

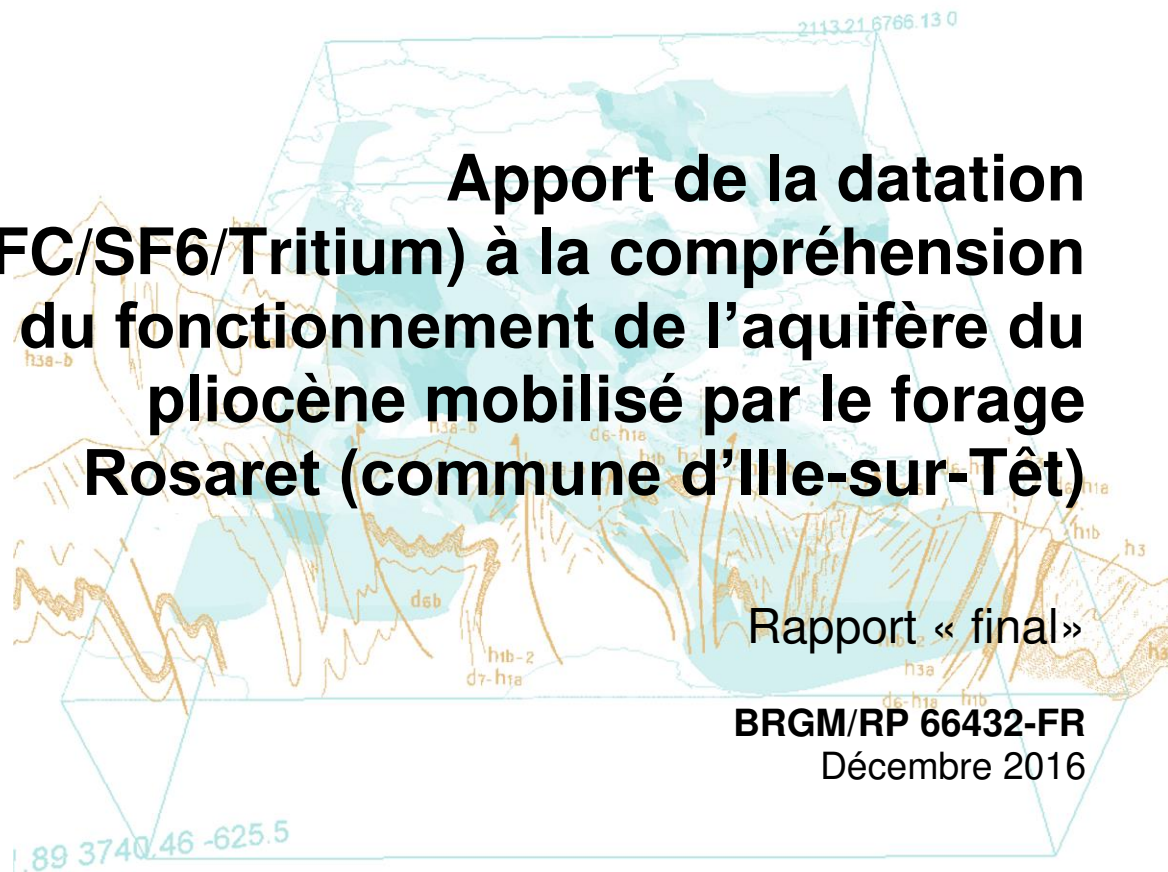


**Apport de la datation
(CFC/SF6/Tritium) à la compréhension
du fonctionnement de l'aquifère du
pliocène mobilisé par le forage
Rosaret (commune d'Ille-sur-Têt)**

Rapport « final »

BRGM/RP 66432-FR

Décembre 2016



Apport de la datation (CFC/SF6/Tritium) à la compréhension du fonctionnement de l'aquifère du pliocène mobilisé par le forage Rosaret (commune d'Ille-sur-Têt)

Rapport « final »

BRGM/RP -66432-FR
Décembre 2016

Étude réalisée dans le cadre de la convention de recherche & développement
partagé du BRGM (projet AP16LRO030)

B. Ladouche et B. Dewandel

Vérificateur :

Nom : E. Petelet-Giraud

Date : 05/12/2016

Signature :



Approbateur :

Nom : Ariane Blum

Date : 06/12/2016

Signature :



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

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



Mots-clés : Pyrénées Orientales, pliocène, hydrogéologie, datation, géochimie, interprétation d'essais de pompage

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

Ladouche B. et Dewandel B. (2016) – Apport de la datation (CFC/SF6/Tritium) à la compréhension du fonctionnement de l'aquifère du pliocène mobilisé par le forage Rosaret (commune d'Ille-sur-Têt). Rapport final. BRGM/RP-66432-FR, 67p., 27 ill., 3 ann., CD.

Synthèse

Pour mieux gérer la ressource en eau souterraine, prévenir les conflits d'usage et préserver le bon état des nappes, le Syndicat Mixte des Nappes de la Plaine du Roussillon (SNPR) dispose d'un réseau piézométrique de surveillance d'une vingtaine de piézomètres sur ce territoire. Parmi les objectifs qu'il s'est fixé, le SNPR cherche à mieux connaître les prélèvements, les capacités naturelles de recharge, et les liens entre les eaux souterraines (quaternaire/pliocène) et les autres masses d'eau.

Dans le but de préciser le schéma conceptuel de fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère du pliocène dans la zone de recharge située à l'ouest notamment dans le secteur de l'Ille-sur-Têt, le Syndicat Mixte des Nappes de la Plaine du Roussillon a réalisé un pompage d'essai de longue durée (près de 4 semaines) sur l'un des points d'observation du réseau (Rosaret, 10906X0060/F). A cours de cette expérimentation, un échantillonnage d'eau en vue d'analyse chimique (éléments majeurs), isotopiques (isotopes stables de l'eau) et de datation par le dosage de gaz anthropiques dissous (CFC-SF6) et le tritium a été réalisé à 4 reprises au cours du pompage afin de qualifier d'éventuelle évolution qui témoignerait de l'existence de phénomène de mélange d'eau. En parallèle, un travail de valorisation des données de l'essai de pompage a été réalisé dans le but d'évaluer les capacités du forage de reconnaissance et la structure de l'aquifère à proximité de l'ouvrage.

L'ensemble des résultats obtenus par les 2 approches a été replacé dans le cadre général des connaissances du secteur d'étude en intégrant notamment les informations géochimiques récentes des campagnes de prélèvements de 2013 et 2014 (cf. Etude des interactions entre les eaux de surface et les nappes de la plaine du Roussillon par traçage chimique et isotopique, l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 2014).

Les eaux mobilisées au cours du pompage d'une durée de 26 jours au débit de 40 m³/h sont anciennes, dépourvues de tritium et infiltrées dans l'aquifère avant 1954 selon les informations des gaz dissous. Au cours du pompage, des évolutions chimiques semblent avoir été observées, l'âge apparent des eaux pompées en fin de pompage apparaissant plus faible que l'âge apparent des eaux pompées en début d'essai. Les évolutions observées suggèrent que le transfert de masse au sein de l'aquifère se ferait selon un mode d'écoulement très faiblement dispersif de type modèle piston. Par ailleurs, l'interprétation des essais de pompage met en évidence, l'existence d'un effet de drainance avec un aquifère superficiel.

La confrontation des informations géochimiques permet de montrer que l'eau du pliocène mobilisée par le pompage du Rosaret est ancienne et qu'elle a une signature isotopique proche des eaux du Boulès. Les résultats permettent d'identifier le secteur probable où se produit la recharge de l'aquifère, principalement par drainance descendante du quaternaire sus-jacent.

Les capacités de l'ouvrage ainsi que la structure de l'aquifère à proximité de l'ouvrage ont pu être définies à partir de l'interprétation des essais de pompage réalisés en 2016 et en 2011. Le forage mobilise un aquifère assez transmissif ($T=7.85 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$), partiellement limité dans l'espace (présence de limites étanches orthogonales) et, soumis à un effet de limite alimenté et/ou de drainance avec un aquifère superficiel bien connecté à des eaux de surface. Son emmagasinement faible (3.4×10^{-5}) n'a pas pu être estimé de façon fiable puisque l'interprétation est effectuée au puits de pompage. Malgré ces incertitudes, le report de la position des limites étanches déduit de la modélisation hydraulique dans le contexte géographique et géologique permet d'appréhender l'emprise géométrique de l'aquifère sollicité par le pompage.

Cette étude a permis d'illustrer l'intérêt de coupler les techniques d'interprétation des essais de pompage aux investigations géochimiques et isotopiques sur les eaux souterraines et de surfaces. Au vu des résultats de cette étude, l'apport des outils de datation par les CFC/SF6 et le tritium apparaît intéressant à coupler aux mesures chimiques et isotopiques plus classiques (stable de l'eau) pour mieux comprendre les modalités de fonctionnement de cet hydrosystème complexe multicouches du plio-quatenaire, notamment dans les zones de recharge connues et présumées de la plaine du Roussillon.

Sommaire

1. Introduction	9
1.1. CONTEXTE	9
1.2. LES OBJECTIFS DE CE TRAVAIL	10
2. Bilan des données disponibles	11
2.1. DOCUMENTS CONSULTES	11
2.2. SITUATION DE L'OUVRAGE	11
2.3. DONNEES HYDRODYNAMIQUES SUR L'OUVRAGE ROSARET BSS002MNYZ (10906X0060/F)	12
2.3.1. Données anciennes	12
2.3.2. Données acquises en 2016.....	12
2.4. DONNEES GEOCHIMIQUES	13
2.4.1. Données anciennes	13
2.4.2. Données acquises en 2016.....	15
3. Datation des eaux.....	17
3.1. PRINCIPE DE LA METHODE DE DATATION PAR L'ANALYSE DES GAZ CFC ET SF6	17
3.2. PRINCIPE DE LA METHODE DE DATATION PAR LE TRITIUM.....	21
3.3. PRELEVEMENTS ET ANALYSES.....	22
3.4. DATATION DES EAUX SOUTERRAINES DU PLIOCENE CAPTEE PAR LE FORAGE DU ROSARET	23
3.4.1. Interprétation des résultats de datation par l'analyse des Gaz dissous (CFC/ SF6).....	23
3.4.2. Interprétation des résultats de datation par le tritium.....	25
3.4.3. Confrontation des résultats des datations aux caractéristiques chimiques des eaux.....	25
4. Interprétation des essais par pompage	31
4.1. ESSAIS DE PUIITS	31
4.2. METHODOLOGIE D'INTERPRETATION DES ESSAIS DE NAPPE	32
4.2.1. Principe.....	32

4.2.2. Diagnostic des essais de 2011 et 2016 sur le forage de reconnaissance du Rosaret.....	34
4.2.3. Modélisation des essais de nappe du forage Rosaret.....	36
5. Conclusion et perspectives.....	41
6. Bibliographie.....	43

Liste des illustrations

Illustration 1. Localisation du forage de reconnaissance Rosaret (BSS002MNYZ/10906X0060/F), extrait dossier ARS n°D-10-635.....	11
Illustration 2. Pompage de 2011. Evolution de la piézométrie mesurée dans le pliocène dans le forage de reconnaissance Rosaret (courbe rouge) et dans le quaternaire dans l'ancien puits communal (courbe rose), extrait dossier ARS n°D-10-635	12
Illustration 3 – Evolution de la piézométrie avant et pendant l'essai de pompage longue durée de 2016.	13
Illustration 4. Paramètres physico-chimiques et résultats des analyses des éléments majeurs de l'eau échantillonnée en juillet 2011.	14
Illustration 5. Paramètres physico-chimiques, résultats chimiques et isotopiques des eaux échantillonnées sur le forage Rosaret en 2013 et 2014 par l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. Les analyses sur les eaux du quaternaire de l'ancien puits communal située à proximité sont également reportées.	14
Illustration 6. Résultats des analyses sur les eaux échantillonnées en 2016 : paramètres physico-chimiques, éléments majeurs, datation (CFCs/SF ₆) et isotopes de l'eau.	15
Illustration 7. Chroniques des concentrations des CFC et SF ₆ dans l'air (NOAA/PMEL, John.L.Bullister@noaa.gov).....	17
Illustration 8. Modèle de transfert couramment utilisé pour interpréter les résultats CFCs (d'après Maloszewski et Zuber, 1982)	20
Illustration 9. Illustration conceptuelle du modèle binaire de mélange (d'après Jurgen et al, 2012, USGS report 4-F3, 60 p.	21
Illustration 10 : Système de prélèvement utilisé pour les CFC et SF ₆	22
Illustration 11 : Schéma du système de prélèvement de l'eau pour analyses de CFC et SF ₆	23
Illustration 12. Concentrations en pptv des gaz dissous calculées à partir des paramètres (altitude, température et excès d'air)	24
Illustration 13. Evolution des concentrations en gaz dissous dans le diagramme bi-variables (CFC11 vs CFC 12). La courbe bleue représente l'évolution de la concentration du modèle piston (PFM). La droite représente l'évolution du modèle binaire de mélange en considérant, pour le pôle récent, les eaux d'infiltration de 2015, et pour le pôle ancien, les eaux infiltrées en 1940 définies par le modèle piston.	24
Illustration 14. Agrandissement de l'Illustration 13.	25
Illustration 15. Report des analyses de 2016 sur le forage Rosaret dans le contexte isotopique (stables de l'eau) défini par les campagnes de prélèvements de 2013 et 2014.	26
Illustration 16. Report des analyses de 2016 sur le forage Rosaret dans le contexte isotopique (Tritium vs $\delta^{18}\text{O}$) défini par les campagnes de prélèvements de 2013 et 2014.....	28

Illustration 17. Conductivité versus $\delta^{18}\text{O}$: report des analyses de 2016 dans le contexte géochimique défini par les campagnes de prélèvements de 2013 et 2014.	28
Illustration 18. SiO_2 versus $\delta^{18}\text{O}$: report des analyses de 2016 dans le contexte géochimique défini par les campagnes de prélèvements de 2013 et 2014.	29
Illustration 19. <i>Interprétation des essais par paliers de débit (2011) et des essais de longue durée (2011 : 48 heures, 2016 : 26 jours) sur l'ouvrage de reconnaissance du Rosaret. [b : coefficient de pertes de charge linéaires (liées à l'aquifère) et b : coefficient de pertes de charge quadratiques (liées au puits)].</i>	31
Illustration 20. Méthodologie mise en œuvre pour l'interprétation de pompages d'essai. Utilisation des dérivées des rabattements pour diagnostiquer les essais.	32
Illustration 21. Exemple de succession de régimes d'écoulement lors d'un pompage dans un aquifère rectangulaire clos. t_D : temps adimensionnel, s_D (courbe pleine) et $s_{D'}$ (courbe tiretée) : rabattement et dérivée du rabattement (adimensionnel).	33
Illustration 22. Graphe Log-Log des rabattements spécifiques et dérivées logarithmiques en fonction du temps de pompage. Modèle : courbe bleue continue : rabattement. Courbe bleue pointillée : dérivée du rabattement.	34
Illustration 23. Report des données de l'essai de 2011 dans le diagramme diagnostique de l'essai de 2016.	35
Illustration 24. Modèle à effet de drainance d'un aquitard supérieur avec ou sans abaissement de son niveau, anisotropie de perméabilité 3-D, jusqu'à quatre limites étanches orthogonales, captage partiel du puits (ou du piézomètre). Modifié de la solution de Hunt et Scott (2007).	36
Illustration 25. Paramètres du modèle à effet de drainance utilisé.	37
Illustration 26. Modélisation des rabattements et des dérivées des rabattement au puits de pompage pour l'essai de nappe su forage de reconnaissance Rosaret (2016).	38
Illustration 27. Report de la position des limites étanches déduites de la modélisation hydraulique dans le contexte géographique et géologique.	39

Liste des annexes

Annexe 1 Information sur l'ouvrage Rosaret	45
Annexe 2 Bordereaux de résultats d'analyses	49
Annexe 3 Informations géochimiques complémentaires	63

Liste des illustrations de l'annexe

Illustration A- 1. Log géologique et coupe technique du forage de reconnaissance Rosaret, BSS002MNYZ (10906X0060/F)	47
Illustration A- 2. Cl versus $\delta^{18}\text{O}$: report des analyses de 2016 dans le contexte géochimique défini par les campagnes de prélèvements de 2013 et 2014.	65
Illustration A- 3. SO_4 versus $\delta^{18}\text{O}$: report des analyses de 2016 dans le contexte géochimique défini par les campagnes de prélèvements de 2013 et 2014.	66
Illustration A- 4. NO_3 versus $\delta^{18}\text{O}$: report des analyses de 2016 dans le contexte géochimique défini par les campagnes de prélèvements de 2013 et 2014.	66

1. Introduction

1.1. CONTEXTE

Située sur la bordure littorale du département des Pyrénées Orientales, la plaine du Roussillon se trouve dans une des régions les plus arides de France avec une pluviométrie annuelle de 570 mm (moyenne sur la période 1980-2010). Ce territoire bénéficie néanmoins d'un important niveau de développement urbain (agglomération de Perpignan et stations balnéaires du littoral) et agricole (environ 15 000 ha de cultures dédiés à la production de fruits et légumes). Une grande partie de ce développement s'est fait grâce à la ressource en eau souterraine des formations géologiques plio-quaternaires de la plaine du Roussillon. **L'exploitation de la ressource en eau des aquifères plio-quaternaires atteint aujourd'hui 80 millions de m³/an** (SAGE Roussillon, 2012). Cette exploitation a eu comme conséquence une baisse régulière du niveau d'eau de l'aquifère sur l'ensemble de la plaine, au cours des 30 dernières années. Pour y faire face, les acteurs locaux de la gestion de l'eau ont créé en 2008 un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE « Nappes Plio-quaternaires de la plaine du Roussillon ») pour atteindre le bon état des nappes (objectif fixé par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) à l'horizon 2015) et une gestion raisonnée de la ressource en eau.

Pour mieux gérer la ressource en eau souterraine, prévenir les conflits d'usage et préserver le bon état des nappes, un SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) des Nappes de la Plaine du Roussillon a été mis en place par le Syndicat Mixte des Nappes de la Plaine du Roussillon (SNPR), pour rechercher des solutions collectives. Celui-ci s'est donné les objectifs suivants :

- caractériser l'état quantitatif et qualitatif de la ressource,
- connaître les prélèvements, les capacités naturelles de recharge, le lien entre les eaux souterraines et les autres masses d'eau
- instaurer la gouvernance nécessaire à la gestion transversale de la ressource pour répondre à l'ensemble des usages.

Pour atteindre ces objectifs, le SNPR doit donc disposer d'une connaissance précise et localisée des prélèvements qui s'opèrent sur l'aquifère plio-quaternaire dont il a la gestion et de l'évolution future des usages qui lui sont associés, notamment au regard du changement climatique. Les ressources en eau contenues dans les formations du Plio-Quaternaire sont suivies depuis plus de 30 ans, notamment grâce à un réseau piézométrique de surveillance piloté actuellement par le Syndicat Mixte des Nappes de la Plaine du Roussillon, qui intègre plus d'une vingtaine de piézomètres sur ce territoire.

Dans le but de préciser le schéma conceptuel de fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère du pliocène dans la zone de recharge située à l'ouest notamment dans le secteur de l'Ille-sur-Têt, le Syndicat Mixte des Nappes de la Plaine du Roussillon a réalisé un pompage d'essai de longue durée (près de 4 semaines) sur l'un des points d'observation (le forage de reconnaissance Rosaret, 10906X0060/F) pour préciser, le cas échéant, la nature des relations hydrauliques avec l'aquifère du quaternaire et les eaux de surface (Têt/Boulès). A cours de cette expérimentation, un échantillonnage d'eau en vue d'analyse chimique (éléments majeurs), isotopiques (isotopes stables de l'eau) et de datation par le dosage de gaz anthropiques dissous (CFC-SF6) et le tritium a été réalisé à 4 reprises au cours du pompage afin de qualifier d'éventuelle évolution qui témoignerait de l'existence de phénomène de mélange d'eau.

1.2. LES OBJECTIFS DE CE TRAVAIL

L'objectif de la présente convention est d'estimer l'apport de la datation (CFC/SF6/Tritium) à la compréhension du fonctionnement de l'aquifère du Pliocène au niveau du forage du Rosaret, commune d'Ille-sur-Têt.

