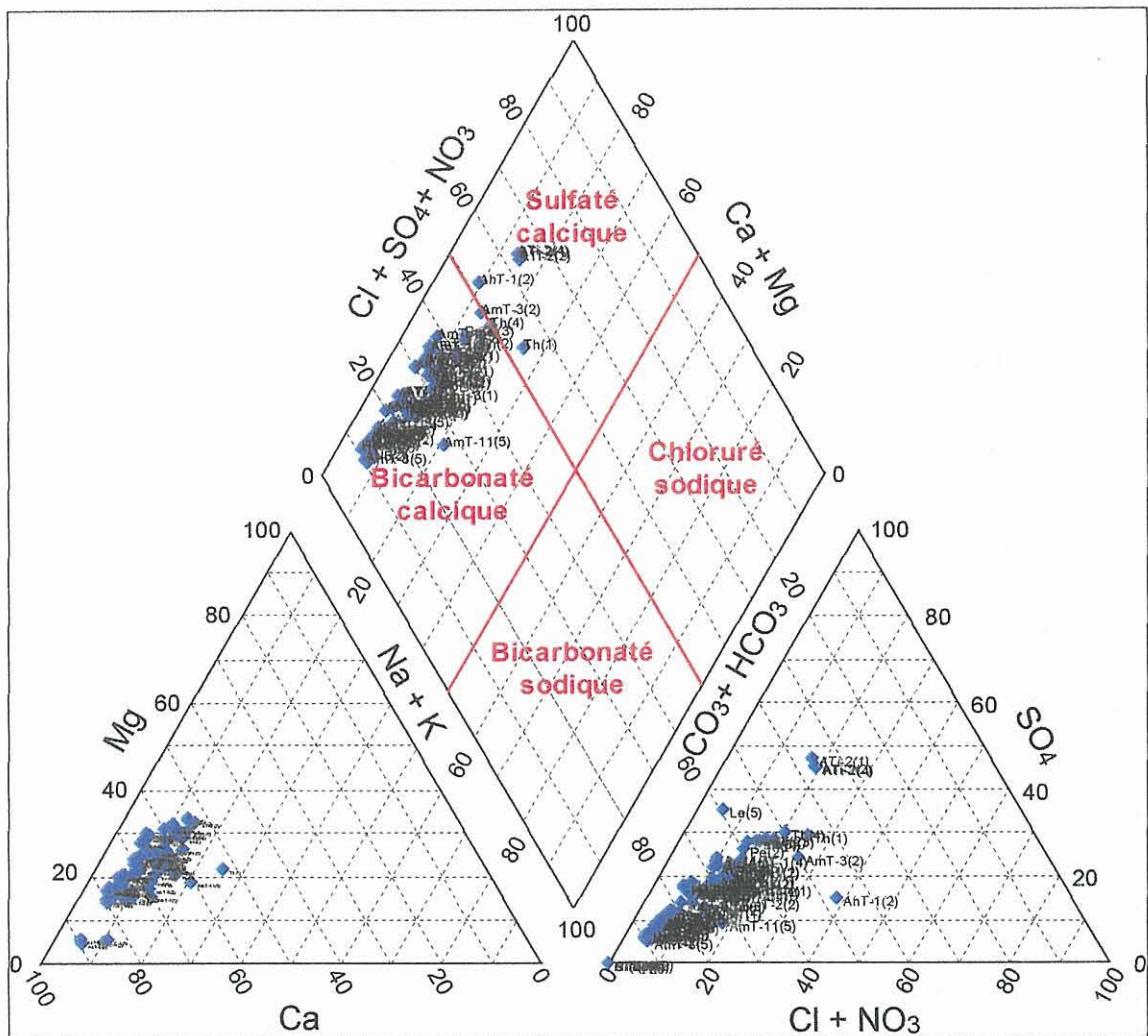


Figure 30 Diagramme de Piper des eaux de la plaine alluviale de l'Hérault

- AhT-1 : puits dans les formations des hautes terrasses, à l'ouest de Brignac. Ce puits est situé sur une parcelle non cultivée qui a ensuite été utilisée pour épandre des ordures concassées. L'analyse chimique effectuée sur cette eau révèle les teneurs en chlore et nitrates les plus fortes observées dans la plaine alluviale. Cet échantillon, non représentatif des formations de hautes terrasses n'a pas fait l'objet d'autres analyses lors des campagnes suivantes.
- Th : La rivière Thongue est la plus à l'aval de la plaine alluviale, c'est à dire la plus proche de la mer. Ses eaux sont en particulier riches en chlore et sulfates, ce qui peut s'expliquer à la fois par la proximité de la mer qui apporte des embruns salés et par le drainage de quelques formations évaporitiques de type gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et anhydrite (CaSO_4). Il ne faut toutefois pas exclure un apport possible de sulfates par l'activité viticole du bassin.

4.2.3. Les relations inter-éléments

Le chlore présent dans les eaux est originaire de la mer via la pluie (Meybeck, 1983, Stallard and Edmond, 1981) dans la mesure où le bassin versant drainé par ces eaux ne contient pas de roche salines de type évaporite. Si le bassin versant de l'Hérault contient quelques formations évaporitiques en bordure de la plaine alluviale, il s'agit de gypse et d'anhydrite ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), et non de halite (NaCl).

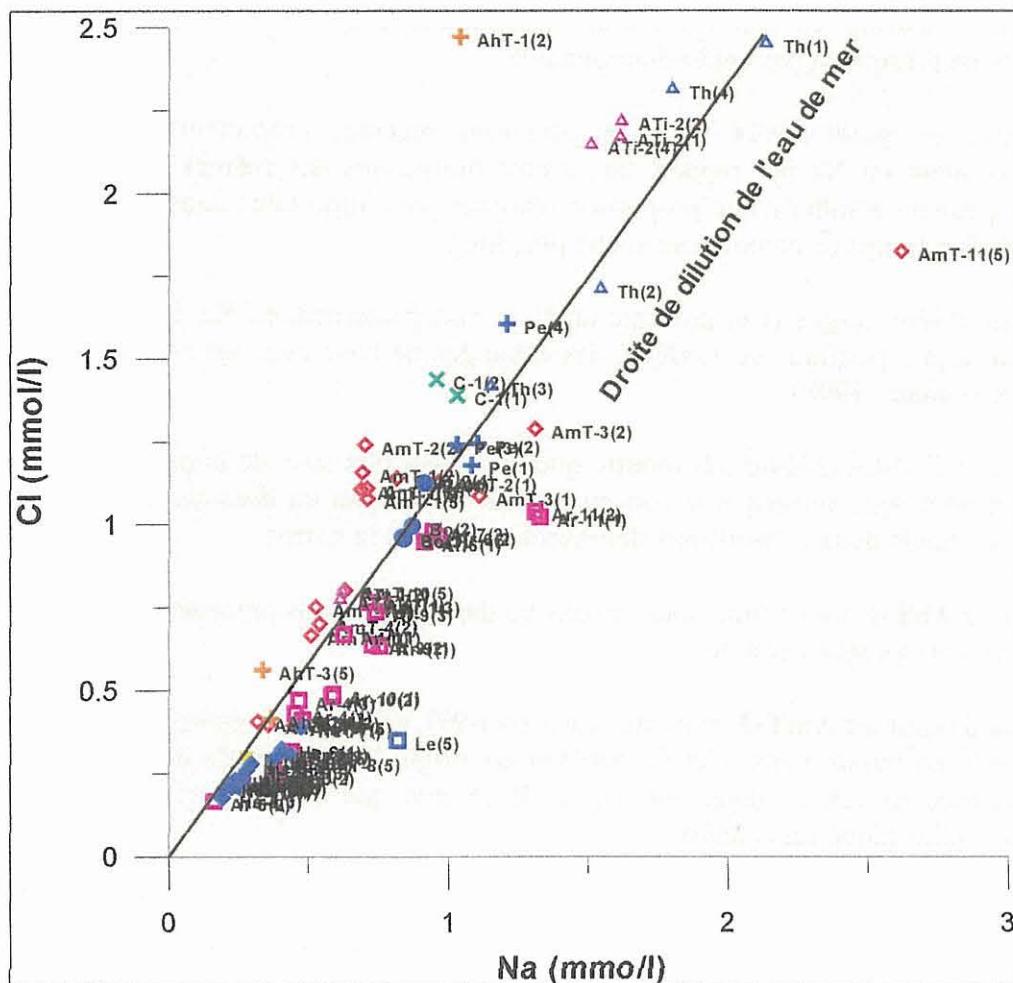


Figure 31 Relation Chlore - Sodium dans les eaux souterraines et de surface de la plaine alluviale de l'Hérault.

On peut donc considérer que le Cl est très majoritairement d'origine marine via la pluie. Le Cl constitue ainsi un élément de référence auquel il est possible de comparer les autres éléments majeurs.

La relation Na-Cl (Figure 31) montre clairement que la plupart des échantillons d'eau de surface et souterraine se situent sur la droite de dilution de l'eau de mer (Berner and Berner, 1987), traduisant bien une origine marine du Cl. Seuls quelques échantillons s'écartent de la droite de dilution de l'eau de mer :

- Enrichissement en Cl par rapport à l'eau de mer : **AhT-1** est le seul échantillon à présenter cet enrichissement, comme nous l'avons vu dans le § 4.2.2, cette forte teneur en Cl est certainement à relier à une activité anthropique (épandage d'ordures concassées).

- Enrichissement en Na par rapport à l'eau de mer : l'échantillon **AmT-11** est le seul présentant une forte teneur en Na. Il s'agit de l'eau d'un puits des moyennes terrasses au sud de Canet. Cette teneur peut s'expliquer par une interaction eau-roche importante libérant du Na. Cependant, les autres échantillons issus de ces mêmes terrasses ne présentent pas cet enrichissement.

Les eaux du puits **Ar-11** dans les alluvions récentes présentent aussi un léger enrichissement en Na par rapport aux autres puits issus des mêmes formations. Ces teneurs peuvent résulter d'une proportion d'argiles plus importante dans le secteur de ce puits ou d'un temps de contact eau-roche plus long.

Enfin, la rivière Lergue (**Le**) présente un léger enrichissement en Na. La Lergue draine le bassin argilo-pelitique de Lodève, des échanges de base avec les argiles peuvent se produire (Petelet, 1998).

La relation Cl-NO₃ (Figure 32) montre que la plupart des eaux de la plaine alluviale de l'Hérault sont relativement peu concentrées en NO₃, bien en dessous de la norme de potabilité. Seuls deux échantillons dépassent largement la norme.

Il s'agit de **AhT-1** qui comme nous l'avons vu dans les relations précédentes présente une influence anthropique certaine.

Le second point est **AmT-3** en hautes eaux (oct-99), alors qu'il présente une teneur bien plus faible en basses eaux. Cet échantillon est originaire d'un puits dans les alluvions des terrasses moyennes dans une vigne. Il semble que ce puits soit soumis à une pression anthropique saisonnière.

Les eaux du puits **AmT-4** (dans une vigne) présentent une teneur en NO₃ de l'ordre de 0.9 mmol/l en basses eaux et des teneurs plus faibles en hautes eaux. Il semble que la teneur en nitrates soit diluée en hautes eaux avec cependant des teneurs pratiquement constantes en Cl.

La relation Cl-SO₄ (Figure 33) montre un net enrichissement en sulfates par rapport à l'eau de mer, aussi bien dans les eaux de surface que dans les eaux souterraines. Les sulfates ont deux origines possibles : naturelle et anthropique.

- via l'atmosphère : embruns marins, poussières de CaSO₄ et/ou BaSO₄, fumées industrielles (Durant et al., 1992), ...
- via les sols : lessivage de produits phytosanitaires,
- via les roches : dissolution de minéraux (gypse, anhydrite, barytine).

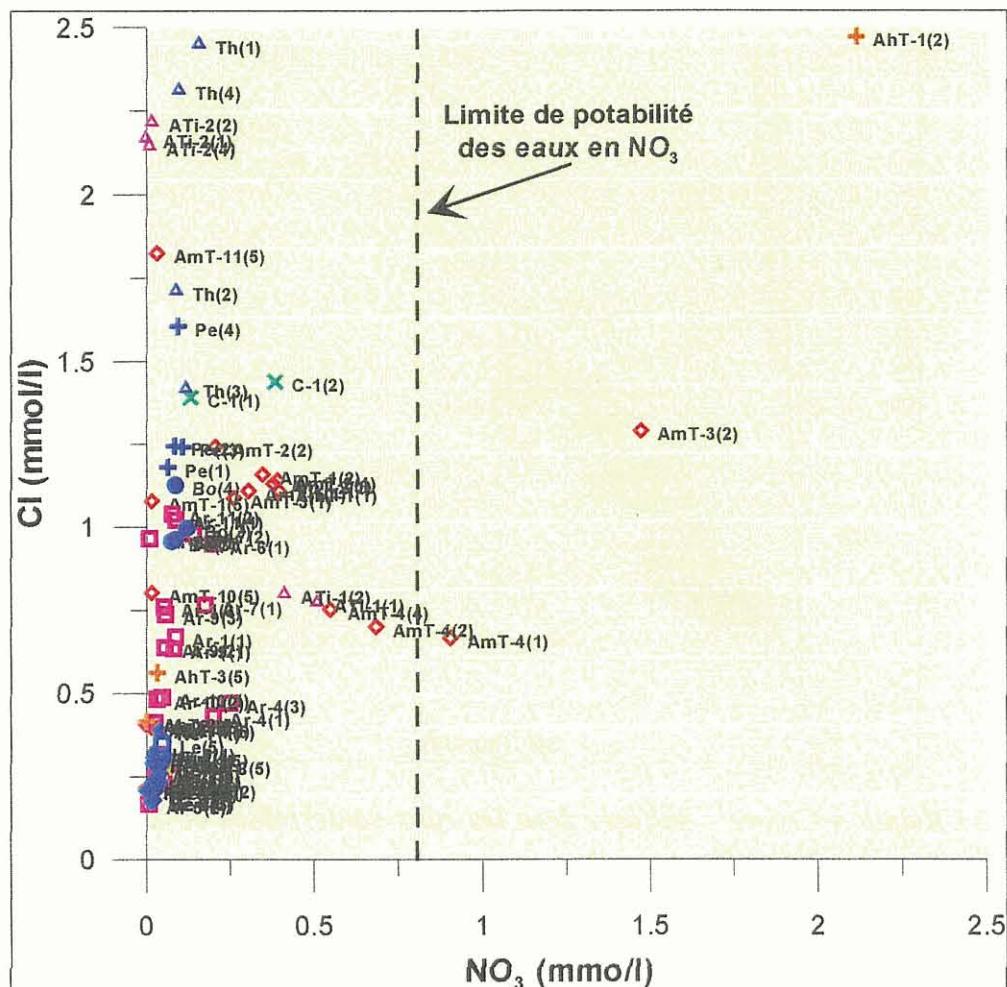


Figure 32 Relation Chlore - Nitrates dans les eaux souterraines et de surface de la plaine alluviale de l'Hérault.

Le diagramme de la teneur en Ca en fonction de la somme des cations (non présenté), indique que la plupart des échantillons de la plaine alluviale se situent dans le domaine des évaporites (Meybeck, 1986). Les affluents de l'Hérault dans la plaine alluviale drainent effectivement, en proportion plus ou moins importante, les formations triasiques affleurant en bordure du bassin de Lodève. Le gypse et l'anhydrite contenu dans ces formations sont des minéraux très solubles susceptibles de marquer significativement le chimisme des eaux.

La Figure 34 qui corrèle le strontium aux sulfates, permet de mettre en évidence que seuls deux échantillons présentent de nets enrichissements en sulfates par rapport à l'eau de mer, il s'agit d'une part de la rivière Peyne (Pe) qui draine le gypse et l'anhydrite des formations triasiques (Petelet, 1998), et d'autre part, de l'eau du puits ATi-2 situé dans une vigne et qui est très certainement soumis à la pression anthropique liée à l'activité viticole.

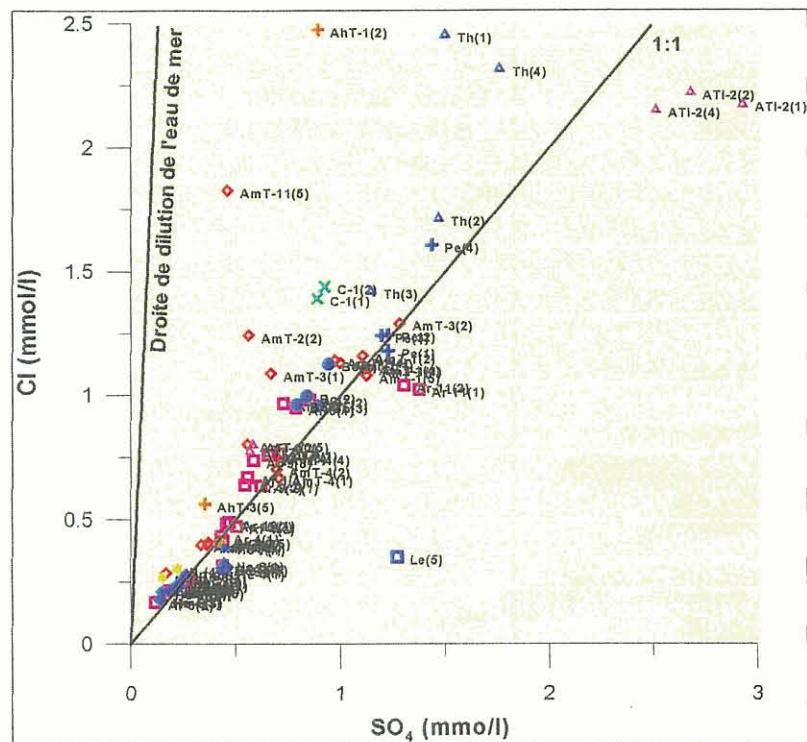


Figure 33 Relation Chlore - Sulfates dans les eaux souterraines et de surface de la plaine alluviale de l'Hérault

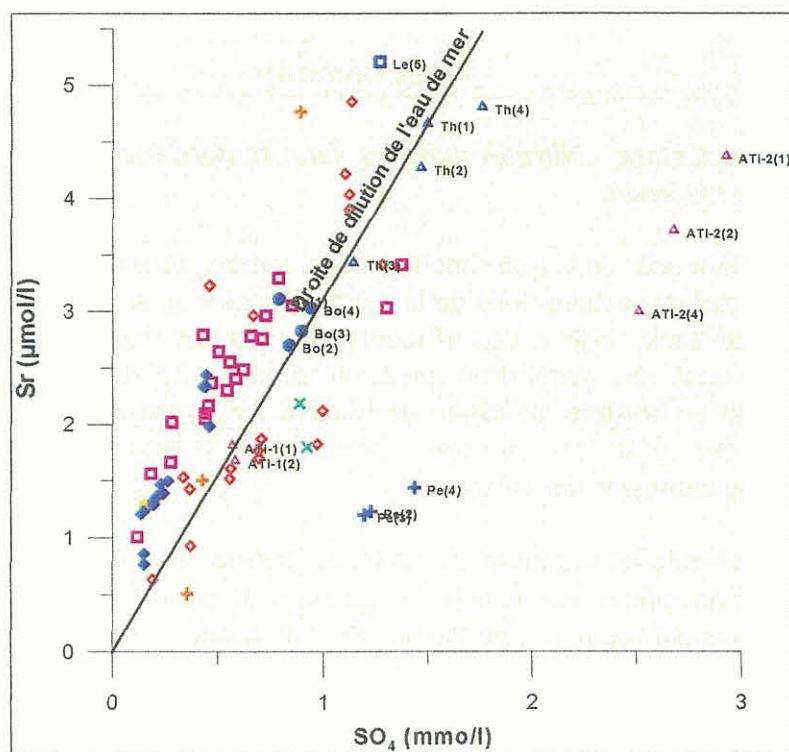


Figure 34 Relation Strontium - Sulfates dans les eaux souterraines et de surface de la plaine alluviale de l'Hérault.

Il n'est cependant pas possible de trancher entre une origine naturelle ou anthropique des sulfates pour tous les échantillons. L'origine est certainement multiple en proportion variable suivant les points. A noter, au moins pour les eaux de surface, une contribution éventuelle de sulfures biogéniques produits par le phytoplancton dans les étangs littoraux (Bates et al., 1987).

4.3. LES IOSOTOPES STABLES ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$)

L'ensemble des échantillons d'eaux de surface et souterraine prélevés sur le cycle hydrologique août 1999 - août 2000, définit une relation linéaire d'équation $\delta^2\text{H} = 5.2 \delta^{18}\text{O} - 3.2$ (Figure 35).

Une étude précédente (entre 1996 et 1997) a montré que la gamme de variation des pluies de la plaine alluviale est la suivante (Ladouche et al., 1998) :

- $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 14.3$ à Mireval (côte) ;
- $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 12.72$ à St André de Sangonis (amont de la plaine alluviale).

Cette gamme des précipitations est représentée en vert sur la Figure 35.

Les échantillons qui se trouvent au dessus de la gamme sont issus de précipitations plus enrichies en deutérium, c'est à dire se rapprochant de la valeur de la droite météorique méditerranéenne. Les échantillons situés au dessous de cette gamme sont soit issus de pluies plus appauvries en deutérium, telles que Ladouche et al. (1998) ont pu en mesurer entre 1996 et 1997, soit ils ont subit une évaporation.

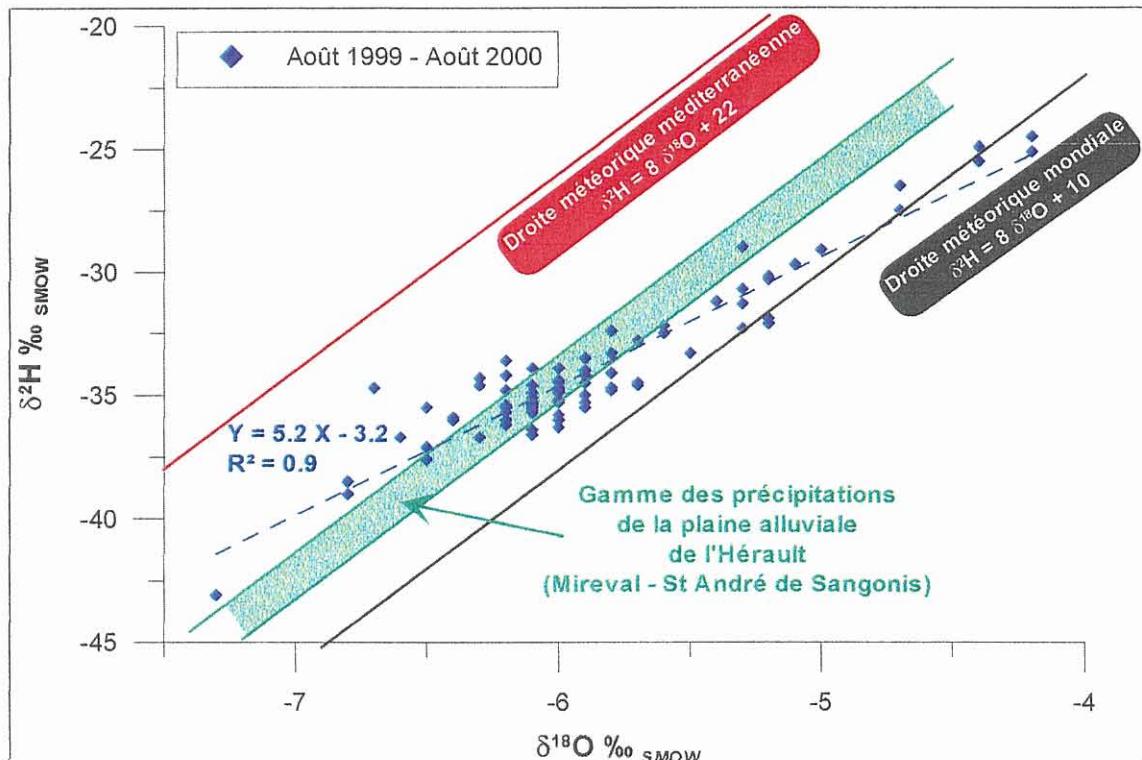


Figure 35 Relation $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ dans les eaux de surface et souterraines de la plaine alluviale de l'Hérault.

4.3.1. Terrasses inférieures

Les eaux du puits ATI-2, situé dans les alluvions des terrasses inférieures en rive gauche de l'Hérault au nord de Montagnac, présentent des signatures en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ stables dans différentes conditions hydrologiques et peu négatives (Figure 36). Ces caractéristiques, comparées aux autres échantillons de la plaine alluviale, suggèrent que ces eaux sont issues d'une nappe superficielle, soumise à des phénomènes évapo-transpiratoires, et d'une taille suffisamment importante pour permettre d'amortir le signal isotopique des pluies pénétrant le système.

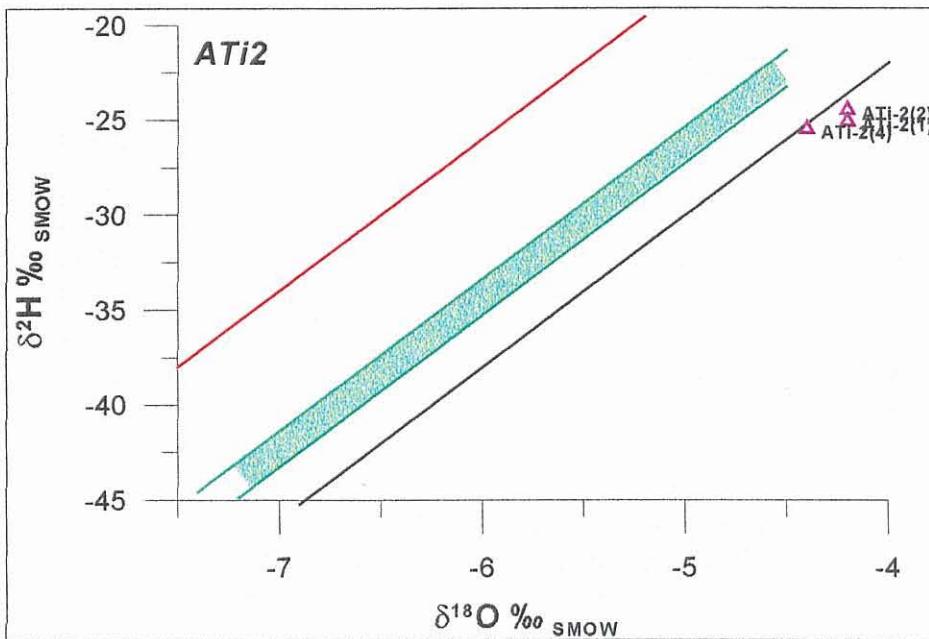


Figure 36 Evolution de la signature en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux du puits ATI-2.

Le second échantillon issu des terrasses inférieures (ATI-1) présente aussi des signatures stables entre août 1999 et octobre 1999, mais ne montre pas de signe d'évaporation, sa signature étant dans la même gamme de valeur que l'Hérault au même endroit (He-4).

4.3.2. Terrasses moyennes

Le puits, situé dans les alluvions anciennes des terrasses moyennes, le plus proche de l'Hérault au sud de Canet (AmT-1) présente une signature en oxygène et deutérium stables dans les différentes conditions hydrologiques. Ces eaux sont certainement issues d'une nappe suffisamment étendue pour amortir les variations isotopiques du signal climatique.

Si les variations du niveau piézométrique ne sont pas considérables (de l'ordre du mètre), le temps de réaction de la nappe semble relativement rapide suite aux fortes précipitations générant les crues de l'Hérault (Figure 37).

