

Document public

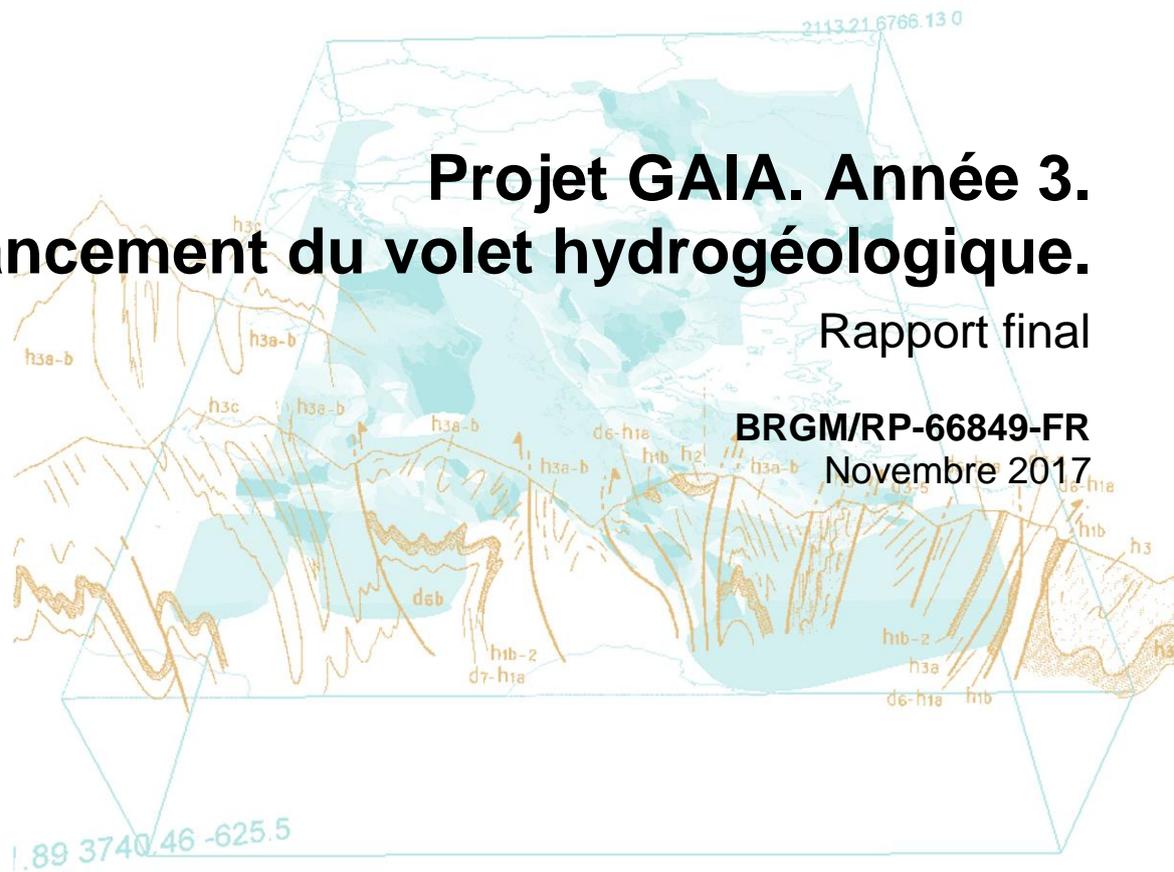


# Projet GAlA. Année 3. Avancement du volet hydrogéologique.

Rapport final

BRGM/RP-66849-FR

Novembre 2017





# Projet GAIA. Année 3. Avancement du volet hydrogéologique.

Rapport final

**BRGM/RP-66849-FR**

Novembre 2017

Étude réalisée dans le cadre du projet  
de Recherche du BRGM PDR13AQI02

**A. Wuilleumier, O. Cabaret, M. Saltel**

Avec la collaboration de

**S. Brossard et P. Thicoïpe**

**Vérificateur :**

Nom : L. ARNAUD

Hydrogéologue

Date : 29/08/2017



**Approbateur :**

Nom : N. PEDRON

Directeur régional du BRGM  
Nouvelle-Aquitaine

Date : 19/10/2017



Le système de management de la qualité et de l'environnement  
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

**Mots-clés** : Hydrogéologie, Aquitaine, Occitanie, Sables Infra-Molassiques, Paléocène, Crétacé Supérieur, offshore, pompages d'essais, prélèvements, exploitation hydrocarbures

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

**Wuilleumier A., Cabaret O., Saltel M.**, avec la collaboration de Brossard S. et Thicoipé P. (2017) - Projet GAIA. Année 3. Avancement du volet hydrogéologique. Rapport final. BRGM/RP-66849-FR, 139 p., 96 ill., 37 tab., 9 ann.

## Synthèse

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre du programme scientifique GAIA, programme financé par TIGF, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et le BRGM, et piloté par le BRGM. Il vise à améliorer la connaissance géologique et hydrogéologique des aquifères profonds du Sud du Bassin aquitain, s'inscrivant en cela dans la lignée des travaux de recherche conduits au cours des vingt dernières années sur ces aquifères.

Ce rapport restitue certaines études conduites en 2016 et début 2017 dans le cadre du volet hydrogéologique du projet. Au nombre de quatre, celles-ci ont porté sur :

- la caractérisation hydrogéologique de réservoirs exploités pour la production d'hydrocarbures dans le Sud du Bassin aquitain ;
- l'évaluation des potentialités d'émergence off-shore des aquifères profonds ;
- la poursuite de la constitution de la base de données des prélèvements dans les aquifères profonds ;
- la ré-interprétation de pompages d'essai dans le secteur du dôme de Garlin, en s'appuyant sur l'utilisation de la méthode des dérivées du rabattement.

La position géométrique et géographique des gisements d'hydrocarbures exploitant des formations tertiaires ou sénoniennes a pu être précisée en s'appuyant sur les informations disponibles dans les Rapports de Fin de Sondage (RFS) disponibles au BEPH<sup>1</sup>. Les pressions de gisement ultérieures au démarrage de l'exploitation demeurent par contre peu renseignées dans les documents publics consultés et permettent donc peu de préciser l'évolution de celles-ci dans les gisements exploités, notamment gaziers. La consultation des RFS a permis par ailleurs de réunir des données de perméabilité, porosité et de minéralisation des réservoirs traversés par les forages. Ces données montrent notamment l'existence d'une minéralisation élevée pour les gisements de Ger, Charlas, Charlas ouest, Mazères supérieur et Montastruc, signe d'un très faible renouvellement des eaux souterraines dans les réservoirs exploités. Elle est par contre beaucoup plus faible à Lagrave et à Lacq supérieur, gisements pour lesquels le rôle de l'aquifère sénonien dans le maintien de la pression dans le réservoir a par ailleurs été avéré lors de l'exploitation des hydrocarbures. L'exploitation de ces gisements pourrait donc avoir eu un impact – au moins local – sur la piézométrie de l'aquifère du Sénonien inférieur.

En s'appuyant sur la bathymétrie et en prenant en compte un gradient piézométrique minimum, il est possible d'estimer la pression nécessaire pour qu'une émergence d'eau douce puisse se produire offshore, sur le fond marin. Cette pression augmente avec l'éloignement à la côte atlantique et avec l'augmentation de la bathymétrie : elle est donc minimale sur le littoral. Le seul secteur identifié dans lequel les formations éocènes et anté-éocènes sont affleurantes sur les fonds marins à des profondeurs permettant d'envisager une exhaure se situe en face des cotes basques. Aucune observation de terrain n'a permis cependant de confirmer l'existence de ce phénomène, qui demeure donc peu probable en l'état actuel des connaissances.

En 2016, de nombreux efforts ont été entrepris auprès des exploitants de forages captant les aquifères profonds du Sud du Bassin aquitain pour reconstituer les chroniques de prélèvements 1970-2013, que ce soit par des données mesurées ou par l'élaboration d'hypothèses permettant de les estimer. A fin 2016, moins de 15% des points de prélèvements disposent encore d'une chronique partiellement incomplète (35 sur 241). Les efforts seront poursuivis en

---

<sup>1</sup> Bureau Exploration-Production des Hydrocarbures.

2017. Il est prévu par ailleurs de mettre à jour les chroniques pour les années 2014 et 2015, de poursuivre l'acquisition de données mensuelles auprès des exploitants agricoles et de préciser l'aquifère capté par les différents ouvrages, en s'appuyant sur les logs géologiques validés de 2015 à 2016 dans le cadre du module géologie du projet GAIA.

L'utilisation de la méthode des dérivées pour analyser une série de données débit-rabattement issue du suivi d'un pompage d'essai permet de préciser le comportement du forage et celui de l'aquifère lors de la conduite d'un test de ce type. Mise en œuvre sur des données de pompages d'essais réalisés entre 1976 et 2009 sur le secteur du dôme de Garlin, cette technique a permis de conforter ou de réviser les interprétations effectuées jusqu'ici. Elle a également permis de mettre en évidence l'existence de discontinuités dans l'alimentation des forages captant les Sables Infra-Molassiques.

# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>13</b>
<b>2. Caractérisation hydrogéologique de réservoirs exploités pour la production d'hydrocarbures .....</b>	<b>15</b>
2.1. LES GISEMENTS D'HYDROCARBURES DU SUD DU BASSIN AQUITAIN .....	16
2.1.1. « Provinces pétrolières » et sous-bassins .....	16
2.1.2. Les gisements des sous-bassins de l'Adour et du Comminges .....	18
2.2. LE GISEMENT DE GAZ DE GER (YPRÉSIEN) .....	23
2.2.1. Position stratigraphique et géométrique des réservoirs exploités .....	23
2.2.2. Éléments de caractérisation hydrogéologique des réservoirs traversés par les forages .....	26
2.2.3. Synthèse .....	29
2.3. LES GISEMENTS DE GAZ DE CHARLAS ET CHARLAS OUEST (SÉNONIEN INFÉRIEUR) .....	29
2.3.1. Position stratigraphique et géométrique des réservoirs exploités .....	30
2.3.2. Éléments de caractérisation hydrogéologique des réservoirs traversés par les forages .....	32
2.4. LE GISEMENT DE GAZ DE MAZÈRES SUPÉRIEUR (SÉNONIEN INFÉRIEUR) .....	33
2.4.1. Position stratigraphique et géométrique des réservoirs exploités .....	33
2.4.2. Éléments de caractérisation hydrogéologique des réservoirs traversés par les forages .....	35
2.5. LE GISEMENT D'HUILE DE LAGRAVE (SÉNONIEN INFÉRIEUR) .....	37
2.5.1. Position stratigraphique et géométrique des réservoirs exploités .....	37
2.5.2. Éléments de caractérisation hydrogéologique des réservoirs traversés par les forages .....	40
2.6. LE GISEMENT D'HUILE DE LACQ SUPÉRIEUR (SÉNONIEN INFÉRIEUR) .....	41
2.6.1. Position stratigraphique et géométrique des réservoirs exploités .....	42
2.6.2. Éléments de caractérisation hydrogéologique des réservoirs traversés par les forages .....	42
2.6.3. Synthèse .....	43
2.7. LE GISEMENT D'HUILE DE MONTASTRUC (SÉNONIEN INFÉRIEUR) .....	44
2.7.1. Position stratigraphique et géométrique des réservoirs exploités .....	44
2.7.2. Éléments de caractérisation hydrogéologique des réservoirs traversés par les forages .....	46
2.7.3. Synthèse .....	49
2.8. SYNTHÈSE .....	50

<b>3. Émergences off-shore .....</b>	<b>51</b>
3.1. DÉMARCHE ADOPTÉE .....	51
3.2. CHARGE D'EAU DOUCE NÉCESSAIRE À UNE ÉMERGENCE OFF-SHORE.....	51
3.2.1. Bathymétrie .....	51
3.2.2. Charge d'eau douce équivalente .....	53
3.2.3. Prise en compte d'un gradient de pression au sein de l'aquifère .....	55
3.3. ZONES D'AFFLEUREMENT DES AQUIFÈRES PROFONDS.....	57
3.3.1. Cartes géologiques.....	58
3.3.2. Logs stratigraphiques de forages.....	61
3.3.3. Observations off-shore .....	62
3.4. CHARGES D'EAU DOUCE POUR UNE EXHAURE OFF-SHORE DEPUIS LES AQUIFÈRES PROFONDS.....	64
3.4.1. Potentialité d'émergences .....	64
3.4.2. Synthèse .....	66
<b>4. Poursuite des travaux de constitution de la base de données de prélèvements .....</b>	<b>67</b>
4.1. AVANCEMENT DE LA BASE DE DONNÉES À JUIN 2015.....	67
4.2. LA NOTION DE VOLUME PRÉLEVÉ .....	68
4.3. RECONSTITUTION DES CHRONIQUES DE PRÉLÈVEMENTS AGRICOLES.....	69
4.3.1. Croisement avec la base AGIL et échange avec les irrigants .....	69
4.3.2. Reconstitution des chroniques par estimation des volumes annuels manquants ..	71
4.3.3. Bilan de la reconstitution des chroniques de prélèvements agricoles annuels .....	76
4.3.4. Collecte de prélèvements mensuels agricoles .....	78
4.4. RECONSTITUTION DES CHRONIQUES DE PRÉLÈVEMENTS AEP .....	79
4.4.1. Contact avec les propriétaires et les exploitants .....	79
4.4.2. Cas particulier des sources de l'Ariège.....	80
4.4.3. Bilan de la reconstitution des chroniques de prélèvements AEP.....	82
4.5. RECONSTITUTION DES CHRONIQUES DE PRÉLÈVEMENTS THERMAUX .....	84
4.5.1. Régie des eaux de Dax .....	84
4.5.2. Chaîne Thermale du Soleil .....	85
4.5.3. Ancien établissement thermal de Tercis-les-Bains.....	87
4.5.4. Bilan de la reconstitution des chroniques de prélèvements thermaux.....	88
4.6. RECONSTITUTION DES CHRONIQUES DE PRÉLÈVEMENTS POUR D'AUTRES USAGES .....	89
4.6.1. Forages géothermiques de Blagnac .....	89
4.6.2. Source de l'Auloue à Castéra-Verduzan : alimentation d'une base de loisirs.....	90
4.7. CONCLUSIONS .....	91

<b>5. Ré-interprétation de pompages d'essai</b> .....	<b>93</b>
5.1. OBJECTIFS .....	93
5.2. MÉTHODOLOGIE UTILISÉE POUR INTERPRÉTER LES POMPAGES DE LONGUE DURÉE .....	93
5.3. INVENTAIRE DES DONNÉES DISPONIBLES .....	95
5.4. CONTEXTE GÉNÉRAL .....	98
5.5. RÉ-INTERPRÉTATION DES POMPAGES D'ESSAI EXISTANTS .....	99
5.5.1. Lespielle 1 (10053X0002/F1) .....	99
5.5.2. Lespielle 2 - RD 543 (10057X0003/LESP-2) .....	108
5.5.3. Burosse-Mendousse (10052X0006/F1).....	115
5.5.4. Lannecaube (10052X0038/F) .....	120
5.5.5. Lasseppe (10052X0037/F).....	127
5.6. SYNTHÈSE .....	133
<b>6. Conclusions</b> .....	<b>135</b>
<b>7. Bibliographie</b> .....	<b>137</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 : Le Bassin d'Aquitaine : deux provinces pétrolières de « classe mondiale » (Serrano et al., 2006) .....	17
Illustration 2 : Forages pétroliers (BEPH) et gisements d'hydrocarbures du Sud du Bassin aquitain .....	19
Illustration 3 : Coupe lithostratigraphique du sous-bassin de l'Adour (Source : Serrano et al., 2006).....	21
Illustration 4 : Localisation des gisements d'hydrocarbures exploitant un réservoir daté du Tertiaire ou du Sénonien dans le Sud du Bassin aquitain .....	22
Illustration 5 : Vue en coupe du gisement de gaz de Ger (Serrano, 2006).....	23
Illustration 6 : Localisation des forages pétroliers réalisés autour de la commune de Ger (source des données : BEPH). .....	24
Illustration 7 : Forages pétroliers de Charlas et Charlas ouest (source : BEPH) .....	30
Illustration 8 : Production cumulée et pression de fond dans le gisement de Charlas.....	31
Illustration 9 : Localisation des forages des gisements de Mazères et des environs .....	34
Illustration 10 : Production annuelle du gisement de Lagrave (en tonnes d'huile extraites) .....	37
Illustration 11 : Vue en coupe du gisement d'huile de Lagrave (Elf Aquitaine Production, 1994) .....	38
Illustration 12 : Localisation des forages du gisement de Lagrave .....	39
Illustration 13 : Production annuelle du gisement de Lacq supérieur (en tonnes d'huile extraites) .....	42
Illustration 14 : Production annuelle du gisement de Montastruc (en tonnes d'huile extraites) .....	44
Illustration 15 : Localisation des forages des gisements de Montastruc (MTC) et de Bonrepos (BOS) .....	46

Illustration 16 : Bathymétrie de la façade Atlantique (données issues du projet Homonim, SHOM) .....	52
Illustration 17 : Cadre morpho-bathymétrique du Sud-Est du golfe de Gascogne (source : projet SYNTAX, collectif, 2013) .....	53
Illustration 18 : Représentation d'un conduit karstique en connexion avec la mer (Fleury, 2005).....	54
Illustration 19 : Charge d'eau douce minimale (en m NGF) à exercer sur le fond marin pour contrebalancer la pression exercée par l'eau de mer.....	55
Illustration 20 : Distance en mer à la côte française (en km) .....	56
Illustration 21 : Charge d'eau douce minimale (en m NGF) calculée au droit du littoral pour générer une émergence off shore (gradient de 0,5 ‰).....	56
Illustration 22 : Charge d'eau douce minimale (en m NGF) calculée au droit du littoral pour générer une émergence off shore (gradient de 0,1 ‰).....	57
Illustration 23 : Carte géologique au 1M sur la façade atlantique (BRGM) .....	58
Illustration 24 : Carte lithologique simplifiée de la côte basque (Genna et al., 2004) .....	59
Illustration 25 : Carte géologique simplifiée de la côte basque (SIGES Aquitaine).....	60
Illustration 26 : Localisation des cartes G publiées (site Internet du SHOM, juin 2016) .....	60
Illustration 27 : Forage pétroliers offshore (source : BEPH).....	62
Illustration 28 : Situation du massif karstique de l'Aroca (Vanara et al., 2007) .....	63
Illustration 29 : Carte géomorphologique du massif d'Aroca (Vanara et al., 2007).....	63
Illustration 30 : Charge d'eau douce minimale (en m NGF) calculée au droit du littoral pour générer une émergence off shore (gradient de 0.5 ‰) et MNT de l'IGN.....	64
Illustration 31 : Charge d'eau douce minimale (en m NGF) calculée au droit du littoral pour générer une émergence off shore (gradient de 0.1 ‰) et MNT de l'IGN.....	65
Illustration 32 : Nombre de volumes annuels renseignés par année sur l'ensemble des ouvrages exploitables - état fait en juin 2015 (Wuilleumier, et al., 2015) .....	68
Illustration 33 : Évolution de la reconstitution des chroniques de prélèvements agricoles : nombre d'ouvrages avec type de volume intégré avant et après sollicitation des irrigants.....	70
Illustration 34 : Ouvrages agricoles de la base de prélèvements GAIA et maillage SAFRAN (8 km x 8 km) - les points noirs sont les ouvrages agricoles. Les mailles sélectionnées pour la comparaison sont identifiées par une lettre .....	72
Illustration 35 : Comparaison des précipitations et ETP annuelles sur 3 mailles SAFRAN (source des données : MétéoFrance).....	72
Illustration 36 : Cycle du maïs et sensibilité au stress hydrique (source : site internet www.arvalis-infos.fr, article du 15 juin 2017).....	73
Illustration 37 : Corrélations obtenues entre variables climatiques et prélèvements des irrigants.....	74
Illustration 38 : Estimation des volumes annuels manquants à partir des corrélations de prélèvements de différents exploitants .....	74
Illustration 39 : Exemple d'estimation des volumes annuels matérialisée par un plateau correspondant à la moyenne des prélèvements disponibles pour un exploitant (en pointillés : volumes estimés à la moyenne des prélèvements effectués sur la période 2001-2014) .....	75
Illustration 40 : Volumes agricoles annuels estimés par la méthode de la moyenne.....	75
Illustration 41 : Bilan de la reconstitution des chroniques de prélèvements agricoles annuels : nombre d'ouvrages avec type de volume intégré après sollicitation des agriculteurs et estimation des volumes manquants .....	77
Illustration 42 : Volumes prélevés annuellement pour un usage agricole .....	77

Illustration 43 : Répartition volume réel / volume estimé des prélèvements agricoles annuels .....	78
Illustration 44 : Répartition mensuelle des prélèvements agricoles pour 15 exploitants de la base des Volumes GAIA (chaque couleur correspond à un exploitant) .....	79
Illustration 45 : Chronique de prélèvements de la source Fontestorbes (10766X0089) en comparaison de la démographie .....	81
Illustration 46 : Chronique de prélèvements de la source Francicots (10765X0137) en comparaison de la démographie .....	82
Illustration 47 : Répartition par nature des 92 ouvrages AEP de la base des volumes GAIA .....	82
Illustration 48 : Nombre de volumes renseignés par année sur l'ensemble des ouvrages AEP .....	83
Illustration 49 : Volumes prélevés pour l'usage AEP .....	83
Illustration 50 : Répartition réel / estimé des volumes prélevés pour le besoin AEP .....	84
Illustration 51 : Nombre de volumes renseignés par année sur l'ensemble des ouvrages gérés par la Régie des eaux de Dax depuis 1970 .....	85
Illustration 52 : Volumes prélevés pour un usage thermal par la Régie des eaux de Dax (1970-2014).....	85
Illustration 53 : Nombre de volumes renseignés par année sur l'ensemble des ouvrages gérés par la Chaîne Thermale du Soleil (période 1970-2014) .....	86
Illustration 54 : Volumes prélevés pour un usage thermal par la Chaîne Thermale du Soleil (1970-2014) .....	86
Illustration 55 : Chronique de prélèvement reconstituée sur le forage artésien de Bagnère 2 .....	87
Illustration 56 : Nombre de volumes renseignés par année sur l'ensemble des ouvrages thermaux .....	88
Illustration 57 : Volumes prélevés pour le besoin thermal.....	89
Illustration 58 : Répartition réel / estimé des volumes prélevés pour le besoin thermal .....	89
Illustration 59 : Volumes prélevés dans les forages géothermiques de Blagnac.....	90
Illustration 60 : Nombre de volumes renseignés par année sur l'ensemble des ouvrages exploitables - état fait en novembre 2016 .....	91
Illustration 61 : Localisation des ouvrages de la base des Volumes GAIA .....	92
Illustration 62 : Méthodologie mise en œuvre pour l'interprétation de pompages d'essai. Utilisation des dérivées des rabattements pour diagnostiquer les essais.....	93
Illustration 63 : Exemple de succession des régimes d'écoulement lors d'un pompage dans un aquifère rectangulaire clos. tD : temps adimensionnel, sD (courbe pleine) et sD' (courbe tirée) : rabattement et dérivée du rabattement (adimensionnel). .....	94
Illustration 64 : Classification des pompages d'essai de la BSS, suivant la qualité de la donnée, en vue d'une ré-interprétation.....	96
Illustration 65 : Carte de localisation des six forages sélectionnés pour la ré-interprétation des pompages d'essai .....	97
Illustration 66 : Forage de Lembeye 1 (10057X0001/LEE1) - essai de pompage de décembre 2009 .....	98
Illustration 67 : Chronique piézométrique du forage de Lembeye 1 (10057X0001/LEE1).....	98
Illustration 68 : Coupe géologique schématique entre Bordes et Geaune (Douez, 2007).....	99
Illustration 69 : Coupe technique du forage de Lespielle 1 (10053X0002/F) .....	100
Illustration 70 : Forage de Lespielle 1 (10053X0002/F) - descente et remontée du pompage de janvier 1977 .....	102
Illustration 71 : Forage de Lespielle 1 (10053X0002/F) - descente et remontée du pompage de septembre 2005 .....	102