En parallèle, un travail de valorisation des données de l'essai de pompage a été réalisé dans le but d'évaluer les capacités du forage de reconnaissance et la structure de l'aquifère à proximité de l'ouvrage.

L'ensemble des résultats ont été ensuite replacés dans le cadre général des connaissances du secteur d'étude en intégrant notamment les informations géochimiques récentes des campagnes de prélèvements de 2013 et 2014 (cf. Etude des interactions entre les eaux de surface et les nappes de la plaine du Roussillon par traçage chimique et isotopique, l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 2014).

2. Bilan des données disponibles

2.1. DOCUMENTS CONSULTÉS

- ❖ *Dossier de demande d'autorisation d'exploiter un captage d'eau destinée à la consommation humaine : Projet de forage d'eau F4 « Le Rosaret », 18 janvier 2013, J-L. Lenoble. Ce document intègre le rapport définitif de l'hydrogéologue agréé du dossier ARS n°D-10-635 établi par J.P. Marchal (Aout 2012).*
- ❖ *Etude des interactions entre les eaux de surface et les nappes de la plaine du Roussillon par traçage chimique et isotopique. Résultats après la campagne de prélèvement du 19 et 20 mars 2014. Rédacteurs : Marina GILLON, Vincent MARC (08 juillet 2014), Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.*
- ❖ *Etude des interactions entre les eaux de surface et les nappes de la plaine du Roussillon par traçage chimique et isotopique. Complément du rapport du 8 juillet 2014: Apport des isotopes du strontium. Rédacteurs : Marina GILLON, Vincent MARC (11 décembre 2014), Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.*

2.2. SITUATION DE L'OUVRAGE

Le forage de reconnaissance du Rosaret, situé sur la parcelle n°8 AX de la commune d'Ille-sur-Têt, est référencé dans la banque de données du sous-sol par le n° BSS002MNYZ anciennement (10906X0060/F). Cet ouvrage de reconnaissance a été réalisé du 16 mai au 18 juillet 2011 par l'entreprise Aqua Forage sous maîtrise d'ENGEO. Le forage a recoupé les formations sablo-argileuse du Quaternaire ancien jusqu'à 19 m de profondeur, puis les dépôts pliocènes avec des intercalations de sables grossier jusqu'à 130 m de profondeur. Les crépines de l'ouvrage se situent entre 44 m et 52 m, entre 56 m et 66 m, entre 80 m et 84 m, entre 88 m et 92 m et entre 96 m et 124 m de profondeur. Le Log de l'ouvrage est présenté en annexe 1. La diagraphie de production de l'ouvrage réalisé par Hydro Assistance en septembre 2011 indique que les horizons situés entre 54,2 m et 69.6 m fournissent plus de 50% du débit de l'ouvrage.

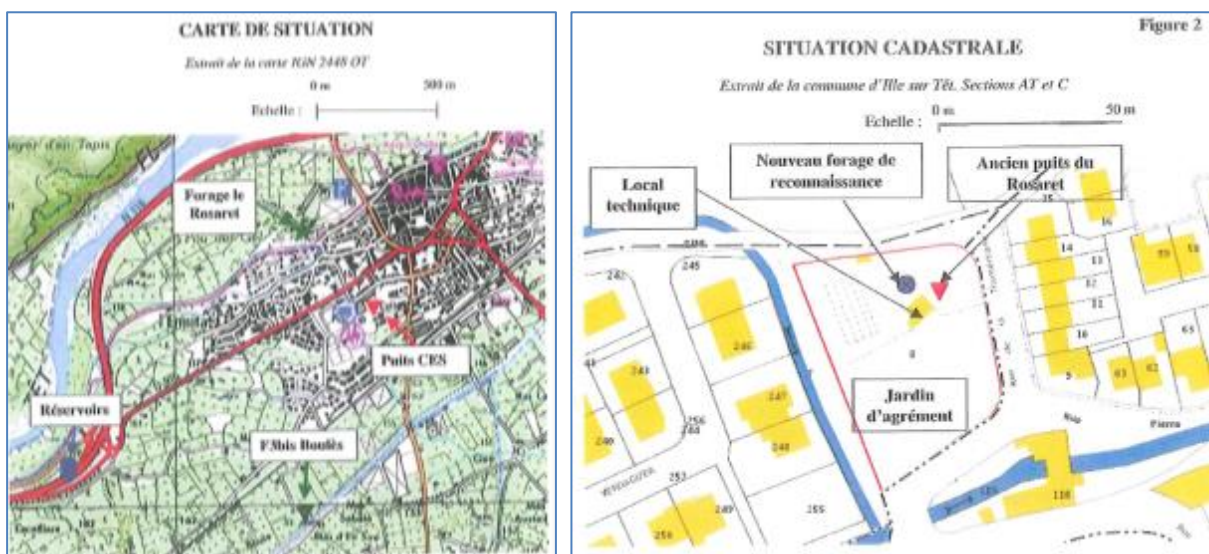


Illustration 1. Localisation du forage de reconnaissance Rosaret (BSS002MNYZ/10906X0060/F), extrait dossier ARS n°D-10-635

2.3. DONNEES HYDRODYNAMIQUES SUR L'OUVRAGE ROSARET BSS002MNYZ (10906X0060/F)

2.3.1. Données anciennes

En juillet 2011, un essai de nappe d'une durée de 2 jours a été réalisé au débit de pompage de 50 m³/h. L'illustration 2 présente l'évolution de la piézométrie mesurée dans le forage de reconnaissance situé dans le pliocène et l'ancien puits communal situé dans le quaternaire (cf. localisation en Illustration 1). Les données des essais de pompage ont été réinterprétées dans le cadre de cette étude (cf. § partie 4)

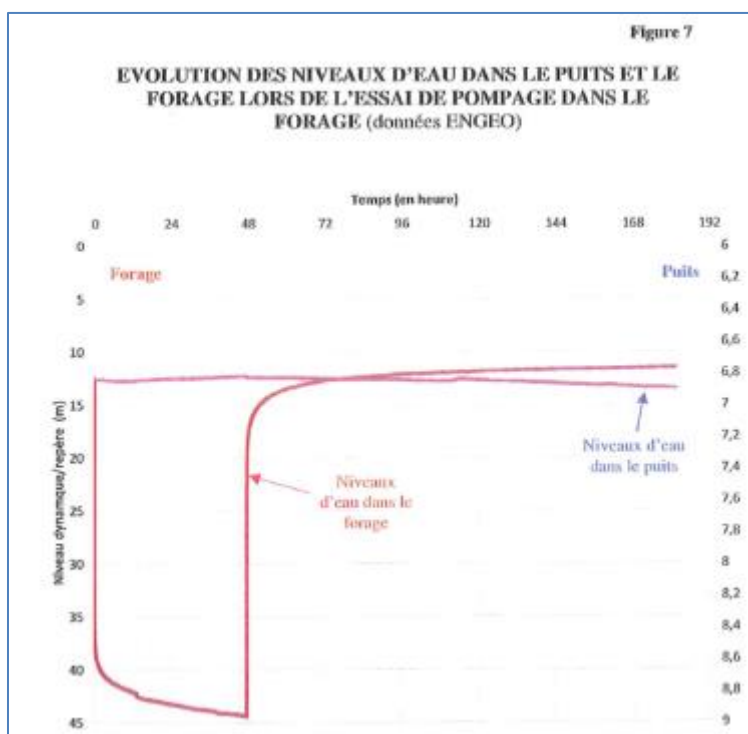


Illustration 2. Pompage de 2011. Evolution de la piézométrie mesurée dans le pliocène dans le forage de reconnaissance Rosaret (courbe rouge) et dans le quaternaire dans l'ancien puits communal (courbe rose), extrait dossier ARS n°D-10-635

2.3.2. Données acquises en 2016

Un essai de nappe d'une durée de 26 jours a été réalisé au printemps 2016 au débit de pompage de 40 m³/h. La mise en œuvre des essais de pompage a été réalisée par le Syndicat Mixte des Nappes de la Plaine du Roussillon (SNPR). L'illustration 3 présente l'évolution de la piézométrie mesurée avant et pendant l'essai de pompage. Les dates des prélèvements géochimiques sont également reportées. Les données de cet essai de pompage de longue durée ont été interprétées dans le cadre de cette étude (cf. § partie 4).

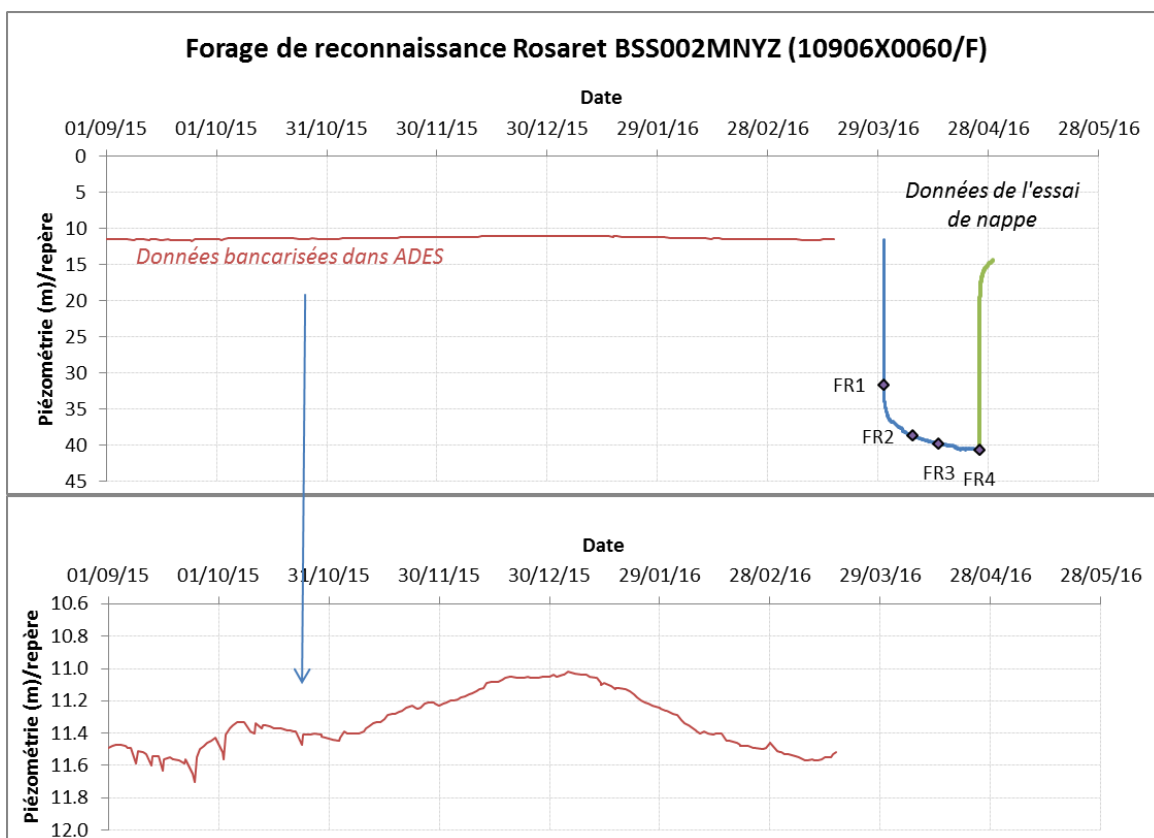


Illustration 3 – Evolution de la piézométrie avant et pendant l'essai de pompage longue durée de 2016.

2.4. DONNEES GEOCHIMIQUES

2.4.1. Données anciennes

Les tableaux suivant rassemblent les données géochimiques disponibles sur le forage de reconnaissance Rosaret BSS002MNYZ (10906X0060/F)

Laboratoire	CAMP*
Ref.	93779
Date Plvt	13/07/2011
T eau (°C)	16.4
pH	7.75
O2 (mg/l)	4.7
C à 25° (µS/cm)	192
Ca (mg/l)	18.6
Cl (mg/l)	3.3
Mg (mg/l)	4
K (mg/l)	0.61
Na (mg/l)	7.4
SO4 (mg/l)	21.3
NO2 (mg/l)	<0.02
NH4 (mg/l)	<0.02
NO3 (mg/l)	3.8
COT (mg/l)	0.56
HCO3 (mg/l)	65
*Centre d'Analyses Méditerranée Pyrénées	

Illustration 4. Paramètres physico-chimiques et résultats des analyses des éléments majeurs de l'eau échantillonnée en juillet 2011.

Ref		4753	4753	1755
Nom de l'échantillon		Forage "Rosaret"	Forage "Rosaret"	Puits du Rosaret
Commune d'implantation		Ile sur Têt	Ile sur Têt	Ile sur Têt
Remarque				
Aquifère		Pliocène	Pliocène	Quaternaire
BSS		BSS002MNYZ (10906X0060/F)	BSS002MNYZ (10906X0060/F)	
Date Plvt		11/09/2013	19/03/2014	19/03/2014
18O (± 0.15‰ / SMOW)		-7.96	-7.75	-8.97
2H (± 1‰ / SMOW)		-51.57	-50.76	-61.76
3H		nm	=< 0.6	4.1
3H erreur		nm		0.4
T(°C) Terrain		16.8	16.1	15.4
pH Terrain		7.55	8.2	7.1
Cond. Terrain		168.5	168.1	214.3
Cond. Labo		172	164	213
HCO3-	mg/l	70	68.3	76.9
F-	mg/l	0.3	0.3	0.2
Cl-	mg/l	3.45	3.1	6
NO3-	mg/l	2.7	3.1	6.5
SO4--	mg/l	19.5	18	25.1
Na+	mg/l	8.7	8.8	6.5
K+	mg/l	0.9	0.8	1.5
Mg++	mg/l	4.2	4	4.8
Ca++	mg/l	17.1	17.2	26.1
Sr2+	mg/l	nm	0.031	0.035
SiO2	mg/l	28	26.5	13.6
Bal		-3%		
87Sr/86Sr			0.719275	0.717378
2sigma			+/- 7.10-6	+/- 6.10-6
Sr (mg/l)			0.066	0.082

Illustration 5. Paramètres physico-chimiques, résultats chimiques et isotopiques des eaux échantillonnées sur le forage Rosaret en 2013 et 2014 par l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. Les analyses sur les eaux du quaternaire de l'ancien puits communal située à proximité sont également reportées.

2.4.2. Données acquises en 2016

Le tableau suivant (Illustration 6) rassemble les résultats des analyses chimiques, isotopiques (isotopes de l'eau) et de datation (CFC/SF6) effectuées dans cette étude au cours du pompage.

Forage de reconnaissance du Rosaret- Commune Ille-sur-Têt BSS002MNYZ (10906X0060/F)					
Nom	unité	F-Rosaret ech_1	F-Rosaret ech_2	F-Rosaret ech_3	F-Rosaret ech_4
		FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
Nom_abr					
Preleveur		G. Nadal/ B.Ladouche	G. Nadal	G. Nadal	G. Nadal
Date_Prélvt		30/03/2016	07/04/2016	14/04/2016	25/04/2016
pH_Terrain		7.58	7.28	7.49	7.63
Cond_Terrain (à 25°C)	µS/cm	171	188.9	206.3	203.6
T_Terrain	°C	16.8	16.9	17	17.1
O2_Terrain	mg/l	7.97	9.73	10.03	9.7
Redox mV(mesure)	mV	122			
Piézom/repère	m/repère	31.65	38.74	39.84	40.65
Débit pompage	m3/h	40	40	39.5	40

Laboratoire		CAMP*	CAMP*	CAMP*	CAMP*
Ref.Lab	Unité	P-16-15314	P-16-16619	P-16-18087	P-16-20782
NO3	mg/l	3.4	4	4.6	4.9
Cond_Lab (à 25°C)	µS/cm	171	187	189	189
Cl	mg/l	3.2	3.3	3.6	3.7
SO4	mg/l	20.2	20.6	21.6	21.3
Ca	mg/l	16.88	18.87	20.77	16.82
Mg	mg/l	4.32	4.85	5.14	4.3
Na	mg/l	8.81	8.92	8.16	8.91
K	mg/l	0.85	0.93	0.88	0.86
SiO2	mg/l	27.8	26.8	25.5	25.3
HCO3	mg/l	72	82	84	83
F	mg/l	0.246	0.283	0.1	0.206

*Centre d'Analyses Méditerranée Pyrénées

Laboratoire		Spurenstofflabor*	Spurenstofflabor*	Spurenstofflabor*	Spurenstofflabor*
Num Ech	Unité	R553	R529	R549	R525
date		30/03/2016	07/04/2016	14/04/2016	25/04/2016
SF6	pmol/l	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
CFC-12	pmol/l	0.01	0.05	0.06	0.07
±	±	0.05	0.05	0.05	0.05
CFC-11	pmol/l	0.02	0.04	0.05	0.05
±	±	0.05	0.05	0.05	0.05
CFC-113	pmol/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

(*) : Spurenstofflabor; harald.oster@t-onlin.de

Laboratoire	Unité	BRGM+(**)	BRGM+(**)	BRGM+(**)	BRGM+(**)
Nom_abr		FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
Num Ech		16E 287	16E 288	16E 289	16E 290
δ ¹⁸ O	‰ (±0.1/SMOW)	-8.1	-8.4	-8.4	-8.4
δ ² H	‰ (±0.8/SMOW)	-52.4	-55.2	-55.5	-55.7
Tritium	UT	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6

(**) Hydroisotope

Illustration 6. Résultats des analyses sur les eaux échantillonnées en 2016 : paramètres physico-chimiques, éléments majeurs, datation (CFCs/SF6) et isotopes de l'eau.

3. Datation des eaux

3.1. PRINCIPE DE LA METHODE DE DATATION PAR L'ANALYSE DES GAZ CFC ET SF6

Brièvement présenté ci-après, la méthode de datation des eaux se base sur la mesure des gaz dissous contenu dans l'eau à l'état de trace : les composés halogénés CFC-11 (trichlorofluorométhane), CFC-12 (trichlorodifluorométhane), et CFC-113 (trichlorotrifluorométhane) ainsi que le SF₆ (hexafluorure de soufre). Les gaz CFC ont été produits industriellement à partir des années 1930, avec une large utilisation dans les années 1950 à 1960 avant d'être interdits en 1987 (accords du protocole de Montréal) car les CFC sont en effet des gaz destructeurs de la couche d'ozone. Les CFC étaient utilisés dans les fluides réfrigérants et les solvants tandis que le SF₆ est utilisé principalement pour ses capacités isolantes par l'industrie d'énergie électrique¹, dans les accélérateurs et la production du double vitrage. La production industrielle du SF₆ a débuté en 1953. Le SF₆ est principalement d'origine anthropique mais, contrairement aux CFC, il existe également une production géogénique de ce gaz, estimé à 1% à l'échelle mondiale mais qui peut représenter, localement, un apport plus important. La comparaison des teneurs des différents gaz dissous dans l'eau par rapport aux teneurs connues dans l'atmosphère² (cf. *Illustration 7*) permet d'estimer l'âge apparent (date d'infiltration) ou un temps moyen de séjour de l'eau dans les aquifères. **L'analyse des gaz dissous (CFC et SF₆) dans les eaux souterraines permet de dater des eaux relativement jeunes**, c'est-à-dire infiltrées postérieurement aux premières émissions atmosphériques (>1930).

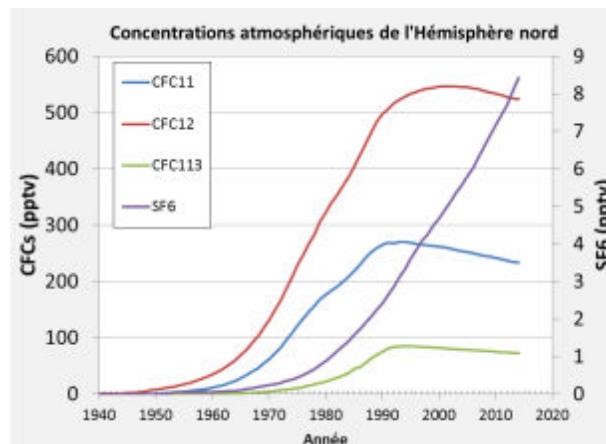


Illustration 7. Chroniques des concentrations des CFC et SF₆ dans l'air (NOAA/PMEL, John.L.Bullister@noaa.gov)

L'intérêt de l'utilisation des CFCs et du SF₆ repose principalement sur leur origine et leurs propriétés physico-chimiques (IAEA, 2006):

¹ 80 % du SF₆ produit dans le monde est utilisé dans les disjoncteurs à haute tension et dans les postes électriques sous enveloppe métallique

² Les chroniques d'entrées pour les CFC et le SF₆ sont celles produites par John Bullister (NOAA/PMEL, John.L.Bullister@noaa.gov)

- Un temps de résidence atmosphérique élevé³ ;
- Une homogénéité des concentrations atmosphériques pour chacun des hémisphères ;
- Aucune production naturelle, sauf pour le SF6 dans des cas particulier ;
- Une bonne stabilité chimique dans le sol et dans l'eau.