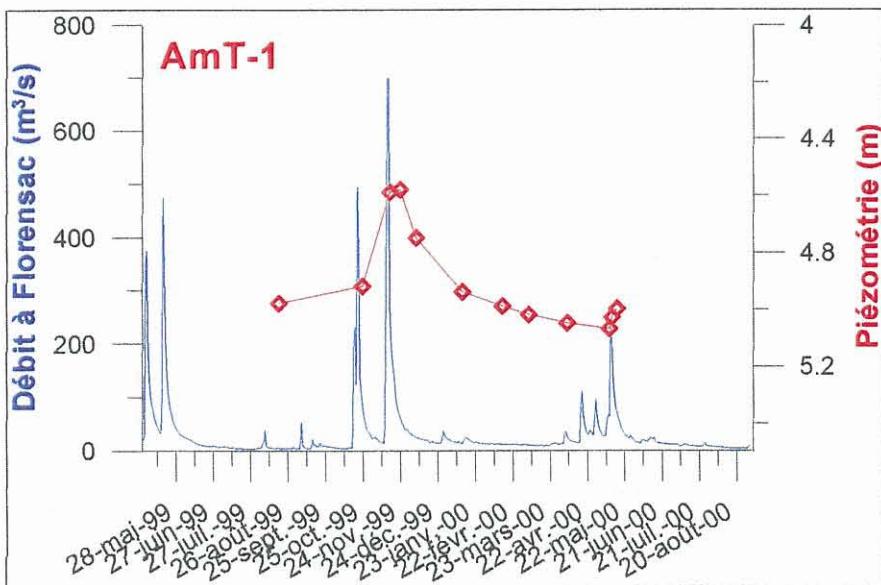


Figure 37 Evolution temporelle de la piézométrie du puits AmT-1 comparée au débit de l'Hérault à Florensac

Le puits AmT-2, au Nord d'Usclas d'Hérault, n'a été échantillonné que deux fois durant la crue d'octobre 1999 et celle de mai 2000. Il présente des signatures très variables (Figure 38), la signature d'octobre 1999 étant la plus négative observée dans la plaine alluviale durant le cycle hydrologique 1999-2000. A cet endroit, la nappe des terrasses moyennes semble être d'extension plus réduite et ainsi traduire les variation du signal isotopique de la pluie (les pluies d'automne et d'hiver ayant en général des signatures isotopiques plus négatives que les pluies de printemps et d'été).

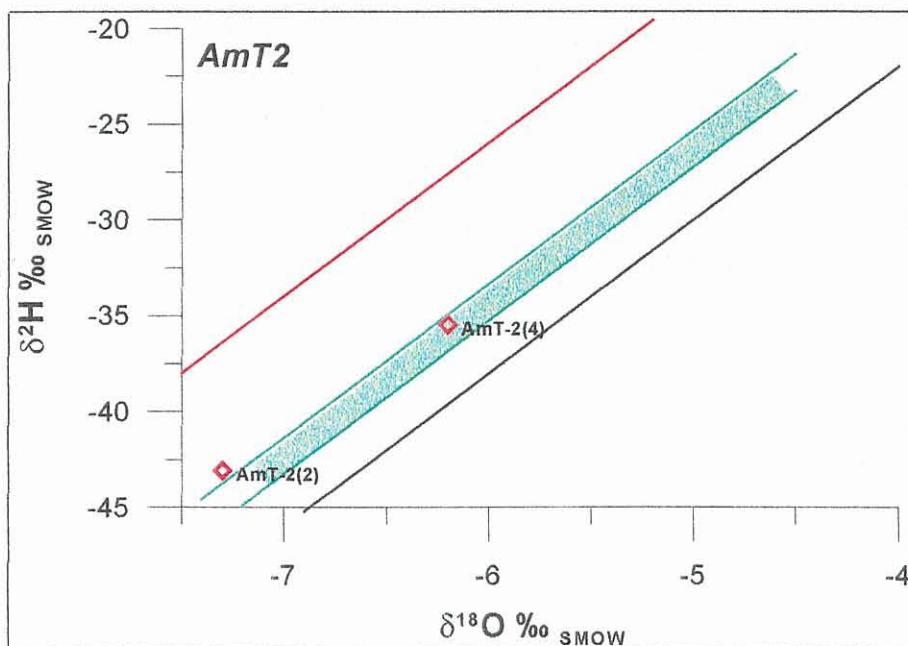


Figure 38 Evolution de la signature en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux du puits AmT-2.

A l'inverse de ce que l'on vient de voir pour le puits AmT-2, le puits AmT-3 (à Lézignan la Cèbe), présente une signature moins négative durant la crue d'octobre 1999 que pendant l'étiage de l'été (Figure 39). Ces variations indiquent d'une part que la nappe des terrasses moyennes n'est pas très étendue à cet endroit et que durant la crue d'octobre 1999, il semblerait que les eaux du puits correspondent à des eaux plus "anciennes" ayant pu subir une évaporation, ne traduisant en tout cas pas l'épisode pluvieux qui a induit la crue.

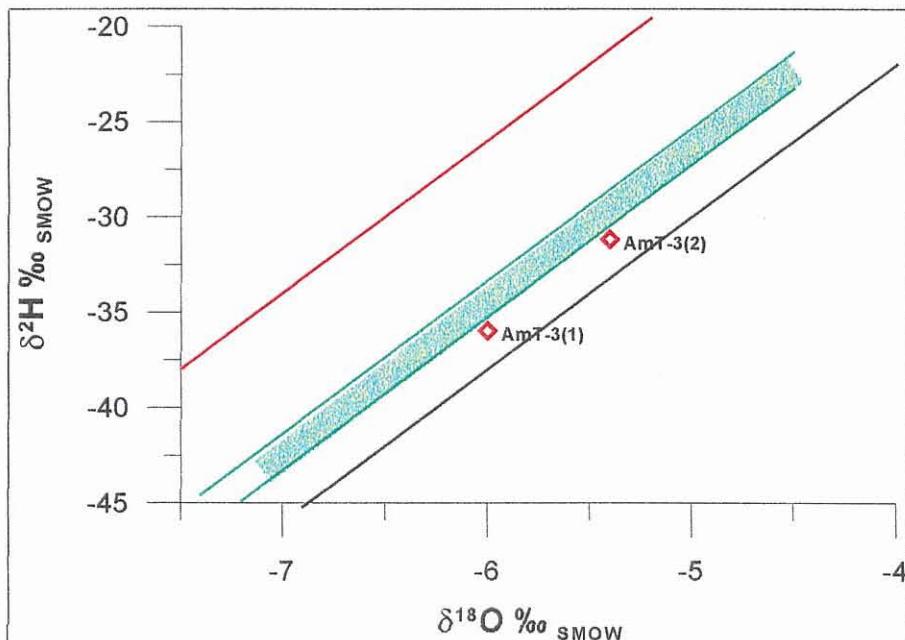


Figure 39 Evolution de la signature en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux du puits AmT-3.

Enfin le puits AmT-4 au nord de Canet présente une signature isotopique en oxygène et deutérium stable dans toutes les conditions hydrologiques dans lesquelles il a été échantillonné, traduisant une nappe relativement importante pour amortir le signal de la pluie.

Les moyennes terrasses entre Gignac et Aniane n'ont été échantillonnées qu'une fois lors de l'étiage d'août 2000, il n'est donc pas possible de décrire l'évolution temporelle de leur signature en isotopes stables de la molécule d'eau.

4.3.3. Les alluvions récentes

Comme dans les terrasses surplombant le cours actuel de l'Hérault, les différents puits échantillonnés dans la nappe des alluvions récentes ne se comportent pas tous de la même façon. Certains puits présentent des signatures isotopiques stables et d'autres des signatures variables en fonction des conditions hydrologiques.

Les deux puits les plus en amont de la nappe des alluvions récentes présentent des signatures variables, il s'agit de Ar-1 et Ar-2 respectivement situés à l'aval de la confluence avec la Boyne et au niveau de la confluence avec la Peyne. Les variations

observées ne sont cependant pas identiques. **Ar-1** présente une signature plus négative lors de la crue d'octobre 1999 (comme cela a déjà été observé dans les moyennes terrasses), alors que pour **Ar-2**, la signature la plus faible est en mai 2000 (Figure 40).

Il semble donc que la nappe des alluvions récentes en amont soit soumise aux variations de signature isotopique induites par les pluies.

De plus, il semble que dans cette partie amont, la nappe soit compartimentée, au tout au moins non homogène, puisqu'elle répond de manière différente aux épisodes de crue.

Le puits **Ar-10**, situé non loin de **Ar-2** à la confluence avec la Peyne, réagit de la même façon, tout au moins pour les deux premières campagnes échantillonnées en commun.

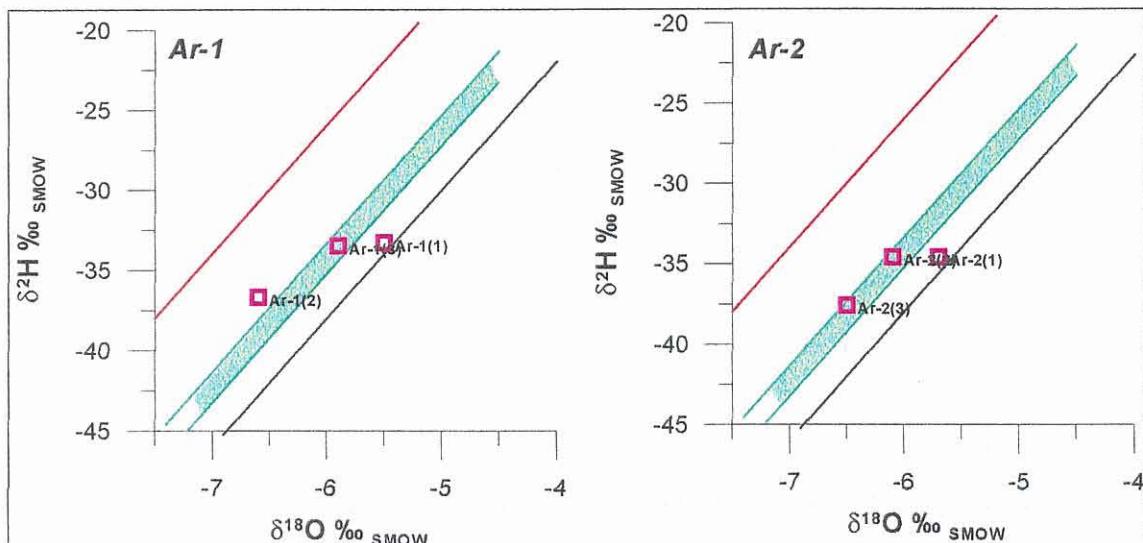


Figure 40 Evolution de la signature en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux des puits Ar-1 et Ar-2.

A l'aval de la plaine alluviale, bien que tous les puits n'aient pas été échantillonnés à chaque campagne, il semble que la nappe des alluvions récentes soit moins sensible aux apports de pluie, ce qui tend à suggérer une nappe plus homogène avec une inertie plus grande par rapport à l'amont.

4.3.4. Les eaux de surface

b) L'Hérault

D'une manière générale, la signature isotopique en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ de l'Hérault d'amont en aval de la plaine alluviale varie peu, les apports par le ruissellement de surface (affluents) étant certainement trop restreints pour influencer significativement la signature de l'Hérault. En ce qui concerne les apports souterrains, il est difficile de trancher entre des apports trop peu importants et/ou des apports avec des signatures trop peu distinctes pour pouvoir véritablement marquer la signature du fleuve.

En effet, si l'on prend l'exemple de la crue d'octobre 1999, les signatures isotopiques en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ de la nappe des alluvions récentes sont pour la plupart similaires à celles de l'Hérault tout au long de la plaine (Figure 41).

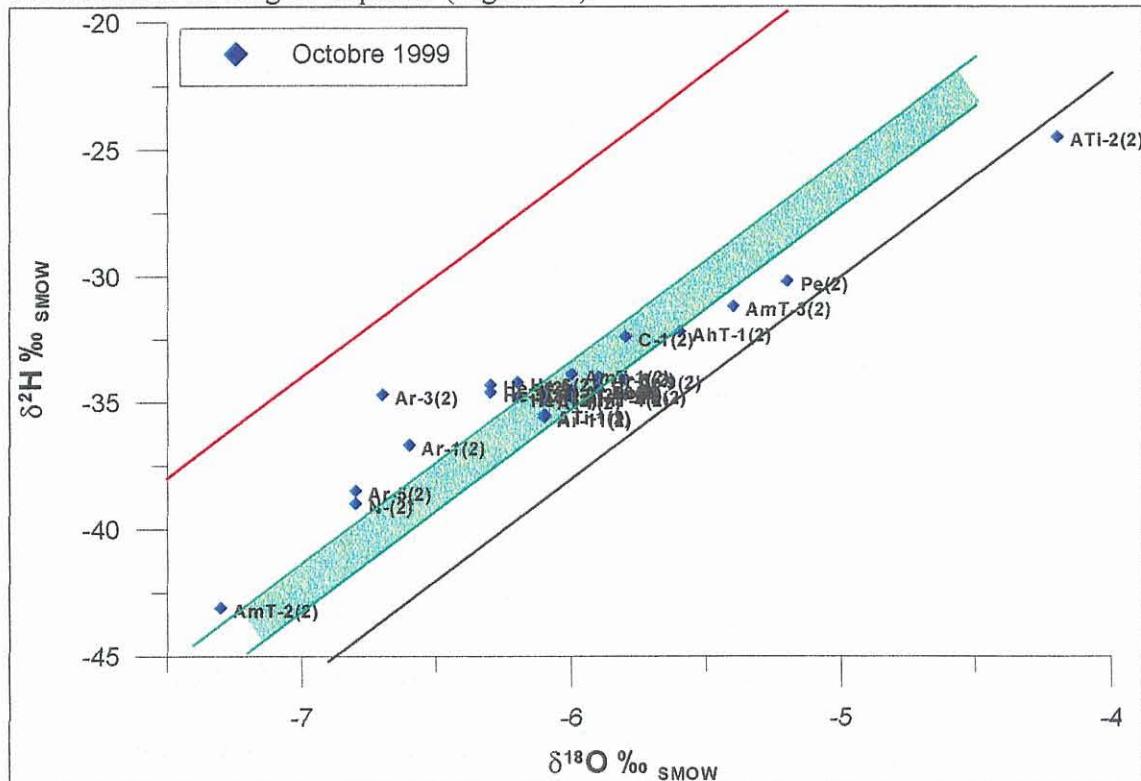


Figure 41 Relation $\delta^{18}\text{O} - \delta^2\text{H}$ dans les eaux de surface et les eaux souterraines de la plaine alluviale de l'Hérault lors de la crue d'octobre 1999.

c) Les affluents de la plaine alluviale

Seules, d'amont en aval, la Boyne (Bo), la Payne (Pe) et la Thongue (Th) ont été suivies au cours du cycle hydrologique 1999-2000. La Lergue (Le), n'a fait l'objet que d'un prélèvement ponctuel lors de l'étiage d'août 2000.

Les affluents sont particulièrement propices pour mettre en évidence l'effet de continentalité d'une part et la variabilité des signatures météoriques d'autre part :

- Effet de continentalité et d'altitude : la Thongue est l'affluent le plus proche de la mer. Ses eaux sont celles qui présentent les signatures les moins négatives, par rapport aux autres affluents qui sont à la fois plus éloignés de la mer et dont l'altitude moyenne du bassin versant est plus élevée. De la même manière, les eaux de l'Hérault présentent des signatures plus négatives, héritage des eaux très négatives de l'amont du bassin (Mont Aigoual).

- Variabilité du signal météorique : la Thongue est l'échantillon suivi qui présente la plus forte variabilité de la signature isotopique. En Octobre 1999, la signature devient plus négative (comme montré précédemment sur plusieurs échantillons des nappes), reflétant le signal météorique plus négatif d'une pluie d'automne (Figure 42). Au pic de la crue de mai 2000 (12 mai), la signature est la moins négative semblant alors refléter la signature d'une pluie de printemps. Quatre jours plus tard, lors de la descente de crue, la signature isotopique de la Thongue redevient plus

négative, pouvant alors traduire un apport d'eau plus ancienne à la Thongue par le drainage des nappes associées.

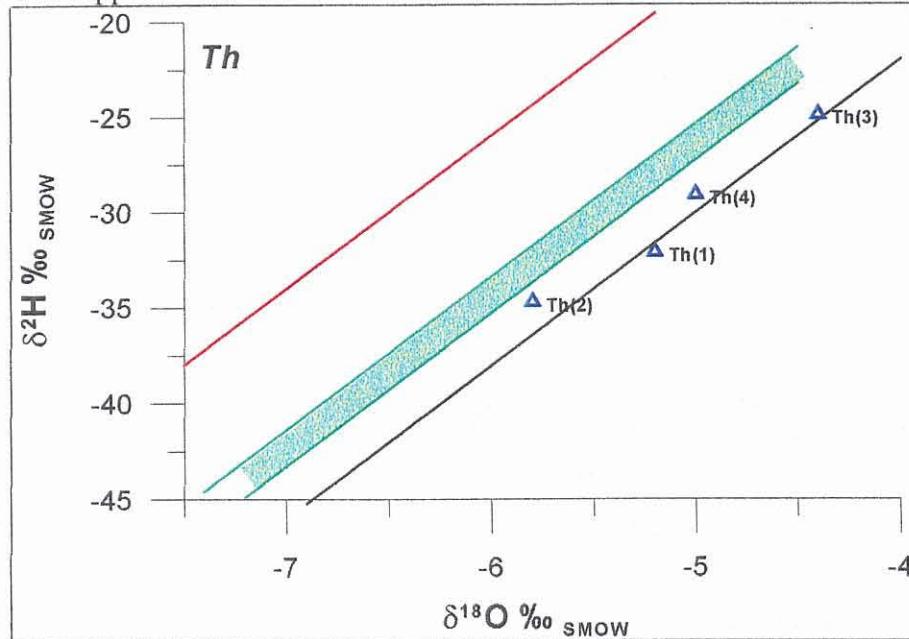


Figure 42 Evolution de la signature en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux de la Thongue.

La Boyne présente la même évolution temporelle que la Thongue, même si les variations sont plus atténuées.

La Peyne, se comporte différemment pour la crue d'octobre 1999 (Figure 43), elle présente une signature moins négative que lors de l'étiage de l'été 1999.

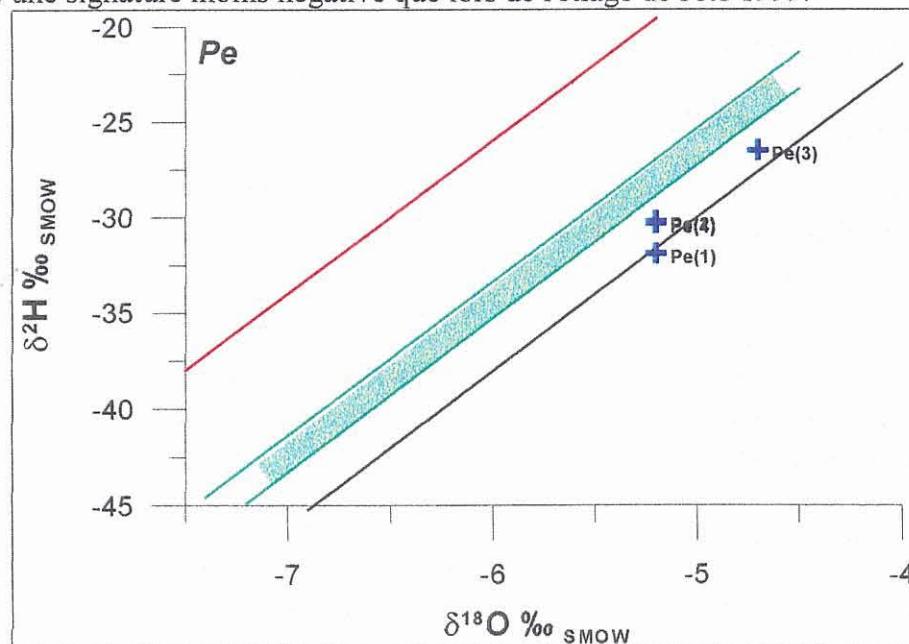


Figure 43 Evolution de la signature en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux de la Peyne.

4.3.5. Synthèse sur les isotopes stables

Les isotopes stables de la molécule d'eau ont permis de mettre en évidence que les différentes terrasses d'alluvions anciennes surplombant le cours actuel de l'Hérault ne sont pas homogènes et que tous les puits d'une même terrasse n'appartiennent pas forcément à un ensemble homogène du point de vue du fonctionnement hydrogéologique.

Certaines zones des nappes constituent un réservoir suffisamment important pour lisser les variations isotopiques du signal d'entrée (pluie), alors que d'autres sont beaucoup plus restreints ou avec une mauvaise conductivité hydraulique et reproduisent les variations du signal météorique.

Seul le puits ATi-2 des terrasses inférieures présente des signes clairs d'évapo-transpiration certainement liés à une nappe très superficielle.

4.4. LES ISOTOPES DU STRONTIUM ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)

4.4.1. Essai de caractérisation des différentes terrasses alluviales

Pour cet essai de caractérisation, nous utilisons le diagramme $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de l'inverse de la concentration en Sr (ce diagramme avec l'inverse de la concentration permettant de visualiser les mélanges par des droites, Figure 44).

Les données de la première campagne de prélèvement (août 1999), sont utilisées comme référence car il s'agit d'une période de basses eaux où les signatures des différentes terrasses sont le plus susceptibles d'être bien individualisées.

d) *Les terrasses moyennes*

Quatre échantillons ont été prélevés dans les alluvions anciennes des moyennes terrasses. Ils présentent tous les 4 des signatures isotopiques en Sr très variables ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0.70785 et 0.70890) ainsi que des teneurs en Sr hétérogènes comprises entre 1.86 et 4.85 $\mu\text{mol/l}$ (Figure 44).

L'échantillon AmT-3 présente le rapport isotopique en Sr le plus faible observé à l'échelle de la plaine alluviale : $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.707862$. Cet échantillon est issu des alluvions des moyennes terrasses de Lézignan-la-Cèbe, son rapport isotopique aussi bas peut s'expliquer par une contribution, même faible, d'eau issue des formations basaltiques. En effet, la composition isotopique en Sr des eaux drainant des basaltes est faiblement radiogénique ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \sim 0.703$).

Les échantillons AmT-1 et AmT-4 (autour de Canet) présentent des signatures isotopiques en Sr similaires mais des teneurs en Sr très différentes.

L'échantillon AmT-2, au nord de Usclas-d'Hérault, présente une signature isotopique en Sr élevée, très largement supérieure aux autres échantillons de ces terrasses. Cette valeur plus élevée peut être liée à une proportion d'argiles plus importante localement. En effet, les minéraux argileux contiennent du Rubidium qui se désintègre en ^{87}Sr conduisant à une augmentation du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Les isotopes du Sr permettent de mettre en évidence l'extrême hétérogénéité de cette entité des moyennes terrasses. Il semble que les signatures des eaux soient contrôlées par des hétérogénéités géologiques locales ou des apports d'eaux à signature bien distincte.

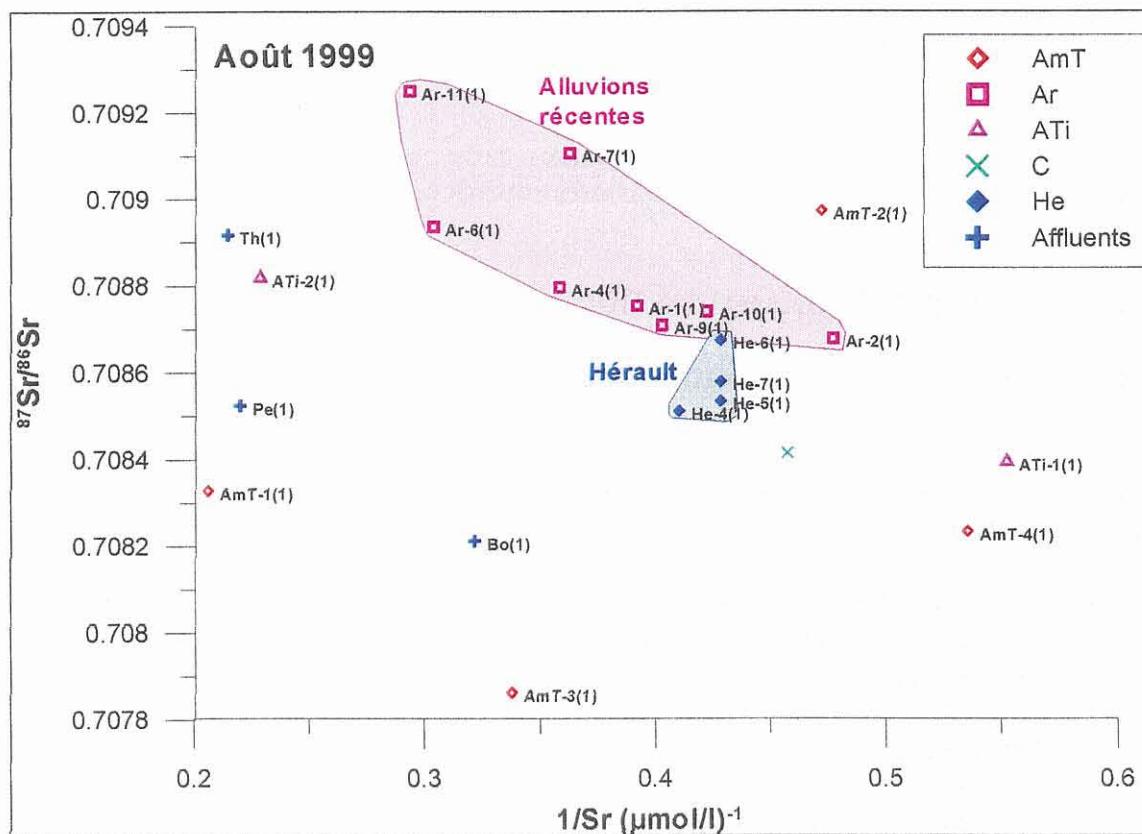


Figure 44 Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de l'inverse de la teneur en strontium dans les eaux de surface et les eaux souterraines de la plaine alluviale de l'Hérault durant la période de basses eaux d'août 1999.

e) Les terrasses inférieures

Deux échantillons ont été prélevés dans les terrasses inférieures, ils présentent des signatures très distinctes aussi bien d'un point de vue isotopique que des teneurs. ATI-1 présente un rapport isotopique faible avec une teneur en Sr faible, c'est le contraire pour ATI-2 (Figure 44). Nous avons vu que l'échantillon ATI-2 est fortement influencé par des apports anthropiques, sa composition isotopique en Sr est compatible avec celle de fertilisants et amendements carbonatés (0.70794 à 0.7087) tels que décrit par Négrel (1999).

Malgré le faible nombre de données sur cette nappe, les résultats montrent que les terrasses inférieures ne constituent pas une nappe homogène.

f) *Les alluvions récentes*

Il s'agit de la nappe qui a été la plus échantillonnée (8 points). Les signatures des échantillons d'eau de cette nappe sont assez hétérogènes et s'alignent globalement entre un pôle à $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et teneur en Sr élevés et un pôle à $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et teneur en Sr faibles. Trois échantillons se distinguent tout particulièrement des autres, ce sont ceux qui présentent les rapports isotopiques en Sr les plus élevés (Figure 44). Les points Ar-6 et Ar-7 ne sont pas en bordure directe de l'Hérault, il est alors envisageable que les circulations d'eau sont plus lentes dans cette partie de la nappe alluviale et que le temps d'interaction eau-roche est plus long pouvant induire des rapports isotopiques plus élevés à cause d'un contact avec les minéraux argileux.

Le point Ar-11 est, quant à lui, en bordure immédiate de l'Hérault (piézomètre dans le champ en bordure de la station de pompage de Florensac) et présente le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ le plus élevé observé dans la plaine alluviale de l'Hérault ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0.709250 et 0.709644). Cette signature isotopique est la plus élevée durant les périodes de hautes eaux. Cette valeur aussi radiogénique (bien supérieure à celle de l'Hérault) ne peut être liée qu'à une hétérogénéité locale de la nappe probablement à rattacher à la présence de passées argileuses au sein de l'aquifère.

4.4.2. Caractérisation des eaux de surface

L'Hérault a été échantillonné d'amont en aval de la plaine alluviale (entre Aspiran et Florensac pour les 4 premières campagnes, entre le Pont du Diable et Aspiran pour la 5^{ème} campagne).

Les affluents (Boyne, Payne et Thongue) ont été échantillonnés régulièrement, la Lergue en amont de la plaine alluviale n'a été prélevée que lors de la 5^{ème} campagne.

g) *Les affluents*

Les affluents de la basse plaine alluviale présentent des signatures en isotopes du Sr bien distinctes et qui varient de la même manière entre les hautes et basses eaux (Figure 45).