Illustration 72 : Forage de Lespielle 1 (10053X0002/F) - essais de pompage de décembre 2006.....	103
Illustration 73 : Diagnostic des essais réalisés en 1977, 2005 et 2006 au forage Lespielle 1 .....	103
Illustration 74 : Modèle à effet de drainance d'un niveau semi-peméable sus-jacent, anisotropie de perméabilité 3-D, jusqu'à quatre limites étanches orthogonales, captage partiel du puits (ou du piézomètre). Modifié de la solution de Hantush (1964) et Hunt et Scoot (2007). Dans la solution de Hantush $T_0 \rightarrow \infty$ ou $S_y \rightarrow \infty$ . .....	105
Illustration 75 : Modélisation du rabattement au forage de Lespielle 1 (10053X0002/F1) ; essai réalisé du 04/12/2006 au 08/12/2006 (échelle bi-logarithmique pour le graphique du haut) .....	107
Illustration 76 : Coupes technique et géologique du forage de Lespielle 2 (10053X0003/LESP-2) .....	109
Illustration 77 : Forage de de Lespielle 2 (10057X0003/LESP-2) - descente du pompage de janvier 1977 .....	111
Illustration 78 : Forage de de Lespielle 2 (10057X0003/LESP-2) - descente et remontée du pompage de septembre 2005 .....	111
Illustration 79 : Forage de Lespielle 2 (10057X0003/LESP-2) - essais de pompage de décembre 2006	112
Illustration 80 : Diagnostic des essais réalisés en 1977, 2005 et 2006 au forage Lespielle 2 .....	112
Illustration 81 : Modélisation du rabattement au forage de Lespielle 2 (10057X0003/LESP-2) ; essai réalisé du 11/12/2006 au 18/12/2006 (échelle bi-logarithmique pour le graphique du haut) .....	114
Illustration 82 : Coupes technique et géologique du forage de Burosse-Mendousse / Garlin 1 (10052X0006/F1) .....	116
Illustration 83 : Forage de Burosse-Mendousse / Garlin 1 (10052X0006/F1) - descente et remontée du pompage d'avril 2007 .....	117
Illustration 84 : Diagnostic des essais réalisés en 2007 au forage Burosse-Mendousse / Garlin 1 (10052X0006/F1). .....	118
Illustration 85 : Modélisation du rabattement au forage de Burosse-Mendousse / Garlin 1 (10052X0006/F1) ; essai réalisé du 03/04/2006 au 06/04/2007.....	119
Illustration 86 : Coupe géologique du forage de Lannecaube (10052X0038/F).....	121
Illustration 87 : Forage de Lannecaube (10052X0038/F) - descente et remontée du pompage de septembre 1995 .....	122
Illustration 88 : Diagnostic de l'essai réalisé en 1995 au forage de Lannecaube (10052X0038/F) .....	123
Illustration 89 : Solution de Gringarten et Ramey (1974) .....	124
Illustration 90 : Modélisation du rabattement au forage de Lannecaube ((10052X0038/F)) ; essai par paliers de débit du 11/09/1995.....	125
Illustration 91 : Modélisation du rabattement au forage de Lannecaube ((10052X0038/F)) ; essai réalisé de longue durée du 12/09/1995 au 15/09/1995 .....	126
Illustration 92 : Coupe technique du forage de Lasseppe (10052X0037/F) .....	127
Illustration 93 : Coupe géologique de la base du forage de Lasseppe (10052X0037/F) .....	128
Illustration 94 : Forage de Lasseppe (10052X0037/F) - descente du pompage d'août 1993 .....	130
Illustration 95 : Diagnostic de l'essai réalisé en 1993 au forage de Lasseppe (10052X0037/F) .....	130
Illustration 96 : Modélisation du rabattement au forage de Lasseppe (10052X0037/F) ; essai réalisé du 16/08/1993 au 19/08/1993 .....	132

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Gisements d'hydrocarbures des sous-bassins de l'Adour et du Comminges.....	18
Tableau 2 : Distribution stratigraphique des gisements d'hydrocarbures des sous-bassins de l'Adour et du Comminges (Serrano et al., 2006).....	20
Tableau 3 : Forages pétroliers situés au sein et à proximité du gisement de Ger .....	24
Tableau 4 : Pressions de fond relevées sur des forages du gisement de Ger et à son voisinage .....	26
Tableau 5 : Données de perméabilité relevées sur des forages du gisement de Ger et à son voisinage ..	27
Tableau 6 : Minéralisation des eaux souterraines dans et au voisinage du gisement de Ger .....	28
Tableau 7 : Forages des gisements de Charlas et Charlas ouest .....	30
Tableau 8 : Pressions de fond, relevées sur des forages des gisements de Charlas et Charlas Ouest....	32
Tableau 9 : Minéralisation des eaux souterraines au voisinage des gisements de Charlas et Charlas Ouest.....	33
Tableau 10 : Forages des gisements de Mazères .....	34
Tableau 11 : Pressions de fond, relevées au forage de Mazères 1.....	35
Tableau 12 : Données de perméabilité relevées au forage de Mazères 1 .....	36
Tableau 13 : Minéralisation des eaux souterraines au forage de Mazères 1 .....	36
Tableau 14 : Forages du gisement de Lagrave.....	38
Tableau 15 : Pressions de fond relevées sur les forages du gisement de Lagrave .....	40
Tableau 16 : Minéralisation des eaux souterraines aux forages du gisement de Lagrave .....	40
Tableau 17 : Pressions de fond relevées sur les forages du gisement de Lacq supérieur .....	43
Tableau 18 : Minéralisation des eaux souterraines aux forages du gisement de Lacq supérieur .....	43
Tableau 19 : Forages du gisement de Montastruc.....	45
Tableau 20 : Pressions de fond, relevées sur les forages du gisement de Montastruc .....	47
Tableau 21 : Données de perméabilité relevées sur les forages du gisement de Montastruc .....	48
Tableau 22 : Minéralisation des eaux souterraines aux forages du gisement de Montastruc .....	49
Tableau 23 : Caractéristiques des gisements tertiaires et sénoniens d'hydrocarbures du Sud-aquitain ..	50
Tableau 24 : Liste des forages sélectionnés pour la ré-interprétation des pompages d'essai .....	96
Tableau 25 : Essais par pompage disponibles au forage de Lespielle 1 (10053X0002/F).....	101
Tableau 26 : Paramètres hydrodynamiques du modèle .....	105
Tableau 27 : Paramètres hydrodynamiques utilisés pour la modélisation des essais de 2006 sur le forage de Lespielle 1 (10053x0002/F1). Cf. tableau 26 pour l'explication des paramètres. 108	
Tableau 28 : Essais par pompage disponibles au forage de Lespielle 2 (10057X0003/LESP-2) .....	110
Tableau 29 : Paramètres hydrodynamiques utilisés pour la modélisation des essais sur le forage de Lespielle 2 (10057X0003/LESP-2). Cf. tableau 26 pour l'explication des paramètres.....	115
Tableau 30 : Essais par pompage disponibles au forage de Burosse-Mendousse / Garlin 1 (10052X0006/F1) .....	117
Tableau 31 : Paramètres hydrodynamiques utilisés pour la modélisation des essais sur le forage de Burosse-Mendousse / Garlin 1 (10052X0006/F1). Cf. tableau 26 pour l'explication des paramètres. ....	120
Tableau 32 : Essai par pompage disponible au forage de Lannecaube (10052X0038/F).....	122

Tableau 33 : Paramètres hydrodynamiques utilisés pour la modélisation des essais sur le forage de Lannecaube (10052X0038/F) .....	124
Tableau 34 : Essais par pompage disponibles au forage de Lassepe (10052X0037/F) .....	129
Tableau 35 : Paramètres hydrodynamiques utilisés pour la modélisation des essais sur le forage de Lassepe (10052X0037/F). Cf. tableau 26 pour l'explication des paramètres.....	133
Tableau 36 : Synthèse des valeurs de transmissivité déterminées à partir des pompages d'essai .....	134
Tableau 37 : Apport des essais sur les limites des aquifères et les apports par drainance .....	134

## Liste des annexes

Annexe 1 Formations litho-stratigraphiques du Tertiaire rencontrées par les forages du gisement de Ger .....	141
Annexe 2 Tableau de correspondance litho-stratigraphique des formations de la série paléocène à éocène moyen de la région de Pau-Tarbes (Dubarry, 1988) .....	151
Annexe 3 Formations litho-stratigraphiques du Tertiaire et Crétacé supérieur rencontrées par les forages des gisements de Charlas et Charlas Ouest .....	155
Annexe 4 Formations litho-stratigraphiques du Tertiaire et Crétacé supérieur rencontrées par les forages des gisements de Mazères .....	161
Annexe 5 Formations litho-stratigraphiques du Tertiaire et Crétacé supérieur rencontrées par les forages des gisements de Lagrave .....	167
Annexe 6 Fiche descriptive du gisement de Lacq supérieur (Serrano et al., 2006) .....	173
Annexe 7 Valeurs de perméabilités relevées sur les forages du gisement de Lacq supérieur .....	177
Annexe 8 Fiche descriptive du gisement de Montastruc (Serrano et al., 2006) .....	181
Annexe 9 Formations litho-stratigraphiques du Tertiaire et Crétacé supérieur rencontrées par les forages des gisements de Montastruc .....	185

# 1. Introduction

Le programme scientifique GAIA a pour vocation d'améliorer la connaissance géologique et hydrogéologique des aquifères profonds du sud du Bassin aquitain. Conduit sur une période de cinq ans, il prévoit en particulier la construction et le calage d'un modèle hydrogéologique permettant de représenter les écoulements dans ces différents aquifères. Dans cette optique, il comporte une phase d'étude relative à des questions spécifiques de l'hydrogéologie des aquifères éocènes à crétacés de cette zone géographique.

L'objet de ce rapport est de restituer un certain nombre des actions conduites dans ce domaine en 2016 et début 2017. Elles sont au nombre de quatre ; il s'agit :

- d'une caractérisation hydrogéologique de réservoirs exploités pour la production d'hydrocarbures dans le Sud du Bassin aquitain à partir des informations disponibles dans les Rapports de Fin de Sondage disponibles au BEPH<sup>2</sup> (cf. chapitre 2) ;
- d'une évaluation des potentialités d'émergence off-shore des aquifères profonds (cf. chapitre 3) ;
- de la poursuite de la constitution de la base de données des prélèvements dans les aquifères profonds (cf. chapitre 4) ;
- d'une ré-interprétation de pompages d'essai dans le secteur du dôme de Garlin, en s'appuyant sur l'utilisation de la méthode des dérivées du rabattement (cf. chapitre 5).

On notera que les questions relatives à la recharge et aux zones de vidange on-shore sont traitées au travers de modules dédiés et ne sont donc pas restitués dans le cadre de ce document.

Enfin, on notera que deux rapports en lien avec l'hydrogéologie et un troisième, plus orienté hydrochimie, sont accessibles au public :

- Wuilleumier A., André L., Cabaret O., Abou Akar A., Bardeau M., Mazurier C., Sasseville P-L. (2015) - Projet GAIA - Année 1. Collecte des données hydrogéologiques et hydrogéochimiques. Rapport final. BRGM/RP-64850-FR, 137 p., 98 ill., 9 tab., 19 ann. ;
- Gal F., avec la collaboration de André L., Bentivegna G., Decouchon E., Grandemange A. (2016) - Investigations sur les forages de Labruguière et de Valdurenque - Comparaison de différentes approches d'échantillonnage (pompage et prélèvement de fond). Rapport final BRGM/RP-65934-FR, 131 p. ;
- Saplairoles M., Bardeau M., Chauvet C., André L., Wuilleumier A., avec la collaboration de Poux E. et Grandemange A. (2017) - Synthèse hydrogéologique et recharge des aquifères éocènes et paléocènes sur la bordure sud-orientale du Bassin aquitain et sur le piémont pyrénéen. Rapport final. BRGM/RP-65024-FR, 91 p., 50 fig., 18 tab., 11 ann.

---

<sup>2</sup> Bureau Exploration-Production des Hydrocarbures.



## 2. Caractérisation hydrogéologique de réservoirs exploités pour la production d'hydrocarbures

Entre 1939 et 2004, 440 forages d'exploration ont été réalisés dans le Sud du Bassin aquitain (Serrano et al., 2006). Ces forages ont permis la découverte de 35 gisements d'hydrocarbures dans les bassins d'Arzacq, de Tarbes et du Comminges, chacun d'entre eux ayant fait l'objet d'une exploitation spécifique sur une période couvrant la grande moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, et jusqu'au début du XXI<sup>ème</sup> siècle. Aucune étude n'a été trouvée, dans le cadre de la recherche bibliographique, sur l'impact potentiel de l'exploitation de ces gisements d'hydrocarbures sur la piézométrie des aquifères profonds du Sud du Bassin aquitain. Cependant, un impact pourrait se faire sentir à plusieurs titres (Wuilleumier et al., 2015) :

- « au travers de l'exploitation de niveaux stratigraphiques correspondant aux aquifères du Sud du Bassin aquitain, dont la continuité hydrodynamique avec la partie aquifère dépend en pratique des conditions de confinement du gisement » ;
- comme conséquence de la forte déplétion observée dans les gisements de gaz, susceptible d'induire un tassement mécanique des roches ou une modification importante des gradients de pression subis par l'eau dans les aquifères et dans les aquitards voisins du gisement ;
- « par une exploitation d'aquifères au voisinage de gisements d'huile, destinée au maintien de la pression dans le réservoir par le biais de l'injection d'eau ».

Dans le cadre d'une thèse réalisée à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, Bardainne (2005) a ainsi étudié les conséquences de la déplétion des réservoirs gaziers au voisinage de Lacq, démontrant bien l'existence d'un impact. Cet aspect a été repris dans le rapport d'année 1 relatif au volet hydrogéologie du projet GAIA (Wuilleumier et al., 2015) :

« Bardainne s'est intéressé aux occurrences de sismicité observées dans le Sud du Bassin [...] et a étudié la répartition spatiale et temporelle des événements [...] ainsi que sa répercussion à la surface du sol de 1967 à 1989 [...]. Si la déformation engendrée en surface demeure très modérée [...] cette observation conduit à s'interroger sur :

- la déformation mécanique induite aux profondeurs auxquelles sont rencontrées les aquifères concernés par l'étude, à commencer par le Sénonien rencontré et exploité vers 500 à 600 m de profondeur ;
- l'évolution de cette déformation depuis 25 ans, soit depuis 1989. »

L'ensemble des problématiques évoquées ci-avant n'est pas investigué dans le cadre du présent rapport, le travail se concentrant sur les caractéristiques des gisements et leur lien éventuel avec un aquifère. Le travail réalisé a par ailleurs porté sur la caractérisation des gisements exploités à partir de réservoirs datés du Tertiaire ou du Crétacé supérieur.

Dans un premier temps et afin de disposer d'une vue d'ensemble, une présentation synthétique des gisements d'hydrocarbures exploités dans le Sud du Bassin aquitain est effectuée (§ 2.1). Ils sont affiliés au type d'hydrocarbures (gaz ou huile) qui les compose, ainsi qu'à l'horizon géologique de leur niveau réservoir producteur.

Dans un deuxième temps, un aperçu plus spécifique du gisement de Ger (réservoir yprésien) est proposé au travers d'une synthèse des données recueillies dans les Rapports de Fin de Sondage (RFS, cf. § 2.2). Le même type de synthèse est ensuite proposé pour les gisements

du Sud du Bassin aquitain dont le réservoir cible (et/ou producteur d'hydrocarbures) se situe dans le Sénonien (§ 2.3 à 2.6.3).

## 2.1. LES GISEMENTS D'HYDROCARBURES DU SUD DU BASSIN AQUITAIN

Ce chapitre a pour objectif de proposer une vue d'ensemble des gisements d'hydrocarbures du Sud du Bassin aquitain. Il repose sur une revue bibliographique de documents réalisés par différents auteurs, dont notamment : Serrano et al. (2006), Biteau et Canerot (2007, in revue Géologues), Serrano (2015, in revue Geosciences).

### 2.1.1. « Provinces pétrolières » et sous-bassins

Le Bassin aquitain comporte « deux provinces pétrolières de classe mondiale » (Biteau et Canerot, 2007, cf. illustration 1). Serrano (2015) en conserve la terminologie et en propose une courte description :

*« Le bassin terrestre sud-aquitain (sous-bassin d'Adour-Arzacq-Comminges), qui s'étend sur plus de 6 000 km<sup>2</sup> le long de la bordure nord des Pyrénées, produit surtout du gaz (11,5 TCF<sup>3</sup> de réserves prouvées/probables (2P) cumulées, dont Lacq avec 8,9 TCF) et un peu d'huile (120 milliards de barils de réserves 2P cumulées). Au nord-ouest, le bassin pétrolier de Parentis qui s'étend à la fois sur mer (environ 1500 km<sup>2</sup>) et sur terre, produit essentiellement de l'huile (350 milliards de barils de réserves 2P cumulées). ».*

Le bassin terrestre sud-aquitain se décompose en sous-bassins (Serrano et al., 2006).

*« Le bassin sud-aquitain est situé dans l'avant-pays nord pyrénéen [...]. Il est limité au Nord par la plateforme aquitaine et, au Sud, par le Chevauchement Frontal Nord-Pyrénéen (CFNP). Il est caractérisé par des directions structurales E-O et par une très forte épaisseur de dépôts crétacés. Il comprend trois sous-bassins :*

- *A l'Ouest, le sous-bassin de l'Adour avec : le bassin de Tarbes (à l'Est, entre la ride salifère d'Antin-Maubourguet et le CFNP), et le bassin d'Arzacq (à l'Ouest, entre l'anticlinal d'Audignon et le chevauchement sous-pyrénéen septentrional),*
- *A l'Est, le sous-bassin du Comminges, plus étroit, situé entre le Chevauchement Frontal Nord Pyrénéen et le Front des Petites Pyrénées,*
- *Au Nord de ce dernier, le sous-bassin de Mirande.*

*Seuls les deux premiers sous-bassins (Adour et Comminges) produisent des hydrocarbures. »*

Compte tenu de l'éloignement du bassin de Parentis à la zone d'intérêt du projet GAIA, seuls les gisements des sous-bassins de l'Adour et du Comminges sont présentés dans ce rapport.

---

<sup>3</sup> 1 TCF (Trillion Cubic Feet) = 28 Gm<sup>3</sup> ou 166 Mbep, millions de barils équivalent pétrole.

## AQUITAINE BASIN MAIN STRUCTURAL DOMAINS

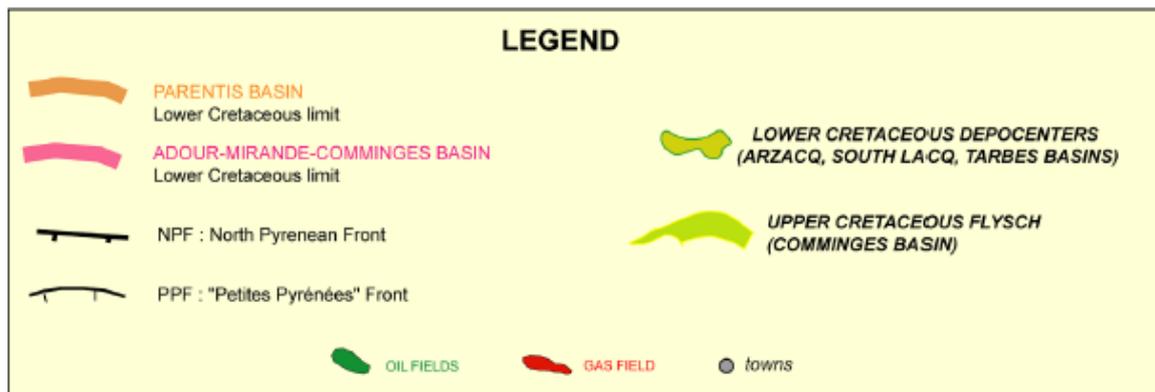
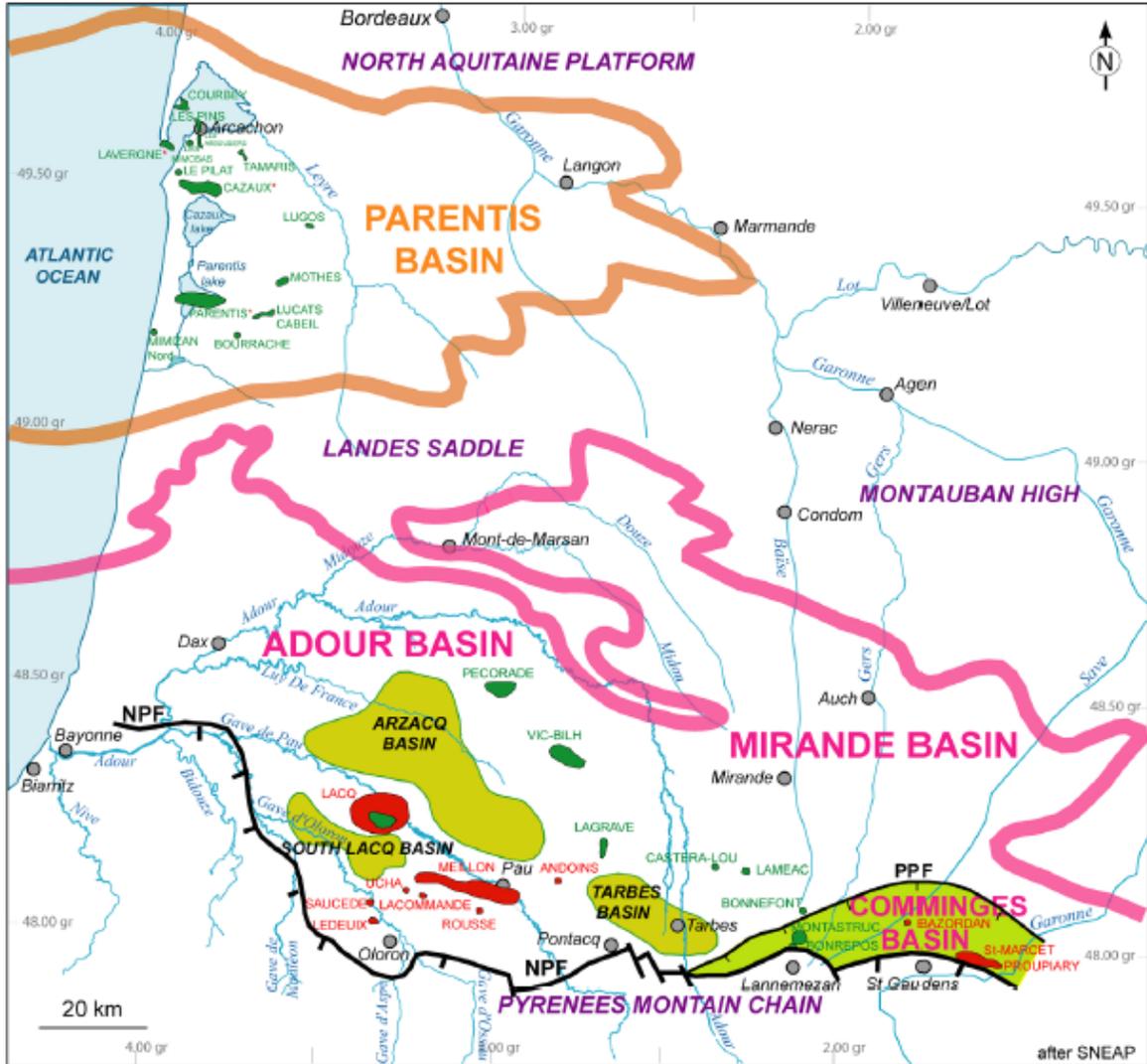


Illustration 1 : Le Bassin d'Aquitaine : deux provinces pétrolières de « classe mondiale »  
(Serrano et al., 2006)

### 2.1.2. Les gisements des sous-bassins de l'Adour et du Comminges

Les gisements des deux sous-bassins de l'Adour et du Comminges sont recensés dans le tableau 1. On en dénombre 35, dont certains (Pécorade, Vic-Bilh et Saint-Marcet) sont comptabilisés deux fois (une fois au titre de l'exploitation du gaz, une fois au titre de celle des huiles). Leur localisation, ainsi que celle des forages recensés par le BEPH dans le Sud du Bassin aquitain, est présentée en illustration 2.

Sous-bassin		Gisement	Type d'hydrocarbures
Adour	Arzacq	Lacq	Gaz
		Lacq supérieur	Huile
		Meillon	Gaz
		Grenade / Adour	Huile
		Vic-Bilh	Gaz
			Huile
		Pécorade	Gaz
			Huile
		Lacommande	Gaz
		Ucha	Gaz
		Mazères sup	Gaz
		Le Lanot	Gaz
		Rousse	Gaz
	Tarbes	Lagrange	Huile
		Castéra-Lou	Huile
		Bonnefont	Huile
		Laméac	Huile
		Jacque	Huile
		Osmets	Huile
		Cassourat	Gaz
		Andouins	Gaz
		Ger	Gaz
	Mauléon	Ledeuix	Gaz
		Saucède	Gaz
	Au Nord du bassin d'Arzacq (entre l'avant pays nord-pyrénéen et la plateforme Aquitaine)	Gaujacq	Huile
Comminges	Saint-Marcet	Gaz	
		Huile	
	Charlas ouest	Gaz	
	Proupiary	Gaz	
	Auzas	Gaz	
	Charlas	Gaz	
	Bazordan	Gaz	
	Lannemezan	Gaz	
	Montastruc	Huile	
Bonrepos	Huile		

Tableau 1 : Gisements d'hydrocarbures des sous-bassins de l'Adour et du Comminges

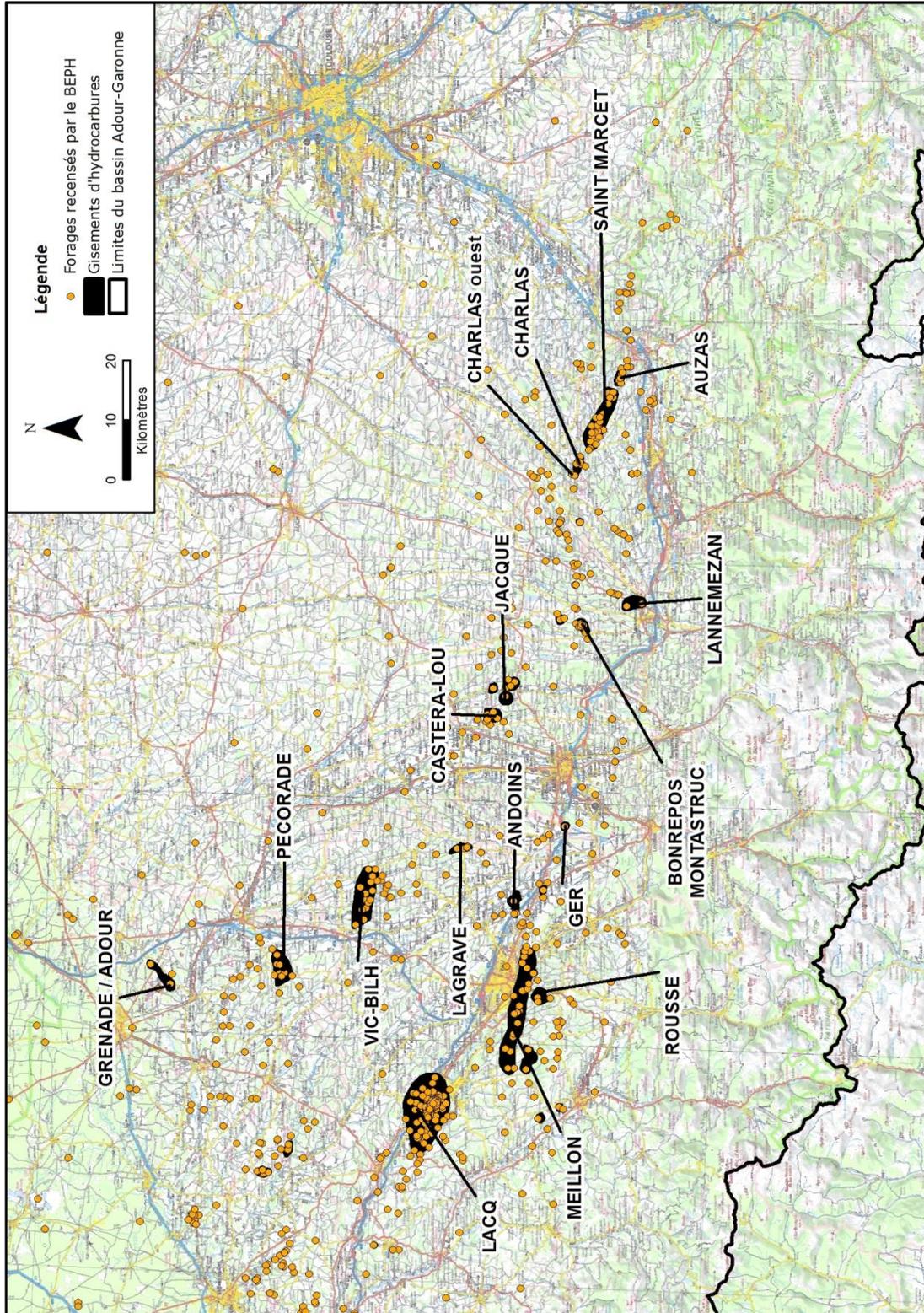


Illustration 2 : Forages pétroliers (BEPH) et gisements d'hydrocarbures du Sud du Bassin aquitain

Ces gisements ont produit des hydrocarbures à partir de réservoirs situés stratigraphiquement entre le Lias et l'Yprésien (tableau 2). Ceci étant, la plupart des réservoirs se concentrent dans les formations allant du Crétacé supérieur (Santonien-Coniacien) au Dogger (Bathonien), voire pour l'essentiel au Malm.