Les traceurs gazeux présents dans l'atmosphère passent la zone non saturée des hydrosystème selon un transport diffusif avant d'entrer dans l'eau souterraine sous forme de gaz dissous.

La concentration d'un gaz dissous dans l'eau à l'équilibre avec l'atmosphère est régie par la loi de Henry qui définit la solubilité des gaz :

$$C^*_i = K_{Hi} p_i \quad (\text{eq. 1})$$

Les constantes de solubilité (constante de Bunsen à 1atm, volume de gaz absorbé par unité de volume de solution à une pression partielle de 1 atm, $KH@1\text{atm}$) sont fonction de la température (T en °K) et de la salinité des eaux (S) :

$$\ln K_{Hi} = A1 + A2 (100/T) + A3 \ln(T/100) + S\% [B1 + B2 (T/100) + B3 (T/100)^2] \quad (\text{eq. 2})$$

Les coefficient (A1, A2, A3, B1, B2 et B3) pour les gaz ont été déterminés par Warner & Weiss, 1985 ; Bu & Warner 1995 ; Bullister et al., 2002.

Dans l'équation 1, la pression partielle du gaz considéré (p_i) est fonction de la fraction molaire du gaz dans l'air (x_i), de la pression atmosphérique (P) et de la pression partielle de vapeur d'eau (P_{H_2O}) :

$$p_i = x_i (P - p_{H_2O}) \quad (\text{eq.3}).$$

La pression P est fonction de l'altitude et la pression partiel p_{H_2O} est fonction de la température.

La concentration d'équilibre (C^*_i) entre l'atmosphère et l'eau est donc fonction de T, P et S^* :

$$C^*_i(T, S, P) = C_i / (P - p_{H_2O}) \cdot \exp^{(K_{Hi})} \quad (\text{eq.4}).$$

avec C_i la concentration molaire du gaz dissous, P la pression atmosphérique, p_{H_2O} la pression partiel de la vapeur d'eau, K_{Hi} les coefficients de solubilité de Bunsen, fonction de la température et de la salinité.

De nombreuses études ont montré que les concentrations en gaz dissous (gaz nobles surtout) dans les eaux souterraines se situent presque toujours au-dessus de l'équilibre de solubilité attendue avec l'atmosphère. Pour une nappe libre, la cause de l'excès d'air est liée à la présence de petites bulles d'air piégées dans la zone quasi-saturé (frange capillaire) située au-dessus de la nappe phréatique (Faybishenko, 1995).

³ Les temps de vie dans l'atmosphère des CFC-11, CFC-12 et CFC-113 sont respectivement estimés à $45 \pm 7,87$ ans, 87 ± 17 ans et 100 ± 32 ans (Volk et al., 1997)

La composition élémentaire du gaz en excès par rapport à l'équilibre de solubilité (expression courante : « excès d'air » Heaton et Vogel, 1981) est supposée être d'origine atmosphérique. Il peut être décrit par le volume A d'air sec injecté par gramme d'eau. L'expression 4 devient :

$$C_i(T,S,P) = C_i^*(T,S,P) + A \cdot z_i \quad (\text{eq.5}).$$

Avec A le volume (STP) d'air sec et z_i la fraction volumique du gaz i dans l'air sec.

L'équation 5 permet de définir le modèle dit « UA model » (Unfractionated Air model) également utilisé par les gaz rares (Stute et al. 1995).

La méthode de datation des eaux par l'utilisation des CFCs et du SF6 est conditionnée par plusieurs hypothèses :

- (1) la température et l'altitude de recharge sont connues (ou peuvent être estimées) ;
- (2) la pression partielle des gaz dans la zone d'infiltration (zone non saturée) est identique à celle des couches de la troposphère et l'eau de recharge est en équilibre avec l'atmosphère de la zone d'infiltration ;
- (3) les concentrations des gaz dissous dans l'eau n'est pas altérée par des processus biologiques, géochimiques ou hydrologiques ;
- (4) l'aquifère ou la zone d'infiltration n'est pas contaminées par des sources anthropiques (pollutions urbaines, agricoles, industrielles) ;
- (5) la méthode de prélèvement ne doit pas permettre de contact entre l'échantillon d'eau et l'atmosphère.

La température de recharge est un paramètre important pour le calcul des âges apparents. La température de recharge peut être estimée à partir des données climatologiques, elle est alors souvent considérée comme égale à la température moyenne de l'air au niveau de la zone de recharge. On considère parfois la température moyenne des eaux de l'aquifère. Lorsque la pluie efficace est connue ou estimée, la température moyenne de l'eau de recharge peut être calculée en considérant les températures moyennes mensuelles de l'air et les cumuls mensuels de pluie efficace.

La méthode de datation avec les CFC et SF6 est relativement peu sensible à l'altitude de recharge. Toutefois, une augmentation de l'altitude moyenne de recharge peut entraîner une diminution de la température de l'eau de recharge. Pour les sites où la recharge peut se produire à des altitudes nettement supérieure à l'altitude de la nappe phréatique et, par conséquent, à des températures inférieures de recharge, une analyse de sensibilité est généralement effectuée.

L'épaisseur de la zone non saturée ou se produit le transfert massique de l'eau vers l'aquifère peut fausser les estimations de l'âge de l'eau des aquifères (Busenberg et al, 1993 ; Cook et Salomon, 1995). En effet, l'air contenu dans la zone non saturée échange en permanence avec l'eau porale ce qui peut retarder la mise à zéro du compteur de datation lorsque l'eau arrive dans l'aquifère. Pour une ZNS de 10 m, l'âge de l'eau souterraine peut être surestimé de 1 à 2 ans (Cook et Salomon, 1995). L'erreur d'estimation des âges en fonction de l'épaisseur de la ZNS dépend également du type et de la teneur en eau du sol et également des modalités de transfert (présence ou absence d'une double porosité).

Dans les climats arides où la zone d'infiltration (zone non saturée) peu s'assécher entre les épisodes de recharges, Russel et Thompson (1983) ont montré que les CFCs pouvaient

s'adsorber sur la matière organique des sols secs, l'adsorption du CFC11 étant privilégiée par rapport au CFC12 en raison de plus faibles teneurs en fluor. L'effet de sorption est minimal pour le CFC-113 et nul pour le SF6. Au moment de la recharge, l'humidité du sol favorise le relargage des CFCs adsorbés dans l'air du sol ce qui conduit à enrichir les concentrations au-delà des concentrations d'équilibre air-eau. Puisque le CFC11 est plus fortement adsorbé sur la matière organique des sols secs, les concentrations en CFC11 de l'eau recharge sont plus fortes que les concentrations en CFC12. Dans les zones arides, ce mécanisme de sorption-désorption sur la matière organique peut conduire à tort, à des âges apparents plus jeunes, notamment pour le CFC11.

La dégradation microbienne affecte les concentrations en CFC en milieu anoxique (CFC11 affecté d'un facteur 10 par rapport au CFC-12 et CFC-113, Cook et al 1995 et Oster et al. 1996). La séquence de dégradation des CFC est la suivante : CFC-11>CFC-113>CFC-12. Le SF6 n'est pas affecté par ce phénomène.

La contamination locale de l'atmosphère par un ou plusieurs gaz en raison d'une source de pollution (production) du ou des gaz (proximité d'un milieu urbain, de sites de rejets des eaux usées ou de décharges officielles ou sauvages (vieux réfrigérateurs ou climatiseurs, récipient en plastique, propulseur aérosols, voiture...). Certains effluents d'eaux usées peuvent présenter des concentrations en CFC d'un ordre de grandeur supérieur aux concentrations attendues par l'équilibre air-eau.

En l'absence de pollution locale, la comparaison des teneurs des différents gaz dissous par rapport aux teneurs connues dans l'atmosphère permet d'estimer un temps moyen de séjour de l'eau dans les aquifères ou l'estimation de l'âge apparent (date d'infiltration). L'âge « CFC » d'une eau souterraine est en fait l'âge moyen d'un mélange de nombreux écoulements élémentaires. La datation des eaux souterraines ne peut donc se limiter uniquement à déterminer un âge. C'est toute une répartition des âges qu'il faut déterminer. **Pour permettre une datation des eaux souterraines, il est donc essentiel de définir le modèle conceptuel interprétatif.**

Trois types de modèle interprétatifs sont généralement considérés par les auteurs dans la littérature : modèle piston (PFM), Modèle exponentiel (EM), et modèle de mélange binaire.

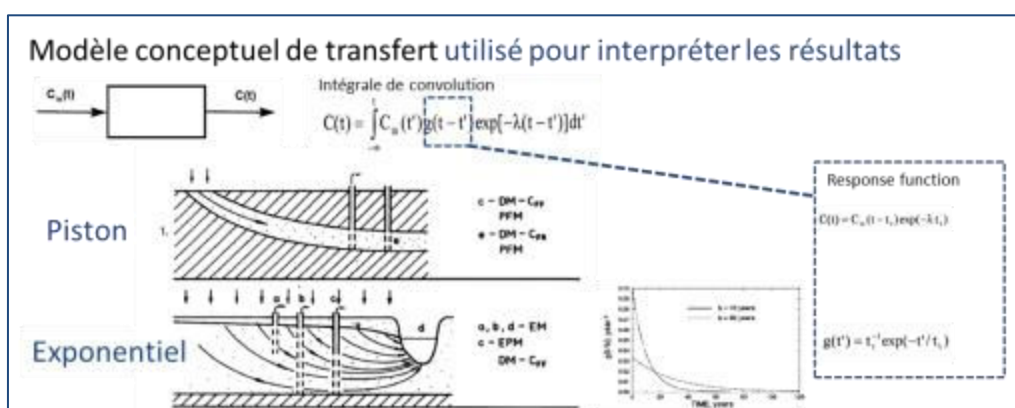


Illustration 8. Modèle de transfert couramment utilisé pour interpréter les résultats CFCs (d'après Maloszewski et Zuber, 1982)

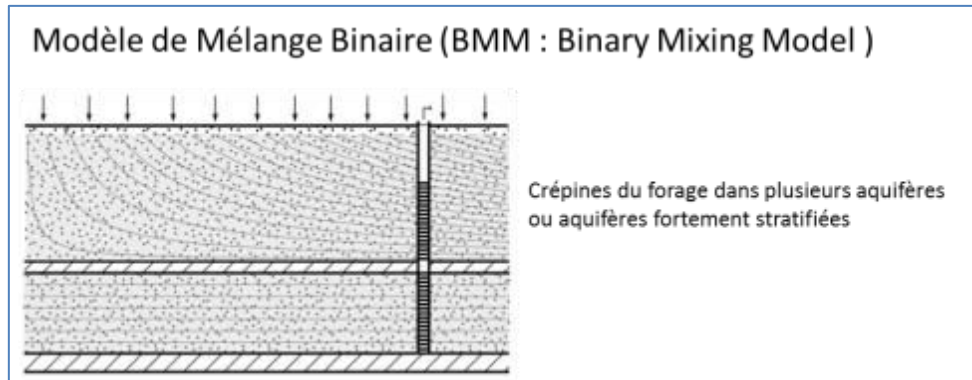


Illustration 9. Illustration conceptuelle du modèle binaire de mélange (d'après Jurgen et al, 2012, USGS report 4-F3, 60 p..

Les estimations des âges de l'eau repose donc sur l'utilisation de modèle de transfert (cf. Illustration 8, Maloszewski et Zuber, 1982) :

- **le modèle piston (PFM)** suppose le déplacement du fluide sans modification de la teneur (modèle convectif). C'est le modèle le plus simple qui permet d'attribuer un âge apparent sans définir de distribution des temps de séjour. Seuls des dates de recharge postérieures aux années 50 pourront être proposées par l'utilisation des gaz dissous ;
- **le modèle exponentiel (EM)** attribue une forme exponentielle décroissante à la distribution des temps de séjour de l'eau. Ce modèle ne nécessite qu'un paramètre : le temps moyen de séjour. Ce modèle correspond à la distribution des temps de séjour obtenue par un bilan de masse pour un réacteur discontinu à mélange parfait. Dans le cas d'un aquifère, ce modèle s'interprète comme la résultante sur une verticale de multiple lignes d'écoulements ayant une distribution exponentielle des âges en fonction de la profondeur. A l'échelle de l'aquifère, il peut donc s'interpréter comme le résultat d'une dispersion d'origine hydrodynamique.
- **Le modèle de mélange binaire (BMM)** suppose que l'eau étudiée est constituée d'un mélange de deux eaux d'âges différents. Un des pôles du mélange peut être ancien (anté ou post-traceur), l'autre pôle de mélange étant actuel. Le mélange binaire est supposé se produire dans le forage au moment du pompage (cf. Illustration 9).

Compte tenu de l'importante variabilité géologique et hydrodynamique des aquifères, les trois modèles décrits ci-dessus peuvent être envisagés pour décrire un même système. Le choix du modèle pour chaque point de mesure se fait en plusieurs étapes. La première est la vérification de l'adéquation des quatre traceurs avec l'un des modèles (dans le cas où aucune dégradation ou contamination n'est observée).

3.2. PRINCIPE DE LA METHODE DE DATATION PAR LE TRITIUM

Contrairement à l'oxygène 18 et au deutérium, l'isotope tritium (^3H) de la molécule d'eau est instable dans le temps et est fréquemment utilisé comme géochronomètre pour dater les eaux (^3H , isotope radioactif de période courte de 12,32 ans). C'est un marqueur des masses d'eau contemporaines. La production naturelle du tritium est liée à l'impact neutronique du rayonnement cosmique sur les noyaux d'azote de l'air. Cette production conduit à une teneur de 1 atome de ^3H pour 10^{18} atomes de ^1H (1 Unité Tritium, UT). La décroissance consécutive à la production du tritium s'accompagne d'une émission de particules β que l'on mesure. A cette production naturelle s'ajoute une injection de tritium en grande quantité produite dans la stratosphère lors des essais thermonucléaires et nucléaires aériens. La fréquence de ces

essais a atteint un maximum pendant les années 1962-1963. Depuis l'arrêt des essais en 1963, les teneurs en 3H montrent une décroissance progressive pour tendre de nouveau vers les teneurs naturelles. Par l'intermédiaire de cette production artificielle, **on peut donc différencier les eaux qui résultent des précipitations sans tritium nucléaire (avant 1952) des eaux de précipitations formées dans une atmosphère contenant du tritium nucléaire**. La présence de tritium dans une eau témoigne d'une contribution d'eau d'infiltration récente dans le réservoir.

3.3. PRELEVEMENTS ET ANALYSES

Les prélèvements pour la mesure des CFC et du SF₆ dissous dans l'eau suivent le protocole développé par Oster *et al.* (1996). Dans cette étude, les prélèvements ont été réalisés par le BRGM et le SMNPR suite à une formation par compagnonnage sur le terrain comme le stipule la convention de recherche et développement partagé.

Le prélèvement se fait dans un flacon en verre de 500 ml lui-même placé dans un récipient métallique (cf. *Illustration 10*) qui sera également rempli d'eau prélevée en évitant les mélanges avec l'air ambiant. La fermeture de la bouteille en verre et du récipient métallique se fait impérativement sous l'eau (cf. *Illustration 11*)

Les analyses des gaz dissous (CFC) ne font pas l'objet de normes ISO, inexistantes pour ces éléments mais suivent un contrôle continu (utilisation de standards internes et participation à des exercices de calibration inter-laboratoires) qui permettent de garantir l'obtention de faibles incertitudes.

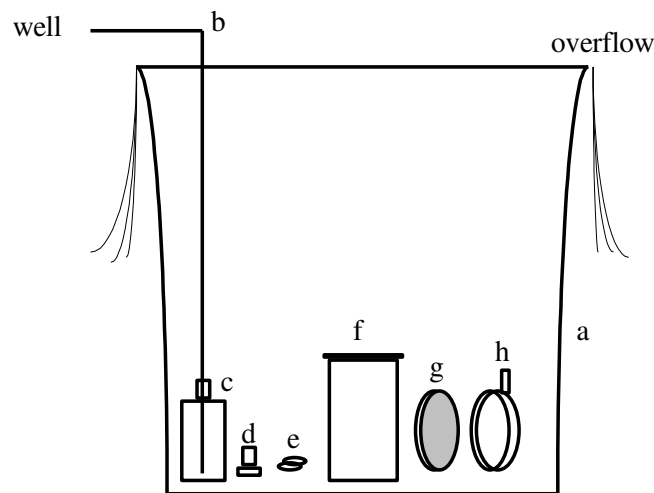
Les CFC sont mesurés à l'aide de la chromatographie en phase gazeuse équipée d'un capteur à détecteur d'électron.

Dans cette étude, les analyses des CFC et SF₆ par chromatographie gazeuse ont été réalisées par le laboratoire Spurenstofflabor (Allemagne). Les résultats analytiques et les incertitudes associées sont rassemblés dans le tableau de l'illustration 6.

Pour les isotopes de la molécule d'eau, le prélèvement pour le tritium se fait dans un flacon de 1000 ml avec de l'eau brute. Pour les isotopes stables de l'eau (¹⁸O/¹⁶O et ²H/¹H), le prélèvement se fait dans un flacon de 60 ml avec de l'eau brute.



Illustration 10 : Système de prélèvement utilisé pour les CFC et SF₆



Source : IAEA, 2006

Illustration 11 : Schéma du système de prélèvement de l'eau pour analyses de CFC et SF₆

Nota : Sur l'illustration précédente : a) récipient en métal, b) tuyau de prélèvement, c) flacon de verre, d) bouchon de verre, e) clip métallique pour bloquer le bouchon, f) récipient métallique, g) couvercle du récipient métallique, h) bloqueur couvercle métallique

3.4. DATATION DES EAUX SOUTERRAINES DU PLIOCENE CAPTEE PAR LE FORAGE DU ROSARET

3.4.1. Interprétation des résultats de datation par l'analyse des Gaz dissous (CFC/ SF6)

L'application de la loi de Henry pour le calcul des concentrations volumiques des gaz dissous de l'échantillon d'eau (en pptv) nécessite l'estimation de l'altitude moyenne de recharge et de la température moyenne de recharge, l'excès d'air et la salinité, cette dernière est très fréquemment négligée dans le cas des eaux douces ($S=0\text{‰}$).

Pour la zone d'étude, la température moyenne annuelle a été supposée égale à $15^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, l'altitude moyenne de recharge a été estimée à 150 m NGF. Les résultats du calcul des concentrations volumiques des gaz dissous dans l'eau en considérant les paramètres (température, altitude) et en absence d'excès d'air sont rassemblés dans le tableau

L'altitude et la température moyenne de recharge de la zone d'étude permet le calcul des concentrations volumiques des gaz dissous dans l'eau, les résultats sont rassemblés dans le tableau suivant (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Les très faibles valeurs des concentrations en CFC11 et CFC12 et l'absence de CFC113 et SF6 dans les eaux du forage de reconnaissance du Rosaret témoignent globalement de l'existence d'eau ancienne. Les très faibles concentrations mesurées pour le CFC11 et CFC12 sont proches des incertitudes analytiques, dans ce contexte, la datation est entachée d'une forte incertitude et donnée ci-après de manière indicative. Le report des concentrations volumiques dans le graphique d'évolution des CFC11 vs CFC12 laisse suggérer que les eaux peuvent être décrites par le modèle piston, les eaux mobilisées par le forage se seraient infiltrées dans l'hydrosystème dans les années 1950. Au cours du pompage, malgré les incertitudes des

évolutions semblent avoir été observées, l'âge apparent des eaux pompées en fin de pompage apparaissant plus faible que l'âge apparent des eaux pompées en début d'essai.