Les signatures des affluents semblent être influencées par un pôle relativement radiogénique, en particulier la Thongue. Une expérience de lessivage de marnes gypsifères du Trias (éaporites) issues du bassin de la Payne a donné un rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7137$. Cette valeur très élevée est très certainement à relier à une origine continentale du matériel triasique local (Perrissol, 1990). Ainsi, les compositions isotopiques des ces rivières peuvent être facilement et significativement modifiées par le drainage des éaporites même si elles n'affleurent que sur des surfaces réduites.

Il ne faut cependant pas totalement négliger les apports d'embruns marins, en particulier pour la Thongue qui est l'affluent le plus proche de la mer. L'eau de mer locale

(Frontignan) a une signature $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70918$ (Ben Othman et al., 1997) qui peut au moins partiellement marquer la signature de la Thongue.

Les rapports isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ augmentent systématiquement lors des périodes de hautes eaux ou crue (Figure 45). Ce phénomène a déjà été mis en évidence dans la partie amont du bassin versant de l'Hérault (karst) et a été expliqué par la remobilisation de particules argileuses lors des hautes eaux (Petelet, 1998).

h) L'Hérault

Les signatures de l'Hérault dans la partie aval de la plaine alluviale sont homogènes au cours d'une même campagne de prélèvement (Figure 45). La gamme des signatures est en bon accord avec les études précédentes (Albarède et Michard, 1987 ; Petelet, 1998). Cette homogénéité des signatures implique une contribution faible des affluents dans la plaine alluviale dans l'Hérault.

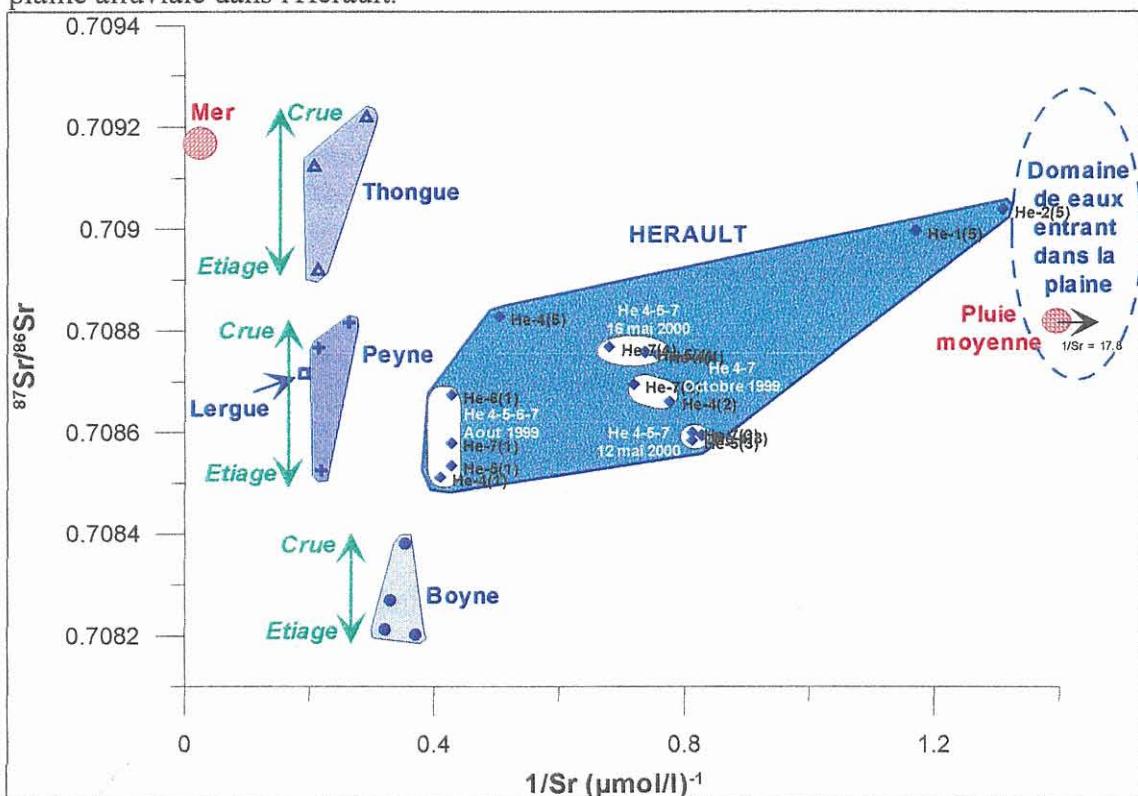


Figure 45 Evolution spatio-temporelle des eaux de surface de la plaine alluviale de l'Hérault dans un diagramme $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de l'inverse de la teneur en strontium.

En période de crue, on observe un phénomène de dilution en Sr des eaux de l'Hérault qui peut s'expliquer par un apport d'eau plus faiblement concentrée en Sr en provenance de la partie amont du bassin versant de l'Hérault et/ou des précipitations. Sur la Figure 45, nous avons reporté le domaine des eaux issues de la zone karstique, il s'agit d'un suivi réalisé entre 1995 et 1996 au Pont du Diable (Petelet, 1998). Il apparaît clairement que les eaux issues de la zone karstique sont moins riches en Sr et marquent de leur empreinte l'Hérault en aval en période de crue.

Chaque période de hautes eaux ou crue présente une gamme de signatures en $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ bien spécifique certainement à relier à l'origine des eaux qui alimentent l'Hérault : localisation des pluies qui induisent la crue (Mont Aigoual, zone karstique, bassin de Lodève,...), influence des eaux de la nappe plus ou moins importante ?

Pour essayer de mieux appréhender les relations nappes rivières de la plaine alluviale, nous allons successivement nous focaliser sur 3 zones bien précises de la plaine :

- Florensac au niveau de la station de pompage,
- Pézenas à la confluence Peyne-Hérault,
- Aniane - Gignac.

4.5. LA ZONE DE FLORENSAC

La zone de Florensac étudiée correspond au champ captant de Florensac en bordure de l'Hérault ainsi qu'un point plus en amont dans les alluvions récentes (Ar-7).

Les différents puits du champ captant de Florensac ont fait l'objet d'une étude concernant les échanges nappes rivières et le transport des pesticides (Aquilina et al., 2001) où il a aussi été réalisé des analyses chimiques et des isotopes stables de la molécule d'eau et des isotopes du Sr.

Nous disposons ainsi de 6 puits, forages et piézomètres (F1, F4, F5, F9, Ar-9 et Ar-11) en bordure immédiate de l'Hérault, un puits un peu plus éloigné dans les alluvions récentes (Ar-7) et un point de prélèvement de l'Hérault (He-7) au niveau du champ captant (Figure 46).

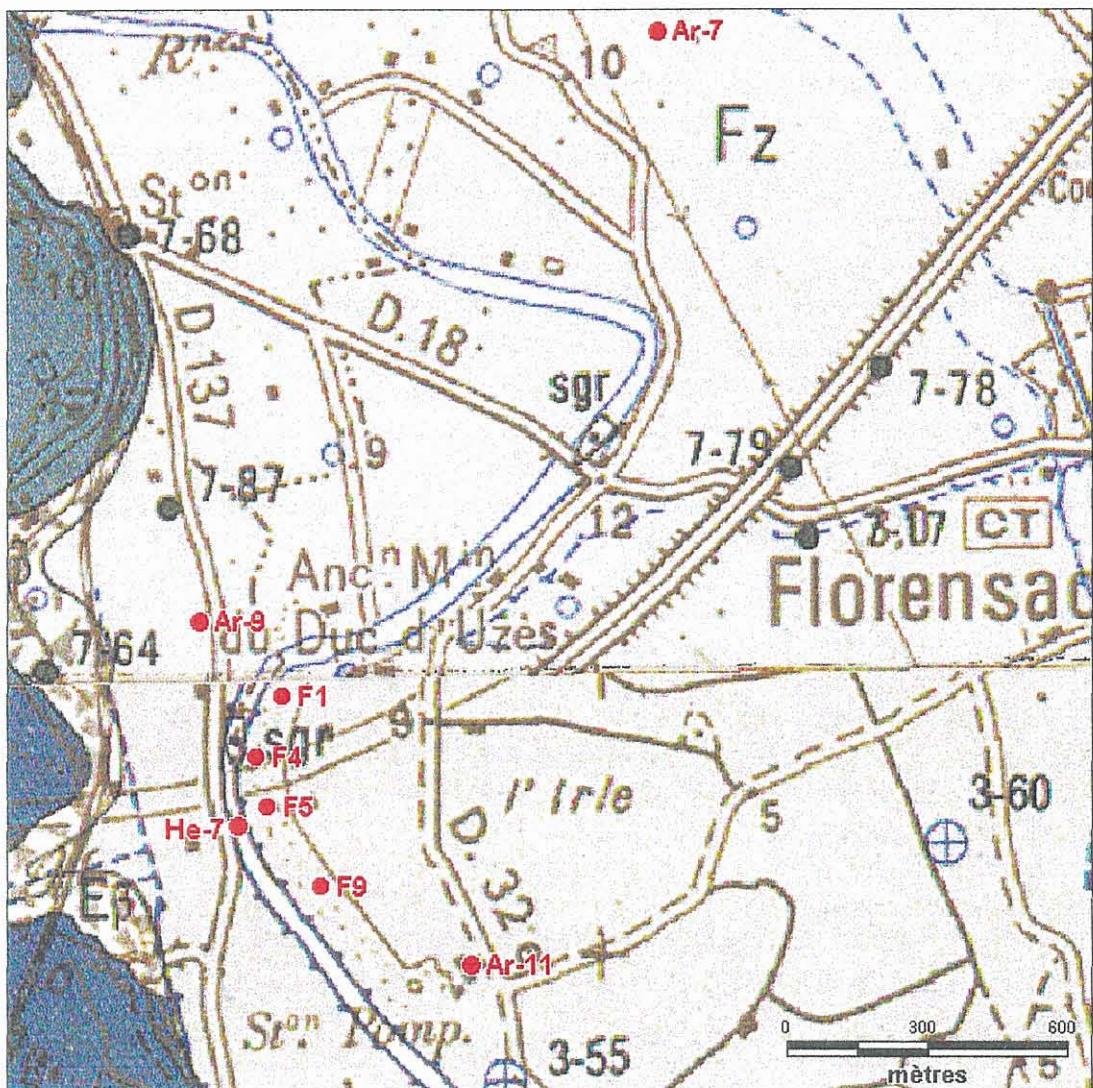


Figure 46 Localisation des points de prélèvement dans la zone de la station de pompage de Florensac. Extrait des cartes géologiques au 1/50 000° de Pézenas (Feist et al., 1981) et Agde (Barrière et al., 1978).

4.5.1. Les isotopes stables ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$)

Les eaux de surface et souterraines ont été analysées en isotopes stables ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$) en conditions hydrologiques représentatives du cycle hydrologique (Figure 47).

Il apparaît que les eaux souterraines et les eaux de surface se situent entre la gamme des précipitations de la plaine alluviale et la droite météorique mondiale avec un excès en deutérium de +10 tel qu'il en a été mesuré à Pézenas (Ladouche et al., 1998).

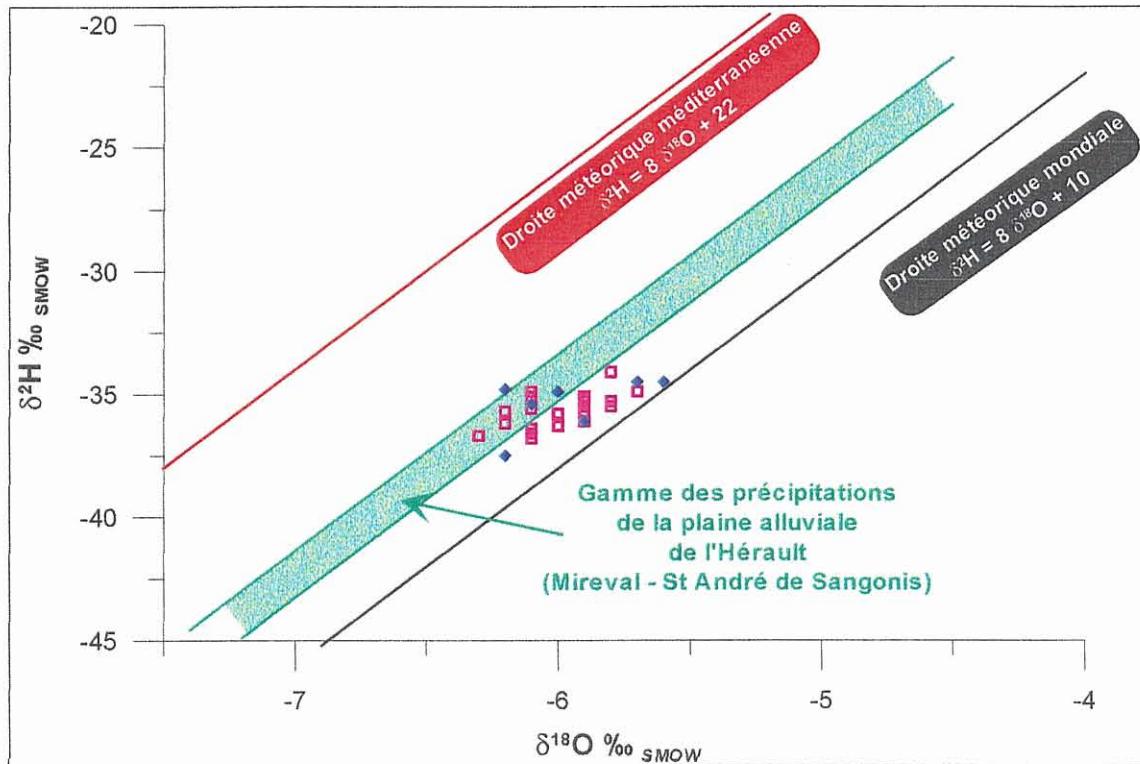


Figure 47 Relation $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ dans les eaux de surface et souterraines de la plaine alluviale de l'Hérault dans la zone de Florensac.

Ceci signifie que les eaux de la nappe n'ont pas subi de phénomène d'évaporation avant leur infiltration, c'est à dire qu'elles se sont infiltrées rapidement. Elles ne sont pas soumises non plus à l'évapotranspiration, c'est à dire que l'on est en présence d'une nappe qui ne se situe pas en subsurface sous l'influence de la zone racinaire.

4.5.2. Relations inter-élémentaires

La relation Cl-Na (Figure 48) montre que les échantillons d'eau de surface se situent sur la droite de dilution de l'eau de mer.

Les eaux souterraines, pour la plupart, sont à proximité de la droite de dilution de l'eau de mer avec un léger enrichissement en Na, traduisant une faible interaction avec la matrice encaissante de la nappe.

L'échantillon Ar-11 présente un plus fort enrichissement en Na que les autres échantillons. Ce piézomètre ne se situe pourtant qu'à une petite cinquantaine de mètres des forages du champ captant. Il semble donc que ses eaux soient en contact d'une matrice particulière capable de relarguer une quantité plus importante de Na. Ces caractéristiques font penser à des passées d'argile aux sein des formations alluvionnaires récentes.

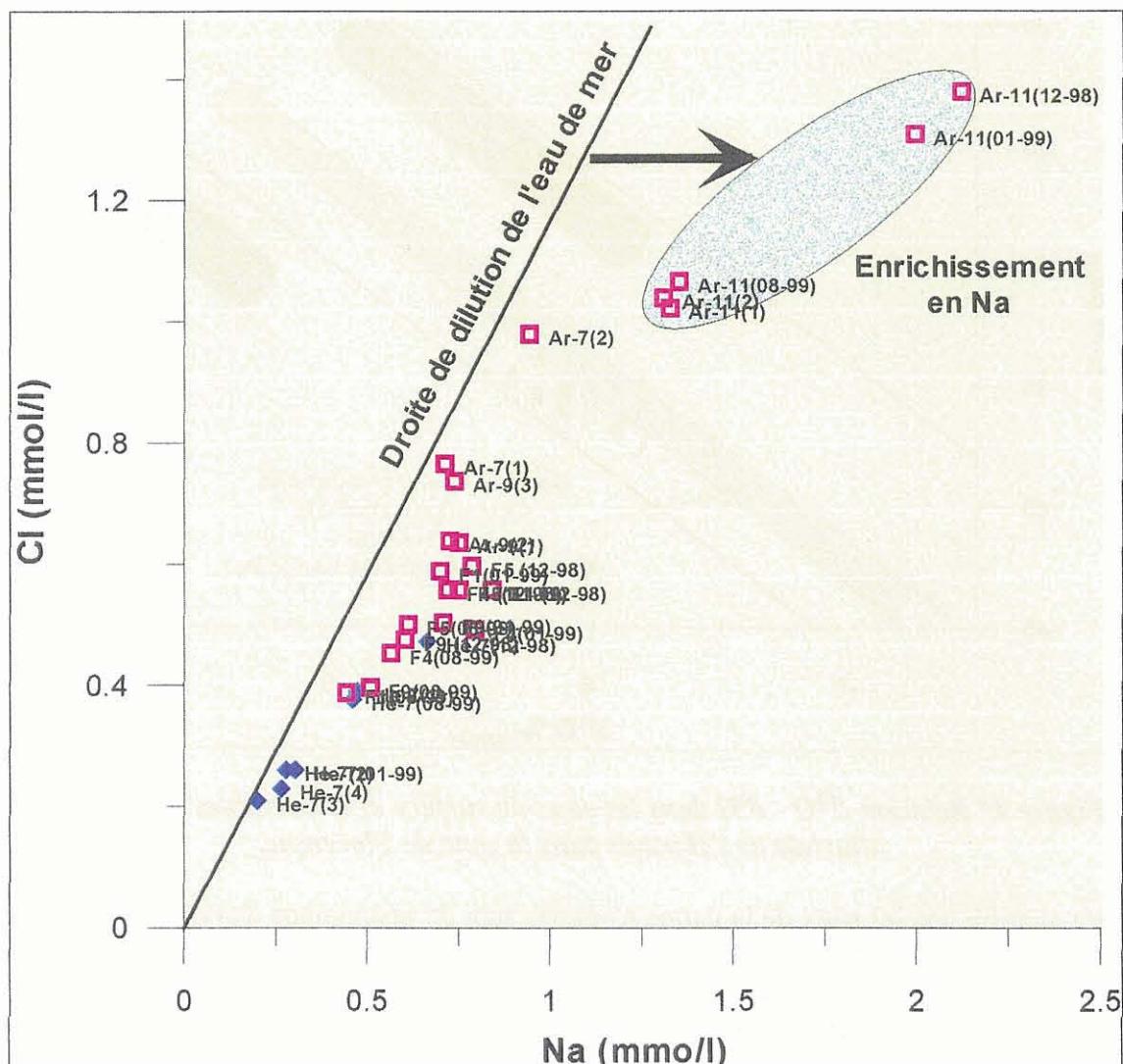


Figure 48 Relation Cl-Na dans les eaux de surface et souterraines de la zone de Florensac. Comparaison avec la droite de dilution de l'eau de mer.

Les variations piézométriques maximales observées sur cet ouvrage sont de l'ordre de 1.20 m (Figure 49) avec une variation conjointe du niveau de l'Hérault de l'ordre de 4 m (d'après Aquilina et al, 2001). Ces variations semblent indiquer que ce piézomètre n'est pas complètement isolé du système nappe-rivière.

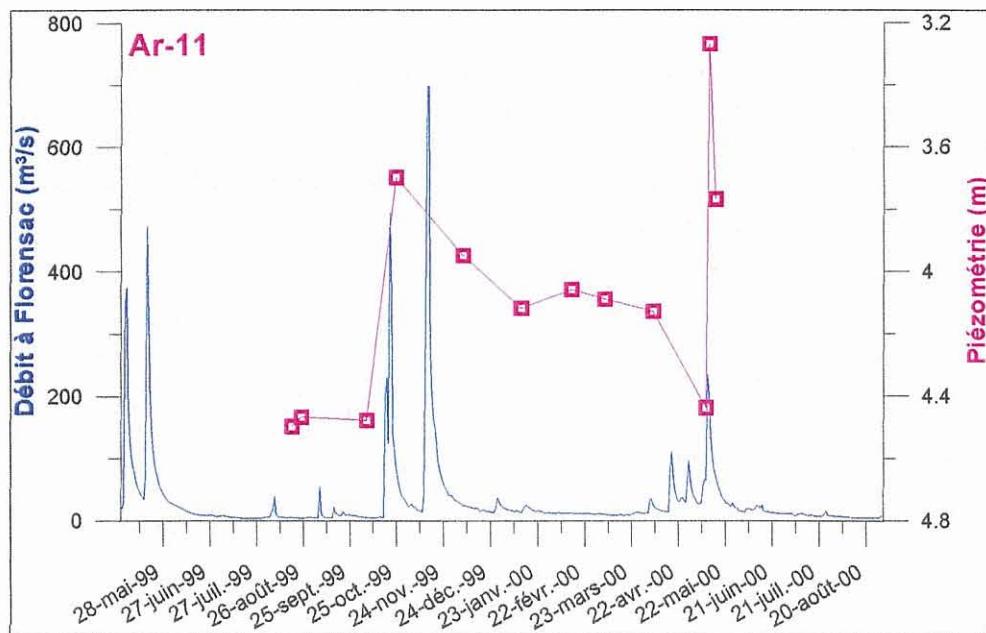


Figure 49 Evolution de la piézométrie du piézomètre Ar-11 en fonction du débit de l'Hérault à Florensac.

4.5.3. Les isotopes du Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)

Comme cela été montré dans le paragraphe précédent, les échantillons prélevés au point Ar-11 présentent des enrichissements en Na. En combinant cette caractéristique avec les isotopes du Sr dans une relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction du rapport Na/Sr (Figure 50), il est possible de décrire le système de la zone de Florensac de la manière suivante.

Sur la figure 50, on peut identifier deux pôles :

- Pôle eau de surface constitué par l'Hérault avec un rapport isotopique en Sr faible et un rapport Na/Sr faible,
- Un pôle avec des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et Na/Sr élevés constitué par l'échantillon Ar-11. Ces caractéristiques marquent l'empreinte de passées argileuses aux sein des alluvions récentes.

Les autres forages et piézomètres de la zone du champ captant de Florensac s'alignent entre ces deux pôles ce qui implique, à divers degrés, une influence sur la signature des eaux souterraine de la composante eau de surface (Hérault) et de la composante argileuse de la nappe.

Ainsi, en période d'étiage, les signatures des forages de la station de pompage de Florensac (F1, F4, F5 et F9) sont très largement influencés par l'Hérault, en particulier F9. La composante argileuse étant la plus sensible sur F4.

Ar-9, situé sur l'autre rive, présente aussi une signature proche de celle de l'Hérault en été. Ar-7 quant à lui est largement marqué par l'empreinte de la composante argileuse.

En hautes eaux, l'échantillon Ar-9 présente une signature nettement plus influencé par la composante argileuse qu'en basses eaux. Une hypothèse pour expliquer ce phénomène est que, sous l'effet des hautes eaux, des modifications de pression surviennent à sein de la nappe remettant en mouvement des eaux restées en contact prolongé au niveau de passées argileuses au sein de la nappe.

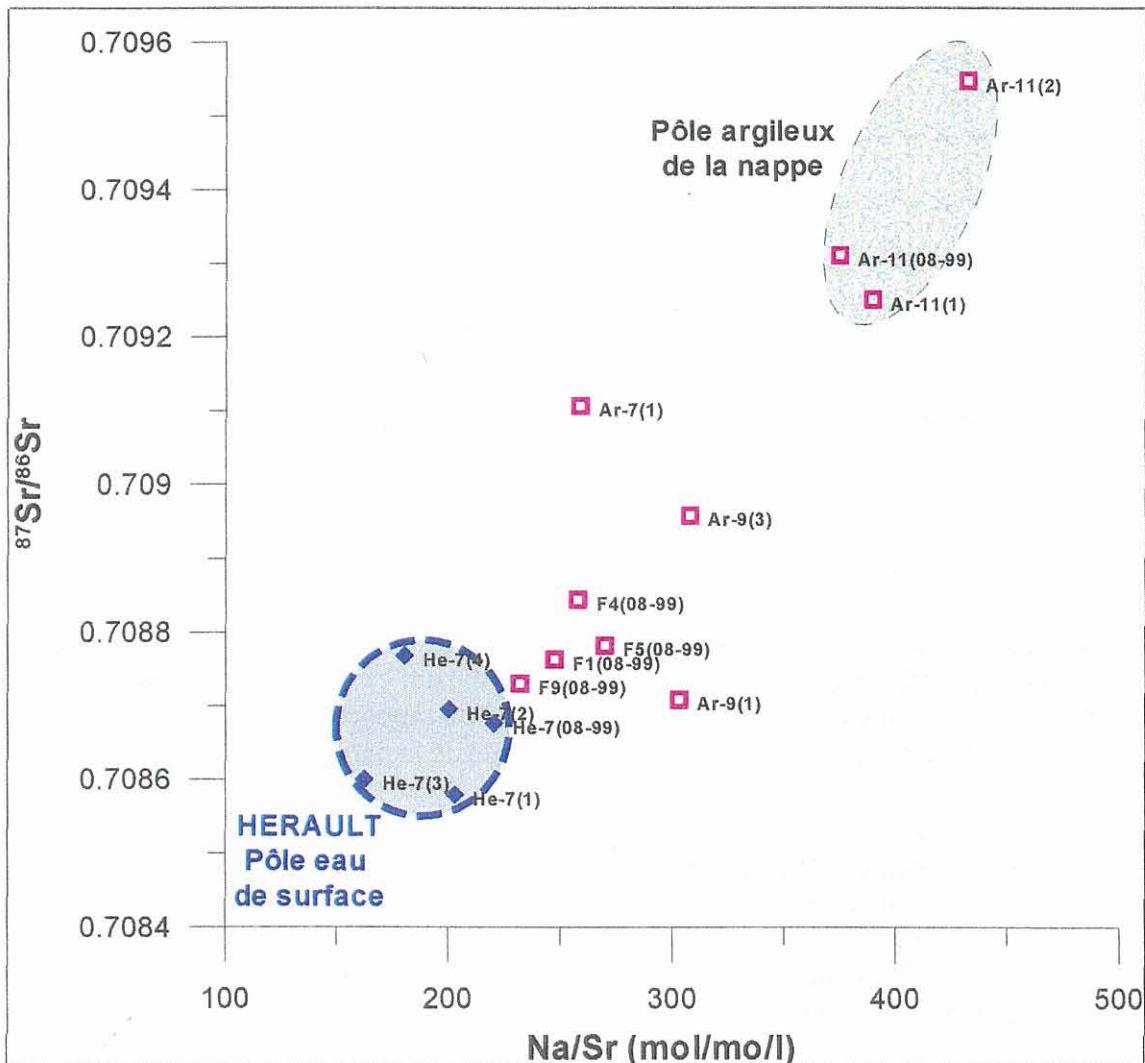


Figure 50 Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction du rapport molaire Na/Sr dans les eaux de surface et les eaux souterraines de la plaine alluviale de l'Hérault, zone de Florensac.

L'échantillon Ar-11, qui constitue le pôle argileux, présente lui-même le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ le plus élevé lors des hautes eaux. Ce piézomètre (Ar-11), bien que situé non loin des forages principaux du champ captant, semble plus "isolé" au sein d'une passée argileuse.

Dans le diagramme $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de l'inverse de la teneur en Sr (Figure 51), on retrouve bien le pôle argileux représenté par Ar-11. Le pôle eau de surface représenté par l'Hérault est scindé en deux entre hautes et basses eaux. Si le rapport isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ varie peu, on note une dilution de la teneur en Sr durant les hautes eaux (à relier avec les apports de l'amont du bassin versant).