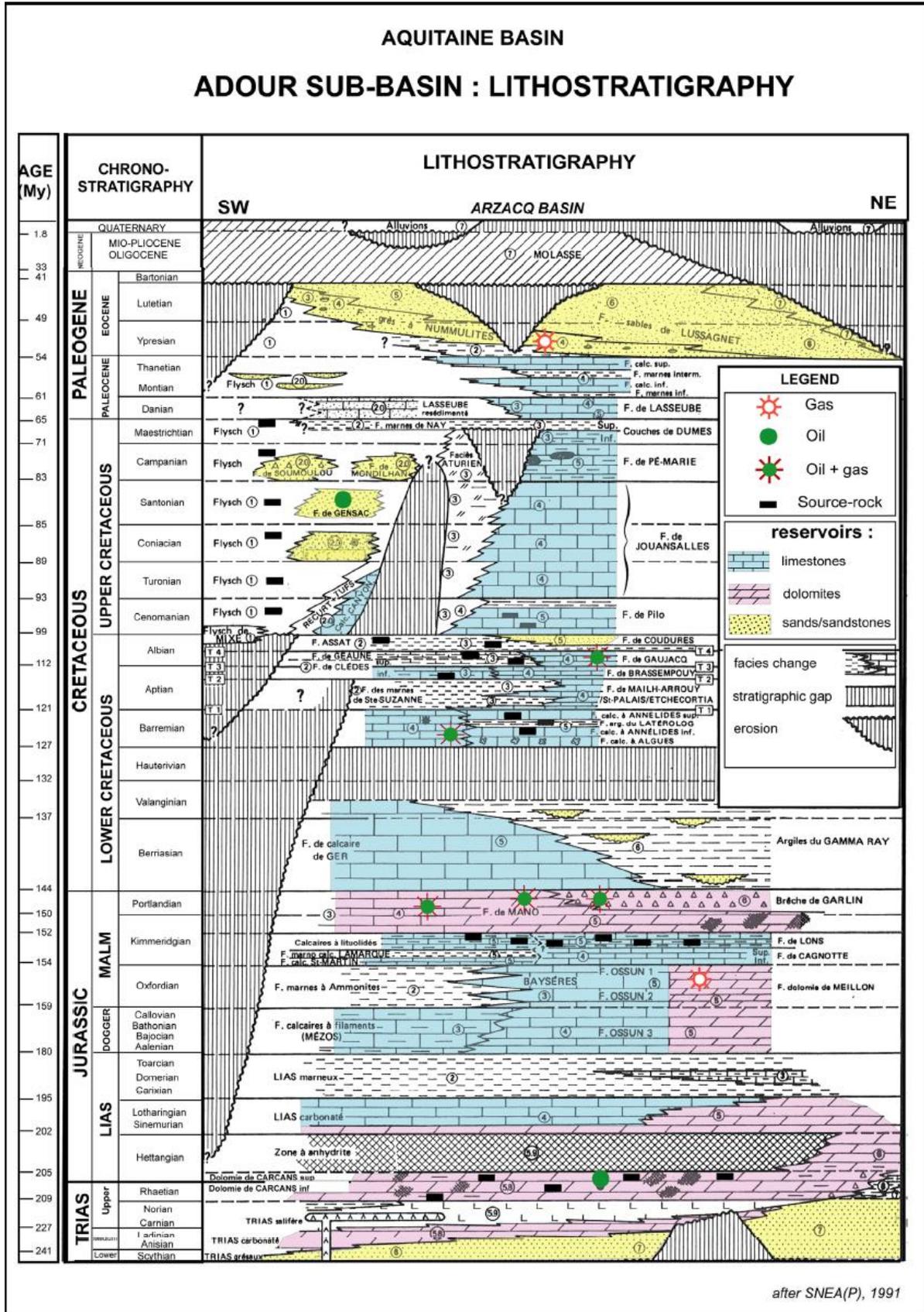


Illustration 3 : Coupe lithostratigraphique du sous-bassin de l'Adour (Source : Serrano et al., 2006)

On dénombre dix gisements qui ont exploité un réservoir tertiaire ou datant du Crétacé supérieur :

- Ger, le réservoir étant constitué par des lentilles gréseuses datant de l'Yprésien ;
- Lacq supérieur, le réservoir étant constitué par la formation de Jouansalles du Sénonien inférieur ;
- Lagrave, réservoir constitué également par la formation de Jouansalles du Sénonien inférieur ;
- Charlas, calcaires récifaux du Sénonien inférieur ;
- Charlas ouest, calcaires des canyons et formation de Gensac du Sénonien inférieur ;
- Mazères supérieur, calcaires des canyons du Sénonien inférieur ;
- Montastruc, formation de Gensac du Sénonien inférieur ;
- Proupiary, brèches de Saint-Marcet du Cénomaniens ;
- Saint-Marcet, brèches de Saint-Marcet du Cénomaniens ;
- Grenade-sur-Adour, les calcaires organogènes de Lacq de l'Albo-Cénomaniens.

La suite du rapport se concentre sur les 7 gisements ayant exploité un réservoir tertiaire ou datant du Sénonien. Ils sont localisés sur l'illustration 4.

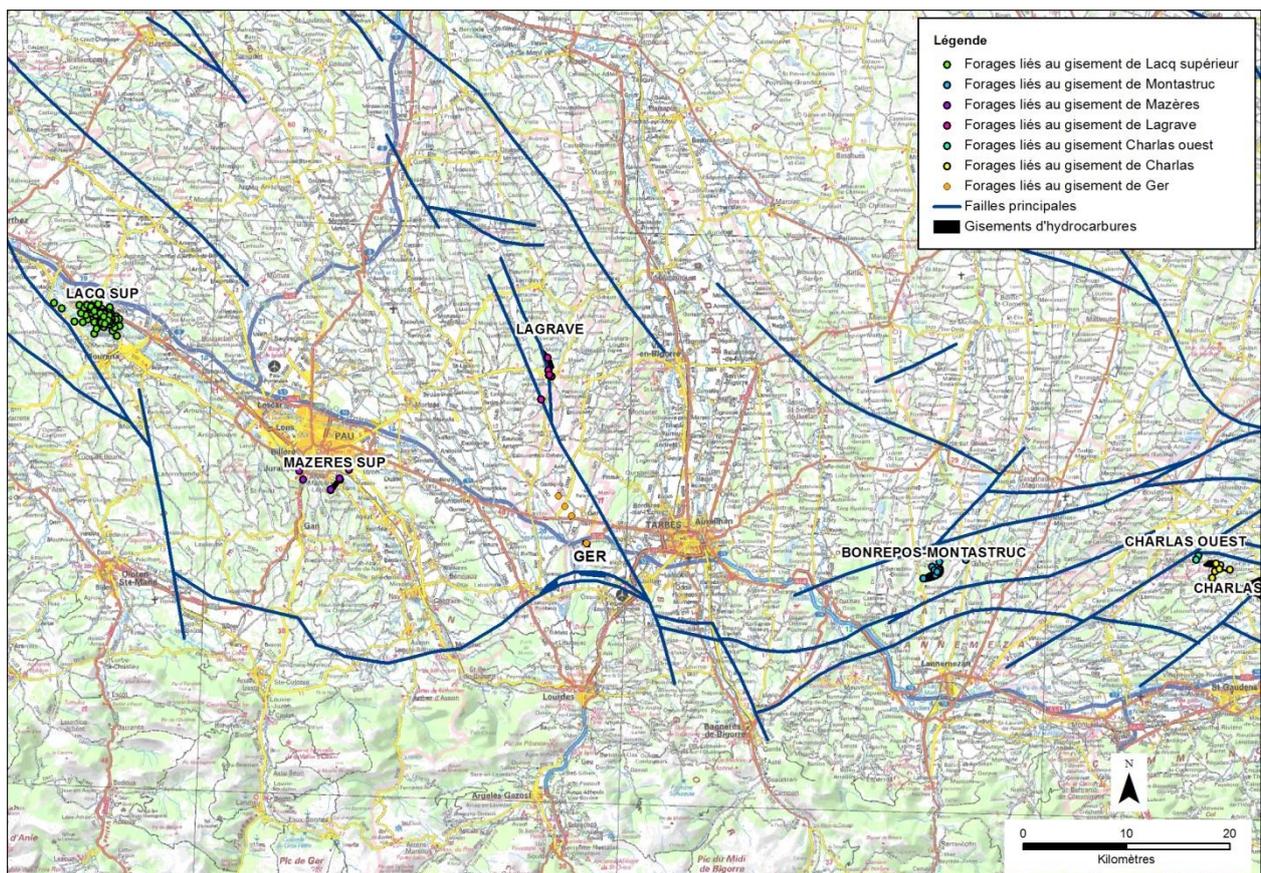


Illustration 4 : Localisation des gisements d'hydrocarbures exploitant un réservoir daté du Tertiaire ou du Sénonien dans le Sud du Bassin aquitain

## 2.2. LE GISEMENT DE GAZ DE GER (YPRÉSISIEN)

Situé à 10 kilomètres à l'Ouest de Tarbes et au Sud-Est du champ gazier de Cassourat, le gisement de gaz de Ger couvre une superficie de l'ordre de 1.5 km<sup>2</sup>. Découvert par la SNPA<sup>4</sup> en 1975, il a été exploité à partir de 1977 et jusqu'en 1989, pour un volume cumulé de 112,7 Mm<sup>3</sup>. Deux pics de production annuelle ont été enregistrés sur ce gisement : en 1980 et en 1985 (14 Mm<sup>3</sup> - Serrano et al., 2006). La production a ensuite graduellement baissé jusqu'à atteindre 831 000 m<sup>3</sup>/an en 1989.

### 2.2.1. Position stratigraphique et géométrique des réservoirs exploités

Le gisement de Ger est le seul gisement du Sud du Bassin aquitain qui a produit des hydrocarbures (en l'occurrence du gaz) à partir d'un réservoir tertiaire. Celui-ci est constitué par des niveaux gréseux : le piège, de nature stratigraphique, est constitué par deux lentilles sableuses, d'origine turbiditique, qui avaient déjà montré des indices de gaz sur le puits Ger 1 (Serrano et al., 2006), foré antérieurement à la découverte du gisement lors de la foration de Ger 101. Une vue en coupe du gisement est présentée en Illustration 5.

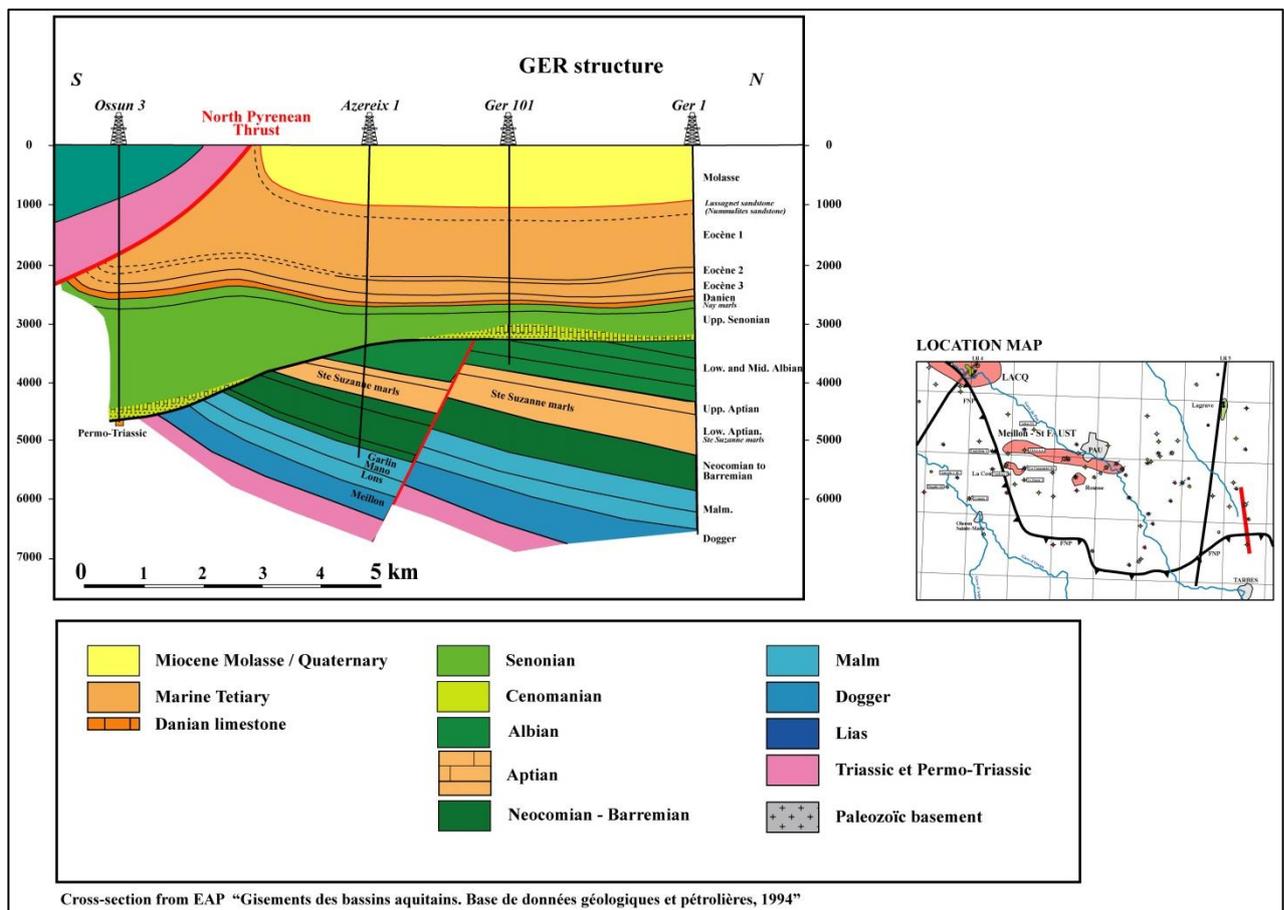


Illustration 5 : Vue en coupe du gisement de gaz de Ger (Serrano, 2006)

<sup>4</sup> SNPA : Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine. Instituée en 1941, cette société fait partie des sociétés étant à l'origine de la création d'Elf Aquitaine.

Sept forages pétroliers ont été réalisés dans et au voisinage de la commune de Ger (cf. tableau 3 et illustration 6) : Ponson Dessus 1, Livron 1, Azereix 1, et les forages Ger 1, Ger 101, Ger 201 et Ger 301. Malgré l'existence d'indices d'hydrocarbures sur plusieurs d'entre eux, un seul de ces forages a été mis en production ; il s'agit du forage de Ger 101.

Dénomination	Indice BSS	Coordonnées Lambert 2 étendu		Date de début du forage	Date de fin du forage	Profondeur (en m)	Altitude sol (NGF)
		X	Y				
Ger 1	10308X0001	404533	1808401	23/05/1968	27/12/1968	6650	406.5 m
Ger 101	10308X0002	405967	1805720	13/04/1975	05/08/1975	3790	426.08 m
Ger 201	10308X0003	403913	1809319	16/12/1977	17/01/1978	2185	403.64 m
Ger 301	10308X0004	403269	1810301	17/10/1977	27/11/1977	2200	430 m
Azereix 1	10308X0202	406514	1803349	20/06/1969	13/12/1969	5333	431.22 m
Livron 1	10307X0014	400299	1807140	25/12/1979	08/02/1980	2350	408 m
Ponson Dessus 1	10304X0002	406094	1814910	14/06/1972	27/11/1972	5730	341.06 m

Tableau 3 : Forages pétroliers situés au sein et à proximité du gisement de Ger

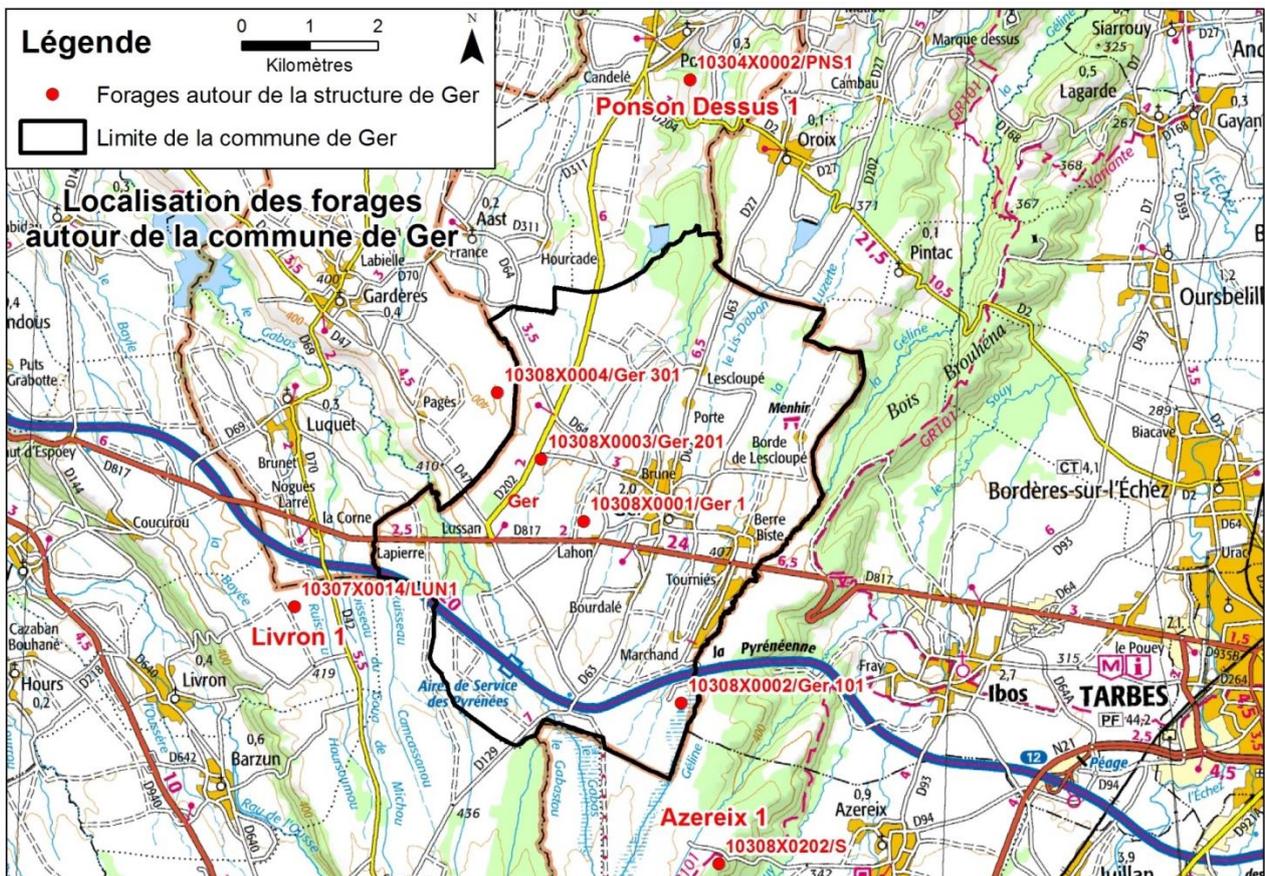


Illustration 6 : Localisation des forages pétroliers réalisés autour de la commune de Ger (source des données : BEPH).

La liste des formations litho-stratigraphiques tertiaires rencontrées par les différents forages du tableau 3 (cf. Annexe 1) permet de préciser le positionnement géométrique des lentilles gréseuses exploitées à Ger 101. Elles sont accompagnées, dans cette annexe, par un tableau synthétique décrivant les différents réservoirs identifiés parmi ces formations et listant les principales caractéristiques identifiées.

Situées stratigraphiquement dans la partie inférieure de l'ensemble « Éocène 1 », les lentilles gréseuses exploitées sont incluses dans un ensemble de dépôts sédimentaires argileux épais de plus de 1000 mètres et appartiennent à ce qui sera appelé « Unité de Ger » ultérieurement à la foration de Ger 101 (cf. Annexe 2).

Plus précisément, le niveau producteur de gaz se situe à une profondeur<sup>5</sup> comprise entre 2076 et 2080 m (soit 4 m d'épaisseur, le toit du réservoir étant à - 1634 m/NM<sup>6</sup>), et correspond à des turbidites clastiques de l'Yprésien. Il repose sous un niveau constitué par des argiles grises plastiques sableuses comportant des intercalations de grès gris, ligniteux et pyriteux. Ce dernier, dont les formations sont dans l'ensemble très peu perméables et épaisses de plus de 700 m (comprises entre 1 353 et 2 076 m de profondeur), sépare le réservoir gazier de l'aquifère sus-jacent constitué par les grès à nummulites.

Sous le réservoir gazier, et si l'on excepte de petits réservoirs gréseux d'épaisseur métrique à pluri-métrique, d'extension limitée et comportant une eau salée d'après les mesures diagraphiques (cf. Annexe 1), l'aquifère sous-jacent le plus proche est celui constitué par les calcaires de Lasseube (Paléocène). D'une épaisseur de 42 m à Ger 101 et situé à une profondeur comprise entre 2 691 et 2 733 m, il est séparé des deux lentilles gréseuses exploitées par plus de 600 m de formations appartenant aux ensembles « Eocène 2 » et « Eocène 3 ». Ces deux ensembles sont constitués par des formations principalement argileuses à marneuses, comportant des intercalations gréseuses ou calcaires de faibles épaisseurs. On notera que l'unité « Eocène 2 » comporte notamment la formation dite « unité d'Azereix » (cf. Annexe 2), dont la partie sommitale est composée d'argiles radioactives (bien repérées à Ger 201 et Ger 301). Cette unité est directement sous-jacente à « l'unité de Ger ».

Latéralement, les lentilles gréseuses, présentes dans l'Unité de Ger et exploitées à Ger 101, ne sont pas productrices de gaz ou présentent un faciès lithologique différent, induisant une perméabilité très faible.

Ainsi, au forage de Ger 201, quelques minces niveaux-réservoirs de très faibles épaisseurs ont été identifiés au sein de l'Eocène 1 (de 1 642,5 à 1 644 m ; de 1 654 à 1 656 m et de 1 687 à 1 688,5 m de profondeur, cf. Annexe 1). Ils se sont tous révélés aquifères, à l'exception d'un petit bouchon de fond<sup>7</sup> (0,8 %) qui a révélé la présence de gaz à 1 683 m de profondeur. Le niveau correspondant s'est cependant présenté sous la forme d'une argile silteuse et gréseuse, ne permettant pas l'exploitation du gaz.

Le forage de Ger 301 quant à lui n'a pas retrouvé les bancs gréseux gazifères existant à Ger 101, les indices gazeux restant très faibles : les teneurs les plus fortes (2 % de méthane) correspondent bien à l'Unité de Ger argilo-sableuse mais les bancs gréseux réservoirs de Ger 101 (situés à 1 974 m et 2 074 m) sont très argileux dans ce puits.

De la même manière, les réservoirs tertiaires retrouvés à Azereix 1 et à Livron 1 sont aquifères. Des traces de gaz ont néanmoins été retrouvées à Azereix 1, les indices les plus importants ayant été enregistrés de 1 780 à 2 220 m dans l'Eocène 1, avec présence d'un bouchon de fond (3,9 %) retrouvé à 2 072 m.

<sup>5</sup> Les profondeurs indiquées correspondent à des profondeurs de foration, qui incluent donc la déviation du forage et sont donc à différencier d'une profondeur verticale indiquée relativement au sol ou à un autre référentiel (tel que le niveau marin).

<sup>6</sup> NM : Niveau de la Mer.

<sup>7</sup> Volume de gaz rencontré lors de la foration.