Nom	Nom Abr	date	Alt. moyenne de recharge (m)	T°C recharge	Excess Air cm3/L	SF6 pptv	CFC-12 pptv	CFC-11 pptv	CFC-113 pptv	Modèle conceptuel pour l'interprétation	Date Infiltration
F_Rosaret-1	FR1	30/03/2016	150	15.0	0.0	<0.3	2.4	1.3	<2.1	Modèle piston (PFM)	<1945
F_Rosaret-2	FR2	07/04/2016	150	15.0	0.0	<0.3	11.7	2.5	<2.1	Modèle piston (PFM)	1952
F_Rosaret-3	FR3	14/04/2016	150	15.0	0.0	<0.3	14.4	3.2	<2.1	Modèle piston (PFM)	1953
F_Rosaret-4	FR4	25/04/2016	150	15.0	0.0	<0.3	16.8	3.2	<2.1	Modèle piston (PFM)	1954

Illustration 12. Concentrations en pptv des gaz dissous calculées à partir des paramètres (altitude, température et excès d'air)

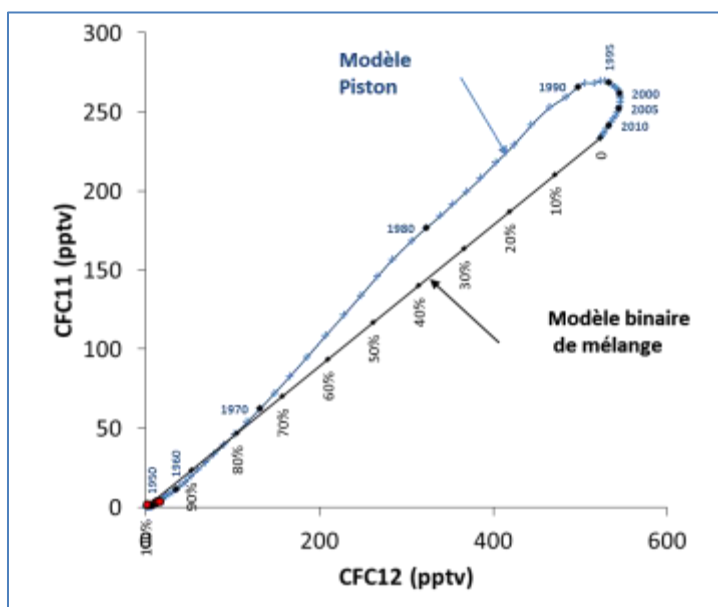


Illustration 13. Evolution des concentrations en gaz dissous dans le diagramme bi-variables (CFC11 vs CFC 12). La courbe bleue représente l'évolution de la concentration du modèle piston (PFM). La droite représente l'évolution du modèle binaire de mélange en considérant, pour le pôle récent, les eaux d'infiltration de 2015, et pour le pôle ancien, les eaux infiltrées en 1940 définies par le modèle piston.

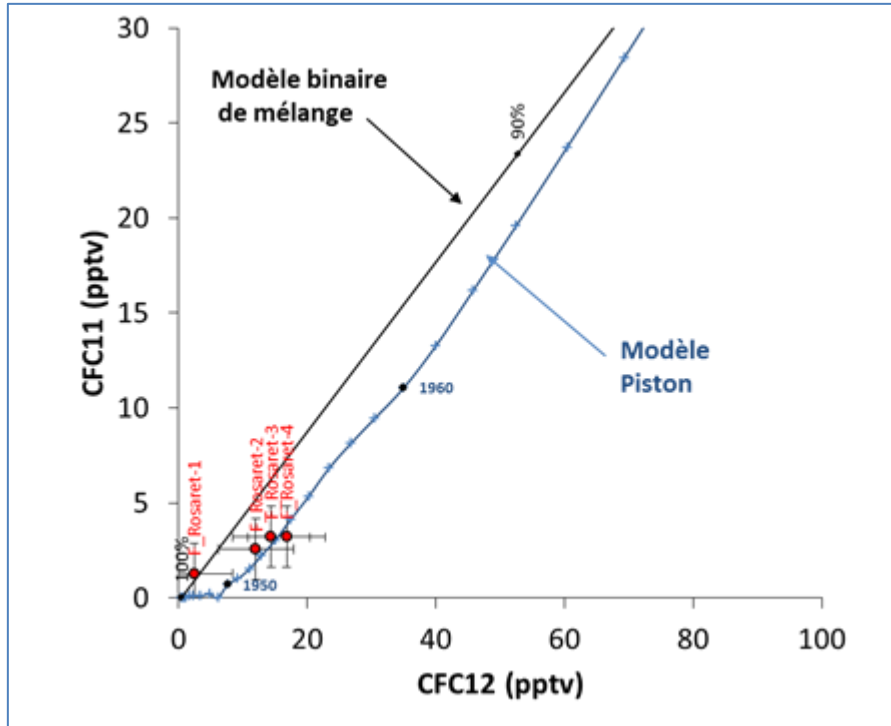


Illustration 14. Agrandissement de l'illustration 13.

3.4.2. Interprétation des résultats de datation par le tritium

En 2013, les eaux prélevées par l'Université d'Avignon ne présentaient pas de tritium ($^3\text{H} < 0.6$ UT). Les résultats sur les eaux prélevées en 2016 au cours du pompage longue durée confirment ce résultat (Illustration 6). L'absence de tritium témoigne d'une contribution d'eau d'infiltration ancienne issue des précipitations sans tritium nucléaire (avant 1952), ce qui est corroboré par les résultats de la datation par les gaz dissous (CFC/SF6).

3.4.3. Confrontation des résultats des datations aux caractéristiques chimiques des eaux

L'oxygène 18 et le deutérium sont des traceurs intrinsèques de la molécule d'eau. La détermination des teneurs en oxygène 18 et deutérium des eaux permet la comparaison avec la recharge (fonction d'entrée) par l'intermédiaire de la droite des eaux météoriques (Illustration 15)⁴. Les pluies de la plaine du Roussillon sont enrichies en isotopes lourds par rapport aux précipitations (pluie/neige) des massifs environnants, qui en première approximation, peuvent être caractérisée par les eaux de surface (Têt à Vinca et le Boulès). Les eaux du Boulès présentent une signature isotopique intermédiaire à celles des pluies de la plaine du Roussillon et de la Têt ce qui témoigne globalement pour le Boulès d'une altitude de recharge intermédiaire à celles du bassin de la Têt et de la plaine du Roussillon.

⁴ Dans un digramme $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$, les signatures des eaux des pluies se répartissent suivant les droites des eaux météoriques mondiale ($\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$, Craig 1961) et locale, cette dernière présentant un excès en deutérium car influencée par les masses d'air issue de la Méditerranée ($\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 14$, Ladouche et al 2009).

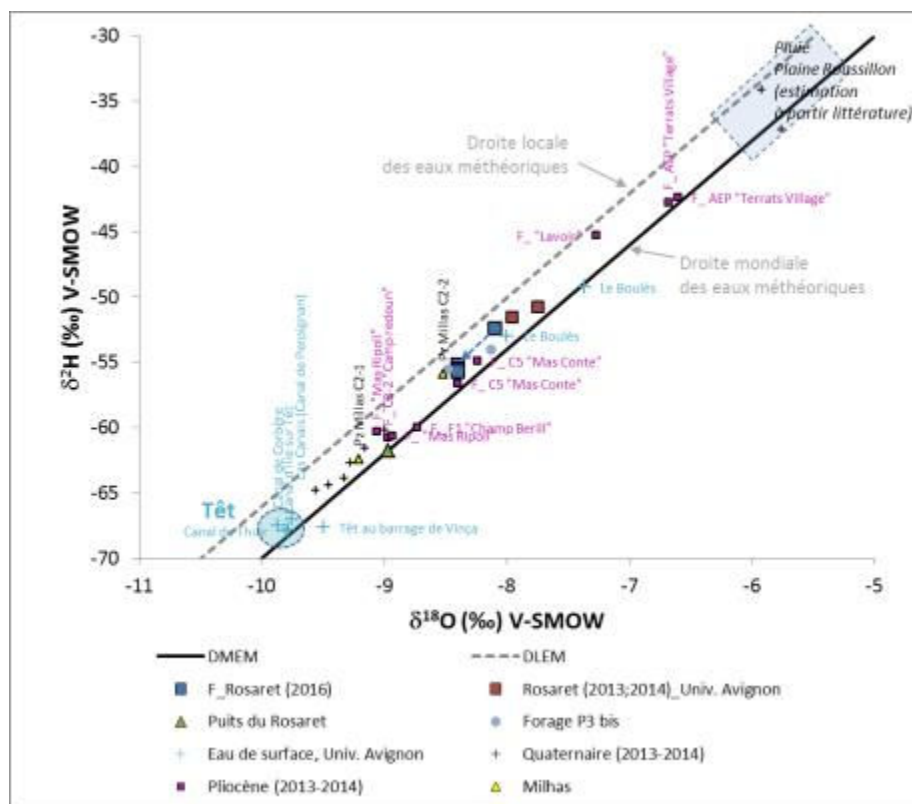


Illustration 15. Report des analyses de 2016 sur le forage Rosaret dans le contexte isotopique (stables de l'eau) défini par les campagnes de prélèvements de 2013 et 2014.

La signature isotopique ($\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$) des eaux du forage Rosaret est très proche de celle mesurée dans l'ouvrage C5-Mas Conte (pliocène) et dans l'ouvrage P3bis situé dans le quaternaire. Les signatures isotopiques de ces points d'eau apparaissent très proches de celles du Boulès contrairement à l'ancien puits communal (quaternaire) situé à proximité immédiate du forage Rosaret qui apparaît appauvri en isotopes stable de l'eau. Les eaux de ce dernier point apparaissent influencées par la signature isotopique de la Têt ce qui indique que le quaternaire dans ce secteur est en partie rechargée par les eaux des canaux d'irrigation alimenté par la Têt. Les signatures des isotopes stables de l'eau des points Rosaret et C5-Mas Conte (pliocène) et de l'ouvrage P3bis suggèrent une contribution très majoritaire des eaux du Boulès et une faible voire une absence de contribution d'eau des canaux d'irrigation alimenté par la Têt. Rappelons que l'ouvrage P3bis est situé à proximité du Boulès (cf. Illustration 1).

L'évolution des activités tritium des eaux en fonction de la signature en oxygène 18 est présentée sur l'illustration 16. Dans le graphique, les pôles des différentes eaux de surface et de la pluie ont été positionnés en supposant que la signature tritium des eaux est subactuelle (l'activité des pluies mesurées actuellement est voisine de 5/6 UT selon l'information du réseau du GNIP⁵ pour l'hémisphère nord).

Les eaux souterraines présentant une absence de tritium sont qualifiées d'anciennes, la datation par les CFC/SF₆ indique que les eaux se sont infiltrées dans l'hydrosystème avant 1954 : Forage Rosaret, forage C5-Mas Conte. Les autres eaux souterraines présentant des activités tritium comprises entre 0.6 UT et 4.8 UT ce qui témoignent globalement de l'influence de précipitations formées dans une atmosphère contenant du tritium nucléaire. Il s'agit

⁵ Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. <http://www.iaea.org/water>

principalement des eaux du quaternaire et des eaux du pliocène dans des secteurs où une drainance verticale (quaternaire vers pliocène) est suspectée (secteur de Milhas, secteur du Mas Ripoli). Dans l'illustration 16, la position des points dans le graphique permet de distinguer ceux influencés par la signature isotopique de la Têt par l'intermédiaire des canaux d'irrigation alimentés par la Têt. Pour ces points, les données disponibles ne permettent pas de préciser le pourcentage de contribution d'eau récente (post 1954) ni l'âge apparent de la composante récente impliquée et/ou le temps de résidence de l'eau de l'aquifère au sein du quaternaire.

L'évolution de la conductivité des eaux en fonction de la signature en oxygène 18 est présentée sur l'illustration 17. Dans ce graphique, on montre que les eaux du forage du Rosaret et de l'ouvrage P3bis implanté dans le quaternaire se distinguent très nettement des autres eaux souterraines échantillonnées et que la signature de ces points est nettement influencée par les eaux du Boulès. La confrontation avec les teneurs en chlorure apporte le même type d'information (cf. Illustration A- 2 en annexe 3). Pour les eaux du quaternaire mobilisées par l'ouvrage P3bis, la recharge du quaternaire peut s'envisager de manière directe par échange rivière-nappe. Pour le pliocène sous-jacent, l'influence du Boulès est indirecte puisque, d'après la carte géologique, la formation pliocène est absente à l'affleurement dans le secteur de Bouleternère/Ille-sur-Têt. Dans ce contexte, c'est par l'intermédiaire de l'aquifère du quaternaire et par le phénomène de drainance que les eaux du pliocène sont vraisemblablement rechargées par une contribution d'eau en provenance du Boulès.

Les teneurs en silice du Rosaret sont élevées notamment par rapport aux eaux de surface et aux eaux du quaternaire. La confrontation des informations de la silice aux isotopes de la molécule d'eau (Illustration 18) permet de montrer le rôle des interactions eau-roche qui conduit à des augmentations de minéralisation en silice dans l'aquifère du pliocène. La relation entre l'âge de l'eau et la concentration en silice ne peut pas être établie par manque d'information de datation sur les autres eaux souterraines échantillonnées en 2013 et 2014.

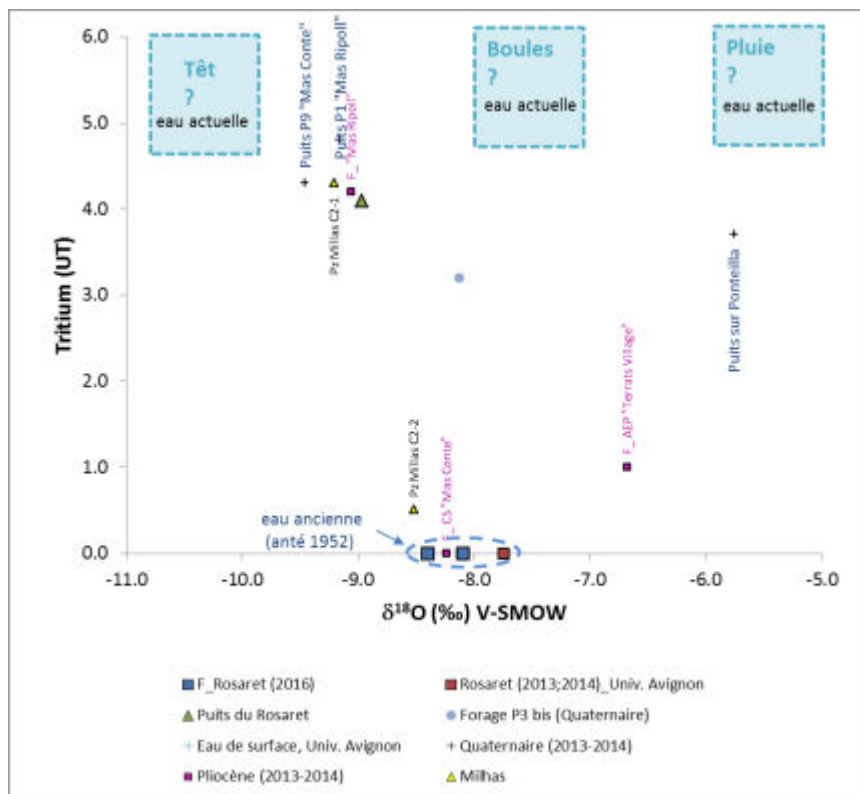


Illustration 16. Report des analyses de 2016 sur le forage Rosaret dans le contexte isotopique (Tritium vs $\delta^{18}\text{O}$) défini par les campagnes de prélèvements de 2013 et 2014.

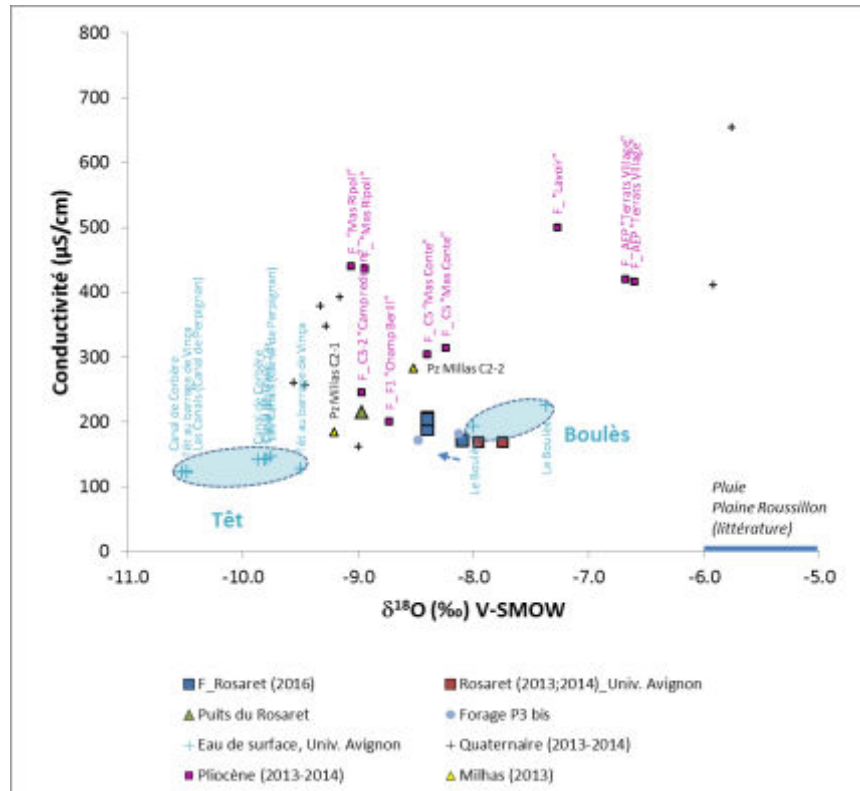


Illustration 17. Conductivité versus $\delta^{18}\text{O}$: report des analyses de 2016 dans le contexte géochimique défini par les campagnes de prélèvements de 2013 et 2014.

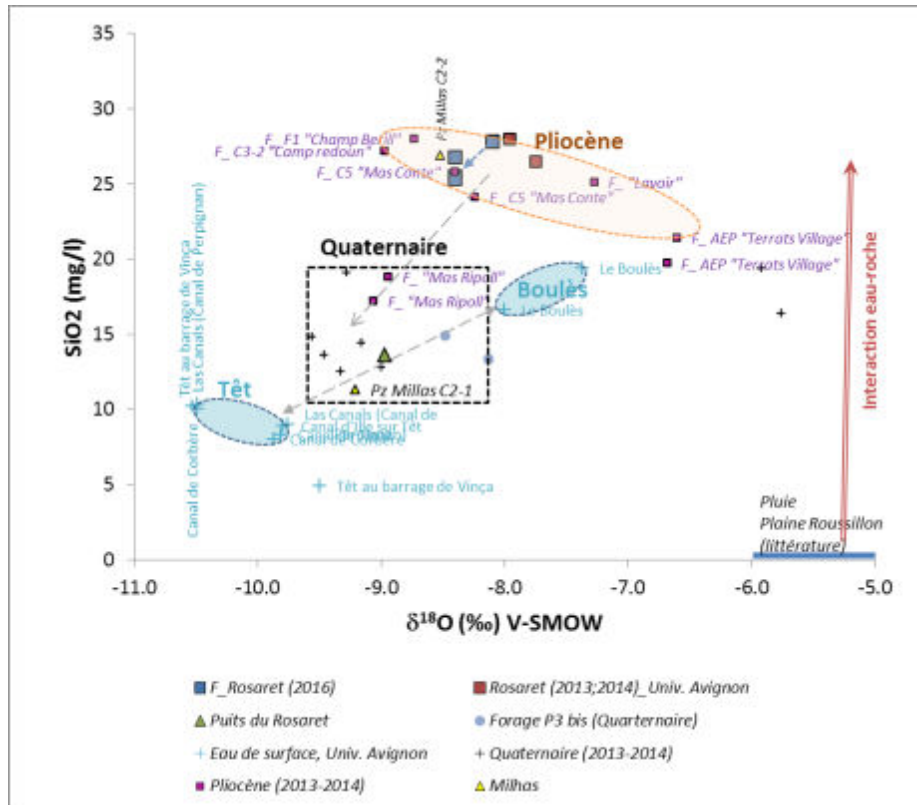


Illustration 18. SiO_2 versus $\delta^{18}\text{O}$: report des analyses de 2016 dans le contexte géochimique défini par les campagnes de prélèvements de 2013 et 2014.