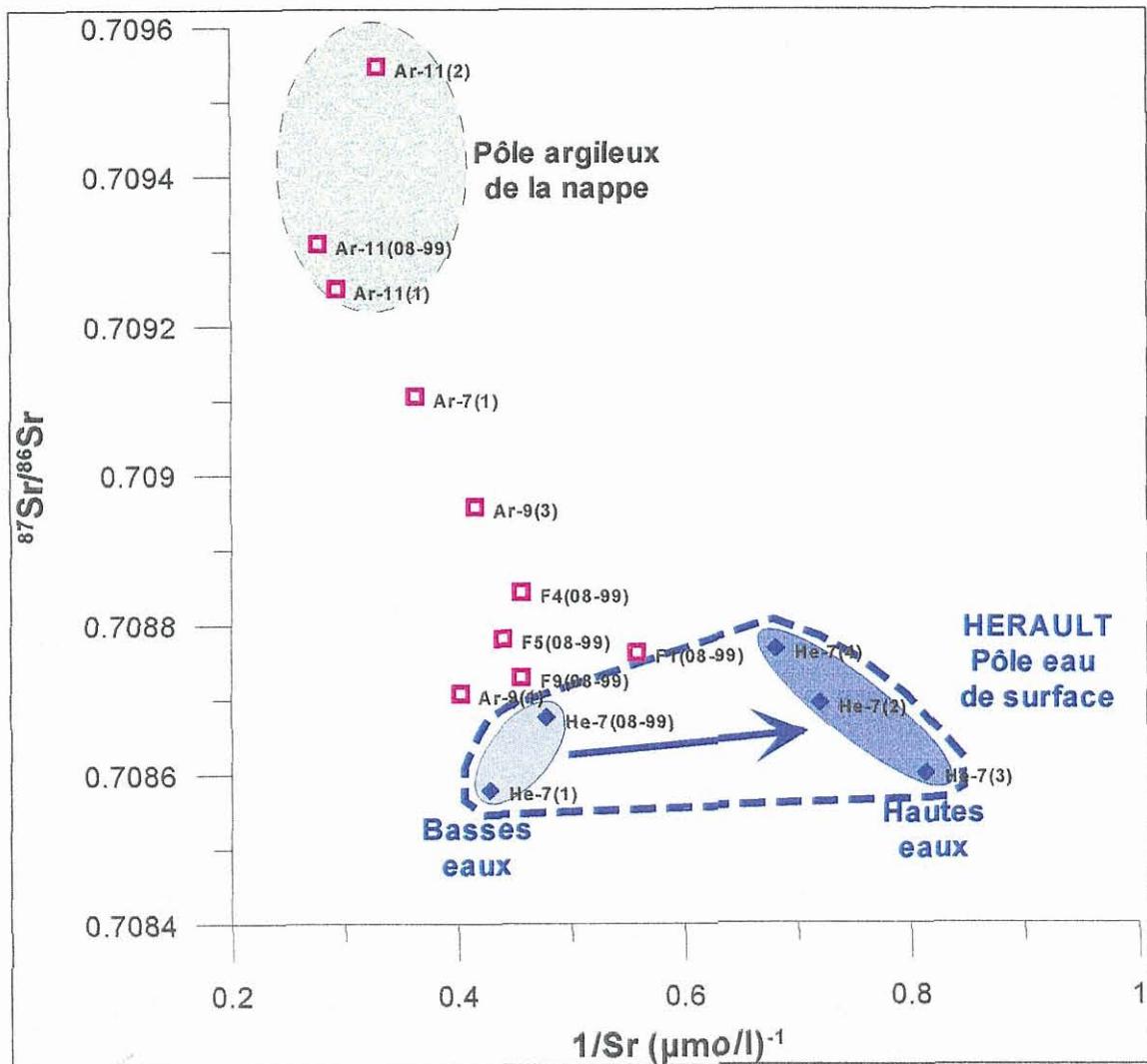


Figure 51 Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de l'inverse de la concentration en Sr dans les eaux de surface et les eaux souterraines de la plaine alluviale de l'Hérault, zone de Florensac.

Ainsi, en période de basses eaux, on voit clairement que les forages du champ captant (F1, F4, F5 et F9) sont marquées par la signature des eaux de l'Hérault à la même période. Il semble donc bien, comme cela a déjà été montré (Aquilina et al., 2001), que durant les périodes de basses eaux, les pompages au niveau du champ captant induisent des flux dans le sens rivière-nappe.

De même, bien que se situant sur l'autre rive de l'Hérault et donc non influencé par les pompages, le point Ar-9 présente une signature similaire à celle de l'Hérault.

Le seul point dont nous disposons en hautes eaux est Ar-9(3) qui comme nous l'avons montré plus haut présente un rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ plus élevé, et se situe sur une droite de mélange entre les deux pôles argiles et eau de surface. Il est cependant difficile de montrer une influence préférentielle de l'Hérault en hautes eaux par rapport aux basses eaux, la composante argileuse étant alors importante.

4.5.4. Synthèse sur la zone de Florensac

L'analyse des suivis réalisés sur les forages, puits et piézomètres de la zone du champ captant de Florensac a permis de mettre en évidence une hétérogénéité certaine de la nappe des alluvions récentes avec en particulier la présence de passées argileuses au sein de ces alluvions.

En effet, nous avons mis en évidence qu'à quelques dizaines de mètre de distance, les eaux souterraines peuvent avoir des signatures très différentes traduisant à la fois le stockage des eaux au contact de matrices distinctes mais aussi des temps de séjour différents liés aux perméabilité de ces matrices.

Cette étude semble confirmer l'incidence du pompage intensif à la station de Florensac sur une réalimentation localisée de la nappe des alluvions récentes par l'Hérault. Par conséquent, l'outil géochimique apparaît comme pertinent pour identifier des zones de réalimentation induite de la nappe par le cours d'eau.

4.6. LA ZONE DE PEZENAS A LA CONFLUENCE PEYNE-HERVAULT

La zone de Pézenas étudiée correspond à la confluence de la Peyne et de l'Hérault ainsi qu'un point plus en aval dans les alluvions récentes (Ar-3).

Les différents forages et piézomètres de la zone de confluence ont fait l'objet d'une étude concernant les échanges nappes rivières et le transport des pesticides (Aquilina et al., 2001) où il a aussi été réalisé des analyses chimiques et des isotopes stables de la molécule d'eau ainsi que des isotopes du Sr.

Nous disposons ainsi de 7 puits, forages et piézomètres (F1, F2, P1, P3, Ar-3 et Ar-10) en bordure immédiate de l'Hérault ainsi qu'un puits un peu plus éloigné au sud dans les alluvions récentes (Ar-3). L'Hérault (He-5 et He-6) a été suivi en amont et aval de la confluence avec la Peyne (Pe) qui a également été échantillonnée (Figure 52).

Le captage AEP de la ville de Pézenas est implanté en bordure immédiate de l'Hérault au pied du seuil. Ces pompages n'influencent que très localement la piézométrie de la nappe. Ainsi, il a été montré qu'aucun des forages et piézomètres suivis dans le cadre de l'étude géochimique ne montre l'influence de ces pompages AEP sur la nappe (Aquilina et al., 2001).

4.6.1. Les isotopes stables ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$)

Les eaux de l'Hérault et des eaux souterraines se situent dans la gamme de variations des précipitations de la plaine alluviale de l'Hérault (Ladouche et al., 1998 ; Figure 53).

Les eaux de la nappe n'ont pas subi de phénomène d'évaporation avant leur infiltration, c'est à dire qu'elles se sont infiltrées rapidement.

Elles ne sont pas soumises non plus à l'évapotranspiration, c'est à dire que l'on est en présence d'une nappe qui ne se situe pas en subsurface.

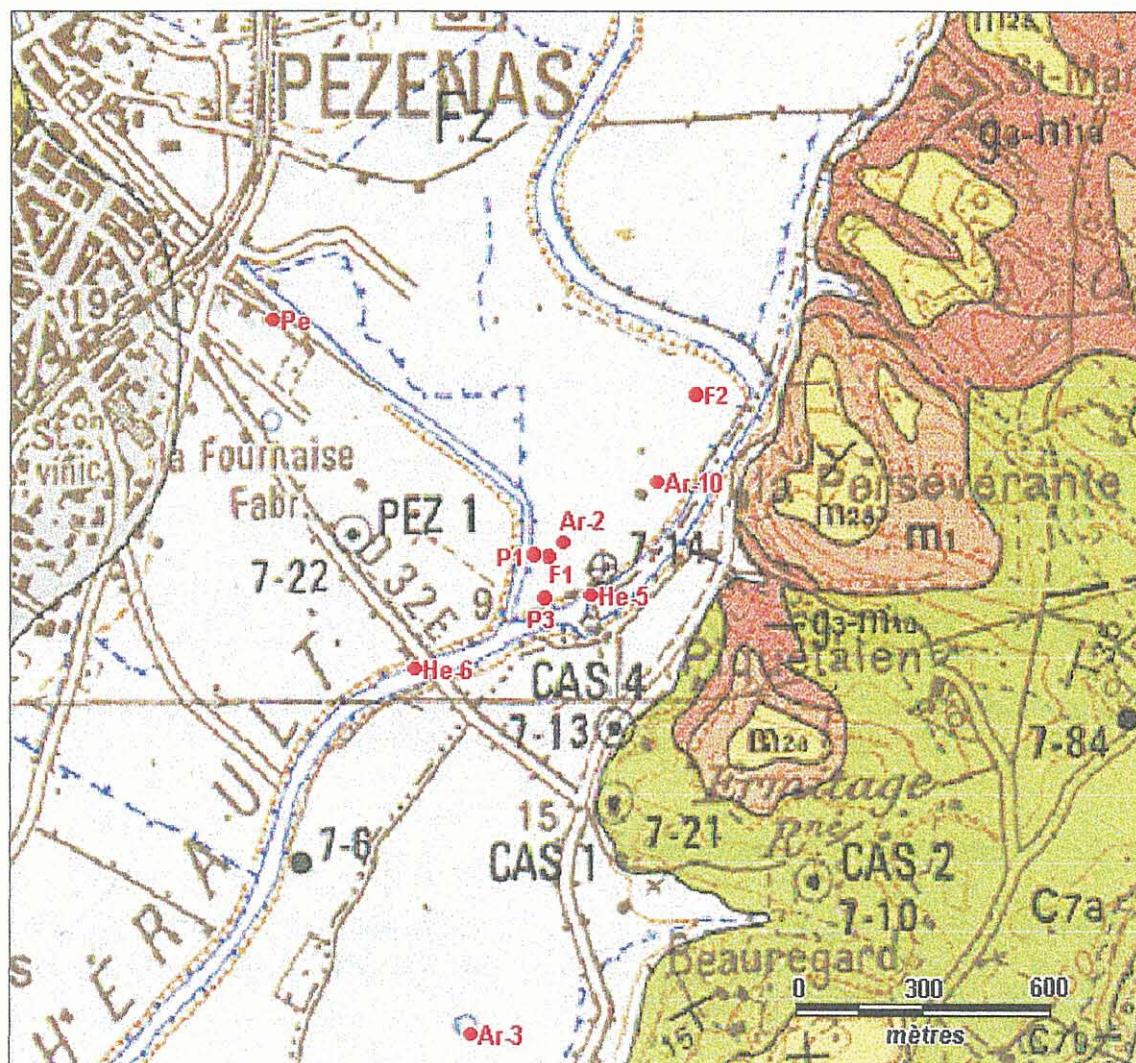


Figure 52 Localisation des points de prélèvement dans la zone de la confluence Peyne-Hérault. Extrait de la carte géologique au 1/50 000° de Pézenas (Feist et al., 1981).

La Payne (Pe) présente des rapports isotopiques $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ moins négatifs que ceux de l'Hérault au même endroit. Ceci est lié à la conjonction des phénomènes de

continentalité et d'altitude. En effet, l'Hérault au niveau de Pézenas est alimenté par de l'eau originaire du haut du bassin versant de l'Hérault.

L'échantillon de la Peyne prélevé le 10/08/99 présente un enrichissement en $\delta^{18}\text{O}$, ce qui tend à marquer un signe d'évaporation. En effet, en période estivale, le débit de la Peyne est très réduit se limitant à un petit ruisseau avec, par endroit, des zones plus stagnantes pouvant subir une évaporation plus intense.

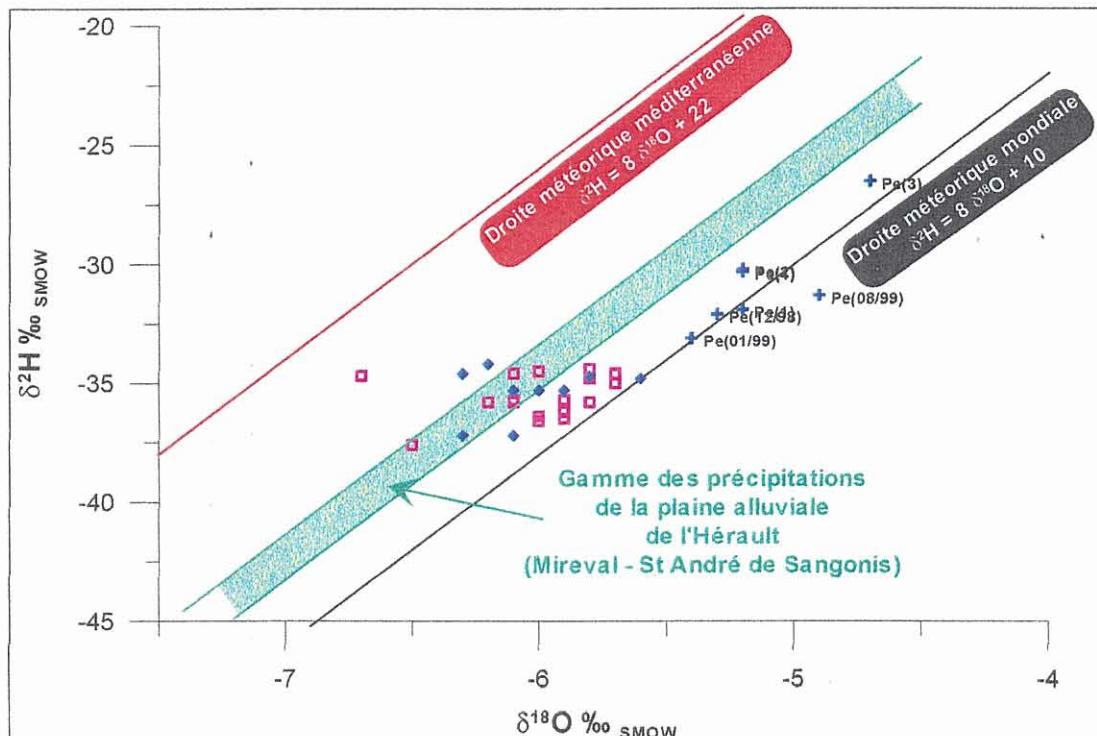


Figure 53 Relation $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ dans les eaux de surface et souterraines de la plaine alluviale à la confluence Peyne-Hérault.

4.6.2. Relations inter-élémentaires

Le diagramme Cl en fonction de Na (Figure 54) ne montre pas d'enrichissement notable en Na par rapport à la droite de dilution de l'eau de mer comme cela a été mis en évidence pour Ar-11 dans la zone de Florensac.

La rivière Peyne (Pe) présente des teneurs en Cl et Na supérieures à celles de l'Hérault et des eaux souterraines. Ces concentrations restent cependant proches de la droite de dilution de l'eau de mer. Ces teneurs peuvent s'expliquer par la proximité de cet affluent par rapport à la mer.

Seul l'échantillon Pe(4) présente un léger excès de Cl par rapport à la droite de dilution de l'eau de mer, il s'agit de la décrue du 16 mai 2000. Le drainage de Cl anthropique sur le bassin de la Peyne est une hypothèse envisageable pour expliquer cet excès de Cl.

La relation Cl-NO₃ (Figure 55) ne montre pas de teneur élevée en nitrates dans les eaux souterraines ni dans les eaux de l'Hérault.

Les eaux de la Peyne sont un peu plus riches en nitrates mais restent toutefois largement en dessous des normes de potabilité. Ces concentrations plus élevées sont certainement liées aux activités agricoles du bassin versant de la Peyne.

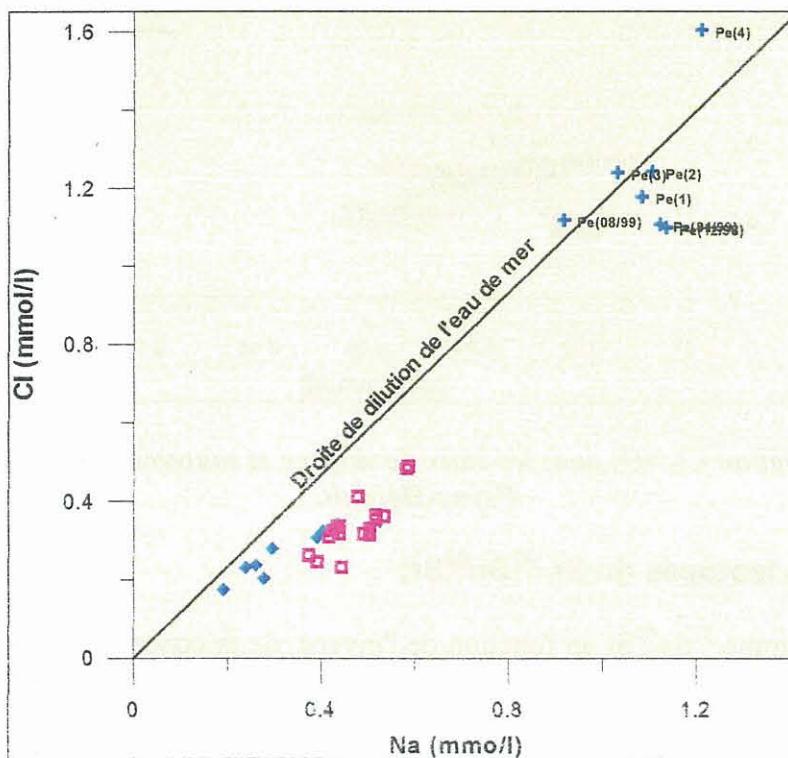


Figure 54 Relation Cl-Na dans les eaux de surface et souterraines à la confluence Payne-Hérault. Comparaison avec la droite de dilution de l'eau de mer.

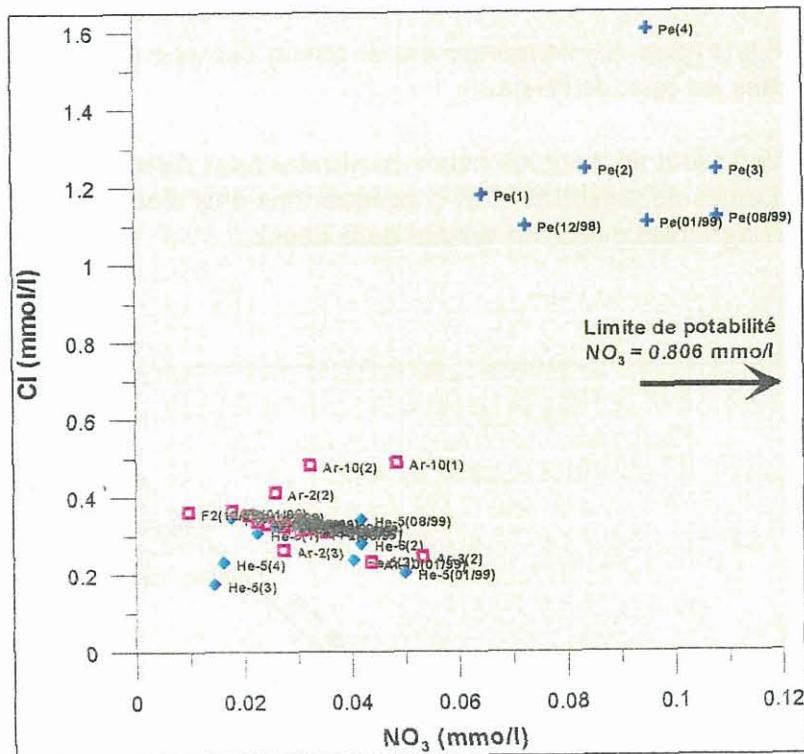


Figure 55 Relation Cl-NO₃ dans les eaux de surface et souterraines à la confluence Peyne-Hérault.

4.6.3. Les isotopes du Sr (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)

Dans un diagramme ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr en fonction de l'inverse de la concentration en Sr (Figure 56), on peut mettre en évidence la dispersion des signatures en isotopes du Sr des forages et piézomètres de la zone d'étude. Comparativement, les eaux de surface (Hérault et Peyne) varient moins.

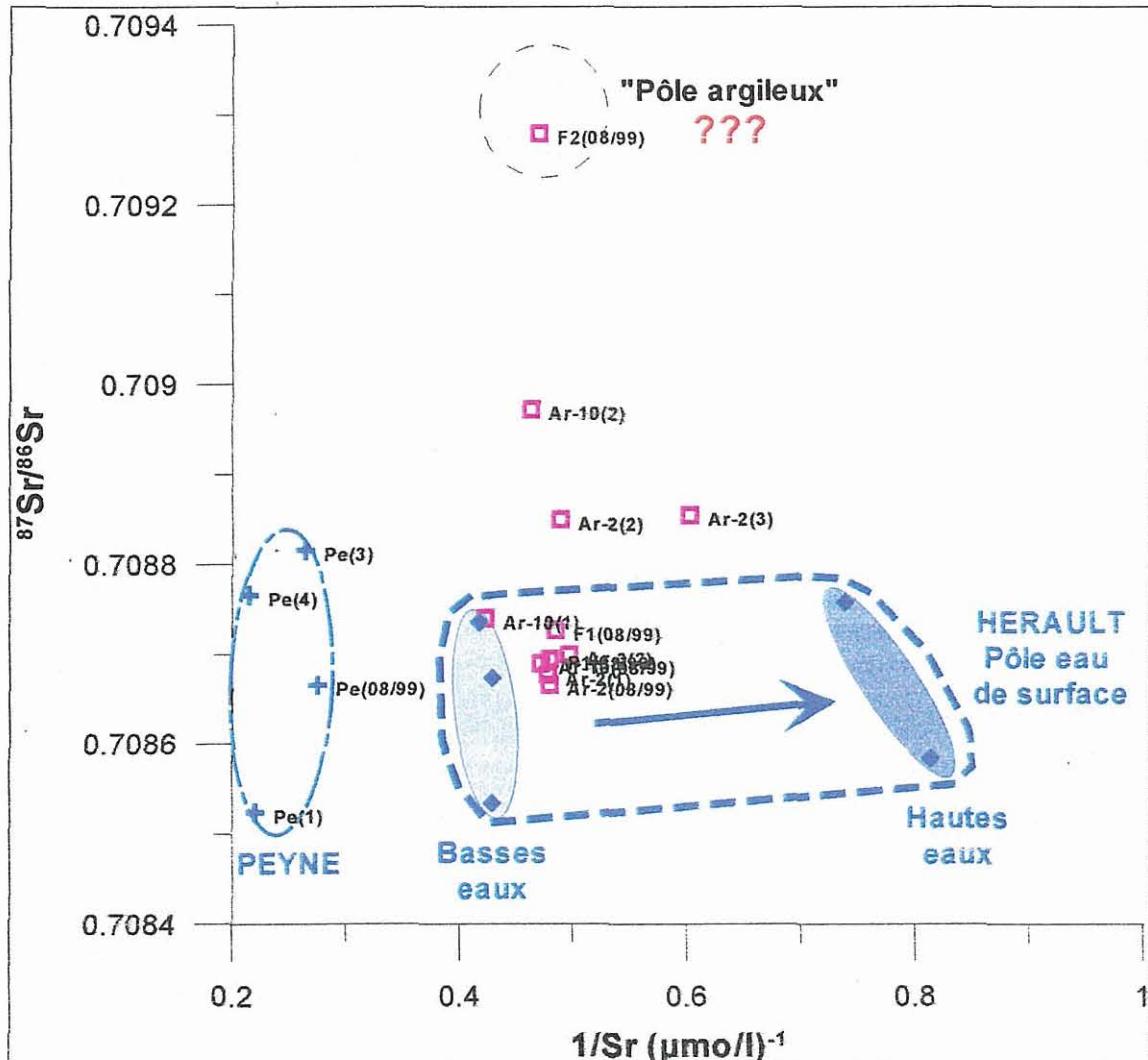


Figure 56 Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de l'inverse de la concentration en Sr dans les eaux de surface et les eaux souterraines à la confluence Peyne-Hérault.

Comme cela a été montré dans le secteur de Florensac et pour les mêmes raisons, on observe une variation de teneur en Sr dans les eaux de l'Hérault entre les hautes et basses eaux.

La Peyne (Pe) présente des teneurs en Sr relativement stables et plus concentrées que celles de l'Hérault, à rattacher au drainage des évaporites du bassin versant de la Peyne. Ce diagramme permet aussi de mettre en évidence que les eaux de la Peyne n'ont pas d'influence sur les signatures des eaux souterraines.

La plupart des eaux souterraines du secteur présentent, en basses eaux, des signatures tout à fait similaires à celles de l'Hérault, tendant à montrer que la nappe en rive droite de la confluence Peyne-Hérault est alimentée par l'Hérault. La piézométrie fine de cette zone a permis de mettre en évidence que la rivière alimente en permanence la nappe (Aquilina et al., 2001). La géochimie permet de confirmer ce sens théorique

d'écoulement en montrant que les eaux de la nappe sont tout à fait similaires à celles de la rivière.

Seul un échantillon (F2), à l'extrême nord de la zone, présente une signature en Sr plus élevée, bien distincte de celles de l'Hérault et des autres points de la nappe. F2 présente le même rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ que le point Ar-11 dans la zone de Florensac identifié comme représentant le pôle argileux de la nappe.

Dans ces conditions, on montre que durant les périodes de hautes eaux, les ouvrages échantillonnés (Ar-2 et Ar-10) présentent des eaux dont les rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sont plus élevés semblant être influencées par le pôle représenté par F2.

De plus, durant le pic de crue du 12 mai 2000, l'échantillon Ar-2(3) présente un rapport isotopique identique à celui des hautes eaux d'octobre 1999 mais une teneur en Sr plus faible, s'alignant ainsi sur une droite de mélange entre le pôle représenté par F2 et l'Hérault en hautes eaux. Cet échantillon, bien qu'unique, permet de suggérer une contribution de l'Hérault par une alimentation relativement rapide.

L'identification du pôle représenté par F2 est plus délicate que dans le cas du secteur de Florensac. En effet, même si F2 présente un rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ similaire au pôle argileux identifié à Florensac, nous ne disposons que d'un seul point qui ne présente pas de teneurs enrichies en éléments alcalins (Na, K ou Rb) comme on pourrait s'y attendre au contact de minéraux argileux.

La relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction du rapport Na/Sr (Figure 57) met en évidence que les points s'alignent sur une droite de mélange théorique entre le pôle Hérault et un pôle argileux avec un rapport Na/Sr élevé. Dans ces conditions, la position de l'échantillons F2 dans ce diagramme est difficile à expliquer.

L'hypothèse d'une contamination anthropique du forage F2 par des engrains ne peut être retenue pour plusieurs raisons : (1) l'environnement agricole de ce forage n'est pas différent de celui des autres ouvrages du secteur, (2) F2 ne présente pas d'enrichissement en nitrates ou chlore susceptibles d'être apportés par les activités anthropiques, (3) le rapport isotopique en Sr de F2 est supérieur à celui mesuré dans les fertilisants et amendements carbonatés ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70794$ à 0.7087 ; Negrel, 1999).

Le point Ar-3 (hautes eaux d'octobre 1999), situé en rive gauche à l'aval de la confluence Peyne-Hérault, présente des caractéristiques similaires à celles de l'Hérault en basses eaux. Ceci suggère que la nappe et la rivière peuvent être en relation à cet endroit avec un décalage temporel important certainement lié à la distance entre le puits et la rivière (~ 575 m).