## 2.2.2. Éléments de caractérisation hydrogéologique des réservoirs traversés par les forages

Le tableau 4 restitue les **pressions de fond** relevées dans les RFS des forages du gisement de Ger. Les données collectées relatives au forage Ger 101, montrent l'état initial de la pression dans le réservoir gréseux - autour de 180 bars - avant le démarrage de l'exploitation du gisement (1977). Notons que le 15 septembre 1975 correspond à la date de démarrage d'un test de production effectué sur cet ouvrage. Des essais de production ont ainsi été entrepris du 15 au 24 septembre 1975, pour deux débits d'exploitation : 50 000 m<sup>3</sup>/jour et 65 000 m<sup>3</sup>/jour. 485 126 m<sup>3</sup> de gaz standard (gaz sec comportant 98 % de méthane) ont été produits lors de cet essai, décidant de la mise en exploitation du forage.

Aucune donnée de pression mesurée à une date ultérieure n'a pu être réunie.

Forage BEPH	Concession	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof. toit (m/for)	Prof. base (m/for)	Date	Pression de fond (bar)	Prof. de référence pour pression (m/NM)
12-0860-	Pau-Tarbes	GER	GER 101	Eocène 1 - argiles à passées de grès sableux	1972	1984	19/08/1975	168.2	1537.1
12-0860-	Pau-Tarbes	GER	GER 101	Eocène 1 - argiles à passées de grès sableux	2072	2084	06/08/1975	179.5	1634.1
12-0860-	Pau-Tarbes	GER	GER 101	Eocène 1 - argiles à passées de grès sableux	2072	2084	10/08/1975	179.5	1634.1
12-0860-	Pau-Tarbes	GER	GER 101	Eocène 1 - argiles à passées de grès sableux	2072	2084	13/08/1975	178.8	1634.1
12-0860-	Pau-Tarbes	GER	GER 101	Eocène 1 - argiles à passées de grès sableux	2072	2084	15/09/1975	180.9	1634.1
12-0860-	Pau-Tarbes	GER	GER 101	Eocène 1 - argiles à passées de grès sableux	2072	2084	19/09/1975	179.3	1634.1
12-0860-	Pau-Tarbes	GER	GER 101	Cénomaniens	3149.3	3179	04/07/1975	273.6	2746.6
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 2	1900	1904	13/02/1980	170.8	1486
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 2	1693	1693	13/02/1980	151.9	1279
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 2	1692	1692	13/02/1980	151.8	1278
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 2	1422.8	1423.7	13/02/1980	121.5	1009

Tableau 4 : Pressions de fond relevées sur des forages du gisement de Ger et à son voisinage

Le tableau 5 présente les données de **perméabilité** relevées dans les RFS des forages Ger 301 et Livron 1. Les fortes perméabilités mesurées en base de la formation dite « Eocène 1 » (200 à 600 mD<sup>8</sup>) correspondent à la base de l'Unité d'Azereix, où des grès microconglomératiques sont présents sur 5 à 6 m d'épaisseur. Ces grès se sont révélés aquifères, présentant une salinité de l'ordre de 40 g/l et une porosité comprise entre 15 et 20 % (valeurs déduites des diagraphies).

<sup>8</sup> 1 mD (millidarcy) correspond à 20°C à une perméabilité de l'ordre de 9.6 10<sup>-9</sup> m/s.

Forage BEPH	Concession	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof. foration toit (m)	Prof. foration base (m)	Perméabilité (mdy)
12-2033-	Pau-Tarbes	GER	GER 301	Eocène 1	1810.0	1828.0	0.01
12-2033-	Pau-Tarbes	GER	GER 301	Eocène 1	1842.5	1851.5	0.01
12-2033-	Pau-Tarbes	GER	GER 301	Eocène 1	1851.5	1860.5	0.33
12-2033-	Pau-Tarbes	GER	GER 301	Eocène 1	1860.5	1869.5	0.01 - 0.36
12-2033-	Pau-Tarbes	GER	GER 301	Eocène 1	1869.5	1878.5	0.01
12-2033-	Pau-Tarbes	GER	GER 301	Eocène 1	2109.0	2118.0	0.01 - 690
12-2033-	Pau-Tarbes	GER	GER 301	Eocène 1	2118.0	2120.6	0.01 - 480
12-2033-	Pau-Tarbes	GER	GER 301	Eocène 2	2158.0	2167.0	0.01 - 2.5
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 2	1703	1704	2.7 - 3.3
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 2	1704	1705	0.01 - 1200
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 2	1705	1710	0.01 - 6.4
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 2	1710	1715	0.01 - 7.0
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 2	1715	1721	0.01 - 10.2

Tableau 5 : Données de perméabilité relevées sur des forages du gisement de Ger et à son voisinage

Concernant le forage de Livron 1, la valeur de 1 200 mD est à considérer comme exceptionnelle ; celle-ci ayant été mesurée sur un échantillon de roche d'une épaisseur de 1 cm (1 704,6 à 1 704,61 m de profondeur). Une seule autre valeur supérieure à 10 mD a été mesurée, sur une carotte d'une cinquantaine de cm située immédiatement au-dessous (740 mD, de 1 704,61 à 1 705,1 m de profondeur).

Serrano et al. (2006) citent par ailleurs l'existence d'une perméabilité de 40 mD pour les formations gréseuses du gisement de Ger. La porosité matricielle est en moyenne de l'ordre de 20% pour cette même formation.

Le tableau 6 restitue les données de **minéralisation de l'eau** relevées dans les RFS<sup>9</sup>. On note en particulier que deux échantillons d'eau ont pu être collectés au forage Ger 101 : ils présentent une minéralisation de 16,5 g/l dans la formation gréseuse, tandis qu'elle atteint 35 g/l dans le Cénomaniens sous-jacent.

De façon générale, on observe que la minéralisation de l'eau (déduite de diagraphie) dépasse 7 g/l dans les niveaux gréseux inclus dans les formations argileuses éocènes sous-jacentes aux grès à nummulites. A Livron 1, on observe par ailleurs un accroissement de cette salinité avec la profondeur, celle-ci s'échelonnant entre 7 à 9 g/l entre 1 192 et 1 630 m dans l'Eocène 1, tandis qu'elle avoisine 20 g/l pour les formations Eocène 2 et Eocène 3 (de 1 681 à 2 004 m de profondeur).

A Livron 1 toujours, la valeur de 2,5 g/l pour les sables de Lussagnet et les grès à nummulites est déduite d'une diagraphie électrique et est à considérer avec précaution, notamment au regard de la minéralisation habituelle rencontrée dans ces formations au sud de la flexure celtaquitaine (< 1 g/l). Il est sans doute plus raisonnable de considérer celle-ci de façon relative aux valeurs proposées pour les réservoirs sous-jacents et non en tant que valeur absolue.

<sup>9</sup> La minéralisation de l'eau peut être approchée de deux façons différentes :

- au travers d'une diagraphie électrique de type potentiel spontané. La minéralisation de l'eau est alors déduite de la résistivité obtenue par la diagraphie, en tenant compte de la température régnant à la profondeur concernée ;
- par une mesure de la salinité effectuée sur les eaux de la formation, remontées lors de la réalisation d'un test de production dans le forage.

La méthode employée est précisée dans la dernière colonne du tableau.

Forage BEPH	Concession	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof. foration toit (m)	Prof. foration base (m)	Minéralisation (g/l)	Méthode évaluation
12-2033-	Pau-Tarbes	GER	GER 301	Eocène 1 - grès microconglomératique	2111	2142	>=40	diagraphie PS
12-2032-	Pau-Tarbes	GER	GER 201	Eocène 1 - argiles à passées de grès sableux	1642.5	1644	7 à 9	diagraphie PS
12-2032-	Pau-Tarbes	GER	GER 201	Eocène 1 - argiles à passées de grès sableux	1654	1656	7 à 9	diagraphie PS
12-2032-	Pau-Tarbes	GER	GER 201	Eocène 1 - argiles à passées de grès sableux	1687	1688.5	7 à 9	diagraphie PS
12-0860-	Pau-Tarbes	GER	GER 101	Eocène 1 - argiles à passées de grès sableux	1974	1978	16.5	échantillon d'eau
12-0860-	Pau-Tarbes	GER	GER 101	Eocène 1 - grès microconglomératique	2327	2346	17	diagraphie PS
12-0860-	Pau-Tarbes	GER	GER 101	Eocène 2 - grès microconglomératique	2373	2382	17	diagraphie PS
12-0860-	Pau-Tarbes	GER	GER 101	Cénomanién	3148	3164	35	échantillon d'eau
12-0772-	Pau-Tarbes	GER	GER 1	Eocène 2 - conglomérat de Vielle Adour	2197	2214	25	diagraphie PS
12-0772-	Pau-Tarbes	GER	GER 1	Paléocène	2655	2667	50	diagraphie PS
12-1917-	Pau-Tarbes	AZEREIX	AZX 1	Sables de Lussagnet	1095	1172	"eau douce"	diagraphie PS
12-1917-	Pau-Tarbes	AZEREIX	AZX 1	Eocène 1	1640	1670	>=10	diagraphie PS
12-1917-	Pau-Tarbes	AZEREIX	AZX 1	Eocène 1	1809	1815	>=10	diagraphie PS
12-1917-	Pau-Tarbes	AZEREIX	AZX 1	Eocène 2	2297	2345	>=10	diagraphie PS
12-1917-	Pau-Tarbes	AZEREIX	AZX 1	Eocène 3	2408	2448	>=10	diagraphie PS
12-1917-	Pau-Tarbes	AZEREIX	AZX 1	Eocène 3	2535	2550	>=10	diagraphie PS
12-1917-	Pau-Tarbes	AZEREIX	AZX 1	Eocène 3	2730	2735	>=10	diagraphie PS
12-1917-	Pau-Tarbes	AZEREIX	AZX 1	Paléocène	2735	2765	"peu salée"	diagraphie PS
12-1917-	Pau-Tarbes	AZEREIX	AZX 1	Crétacé supérieur - série argilo-calcaire	2907	2912	10	diagraphie PS
12-1917-	Pau-Tarbes	AZEREIX	AZX 1	Crétacé supérieur - série argilo-calcaire	2924	2938	10	diagraphie PS
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Sables de Lussagnet	562	662	2.5	diagraphie PS
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Grès à Nummulites	662	727	2.5	diagraphie PS
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 1 - argiles à passées de grès sableux	1192	1192	9	diagraphie PS
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 1 - argiles à passées de grès sableux	1196.5	1197.5	9	diagraphie PS
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 1 - argiles à passées de grès sableux	1422.8	1423.7	9	diagraphie PS
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 1 - argiles à passées de grès sableux	1629	1630	7	diagraphie PS
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 2	1681.5	1712.8	19	diagraphie PS
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 2	1900	1904	21	diagraphie PS
12-2086-	Pau-Tarbes	LIVRON	LVN 1	Eocène 3 - grès	2002	2004.5	20	diagraphie PS

Tableau 6 : Minéralisation des eaux souterraines dans et au voisinage du gisement de Ger

Concernant le Paléocène, deux informations ont été réunies : à Azereix 1, le RFS indique que « les calcaires du Dano-Paléocène<sup>10</sup> constituent un assez mauvais réservoir<sup>11</sup> envahi d'eau peu salée ». Au forage de Ger 1, la minéralisation du Paléocène déduite de la diagraphie électrique est au contraire de 50 g/l (la valeur indiquée dans le tableau des réservoirs du RFS est de 38 g/l, ce qui peut donner un aperçu de l'incertitude associée à ce type de mesure). Cette

<sup>10</sup> A la date de rédaction du RFS, le Danien n'était pas rattaché au Paléocène.

<sup>11</sup> Un mauvais réservoir pétrolier est un réservoir présentant avant tout une faible porosité, ce qui est le cas ici (porosité moyenne de 2 à 3%).

minéralisation est associée à un calcaire récifal épais d'une douzaine de mètres et qualifié d'excellent réservoir (porosité voisine de 16%).

La minéralisation d'une eau souterraine est le résultat de la combinaison de nombreux processus géochimiques et hydrogéologiques, tels que le gradient hydraulique, la profondeur des eaux, la température, la distance depuis les affleurements, l'activité chimique des éléments en solution, la solubilité des minéraux présents dans les roches réservoirs, les réactions d'échange cationiques, les filtrations sur les argiles (Collins, 1975). C'est pourquoi, des données seules de salinité des eaux ne sont pas suffisantes pour caractériser les processus chimiques responsables de leur minéralisation. Toutefois, de façon générale, on gardera à l'esprit que des valeurs élevées de la minéralisation de l'eau traduisent habituellement un faible renouvellement des eaux dans les réservoirs, ce qui est souvent observé dans les systèmes gaziers et pétroliers (Kharaka et Hanor, 2003). Cette remarque est en particulier valable pour les lentilles gréseuses insérées dans les formations argileuses éocènes sous-jacentes aux grès à nummulites.

### 2.2.3. Synthèse

De cette analyse des données disponibles dans les RFS des forages de Ger et des environs immédiats, il ressort que les lentilles gréseuses de l'Unité de Ger exploitées par le forage de Ger 101 sont très peu épaisses (< 5 m) et d'extension latérale très limitée (superficie au sol du gisement estimée à 1,5 km<sup>2</sup>). Ces lentilles gréseuses sont enchâssées dans des formations à dominante argileuse d'une épaisseur supérieure à mille mètres, approximativement en leur centre. Ces formations séparent ainsi géométriquement et du point de vue hydrodynamique les lentilles gréseuses perméables des aquifères du Paléocène d'une part (calcaires de Lasseube) et des grès à nummulites d'autre part.

Les données de minéralisation, pour l'essentiel déduites de diagraphiques électriques, mettent en évidence une forte salinité de l'eau contenue dans les formations éocènes sous-jacentes aux grès à nummulites. Cette information est révélatrice d'un faible renouvellement des eaux dans les réservoirs concernés.

Enfin, les données de pression de fond collectées ne concernent que la situation de pression initiale dans le gisement et dans les formations voisines. Aucune donnée de pression mesurée à une date ultérieure n'a pu être réunie.

## 2.3. LES GISEMENTS DE GAZ DE CHARLAS ET CHARLAS OUEST (SÉNONIEN INFÉRIEUR)

Les gisements de Charlal et de Charlal Ouest se situent au Nord de Saint-Gaudens et à l'Ouest du gisement de Saint-Marcet (cf. illustration 2). Ils couvrent respectivement une superficie approximative de 1,8 et 0,7 km<sup>2</sup> (Serrano et al., 2006).

Le champ de Charlal a été découvert en 1959 par la RAP<sup>12</sup> (forage de Charlal 1) et a été exploité de 1960 à 1970 pour une production totale de 64,8 Mm<sup>3</sup> de gaz. Le champ de Charlal Ouest a été découvert quant à lui en 1984 par la SNEA(P)<sup>13</sup> (forage de Charlal-Ouest 2) et a été exploité de 1985 à 1988 pour une production totale de 44,6 Mm<sup>3</sup> de gaz.

<sup>12</sup> Régie Autonome des Pétroles.

<sup>13</sup> Société Nationale Elf Aquitaine (Production).

### 2.3.1. Position stratigraphique et géométrique des réservoirs exploités

Les deux gisements ont produit du gaz, en exploitant les calcaires récifaux à polypiers du Sénonien inférieur, qui ont présenté des indices gazeux intéressants lors de la foration de Charlas 1, puis de Charlas Ouest 2, 25 ans plus tard.

Sept forages pétroliers ont été réalisés au niveau des deux gisements (cf. tableau 7 et illustration 7), dont deux ont concerné le gisement de Charlas Ouest. Sur les sept forages, seuls deux ont été mis en production : Charlas 1 et Charlas Ouest 2. Le forage de Charlas 104 - présent sur l'illustration 7 - ne figure pas dans le tableau 7, dans la mesure où il est resté au stade de projet et n'a donc pas été foré (source : BEPH).

Dénomination	Indice BSS	Coordonnées		Date de début du forage	Date de fin du forage	Profondeur (en m)	Altitude sol (NGF)
		X	Y				
Charlas 101	10328X0003	467334	1803584	13/06/1949	22/07/1949	393	350 m
Charlas 102	10328X0010	466842	1802974	26/07/1949	10/08/1949	311	351 m
Charlas 1	10328X0006	466873	1803765	23/07/1959	16/01/1960	3602	357.2 m
Charlas 2	10335X0005	468225	1803173	18/12/1964	17/02/1965	2566	383 m
Charlas 3	10328X0032	467203	1803224	15/01/1971	04/04/1971	3083	346.4 m
Charlas ouest 1	10328X0048	465141	1804579	11/01/1975	01/04/1975	2612	380.8 m
Charlas ouest 2	10328X0052	464951	1804120	09/04/1964	29/05/1964	3145	384.78 m

Tableau 7 : Forages des gisements de Charlas et Charlas ouest

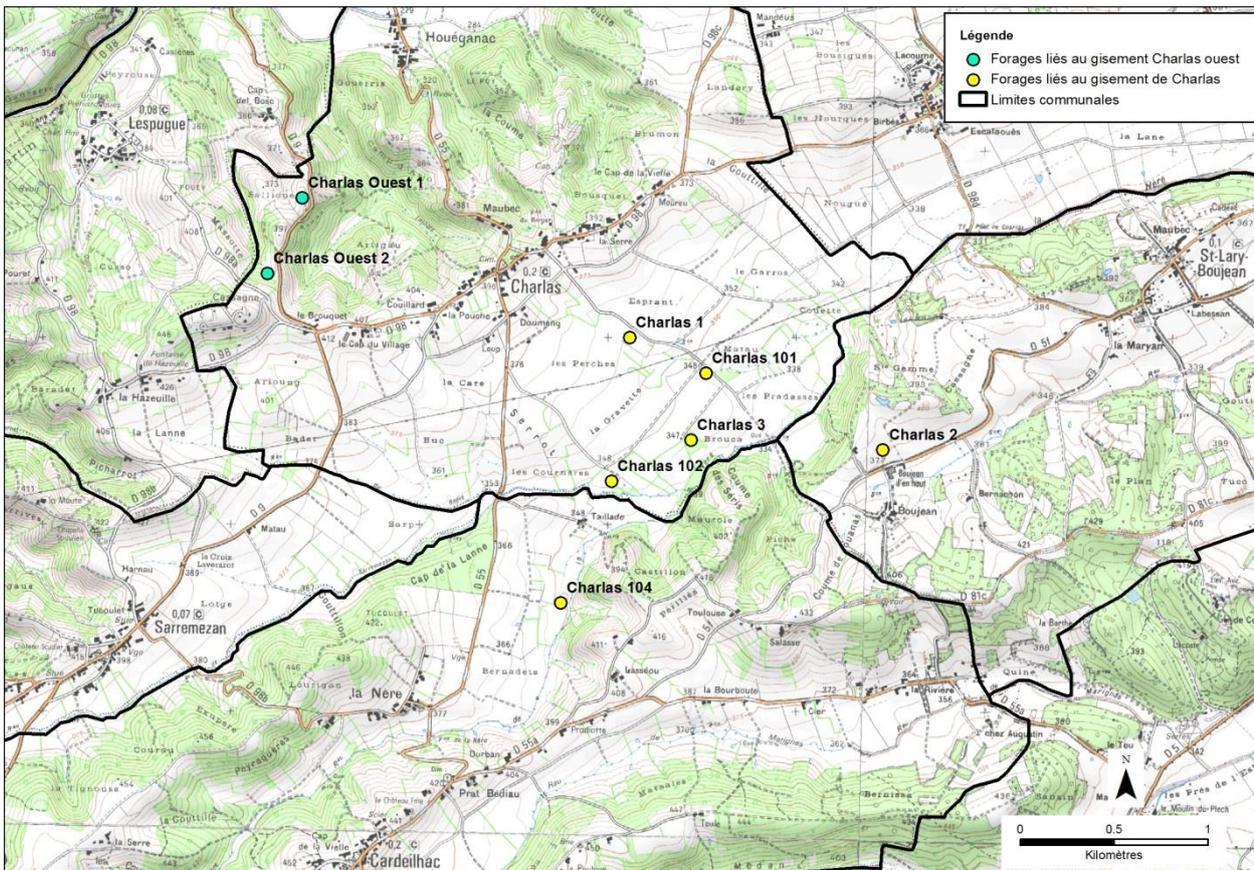


Illustration 7 : Forages pétroliers de Charlas et Charlas ouest (source : BEPH)

La liste des formations litho-stratigraphiques tertiaires et sénoniennes rencontrées par les différents forages du tableau 7 (cf. Annexe 3) permet de préciser le positionnement géométrique des réservoirs exploités par Charlas 1 et Charlas Ouest 2. Situés stratigraphiquement dans le Sénonien inférieur (Santonien), les calcaires exploités sont recouverts par environ 1 500 mètres d'un flysch argileux, daté du Sénonien (Maestrichtien-Campanien). Le réservoir en lui-même est d'une épaisseur de l'ordre d'une trentaine de mètres (de 2137 et 2165 m de profondeur) à Charlas 1, tandis qu'il est de l'ordre de 80 m (de 2135 et 2216.5 m) à Charlas Ouest 2 si l'on se base sur la hauteur de la zone perforée.

Dans les deux cas, la couche réservoir exploitée a présenté des caractéristiques médiocres pour un gisement d'hydrocarbures - porosité<sup>14</sup> comprise entre 3,1 et 9,3% à Charlas 1 et inférieure à 5% à Charlas Ouest 2 ; perméabilité inférieure à 1 mD à Charlas 1 et débit de gaz initial faible pour les deux forages - ayant nécessité une phase d'acidification avant de présenter un potentiel permettant d'envisager une exploitation :

- Charlas 1 : débit potentiel de 550 000 m<sup>3</sup>/j ;
- Charlas Ouest 2 : débit potentiel de 200 000 m<sup>3</sup>/j à 400 000 m<sup>3</sup>/j.

A Charlas 1, le gaz produit est par ailleurs humide et une venue d'eau salée (32 g/l), non artésienne, a été observée lors d'un test réalisé sur les grès sous-jacents (2 205 - 2 225 m de profondeur). Il n'a pas été trouvé de données dans les RFS permettant de préciser l'existence d'une éventuelle venue d'eau dans le gisement exploité. Les données de pression de fond et de production réunies pour la première année d'exploitation (cf. illustration 8) ne mettent en tout cas pas en évidence l'existence d'une compensation de la pression de fond (existence d'une corrélation linéaire entre volumes prélevés et pression de fond).

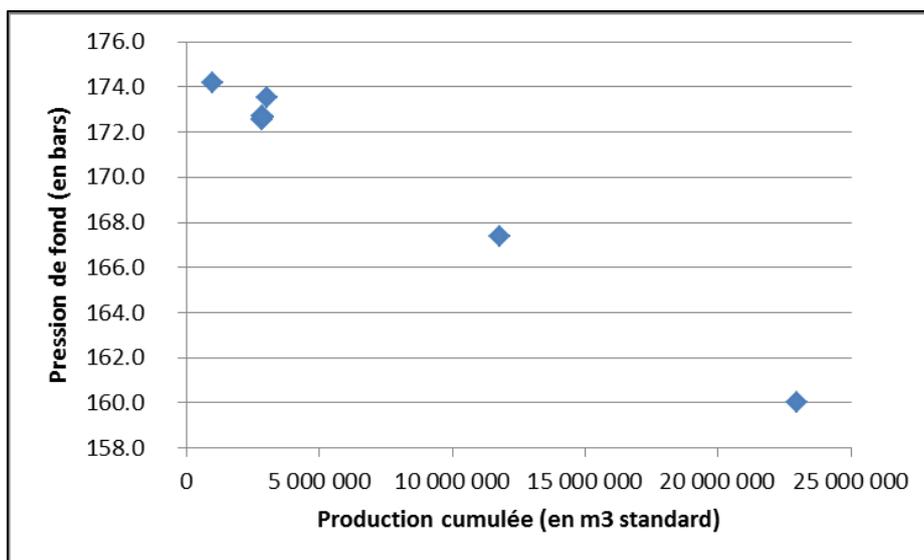


Illustration 8 : Production cumulée et pression de fond dans le gisement de Charlas

En termes d'aquifères potentiellement impactés par l'exploitation, l'épais niveau de flysch recouvrant les gisements exclut *a priori* l'existence d'un impact sur un réservoir sus-jacent (c'est-à-dire le Paléocène, les formations aquifères des sables de Lussagnet et des grès à nummulites n'étant pas rencontrées au droit des structures).

<sup>14</sup> Mesurée sur carottes.

Les réservoirs exploités sont de faible extension latérale ; ceux-ci ne s'étant pas révélés productifs à Charlas 2, Charlas 3 et Charlas Ouest 1. A Charlas 3, deux tests, conduits dans le réservoir Santonien, ont débité de l'eau salée (23 g/l) accompagnée d'un gaz combustible en faible quantité (50-80 m<sup>3</sup>/h). Les forages de Charlas 101 et Charlas 102 quant à eux n'étaient destinés qu'à préciser l'ensellement Lespugue - Saint-Marcet. Demeurés en conséquence très peu profonds, ils n'apportent pas d'enseignement particulier sur le gisement.

Enfin, le forage de Charlas 1 a aussi permis de confirmer que la région de Charlas est bien indépendante de la structure de Saint-Marcet, avec une fermeture « assurée par le système de failles N-S ou NE-SW existant à l'ouest de SM 16<sup>15</sup>. » (d'après le RFS).

### 2.3.2. Éléments de caractérisation hydrogéologique des réservoirs traversés par les forages

Peu de données ont pu être réunies concernant les niveaux perméables traversés par les forages. Aucune ne concerne les calcaires du Paléocène ; toutes portant sur les calcaires exploités à Charlas 1 et Charlas Ouest 2.