4. Interprétation des essais par pompage

Une des actions majeures entreprises dans cette étude concerne l'interprétation des résultats de l'essai de pompage de longue durée (26 jours) réalisée au printemps 2016 (cf. § 2.3). Les données acquises en 2011 lors des essais par paliers et le pompage de 48 heures ont également fait l'objet de retraitements.

4.1. ESSAIS DE PUIITS

L'objectif des essais de puits ou essais par paliers de débit est destiné à estimer les pertes de charge quadratiques liées au puits (ouvrage pompé). Elles se traduisent par un rabattement de pression additionnel dû à l'équipement du forage et/ou à la qualité des échanges hydrauliques entre le forage et l'aquifère. Ces essais ont été interprétés suivant la méthode de Jacob (Cooper et Jacob, 1946), où le rabattement, s , à la fin de chaque palier est décrit par la relation suivante :

$$s = BQ + CQ^2$$

avec :

B : coefficient de pertes de charge linéaires liées à l'aquifère ($m^{-3}s$),

C : coefficient de pertes de charge quadratiques liées au puits ($m^{-5}s^2$),

s : rabattement en mètre après un certain temps de pompage (en général 1 ou 2 heures)

Q (m^3/h) le débit de chacun des paliers.

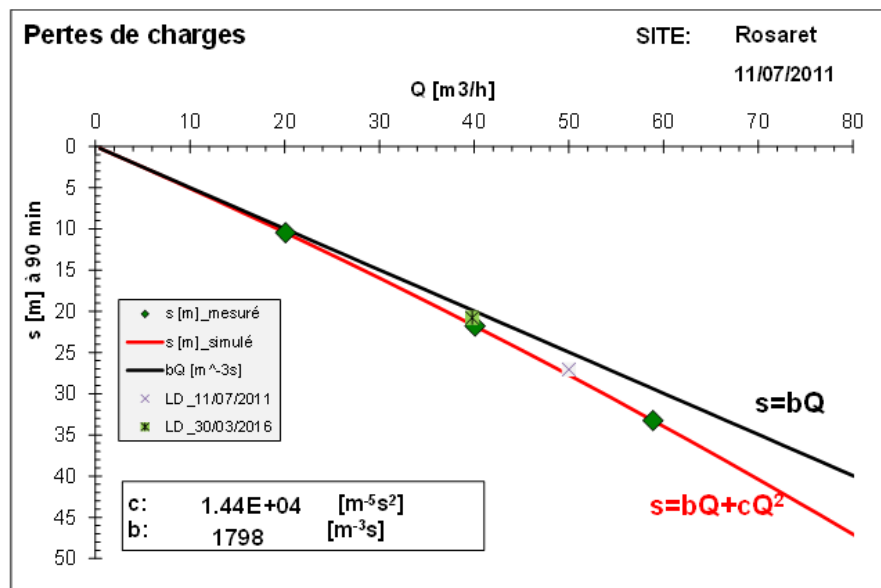


Illustration 19. Interprétation des essais par paliers de débit (2011) et des essais de longue durée (2011 : 48 heures, 2016 : 26 jours) sur l'ouvrage de reconnaissance du Rosaret. [b : coefficient de pertes de charge linéaires (liées à l'aquifère) et c : coefficient de pertes de charge quadratiques (liées au puits)].

Le graphique de l'illustration 19 présente l'interprétation des essais pour le rabattement après 90 minutes de pompage. Le report du rabattement du pompage de longue durée de 2016 à 90 mn de pompage se positionne sur la courbe de rabattement définie à partir de données de 2011 ce

qui indique que les propriétés de l'ouvrage n'ont pas significativement évoluées entre les deux essais (pas de colmatage des crépines, pas de développement).

4.2. METHODOLOGIE D'INTERPRETATION DES ESSAIS DE NAPPE

4.2.1. Principe

Le principe de la méthode mise en œuvre pour interpréter les pompages de longues durées réalisés sur l'ouvrage du Rosaret est présenté dans le schéma suivant (Illustration 20).

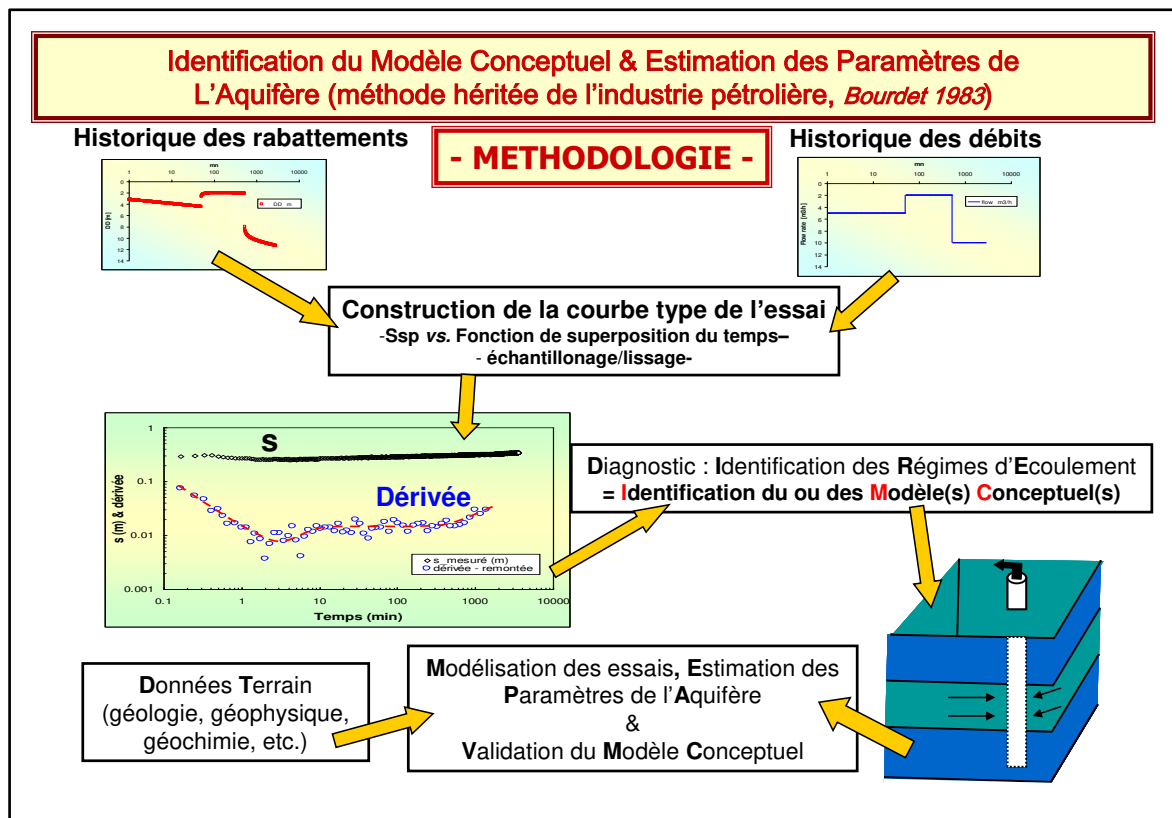


Illustration 20. Méthodologie mise en œuvre pour l'interprétation de pompages d'essai. Utilisation des dérivées des rabattements pour diagnostiquer les essais.

Dans les paragraphes qui suivent, et c'est bien le principe de tout type de modélisation, on assimile les aquifères à des milieux homogènes et continus, ce qui ne constitue qu'une approximation et une schématisation de la réalité.

L'interprétation des essais de pompage dans les formations fracturées, karstifiées ou dans les formations sédimentaires hétérogènes est souvent complexe, conséquence de la géométrie des réseaux de fractures, des conduits karstiques, des relations fracture-matrice, de la connexion de ces réseaux avec des aquifères de surface, de l'empilement et de la géométrie de séries à perméabilités différentes lorsqu'il s'agit de formations sédimentaires, etc.

Afin de déterminer les différentes composantes d'écoulement associées aux propriétés hydrauliques de tels aquifères, il est nécessaire de porter une attention particulière aux essais de pompage et de poser un diagnostic aussi fin que possible sur les essais avant toute

modélisation. Le diagnostic repose sur l'interprétation des pentes de la courbe de dérivée logarithmique des rabattements ($\partial s/\partial \ln t$; à la descente ou à la remontée des niveaux) qui a l'avantage de représenter tous les régimes d'écoulement sur un seul et même graphique bi-logarithmique (Bourdet et al., 1983, 1989 ; Spane and Wurstner, 1993...). L'avantage de cette méthode est que pour chaque type et/ou géométrie d'aquifère, mais aussi qu'à chaque type de configuration forage-aquifère (captage partiel de l'aquifère par exemple) correspond un certain régime ou une succession de certains régimes d'écoulement qu'il est en général possible d'identifier sur la courbe de dérivée (Deruyck et al., 1992, Shlumberger, 2002 ; Renard et al., 2009). Par exemple, un écoulement radial sera caractérisé par une dérivée formant un plateau (pente nulle), l'atteinte de deux limites étanches parallèles par une pente de $1/2$, 4 limites étanches orthogonales (ou un autre type de réservoir fermé) par une pente de 1, un captage partiel de l'aquifère par une pente de $-1/2$, un effet de drainance par une pente négative infinie, etc. Le graphique de l'illustration 21 présente comme exemple les différents types d'écoulements que l'on observe lors d'un pompage dans un aquifère situé dans un aquifère rectangulaire où, tour à tour, les limites étanches (orthogonales entre elles) sont perçues par l'essai. L'effet capacitif du puits est aussi pris en compte.

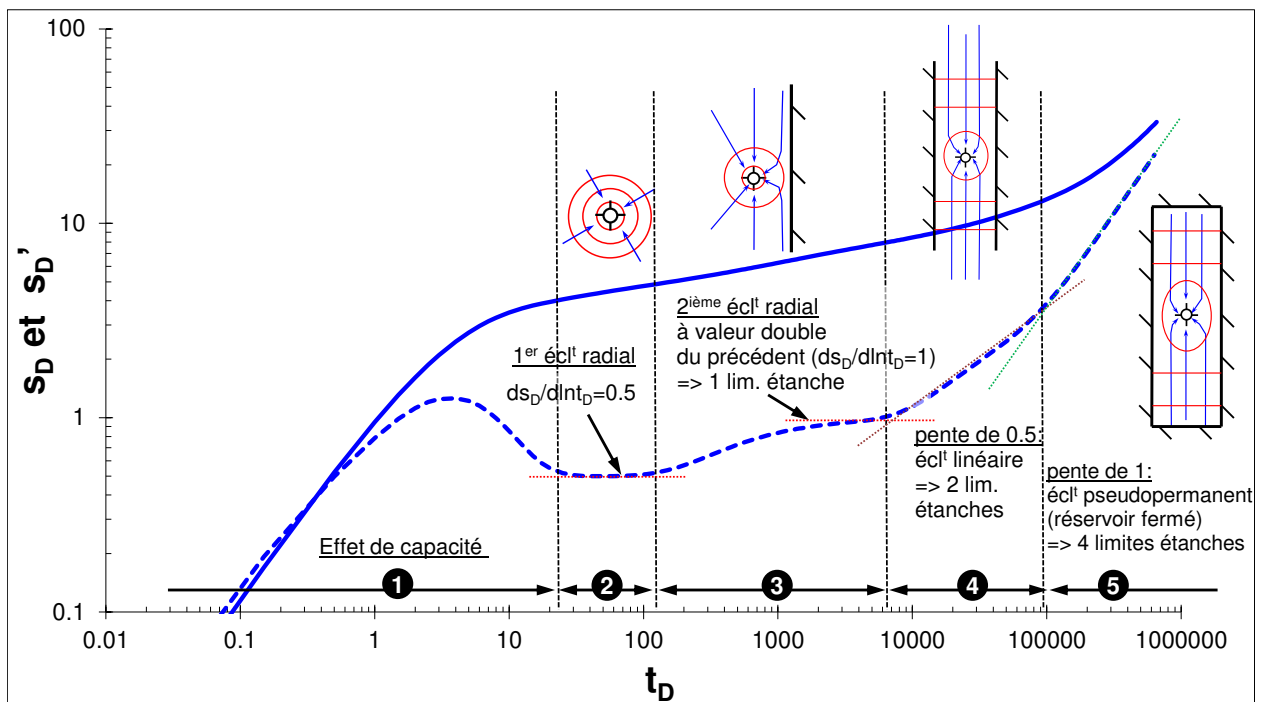


Illustration 21. Exemple de succession de régimes d'écoulement lors d'un pompage dans un aquifère rectangulaire clos. t_D : temps adimensionnel, s_D (courbe pleine) et s'_D (courbe tirée) : rabattement et dérivée du rabattement (adimensionnel).

Le calcul de la dérivée nécessite souvent un traitement par lissage afin d'augmenter le rapport signal sur bruit, le bruit étant engendré par des micro-variations du débit et/ou par la sensibilité de l'outil de mesure des niveaux d'eau (sonde manuelle, sonde automatique). Ce traitement n'altère en rien la qualité des données originelles. De plus, lorsque le débit varie de façon significative durant l'essai, il est nécessaire de prendre en compte ces variations dans le calcul. Le calcul de la dérivée sera donc réalisé à partir des rabattements spécifiques (normalisation par rapport aux variations de débit) et du temps de superposition (fonction aussi des variations de débit) ; on obtient ainsi une courbe type de l'essai –c'est-à-dire pour un débit unitaire- qui est dérivée et interprétée suivant la méthode précédemment décrite.

Une fois la courbe des dérivées construite, le diagnostic consiste à identifier les différents régimes d'écoulement et à en déduire les propriétés du forage (effet de capacité, effet de skin,...), de l'aquifère (isotrope, anisotrope, fracture verticale, double porosité, etc.), de sa géométrie (effets de limites), des éventuelles relations entre l'aquifère capté et d'autres aquifères (effet de drainance par exemple) et éventuellement la mise en évidence d'écoulements fractionnaires comme par exemple dus à la forte perméabilité d'un drain karstique. Enfin, une fois le diagnostic posé, l'estimation des paramètres de l'aquifère est réalisée à partir du modèle mathématique le plus approprié. Puis, le modèle conceptuel de l'aquifère est validé en jugeant de la pertinence de la modélisation et des informations géologiques disponibles sur la formation testée.

A partir de la courbe des dérivées, il est donc déjà possible d'estimer les paramètres hydrodynamiques, en particulier la transmissivité et la perméabilité de la formation captée, lorsqu'un écoulement radial cylindrique est identifié.

4.2.2. Diagnostic des essais de 2011 et 2016 sur le forage de reconnaissance du Rosaret

A partir des rabattements mesurés et des mesures ponctuelles du débit de pompage, la méthodologie d'interprétation des essais de nappe décrite précédemment a été appliquée. Le graphique bi-logarithmique (Illustration 22) présente les évolutions des rabattements spécifiques observés en 2016 et des dérivées associées.

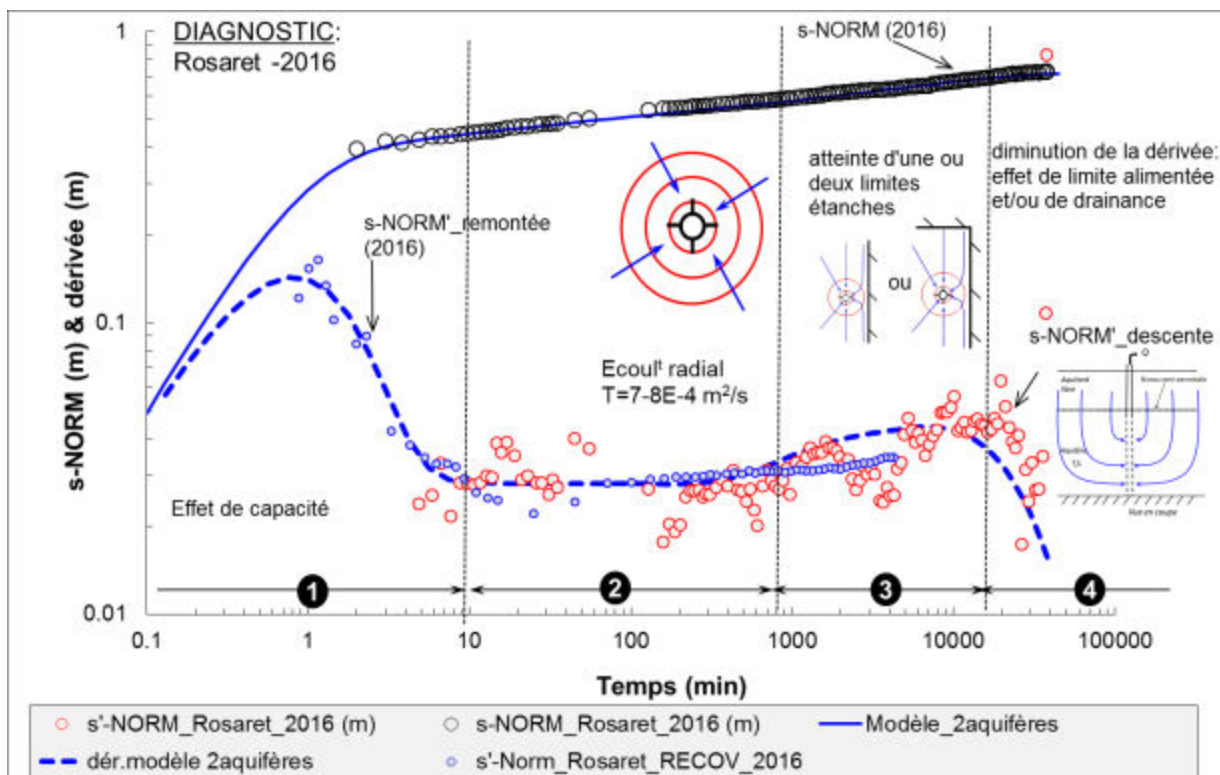


Illustration 22. Graphe Log-Log des rabattements spécifiques et dérivées logarithmiques en fonction du temps de pompage. Modèle : courbe bleue continue : rabattement. Courbe bleue pointillée : dérivée du rabattement.

L'analyse des courbes de dérivées permet d'identifier une succession d'écoulements distincts. Ces écoulements sont :

- 1- du début de l'essai à environ 10 minutes, les courbes décrivent un effet capacitif lié à l'équipement du puits ;
 - 2- de 10 à environ 800 minutes : les courbes tendent à montrer un plateau, synonyme d'un écoulement radial à partir duquel la transmissivité de l'aquifère peut être déduite (T : de 7 à $8 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) ;
 - 3- de 800 à 15000 minutes environ, la dérivée augmente constamment indiquant l'atteinte d'une ou 2 limites étanches orthogonales, qui matérialisent des extrémités du réservoir aquifère mobilisé par le pompage ;
- et de 15000 minutes à la fin de l'essai, la courbe de dérivées diminue, traduisant une stabilisation des rabattements, ce qui correspond à un phénomène de drainance.