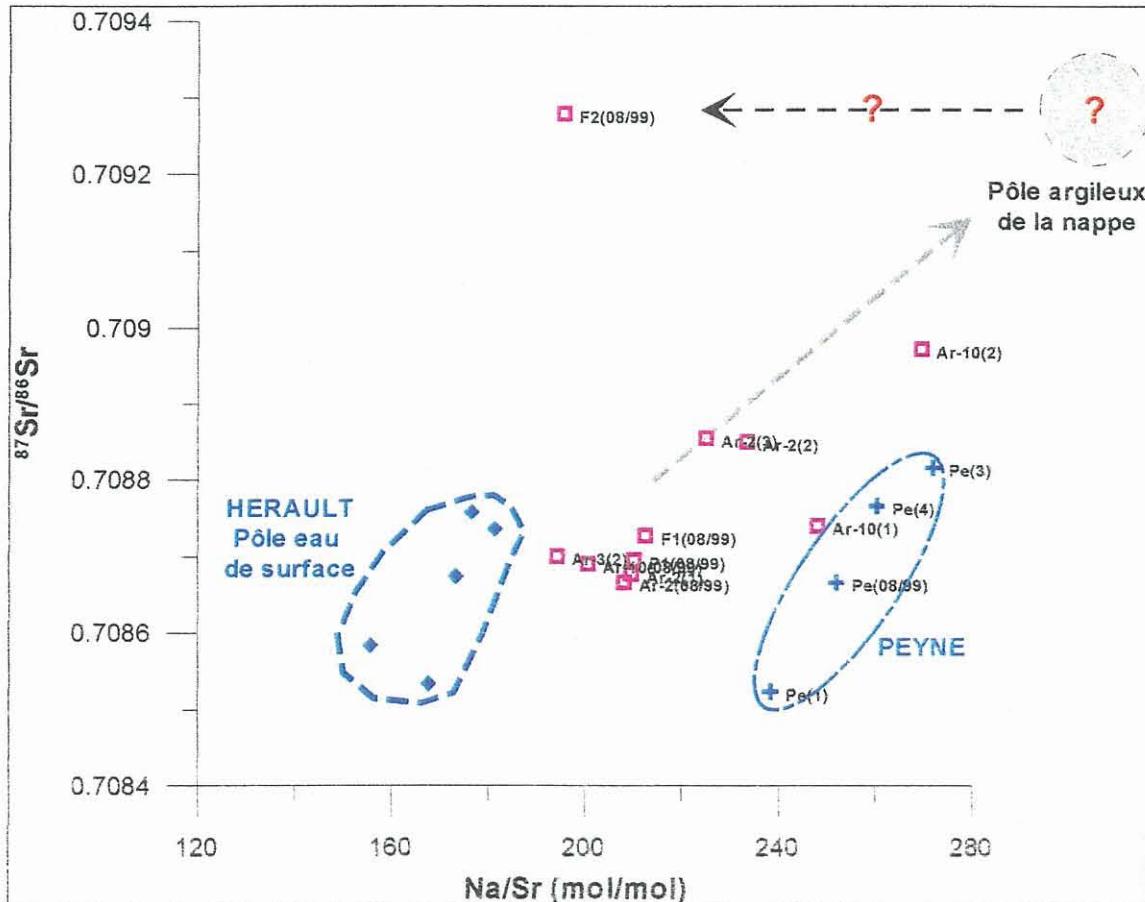


Figure 57 Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de Na/Sr dans les eaux de surface et les eaux souterraines à la confluence Peyne-Hérault.

4.6.4. Synthèse sur la confluence Hérault-Peyne

Nous avons pu mettre en évidence une certaine hétérogénéité des eaux de la nappe des alluvions récentes, en particulier l'échantillon F2 situé au nord de la zone qui semble être influencé par la présence de minéraux argileux. Durant les périodes de hautes eaux, d'autres ouvrages du secteur semblent être soumis à cette même influence.

En basses eaux, la plupart des eaux des forages et piézomètres ont des signatures similaires à celles de l'Hérault ce qui laisse supposer une alimentation de la nappe par la rivière, en bon accord avec les observations piézométriques de la nappe et du niveau du fleuve.

Aucune contribution de la Peyne sur la nappe n'est visible en hautes et basses eaux, ce qui est tout à fait logique en basses eaux puisque le niveau de la rivière est inférieur à celui de la nappe. En hautes eaux, il est difficile de trancher puisque lors des crues, le niveau de l'Hérault augmentant très fortement il bloque l'écoulement des eaux de la Peyne induisant ainsi une augmentation du niveau des eaux de la Peyne. De plus, cette

zone est fréquemment inondée par un débordement de l'Hérault plus en amont rendant alors le site inaccessible pour des prélèvements.

4.7. LA ZONE DE ANIANE-GIGNAC

La zone d'Aniane-Gignac constitue l'amont de la plaine alluviale à la sortie de la zone karstique. Dans ce secteur, les alluvions récentes sont très peu développées, c'est donc une zone privilégiée pour tenter de mettre en évidence l'influence des nappes des terrasses des alluvions anciennes, voire celle éventuelle des formations karstiques sous-jacentes.

Les prélèvements sur ce secteur ont été réalisés en basses eaux en août 2000. 14 échantillons ont été prélevés dont quatre au sein des eaux de surfaces (Figure 58).

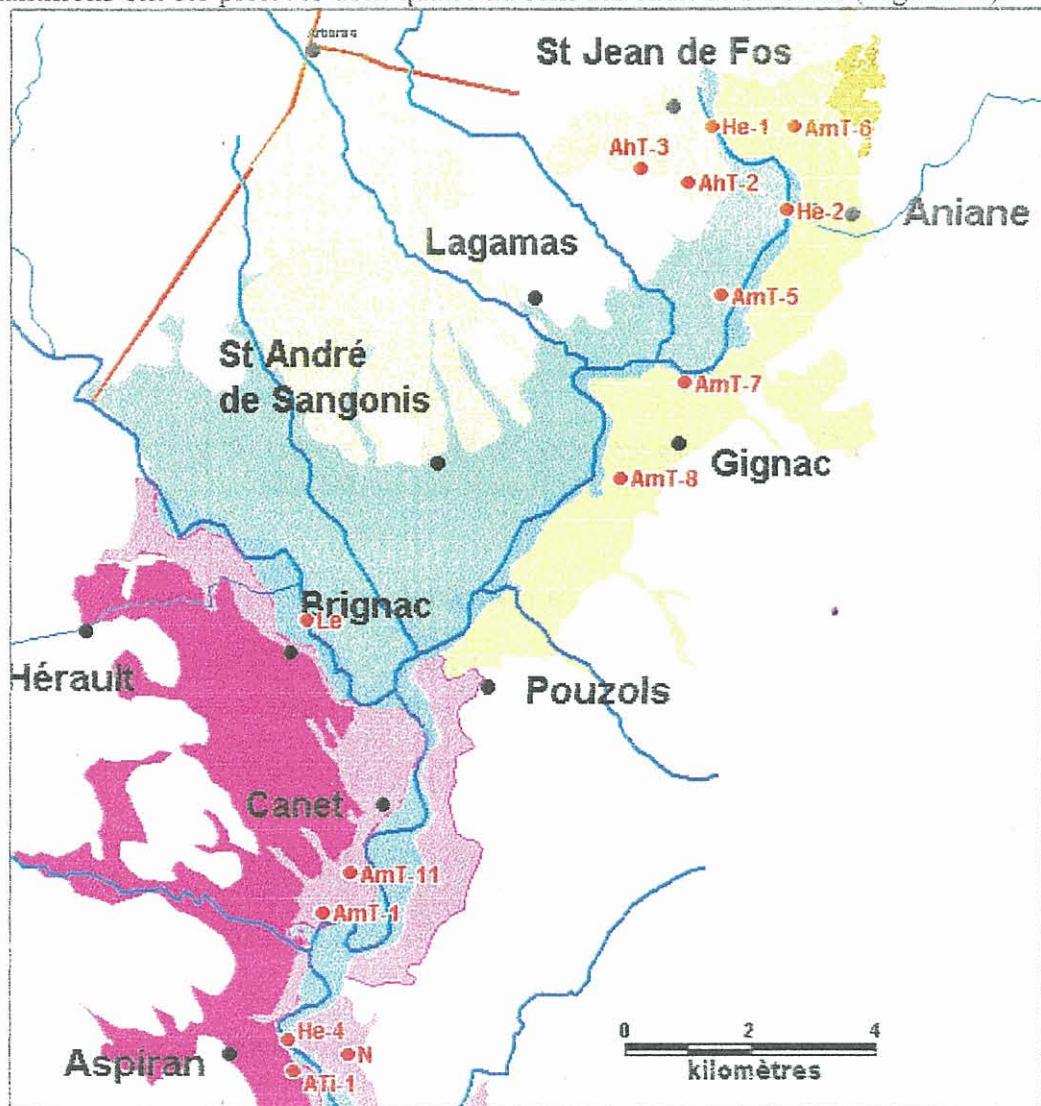


Figure 58 Localisation des points de prélèvement dans la zone de Aniane-Gignac.

4.7.1. Les isotopes stables ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$)

Tous les échantillons reportés sur la Figure 59 ont été prélevés durant la période d'étiage d'Août 2000. Tous les échantillons se placent dans la gamme de variation des pluies de la plaine alluviale de l'Hérault (Ladouche et al., 1998). Ces données montrent que les eaux souterraines des différentes terrasses de la zone n'ont pas subi d'évaporation avant de s'infiltrer vers la nappe et qu'une fois dans l'aquifère elles ne sont pas soumises à l'évapotranspiration. Il ne s'agit donc pas de nappe de subsurface. Seul l'échantillon AmT-11, issu des moyennes terrasses, présente des rapports $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ moins négatifs. Cet échantillon semble avoir subi une légère évaporation.

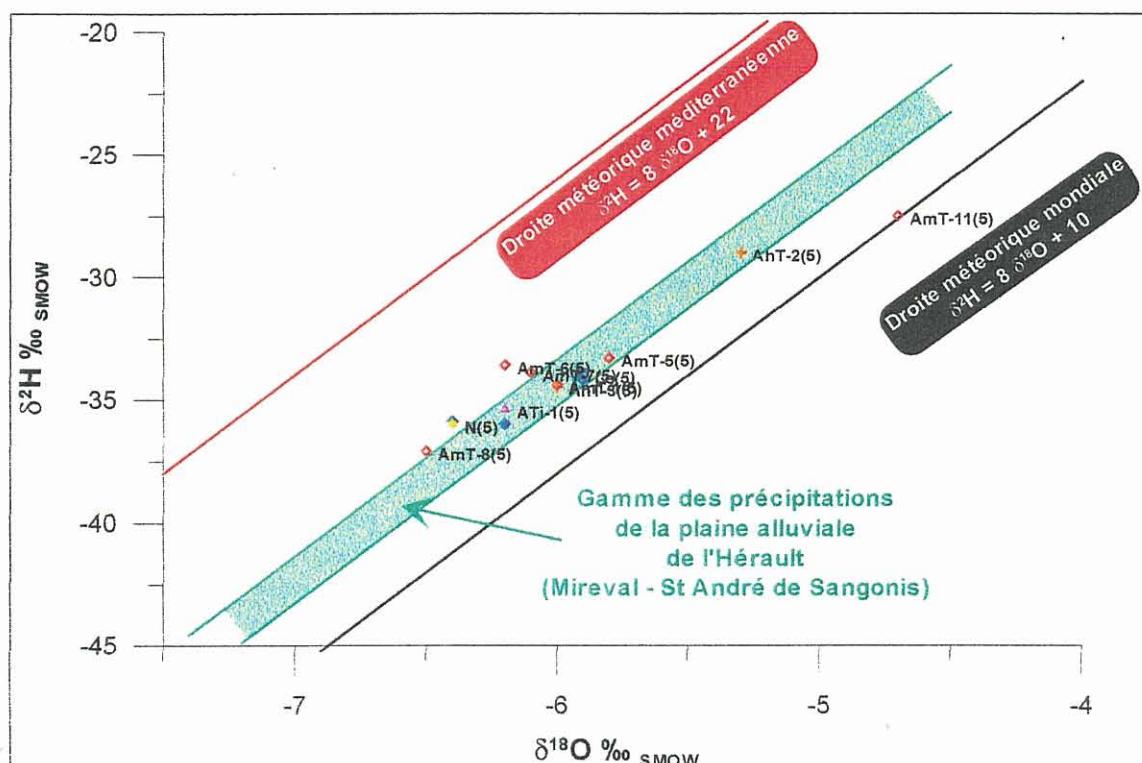


Figure 59 Relation $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ dans les eaux de surface et souterraines de la plaine alluviale dans la zone de Aniane-Gignac.

4.7.2. Les relations inter-éléments

Dans un diagramme Cl en fonction de Na (Figure 60) on note que la plupart des échantillons de la région d'Aniane-Gignac se situent sur la droite de dilution de l'eau de mer.

Un point (AmT-11) présente un net enrichissement en Na par rapport à la droite de dilution de l'eau de mer qui peut être relié à une interaction avec la matrice encaissant des eaux de ce puits.

La Lergue présente aussi, dans une moindre proportion, un enrichissement en Na qui est probablement à rattacher au drainage du bassin argilo-pellitique de Lodève où des échanges de base avec les argiles peuvent survenir.

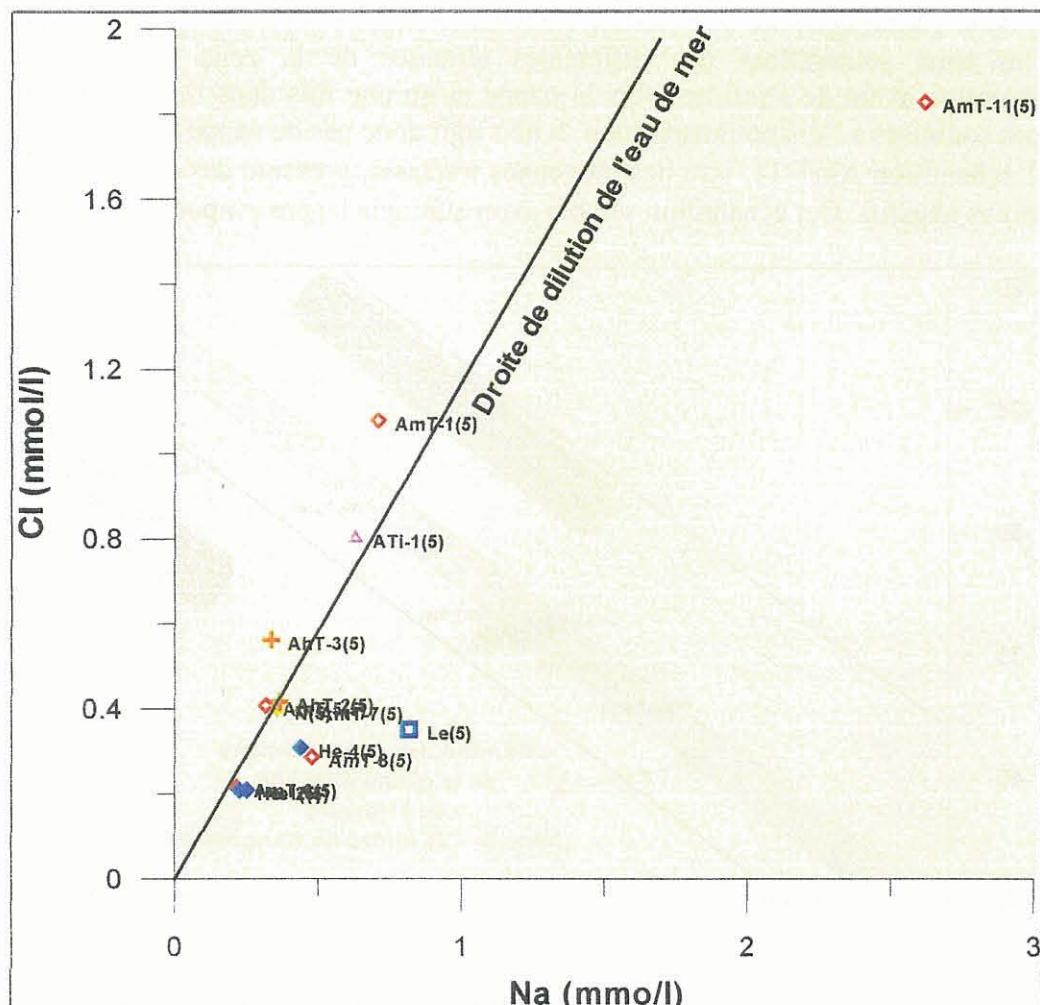


Figure 60 Relation Cl-Na dans les eaux de surface et souterraines dans la zone de Aniane-Gignac. Comparaison avec la droite de dilution de l'eau de mer.

La relation Cl-NO₃ (Figure 61) montre que les teneurs en nitrates des ouvrages de cette zone sont faibles, inférieures à 10 fois la norme de potabilité. Ces deux éléments pouvant être d'origine anthropique ne présentent pas de corrélation évidente.

La relation Cl-SO₄ (Figure 62) met en évidence que la rivière Lergue (Le) est la plus enrichie en sulfates. Une hypothèse de l'origine de ces sulfates réside dans le drainage des formations évaporitiques (à dominante gypsifère) affleurant à la limite du bassin de Lodève.

L'échantillon AmT-1 présente à la fois une teneur en Cl supérieure aux autres points mais aussi une teneur en sulfates non négligeable. Il s'agit d'un puits situé au milieu de

vignes, on peut alors envisager une influence anthropique en particulier par le sulfatage des vignes (à base de sulfates de Cu).

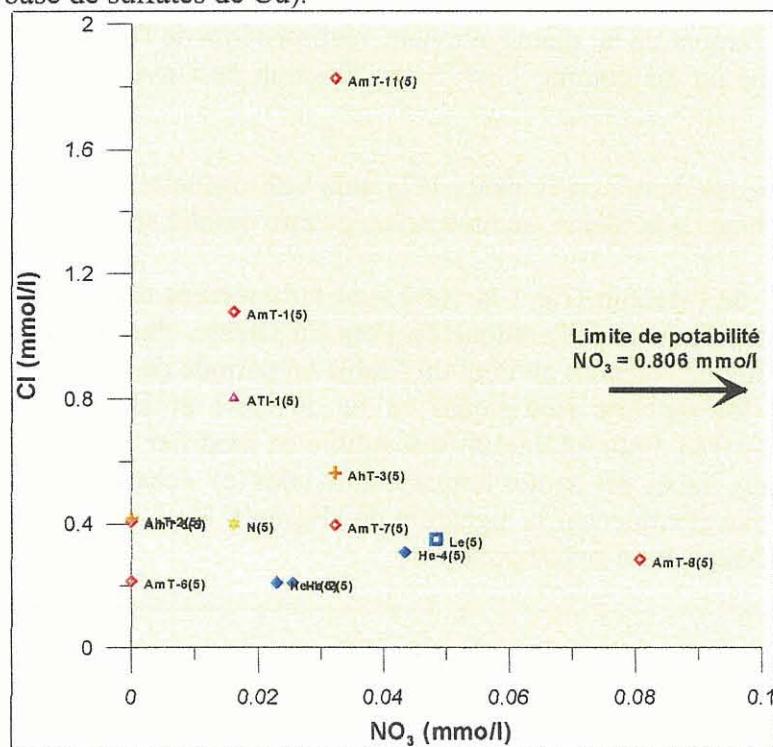


Figure 61 Relation $\text{Cl}-\text{NO}_3$ dans les eaux de surface et souterraines dans la zone de Aniane-Gignac.

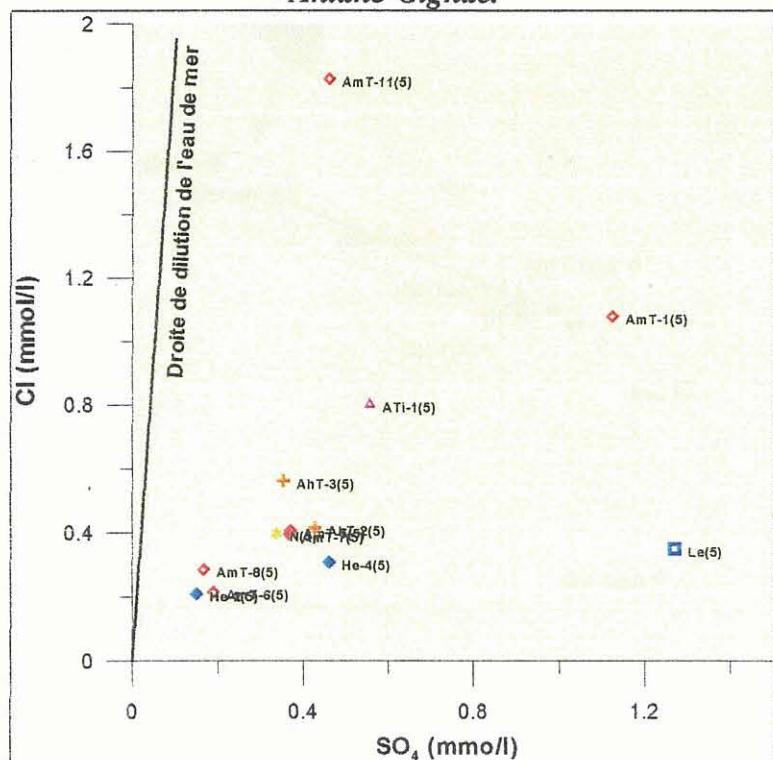


Figure 62 Relation $\text{Cl}-\text{SO}_4$ dans les eaux de surface et souterraines dans la zone de Aniane-Gignac.

4.7.3. Les isotopes du Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)

Les analyses de l'amont de la plaine alluviale, réalisées lors de l'étiage d'août 2000, ont été reportées dans un diagramme $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de l'inverse de la teneur en Sr (Figure 63).

Ce schéma permet de mettre en évidence la grande hétérogénéité de chacune des nappes des terrasses du haut de la plaine, comme cela a pu être montré sur les nappes de l'aval.

Les échantillons de l'Hérault (He-1 et He-2) ont été prélevés dans la plaine alluviale, peu après la sortie de la zone karstique au Pont du Diable. Par comparaison avec les signatures des eaux de l'Hérault au Pont du Diable en période de basses eaux et d'étiage (Petelet, 1998), les rapports isotopiques en Sr de He-1 et He-2 sont plus faibles, impliquant une arrivée d'eau à l'Hérault susceptible de modifier sa signature. D'après la Figure 63, les eaux issues des hautes terrasses alluviales (cf. échantillons AhT-2 et AhT-3) sont susceptibles d'influencer la signature de l'Hérault, He-1 et He-2 étant situés sur une droite de mélange entre ces deux points.

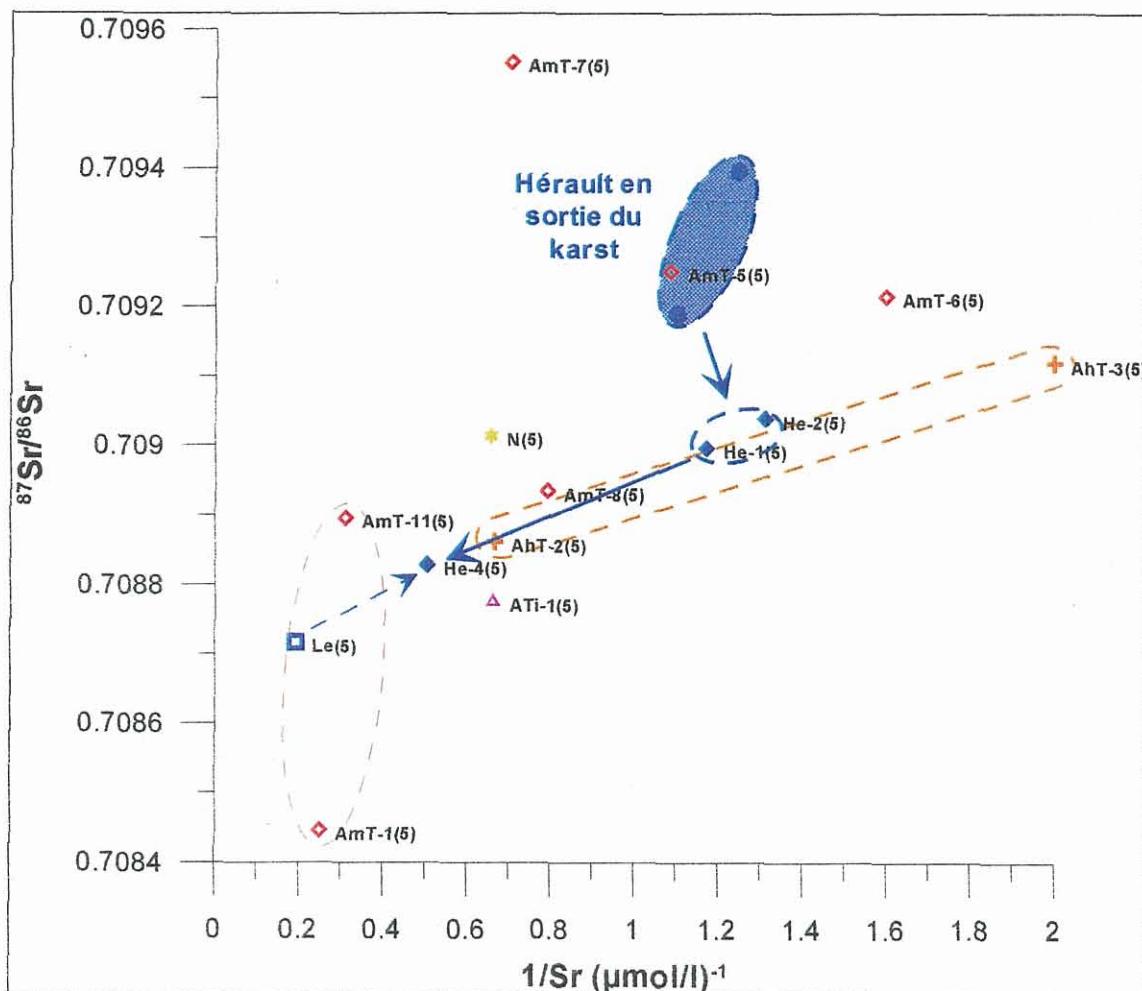


Figure 63 Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de l'inverse de la concentration en Sr dans les eaux de surface et les eaux souterraines de la zone d'Aniane-Gignac.

Plus en aval, la signature de l'Hérault évolue de façon significative entre He-2 et He-4, avec une diminution du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et une augmentation de la concentration en Sr. L'échantillon He-4 se situe sur une droite de mélange entre He-2 et la Lergue (Le) ce qui suggère une influence importante de la Lergue sur la signature de l'Hérault. Un calcul simple de mélange à deux composantes selon la formule ci dessous permet d'évaluer la contribution de la Lergue à un peu plus de 20 %.

$$\left(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \right)_{\text{mél}} = \frac{\left(f * \left(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \right)_1 * [\text{Sr}]_1 \right) + \left((1-f) * \left(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \right)_2 * [\text{Sr}]_2 \right)}{[\text{Sr}]_{\text{mél}}}$$

D'après ce même diagramme, une contribution éventuelle de la nappe de la moyenne terrasse (AmT-1 et AmT-11), conjointement à celle de la Lergue, n'est pas à exclure.

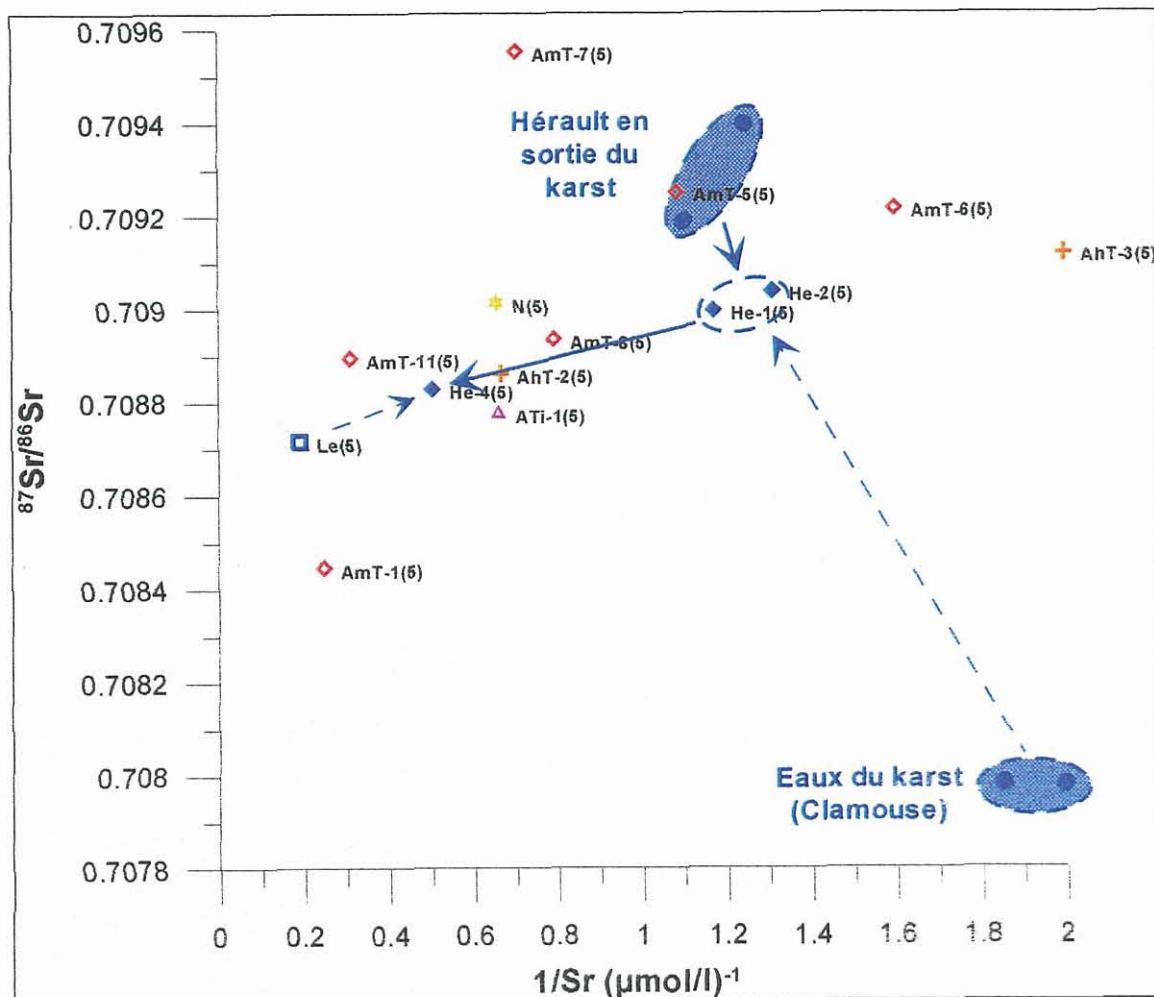


Figure 64 Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de l'inverse de la concentration en Sr dans les eaux de surface et les eaux souterraines de la zone d'Aniane-Gignac.