Les données de pression réunies sont présentées au tableau 8, celles de minéralisation au tableau 9. Elles amènent peu de remarques, si ce n'est de constater :

- l'étonnante faiblesse de la pression rencontrée à Charlas Ouest, comparativement à celles mesurées à des profondeurs voisines à Charlas avant le démarrage de l'exploitation. Ces faibles valeurs pourraient conduire à s'interroger i) sur l'existence d'une déplétion antérieure à l'exploitation du gisement de Charlas Ouest et donc ii) à l'existence d'une communication des pressions entre les deux gisements. Nous ne disposons cependant pas de données permettant de le confirmer ;
- la forte minéralisation des eaux contenues dans les calcaires récifaux, signe d'un très faible renouvellement de celles-ci.

Forage BEPH	Concession	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof. toit (m/for)	Prof. base (m/for)	Date	Pression de fond (bar)	Remarques
12-1586-	Saint-Gaudens	CHARLAS	CHARLAS 1	Santonien	2142.5	2149.9	19/09/1959	176.5	
12-1586-	Saint-Gaudens	CHARLAS	CHARLAS 1	Santonien	2158.9	2169.1	01/10/1959	172.6	
12-1586-	Saint-Gaudens	CHARLAS	CHARLAS 1	Santonien	2129 et 2142	2130 et 2143	09/03/1960	174.2	deux zones perforées de 1m de hauteur
12-1586-	Saint-Gaudens	CHARLAS	CHARLAS 1	Santonien	2129 et 2142	2130 et 2143	18/03/1960	172.6	deux zones perforées de 1m de hauteur
12-1586-	Saint-Gaudens	CHARLAS	CHARLAS 1	Santonien	2129 et 2142	2130 et 2143	24/03/1960	172.5	deux zones perforées de 1m de hauteur
12-1586-	Saint-Gaudens	CHARLAS	CHARLAS 1	Santonien	2129 et 2142	2130 et 2143	28/03/1960	172.7	deux zones perforées de 1m de hauteur
12-1586-	Saint-Gaudens	CHARLAS	CHARLAS 1	Santonien	2129 et 2142	2130 et 2143	09/05/1960	172.7	deux zones perforées de 1m de hauteur
12-1586-	Saint-Gaudens	CHARLAS	CHARLAS 1	Santonien	2129 et 2142	2130 et 2143	27/05/1960	173.5	deux zones perforées de 1m de hauteur
12-1586-	Saint-Gaudens	CHARLAS	CHARLAS 1	Santonien	2129 et 2142	2130 et 2143	16/08/1960	167.4	deux zones perforées de 1m de hauteur
12-1586-	Saint-Gaudens	CHARLAS	CHARLAS 1	Santonien	2129 et 2142	2130 et 2143	31/10/1960	160.0	deux zones perforées de 1m de hauteur
12-1940-	Saint-Gaudens	CHARLAS	CHARLAS 3	Santonien	2170	2170	26/02/1971	147.1	
12-1982-	Nizan-Gesse	CHARLAS OUEST	CHARLAS OUEST 1	Santonien	2227	2246	01/04/1975	143.9	enregistreur de pression à 2246m
12-2282-	Nizan-Gesse	CHARLAS OUEST	CHARLAS OUEST 2	Santonien	2241.3	2304	27/05/1984	157.2	enregistreur de pression à 2302m

Tableau 8 : Pressions de fond, relevées sur des forages des gisements de Charlas et Charlas Ouest

<sup>15</sup> Forage Saint-Marcet 16.

Forage BEPH	Concession	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof. foration toit (m)	Prof. foration base (m)	Minéralisation (g/l)	Méthode évaluation
12-1586-	Saint-Gaudens	CHARLAS	CHARLAS 1	Santonien	2205.2	2225.7	32	échantillon d'eau
12-1940-	Saint-Gaudens	CHARLAS	CHARLAS 3	Santonien	2158.8	2172	23	échantillon d'eau
12-1940-	Saint-Gaudens	CHARLAS	CHARLAS 3	Santonien	2169.8	2181	23	échantillon d'eau
12-1982-	Nizan-Gesse	CHARLAS OUEST	CHARLAS OUEST 1	Santonien - formation de Charlas	2227	2247	32.2	échantillon d'eau

*Tableau 9 : Minéralisation des eaux souterraines au voisinage des gisements de Charlas et Charlas Ouest*

Il n'a pas été relevé de mesures de perméabilité sur ces gisements.

## 2.4. LE GISEMENT DE GAZ DE MAZÈRES SUPÉRIEUR (SÉNONIEN INFÉRIEUR)

Le gisement de Mazères supérieur se situe à environ 4 km au Sud de Pau, dans la partie orientale du gisement de Meillon (cf. illustration 2), entre Meillon et le gisement satellite de Le Lanot. Il couvre une superficie non déterminée (Serrano et al., 2006), mais néanmoins limitée, compte tenu en particulier du faible volume exploité.

Découvert en 1966 par la SNPA, le gisement a été exploité à partir de 1977. Il a produit pendant 6 ans, jusqu'en mai 1982, un volume total de 33,8 Mm<sup>3</sup> de gaz (Serrano et al., 2006).

### 2.4.1. Position stratigraphique et géométrique des réservoirs exploités

Le gisement de Mazères supérieur a exploité un réservoir gazéifère carbonaté et très fracturé du Crétacé supérieur - les calcaires des canyons - par l'intermédiaire du seul forage de Mazères 1 (MZS 1). Ce gisement est distinct de celui de Mazères profond, qui est en continuité de pression avec le gisement de Meillon et exploite le gaz contenu dans la dolomie de Meillon (Jurassique).

La répartition géographique des forages autour du gisement de Mazères (supérieur et profond) est indiquée sur l'illustration 9, leur liste figurant dans le tableau 10. On notera que les forages Mazères 3D à Mazères 6D sont des forages déviés qui se sont appuyés sur les coupes des forages existants (Mazères 101 par exemple) pour les 1 500 à 1 700 premiers mètres de foration (pas de description des formations rencontrées jusqu'à ces profondeurs pour ces forages) : la cible de ces forages était en effet la dolomie de Meillon, au détriment de tout intérêt pour les niveaux supérieurs. Ils n'apportent donc que peu à très peu d'éléments concernant les calcaires des canyons.

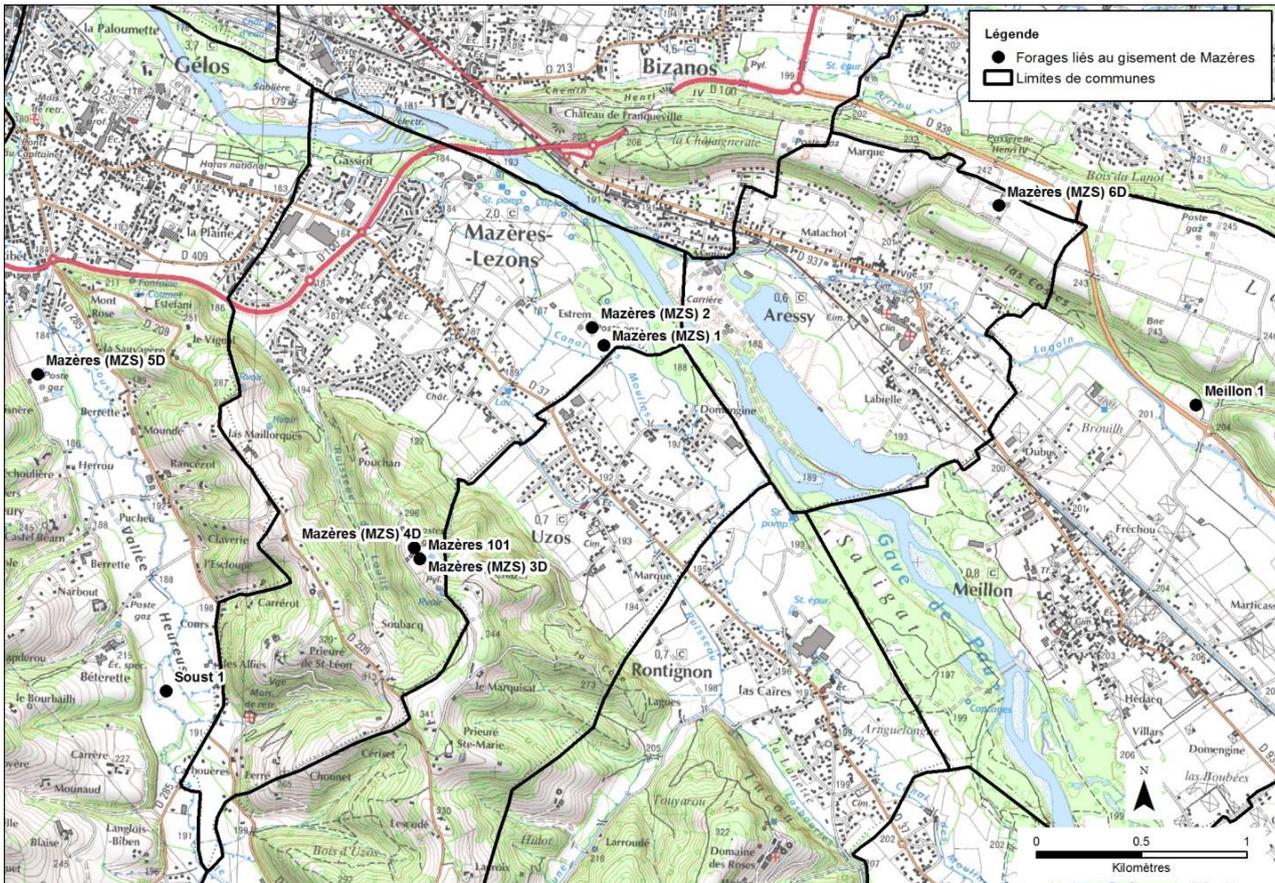


Illustration 9 : Localisation des forages des gisements de Mazères et des environs

Dénomination	Indice BSS	Coordonnées Lambert 2 étendu		Date de début du forage	Date de fin du forage	Profondeur (en m)	Altitude sol (NGF)
		X	Y				
Mazères 1	10305X0004	382134	1811925	29/03/1966	13/07/1966	3425	187.1 m
Mazères 2	10305X0005	382079	1812011	01/08/1966	14/04/1967	5143	187.1 m
Mazères 101	10305X0068	381260	1810906	28/11/1979	24/09/1980	5450	310.8 m
Mazères 3 D	10305X0069	381260	1810905	15/10/1980	23/06/1981	5240	310.8 m
Mazères 4 D	10305X0072	381234	1810959	20/09/1985	05/05/1986	5125	310.8 m
Mazères 5 D	10298X0028	379446	1811786	17/08/1987	24/02/1988	4913	184.1 m
Mazères 6 D	10305X0073	384008	1812593	17/12/1988	11/06/1989	5090	238.0 m

Tableau 10 : Forages des gisements de Mazères

La liste des formations litho-stratigraphiques tertiaires et du Crétacé supérieur rencontrées par les différents forages du tableau 10 (cf. Annexe 4) permet de préciser le positionnement géométrique du réservoir exploité par Mazères 1. Situés stratigraphiquement dans le Séno-Turonien (Coniacien-Turonien), les calcaires exploités sont recouverts par environ 2 000 mètres d'un flysch argileux, daté du Maestrichtien-Campanien. Le réservoir en lui-même est d'une épaisseur de l'ordre d'une quarantaine de mètres (de 3 381 et 3 425 m de profondeur) à Mazères 1.

Latéralement, Mazères 2 - situé à une centaine de mètres au NO de Mazères 1 - a également rencontré un gisement de gaz à haute pression dans les calcaires des canyons. Traversé sur une cinquantaine de mètres (de 3 337 à 3 389,5 m), le réservoir contient des hydrocarbures sur une quarantaine de mètres, puis de l'eau dans sa partie inférieure (de 3 374 à 3 389,5 m). Ce

niveau n'a pas été mis en exploitation, compte tenu d'un intérêt plus important pour la dolomie de Belair sous-jacente.

A Mazères 101, les calcaires des canyons sont rencontrés sur 90 m environ, à des profondeurs bien plus importantes (de 4 258 à 4 350 m). De faibles indices gazeux ont été rencontrés mais ils n'ont pas donné lieu à exploitation, compte tenu notamment de caractéristiques (porosité et perméabilité) médiocres. A Mazères 4D, la traversée des calcaires des canyons n'a donné lieu qu'à de faibles indices gazeux, sur une quarantaine de mètres d'épaisseur traversée en forage (de 3 940 m à 3 985 m).

Enfin, le RFS de Mazères 1 indique que ce niveau avait déjà montré des indices de gaz au niveau des forages de Pau 1 (situé à 7 km à l'Est de Mazères 1) et Meillon 2 (9 km à l'Est de Mazères 1).

En termes de réservoirs, les formations des sables de Lussagnet et des grès à nummulites ne sont pas décrites dans les RFS (l'absence des sables de Lussagnet est notamment relevée dans les RFS de Mazères 1 et de Mazères 2). Les calcaires du Paléocène ne sont généralement pas décrits comme une formation réservoir : seul le RFS de Mazères 1 fait mention d'une capacité réservoir, limitée cependant aux huit premiers mètres de la formation (de 1 292 à 1 300 m de profondeur). La diagraphie électrique faite à cet ouvrage met en avant une salinité extrêmement forte dans cet horizon (60 g/l), ce qui conduit à envisager un faible renouvellement de l'eau dans ce réservoir.

Enfin, les calcaires des canyons en eux-mêmes - horizon producteur de gaz - ont aussi produit de l'eau présentant une salinité de l'ordre de 10 à 12 g/l à Mazères 1 et contenaient de l'eau dans leur partie inférieure à Mazères 2.

#### 2.4.2. Éléments de caractérisation hydrogéologique des réservoirs traversés par les forages

Seules les données relatives au Crétacé supérieur et au Tertiaire ont été réunies. Il n'en a été retrouvé que pour le forage de Mazères 1 (pour mémoire : seul forage exploitant le gisement de Mazères supérieur). Elles sont présentées au tableau 11 (pressions de fond), au tableau 12 (perméabilités) et au tableau 13 (minéralisation des eaux).

Forage BEPH	Concession	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof. toit (m/for)	Prof. base (m/for)	Date	Pression de fond (bar)	Remarques
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Sénonien inférieur - Calcaire des canyons	3381	3398.9	01/07/1966	618.0	Profondeur de référence à 3398m/forage
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Sénonien inférieur - Calcaire des canyons	3382	3425.4	15/07/1966	612.6	Profondeur de référence à 3398m/forage?
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Sénonien inférieur - Calcaire des canyons	3382	3425.4	01/09/1966?	591.3	Profondeur de référence à 3339m/forage

Tableau 11 : Pressions de fond, relevées au forage de Mazères 1

Forage BEPH	Concession	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof. foration toit (m)	Prof. foration base (m)	Perméabilité (mdy)
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Sénonien inférieur - Calcaire des canyons	3389.9	3398.9	0.01 - 2.9
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Sénonien inférieur - Calcaire des canyons	3398.9	3402.2	0.05 - 0.09
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Sénonien inférieur - Calcaire des canyons	3402.2	3404	0.01 - 1.5
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Sénonien inférieur - Calcaire des canyons	3404	3409.5	0.01 - 2.0
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Sénonien inférieur - Calcaire des canyons	3409.5	3412.8	0.01 - 0.05
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Sénonien inférieur - Calcaire des canyons	3412.8	3414.7	0.01 - 0.25
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Sénonien inférieur - Calcaire des canyons	3414.7	3418.6	0.01 - 1.9
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Sénonien inférieur - Calcaire des canyons	3418.6	3421	0.01 - 700
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Sénonien inférieur - Calcaire des canyons	3421	3422.9	0.01 - 104
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Sénonien inférieur - Calcaire des canyons	3422.9	3425.4	0.02 - 3.5

Tableau 12 : Données de perméabilité relevées au forage de Mazères 1

Forage BEPH	Concession	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof. foration toit (m)	Prof. foration base (m)	Minéralisation (g/l)	Méthode évaluation
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Eocène 3 - "calcaire repère"	1228	1275	15	diagraphie PS
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Paléocène	1292	1300	60	diagraphie PS
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Crétacé supérieur - flysch	2618	2618	18	échantillon d'eau
12-1850-	Saint-Palais	MAZERES	MZS 1	Sénonien inférieur - Calcaire des canyons	3382	3425.4	10 à 12	échantillon d'eau

Tableau 13 : Minéralisation des eaux souterraines au forage de Mazères 1

Ces données mettent en évidence :

- la très forte pression exercée initialement au sein du gisement. Par comparaison, lors de la foration de Mazères 2, début 1967, une pression de fond de 486 bars était rencontrée à une profondeur de 4 348 m par rapport au niveau de la mer dans la dolomie de Meillon. La surpression existant au sein des calcaires des canyons est donc considérable ;
- en dehors d'une zone de 4 m d'épaisseur (située de 3 418.6 à 3 422,9 m de profondeur), la perméabilité mesurée sur carotte demeure inférieure à 3,5 mD ;
- la minéralisation est élevée dans les calcaires des canyons (de 10 à 12 g/l) mais bien moindre que celle déduite de la diagraphie électrique dans le Paléocène, en faisant potentiellement le principal réservoir d'eau souterraine traversée par le forage. L'absence de données de pression ultérieurement au démarrage de l'exploitation du gaz et de données relatives à l'entrée d'eau dans le gisement ne permettent pas d'étayer cette hypothèse.

De façon complémentaire, on note cependant que le RFS de Mazères 2 indique que la partie inférieure des calcaires des canyons est remplie d'eau et comporte une zone de perte dans sa partie inférieure (de 3 387 à 3 389 m de profondeur).

Enfin, des pressions de fond mesurées dans les calcaires des canyons à Meillon 2 montraient une surpression très élevée (567 bars à environ 3 500 m de profondeur), confirmant ainsi les observations effectuées à Mazères 1 et 2.

## 2.5. LE GISEMENT D'HUILE DE LAGRAVE (SÉNONIEN INFÉRIEUR)

Le gisement de Lagrave se situe dans le Bassin de Tarbes, à environ 21 km au Nord-Ouest de Tarbes et 23 km au Nord-Est de Pau (cf. illustration 2). Le piège est constitué par un petit anticlinal d'orientation Nord-Sud et couvrant une extension de l'ordre de 2,5 km<sup>2</sup> (Serrano et al., 2006).

Découvert en 1984 par la SNEA(P), il fut mis l'année même en production et est toujours exploité. La production annuelle d'huile est présentée en Illustration 10. Cette figure a été élaborée sur la base des données réunies par :

- Serrano et al. (2006) pour la période 1984-2004 ;
- Bulletins mensuels du BEPH pour la période 2005-2015. On notera la reprise du gisement par Geopetrol en 2013, induisant une baisse de l'exploitation en 2014 avant une reprise de celle-ci en 2015.

Au milieu des années 2000, le gisement de Lagrave a généré la production d'huile la plus importante du Sud du Bassin aquitain : il produisait ainsi environ 37 % de l'huile du Sud du Bassin aquitain en 2004. A fin 2015, la production cumulée depuis le début de l'exploitation était de 3,2 millions de tonnes d'huile.

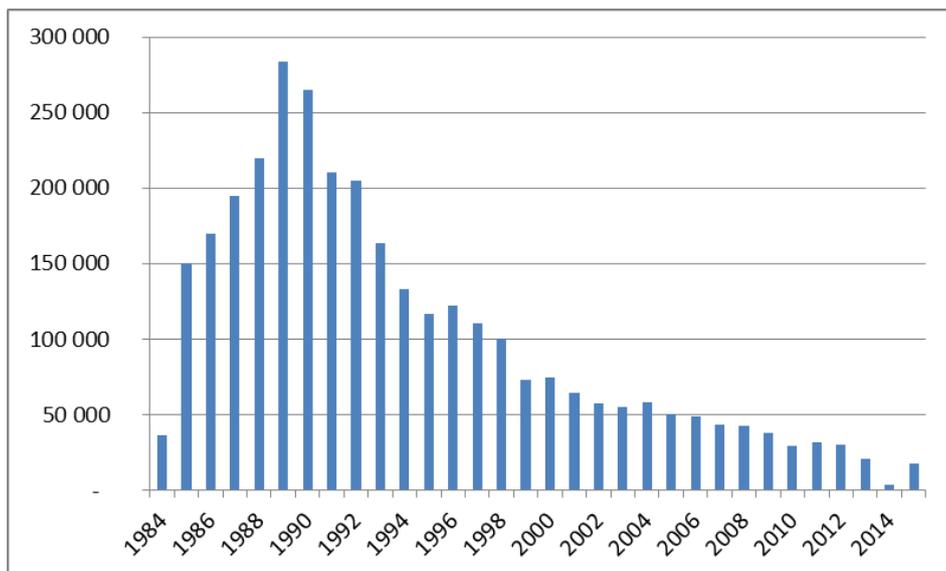


Illustration 10 : Production annuelle du gisement de Lagrave (en tonnes d'huile extraites)

En 1984, l'huile produite à partir du seul forage Lagrave 1 était anhydre. La part d'eau a augmenté progressivement : elle était de 15,5% en 1989, avant d'atteindre 95,7% en 2002. Cette proportion était de 96,5% en 2004 (Serrano et al., 2006).

L'huile produite dans le gisement est légère (0,802 g/cm<sup>3</sup> - Serrano et al., 2006), plus légère en particulier que l'eau.

### 2.5.1. Position stratigraphique et géométrique des réservoirs exploités

Le gisement de Lagrave a produit des hydrocarbures à partir des calcaires fracturés de la « Formation de Jouansalles » (Sénonien inférieur). Le réservoir est « composé de calcaires de plateforme du Sénonien affectés par des couloirs dolomités. » (Biteau et Canérot, 2007, in revue Géologues). Une vue en coupe du gisement est présentée en illustration 11.

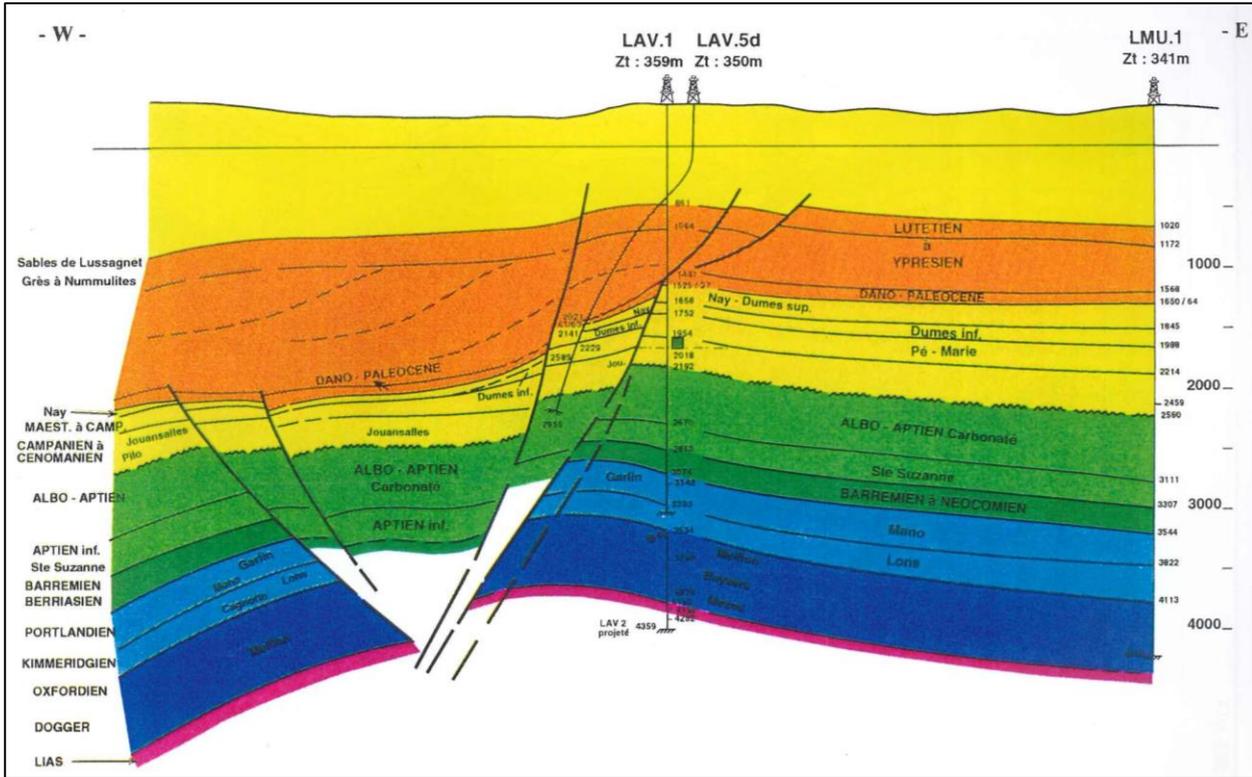


Illustration 11 : Vue en coupe du gisement d'huile de Lagrave (Elf Aquitaine Production, 1994)

Le gisement de Lagrave comprend huit forages (cf. tableau 14). Six d'entre eux ont été producteurs d'hydrocarbures (LAV 4D et LAV 5D ne l'étant pas) et cinq d'entre eux sont des forages déviés (Lagrave 4 à Lagrave 8). Leur localisation est présentée en illustration 12.