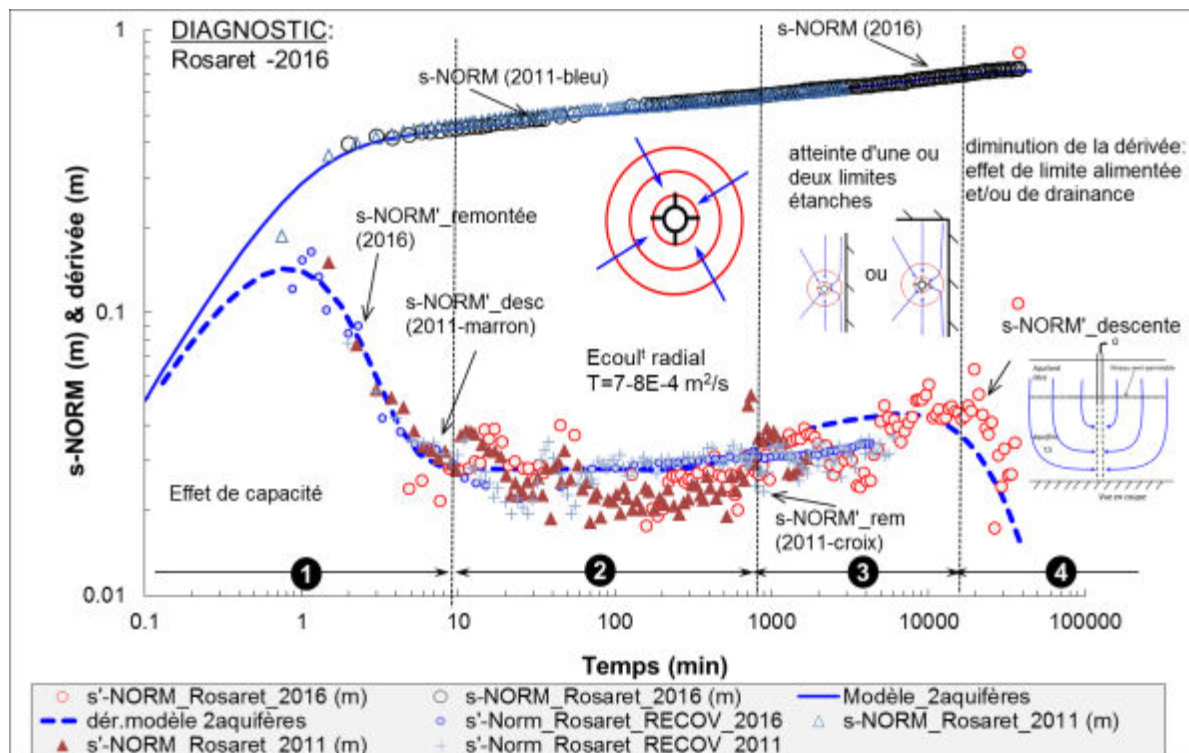


Illustration 23. Report des données de l'essai de 2011 dans le diagramme diagnostique de l'essai de 2016.

Le report des informations de 2011 dans le diagramme diagnostique de l'essai de 2016 corrobore les résultats (Illustration 23), toutefois l'essai de 2011 a été trop court (48 h) pour mettre en évidence le phénomène de drainance observée tardivement en 2016 (à partir de 10 jours de pompage environ).

Le diagnostic montre que le forage mobilise un aquifère assez transmissif (T de 7 à $8 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$), que celui-ci est partiellement limité dans l'espace (présence de limites étanches) et, soumis à un effet de drainance en provenance, a priori, d'un aquifère superficiel (quaternaire). Les Illustration 22 et 23 présentent la modélisation des rabattements et dérivées normalisés (courbes bleues) à l'aide d'un Modèle à effet de drainance d'un aquifère supérieur. La modélisation des essais (cf. § suivant), avec la prise en compte des variations de débit permettra de vérifier la cohérence de ce diagnostic.

4.2.3. Modélisation des essais de nappe du forage Rosaret

Le diagnostic a conduit à définir un modèle mathématique adapté à la situation hydrogéologique identifiée : modèle à effet de drainance d'un aquifère supérieur avec effet de limites. Ce modèle découle des travaux de Hunt et Scott (2007) et a été étendu par le BRGM, aux notions d'anisotropie 3-D et de limites étanches. Le modèle utilisé présente les caractéristiques suivantes (Illustration 24 et Illustration 25) :

- un aquifère multicouche surmonté d'un aquitard séparé du premier par un semi-perméable, (effet de drainance). Suivant le modèle choisi le niveau d'eau dans l'aquitard peut varier (Hunt et Scott modifié) ou non (Hantush (1964) modifié, c.-à-d. T_0 ou $S_y \rightarrow \infty$) ;
- prise en compte d'une anisotropie de perméabilité (ou transmissivité) 2-D (Hunt et Scott modifié) ou 3-D (Hantush modifié), suivant le modèle choisi. L'anisotropie verticale est définie par le ratio T_h/T_v (T_h : transmissivité horizontale et T_v , verticale) et l'anisotropie dans le plan horizontal x,y par le ratio T_{yy}/T_{xx} (T_{yy} : selon l'axe des y et T_{xx} selon l'axe des x) ;
- captage partiel du forage et du piézomètre dans l'aquifère ;
- jusqu'à 4 limites étanches orthogonales. Deux parallèles à l'axe des x et deux perpendiculaires ;
- positionnement quelconque du puits et du piézomètre dans l'aquifère ;
- calcul du rabattement dans l'aquifère de surface (aquitard) ;
- et prise en compte des effets liés au puits (capacité de puits, skin, pertes de charge quadratiques).

Nota : dans le cas du forage du Rosaret, l'anisotropie de perméabilité, ainsi que le captage partiel de l'ouvrage n'ont pas été utilisés.

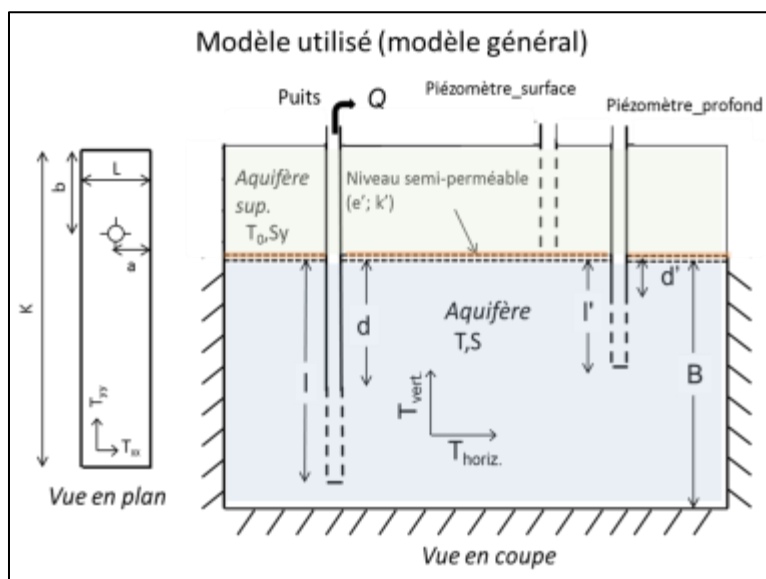


Illustration 24. Modèle à effet de drainance d'un aquitard supérieur avec ou sans abaissement de son niveau, anisotropie de perméabilité 3-D, jusqu'à quatre limites étanches orthogonales, captage partiel du puits (ou du piézomètre). Modifié de la solution de Hunt et Scott (2007).

Paramètres du modèle modifié de Hunt et Scott (2007)		Vue en plan 	Rosaret (30/03/16 -29/04/16)
Distance	r (m)	0.13	
Transmissivité de l'aquifère capté	T (m^2/s)	7.85E-04	
Emmagasinement de l'aquifère capté	S (-)	3.40E-05	
Perméabilité de l'éponte (aquitard)	k' (m/s)	2.90E-11	
Epaisseur de l'éponte (aquitard)	e' (m)	1	
Transmissivité de l'aquifère supérieur	T_0 (m^2/s)	infinie	
Emmagasinement de l'aquifère supérieur	S_y (-)	infinie	
Dist. à la 1 ^{ère} limite (a)*	Dist.lim. 1 (min et m)	220 // 1104	
Dist. à la 2 ^{ème} limite (L-a)*	Dist.lim. 2 (min et m)		
Dist. à la 3 ^{ème} limite (b)*	Dist.lim. 3 (min et m)	3000 // 4077	
Dist. à la 4 ^{ème} limite (K-b)*	Dist.lim. 4 (min et m)		
Capacité du puits	R_c (m)	13500	
Pertes de charge quadratiques	C ($m^{-5}s^2$)	0.1	

Illustration 25. Paramètres du modèle à effet de drainance utilisé.

Note de l'illustration 25:

- ✓ $T_0=S_y=infinie$; veut dire qu'il n'y a pas de diminution significative du niveau d'eau dans l'aquifère de surface
- ✓ Utilisation que de 2 limites étanches orthogonales (attention la distance dépend de l'estimation de S)

L'illustration 26 présente les résultats de la modélisation de l'essai de longue durée de 2016. Les paramètres hydrodynamiques sont consignés dans le tableau de l'illustration 25.

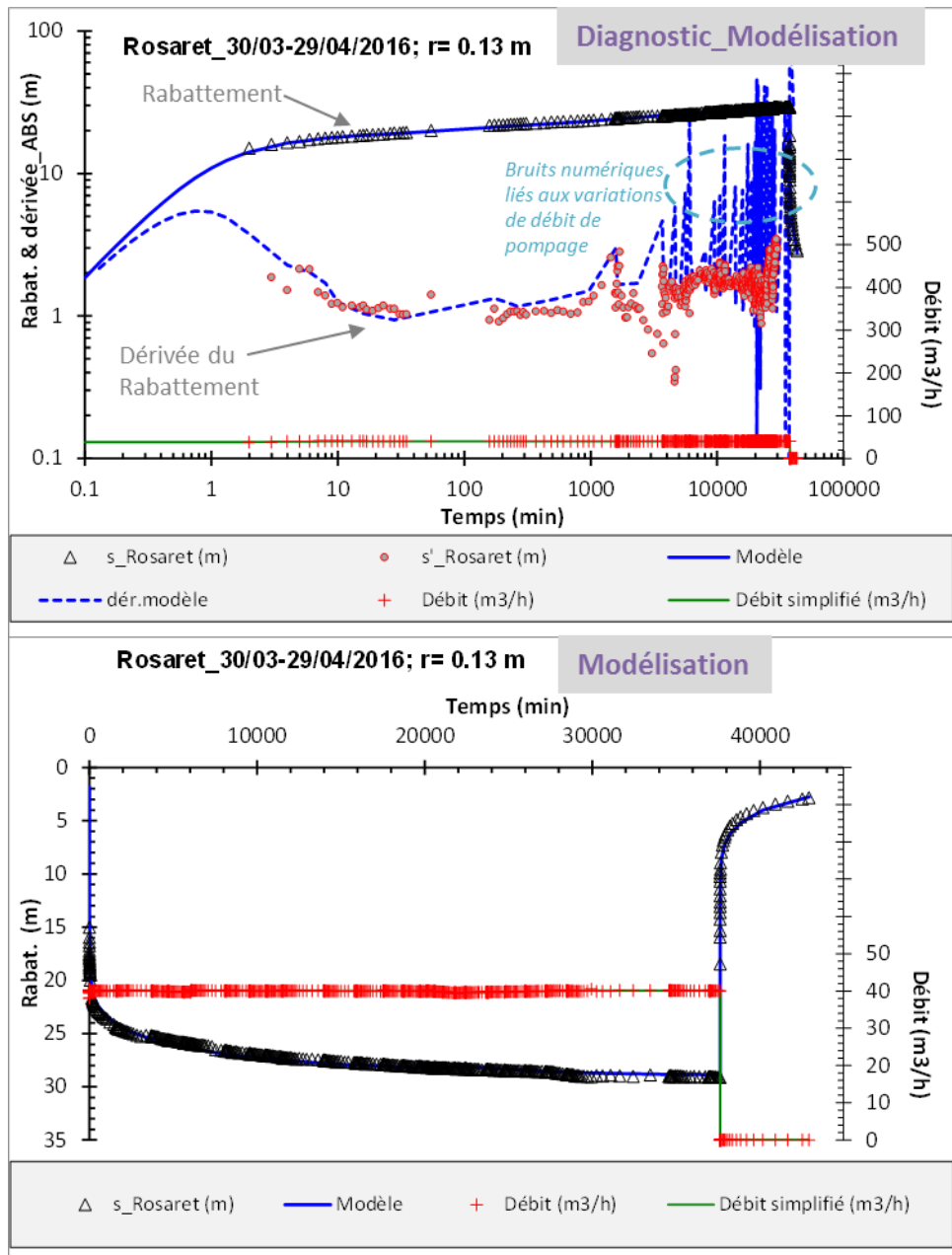


Illustration 26. Modélisation des rabattements et des dérivées des rabattement au puits de pompage pour l'essai de nappe su forage de reconnaissance Rosaret (2016).

La modélisation de l'essai de nappe est de bonne qualité, la transmissivité de l'aquifère est de $7.85 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Son emmagasinement faible (3.4×10^{-5}), et même si réaliste, ne peut pas être estimé de façon fiable puisque l'interprétation est effectuée au puits de pompage; il s'agit donc d'un paramètre de calage. La première limite alimentée est atteinte rapidement, au bout de 220 min de pompage, la distance à cette limite (estimée à 1100 m) est indicative en raison de l'incertitude sur le coefficient d'emmagasinement. La seconde limite orthogonale est observée au bout de 3000 mn, la distance estimée est de 4000 m (valeur indicative). Dans ce cas, la valeur de cette distance est aussi une valeur de calage.

Le report de la position des limites étanches déduit de la modélisation hydraulique dans le contexte géographique et géologique suggèrent que la première limite (L1) coïncide avec la

bordure nord/nord-ouest du bassin sédimentaire défini par le socle. La seconde limite (L2) coïncide avec la bordure sud-ouest du bassin sédimentaire (Illustration 27).

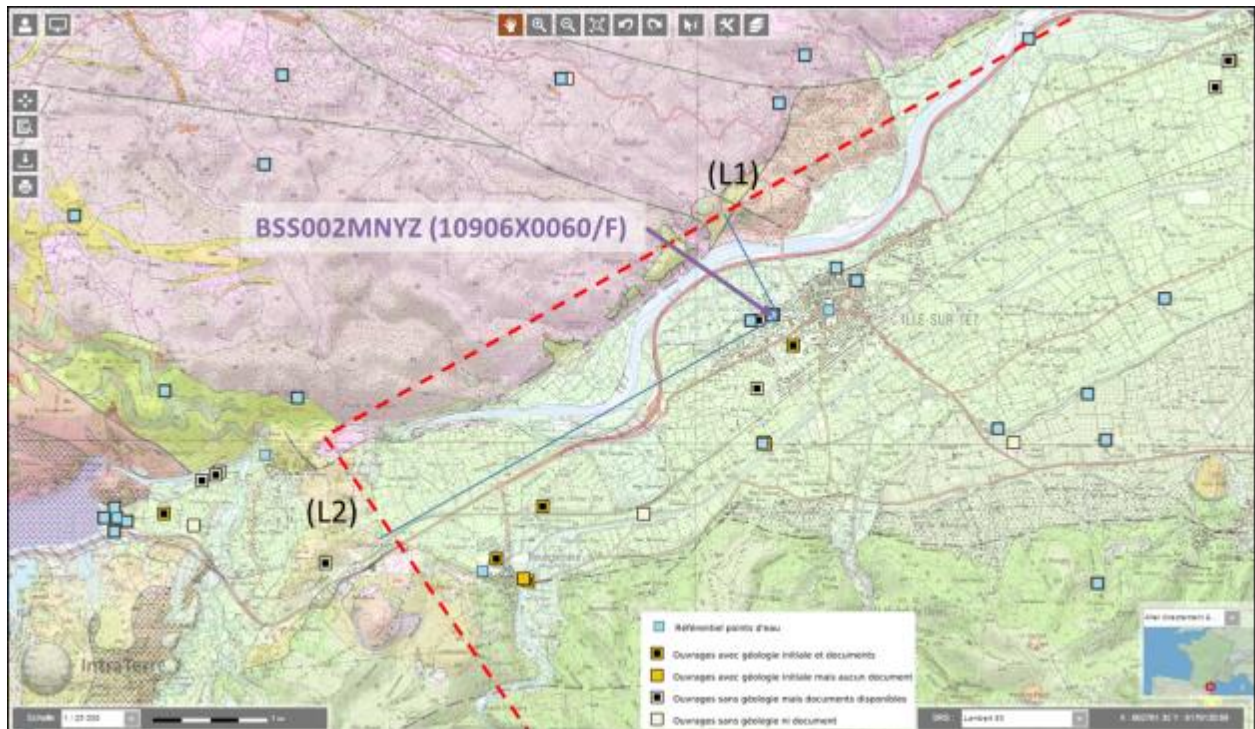


Illustration 27. Report de la position des limites étanches déduites de la modélisation hydraulique dans le contexte géographique et géologique.

Le diagnostic et la modélisation mettent en évidence l'existence d'un effet de drainance avec un aquifère superficiel. Dans le contexte de l'étude, c'est l'aquifère du quaternaire qui est vraisemblablement sollicité par l'effet de drainance. Par ailleurs, rappelons que ce dernier est bien connecté aux eaux de surface. Les données géochimiques disponibles indiquent que l'eau mobilisée par le pompage est très ancienne (infiltrée avant 1954) et qu'elles ont une signature isotopique proche des eaux du Boulès. Dans ce contexte, c'est vraisemblablement la nappe quaternaire rechargée par le Boulès dans le secteur de Bouleternère qui est mobilisée par le pompage.

Rappelons que le transfert de masse au sein de l'aquifère du pliocène est lent contrairement au transfert de pression dans le milieu qui est rapide car fonction de la diffusivité importante de l'aquifère, liée en partie au faible coefficient d'emménagement apparent ($T/S=23.1$). Le transfert de masse au sein de l'aquifère déduit par l'interprétation des gaz dissous se ferait selon un mode d'écoulement très faiblement dispersif de type modèle piston.

5. Conclusion et perspectives

Dans cette étude, des analyses géochimiques et des datations par les gaz dissous (CFC/SF6) et le tritium ont été réalisées au cours de l'essai de pompage qui a été conduit en 2016 par le Syndicat Mixte des Nappes de la Plaine du Roussillon (SNPR) sur le forage de reconnaissance Rosaret situé sur la commune d'Ille-sur-Têt. En parallèle à l'investigation géochimique, un travail de valorisation des données des tests hydrauliques a été réalisé par les techniques d'interprétation des essais de pompage dans le but d'apprécier les capacités du forage et la structure de l'aquifère à proximité de l'ouvrage.

L'ensemble des résultats obtenus par les 2 approches ont été replacés dans le cadre général des connaissances du secteur d'étude en intégrant notamment les informations géochimiques récentes des campagnes de prélèvements de 2013 et 2014 (cf. Etude des interactions entre les eaux de surface et les nappes de la plaine du Roussillon par traçage chimique et isotopique, l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 2014).

Les eaux mobilisées au cours du pompage d'une durée de 26 jours au débit de 40 m³/h sont anciennes, dépourvues de tritium, et vraisemblablement infiltrées dans l'aquifère avant 1954 d'après les informations des gaz dissous). Au cours du pompage, des évolutions chimiques semblent avoir été observées, l'âge apparent des eaux pompées en fin de pompage apparaissant plus faible que l'âge apparent des eaux pompées en début d'essai. Les évolutions observées suggèrent que le transfert de masse au sein de l'aquifère se ferait selon un mode d'écoulement très faiblement dispersif de type modèle piston. Une investigation complémentaire du même type que celle conduite dans cette étude permettrait dans quelques années, lorsque l'ouvrage sera en production, de mieux préciser ces modalités de transfert.

La confrontation des informations géochimiques permet de montrer que l'eau du pliocène mobilisée par le pompage du Rosaret est très ancienne et qu'elle a une signature isotopique proche des eaux du Boulès. Les eaux des ouvrages C5-Mas Conte (pliocène) et de l'ouvrage P3bis (quaternaire) apparaissent également nettement influencées par les eaux du Boulès. Pour les eaux du quaternaire du puits communal situé à proximité immédiate du Rosaret, c'est l'influence des eaux des canaux d'irrigation alimenté par la Têt qui est mis en évidence.

L'ouvrage P3bis est situé à proximité du Boulès, la recharge du quaternaire peut donc s'envisager de manière directe par échange rivière-nappe. Pour le pliocène sous-jacent, l'influence du Boulès est indirecte puisque, d'après la carte géologique, la formation pliocène est absente à l'affleurement dans le secteur de Bouleternère/Ille-sur-Têt. Dans ce contexte, c'est par l'intermédiaire de l'aquifère du quaternaire et par le phénomène de drainance que les eaux du pliocène sont rechargées, ou moins en partie, par des eaux en provenance du Boulès. Cette hypothèse a été confortée par l'interprétation des essais de pompage qui met en évidence l'existence d'un effet de drainance avec un aquifère superficiel. Dans ce contexte, c'est vraisemblablement la nappe quaternaire dans le secteur de Bouleternère/Ille-sur-têt, rechargée par le Boulès, qui est mobilisée hydrauliquement par drainance au cours du pompage.