Sur la Figure 64, nous avons rajouté la signature des eaux issues de la source de la Clamouse durant les basses eaux et étiage. D'après leur position dans le diagramme, une

contribution de ces eaux par une alimentation souterraine en provenance du karst pourrait expliquer la signature de l'Hérault en haut de la plaine. Selon la Figure 64, environ 25% d'eau du karst serait nécessaire pour expliquer la signature de l'Hérault.

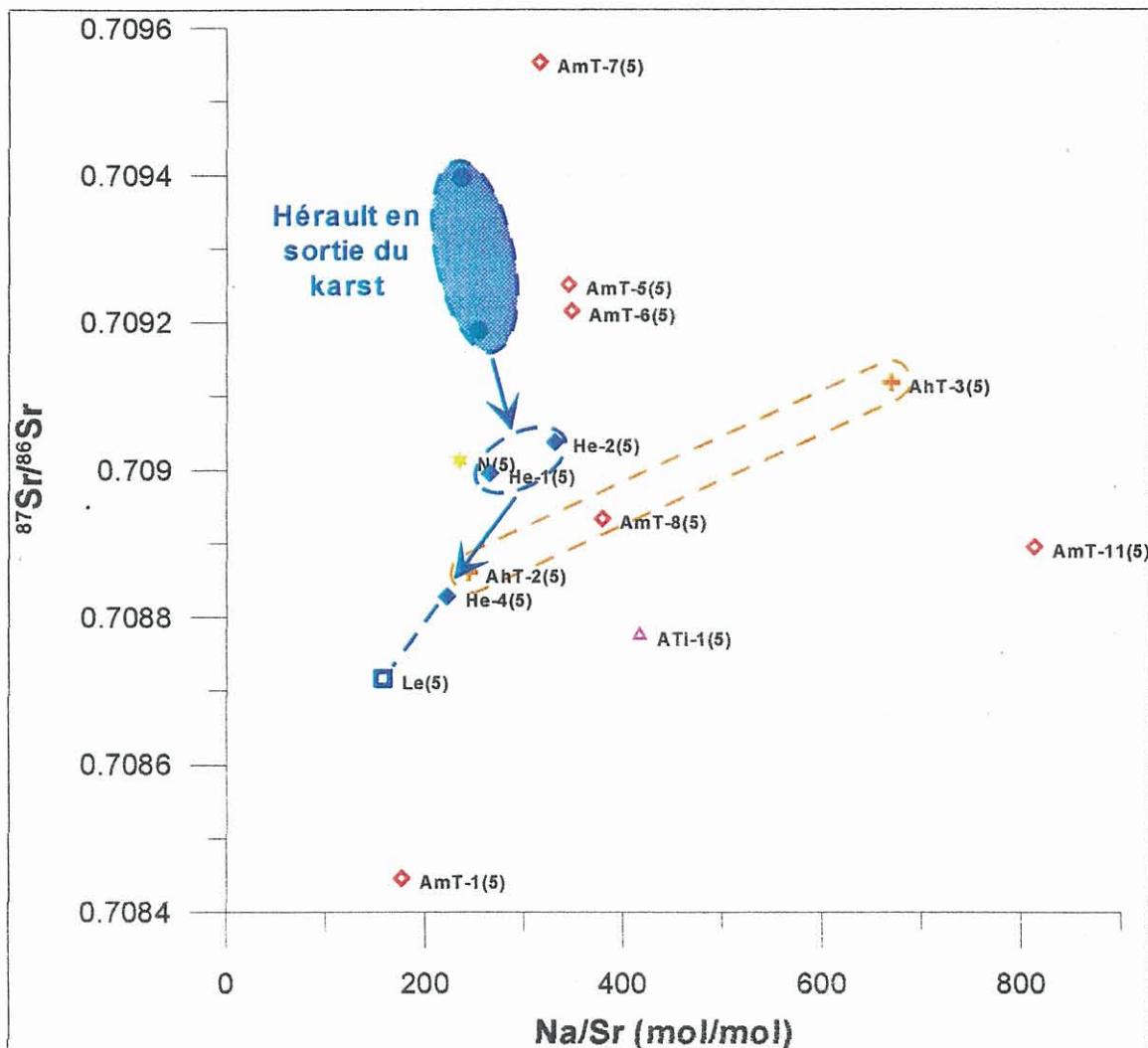


Figure 65 Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction du rapport Na/Sr dans les eaux de surface et les eaux souterraines de la zone d'Aniane-Gignac.

La Figure 65, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de Na/Sr permet d'étayer les hypothèses de circulation et d'alimentation ci-dessus. Seule l'alimentation de l'Hérault par la nappe des alluvions des moyennes terrasses est à nuancer puisque, selon ce diagramme, seul les eaux représentées par l'échantillon AmT-1 sont susceptibles d'alimenter la rivière. En effet, AmT-11 présente un rapport Na/Sr trop élevé (800) pour influencer la signature de l'Hérault.

Il semble cependant probable que la signature de l'Hérault soit en majeure partie marquée par la confluence avec la Lergue.

La Figure 66, où l'on a rajouté les eaux issues de la source karstique de la Clamouse en basses eaux et étiage (Petelet, 1998), permet à nouveau d'émettre l'hypothèse d'une contribution souterraine d'eau en provenance du karst.

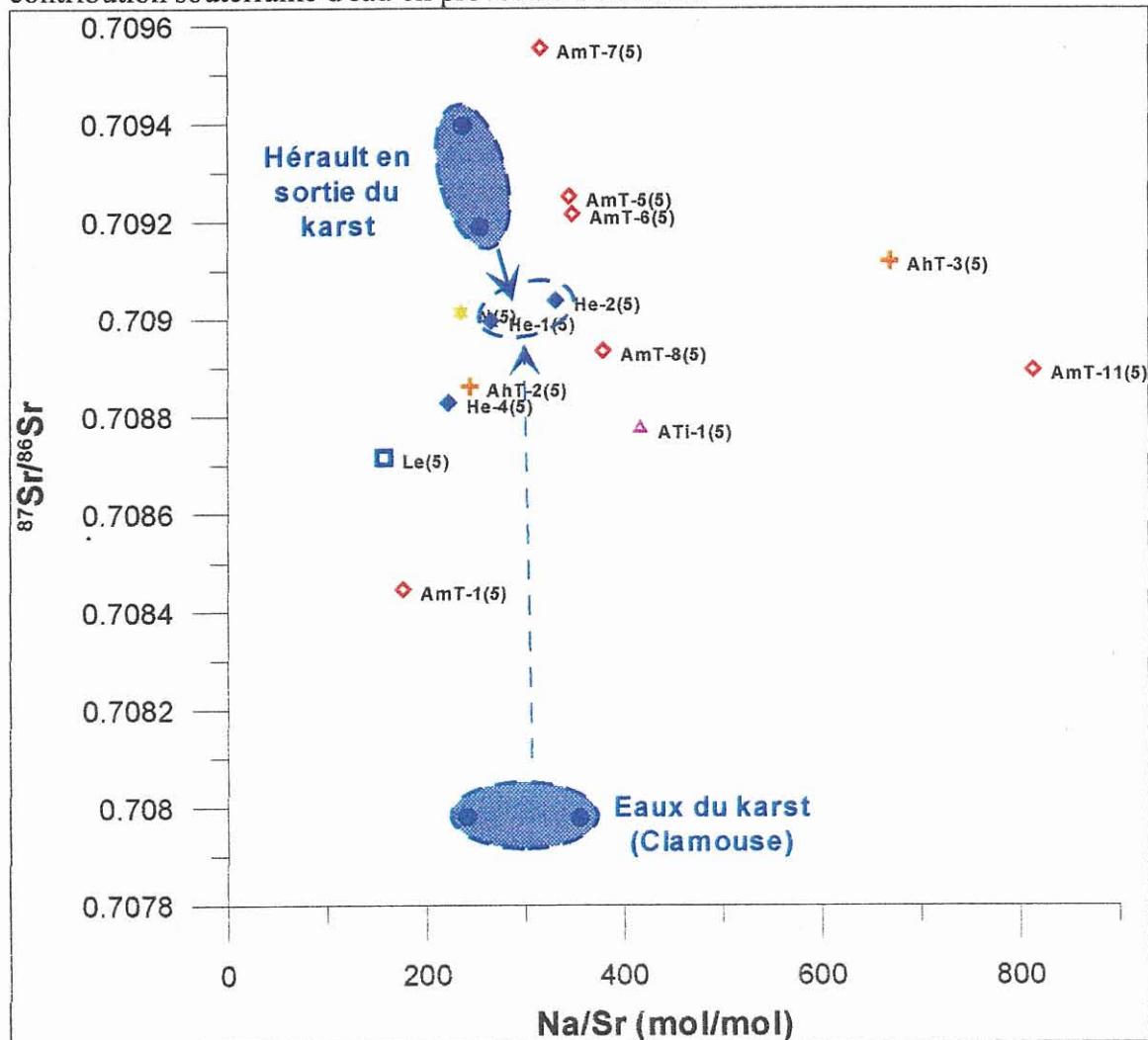


Figure 66 Relation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction du rapport Na/Sr dans les eaux de surface et les eaux souterraines de la zone d'Aniane-Gignac

4.7.4. Synthèse sur la zone de Aniane-Gignac

Comme cela a pu être montré pour les sites de Florensac et de Pézenas, les nappes des terrasses alluviales de l'amont de la plaine alluviale présentent des signatures géochimiques très hétérogènes au sein d'une même terrasse.

L'originalité de cette zone réside dans le fait que c'est la seule portion de la plaine alluviale où nous pouvons suggérer une influence visible d'une nappe sur la signature de la rivière. Il semble en effet que l'on puisse mettre en évidence la contribution de la nappe des hautes terrasses (AhT2 et AhT-3) en amont de la zone d'une part, et d'autre part, la contribution de la nappe des terrasses moyennes en particulier par l'échantillon AmT-1.

Ces hypothèses émises sur la base de l'interprétation géochimique semblent en bon accord avec les interprétations hydrologiques puisque la partie amont de la plaine alluviale constitue une zone où le gradient hydraulique des terrasses au dessus du niveau de l'Hérault est le plus important, pouvant favoriser une contribution significative des eaux souterraines à la rivière.

La Lergue est le principal affluent de l'Hérault ; son influence sur la signature de l'Hérault est un peu supérieure à 20%. La technique utilisée pour faire cette estimation de proportion de mélange est basée sur les compositions isotopiques du Sr et les teneurs en Sr. Petelet et al. (1998) ont montré que la comparaison des proportions de mélange par cette technique est en très bon accord avec les calculs réalisés à partir des débits puisque la différence est systématiquement inférieure à 10% (en l'absence de données de débits à proximité de la confluence Lergue-Hérault).

Lors d'études antérieures sur la plaine alluviale, l'hypothèse a été émise d'une contribution possible des eaux du karst dans la partie amont de la plaine. En se basant sur les signatures des eaux de la source de la Clamouse qui constituent le principal réservoir karstique dans la partie aval de la zone karstique, nous avons pu montrer que cette hypothèse peu être retenue mais des études complémentaires seraient nécessaires pour la confirmer d'une part, et quantifier les apports d'autre part.

4.8. CONCLUSIONS DE L'APPROCHE GEOCHIMIQUE

A l'échelle de la plaine alluviale dans son ensemble, les isotopes stables de la molécule d'eau ont permis de mettre en évidence que les différentes terrasses d'alluvions anciennes surplombant le cours actuel de l'Hérault ne sont pas homogènes et qu'ainsi tous les puits d'une même terrasse ne présentent pas forcément la même signature géochimique.

Certaines zones des nappes constituent un réservoir suffisamment important pour lisser les variations isotopiques du signal d'entrée (pluie), alors que d'autres sont beaucoup plus restreints ou avec une mauvaise conductivité hydraulique et reproduisent les variations du signal météorique. Seul le puits ATi-2 des terrasses inférieures présente des signes évidents d'évapotranspiration certainement liés à une nappe très superficielle.

A l'échelle de la plaine alluviale, les caractéristiques chimiques des eaux au sein d'une même terrasse sont extrêmement hétérogènes, y compris en faisant abstraction des ouvrages présentant des indices nets d'anthropisation en particulier liés aux pratiques agricoles. Ces variations de compositions chimiques sont certainement à relier à des hétérogénéités lithologiques locales.

L'analyse des suivis réalisés sur les forages, puits et piézomètres de la zone du champ captant de Florensac a permis de mettre en évidence une hétérogénéité certaine de la nappe des alluvions récentes avec en particulier la présence de passées argileuses au sein de ces alluvions.

En effet, à quelques dizaines de mètre de distance, les eaux souterraines peuvent avoir des signatures très différentes traduisant à la fois le stockage des eaux au contact de

matrices distinctes mais aussi des temps de séjour différents liés aux perméabilités de ces matrices.

Cette étude confirme l'incidence du pompage intensif à la station de Florensac sur une ré-alimentation localisée de la nappe des alluvions récentes par l'Hérault. L'outil géochimique paraît ainsi pertinent pour mettre en évidence ce type de processus.

Dans la zone de la confluence Peyne-Hérault à Pézenas, nous avons pu mettre en évidence une certaine hétérogénéité des eaux de la nappe des alluvions récentes. En particulier l'échantillon F2 situé au nord de la zone semble être influencé par la présence de minéraux argileux. Durant les périodes de hautes eaux, d'autres ouvrages du secteur semblent être soumis à cette même influence.

En basses eaux, la plupart des eaux des forages et piézomètres ont des signatures similaires à celles de l'Hérault ce qui laisse supposer une alimentation de la nappe par la rivière, en bon accord avec les observations piézométriques de la nappe et du niveau du fleuve.

Aucune contribution de la Peyne sur la nappe n'est visible, ce qui est tout à fait logique en basses eaux puisque le niveau de la rivière est inférieur à celui de la nappe. En hautes eaux, il est difficile de trancher puisque lors des crues, le niveau de l'Hérault augmentant très fortement il bloque l'écoulement des eaux de la Peyne induisant ainsi une augmentation du niveau des eaux de la Peyne. De plus, cette zone est fréquemment inondée par un débordement de l'Hérault plus en amont rendant alors le site inaccessible pour des prélèvements.

Comme cela a pu être montré pour les sites de Florensac et de Pézenas, les nappes des terrasses alluviales de l'amont de la plaine alluviale présentent des signatures géochimiques très hétérogènes au sein d'une même terrasse.

L'originalité de cette zone réside dans le fait que c'est la seule portion de la plaine alluviale où nous pouvons suggérer une influence visible d'une nappe sur la signature de la rivière. Il semble en effet que la contribution de la nappe des hautes terrasses (AhT2 et AhT-3) en amont de la zone d'une part, et d'autre part, la contribution de la nappe des terrasses moyennes (échantillon AmT-1) soient significatives.

Ces hypothèses émises sur la base de l'interprétation géochimique semblent en bon accord avec les interprétations hydrologiques puisque la partie amont de la plaine alluviale constitue une zone où le gradient hydraulique des terrasses au dessus du niveau de l'Hérault est le plus important pouvant favoriser les écoulements vers la rivière.

Lors d'études antérieures sur la plaine alluviale, l'hypothèse a été émise d'une contribution possible des eaux du karst dans la partie amont de la plaine. En se basant sur les signatures des eaux de la source de la Clamouse qui constituent le principal réservoir karstique dans la partie aval de la zone karstique, nous avons pu montrer que cette hypothèse peut être retenue mais des travaux complémentaires seraient nécessaires pour la confirmer d'une part et quantifier les apports d'autre part.

La signature de l'Hérault varie en amont de la plaine alluviale, depuis le Pont du Diable jusqu'à l'aval de la confluence avec la Lergue. On a pu mettre en évidence une possible contribution des eaux des nappes des alluvions anciennes des hautes terrasses et des terrasses moyennes. Il semble cependant que la principale modification de la signature de l'Hérault soit liée à la Lergue (le plus important des affluents de la plaine alluviale). Son influence sur la signature de l'Hérault est un peu supérieure à 20%.

Les caractéristiques géochimiques de l'Hérault varient très peu à partir d'Aspiran, ce qui signifie que les apports latéraux à la rivière, que ce soit par les eaux de surface ou les eaux souterraines, sont faibles voire négligeables, ne pouvant induire de modification notable de la signature de l'Hérault.

5. Conclusion générale

L'objectif de cette étude était d'aborder le fonctionnement hydrologique de la plaine alluviale de l'Hérault en combinant l'approche hydrogéologique et l'approche géochimique. La confrontation des résultats hydrogéologiques et géochimiques permet d'arriver aux conclusions suivantes :

- le drainage des nappes alluviales par l'Hérault a été mis en évidence par le suivi piézométrique, la modélisation hydrogéologique et l'étude géochimique ;
- la contribution des nappes au débit de l'Hérault a été estimée à $20\ 600\ m^3/h$ en entre le Pont du Diable et Montagnac, par modélisation en régime permanent. Ceci représente un débit moyen de $5.7\ m^3/s$ qui est à mettre en regard au module à Montagnac qui est de $53\ m^3/s$ et au débit d'étiage de l'ordre de $9\ m^3/s$ (période 1931-1977). L'apport des nappes peut donc représenter 10 à 60% du débit de l'Hérault ;
- la contribution des nappes alluviales au débit de l'Hérault est fortement variable à l'échelle de la plaine alluviale. La modélisation hydrogéologique en régime permanent a permis d'évaluer cette contribution à $250\ m^3/h$ par tronçon de rivière de 200 m de long dans la partie amont de la plaine (Pont du Diable – Canet), et à seulement $100\ m^3/h$ par 200 m à l'aval de ce secteur. L'étude géochimique conforte ce résultat en montrant que la signature géochimique de l'Hérault n'est modifiée par un apport des nappes alluviales qu'entre le Pont du Diable et la confluence Lergue-Hérault. A l'aval de cette confluence, la signature géochimique de l'Hérault est majoritairement influencée par les apports de la Lergue et reste relativement stable jusqu'à Florensac. Si une contribution des nappes au débit de l'Hérault existe, elle n'est en tous cas pas décelable à partir des analyses géochimiques ;
- le suivi piézométrique de la nappe alluviale a montré que la nappe est peu sensible aux variations de la cote de l'Hérault mais directement influencée par les précipitations. Ceci suggère donc que la réalimentation de la nappe alluviale par l'Hérault est limitée et/ou extrêmement localisée dans l'espace. L'étude géochimique a montré, en effet, une ré-alimentation possible de la nappe par l'Hérault (i) de manière ponctuelle à Florensac sur un site soumis à de forts pompages et (ii) dans la partie aval de la plaine, phénomène très limité dans l'espace, mais pouvant être important en débit ;
- à l'échelle de la plaine alluviale, les caractéristiques chimiques des eaux au sein d'une même terrasse sont extrêmement hétérogènes. Ces variations de compositions chimiques sont à relier à des hétérogénéités lithologiques locales et mettent en évidence le relativement faible mélange des eaux souterraines. Ceci constitue un apport spécifique de la géochimie et ne pouvait être mis en évidence par la seule approche hydrogéologique ;
- l'impact des seuils sur les relations entre l'Hérault et sa nappe alluviale a été mis en évidence à travers le travail de modélisation hydrogéologique. Compte tenu du caractère très local de ce phénomène, il ne pouvait être décelé par la géochimie ni par l'hydrogéologie de terrain sauf à mettre en place un réseau de mesures spécifique à proximité des ouvrages hydrauliques.

Références bibliographiques

- Albarède, F. and Michard, A., 1987. Evidence for slowly changing $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in runoff from freshwater limestones of Southern France. *Chem. Geol.*, 64 : 55-65.
- Anus, S., 1998. Rapport de stage de DESS Hydrogéologie et Environnement. 115 pages.
- Aquilina, L., Cubizolles, J., David, A., Petelet, E. et Schoen, R., 2001. Echanges nappe-rivières et transport de pesticides : cas des alluvions de l'Hérault, en présence et absence de pompages. Sites de Pézenas et Florensac. Rapport BRGM RP-50471-FR, 43p., 15 fig., 5 tabl., 2 ann.
- Barrière J., Berger, G., Gèze, B. et Vogt, J., 1978. Carte géologique de la France au 1/50 000, Feuille d'Agde . Editions BRGM.
- Bates, T.S., Charlson, R.J., and Gammon, R.H., 1987. Evidence for the climatic role of marine biogenic sulphur. *Nature*, 329 : 319-321.
- Ben Othman, D., Luck, J.M., and Tournoud, M.G., 1997. Geochemistry and water dynamics : application to short time-scale flood phenomena in a small Mediterranean catchment. I- Alkalies, alkali-earths and Sr isotopes. *Chem. Geol.*, 140 : 9-28.
- Berner, E.K. and Berner, R.A., 1987. The global water cycle. *Geochemistry and environment*. Prentice-Hall.
- Berga-Sud, 1993. Modélisation de l'Aquifère de la basse vallée de l'Hérault, Phase de collecte des données. Volumes 0 à 4.
- Clauzon, G, 1990. Restitution de l'évolution géodynamique néogène du bassin du Roussillon et de l'unité adjacente des Corbières d'après les données écostratigraphiques et paléogéographiques. *Paléobiologie continentale*, vol. XVII, pp. 125-155, Montpellier.
- Delmas, J.P., 1961. Contribution à l'étude hydrogéologique de la région de Villeveyrac et de la rive ouest de l'étang de Thau. Thèse 3^{ème} cycle, Université de Montpellier.
- Dubois, V., 1988. Caractérisation d'une nappe en milieu alluvial à partir des chroniques piézométriques mensuelles. Application aux relations nappe-rivière (nappe de l'Hérault). Thèse de Doctorat de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc. 232 pages.
- Durand, P., Neal, C., and Lelong, F., 1992. Anthropogenic and natural contributions to the rainfall chemistry of a mountainous area in the Cevennes National Park (Mont-Lozère, southern France). *J. Hydrol.*, 130 : 71-85.

- Feist, A., Berger, G. et Freytet, P., 1981. Carte géologique de la France au 1/50 000, Feuille de Pézenas. Editions BRGM.
- Gaillardet, J., Dupré, B., Allègre, C.J., and Négrel, P., 1997. Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin. *Chem. Geol.*, 142 : 141-173.
- Jawad, S., 1975. Essai de rationalisation de réseau piézométrique des aquifères de la vallée alluviale de l'Hérault. Thèse de 3^{ème} cycle. Montpellier. 57 pages.
- Ladouche, B., Aquilina, L., Cubizoles, J., and Négrel, P., 1998. Rainfall chemistry in the south of France (Hérault, 1996-1997). Goldschmidt Conference. Toulouse, France. *Mineralogical Magazine* 62A, 842-843.
- Leduc, C., 1983. Etude hydrogéologique de la nappe captive astienne située entre Valras et Agde. Réactualisation du bilan hydrologique de l'aquifère. C.E.R.H. : U.S.T.L.. Département de l'Hérault. 110 pages.
- Leduc, C., 1985. Hydrogéologie de la nappe astienne entre Valras et Agde. Thèse de Docteur Ingénieur. Montpellier. 190 pages.
- Meybeck, M., 1983. Atmospheric inputs and river transport of dissolved substances. Hamburg Symposium. Hamburg. IAHS publ. 141, 173-192.
- Meybeck, M., 1986. Composition chimique des ruisseaux non pollués de France. *Sci. Géol. Bull.*, 39(1) : 3-77.
- Négrel, Ph., Allègre, C.J., Dupré, B., and Lewin, E., 1993. Erosion sources determined by inversion of major and trace element ratios and strontium isotopic ratios in river water : The Congo Basin case. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 120 : 59-76.
- Négrel, Ph., 1999. Geochemical study of a granitic area - The Margeride Mountains, France : chemical element behavior and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ constraints. *Aquatic Geochem.*, 5 : 125-165.
- Perrissol, M., 1990. Sédimentologie et métallogénie du Trias et du Lias carbonaté de la bordure cévenole. Minéralisations Zn-Pb des paléokarsts sinémuriens de Durfort. Thèse de Doctorat, Université Montpellier II, France. 575 pp.
- Petelet, E., 1998. Application de la géochimie à l'étude des mouvements d'eaux à moyenne et petite échelle : les bassins versants de l'Hérault et de la Peyne (S. France). Utilisation des éléments majeurs, traces et des isotopes du Sr et du Pb. Thèse de Doctorat, Université Monpellier II, France. 512 pp.
- Petelet, E., Luck, J.-M., Ben Othman, D., Négrel, P., and Aquilina, L., 1998. Geochemistry and water dynamics of a medium-sized watershed : I. Organisation of the different water reservoirs as constrained by Sr isotopes, major and trace elements. *Chem. Geol.*, 150(1-2) : 63-83.

Rieu, T., 1985. Modélisation de la nappe alluviale de l'Hérault. Rapport Cemagref, Antony. 224 pages.

Stallard, R.F. and Edmond, J.M., 1981. Geochemistry of the Amazon. 1. Precipitation chemistry and marine contribution to the dissolved load at the time of peak discharge. *J. Geophys. Res.*, 86(C10) : 9844-9858.

Weng, Ph., 2000, Fonctionnement hydrologique d'une zone humide alluviale, relations avec l'aquifère sous-jacent et les rivières. Exemple de la Seine moyenne. Thèse de Doctorat de l'Université Paris 6. 202 pages.

Weng Ph., J.M. Sanchez-Pérez, S. Sauvage, F. Giraud et Ph. Vervier, 2001. Hydrological modelling of a riparian wetland in the Garonne valley. Poster, European Geophysical Society, 26th General Assembly, Nice 26-30 march 2001.