Dénomination	Indice BSS	Coordonnées Lambert 2 étendu		Date de début du forage	Date de fin du forage	Profondeur (en m)	Altitude sol (NGF)
		X	Y				
Lagrave 1	10303X0204	402323	1822050	20/07/1984	14/10/1984	3401	349.77 m
Lagrave 2	10303X0006	402264	1822553	30/10/1984	13/03/1985	4359	342 m
Lagrave 3	10303X0007	401575	1819744	14/05/1985	13/06/1985	2340	268.9 m
Lagrave 4 D	10057X0006	402234	1823765	23/07/1985	14/08/1985	2200	340.5 m
Lagrave 5 /RD	10303X0205	402586	1821950	21/08/1985	19/09/1985	2498 repris jusqu'à 2855	353.3 m
Lagrave 6 D	10303X0206	402390	1822063	27/11/1991	22/12/1991	2150	349.68 m
Lagrave 7 D	10303X0214	402341	1822089	22/08/1998	25/09/1998	2240	356.77 m
Lagrave 8 D	?	402390	1822102	02/07/2007	18/08/2007	2250	350 m

Tableau 14 : Forages du gisement de Lagrave

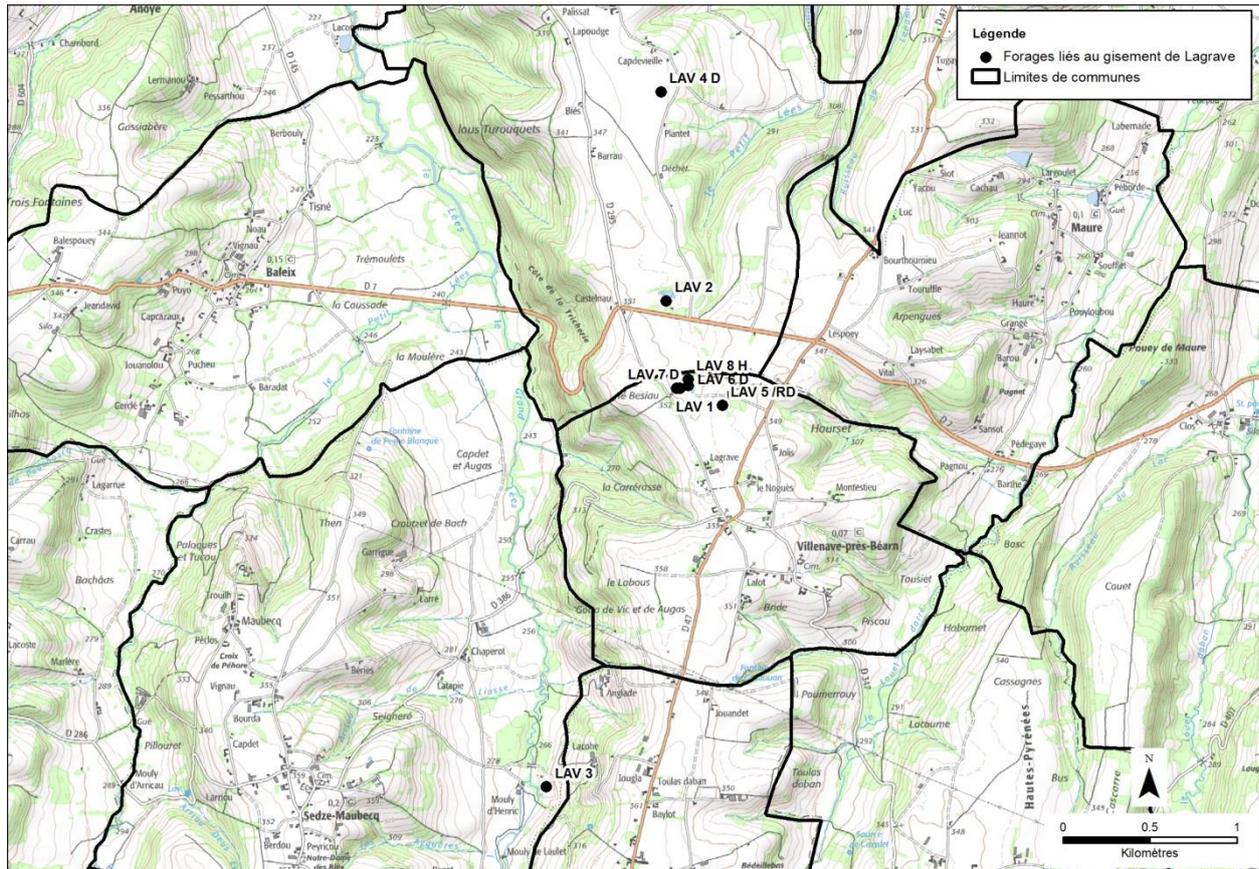


Illustration 12 : Localisation des forages du gisement de Lagrave

La liste des formations litho-stratigraphiques tertiaires et du Crétacé supérieur rencontrées par les différents forages du tableau 14 (cf. Annexe 5) permet de préciser le positionnement géométrique du réservoir exploité par les forages de Lagrave. Situés stratigraphiquement dans le Campanien-Santonien, les calcaires exploités sont recouverts par 175 mètres de marnes de la formation de Pé-Marie. Le réservoir en lui-même est d'une épaisseur de l'ordre de 150 mètres à Lagrave 1 et Lagrave 2 (respectivement de 1 954 à 2 105 m de profondeur et de 1 961 à 2 115 m) et de 230 m environ à Lagrave 3 (de 1 933 à 2 164 m de profondeur). Seule la partie supérieure du réservoir est imprégnée d'une huile légère (66 premiers mètres à Lagrave 1, 4,1 m à Lagrave 3), la partie inférieure étant aquifère. Le réservoir repose sur la formation du Pilo (Cénomaniens), qui est constituée d'un calcaire argileux et épais de 60 à 80 m au droit des forages non déviés (Lagrave 1 à Lagrave 3). On notera que cette formation est décrite comme aquifère au forage Lagrave 3.

Latéralement, le gisement est limité à l'Ouest par la faille du Séron. Ainsi, le forage Lagrave 5D a atteint la formation de Jouansalles dans un compartiment effondré intermédiaire entre la Formation de Jouansalles située à l'Ouest de l'accident de Séron et celle de Lagrave 1 (cf. illustration 11). Placé dans une position structurale basse, le réservoir s'est révélé aquifère et il a été envisagé d'utiliser ce forage pour réinjecter l'eau extraite du gisement. Un approfondissement du forage a été effectué à cette fin (Lagrave 5DR).

Les premiers réservoirs traversés - les sables de Lussagnet et les grès à nummulites - sont rencontrés à des profondeurs comprises entre 840 et 1 080 m environ dans les forages du gisement. Ils sont placés en continuité et sont séparés de la formation de Jouansalles par environ 900 m d'argiles calcaires, de marnes et de calcaires argileux dans l'ensemble très peu perméables (argiles de l'Yprésien, formations de Dumes et de Pé-Marie). Au forage de

Lagrave 3, les diagraphies effectuées ont confirmé la présence d'une eau peu salée dans ces réservoirs.

Les calcaires de Lasseube, décrits dans certains RFS (Lagrave 3, Lagrave 4D et Lagrave 6D), sont très peu épais (10 m maximum) et décrits comme un calcaire mudstone / wackestone compact.

Dans le Crétacé supérieur, la formation de Jouansalles exploitée au niveau du gisement est donc aquifère et constitue ainsi le réservoir le plus à même d'être influencé par l'exploitation du gisement.

### 2.5.2. Éléments de caractérisation hydrogéologique des réservoirs traversés par les forages

Peu de données ont pu être réunies concernant les caractéristiques des réservoirs traversés par les forages du gisement. Celles relatives à la pression de fond sont regroupées dans le tableau 15, tandis que les données de minéralisation sont présentées au tableau 16.

Forage BEPH	Concession	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof. toit (m/for)	Prof. base (m/for)	Date	Pression de fond (bar)	Prof. de référence pour pression (m/NM)	Remarques
	Lagrave	LAGRAVE	LAV 1-2-3	Sénonien inférieur - Formation de Jouansalles				184.7	1784.5	Pression initiale. Information issue du RFS 12-2339-
	Lagrave	LAGRAVE	LAV 1-2-3	Sénonien inférieur - Formation de Jouansalles			15/09/1985	184.3	1784.5	Après exploitation de 140kT. Information issue du RFS 12-2339-
12-2305-	Lagrave	LAGRAVE	LAV 2	Sénonien inférieur - Formation de Jouansalles	1986	1986	01/01/1985?	169.4		enregistreur de pression à 1989m
12-2305-	Lagrave	LAGRAVE	LAV 2	Sénonien inférieur - Formation de Jouansalles	2004	2004	01/01/1985?	170.8		enregistreur de pression à 2004m
12-2305-	Lagrave	LAGRAVE	LAV 2	Sénonien inférieur - Formation de Jouansalles	2105	2105	01/01/1985?	180.6		enregistreur de pression à 2105m
12-2305-	Lagrave	LAGRAVE	LAV 2	Sénonien inférieur - Formation de Jouansalles			01/02/1992?	165.9	1629	Durant exploitation. Information issue du RFS 12-2410-
12-2323-	Lagrave	LAGRAVE	LAV 3	Sénonien inférieur - Formation de Jouansalles	1941.6	1951.5	15/06/1985?	171.8		enregistreur de pression à 1950.5m
12-2335-	Lagrave	LAGRAVE	LAV 4D	Sénonien inférieur - Formation de Jouansalles	2089	2103	01/08/1985	175.1		enregistreur de pression à 2102m
12-2339-	Lagrave	LAGRAVE	LAV 5D	Sénonien inférieur - Formation de Jouansalles			19/09/1985	181.9	1784.5	
12-2339-	Lagrave	LAGRAVE	LAV 5D	Sénonien inférieur - Formation de Jouansalles			19/09/1985	182.2	1787	
12-2457-	Lagrave	LAGRAVE	LAV 8D	Sénonien inférieur - Formation de Jouansalles			15/07/2007	199.5	1585	

Tableau 15 : Pressions de fond relevées sur les forages du gisement de Lagrave

Forage BEPH	Concession	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof. foration toit (m)	Prof. foration base (m)	Minéralisation (g/l)	Méthode évaluation
12-2305-	Lagrave	LAGRAVE	LAV 2	Sénonien inférieur - Formation de Jouansalles	1961	2115	< 2	échantillon d'eau
12-2323-	Lagrave	LAGRAVE	LAV 3	Sables de Lussagnet et grès à nummulites	933	1110	1 à 3	diagraphie PS
12-2323-	Lagrave	LAGRAVE	LAV 3	Sénonien inférieur - Formation de Jouansalles	1943	2106	1.75	échantillon d'eau
12-2323-	Lagrave	LAGRAVE	LAV 3	Formation du Pilo (Cénomanién)	2106	2340	2 à 4	diagraphie PS

Tableau 16 : Minéralisation des eaux souterraines aux forages du gisement de Lagrave

Une salinité de 0,5 g/l a également été relevée au forage Lagrave 4 sur des eaux remontées lors d'un test effectué sur la formation de Jouansalles, mais le faible volume concerné (1 m<sup>3</sup> en 2 heures) et la faible perméabilité de la formation (« très mauvaise perméabilité », d'après le RFS) tendent à s'interroger sur l'origine de l'eau prélevée (eau de foration ?).

Les données de **pression de fond** mettent en évidence l'absence de décroissance de la pression dans le gisement exploité, ce qui est cohérent avec la nature liquide des hydrocarbures exploitées. La mesure relevée à Lagrave 8D en 2007 (199,5 bars à 1 585 m/NM) tend à envisager au contraire une augmentation de la pression dans le gisement. Cette augmentation ne pourrait avoir été obtenue que par injection d'un fluide (probablement de l'eau) dans des quantités supérieures à celles qu'il contenait initialement.

Dans cet ordre d'idée, on note que le forage Lagrave 5 dévié a été approfondi (LAV 5 DR) dans le but de tester l'injection d'eau dans le réservoir albo-cénomaniens. Le test d'injectivité réalisé a donné d'excellents résultats : un débit de 1 000 m<sup>3</sup>/j a été obtenu avec un écart de pression inférieur à 1,5 bars, par rapport à la pression exercée dans le gisement d'hydrocarbures.

L'évolution de la teneur en eau des huiles (96,5% en 2004) montre aussi un remplacement progressif des huiles par de l'eau dans la partie supérieure de la formation de Jouansalles. Celui-ci n'est pas terminé dans la mesure où l'exploitation du gisement se poursuivait en 2015.

Concernant la **minéralisation de l'eau**, on observe que celle-ci est très faible (quelques grammes par litre) dans la formation de Jouansalles et dans celle du Pilo sous-jacente. Ces faibles minéralisations, qui contrastent fortement avec celles rencontrées dans les gisements de gaz présentés dans ce chapitre, laissent supposer de potentielles connexions entre ces formations de la base du Crétacé supérieur, permettant des mélanges avec des eaux de recharge moins salées (Feng et al., 2016). Dans ce sens, il est intéressant de noter que Biteau et Canerot (2007) indiquent que « la série carbonatée, épaisse de 700 mètres, possède un aquifère qui permet d'assurer un bon maintien de pression. Ces conditions font du gisement de Lagrave un des plus efficaces en termes de production dans le bassin d'Aquitaine ».

## 2.6. LE GISEMENT D'HUILE DE LACQ SUPÉRIEUR (SÉNONIEN INFÉRIEUR)

Le gisement de Lacq supérieur se situe dans le Bassin d'Arzacq, à une quinzaine de kilomètres au Sud-Est d'Orthez et à 25 km environ au Nord-Ouest de Pau (cf. illustration 2). Le piège est constitué par une structure anticlinale d'orientation Nord-Ouest Sud-Est, situé à 580 m de profondeur environ et couvrant une extension de l'ordre de 6 km<sup>2</sup> (3 km de long pour 2 km de large, Serrano et al., 2006).

La production cumulée à fin 2013, année de fin d'exploitation du gisement, est de plus de 4,1 millions de tonnes d'huile. Cette exploitation s'est échelonnée sur plus de 60 ans, celle-ci ayant démarré en 1950 (cf. Annexe 7), soit une année après la découverte du gisement. Le pic de production a été atteint entre 1951 et 1955, avec plus de 200 000 tonnes extraites annuellement, le seuil des 300 000 tonnes étant même dépassé en 1953 et 1954. La production annuelle de la période 1993-2013 est présentée en illustration 13. La production cumulée sur ces 21 années représente moins de 5% de la production totale du gisement.

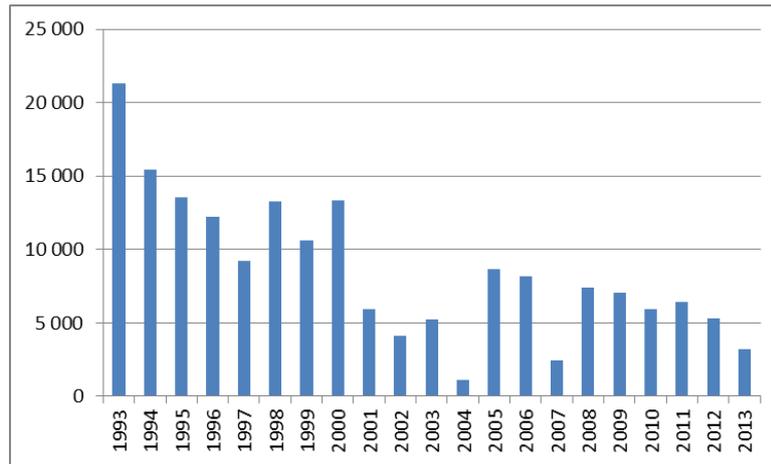


Illustration 13 : Production annuelle du gisement de Lacq supérieur (en tonnes d'huile extraites)

Le sommet du réservoir à huile se situe à - 493 m/NM et la hauteur imprégnée d'huile était initialement de 130 m environ, l'interface huile/eau se situant vers - 620 m/NM au début de l'exploitation. En 1985, la position du plan d'eau était observée à une altitude de - 561 m/NM au forage LA 408, ce qui traduit une remontée de près de 60 m de l'interface eau-huile. En 1991, la proportion d'eau atteignait 97% des fluides extraits du gisement (Serrano et al., 2006).

L'huile produite dans le gisement est lourde (0,92 g/cm<sup>3</sup>), asphaltique et à teneur en soufre élevée (3,9% - Serrano et al., 2006).

Enfin, il existe une forte anomalie thermique dans ce gisement puisque la température atteint 60 °C à 525 m/NM de profondeur (Serrano et al., 2006).

### 2.6.1. Position stratigraphique et géométrique des réservoirs exploités

Compte tenu du nombre élevé de forages concernant le gisement de Lacq supérieur (104), une description des formations litho-stratigraphiques traversées par chacun d'entre eux n'a pas été effectuée. On pourra se reporter à l'Annexe 6 qui décrit de façon succincte le gisement (Serrano et al., 2006).

Le niveau stratigraphique exploité est celui des calcaires de Jouansalles, réservoir localement dolomitique, contenant des silex, et daté du Sénonien inférieur. La couverture est assurée par les marnes et calcaires marneux du Sénonien supérieur aussi appelés faciès « aturien » au Nord-Est et par les marnes du Paléocène au Sud-Ouest, les marnes du Sénonien supérieur étant érodées dans ce secteur. L'épaisseur du réservoir est de l'ordre de 150 m.

### 2.6.2. Éléments de caractérisation hydrogéologique des réservoirs traversés par les forages

Très peu de données de pression de fond ont pu être réunies à partir des RFS. Elles sont présentées au tableau 17 et concernent toutes les calcaires de Jouansalles, à l'exception d'une mesure faite dans l'Albo-Aptien. Elles ne permettent pas de caractériser l'évolution de la pression dans le gisement exploité, la déviation des forages LA7 et LA81 étant par exemple inconnue, ce qui ne permet pas de préciser la cote altimétrique des mesures de pression de fond effectuées. Cependant, en complément de ces valeurs, Serrano et al. (2006) font mention d'une pression initiale dans le gisement de 63,75 bars à une cote altimétrique de - 525 m/NM. Cette valeur est proche de celle indiquée comme pression de gisement en 1985 dans le RFS

de LA90 (67,4 bars à une cote de - 558.6 m/NM) : cela laisse envisager une relative stabilité de la pression dans le gisement, malgré l'exploitation conduite à partir de 1950.

Forage BEPH	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof. toit (m/foration)	Prof. base (m/foration)	Date	Pression de fond (bar)	Prof ref pour pression (m/for)	Prof ref pour pression (m/NM)
12-1127-	LACQ sup	LA 7	Sénonien inférieur	627	675	08/07/1950	63.2	652.0	
12-1823-	LACQ sup	LA 81	Sénonien inférieur	629	656	26/05/1965	55.9	614.8	
12-2104-	LACQ sup	LA 90	Sénonien inférieur	812	1068	30/06/1980	47.9		423.0
12-2104-	LACQ sup	LA 90	Sénonien inférieur	812	1068	30/06/1980	59.2 à 61.1		558.6
12-2104-	LACQ sup	Gisement	Sénonien inférieur			30/06/1980	67.4		558.6
12-2334-	LACQ sup	LA 202	Albo-Aptien	979	1571	12/08/1985	124.8	1250.0	

Tableau 17 : Pressions de fond relevées sur les forages du gisement de Lacq supérieur

Les mesures de perméabilité relevées dans les calcaires de Jouansalles s'échelonnent de 0,01 mD à 7 D (cf. Annexe 7). Si la nature de cette perméabilité n'est pas précisée, il est vraisemblable que la perméabilité matricielle demeure de l'ordre de quelques mD, tandis que seule la perméabilité fissurale peut dépasser cette gamme de valeurs. Les valeurs disponibles dans les calcaires marneux du Campanien sont généralement faibles, atteignant toutefois un maximum de 2,7 mD à Lacq 22. En termes de porosité, Serrano et al. (2006) relèvent une valeur matricielle de 20% pour les calcaires et de 11% pour les dolomies et calcaires dolomitiques présents dans la formation de Jouansalles. La fissuration augmente la porosité de la roche, en particulier dans les niveaux dolomitiques.

Les données de minéralisation de l'eau relevées dans les RFS figurent au tableau 18. Les mesures effectuées sur des échantillons d'eau montrent l'existence d'une faible minéralisation des eaux contenues dans les calcaires de Jouansalles. Ces faibles minéralisations sont le signe d'un relativement bon renouvellement des eaux souterraines contenues dans ces formations. On peut noter la présence de soufre dans les eaux extraites du gisement.

Forage BEPH	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof début (m/foration)	Prof fin (m/foration)	Minéralisation NaCl (g/l)	Méthode évaluation
12-1128-	LACQ sup	LA 8	Sénonien inférieur	774.00	826.50	4.5	Echantillon d'eau sulfureuse
12-1128-	LACQ sup	LA 8	Sénonien inférieur	798.3	826.5	2.5	Eau boueuse, valeur ramenée à 4,5 g/l d'eau en s'affranchissant de la dilution liée à la boue
12-1130-	LACQ sup	LA 10	Sénonien inférieur	763.65	768.5	4.1	Echantillon d'eau sulfureuse
12-1130-	LACQ sup	LA 10	Sénonien inférieur	769.7	790.3	4.2	Echantillon d'eau sulfureuse
12-1130-	LACQ sup	LA 10	Sénonien inférieur	792.25	814.3	2.9	Echantillon d'eau sulfureuse
12-1131-	LACQ sup	LA 11	Sénonien inférieur	770.8	799.16	4.2	Echantillon d'eau sulfureuse
12-1132-	LACQ sup	LA 13	Sénonien inférieur	720	742	3.6	Echantillon d'eau sulfureuse
12-1175-	LACQ sup	LA 20	Sénonien inférieur	682.0	775.0	1.88 à 3.08	Echantillons d'eau sulfureuse non différenciés
12-1176-	LACQ sup	LA 21	Sénonien inférieur	760.5	762.5	4.2	Echantillon d'eau sulfureuse
12-1181-	LACQ sup	LA 27	Sénonien inférieur	810.0	826.0	2.7	Echantillon d'eau sulfureuse
12-1172-	LACQ sup	LA 17	Cénomaniens	820	842	4.5	Echantillon d'eau sulfureuse
12-1191-	LACQ sup	LA 36	Albo-Aptien	1178.0	1190.0	15.7	Echantillon d'eau légèrement sulfureuse

Tableau 18 : Minéralisation des eaux souterraines aux forages du gisement de Lacq supérieur

### 2.6.3. Synthèse

Une centaine de forages a ciblé la formation des calcaires de Jouansalles au niveau du gisement de Lacq supérieur. Au vu des maigres données disponibles, l'exploitation d'huile, qui s'est déroulée de 1950 à 2013 n'a semble-t-il pas induit de baisse de pression dans le gisement sur la période 1950 à 1985. L'absence de données ultérieures ne permet pas de connaître l'évolution de la pression dans le gisement.

Le rôle joué par l'aquifère dans l'exploitation du gisement est cité par Serrano et al. (2006). La relativement faible minéralisation de l'eau conforte ce constat. La remontée de la position du plan d'eau serait ainsi d'une soixante de mètres entre 1950 et 1985.

## 2.7. LE GISEMENT D'HUILE DE MONTASTRUC (SÉNONIEN INFÉRIEUR)

Le gisement de Montastruc se situe dans le Bassin du Comminges, environ à 25 km à l'Est/Sud-Est de Tarbes et 10 km au Nord de Lannemezan, à l'Ouest du gisement de Saint-Marcet (cf. illustration 2). Il a été découvert en 1973 par ERAP<sup>16</sup> et a exploité la « Formation grés-carbonatée de Gensac », datée du Santonien. Il couvre une superficie de l'ordre de 1,5 km<sup>2</sup>.

La production cumulée à fin 2015 est de près de 800 000 tonnes d'huile, le gisement fournissant en huile environ 5 % de la production du Sud de l'Aquitaine en 2004 (Serrano et al., 2006). La production annuelle s'est concentrée sur deux périodes (cf. Illustration 14), dont la principale (86% de la production) s'est déroulée de 1973 à 1986. Après une interruption de plus de dix ans, la production a repris en 1998 (sous l'égide de GEOPETROL) et se poursuivait toujours en fin d'année 2015 (bulletins mensuels du BEPH).

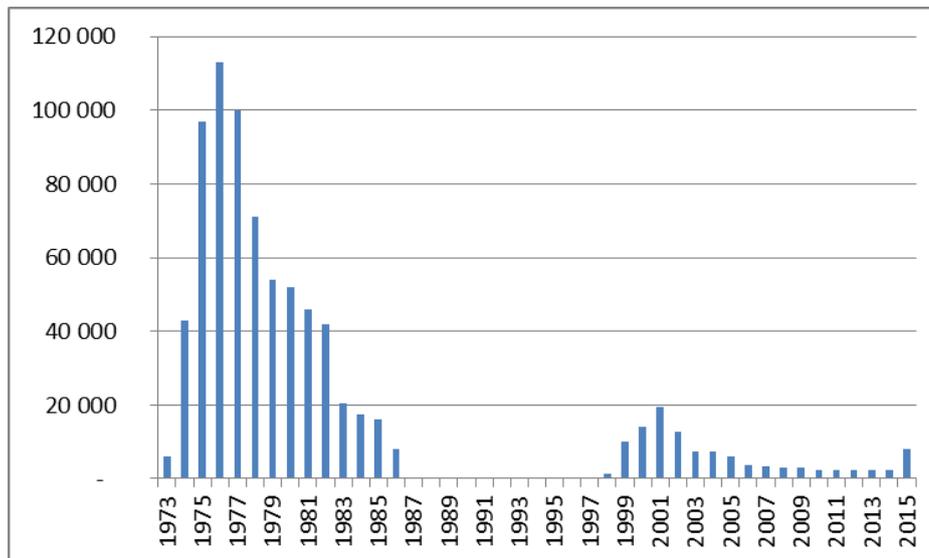


Illustration 14 : Production annuelle du gisement de Montastruc (en tonnes d'huile extraites)

L'huile produite en octobre 1973 à MTC 1 était anhydre. Serrano et al. (2006) indiquent que le taux d'hydratation a « fortement augmenté pour atteindre 89,5% en 1986 ». On note enfin que la masse volumique de l'huile produite est de 0,883 g/cm<sup>3</sup> (Serrano et al., 2006), ce qui la rend plus légère que l'eau.