Les capacités de l'ouvrage ainsi que la structure de l'aquifère à proximité de l'ouvrage ont été définies à partir de l'interprétation des essais de pompage réalisés en 2016 et en 2011. Le forage mobilise un aquifère assez transmissif ($T=7.85 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$), partiellement limité dans l'espace (présence de limites étanches orthogonales) et, soumis à un effet de drainance avec

un aquifère superficiel. Son emmagasinement faible (3.4×10^{-5}) n'a pas pu être estimé de façon fiable puisque l'interprétation est effectuée au puits de pompage. La position des limites étanches déduite de la modélisation hydraulique a été reportée dans le contexte géographique et géologique et montrent que la première limite (L1) coïncide avec la bordure nord/nord-ouest du bassin sédimentaire défini par le socle, la seconde limite (L2) coïncide avec la bordure sud-ouest du bassin sédimentaire (cf. Illustration 27).

Cette étude a permis d'illustrer l'intérêt de coupler les techniques d'interprétation des essais de pompage aux investigations géochimiques et isotopiques sur les eaux souterraines et de surfaces. Au vu des résultats de cette étude, l'apport des outils de datation par les CFC/SF6 et le tritium apparaît intéressant à coupler aux mesures chimiques et isotopique plus classique (stable de l'eau) pour mieux comprendre les modalités de fonctionnement de cet hydrosystème complexe multicouches du plio-quaternaire, notamment dans les zones de recharge connues et présumées de la plaine du Roussillon. Des investigations spécifiques avec les outils de datation seront prochainement mises en œuvre dans le cadre du projet DEM'EAUX Roussillon qui vient de démarrer en décembre 2016.



6. Bibliographie

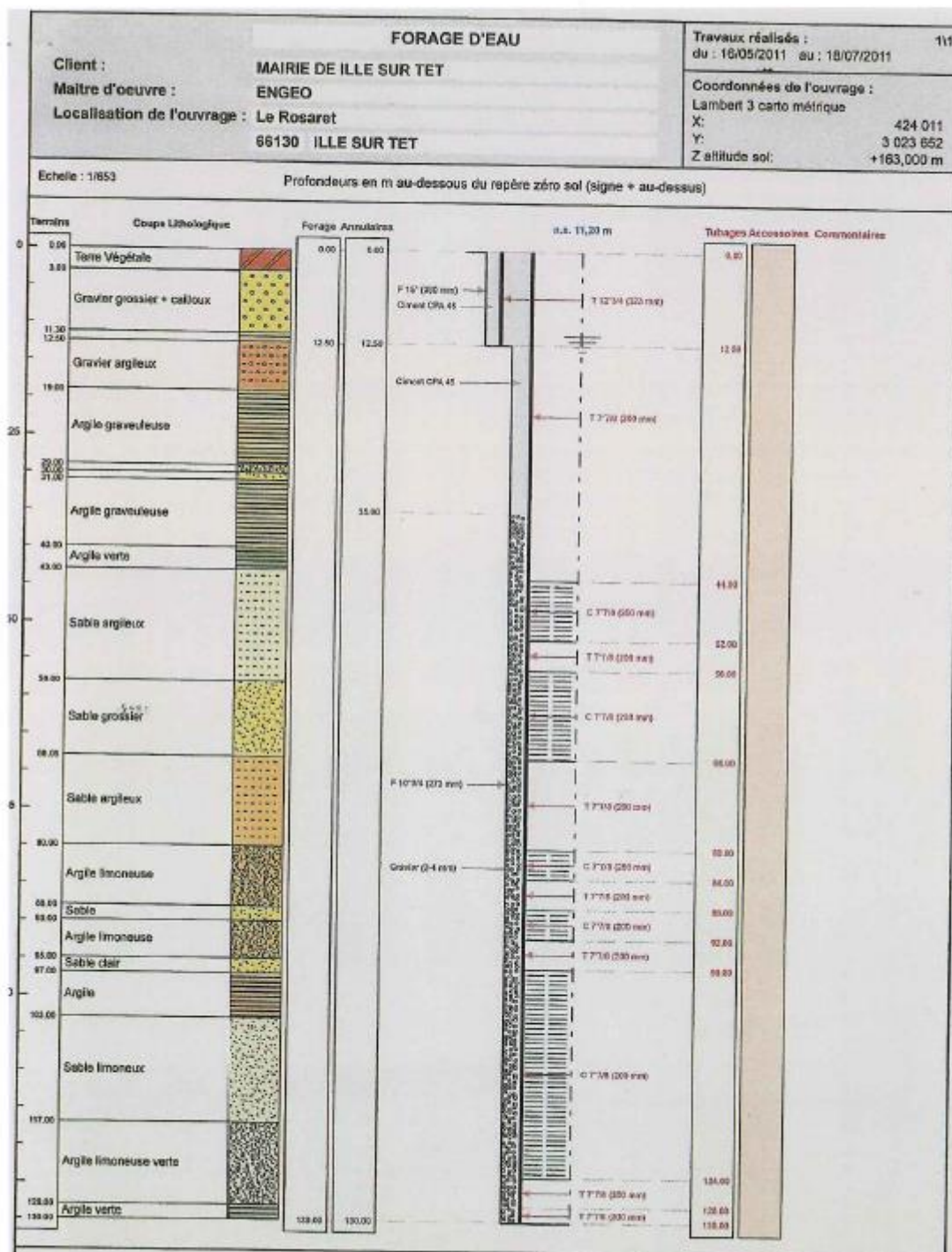
- Bourdet D., Ayoud J.A. and Pirard Y.M.**, 1989. Use of pressure derivative in well-test interpretation. SPE, 293-302.
- Bourdet, Whittle T.M., Dougals, A.A., Pirard V.M.**, 1983. A new set of type curves simplifies well test analysis, World Oil.
- Craig H.**, 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters, Siences, 133, 3465, 1702-1703.
- Deruyck B., Ehlig-Economides C. and Joseph J.**, 1992. Testing design and analysis. Oilfield and analysis. 28-45.
- Gringarten, AC., Ramey, H.J. Jr., Raghavan, R.**, 1974. Unsteady state pressure distributions created by a well in a well with single infinite conductivity vertical fracture. SPE J., 14:347–360.
- Jacob C.E.**, 1947. Drawdown test to determine effective radius of artesian well. Transactions ASCE, 112 : 1047-1064.
- Ladouche B., Aquilina L., Doerfliger N.**, 2009. Chemical and isotopic investigation of rainwater in southern France (1996-2002): potential use as input signal for karst functioning investigation, Journal of Hydrology, Vol. 367, Issues 1-2, p.150-164.
- Schlumberger**. 2002. Well test interpretation. SCHLUMBERGER. Rap., 122 p.
- Spane F.A. and Wurstner S.K.**, 1993. DERIV: a computer program for calculating pressures derivatives fir use in hydraulic test analysis.

Annexe 1

Information sur l'ouvrage Rosaret

Figure 5

COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE



Périmètres de protection du forage du Rosaret sur la commune d'ILLE SUR TET (66). Avis définitif.

12

Illustration A- 1. Log géologique et coupe technique du forage de reconnaissance Rosaret, BSS002MNYZ (10906X0060/F)

Annexe 2

Bordereaux de résultats d'analyses



COURRIER ARRIVÉ

28 AVR. 2016



**ANNULE ET REMPLACE LE
RAPPORT N° 160405749 MERCI DE
DETRUIRE OU DE RENVOYER LE
PRECEDENT RAPPORT**

Syndicat Mixte

Syndicat Mixte Protec/Gest. des Nappes Sout.de la Plaine Ro
Mas Mauran
Rue Frantz Reichen prolongée

66000 PERPIGNAN

RAPPORT D'ANALYSES N° 160405749-1

Dossier n° P-SYNNAPROUS-160331-3892

Echantillon n° : P-16-15134
Produit : Eau distribuée sans désinfection

Page : 1 sur 2

Version du rapport STANDARD 1 - 26/03/2012

Édité à Perpignan, le 27/04/16

Date de réception	31/03/2016	Type de visite	CONTROLE
Date de prélèvement	30/03/2016	Motif du prélèvement	-
Heure de prélèvement	11:45	Point de prélèvement	FI
Prélevé par	G. NADAL	Localisation exacte	EXHAURE
Commune	ILLE SUR TET	Condit. prélèvement	
Type d'analyse	-		
Réception : Acceptable			

Paramètres	Réalisation	Méthodes	Résultats	Unités	Réf. Qualité	Limites Qualité	Date début analyse
Paramètres azotés et phosphorés							
Nitrate (en NO3)		NF EN ISO 10304-1	3.4	mg/l		n < 50.0	31/03/2016
Paramètres physico-chimiques							
Conductivité corrigée à 25°C		NF EN 27888	171	µS/cm	200 < n < 1100		22/04/2016
Chlore		NF EN ISO 10304-1	3.2	mg/l	250.0		31/03/2016
Sulfate		NF EN ISO 10304-1	20.2	mg/l	250.0		31/03/2016
Calcium		NF EN ISO 17294-2	16.88	mg/l			31/03/2016
Magnésium		NF EN ISO 17294-2	4.32	mg/l			31/03/2016
Sodium		NF EN ISO 17294-2	8.81	mg/l	200.00		31/03/2016
Potassium		NF EN ISO 17294-2	0.85	mg/l			31/03/2016
Silicates (en SiO2)		NF EN ISO 11885	27.8	mg/SiO2			31/03/2016
Hydrogénocarbonates		NF EN ISO 9963-1	72	mg/l HCO3			31/03/2016

Analyse de la conductivité hors Cofrac car hors états... Déclaration de conformité non couverte par l'accréditation.

Destinataires : Syndicat Mixte Protec/Gest. des Nappes Sout.de la Plaine

Rapport Validé le : 26/04/2016

Jacqueline GALVIEL

Responsable HYDROLOGIE

Secteur BACTERIOLOGIE DES EAUX

Le présent rapport d'Essai ne concerne que les objets soumis à l'essai.
Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure
sont disponibles sur demande. Les incertitudes ne sont pas prises en compte pour les déclarations de conformité.
La reproduction de ce Rapport d'Essai n'est autorisée que sous forme de fac-similé intégral.
L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais
couverts par l'accréditation, qui sont identifiés par le symbole :

Limites et Références de Qualité selon le code de la Santé publique.

⚙ : Analyses réalisées en externe. ⚠ : Valeurs hors Références de Qualité. ⚡ : Valeurs hors Limites de Qualité.

Siège Social : CAMP - Laboratoire Départemental - Rambla de la Thermodynamique - Tecnosud - 66100 PERPIGNAN
Tél. : 04 68 68 33 00 - Fax : 04 68 56 49 05 - e-mail : camp@camp-lda.com
SIRET 431 233 451 000 19 APE 7120 B



**ANNULE ET REMPLACE LE
RAPPORT N° 160405749 MERCI DE
DETRUIRE OU DE RENVoyer LE
PRECEDENT RAPPORT**



Dossier n° : P-SYNNAPROUS-160331-3892
Echantillon n° : P-16-15134
Produit : Eau distribuée sans désinfection
Origine : SYNNAPROUS
Rapport d'analyses n° 160405749-1
Page : 2 sur 2 *Version du rapport STANDER.1 - 26/03/2012*

Paramètres	Réalisation	Méthodes	Résultats	Unités	Réf. Qualité	Limites Qualité	Date début analyse
Oligo-Éléments - Micropolluants minéraux							
 Fluorures en mg/L		NF EN ISO 10304-1	0.246	mg/l			31/03/2016

Analyse de la conductivité hors Cofrac car hors réfé. Déclaration de conformité non couverte par l'accréditation.

Destinataires : Syndicat Mixte Protec/Gest. des Nappes Sout. de la Plaine

Rapport Validé le : 26/04/2016

Jacqueline GALVIEL

Responsable HYDROLOGIE

Secteur BACTERIOLOGIE DES EAUX



Le présent Rapport d'Essai ne concerne que les objets soumis à l'essai.
Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure sont disponibles sur demande. Les incertitudes ne sont pas prises en compte pour les déclarations de conformité.
La reproduction de ce Rapport d'Essai n'est autorisée que sous forme de fac-similé intégral.
L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation, qui sont identifiés par le symbole : 

Limites et Références de Qualité selon le code de la Santé publique.
 : Analyses réalisées en externe.  : Valeurs hors Références de Qualité.  : Valeurs hors Limites de Qualité.

Siège Social : CAMP - Laboratoire Départemental - Rambla de la Thermodynamique - Tecnosud - 66100 PI RIPIGNAN
Tél. : 04 68 68 33 00 - Fax : 04 68 56 49 05 - e-mail : camp@camp-lda.com
SIRET 431 233 451 000 19 APE 7120 B



COURRIER ARRIVÉ

28 AVR. 2016

Syndicat Mixte



**ANNULE ET REMPLACE LE
RAPPORT N° 160406116-1 MERCI
DE DETRUIRE OU DE RENVOYER LE
PRECEDENT RAPPORT**

Syndicat Mixte Protec/Gest. des Nappes Sout. de la Plaine Ro
Mas Mauran
Rue Frantz Reichen prolongée

66000 PERPIGNAN

RAPPORT D'ANALYSES N° 160406116-2

Dossier n° P-SYNNAPROUS-160407-4252

Echantillon n° : P-16-16619

Produit : Eau distribuée sans désinfection

Page : 1 sur 2

Version du rapport STANDHILL - 26/03/2012

Édité à Perpignan, le 27/04/16

Date de réception	07/04/2016	Type de visite	-
Date de prélèvement	07/04/2016	Motif du prélèvement	-
Heure de prélèvement	11:00	Point de prélèvement	FORAGE FI ROSARET
Prélevé par	G. NADAL	Localisation exacte	ROBINET EXHAURE
Commune	ILLE SUR TET	Condit. prélèvement	
Type d'analyse	-		
Réception : Acceptable			

Paramètres	Réalisation	Méthodes	Résultats	Unités	Réf. Qualité	Limites Qualité	Date début analyse
Paramètres azotés et phosphorés							
Nitrate (en NO3)		NF EN ISO 10304-1	4.0	mg/l		n < 50.0	07/04/2016
Paramètres physico-chimiques							
Conductivité corrigée à 25°C		NF EN 27888	187	µS/cm	200 < n < 1100		22/04/2016
Chlorure		NF EN ISO 10304-1	3.3	mg/l	250.0		07/04/2016
Sulfate		NF EN ISO 10304-1	20.6	mg/l	250.0		07/04/2016
Calcium		NF EN ISO 17294-2	10.07	mg/l			07/04/2016
Magnésium		NF EN ISO 17294-2	4.85	mg/l			07/04/2016
Sodium		NF EN ISO 17294-2	8.92	mg/l	200.00		07/04/2016
Potassium		NF EN ISO 17294-2	0.93	mg/l			07/04/2016
Silicates (en SiO2)		NF EN ISO 11885	26.8	mg/lSiO2			07/04/2016
Hydrogencarbonates		NF EN ISO 9963-1	82	mg/l HCO3			07/04/2016

Analyse de la conductivité hors Cofrac car hors délais.. Déclaration de conformité non couverte par l'accréditation.

Destinataires : Syndicat Mixte Protec/Gest. des Nappes Sout. de la Plaine

Rapport Validé le : 26/04/2016

Jacqueline GALIVEL

Responsable HYDROLOGIE

Secteur BACTERIOLOGIE DES EAUX

Le présent Rapport d'Essai ne concerne que les objets soumis à l'essai.
Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure
sont disponibles sur demande. Les incertitudes ne sont pas prises en compte pour les déclarations de conformité.
La reproduction de ce Rapport d'Essai n'est autorisée que sous forme de fac-similé intégral.
L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais
couverts par l'accréditation, qui sont identifiés par le symbole :

: Analyses réalisées en externe. : Valeurs hors Références de Qualité. : Valeurs hors Limites de Qualité.

Siège Social : CAMP - Laboratoire Départemental - Rambla de la Thermodynamique - Tecnosud - 66100 PERPIGNAN
Tél. : 04 68 68 33 00 - Fax : 04 68 56 49 05 - e-mail : camp@camp-lda.com
SIRET 431 233 451 000 19 APE 7120 B



**ANNULE ET REMPLACE LE
RAPPORT N° 160406116-1 MERCI
DE DETRUIRE OU DE RENVoyer LE
PRECEDENT RAPPORT**



Dossier n° : P-SYNNAPROUS-160407-4252
Echantillon n° : P-16-16619
Produit : Eau distribuée sans désinfection
Origine : SYNNAPROUS
Rapport d'analyses n° 160406116-2
Page : 2 sur 2 *Version du rapport STANDARD 1 - 26/03/2012*

Paramètres	Réalisation	Méthodes	Résultats	Unités	Réf. Qualité	Limites Qualité	Date début analyse
Oligo-éléments - Micropolluants minéraux							
 Fluorures en mg/L		NF EN ISO 10304-1	0,283	mg/l			07/04/2016

Analyse de la conductivité hors Cofrac car hors délais. Déclaration de conformité non couverte par l'accréditation.

Destinataires : Syndicat Mixte Protec/Gest. des Nappes Sout.de la Plaine

Rapport Validé le : 26/04/2016

Jacqueline GALIVEL
Responsable HYDROLOGIE
Secteur BACTÉRIOLOGIE DES EAUX

Le présent Rapport d'Essai ne concerne que les objets soumis à l'essai.
Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure sont disponibles sur demande. Les incertitudes ne sont pas prises en compte pour les déclarations de conformité.
La reproduction de ce Rapport d'Essai n'est autorisée que sous forme de fac-similé intégral.
L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation, qui sont identifiés par le symbole :

 : Analyses réalisées en externe.  : Valeurs hors Références de Qualité.  : Valeurs hors Limites de Qualité.

Siège Social : CAMP - Laboratoire Départemental - Rambla de la Thermodynamique - Tecnosud - 66100 PERPIGNAN
Tél. : 04 68 68 33 00 - Fax : 04 68 56 49 05 - e-mail : camp@camp-lda.com
SIRET 431 233 451 009 19 APE 7120 B



COURRIER ARRIVÉ

2 8 AVR. 2016

Syndicat Mixte



**ANNULE ET REMPLACE LE
RAPPORT N° 160406769 MERCI DE
DETRUIRE OU DE RENVOYER LE
PRECEDENT RAPPORT**

Syndicat Mixte Protec/Gest. des Nappes Sout.de la Plaine Ro
Mas Mauran
Rue Frantz Reichen prolongée

66000 PERPIGNAN

RAPPORT D'ANALYSES N° 160406769-I	
Dossier n° P-SYNNAPROUS-160414-4684	
Echantillon n° : P-16-18087	
Produit : Eau distribuée sans désinfection	
Page : 1 sur 2	Version du rapport STANDAL.1 - 26/03/2012

Édité à Perpignan, le 27/04/16

Date de réception	14/04/2016	Type de visite	-
Date de prélèvement	14/04/2016	Modif du prélèvement	-
Heure de prélèvement	14:30	Point de prélèvement	FORAGE FI
Prélevé par	G. NADAL	Localisation exacte	ROSARET
Commune	ILLE SUR TET	Condit. prélèvement	
Type d'analyse	-		
Réception : Acceptable			

Paramètres	Réalisation	Méthodes	Résultats	Unités	Réf. Qualité	Limites Qualité	Date début analyse
Paramètres azotés et phosphorés							
Nitrate (en NO3)		NF EN ISO 10304-1	4.6	mg/l		n < 50.0	14/04/2016
Paramètres physico-chimiques							
Conductivité corrigée à 25°C		NF EN 27888	189	µS/cm	200 < n < 1100		22/04/2016
Chlorure		NF EN ISO 10304-1	3.6	mg/l	250.0		14/04/2016
Sulfate		NF EN ISO 10304-1	21.6	mg/l	250.0		14/04/2016
Calcium		NF EN ISO 17294-2	20.77	mg/l			14/04/2016
Magnésium		NF EN ISO 17294-2	5.14	mg/l			14/04/2016
Sodium		NF EN ISO 17294-2	8.16	mg/l	200.00		14/04/2016
Potassium		NF EN ISO 17294-2	0.88	mg/l			14/04/2016
Silicates (en SiO2)		NF EN ISO 11885	25.7	mg/lSiO2			14/04/2016
Hydrogénocarbonates		NF EN ISO 9963-1	84	mg/l HCO3			14/04/2016

Analyse de la conductivité hors Coefrac car hors délais.. Déclaration de conformité non couverte par l'accréditation.