Annexe 1 : Données piézométriques

Relevés piézométriques de la vallée de l'Hérault						
Piézométrie en m					Noir : profondeurs	
N°	N°	X	Y	Z	25/08/99	06/10/99
Géoch.	Piézo.	LambertIII	LambertIII	ngf		25/10/99
TS1	32	690560	147950	67.97	8.83	9.04
-	1	693000	145940	39.72	7.43	7.48
TS2	-			*	*	*
-	15			*	0.79	0.84
TS3	14 (Orphi)	692260	143550	32.07	*	*
-	3	691300	141980	39.97	6.09	5.86
-	4	691800	141050	31.12	4.02	3.94
-	5 (Orphi)	689730	140980	68.35	*	*
TS5	17			*	*	*
-	16	691330	137420	30.08	3.43	3
-	6	691650	136730	22.98	3.23	2.58
-	22			*	3.1	2.34
-	7 (Orphi)	691240	136060	21.98	*	*
-	8 (Orphi)	690210	134560	22.57	*	*
TS6	11			*	4.07	3.03
-	30 (Orphi)	688670	133540	30	*	*
-	19			*	2.97	1.84
-	20	690140	133210	18.52	3.5	2.36
-	41			*	*, *	1.58
-	42			*	* .	2.28
-	43 (Orphi)			*	*	1.23
-	44			*	*	1.35
All1	21	690780	132990	17.59	route barrée	4.89
Tl2	9	691850	133310	22.69	1.72	1.71
-	18	691640	132410	18.98	6.49	6.38
-	29	689540	128730	15.47	*	*
All2	28	689320	128590	14.48	5.32	5.51
All3	12	689100	127460	14.37	6.14	6.11
All5	27	688160	125700	12.49	4.5	5.44
All4	26	687680	125410	12.16	5.28	4.63
All9	23	689150	120730	8.01	4.41	4.56
All11	40	689730	119990	7.48	4.47	4.48
-	13	689840	120840	8.61	4.79	5
All7	25			*	3.37	3.44
All6	24	689500	123510	9.97	4.12	4.27
Tl1	31 (Orphi)	692650	141310	34.8	*	*
	1400	697390	155510	104.7		
	1402 (Orphi)	700320	153270	69.37		
	1405	698090	152040	56.59		
	1407	698130	155240	84.31		
	2426 (Orphi)	699870	156110	65.28		
	2427	698860	154860	68.16		
	2428	698710	153440	56.87		
	1463	692610	143530	31.35		
	1457	692700	144180	35.74		
	1409	697000	150480	49.48		
	1409b (Orphi)	696900	150420	48.86		

N°	16/11/99	24/11/99	07/12/99	13/01/00	14/02/00	06/03/00	06/04/00
Piézo.						07/03/00	
32	8.11	*	8.37	8.49	8.68	8.79	8.9
1	6.85	*	6.65	6.81	7.01	7.16	7.35
-	*	*	*	*	*	*	*
15	0.60	*	0.57	0.61	0.64	supprimé	supprimé
14 (Orphi)	4.59	4.58	4.75	4.94	4.99	5.02	5.05
3	4.69	*	5.10	5.52	5.67	5.76	5.85
4	2.32	*	3.56	3.95	3.95	3.95	3.97
5 (Orphi)	0.59	0.77	1.01	1.45	1.48	1.55	1.61
17	*	*	*	*	*	*	*
16	0.47	*	2.47	2.98	3.22	3.31	3.38
6	1.47	*	2.14	2.66	2.91	3.1	3.3
22	1.22	*	1.96	2.46	2.7	supprimé	supprimé
7 (Orphi)	1.84	2.03	2.18	2.38	2.47	2.55	2.65
8 (Orphi)	3.51	*	4.53	4.66	4.65	4.68	4.68
11	1.67	*	2.26	3.13	3.37	supprimé	supprimé
30 (Orphi)	2.01	2.43	2.90	4.18	4.46	4.79	5.07
19	0.88	*	1.26	1.47	1.66	supprimé	supprimé
20	1.26	*	1.72	2.01	2.16	2.33	2.54
41	inondé	*	supprimé	supprimé	supprimé	supprimé	supprimé
42	inondé	*	supprimé	supprimé	supprimé	supprimé	supprimé
43 (Orphi)	inondé	supprimé	0.53	supprimé	supprimé	supprimé	supprimé
44	0.16	*	supprimé	supprimé	supprimé	supprimé	supprimé
21	1.64	*	4.47	4.69	4.76	4.77	4.6
9	1.10	*	1.14	1.24	1.12	1.16	1.32
18	inondé	*	5.85	6.21	6.29	6.32	6.26
29	inondé	*	5.41	5.65	5.69	5.68	5.53
28	inondé	*	4.93	12.17	5.26	5.22	5.06
12	1.54	*	5.45	5.82	5.93	5.96	5.79
27	inondé	*	4.73	4.88	4.9	4.93	4.88
26	inondé	*	3.62	4.39	4.51	4.57	4.55
23	1.94	*	4.04	4.27	4.28	4.23	4.17
40	inondé	*	3.95	4.12	4.06	4.09	4.13
13	2.46	*	4.54	4.74	4.74	4.75	4.65
25	inondé	*	1.78	2.48	2.66	2.76	remplacé
24	inondé	*	2.48	3.35	3.53	3.64	3.74
31 (Orphi)	3.87	4.47	4.80	5.29	5.44	5.51	5.6
1400							
1402 (Orphi)							
1405							
1407							
2426 (Orphi)							
2427							
2428							
1463							
1457							
1409							
1409b (Orphi)							

N°	10/05/00	20/06/00	01/08/00	13/09/00	20/11/00	26/12/00	22/01/01	21/07/01
Piézo.				14/09/00		27/12/00	23/01/01	22/07/01
32	9	8.99	8.77	8.91	9.1	7.72	7.56	8.86
1	7.46	7.38	7.36	7.45	7.59	7.62	6.78	7.19
-	*	*	*	*	*	*	*	*
15	supprimé							
14 (Orphi)	5.07	5.03	5.06	5.1	5.13	5.1	4.23	5.03
3	5.93	5.76	5.74	5.96	6.09	6.08	4.98	5.89
4	3.98	3.98	3.96	3.98	4.01	3.97	2.55	4.01
5 (Orphi)	1.52	1.5	1.52	2.23	2.86	2.09	0.71	1.67
17	*	*	*	*	*	*	*	*
16	3.39	3.36	3.43	3.51	3.53	3.39	2.11	3.45
6	3.44	3.26	3.4	3.59	4.71	3.69	1.56	3.33
22	supprimé							
7 (Orphi)	2.58	2.6	2.75	2.81	2.78	2.62	1.86	2.71
8 (Orphi)	4.62	4.75	3.09	5.43	5.23	4.68	4.09	4.98
11	supprimé							
30 (Orphi)	5.15	5.23	3.35	5.76	5.73	5.7	2.9	5.24
19	supprimé							
20	2.67	2.86	3.44	3.72	3.55	3.2	1.4	3.28
41	supprimé							
42	supprimé							
43 (Orphi)	supprimé							
44	supprimé							
21	4.39	4.76	4.88	4.91	4.48	3.05	2.75	4.87
9	1.5	1.12	1.67	1.84	2	2.03	1.08	1.34
18	6	6.28	6.45	6.52	6.06	5.54	3.14	6.42
29	5.25	5.58	5.78	5.97	*	*	*	*
28	4.75	5.14	5.28	5.46	*	*	*	*
12	5.43	5.93	6.1	6.21	5.58	4.06	2.66	6.08
27	4.51	4.97	4.8	5.05	4.86	inondé	inondé	4.77
26	4.26	4.61	4.5	4.77	4.5	inondé	inondé	3.3
23	3.94	4.51	4.22	4.77	4.2	2.46	2.94	4.44
40	3.99	4.43			4.13	2.6	2.92	4.56
13	4.44	4.92	4.62	5.14	4.68	2.93	3.37	4.85
25	remplacé							
24	3.65	3.87	4.11	4.39	4.03	3.7	2.79	3.99
31 (Orphi)	5.62	5.29	5.15	5.59	5.89	5.52	3.99	5.08
1400			3.38	3.48	3.34	2.76	1.99	3.45
1402 (Orphi)			5.76	5.96	5.1	4.86	3.48	5.06
1405			4.17	4.28	4.2	3.99	3.9	4.32
1407			2.58	3.09	2.9	1.35	0.99	3.07
2426 (Orphi)			11.82	12.07	12.7	12.91	12.27	11.72
2427			16.77	sec	sec	sec	sec	16.77
2428			7.94	7.86	8.6	sec	8.03	7.93
1463			4.9	*	4.99	4.89	3.91	4.85
1457			8.31	8.4	8.5	8.49	7.02	8.3
1409			3.54	3.55	3.64	3.61	3.22	2.92
1409b (Orphi)			*	*	2.48	*	1.45	3.43

Rouge : cotes absolues NGF							
N°	X	Y	Z	25/08/99	06/10/99	25/10/99	16/11/99
Piézo.	LambertIII	LambertIII	ngf			26/10/99	
32	690560	147950	67.97	59.14	58.93	59.09	59.86
1	693000	145940	39.72	32.29	32.24	32.49	32.87
-			*				
15			*				
14 (Orphi)	692260	143550	32.07			27.15	27.48
3	691300	141980	39.97	33.88	34.11	34.56	35.28
4	691800	141050	31.12	27.1	27.18	27.77	28.8
5 (Orphi)	689730	140980	68.35				67.76
17			*				
16	691330	137420	30.08	26.65	27.08	28.47	29.61
6	691650	136730	22.98	19.75	20.4	21.19	21.51
22			*				
7 (Orphi)	691240	136060	21.98				20.14
8 (Orphi)	690210	134560	22.57				19.06
11			*				
30 (Orphi)	688670	133540	30				27.99
19			*				
20	690140	133210	18.52	15.02	16.16	17.12	17.26
41			*		/		
42			*				
43 (Orphi)			*				
44			*				
21	690780	132990	17.59		12.7	14.38	15.95
9	691850	133310	22.69	20.97	20.98	21.07	21.59
18	691640	132410	18.98	12.49	12.6	14.74	
29	689540	128730	15.47				10.66
28	689320	128590	14.48	9.16	8.97	10.21	
12	689100	127460	14.37	8.23	8.26	9.95	12.83
27	688160	125700	12.49	7.99	7.05	8.64	
26	687680	125410	12.16	6.88	7.53		
23	689150	120730	8.01	3.6	3.45	4.28	6.07
40	689730	119990	7.48	3.01	3	3.78	
13	689840	120840	8.61	3.82	3.61	4.39	6.15
25			*				
24	689500	123510	9.97	5.85	5.7	6.41	
31 (Orphi)	692650	141310	34.8			30.38	30.93
1400	697390	155510	104.7				
1402 (Orphi)	700320	153270	69.37				
1405	698090	152040	56.59				
1407	698130	155240	84.31				
2426 (Orphi)	699870	156110	65.28				
2427	698860	154860	68.16				
2428	698710	153440	56.87				
1463	692610	143530	31.35				
1457	692700	144180	35.74				
1409	697000	150480	49.48				
1409b (Orphi)	696900	150420	48.86				

N°	24/11/99	07/12/99	13/01/00	14/02/00	06/03/00	06/04/00	10/05/00
Piézo.					07/03/00		
32		59.6	59.48	59.29	59.18	59.07	58.97
1		33.07	32.91	32.71	32.56	32.37	32.26
-							
15							
14 (Orphi)	27.49	27.32	27.13	27.08	27.05	27.02	27
3		34.87	34.45	34.3	34.21	34.12	34.04
4		27.56	27.17	27.17	27.17	27.15	27.14
5 (Orphi)	67.58	67.34	66.9	66.87	66.8	66.74	66.83
17							
16		27.61	27.1	26.86	26.77	26.7	26.69
6		20.84	20.32	20.07	19.88	19.68	19.54
22							
7 (Orphi)	19.95	19.8	19.6	19.51	19.43	19.33	19.4
8 (Orphi)		18.04	17.91	17.92	17.89	17.89	17.95
11							
30 (Orphi)	27.57	27.1	25.82	25.54	25.21	24.93	24.85
19							
20		16.8	16.51	16.36	16.19	15.98	15.85
41				'			
42							
43 (Orphi)							
44							
21		13.12	12.9	12.83	12.82	12.99	13.2
9		21.55	21.45	21.57	21.53	21.37	21.19
18		13.13	12.77	12.69	12.66	12.72	12.98
29		10.06	9.82	9.78	9.79	9.94	10.22
28		9.55	2.31	9.22	9.26	9.42	9.73
12		8.92	8.55	8.44	8.41	8.58	8.94
27		7.76	7.61	7.59	7.56	7.61	7.98
26		8.54	7.77	7.65	7.59	7.61	7.9
23		3.97	3.74	3.73	3.78	3.84	4.07
40		3.53	3.36	3.42	3.39	3.35	3.49
13		4.07	3.87	3.87	3.86	3.96	4.17
25							
24		7.49	6.62	6.44	6.33	6.23	6.32
31 (Orphi)	30.33	30	29.51	29.36	29.29	29.2	29.18
1400							
1402 (Orphi)							
1405							
1407							
2426 (Orphi)							
2427							
2428							
1463							
1457							
1409							
1409b (Orphi)							

Nº	20/06/00	01/08/00	13/09/00	20/11/00	26/12/00	22/01/01	21/07/01
Piézo.			14/09/00		27/12/00	23/01/01	22/07/01
32	58.98	59.2	59.06	58.87	60.25	60.41	59.11
1	32.34	32.36	32.27	32.13	32.1	32.94	32.53
-							
15							
14 (Orphi)	27.04	27.01	26.97	26.94	26.97	27.84	27.04
3	34.21	34.23	34.01	33.88	33.89	34.99	34.08
4	27.14	27.16	27.14	27.11	27.15	28.57	27.11
5 (Orphi)	66.85	66.83	66.12	65.49	66.26	67.64	66.68
17							
16	26.72	26.65	26.57	26.55	26.69	27.97	26.63
6	19.72	19.58	19.39	18.27	19.29	21.42	19.65
22							
7 (Orphi)	19.38	19.23	19.17	19.2	19.36	20.12	19.27
8 (Orphi)	17.82	19.48	17.14	17.34	17.89	18.48	17.59
11							
30 (Orphi)	24.77	26.65	24.24	24.27	24.3	27.1	24.76
19							
20	15.66	15.08	14.8	14.97	15.32	17.12	15.24
41				/			
42							
43 (Orphi)							
44							
21	12.83	12.71	12.68	13.11	14.54	14.84	12.72
9	21.57	21.02	20.85	20.69	20.66	21.61	21.35
18	12.7	12.53	12.46	12.92	13.44	15.84	12.56
29	9.89	9.69	9.5				
28	9.34	9.2	9.02				
12	8.44	8.27	8.16	8.79	10.31	11.71	8.29
27	7.52	7.69	7.44	7.63			7.72
26	7.55	7.66	7.39	7.66			8.86
23	3.5	3.79	3.24	3.81	5.55	5.07	3.57
40	3.05			3.35	4.88	4.56	2.92
13	3.69	3.99	3.47	3.93	5.68	5.24	3.76
25							
24	6.1	5.86	5.58	5.94	6.27	7.18	5.98
31 (Orphi)	29.51	29.65	29.21	28.91	29.28	30.81	29.72
1400		101.344	101.244	101.384	101.964	102.734	101.274
1402 (Orphi)		63.61	63.41	64.27	64.51	65.89	64.31
1405		52.42	52.31	52.39	52.6	52.69	52.27
1407		81.73	81.22	81.41	82.96	83.32	81.24
2426 (Orphi)		53.46	53.21	52.58	52.37	53.01	53.56
2427		51.39					51.39
2428		48.93	49.01	48.27		48.84	48.94
1463		26.45		26.36	26.46	27.44	26.5
1457		27.43	27.34	27.24	27.25	28.72	27.44
1409		45.94	45.93	45.84	45.87	46.26	46.56
1409b (Orphi)				46.38		47.77	45.79

Relevés de la ligne d'eau de l'Hérault

Cotes d'eau en m NGF

N° Seuil	Nom Seuil	Distance (km)	Campagne avril 2000	Campagne mai 2000
	Pont Diable	0	40.5	42
	Gignac (amont)	6.3	39.6	41
	Gignac (aval)	6.301	32.6	35
s2	Aspiran (amont)	23.801	22.59	23.26
s2	Aspiran (aval)	23.802	20.6	21.73
s3	Belarga (amont)	25.921	20.21	20.82
s3	Belarga (aval)	25.922	18.31	19.29
s4	Laures (amont)	27.681	18.04	
s4	Laures (aval)	27.682	17.4	
s5	Roquemengarde (amont)	29.701	17.14	
s5	Roquemengarde (aval)	29.702	15.48	
s6	Cazouls (amont)	33.101	15.35	16.85
s6	Cazouls (aval)	33.102	13.17	14.7
s7	Près (amont)	36.531	12.75	
s7	Près (aval)	36.532	11.26	
s8	Pezenas (amont)	39.761	10.76	14.12
s8	Pezenas (aval)	39.762	8.89	11.09
s9	Conas (amont)	41.921	8.54	9.93
s9	Conas (aval)	41.922	7.65	9.93
s11	Pont Romain (amont)	48.271	7.54	
s11	Pont Romain (aval)	48.272	4.75	
s12	Florensac (amont)	50.581	4.78	5.805
s12	Florensac (aval)	50.582	3.94	5.805
s14	Bladier (amont)	53.531	4.06	
s14	Bladier (aval)	53.532	2	
mer	Mer	67.911	0	0

Annexe 2 : Nivellement des ouvrages

Points	X	Y	Z	Observations	Origine Z	
S1	692000	148250	37.54	Point le plus haut du clou	RNGF P.F.R3 - 84	45.441m
32	690560	147950	67.97	Marque orange	RNGF P.F.R3 - 81	69.444m
1	693000	145940	39.72	Marque orange sur dalle béton	RNGF P.F.R3 - 45a	37.754m
14	692260	143550	32.07	Marque orange sur margelle en pierre (mauvais pointage sur carte IGN)	RNGF P.F.R3 - 60	36.200m
3	691300	141980	39.97	Marque orange sur barre métallique	RNGF P.F.R3.S3 - 4	39.889m
S2	691630	141520	23.10	Boulon sur béton (marque orange)	RNGF P.F.R3.S3 - 4	39.889m
4	691800	141050	31.12	Marque orange sur margelle	RNGF P.F.R3.S3 - 4	39.889m
5	689730	140980	68.35	Marque orange sur grille	RNGF P.F.S3 - 39	68.490m
S3	692730	139770	21.09	Marque orange sur fer	RNGF P.F.R3 - 33	28.182m
S4	692180	137430	22.94	Clou d'arpentage (marque orange) sur le bord de la route	RNGF M.D.L3 - 78	30.522m
16	691330	137420	30.08	Marque orange sur margelle	RNGF M.D.L3 - 78	30.522m
6	691650	136730	22.98	Marque orange (trou béton)	RNGF M.D.L3 - 76	24.109m
7	691240	136060	21.98	Marque orange sur barre métallique dans le puits	RNGF M.D.L3 - 76	24.109m
R2	689870	134810	29.21	Marque rouge au sol devant le limnimètre	RNGF M.D.L3 - 3	23.443m
8	690210	134560	22.57	Sommet tube PVC (sans le bouchon)	RNGF M.D.L3 - 71	23.443m
30	688670	133540	30.00	Marque orange sur margelle	RNGF M.D.K3 - 175	35.845m
20	690140	133210	18.52	Marque orange estompée sur dalle béton	RNGF chantier ouvrage autoroute	16.719m
21	690780	132990	17.59	Marque rouge sur margelle béton	RNGF chantier ouvrage autoroute	16.719m
S6	691240	133510	18.57	Repère NGF	RNGF M.D.L3 - 89	18.571m
S7	689580	130850	13.31	Clou d'arpentage (marque orange) sur rampe d'accès au déversoir au pied du moulin	RNGF M.D.L3 - 33 bis	21.410m
R4	688020	129750	22.43	Clou d'arpentage (marque orange) sur parapet	RNGF M.D.K3 - 3	22.274m
F2	689600	128910	15.14	Marque orange sur forage	RNGF M.D.K3.L3 - 21	18.515m
29	689540	128730	15.47	Point le plus haut de la marque rouge sur le tube métallique	RNGF M.D.K3.L3 - 21	18.515m
28	689320	128590	14.48	Point le plus haut de la marque rouge sur le tube métallique	RNGF M.D.K3.L3 - 21	18.515m
F1	689280	128560	13.18	Centre plaque pleine	RNGF M.D.K3.L3 - 21	18.515m
P1	689270	128570	13.41	Point le plus haut de la marque rouge sur le tube métallique	RNGF M.D.K3.L3 - 21	18.515m
S8	689340	128450	10.96	Marque orange sur béton	RNGF M.D.K3.L3 - 21	18.515m

Points	X	Y	Z	Observations	Origine/Z
12	689100	127460	14.37	Marque orange sur puits couvert	RNGF M.D.L3 - 105
S9	688080	126640	9.93	Marque orange sur poutre métallique	RNGF M.D.K3.L3 - 13
27	688160	125700	12.49	Marque orange sur sommet tube au sol (mauvais pointage sur carte IGN)	RNGF M.D.K3.L3 - 13
26	687680	125410	12.16	Marque orange sur haut buse béton (mauvais pointage sur carte IGN)	RNGF M.D.K3.L3 - 13
R6	687290	122570	15.39	Marque orange au sol sur pont à côté du limnigraphé	RNGF M.D.K3.L3 - 7
S11	688770	122000	10.31	Marque orange sur rambarde verte	RNGF M.D.K3.L3 - 11
23	689150	120730	8.01	Marque orange sur tube	RNGF M.D.L3.M3 - 49
S12	690000	121050	9.12	Clou (marque orange) au sommet de la rampe béton	RNGF M.D.L3.M3 - 49
13	689840	120840	8.61	Marque orange sur sommet forage	RNGF M.D.L3.M3 - 49
40	689730	119990	7.48	Marque orange	RNGF M.D.L3.M3 - 49
S14	689900	118750	7.11	Marque orange sur béton en amont du grillage	RNGF M.D.M3 - 103
25	690280	121850	7.68	Marque orange sur béton	RNGF M.D.L3.M3 - 49
24bis	689500	123510	9.97	Nouvelle marque orange sur margelle puits à godets	RNGF M.D.L3 - 119
18	691640	132410	18.98	Marque orange sur dalle béton	RNGF M.D.L3 - 55
9	691850	133310	22.69	Marque orange sur margelle en pierre	RNGF M.D.L3 - 80
S5	692430	136190	23.42	Clou d'arpentage sur bande blanche au devant de l'axe de l'accès véhicules du moulin	RNGF M.D.L3 - 84
31	692650	141310	34.80	Marque orange sur margelle en pierre	RNGF P.F.R3 - 39
1400	697390	155510	104.72	Marque rouge sur barre métallique	RNGF P.F.M3 - 172
1402	700320	153270	69.37	Marque rouge sur margelle béton	RNGF P.F.M3.R3 - 5
1405	698090	152040	56.59	Marque rouge sur barre métallique	RNGF P.F.M3.R3 - 12
1407	698130	155240	84.31	Marque rouge sur margelle	RNGF P.F.M3 - 183
2426	699870	156110	65.28	Marque rouge sur capot tubage	RNGF P.F.M3.Q3 - 3
2427	698860	154860	68.16	Marque rouge sur capot tubage	RNGF P.F.M3 - 185
2428	698710	153440	56.87	Marque rouge sur capot tubage	RNGF P.F.M3 - 180
1463	692610	143530	31.35	Marque rouge sur margelle	RNGF P.F.R3 - 73
1457	692700	144180	35.74	Marque rouge sur margelle	RNGF P.F.R3 - 61b
1409	697000	150480	49.48	Marque rouge sur margelle	RNGF P.F.R3 - 99
1409b	696900	150420	48.86	Marque rouge sur margelle près tube PVC	RNGF P.F.R3 - 99

Annexe 3 : Données géochimiques

Les données géochimiques acquises dans le cadre de cette étude sont présentées ci-après sous forme de tableaux. Les données sont présentées par campagne de prélèvement.

Tableau 1 : paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* lors de la campagne d'août 1999.

Vallée de l'Hérault

Campagne Août 1999

Nom géochimie	N°	nom formation	Date prélèvement	Piézo (m)	Cond. (mS/cm)	T °C	pH	Eh mV	O2 (mg/l)
TS2	1	All moy Terrasse (10-20 m)	18/08/99	5.76	0.789	17.2	7.29	121	nd
TS3	14	All moy Terrasse (10-20 m)	18/08/99	4.98	0.952	17.9	7.10	248	nd
TS4	4	All Terrasse intermédiaire (5-10 m)	18/08/99		0.874	16.7	7.21	258	nd
TS5	16	All moy Terrasse (10-20 m)	18/08/99	4.05	0.951	16.8	6.89	178	nd
TS6	30	All moy Terrasse (10-20 m)	18/08/99	3.95	0.778	19.9	7.11	nd	nd
ALL1	21	Alluvions récentes	18/08/99	4.84	0.653	16.4	7.49	nd	nd
ALL2	28	Alluvions récentes	18/08/99	5.15	0.463	21.2	7.77	nd	nd
ALL4	26	Alluvions récentes	19/08/99	4.46	0.672	16.4	nd	nd	nd
ALL6	24	Alluvions récentes	19/08/99	4.07	0.802	17.2	nd	nd	nd
ALL7	25	Alluvions récentes	19/08/99	3.28	0.644	18.1	7.36	nd	nd
ALL9	23	Alluvions récentes	19/08/99	4.40	0.580	18.5	nd	nd	nd
ALL10	13	Alluvions récentes	19/08/99	nd	0.535	18.6	nd	nd	nd
ALL11	40	Alluvions récentes	19/08/99	4.50	1.000	16.5	7.18	140	nd
TI2	9	All Terrasse intermédiaire (8-10 m)	19/08/99	1.44	1.142	18.0	7.57	21	nd
CC1	33	crétacé	19/08/99		0.925	15.7	7.10	125	nd
R1	He-4	Herault	18/08/99		0.460	23.5	8.14	259	nd
R2	Bo	La Boyne	18/08/99		0.720	18.7	7.43	181	nd
R3	He-5	Herault	18/08/99		0.466	23.8	8.07	162	nd
R4	Pe	La Payne	18/08/99		0.832	20.8	7.96	153	nd
R5	He-6	Herault	18/08/99		0.474	23.8	8.06	152	nd
R6	Th	La Thongue	19/08/99		0.977	24.8	nd	nd	nd
R7	He-7	Herault	19/08/99		0.492	23.5	nd	nd	nd

nd = non dosé

Tableau 2 : paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* lors de la campagne d'octobre 1999.

Vallée de l'Hérault

Campagne Octobre 1999

Nom géochimie	N°	nom formation	Date prélèvement	Piézo (m)	Cond. (mS/cm)	T °C	pH	Eh mV	O2 (mg/l)
TS1	32	Alluvions Haute Terrasse (20-30 m)	25/10/1999	8.88	1.080	16.7	7.10	80	2.51
TS2	1	All moy Terrasse (10-20 m)	26/10/1999	5.52	0.653	18.0	7.22	109	7.25
TS3	14	All moy Terrasse (10-20 m)	25/10/1999	4.92	0.866	17.6	7.16	112	6.42
TS4	4	All Terrasse intermédiaire (5-10 m)	25/10/1999		0.755	17.0	7.10	121	7.89
TS5	16	All moy Terrasse (10-20 m)	25/10/1999	2.08	0.665	18.6	7.35	158	6.43
TS6	30	All moy Terrasse (10-20 m)	25/10/1999	2.06	0.935	19.4	7.09	168	3.84
ALL1	21	Alluvions récentes	25/10/1999	3.21	0.356	18.0	7.50	163	6.81
ALL2	28	Alluvions récentes	26/10/1999	4.27	0.423	20.9	7.70	126	2.47
ALL3	26	Alluvions récentes	26/10/1999	4.42	0.378	15.8	7.51	132	5.61
ALL5	27	Alluvions récentes	26/10/1999	3.85	0.281	15.1	7.57	59	2.07
ALL6	24	Alluvions récentes	26/10/1999	3.56	0.697	18.0	7.32	-296	0.70
ALL7	25	Alluvions récentes	26/10/1999	2.63	0.688	17.0	7.31	142	2.19
ALL9	23	Alluvions récentes	26/10/1999	3.73	0.510	16.0	7.41	18	2.90
ALL10	13	Alluvions récentes	26/10/1999		0.441	18.4	7.51	161	2.55
ALL11	40	Alluvions récentes	26/10/1999	3.70	0.903	16.2	7.11	-6	1.67
TI1	31	Limons et sables éoliens	26/10/1999	4.42	0.380	17.7	7.61	87	6.46
TI2	9	All Terrasse intermédiaire (8-10 m)	25/10/1999	1.62	1.016	18.3	7.54	139	3.07
CC1	33	Crétacé	26/10/1999		0.834	16.7	7.18	74	6.33
R1	He-4	Herault	25/10/1999		0.352	14.6	8.04	189	9.99
R2	Bo	La Boyne	25/10/1999		0.677	17.1	7.65	153	7.68
R3	He-5	Herault	26/10/1999		0.379	14.7	8.10	135	7.58
R4	Pe	La Peyne	26/10/1999		0.790	15.8	7.80	139	8.62
R5	He-6	Herault	26/10/1999		0.391	14.7	7.96	125	9.19
R6	Th	La Thongue	26/10/1999		0.730	16.0	8.11	113	9.04
R7	He-7	Herault	26/10/1999		0.373	15.0	8.00	110	9.57

Tableau 3 : paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* lors de la campagne du 12 mai 2000.