### 2.7.1. Position stratigraphique et géométrique des réservoirs exploités

Une fiche descriptive du gisement (Serrano et al., 2006) est présentée en Annexe 8. Une description en est faite dans le cadre du même document : « Epais d'une centaine de mètres, le réservoir sénonien est formé par deux niveaux poreux séparés par 60 m environ de calcaire compact : des grès littoraux radioactifs à la base, des calcaires silteux au sommet. Ils sont

<sup>16</sup> Entreprise de Recherche et d'Activités Pétrolières

surmontés par un niveau de calcaire argileux érodé de plus en plus profondément du Nord au Sud : à Montastruc 4, au sommet de l'anticlinal, l'érosion atteint même le sommet du réservoir calcaire qui est directement recouvert par le flysch argileux du Crétacé supérieur. »

Le gisement comprend huit forages (cf. tableau 19 et illustration 15), dont sept ont produit de l'huile à partir de la formation de Gensac :

- quatre ont exploité les réservoirs carbonatés de la partie supérieure de la formation (Montastruc 1 - MTC 1 -, MTC 2, MTC 3 et MTC 8) ;
- trois ont exploité les grès radioactifs de la partie inférieure de la formation (MTC 4, MTC 5, MTC 6).

On notera que les forages de Bonrepos (cf. illustration 15) produisent de l'huile à partir du réservoir albo-aptien sous-jacent. Le forage de Montastruc 7, qui ciblait initialement la formation de Gensac, a révisé son objectif pour capter lui aussi ce réservoir albo-aptien.

Dénomination	Indice BSS	Coordonnées Lambert 2 étendu		Date de début du forage	Date de fin du forage	Profondeur (en m)	Altitude sol (NGF)
		X	Y				
Montastruc 1	10325X0008	439905	1803368	05/06/1973	14/08/1973	2990	492.2 m
Montastruc 2	10325X0010	440106	1803914	24/06/1974	04/08/1974	2343.5	485 m
Montastruc 3	10325X0011	439439	1803419	10/10/1974	11/01/1975	3023.3	487 m
Montastruc 4	10325X0012	439869	1802957	10/04/1975	17/05/1975	2170	491.15 m
Montastruc 5	10325X0013	440065	1803087	09/06/1976	21/07/1976	2192	486.81 m
Montastruc 6	10325X0018	439702	1803101	13/03/1981	15/04/1981	2210	497.51 m
Montastruc 7	10325X0020	439733	1802607	30/11/1981	19/03/1982	2815.5	495.1 m
Montastruc 8	10325X0021	439891	1802948	20/02/1982	30/04/1982	2252	491 m

Tableau 19 : Forages du gisement de Montastruc

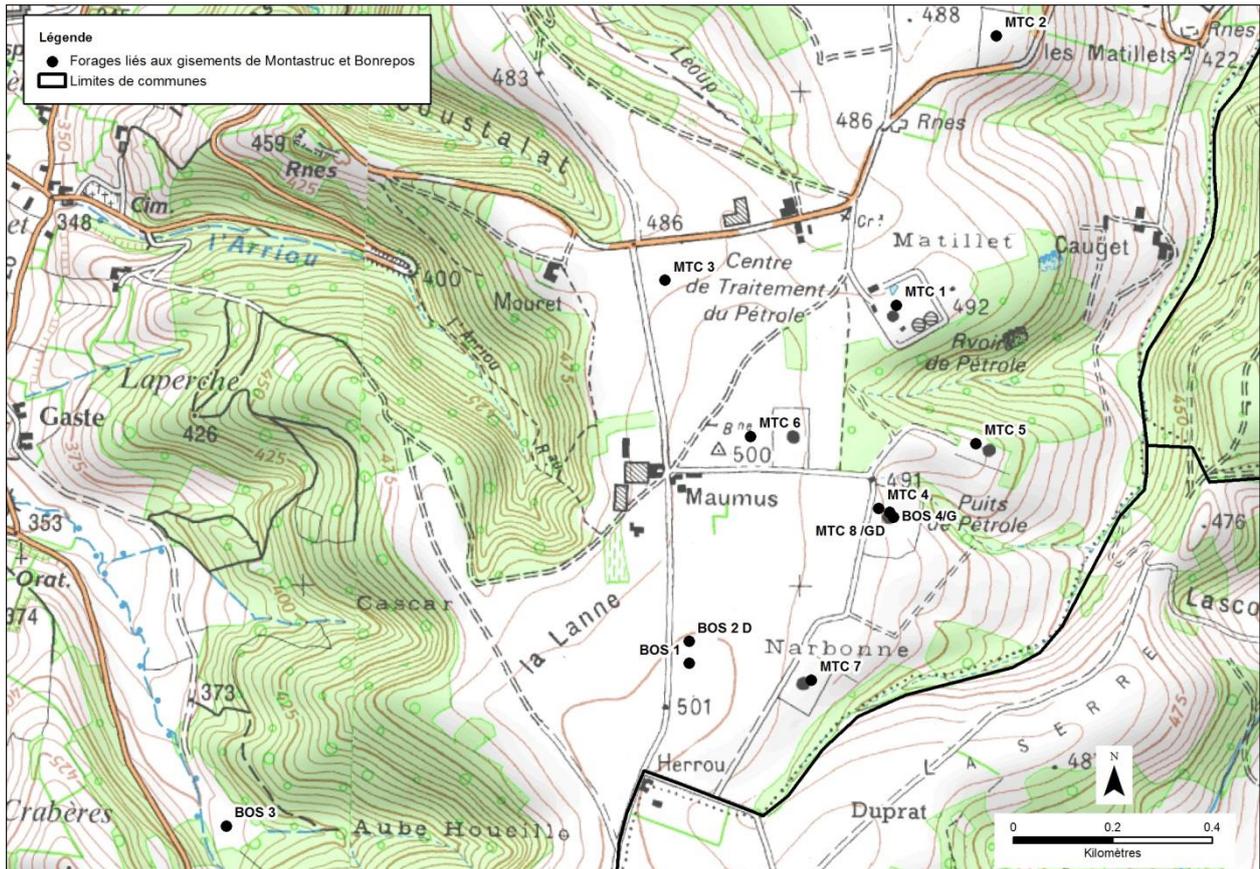


Illustration 15 : Localisation des forages des gisements de Montastruc (MTC) et de Bonrepos (BOS)

La liste des formations litho-stratigraphiques tertiaires et du Crétacé supérieur, rencontrées par les différents forages du tableau 19, figure en Annexe 9. Cette annexe met en particulier en évidence l'existence d'un recouvrement de 625 à 750 mètres de flysch au-dessus du gisement. Ce recouvrement épais et peu perméable sépare les formations exploitées des aquifères tertiaires sus-jacents.

Une coupe du gisement est présentée en Annexe 8.

### 2.7.2. Éléments de caractérisation hydrogéologique des réservoirs traversés par les forages

Les données de pression de fond réunies dans les RFS sont présentées au tableau 20. Elles concernent pour la plupart les réservoirs carbonatés et les grès radioactifs de la formation de Gensac. La pression de gisement relevée en 1974 dans les réservoirs carbonatés au démarrage de l'exploitation du gisement est de l'ordre de 150 bars à une profondeur de 1 600 m environ par rapport au niveau de la mer (NM). La pression de gisement dans les grès radioactifs semble être du même ordre de grandeur à la même date : 164 bars à une profondeur (NM) de 1 700 m environ. On note qu'à peine un an plus tard, la pression n'est, par contre, plus que de 112 bars environ dans le réservoir gréseux, à une profondeur de 1 664 m (NM). Cette baisse semble se confirmer avec la mesure faite en 1982 - soit une date à laquelle l'essentiel de l'exploitation du gisement a été effectué (cf. illustration 14) - sur le forage MTC 8 : 86 bars à 1 530 m de profondeur (NM).

Cette tendance à la baisse de la pression dans un gisement d'hydrocarbures liquides paraît *a priori* étonnante. On pourrait extrapoler cette tendance et interpréter l'arrêt de l'exploitation en 1986 comme étant en lien avec cette chute de la pression de gisement.

Par ailleurs et même si les cotes de référence pour la mesure des pressions de fond ne sont pas les mêmes, il est intéressant de comparer la pression relevée dans la formation albo-aptienne exploitée à MTC 7 à celle relevée à une date similaire à MTC 8 dans les réservoirs carbonatés et gréseux. Sous réserve que la mesure faite à MTC 8 soit valide, il apparaît un fort différentiel de pression entre l'Albo-aptien et la formation de Gensac sus-jacente.

Forage BEPH	Concession	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof. toit (m/for)	Prof. base (m/for)	Date	Pression de fond (bar)	Prof. de référence pour pression (m/NM)	Remarques
12-1980-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 2	Sénonien inférieur - formation de Gensac - réservoirs carbonatés	2115	2160	01/08/1974	150.1	1593	Pression initial dans le gisement au début de l'exploitation
12-1980-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 2	Sénonien inférieur - formation de Gensac - réservoirs carbonatés	2125.9	2154.5	01/08/1974	156.0	1664	
12-1980-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 2	Sénonien inférieur - formation de Gensac - réservoirs carbonatés	2196.9	2226.5	01/08/1974	163.0	1736	
12-1980-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 2	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2289.5	2314	01/08/1974	176.0	1823.5	
12-1981-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 3	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2190	2210	15/12/1974	164.0	1712	enregistreur de pression à 2208m
12-1992-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 4	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2118.3	2134	01/05/1975	133.0	1637	enregistreur de pression à 2133m avec contrepression de 200m d'eau
12-1992-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 4	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2134	2161	01/05/1975	136.0	1664	enregistreur de pression à 2160m avec contrepression de 200m d'eau
12-1992-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 4	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2140	2161	01/05/1975	137.0	1664	enregistreur de pression à 2160m avec contrepression de 200m d'eau
12-2011-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 5	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2134	2160	01/07/1976	111.6	1664	enregistreur de pression à 2157m, pas de contrepression
12-2182-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 7	Albo-aptien	2783	2808	15/03/1982?	224.6		Profondeur de référence pour la mesure non précisée
12-2193-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 8	Sénonien inférieur - formation de Gensac - réservoirs carbonatés et grès	2116	2177	15/04/1982?	85.9	1532	enregistreur de pression à 2073m, pas de contrepression
12-1978-	Comminges	GALAN LOSSE	GALS 1	Sénonien inférieur - formation de Gensac - réservoirs carbonatés	2220	2250	01/06/1974	161.0		Profondeur de référence à 1963m/forage

Tableau 20 : Pressions de fond, relevées sur les forages du gisement de Montastruc

Les mesures de perméabilité, relevées pour les réservoirs carbonatés de la formation de Gensac, demeurent toutes inférieures à 1 mD (cf. tableau 21), ce qui en fait un réservoir peu perméable. Le réservoir gréseux peut se révéler par contre bien plus perméable, dépassant légèrement un darcy sur une mesure effectuée à Montastruc 4.

Forage BEPH	Concession	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof. toit (m/for)	Prof. base (m/for)	Perméabilité (mdy)
12-1992-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 4	Sénonien inférieur - formation de Gensac - réservoirs carbonatés	2014	2042	<=0.1
12-1992-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 4	Sénonien inférieur - formation de Gensac - réservoirs carbonatés	2042	2091	<0.1
12-1992-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 4	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2099	2112	<0.1
12-1992-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 4	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2112	2132	25 - 1000
12-1992-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 4	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2132	2148	50 - 200
12-1992-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 4	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2148	2156	< 1
12-2011-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 5	Sénonien inférieur - formation de Gensac - réservoirs carbonatés	1988.5	2015.5	< 0.1
12-2011-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 5	Sénonien inférieur - formation de Gensac - réservoirs carbonatés	2015.5	2050.5	0.1 - 0.8
12-2011-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 5	Sénonien inférieur - formation de Gensac - réservoirs carbonatés	2050.5	2111	0.1
12-2011-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 5	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2111	2114.2	0.1
12-2011-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 5	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2114.2	2118.3	0.6 à 6.0
12-2011-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 5	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2118.3	2119.5	0.1 à 0.8
12-2011-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 5	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2119.5	2124.8	0.1 à 0.2

Tableau 21 : Données de perméabilité relevées sur les forages du gisement de Montastruc

Les données de minéralisation de l'eau relevées dans les RFS figurent au tableau 22. Les mesures effectuées à MTC 5 et MTC 8 sont à écarter d'après les RFS de ces deux forages, ceux-ci indiquant que l'eau collectée correspond non à l'eau de gisement mais à celle injectée lors de la foration. Ces valeurs mises à part, toutes les autres mesures montrent l'existence d'une forte à très forte minéralisation des réservoirs carbonatés et gréseux de la formation de Gensac. Ces fortes minéralisations sont le signe d'un très faible renouvellement des eaux souterraines contenues dans ces formations.

Forage BEPH	Concession	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof. toit (m/for)	Prof. base (m/for)	Minéralisation (g/l)	Méthode évaluation
12-1968-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 1	Sénonien inférieur - formation de Gensac - réservoirs carbonatés	2083	2094	22 à 40	échantillon d'eau
12-1968-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 1	Albo-aptien	2954	2984	59	échantillon d'eau
12-1980-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 2	Sénonien inférieur - formation de Gensac - réservoirs carbonatés	2196.9	2226.5	51.4	échantillon d'eau
12-1980-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 2	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2289.5	2314	58.5	échantillon d'eau
12-1981-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 3	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2190	2210	44.5	échantillon d'eau
12-1992-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 4	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2134	2161	60	échantillon d'eau
12-2011-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 5	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2133	2134.9	0.8 <i>eau de foration</i>	échantillon d'eau
12-2146-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 6	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2132	2139	53 (65)	échantillon d'eau
12-2193-	Comminges	MONTASTRUC	MTC 8	Sénonien inférieur - formation de Gensac - réservoirs carbonatés et grès	2116	2177	0.58 <i>eau de foration</i>	échantillon d'eau
12-1978-	Comminges	GALAN LOSSE	GALS 1	Sénonien inférieur - formation de Gensac - grès radioactifs	2265.2	2282	79.8	échantillon d'eau
12-1978-	Comminges	GALAN LOSSE	GALS 1	Sénonien inférieur - formation de Gensac - réservoirs carbonatés	2220	2250	69	échantillon d'eau

Tableau 22 : Minéralisation des eaux souterraines aux forages du gisement de Montastruc

A Montastruc 6, l'eau collectée lors du test de pompage présentait une salinité de 53 g/l. Le RFS indique cependant que cette valeur est « sensiblement inférieure à l'eau de gisement (environ 65 g/l) ».

### 2.7.3. Synthèse

Sept forages ont exploité les formations carbonatées et gréseuses de Gensac au niveau du gisement de Montastruc. L'exploitation d'huile, qui s'est déroulée de 1973 à 1986 puis dans une moindre mesure à partir de 1998, a semble-t-il induit une baisse de pression dans le gisement de 1974 à 1982. L'absence de données ultérieures ne permet pas de connaître l'évolution de la pression dans le gisement.

La très forte minéralisation de l'eau conduit à envisager l'absence d'un écoulement des eaux souterraines contenues dans les formations carbonatées et gréseuses de Gensac.

## 2.8. SYNTHÈSE

Le tableau 23 présente un certain nombre de caractéristiques des gisements présentés dans ce chapitre.

	Mise au jour	Mise en service	Réservoir	Lithologie	Nature de l'effluent	Superficie (km <sup>2</sup> )	Toit du réservoir (m)	Hauteur totale (m)	Evolution de la pression	Minéralisation	Maintien pression par aquifère
GER	1975	1977	Yprésien	grès	gaz humide	1.5	-1644	5	?	16.5 g/l	Non
CHARLAS	1960	1960	Sénonien inférieur	calcaire	gaz à condensat	1.8	-1775	35	Baisse entre 1959 et 1960, voire jusqu'en 1971	23 à 32 g/l	Non
CHARLAS Ouest	1984	1985	Sénonien inférieur (Calcaire des Canyons, Fm de Gensac)	calcaire	gaz à condensat	0.7	-1735	238	?	32 g/l	Non
MAZERES sup	1966	1977	Sénonien inférieur (Calcaire des Canyons)	calcaire	gaz à condensat	nd	-3189	44	Baisse au démarrage de l'exploitation en 1966	10 à 12 g/l	Non
LAGRAVE	1984	1984	Sénonien inférieur (Fm de Jouansalles)	calcaire	huile sous-saturée	2.5	-1590	150	Hausse entre 1985 et 2007?	< 2 g/l	Oui
LACQ supérieur	1949	1950	Sénonien inférieur (Fm de Jouansalles)	calcaire dolomie	huile sous-saturée	6.0	-493	150	Stable entre 1950 et 1985	4 g/l environ	Oui
MONTASTRUC	1973	1973	Sénonien inférieur (Formation de Gensac)	grès calcaire	huile sous-saturée	1.5	-1585	180	Baisse entre 1974 et 1982	40 à 60 g/l	Non

Tableau 23 : Caractéristiques des gisements tertiaires et sénoniens d'hydrocarbures du Sud-aquitain

Ce tableau met tout d'abord en évidence l'existence de deux gisements pour lesquels le soutien de la pression dans le réservoir par un aquifère est établi : **Lagrange et Lacq supérieur**. On note de plus que la salinité de l'eau de l'aquifère est faible, ce qui laisse envisager l'existence d'un renouvellement de l'eau contenue dans ces réservoirs. L'existence d'un impact, au moins local, de l'exploitation de ces gisements sur la piézométrie des aquifères concernés (Formation de Jouansalles du Sénonien inférieur) est donc tout à fait possible.

Pour les autres gisements du tableau, il n'a pas été identifié de soutien par un aquifère de la pression dans les réservoirs exploités. La salinité de l'eau y est par ailleurs très forte - au moins supérieure à 10 g/l. Les pressions de fond collectées pour ces réservoirs montrent l'existence d'une baisse de celle-ci pour les réservoirs gaziers de Charlas (1959 à 1960, voire 1971 si on se base sur la donnée mesurée à Charlas 3) et de Mazères supérieur (pour les premiers mois d'exploitation uniquement, en 1966) mais aussi pour le gisement d'huile de Montastruc, pour la période 1974-1982. Le très faible nombre de mesures réunies dans les RFS explique très probablement l'absence d'une observation de tendance plus nette et plus longue pour les réservoirs gaziers, voire potentiellement pour le réservoir de Montastruc, dont la tendance aurait pu s'inverser à partir de la reprise d'exploitation en 1998.

Néanmoins, et au vu des maigres données disponibles, il n'a pas été identifié d'impact potentiel de ces cinq gisements (**Ger, Charlas et Charlas Ouest, Mazères supérieur et Montastruc**) sur les aquifères profonds du Sud du Bassin aquitain.

## 3. Émergences off-shore

### 3.1. DÉMARCHE ADOPTÉE

Dans cette partie, il est proposé une première réflexion sur la possibilité d'émergences off-shore des aquifères profonds du Sud du Bassin aquitain.

L'approche adoptée repose très simplement sur le croisement des zones d'affleurement des aquifères profonds sur les fonds marins avec la bathymétrie : cette dernière information permet de connaître la hauteur d'eau salée qui exerce une pression sur la zone envisagée comme exutoire potentiel d'un aquifère. De cette hauteur d'eau salée, il est possible de déduire une hauteur d'eau douce équivalente en termes de pression. Pour que l'aquifère maintienne un débit sortant d'eau douce au droit de sa zone d'affleurement off-shore, il devra connaître une pression en ce point au moins égale à la pression exercée par l'eau de mer. On peut donc en déduire une hauteur d'eau douce minimale nécessaire à l'existence d'une émergence off-shore au droit des zones d'affleurement des aquifères profonds du Sud du Bassin aquitain.

A partir de l'éloignement du point d'émergence potentiel à la côte et de la nécessité de maintenir un gradient minimum au sein de l'aquifère pour pouvoir générer un écoulement, on peut déduire une pression minimale à exercer au droit du littoral aquitain pour que l'émergence puisse se produire off-shore. Cette pression minimale est exprimée sous la forme d'une cote altimétrique (hauteur d'eau douce à température moyenne interannuelle de l'air).

Il convient de noter que cette approche repose sur des hypothèses simplificatrices, ne prenant pas en compte l'effet de la température sur la charge piézométrique. Or, la faible température des fonds marins d'une part et la température potentiellement accrue des eaux souterraines d'autre part vont conduire à minimiser la charge d'eau douce nécessaire pour l'existence d'une émergence off-shore (dilatation de la colonne d'eau souterraine, contraction de la colonne d'eau salée).

Moyennant ces hypothèses, il reste ensuite et dans un premier temps à comparer les hauteurs d'eau douce calculées aux charges exercées dans l'aquifère on-shore pour évaluer la faisabilité de l'existence de ces émergences.

L'observation des données géologiques disponibles off-shore permet finalement de proposer une première orientation du ou des secteur(s) dans le(s)quel(s) est susceptible de se produire une émergence off-shore.

### 3.2. CHARGE D'EAU DOUCE NÉCESSAIRE À UNE ÉMERGENCE OFF-SHORE

#### 3.2.1. Bathymétrie

La bathymétrie des fonds marins au large de la côte aquitaine est notamment connue au travers du « MNT bathymétrique de façade Atlantique (Projet Homonim) » produit par le SHOM. Cette donnée est disponible sous la forme d'une grille régulière pour laquelle chaque nœud est renseigné par une estimation de la profondeur locale du fond marin. La résolution de cette grille est de 0,001°, soit environ 100 m.

Ce MNT est disponible avec deux références verticales : le niveau moyen (NM) et le niveau des plus basses mers astronomiques (PBMA). Pour les besoins de l'étude, c'est la référence au niveau moyen qui a été utilisée (cf. Illustration 16).

Le coin Sud-Est du golfe de Gascogne se caractérise par l'existence de deux canyons encadrant le plateau continental landais et le plateau sud-aquitain (cf. Illustration 17). En particulier : « Le gouf de Capbreton, un des canyons sous-marins les plus profonds au monde, est la structure morphologique la plus remarquable du coin sud-est du golfe de Gascogne. Il forme une profonde entaille méandrique qui court sur 270 km le long de l'étroite marge basquo-cantabrique. Il oblique ensuite plein nord au droit de Santander et débouche par 3 500 m de fond dans la plaine abyssale Gascogne (Cirac et al., 2001). » (Projet SYNTAX, Collectif, 2013).

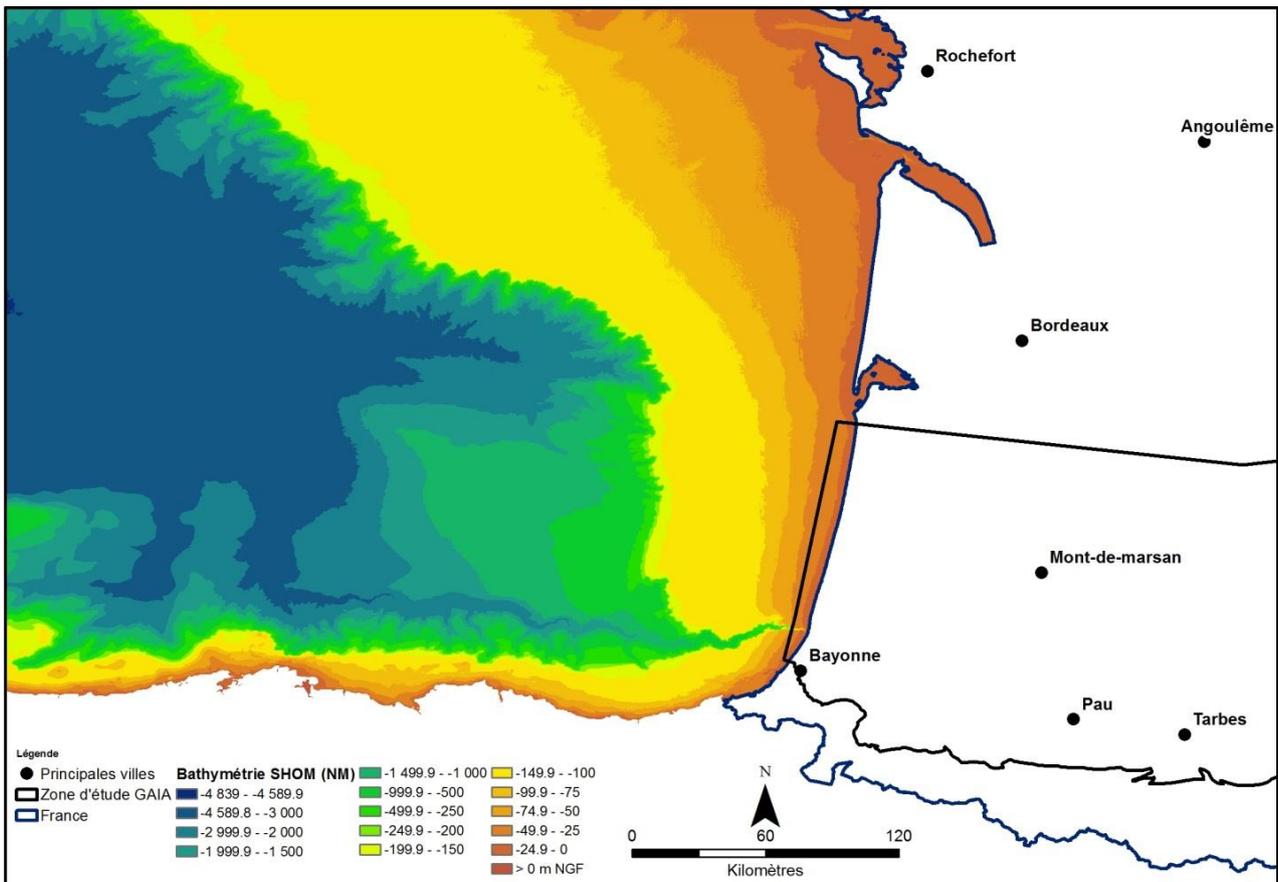


Illustration 16 : Bathymétrie de la façade Atlantique (données issues du projet Homonim, SHOM)