Destinataires : Syndicat Mixte Protec/Gest. des Nappes Sout.de la Plaine

Rapport Validé le : 26/04/2016

Jacqueline GALVIEL

Responsable HYDROLOGIE

Secteur ICTEROLOGIE DES EAUX

Le présent Rapport d'Essai concerne que les objets soumis à l'essai.
Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure
sont disponibles sur demande. Les incertitudes ne sont pas prises en compte pour les déclarations de conformité.
La reproduction de ce Rapport d'Essai n'est autorisée que sous forme de fac-similé intégral.
L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais
couverts par l'accréditation, qui sont identifiés par le symbole :

: Analyses réalisées en externe. : Valeurs hors Références de Qualité. : Valeurs hors Limites de Qualité.

Siège Social : CAMP - Laboratoire Départemental - Rambla de la Thermodynamique - Tecnosud - 66100 PERPIGNAN
Tél. : 04 68 68 33 00 - Fax : 04 68 56 49 05 - e-mail : camp@camp-lda.com
SIRET 431 233 451 000 19 APE 7120 B



**ANNULE ET REMPLACE LE
RAPPORT N° 160406769 MERCI DE
DETRUIRE OU DE RENVOYER LE
PRECEDENT RAPPORT**



Dossier n° : P-SYNNAPROUS-160414-4684
Echantillon n° : P-16-18087
Produit : Eau distribuée sans désinfection
Origine : SYNNAPROUS
Rapport d'analyses n° 160406769-1
Page : 2 sur 2 *Version du rapport STANDBIL - 26/09/2012*

Paramètres	Réalisation	Méthodes	Résultats	Unités	Réf. Qualité	Limites Qualité	Date début analyse
Oligo-Éléments - Micropolluants minéraux							
 Fluorures en mg/L		NF EN ISO 10304-1	0.100	mg/l			14/04/2016

Analyse de la conductivité hors Cofrac car hors délais... Déclaration de conformité non couverte par l'accréditation.

Destinataires : Syndicat Mixte Protec/Gest. des Nappes Sout. de la Plaine

Rapport Validé le : 26/04/2016

Jacqueline GALVIEL
Responsable HYDROLOGIE
Secteur BACTERIOLOGIE DES EAUX

Le présent Rapport d'Essai ne concerne que les objets soumis à l'essai.
Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure
sont disponibles sur demande. Les incertitudes ne sont pas prises en compte pour les déclarations de conformité.

La reproduction de ce Rapport d'Essai n'est autorisée que sous forme de fac-similé intégral.

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais

couverts par l'accréditation, qui sont identifiés par le symbole :

Limites et Références de Qualité selon le code de la Santé publique.



: Analyses réalisées en externe.



: Valeurs hors Références de Qualité.



: Valeurs hors Limites de Qualité.

Siège Social : CAMP - Laboratoire Départemental - Rambla de la Thermodynamique - Tecnosud - 66100 PL. RPIGNAN

Tél. : 04 68 68 33 00 - Fax : 04 68 56 49 05 - e-mail : camp@camp-lda.com

SIRET 431 233 451 000 19 APE 7120 B



COURRIER ARRIVÉ

13 MAI 2016

Syndicat Mixte



Syndicat Mixte Protec/Gest. des Nappes Sout. de la Plaine Ro
Mas Mauran
Rue Frantz Reichen prolongée

RAPPORT D'ANALYSES N° 160508446
Dossier n° P-SYNNAPROUS-160426-5099
Echantillon n° : P-16-20782
Produit : Eau distribuée sans désinfection
Page : 1 sur 2

66000 PERPIGNAN

Édité à Perpignan, le 12/05/16

Date de réception	26/04/2016	Type de visite	CONTROLE
Date de prélèvement	25/04/2016	Motif du prélèvement	"
Heure de prélèvement	15:30	Point de prélèvement	FORAGE
Prélevé par	SYND. NAPPES ROUSSILLON	Localisation exacte	ROSARET
Commune	ILLE SUR TET	Condit. prélèvement	
Type d'analyse	CHIMIE		

Paramètres	Réalisation	Méthodes	Résultats	Unités	Réf. Qualité	Limites Qualité	Date début analyse
Paramètres azotés et phosphorés							
Nitrate (en NO3)		NF EN ISO 10304-1	4.9	mg/l		n < 50.0	26/04/2016
Paramètres physico-chimiques							
Conductivité corrigée à 25°C		NF EN 27888	189	µS/cm	200 < n < 1100		26/04/2016
Chlorure		NF EN ISO 10304-1	3.7	mg/l	250.0		26/04/2016
Sulfate		NF EN ISO 10304-1	21.3	mg/l	250.0		26/04/2016
Calcium		NF EN ISO 17294-2	16.82	mg/l			26/04/2016
Magnésium		NF EN ISO 17294-2	4.30	mg/l			26/04/2016
Sodium		NF EN ISO 17294-2	8.91	mg/l	200.00		26/04/2016
Potassium		NF EN ISO 17294-2	0.86	mg/l			26/04/2016
Silicates (en SiO2)		NF EN ISO 11885	25.3	mg/l SiO2			26/04/2016
Hydrogencarbonates		NF EN ISO 9963-1	83	mg/l HCO3			26/04/2016

Destinataires : Syndicat Mixte Protec/Gest. des Nappes Sout. de la

Rapport Validé le 10/05/2016

Stéphane MAILLARD
Technicienne CHIMIE GENERALE
Suppléante des Responsables HYDROLOGIE

Le présent Rapport d'Essai ne concerne que les objets soumis à l'essai.
Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure sont disponibles sur demande. Les incertitudes ne sont pas prises en compte pour les déclarations de conformité.
La reproduction de ce Rapport d'Essai n'est autorisée que sous forme de fac-similé intégral.
L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation, qui sont identifiés par le symbole .
Limites et Références de Qualité selon le code de la Santé publique.

: Analyses réalisées en externe. : Valeurs hors Références de Qualité : Valeurs hors Limites de Qualité.

Siège Social : CAMP - Laboratoire Départemental - Rambla de la Thermodynamique - Tecnosud - 66100 PERPIGNAN
Tél. : 04 68 68 33 00 - Fax : 04 68 56 49 05 - e-mail : camp@camp-lda.com
SIRET 431 233 451 000 19 APE 7120



Dossier n° : P-SYNNAPROUS-160426-5099

Echantillon n° : P-16-20782

Produit : Eau distribuée sans désinfection

Origine : SYNNAPROUS

Bulletin N° 160508446

Page : 2 sur 2

Version du rapport final : 2.1

Paramètres	Réalisation	Méthodes	Résultats	Unités	Réf. Qualité	Limites Qualité	Date début analyse
Oligo-Éléments - Micropolluants minéraux							
 Fluorures en mg/L		NF EN ISO 10304-1	0,206	mg/l			26/04/2016

Destinataires : Syndicat Mixte Protec/Gest. des Nappes Sout. de la

Rapport Validé le 10/05/2016

Stéphanie MAILLARD

Technicienne CHIMIE GENERALE

Suppléante des Responsables HYDROLOGIE

Le présent Rapport d'Essai ne concerne que les objets soumis à l'essai.
 Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure sont disponibles sur demande. Les incertitudes ne sont pas prises en compte pour les déclarations de conformité.
 La reproduction de ce Rapport d'Essai n'est autorisée que sous forme de fac-similé intégral.
 L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation, qui sont identifiés par le symbol .
 Limites et Références de Qualité selon le code de la Santé publique.

 : Analyses réalisées en externe.  : Valeurs hors Références de Qualité  : Valeurs hors Limites de Qualité.

Siège Social : CAMP - Laboratoire Départemental - Rambla de la Thermodynamique - Tecnosud - 66100 PERPIGNAN

Tél. : 04 68 68 33 00 - Fax : 04 68 56 49 05 - e-mail : camp@camp-lda.com

SIRET 431 233 451 000 19 APE 7120



SPURENSTOFFLABOR



Dr. Harald Oster

Bornweg 10

67157 Wachenheim

Telefon 0 63 22/94 38 0

Fax 0 63 22/98 02 26

eMail: harald.oster@t-online.de

BRGM
c/o M. Bernard Ladouche
1039 Rue de Pinville
34000 Montpellier
France

06.10.2016

preliminary CFC/SF₆ analysis / project AP16LRO030 Ile-sur-Tet

sample	date	CFC conc. [pmol/l]			SF ₆ conc. in fmol/l
		CFC-12	CFC-11	CFC-113	
Rosaret 1	?	0,01 ±0,05	0,02 ±0,05	<0,01	<0,1
Rosaret 2	14.04.2016	0,05 ±0,05	0,04 ±0,05	<0,01	<0,1
Rosaret 3	?	0,06 ±0,05	0,05 ±0,05	<0,01	<0,1
Rosaret 4	?	0,07 ±0,05	0,05 ±0,05	<0,01	<0,1

Dr. H. Oster



Orléans, le 09/11/2016

DIRECTION DES LABORATOIRES
Unité ISOTOPES

Rapport d'essais 16-6-058-A

Demandeur : B. LADOUCHE

Projet : AP16LRO030

tache : 1

Réf. labo : 16E 287 à 290

RESULTATS D'ANALYSES ISOTOPIQUES

Eaux

Destinataire(s) : B. LADOUCHE D3E / NRE

Archivage : LAB / ISO (16E287-290DO.doc)

BRGM
LAB / ISO
B.P. 36009 - 45060 Orléans cedex 2 - France

Rapport d'essais 16-6-058-A

ROSARET Isotopes stables de l'eau

Echantillons

Nature : eaux, échantillons reçus le 27/09/2016

Analyses

Opérateur(s): C. FLEHOC

Date de réalisation : oct.-nov 2016

Méthodes d'analyse

Mesure des rapports isotopiques de l'hydrogène et de l'oxygène par spectrométrie de masse en phase gazeuse, par la méthode d'équilibration avec un gaz (H_2 pour l'hydrogène, CO_2 pour l'oxygène).

Résultats

Nb	Réf. Labo	ECHANTILLON	DATE de PRELEVEMENT	δD ‰ vs SMOW (± 0.8 ‰)	$\delta^{18}O$ ‰ vs SMOW (± 0.1 ‰)
1	16E 287	ROSARET 1	30/03/2016	-52.4	-8.1
2	16E 288	ROSARET 2	07/04/2016	-55.2	-8.4
3	16E 289	ROSARET 3	14/04/2016	-55.5	-8.4
4	16E 290	ROSARET 4	25/04/2016	-55.7	-8.4

Conservation des échantillons

Les volumes restants d'échantillons sont conservés six mois à compter de la date d'envoi des résultats. Leur destruction est ensuite systématique, sauf avis contraire de la part du demandeur.

C. Flehoc

Nb	Réf. Labo	ECHANTILLON	DATE de PRELEVEMENT	δD ‰ vs SMOW (± 0.8 ‰)	$\delta^{18}O$ ‰ vs SMOW (± 0.1 ‰)	Tritium UT
1	16E 287	ROSARET 1	30/03/2016	-52.4	-8.1	< 0.6
2	16E 288	ROSARET 2	07/04/2016	-55.2	-8.4	< 0.6
3	16E 289	ROSARET 3	14/04/2016	-55.5	-8.4	< 0.6
4	16E 290	ROSARET 4	25/04/2016	-55.7	-8.4	< 0.6

Annexe 3

Informations géochimiques complémentaires

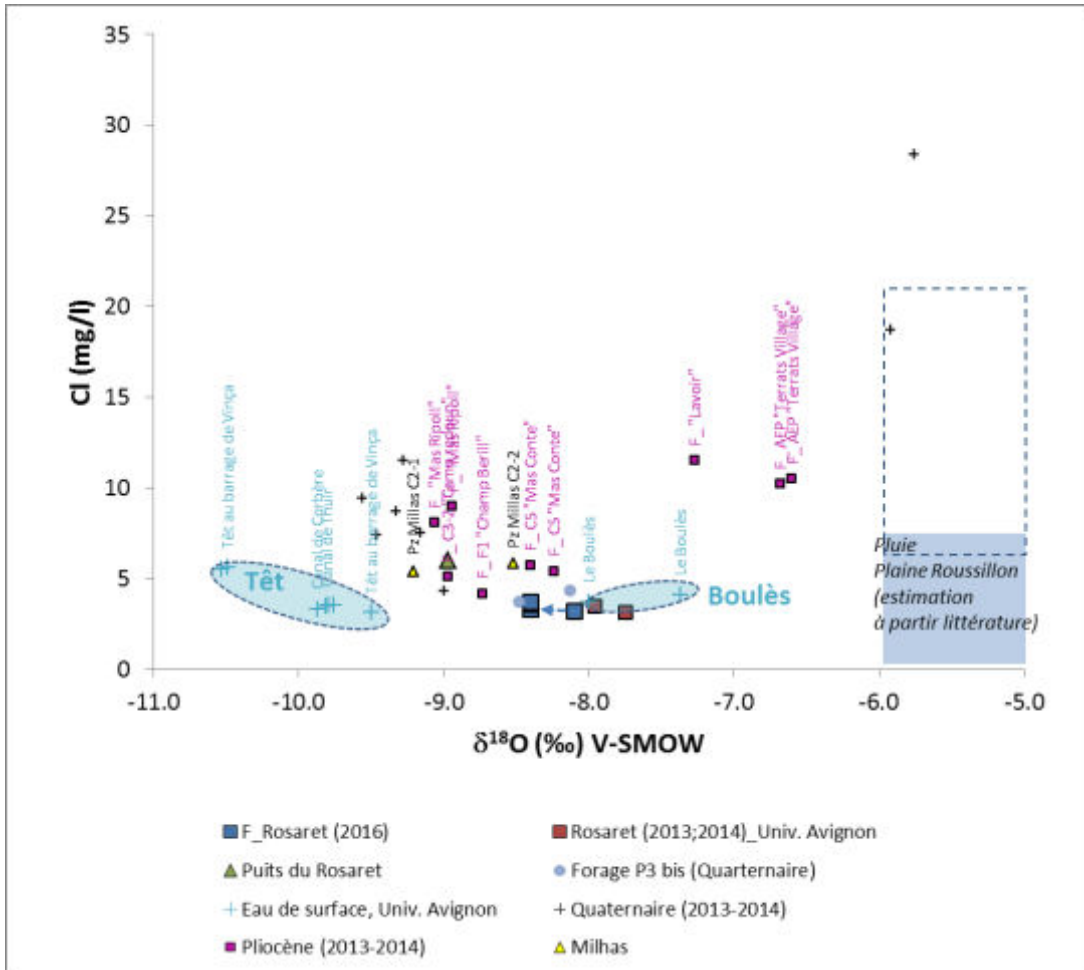


Illustration A- 2. Cl versus $\delta^{18}\text{O}$: report des analyses de 2016 dans le contexte géochimique défini par les campagnes de prélèvements de 2013 et 2014.

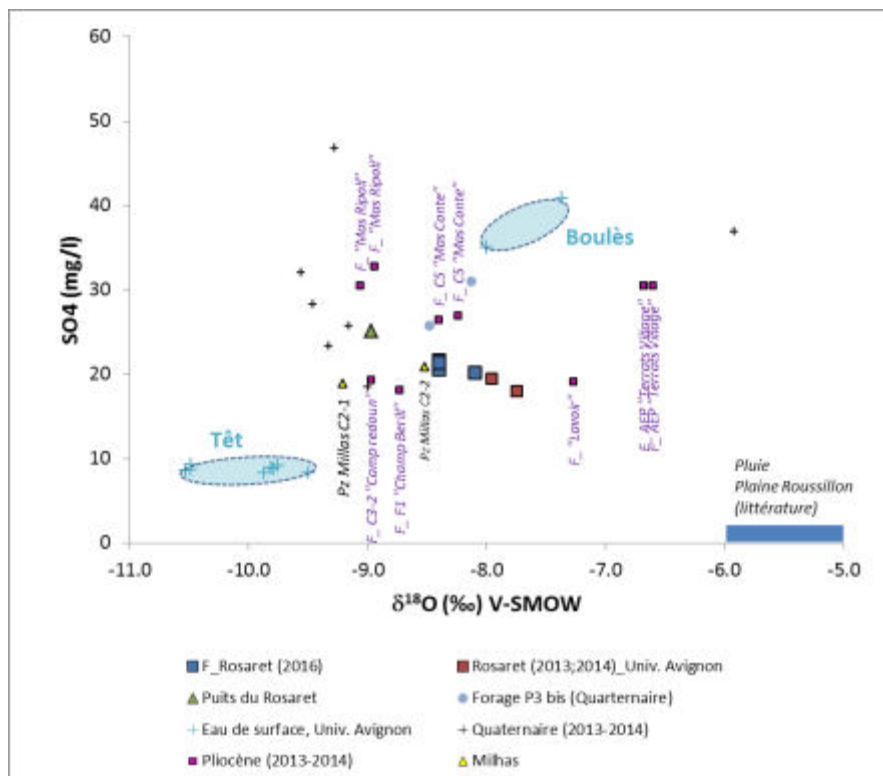


Illustration A- 3. SO_4 versus $\delta^{18}\text{O}$: report des analyses de 2016 dans le contexte géochimique défini par les campagnes de prélèvements de 2013 et 2014.

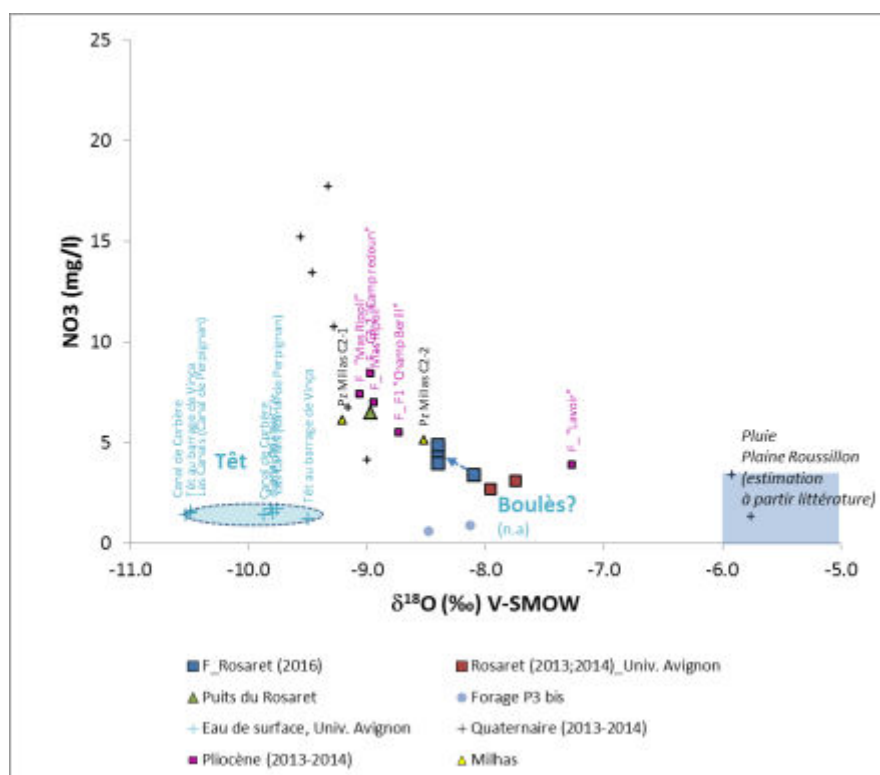


Illustration A- 4. NO_3 versus $\delta^{18}\text{O}$: report des analyses de 2016 dans le contexte géochimique défini par les campagnes de prélèvements de 2013 et 2014.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Service géologique régional Occitanie

1039 rue de Pinville
34000 – Montpellier – France

Tél. : 04.67.15.79.80