Vallée de l'Hérault

Campagne 12 mai 2000

Nom géochimie	N°	nom formation	Date prélèvement	Piézo (m)	Cond. (mS/cm)	T °C	pH	Eh mV	O2 (mg/l)
TS1	32	Alluvions Haute Terrasse (20-30 m)	12/05/2000	8.88	1.573	16.1	7.67	191	5.87
TS2	1	All moy Terrasse (10-20 m)	12/05/2000	7.39	0.762	16.2	7.45	217	8.18
TS3	14	All moy Terrasse (10-20 m)	12/05/2000	5.03	0.865	15.4	7.33	208	7.00
TS4	4	All Terrasse intermédiaire (5-10 m)	12/05/2000		0.699	16.0	7.42	196	6.90
TS5	16	All moy Terrasse (10-20 m)	12/05/2000	3.71	0.848	15.5	7.26	180	5.28
TS6	30	All moy Terrasse (10-20 m)	12/05/2000	4.66	0.742	15.9	7.42	205	4.09
ALL1	21	Alluvions récentes	12/05/2000	3.88	0.685	15.5	7.52	185	4.33
ALL2	28	Alluvions récentes	12/05/2000	3.35	0.373	14.8	8.03	153	5.52
ALL4	26	Alluvions récentes	12/05/2000	3.86	0.645	15.3	7.68	214	4.32
ALL9	23	Alluvions récentes	12/05/2000	3.15	0.568	18.5	7.54	135	5.32
ALL10	13	Alluvions récentes	12/05/2000		0.534	16.6	7.63	129	4.60
ALL11	40	Alluvions récentes	12/05/2000	3.27	0.900	16.7	7.30	-13	3.63
TI1	31	Limons et sables éoliens	12/05/2000	5.06	0.419	15.7	7.85	154	8.12
TI2	9	All Terrasse intermédiaire (8-10 m)	12/05/2000	1.30	0.947	15.5	7.85	149	6.37
CC1	33	Crétacé	12/05/2000		0.959	16.1	7.16	163	6.67
R1	He-4	Herault	12/05/2000		0.370	14.5	8.43	177	8.64
R2	Bo	La Boyne	12/05/2000		0.672	16.9	8.25	158	8.06
R3	He-5	Herault	12/05/2000		0.369	14.9	8.38	169	8.64
R4	Pe	La Payne	12/05/2000		0.750	17.7	7.98	161	6.84
R6	Th	La Thongue	12/05/2000		0.711	18.3	8.05	169	6.84
R7	He-7	Herault	12/05/2000		0.372	14.9	8.38	91	8.92

Tableau 4 : paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* lors de la campagne du 16 mai 2000.

Vallée de l'Hérault

Campagne 16 mai 2000

Nom géochimie	N°	nom formation	Date prélèvement	Piézo (m)	Cond. (mS/cm)	T °C	pH	Eh mV	O2 (mg/l)
TS1	32	Alluvions Haute Terrasse (20-30 m)	16/05/2000	8.98	1.892	16.9	7.49	88	3.51
TS2	1	All moy Terrasse (10-20 m)	16/05/2000	7.36	0.745	16.9	7.52	119	7.63
TS3	14	All moy Terrasse (10-20 m)	16/05/2000	5.00	0.867	16.3	7.33	124	6.66
TS4	4	All Terrasse intermédiaire (5-10 m)	16/05/2000		0.710	16.0	7.48	140	6.92
TS5	16	All moy Terrasse (10-20 m)	16/05/2000	3.68	0.864	16.0	7.30	144	4.91
TS6	30	All moy Terrasse (10-20 m)	16/05/2000	4.72	0.761	16.0	7.35	173	2.98
ALL1	21	Alluvions récentes	16/05/2000	4.00	0.684	15.6	7.52	160	4.72
ALL2	28	Alluvions récentes	16/05/2000	4.45	0.376	14.9	8.09	137	5.40
ALL4	26	Alluvions récentes	16/05/2000	3.92	0.628	15.2	7.82	158	4.36
ALL9	23	Alluvions récentes	16/05/2000	3.84	0.563	19.1	7.58	47	4.94
ALL10	13	Alluvions récentes	16/05/2000		0.530	17.0	7.72	100	4.15
ALL11	40	Alluvions récentes	16/05/2000	3.77	0.915	16.6	7.35	-29	4.25
TI1	31	Limons et sables éoliens	16/05/2000	5.02	0.438	16.3	7.90	211	7.04
TI2	9	All Terrasse intermédiaire (8-10 m)	16/05/2000	1.10	0.928	16.3	7.86	198	6.27
CC1	33	Crétacé	16/05/2000		0.967	15.9	7.25	191	6.71
R1	He-4	Herault	16/05/2000		0.360	16.9	8.33	93	8.78
R2	Bo	La Boyne	16/05/2000		nd.	nd.	nd.	nd.	nd.
R3	He-5	Herault	16/05/2000		0.370	18.2	8.45	136	8.44
R4	Pe	La Payne	16/05/2000		0.863	19.9	7.94	174	7.08
R6	Th	La Thongue	16/05/2000		1.004	22.3	8.23	141	6.77
R7	He-7	Herault	16/05/2000		0.380	17.8	8.41	70	7.58

nd = non dosé

Tableau 5 : paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* lors de la campagne d'Août 2000.

Vallée de l'Hérault

Campagne d'août 2000

Nom géochimie	N°	nom formation	Date prélèvement	Piézo (m)	Cond. (mS/cm)	T °C	pH	Eh mV	O2 (mg/l)
1400	1400		17/08/2000		0.588	18.8	7.00	259	nd
1407	1407	Alluvions Haute Terrasse (20-30 m)	17/08/2000		0.596	19.8	7.48	236	nd
2428	2428	All moy Terrasse (10-20 m)	17/08/2000		0.474	22.8	7.35	187	nd
2426	2426	All moy Terrasse (10-20 m)	17/08/2000		0.286	18.0	7.41	224	nd
1405	1405	All moy Terrasse (10-20 m)	17/08/2000		0.703	18.0	7.12	181	nd
1409	1409	All moy Terrasse (10-20 m)	17/08/2000		0.540	19.0	7.15	-172	nd
1469	1469	All moy Terrasse (10-20 m)	17/08/2000		0.500	17.9	7.27	9	nd
1471	1471	All moy Terrasse (10-20 m)	17/08/2000		0.696	19.9	7.25	55	nd
14=TS3	14	All moy Terrasse (10-20 m)	17/08/2000		0.880	19.8	6.83	158	nd
1457	1457	All moy Terrasse (10-20 m)	17/08/2000		1.172	17.6	6.66	148	nd
hérault -1	He-1	Hérault	17/08/2000		0.362	23.2	7.82	250	nd
hérault -2	He-2	Hérault	17/08/2000		0.356	27.8	8.19	54	nd
hérault -3	He-3	Hérault	17/08/2000		0.437	26.8	8.11	145	nd
la Lergue	Le	Lergue	17/08/2000		0.605	26.4	8.25	131	nd

Tableau 6 : résultats des analyses effectuées sur les eaux échantillonnées lors de la campagne d'août 1999.

Vallée de l'Hérault

Campagne Août 1999

Nom géochimie	N°	Date prélevement	HCO3 (mg/l)	NH4 (mg/l)	B ($\mu\text{g/l}$)	Ba ($\mu\text{g/l}$)	Br ($\mu\text{g/l}$)	Ca (mg/l)	Cl (mg/l)	Mg (mg/l)	NO3 (mg/l)	K (mg/l)	Rb ($\mu\text{g/l}$)	SiO2 (mg/l)	Na (mg/l)	Sr ($\mu\text{g/l}$)	SO4 (mg/l)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	+/- 2σ	$\delta^{18}\text{O}\text{\%}$ SMOW	$\delta\text{D}\text{\%}$ SMOW
TS2	1	18/08/99	322.2	<0.1	7	81	97	101.0	23.6	27.6	56.1	0.6	0.3	nd	11.7	164	67.8	0.708233	0.000007	-5.9	-35.5
TS3	14	18/08/99	408.6	<0.1	13	76	141	137.0	39.2	28.1	24.6	1.5	0.3	nd	15.8	426	109.0	0.708328	0.000008	-6.0	-35.8
TS4	4	18/08/99	432.0	<0.1	58	77	79	136.0	27.4	20.2	31.6	0.8	0.2	nd	14.1	159	54.6	0.708393	0.000007	-6.1	-36.6
TS5	16	18/08/99	415.7	<0.1	30	91	131	143.0	40.0	18.0	23.5	3.2	0.1	nd	22.2	186	95.8	0.708972	0.000008	-6.1	-36.4
TS6	30	18/08/99	349.6	<0.1	23	67	156	110.0	38.5	14.6	16.2	0.9	0.2	nd	25.5	260	64.1	0.707862	0.000006	-6.0	-36.0
ALL1	21	18/08/99	315.1	<0.1	21	146	87	83.3	23.7	17.3	5.4	5.3	1.1	nd	14.4	224	53.5	0.708753	0.000007	-5.5	-33.3
ALL2	28	18/08/99	231.7	<0.1	20	96	21	60.6	11.2	13.5	2.2	1.7	1.5	nd	10.1	184	42.1	0.708677	0.000007	-5.7	-34.6
ALL4	26	19/08/99	359.8	<0.1	21	113	83	94.4	15.3	16.3	12.4	3.2	1.4	nd	10.4	245	41.3	0.708796	0.000008	-5.3	-31.3
ALL6	24	19/08/99	358.8	<0.1	23	166	152	112.0	33.6	18.9	12.3	2.5	1.0	nd	21.0	289	75.5	0.708936	0.000008	-6.0	-35.2
ALL7	25	19/08/99	271.4	<0.1	21	118	123	87.3	27.1	14.6	10.9	3.8	0.8	nd	16.4	242	68.2	0.709106	0.000006	-6.0	-36.3
ALL9	23	19/08/99	271.4	<0.1	28	79	71	78.6	22.5	16.7	5.1	3.6	1.0	nd	17.3	218	59.6	0.708708	0.000007	-6.2	-35.7
ALL10	13	19/08/99	262.2	<0.1	36	101	57	68.4	17.3	15.0	3.0	2.3	1.1	nd	13.5	208	45.1	0.708740	0.000006	-6.1	-35.7
ALL11	40	19/08/99	458.4	<0.1	33	65	164	121.0	36.2	38.3	5.5	1.7	1.2	nd	30.5	299	132.0	0.709250	0.000007	-6.3	-36.7
T12	9	19/08/99	269.3	<0.1	21	42	174	129.0	76.9	43.1	-0.1	1.4	0.6	nd	37.1	384	281.0	0.708818	0.000000	-4.2	-25.1
CC1	33	19/08/99	409.6	<0.1	18	33	226	165.0	49.3	6.6	8.2	0.6	0.3	nd-	23.7	192	85.5	0.708415	0.000007	-5.7	-32.8
R1	He-4	18/08/99	232.8	<0.1	21	77	25	53.1	10.3	16.7	1.3	1.4	1.2	nd	8.6	214	42.9	0.708511	0.000007	-5.9	-35.0
R2	Bo	18/08/99	301.9	<0.1	17	115	87	72.5	34.1	22.2	5.4	2.1	0.3	nd	19.2	273	75.9	0.708212	0.000008	-5.3	-32.3
R3	He-5	18/08/99	233.8	<0.1	24	76	15	48.0	10.9	16.3	1.4	1.7	1.1	nd	9.0	205	41.7	0.708534	0.000007	-5.8	-34.7
R4	Pe	18/08/99	313.0	<0.1	73	76	104	89.2	41.8	24.3	4.0	3.2	0.5	nd	24.9	399	118.0	0.708524	0.000007	-5.2	-31.9
R5	He-6	18/08/99	236.8	<0.1	26	76	10	50.2	11.5	16.1	1.6	1.8	1.0	nd	9.3	205	42.7	0.708674	0.000006	-5.9	-35.3
R6	Th	19/08/99	283.6	<0.1	219	63	191	94.1	86.9	23.5	9.7	5.7	1.3	nd	49.1	409	144.0	0.708917	0.000007	-5.2	-32.1
R7	He-7	19/08/99	234.8	<0.1	31	75	9	50.8	13.8	15.8	2.5	1.9	0.9	nd	10.9	205	42.8	0.708579	0.000006	-5.7	-34.5

nd = non dosé

Tableau 7 : résultats des analyses effectuées sur les eaux échantillonnées lors de la campagne d'octobre 1999.

Vallée de l'Hérault

Campagne Octobre 1999

Nom géochimie	N°	Date prélèvement	HCO3 mg/l	NH4 mg/l	B ($\mu\text{g/l}$)	Ba $\mu\text{g/l}$	Br $\mu\text{g/l}$	Ca mg/l	Cl mg/l	Mg mg/l	NO3 mg/l	K mg/l	Rb $\mu\text{g/l}$	SiO2	Na mg/l	Sr $\mu\text{g/l}$	SO4 mg/l	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	+/- 2 σ	$\delta^{18}\text{O} \text{\textperthousand}$ SMOW	$\delta\text{D} \text{\textperthousand}$ SMOW
TS1	32	25/10/99	340.5	0.4	56	38	334	167	87.6	31.5	131	2.7	1	nd	23.9	418	85.6		-5.6	-32.2	
TS2	1	26/10/99	330.3	<0.1	63	15	65	101	24.8	28.4	42.4	1.2	0.3	nd	12.4	149	66.7		-6.0	-34.8	
TS3	14	25/10/99	405.5	<0.1	59	17	104	141	41	31.0	21.5	2.1	0.3	nd	15.9	370	106	0.708452 0.000007	-6.0	-33.9	
TS4	4	25/10/99	415.7	<0.1	61	31	65	131	28.3	21.2	25.5	1.4	0.3	nd	14.3	147	55.9		-6.1	-35.5	
TS5	16	25/10/99	326.3	<0.1	55	13	94	125	44	14.7	12.8	3.4	0.4	nd	16.1	141	53.9	0.709170 0.000008	-7.3	-43.1	
TS6	30	25/10/99	321.2	<0.1	67	17	170	145	45.7	21.7	91.2	2	0.3	nd	30.1	299	123	0.707850 0.000008	-5.4	-31.2	
ALL1	21	25/10/99	258.2	<0.1	80	8	38	74	7.6	9.6	6.1	3	1.5	nd	6.1	137	17.4		-6.6	-36.7	
ALL2	28	26/10/99	247.0	<0.1	79	17	30	69	14.6	16.7	1.6	2.4	1.7	nd	11	180	42.2	0.708850 0.000009	-6.1	-34.6	
ALL3	26	26/10/99	252.1	<0.1	96	10	32	74	8.7	10.1	3.3	4.2	1.2	nd	9	177	27	0.708700 0.000008	-6.7	-34.7	
ALL5	27	26/10/99	219.5	<0.1	51	5	20	58	5.9	6.5	0.5	3.3	1.2	nd	3.7	88	11.2		-6.8	-38.5	
ALL6	24	26/10/99	372.0	0.8	135	20	112	112	34	20.6	1	4	1.6	nd	22.2	260	69.8	0.709107 0.000009	-5.9	-34.0	
ALL7	25	26/10/99	344.6	<0.1	103	24	115	105	35	20.5	9	3	0.7	nd	21.7	268	81.9		-6.1	-34.9	
ALL9	23	26/10/99	275.4	<0.1	68	22	56	74	23	18.1	4	3	0.9	nd	16.7	202	52.3		-5.8	-34.1	
ALL10	13	26/10/99	256.1	<0.1	68	25	39	66	17	17.0	2	2	0.9	nd	13.4	190	43.8	0.708972 0.000012	-6.0	-34.5	
ALL11	40	26/10/99	453.3	<0.1	50	26	107	111	37	41.0	5	1	1.1	nd	30.1	266	125	0.709547 0.000007	-6.1	-35.6	
TI1	31	26/10/99	272.4	<0.1	56	9	32	66	10	12.3	4	4	0.6	nd	6.5	113	14.5	0.708965 0.000009	-6.8	-39.0	
TI2	9	25/10/99	259.2	<0.1	31	13	113	119	79	44.2	1	1	0.5	nd	37.2	326	257		-4.2	-24.5	
CC1	33	26/10/99	377.1	<0.1	21	15	165	163	51	5.8	24	0	0.3	nd	22	158	88.9		-5.8	-32.4	
R1	He-4	25/10/99	250.0	<0.1	28	6	32	70	7.9	9.1	2.2	1.2	0.8	nd	6.0	113	18.9	0.708661 0.000007	-6.3	-34.3	
R2	Bo	25/10/99	337.4	<0.1	72	28	84	102	35.3	24.0	7.5	2.6	0.5	nd	20.0	237	80.6	0.708202 0.000007	-5.9	-34.5	
R3	He-5	26/10/99	259.2	<0.1	34	9	32	72	8.4	10.1	2.5	1.4	0.8	nd	6.0	122	22.5		-6.3	-34.6	
R4	Pe	26/10/99	342.5	<0.1	58	54	104	107	44.1	25.5	5.2	3.5	0.7	nd	25.4	351	118.0		-5.2	-30.2	
R5	He-6	26/10/99	269.3	<0.1	36	12	35	71	9.9	11.0	2.6	1.3	0.8	nd	6.8	131	25.5		-6.2	-34.2	
R6	Th	26/10/99	339.5	<0.1	44	81	120	125	60.7	24.6	5.5	4.7	0.5	nd	35.5	375	141.0		-5.8	-34.7	
R7	He-7	26/10/99	256.1	<0.1	36	9	31	74	9.2	10.5	2.6	1.3	0.8	nd	6.4	122	23.4	0.708695 0.000009	-6.2	-34.8	

nd = non dosé

Tableau 8 : résultats des analyses effectuées sur les eaux échantillonnées lors de la campagne du 12 mai 2000.

Vallée de l'Hérault

Campagne 12 mai 2000

Nom géochimie	N°	Date prélèvement	HCO3 (mg/l)	NH4 (mg/l)	B (µg/l)	Ba (µg/l)	Br (µg/l)	Ca (mg/l)	Cl (mg/l)	Mg (mg/l)	NO3 (mg/l)	K (mg/l)	Rb (µg/l)	SiO2 (mg/l)	Na (µg/l)	Sr (µg/l)	SO4 (mg/l)	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$	+/- 2σ	$\delta^{18}\text{O} \text{\%}$ SMOW	$\delta D \text{\%}$ SMOW
TS1	32	12/05/00	322.4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
TS2	1	12/05/00	385.6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
TS3	14	12/05/00	414.2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
TS4	4	12/05/00	868.0	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
TS5	16	12/05/00	694.4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
TS6	30	12/05/00	508.4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
ALL1	21	12/05/00	376.3	<0.1	25	153	55	108	26.9	24.5	3.3	2.7	1.4	14.6	17.6	244	63	0.708937	0.000008	-5.9	-33.5
ALL2	28	12/05/00	224.0	<0.1	20	66	9	58.4	9.3	14.1	1.7	1.2	0.9	4.7	8.6	146	26.5	0.708855	0.000008	-6.5	-37.6
ALL4	26	12/05/00	339.8	<0.1	23	103	71	113	16.7	18.3	15.4	3.3	1.1	9.5	10.7	232	48.5	0.708925	0.000008	-5.6	-32.5
ALL9	23	12/05/00	294.9	<0.1	28	90	71	86	26.1	19.7	3.6	3.6	1.1	10	17	211	56.2	0.708958	0.000007	-6.2	-36.2
ALL10	13	12/05/00	274.4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
ALL11	40	12/05/00	460.0	<0.1	33	68	131	128	37.9	41.9	3.7	1.4	1.2	15.1	30	273	117	0.709644	0.000007	-6.1	-35.1
TI1	31	12/05/00	270.9	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
TI2	9	12/05/00	224.4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
CC1	33	12/05/00	376.3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
R1	He-4	12/05/00	241.4	<0.1	6	29	-1	68.5	6.3	9	1.4	0.8	0.5	4.9	4.4	106	13.3	0.708594	0.000008	-6.0	-34.8
R2	Bo	12/05/00	308.8	<0.1	17	69	42	96.8	33.9	27.2	4.7	2.1	0.6	11.8	19.3	248	86.2	0.708380	0.000006	-5.1	-29.7
R3	He-5	12/05/00	242.2	<0.1	6	28	2	70.1	6.2	9.1	0.9	0.9	0.6	4.6	4.4	108	14.3	0.708584	0.000008	-6.0	-35.3
R4	Pe	12/05/00	293.0	<0.1	29	58	65	111	44	23.5	6.7	3.1	0.6	10.5	23.7	333	115	0.708816	0.000008	-4.7	-26.5
R6	Th	12/05/00	256.9	<0.1	43	44	79	102	50.3	21.3	7.3	3.9	0.7	11	26.5	301	110	0.709218	0.000008	-4.4	-24.9
R7	He-7	12/05/00	239.9	<0.1	9	29	3	68.7	7.4	9.4	1.4	0.8	0.6	4.7	4.6	108	14.5	0.708600	0.000008	-6.0	-34.9

nd = non dosé

Tableau 9 : résultats des analyses effectuées sur les eaux échantillonnées lors de la campagne du 16 mai 2000.

Vallée de l'Hérault

Campagne 16 mai 2000

Nom géochimie	N°	Date prélèvement	HCO3 mg/l	NH4 mg/l	B μg/l	Ba μg/l	Br μg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	Mg mg/l	NO3 mg/l	K μg/l	Rb μg/l	SiO2 mg/l	Na mg/l	Sr μg/l	SO4 mg/l	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	+/- 2σ	$\delta^{18}\text{O} \text{\%}$ SMOW	$\delta\text{D} \text{\%}$ SMOW
TS1	32	16/05/00	311.9	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
TS2	1	16/05/00	366.2	<0.1	18	73	64	115	26.6	32.8	34	0.8	0.3	13.6	12.1	155	66.6	0.708339	0.000007	-5.8	-34.8
TS3	14	16/05/00	354.6	<0.1	19	64	107	147	39.3	30.9	18.9	1.6	0.3	12.2	16.3	342	108	0.708451	0.000007	-6.0	-34.7
TS4	4	16/05/00	311.9	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
TS5	16	16/05/00	421.2	<0.1	30	68	113	158	40.4	21.5	24.3	1.8	0.2	11.5	18.7	160	93.3	0.709228	0.000008	-6.2	-35.5
TS6	30	16/05/00	310.4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
ALL1	21	16/05/00	376.3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
ALL2	28	16/05/00	222.8	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
ALL4	26	16/05/00	369.7	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
ALL9	23	16/05/00	290.2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
ALL10	13	16/05/00	269.3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
ALL11	40	16/05/00	460.4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
TI1	31	16/05/00	269.3	<0.1	16	53	21	72.6	10.7	15.3	2.3	2.6	0.5	8.8	6.4	118	21.2	0.708990	0.000007	-6.5	-35.5
TI2	9	16/05/00	243.0	<0.1	17	31	58	128	76.1	40.7	0.6	1.2	0.4	9.7	34.7	263	241	0.709004	0.000008	-4.4	-25.5
CC1	33	16/05/00	375.9	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
R1	He-4	16/05/00	222.8	<0.1	9	30	3	64.8	7.6	10.5	0.9	0.9	0.8	5.4	5	116	18.5	0.708754	0.000008	-6.2	-36.0
R2	Bo	16/05/00	332.5	<0.1	23	92	53	107	39.9	26.8	5.4	2.1	0.5	10.7	21	266	90.6	0.708269	0.000007	-5.3	-30.7
R3	He-5	16/05/00	223.6	<0.1	10	32	4	63.3	8.2	10.6	1	0.8	0.8	5.5	5.5	119	20.2	0.708758	0.000008	-6.1	-35.3
R4	Pe	16/05/00	348.4	<0.1	46	69	84	136	56.9	28.1	5.9	3.1	0.7	11.1	27.8	408	138	0.708766	0.000008	-5.2	-30.3
R6	Th	16/05/00	353.4	<0.1	75	60	120	144	82	30.1	6	4.2	0.9	11.9	41.4	422	169	0.709121	0.000007	-5.0	-29.1
R7	He-7	16/05/00	227.5	<0.1	16	34	9	65.2	8.1	11.1	0.9	1.1	0.8	5.9	6.1	129	22	0.708768	0.000007	-6.1	-35.4

nd = non dosé

Tableau 10 : résultats des analyses effectuées sur les eaux échantillonnées lors de la campagne d'août 2000.

Vallée de l'Hérault

Campagne d'août 2000

Nom géochimie	N°	Date prélèvement	HCO3 mg/l	NH4 mg/l	B µg/l	Ba µg/l	Br µg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	NO3 mg/l	K mg/l	Rb µg/l	SiO2 mg/l	Na µg/l	Sr µg/l	SO4 mg/l	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$	+/- 2σ	$\delta^{18}\text{O}\%$ SMOW	$\delta\text{D}\%$ SMOW	
1400	1400	17/08/00	317.4	<0.1	10	8	57	120	19.9	2	4.6	0.6	0.3	6.3	7.7	44	33.9	0.709118	0.000008	-6.0	-34.5
1407	1407	17/08/00	244.1	<0.1	30	11	93	123	14.7	<1	3.9	1.7	0.3	10.5	8.4	132	41	0.708861	0.000007	-5.3	-29.0
2428	2428	17/08/00	254.2	<0.1	20	9	40	85.6	14.4	<1	9.2	0.7	0.3	4.7	7.3	81	35.5	0.709251	0.000007	-5.8	-33.3
2426	2426	17/08/00	231.0	<0.1	11	7	27	67.9	7.6	<1	8.9	0.7	0.1	6.7	5	55	18.2	0.709215	0.000007	-6.2	-33.6
1405	1405	17/08/00	356.9	<0.1	47	8	138	125	14	2	14.1	<0.3	0.2	7.3	10.3	125	35.2	0.709553	0.000008	-6.1	-33.9
1409	1409	17/08/00	370.1	<0.1	44	47	47	99.9	10.1	5	14.3	0.7	0.4	9.5	11	111	16	0.708934	0.000008	-6.5	-37.1
1469	1469	17/08/00	281.3	<0.1	55	14	34	77.2	14.1	1	17	3.4	0.6	10.1	8.2	134	32.3	0.709013	0.000008	-6.4	-36.0
1471	1471	17/08/00	377.4	<0.1	57	27	88	122	28.4	1	16	2.3	0.3	12.8	14.5	133	53.4	0.708775	0.000007	-6.2	-35.4
14=TS3	14	17/08/00	408.8	<0.1	54	17	102	145	38.2	1	28.8	1.4	0.3	13.2	16.3	354	108	0.708446	0.000008	-6.0	-34.4
1457	1457	17/08/00	444.9	<0.1	73	389	101	157	64.7	2	29.5	2.5	0.8	14.6	60.2	283	44.2	0.708895	0.000007	-4.7	-27.5
hérault -1	He-1	17/08/00	226.7	<0.1	50	6	16	54.9	7.4	<1	14	0.9	0.9	3.4	5.2	75	14.4	0.708996	0.000007	-6.4	-35.9
hérault -2	He-2	17/08/00	217.0	<0.1	53	12	22	54.3	7.4	2	13.8	1	1	3.2	5.8	67	14.5	0.709038	0.000008	-6.2	-36.0
hérault -3	He-3	17/08/00	223.6	<0.1	60	28	37	60.1	10.9	4	17.1	1.7	1.5	4.5	10.1	174	44.3	0.708828	0.000007	-5.9	-34.2
la Lergue	Le	17/08/00	261.2	<0.1	44	107	34	75.3	12.4	3	28.4	2.8	3.6	6.7	18.8	457	122	0.708716	0.000007	-5.9	-34.0

**BRGM
SERVICE EAU
Unité RMD**

BP 6009 – 45090 Orléans cedex 2 – France – Tél. : 33 (0)2 38 64 34 34