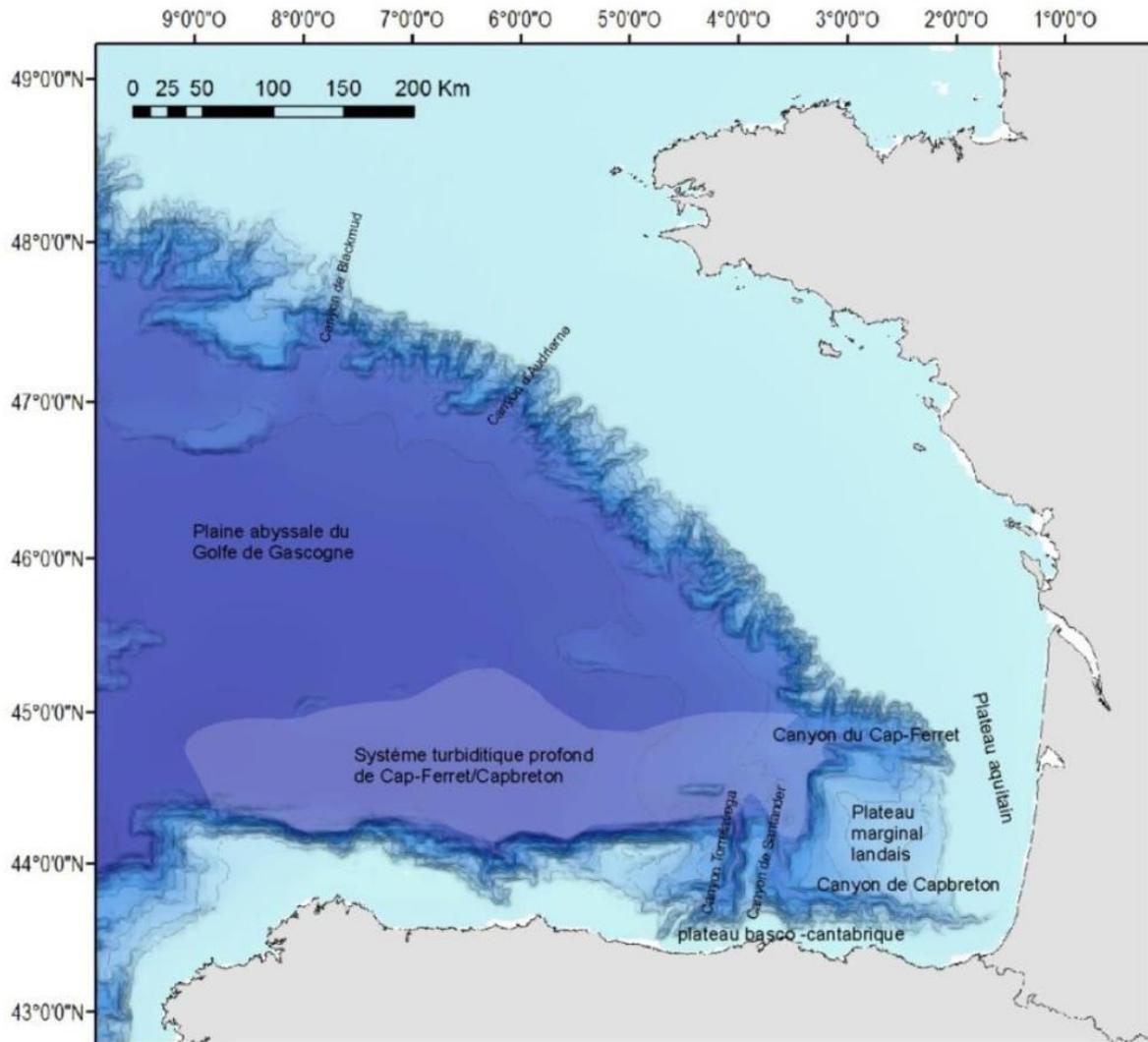


Illustration 17 : Cadre morpho-bathymétrique du Sud-Est du golfe de Gascogne (source : projet SYNTAX, collectif, 2013)

### 3.2.2. Charge d'eau douce équivalente

Dans le cadre de sa thèse, Fleury (2005) précise les conditions de charges hydrauliques nécessaires à l'existence d'une source karstique sous-marine. Les lois de l'hydrodynamique prises en compte s'appliquant pour un milieu poreux continu, un extrait de son manuscrit est repris ci-dessous.

La pression exercée par la colonne d'eau de mer en un point A situé au droit de l'exutoire sous-marin d'un conduit karstique (cf. Illustration 18) s'exprime de la façon suivante (Fleury, 2005) :

$$P_{\text{mer}} = \rho_s * g * h_{\text{mer}}$$

avec  $P_{\text{mer}}$  la pression exercée par la colonne d'eau de mer ;

$\rho_s$  la masse volumique de l'eau de mer ;

$g$  l'accélération de la pesanteur ;

et  $h_{\text{mer}}$  la hauteur de la colonne d'eau de mer, c'est à dire la profondeur de la source.

En supposant l'écoulement en conduit sans perte de charge, la pression exercée par la colonne d'eau douce dans le conduit au point A s'écrit :

$$P_{\text{conduit}} = \rho_d * g * (h_{\text{mer}} + h_{\text{conduit}})$$

avec  $P_{\text{conduit}}$  la pression exercée par la colonne d'eau douce ;  
 $\rho_d$  la masse volumique de l'eau dans le conduit karstique ;  
 et  $h_{\text{conduit}}$  la hauteur de la surface libre dans le conduit.

Il se produit un écoulement de l'eau de l'aquifère vers la mer lorsque :

$$P_{\text{conduit}} > P_{\text{mer}} ,$$

Soit :

$$H_{\text{conduit}} > h_{\text{mer}} * [(\rho_s / \rho_d) - 1]$$

En considérant que l'eau dans le conduit karstique est douce ( $\rho_d = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ ) et que la masse volumique moyenne de l'eau de mer vaut  $1025 \text{ kg.m}^{-3}$ , il y a un écoulement lorsque :  
 $h_{\text{aquifère}} > h_{\text{mer}} * 0.025$

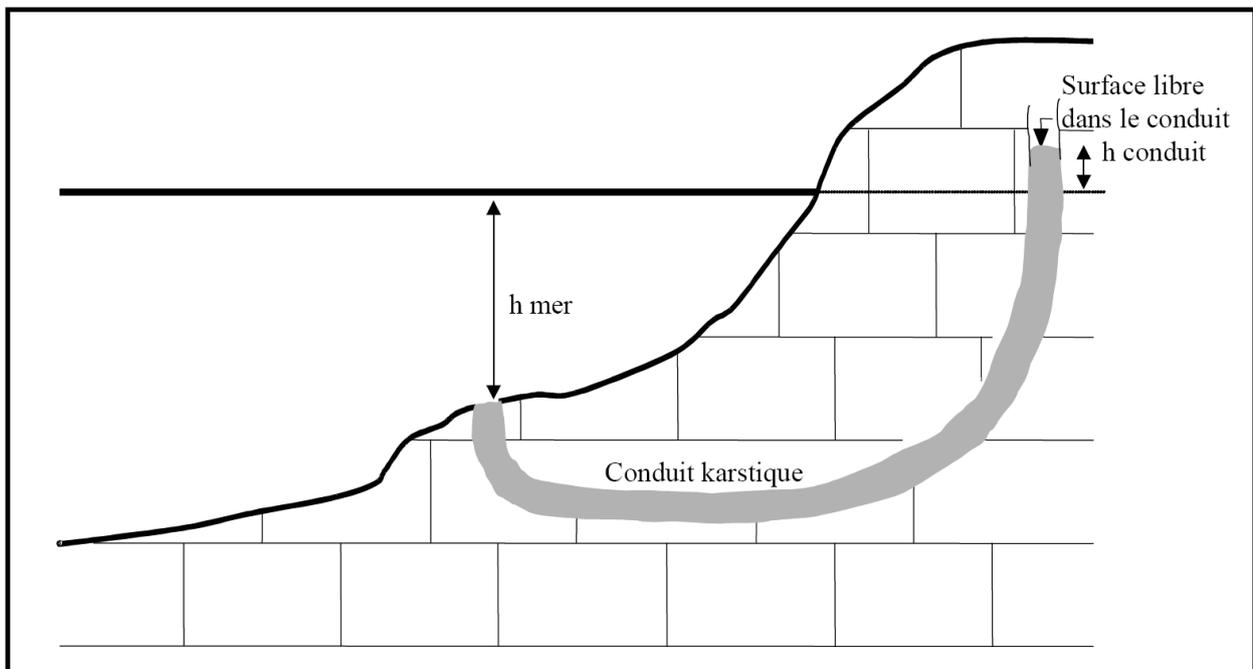
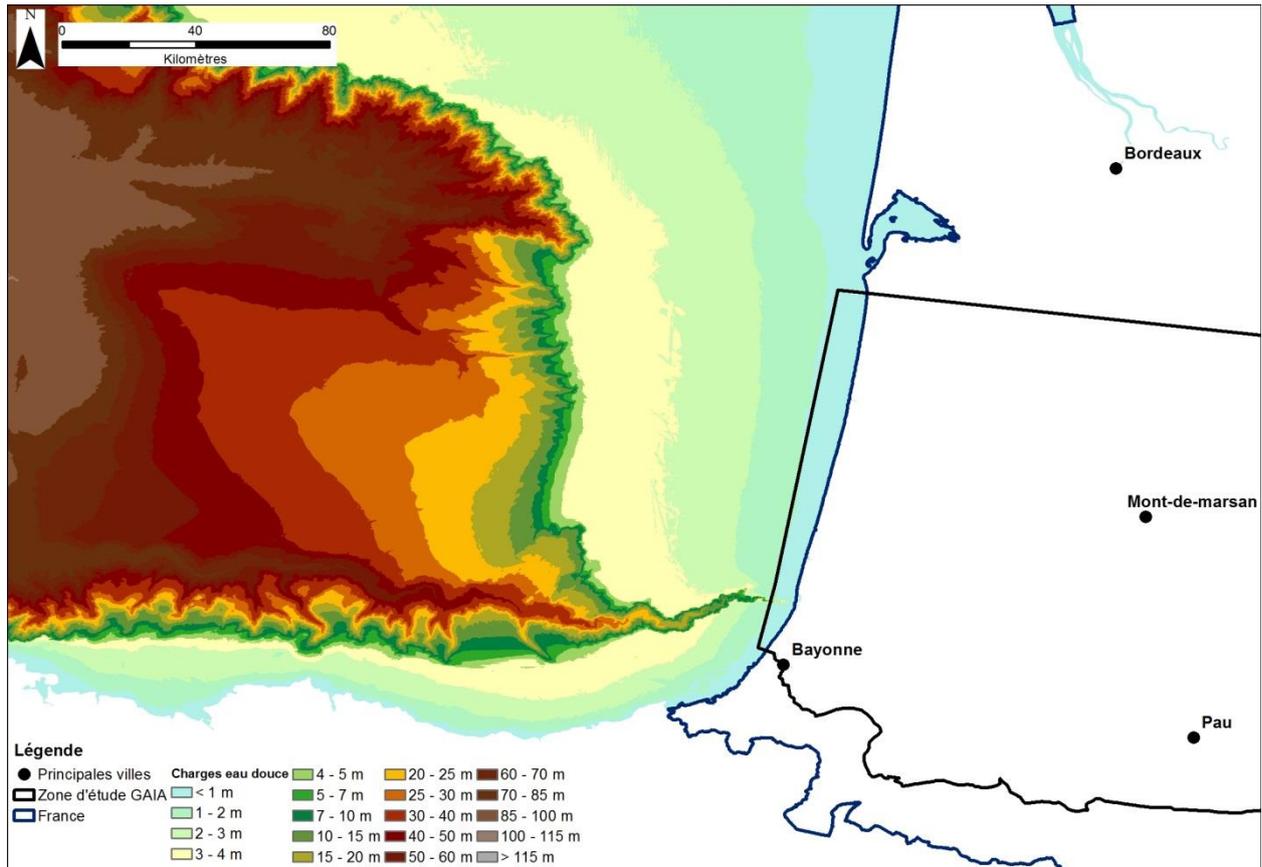


Illustration 18 : Représentation d'un conduit karstique en connexion avec la mer (Fleury, 2005)

Notons tout d'abord que le facteur 0,025 déduit du rapport des masses volumiques dépend en pratique des conditions de température et de pressions qui sont exercées. Ainsi, la faible température des fonds marins (2 à 4°C une fois passé les premières centaines de mètres d'eau) contribue par exemple à augmenter la densité de l'eau de mer et donc, à augmenter la charge piézométrique nécessaire pour générer un écoulement au droit de l'émergence.

Appliquée à la hauteur d'eau de mer présente au droit des fonds marins (cf. Illustration 16), cette formule permet donc de calculer une hauteur d'eau douce minimale (cf. Illustration 19). Les charges calculées en face des côtes aquitaines dépassent 100 mètres pour les bathymétries les plus élevées.



*Illustration 19 : Charge d'eau douce minimale (en m NGF) à exercer sur le fond marin pour contrebalancer la pression exercée par l'eau de mer*

### 3.2.3. Prise en compte d'un gradient de pression au sein de l'aquifère

La charge d'eau douce équivalente calculée dans la partie 3.2.2 correspond à la charge minimale nécessaire au droit de l'émergence potentielle pour qu'un écoulement puisse se produire. Ceci correspond donc à une représentation ponctuelle et statique du phénomène. En pratique, l'existence d'un écoulement au droit de l'émergence suppose qu'un gradient soit maintenu au sein de l'aquifère.

Compte tenu des valeurs habituellement rencontrées dans les eaux souterraines (quelques pour mille en milieu continu dans les bassins sédimentaires) et de notre volonté de sous-estimer la pression nécessaire plutôt que de la surestimer, une valeur de 0,5 ‰ a été adoptée.

A partir de la distance entre le point potentiel d'émergence off-shore à la côte française (cf. Illustration 20) et de cette valeur du gradient piézométrique, il est possible de calculer une pression minimale (exprimée sous la forme d'une charge d'eau douce) au droit du littoral pour qu'une émergence puisse se produire en un point donné du fond marin (cf. Illustration 21).

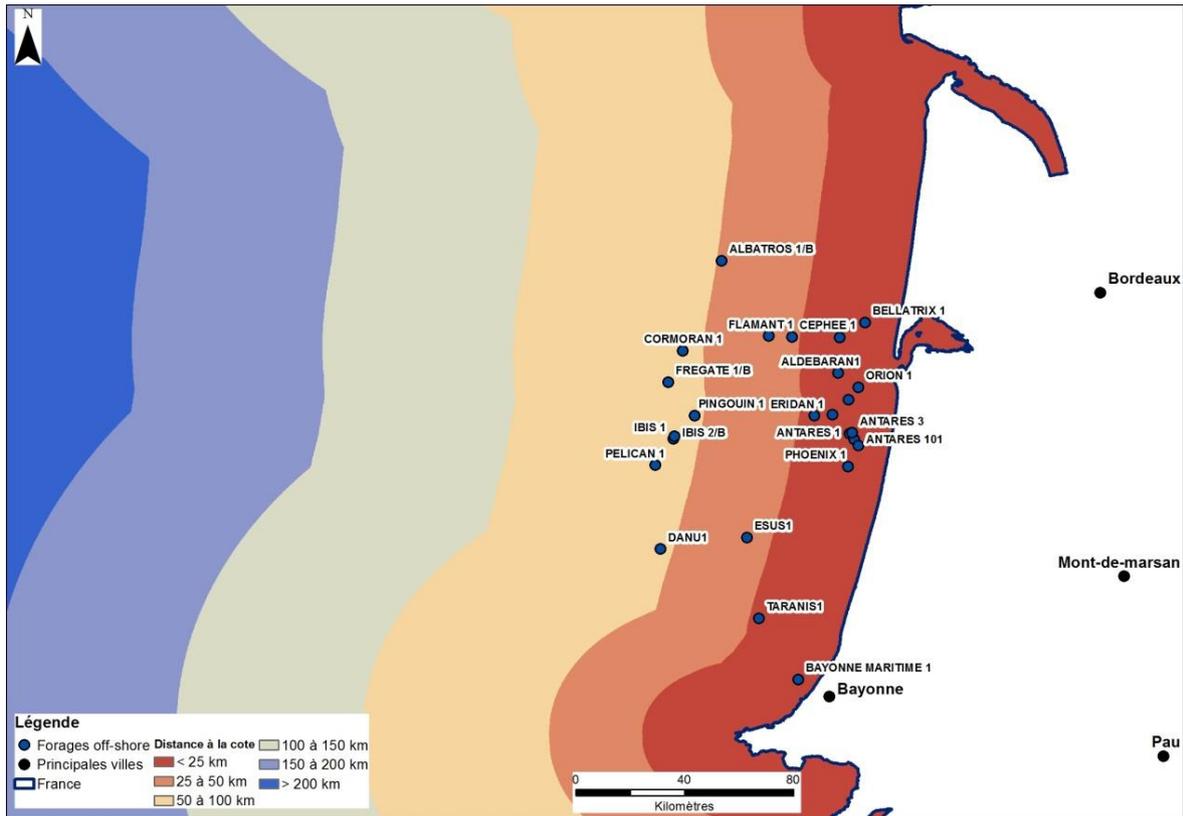


Illustration 20 : Distance en mer à la côte française (en km)

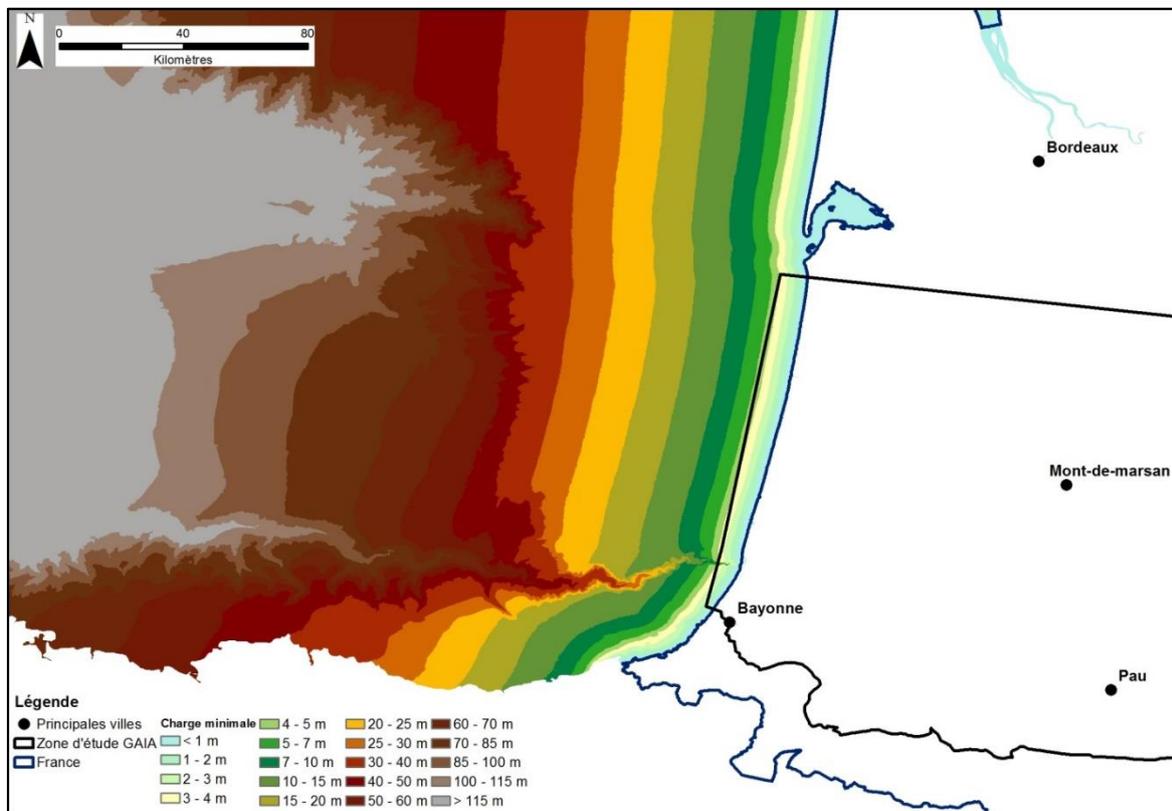


Illustration 21 : Charge d'eau douce minimale (en m NGF) calculée au droit du littoral pour générer une émergence off shore (gradient de 0,5 ‰)

On note que la prise en compte du gradient de pression joue un rôle important dans la charge minimale calculée. A 25 kilomètres du littoral par exemple, elle intervient pour 12,5 m dans le calcul de la charge tandis que la pression exercée par l'eau de mer n'excède pas 2,5 m pour une bathymétrie de l'ordre de 100 m (profondeur du fond marin sur le plateau landais à une distance de 25 km des côtes). Si la valeur retenue pour le gradient est faible, elle joue donc un rôle important dans l'évaluation de la charge. Afin de réduire la part de cette hypothèse dans l'estimation de la pression, une deuxième évaluation a été effectuée (cf. Illustration 22) en considérant un gradient cinq fois plus faible (0,1 ‰).

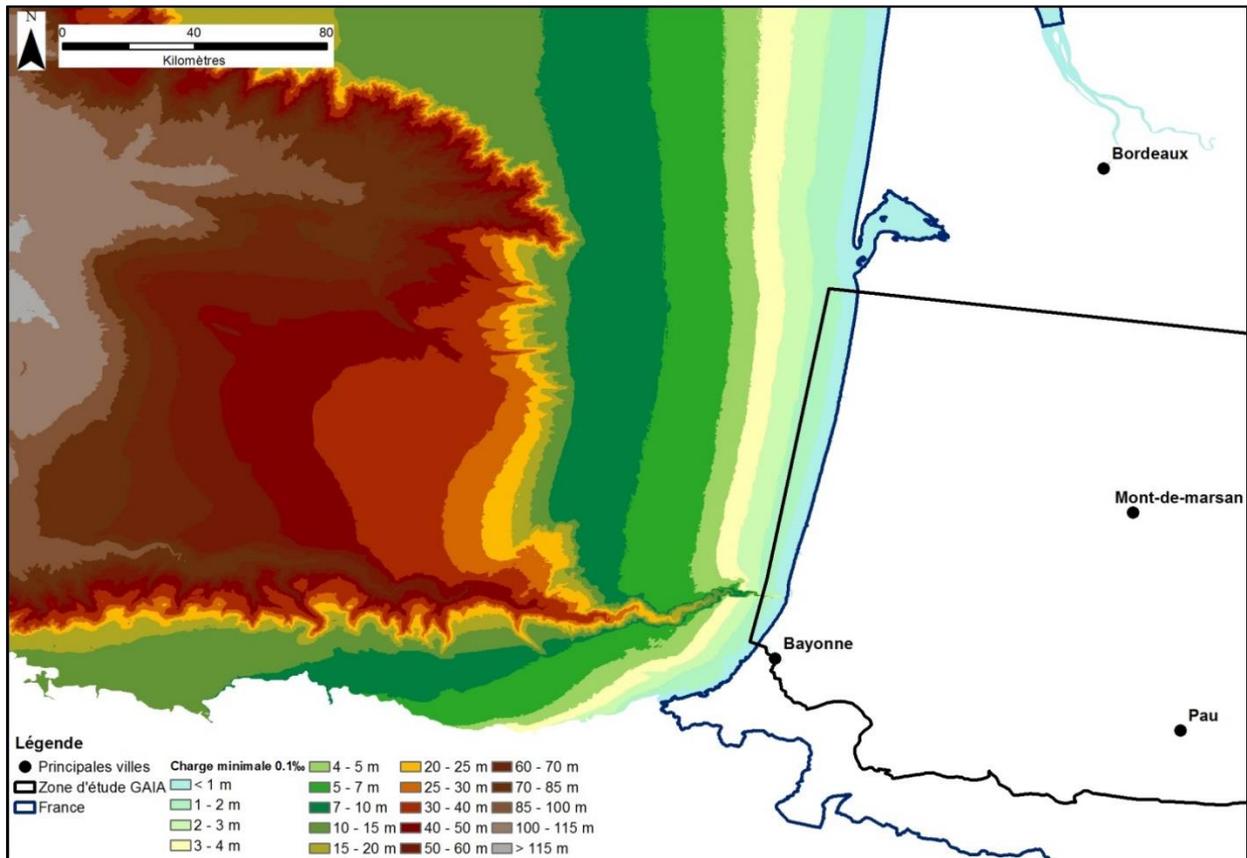


Illustration 22 : Charge d'eau douce minimale (en m NGF) calculée au droit du littoral pour générer une émergence off shore (gradient de 0,1 ‰)

### 3.3. ZONES D'AFFLEUREMENT DES AQUIFÈRES PROFONDS

Les aquifères profonds du Sud du Bassin aquitain sont rencontrés dans les niveaux stratigraphiques compris entre l'Éocène et le Crétacé supérieur. On s'est donc efforcé de rechercher l'occurrence de formations stratigraphiquement équivalentes au droit des fonds marins. On gardera toutefois en mémoire que les Sables Infra-Molassiques éocènes ne dépassent pas schématiquement une ligne Nord-Sud passant légèrement à l'Est de Mont-de-Marsan (Housse et Maget, 1977), laissant la place plus à l'Ouest à une plateforme carbonatée de perméabilité généralement médiocre (marnes), malgré la présence localement de niveaux calcaires exploitables (comme à Orist par exemple). Ainsi, ce sont davantage les formations aquifères carbonatées du Paléocène et du Crétacé supérieur qui sont susceptibles de présenter un exutoire off-shore.

Cette recherche s'est appuyée principalement sur la carte géologique au millionième de la France, seule carte géologique portant sur l'ensemble du littoral aquitain au sud du Bassin d'Arcachon, sur les données géologiques disponibles en forages off-shore, ainsi que sur des études plus locales (Vanara et al., 2007, notamment).

### 3.3.1. Cartes géologiques

La carte géologique au millionième de la France (cf. Illustration 23) présente la géologie des fonds marins sur une distance de 100 km environ de la côte aquitaine. Elle fait apparaître de façon extrêmement prédominante la présence de dépôts pliocènes (p) ou mio-pliocènes (mp) et plus localement oligocènes (g) dans le gouf de Capbreton et au Sud du gouf.

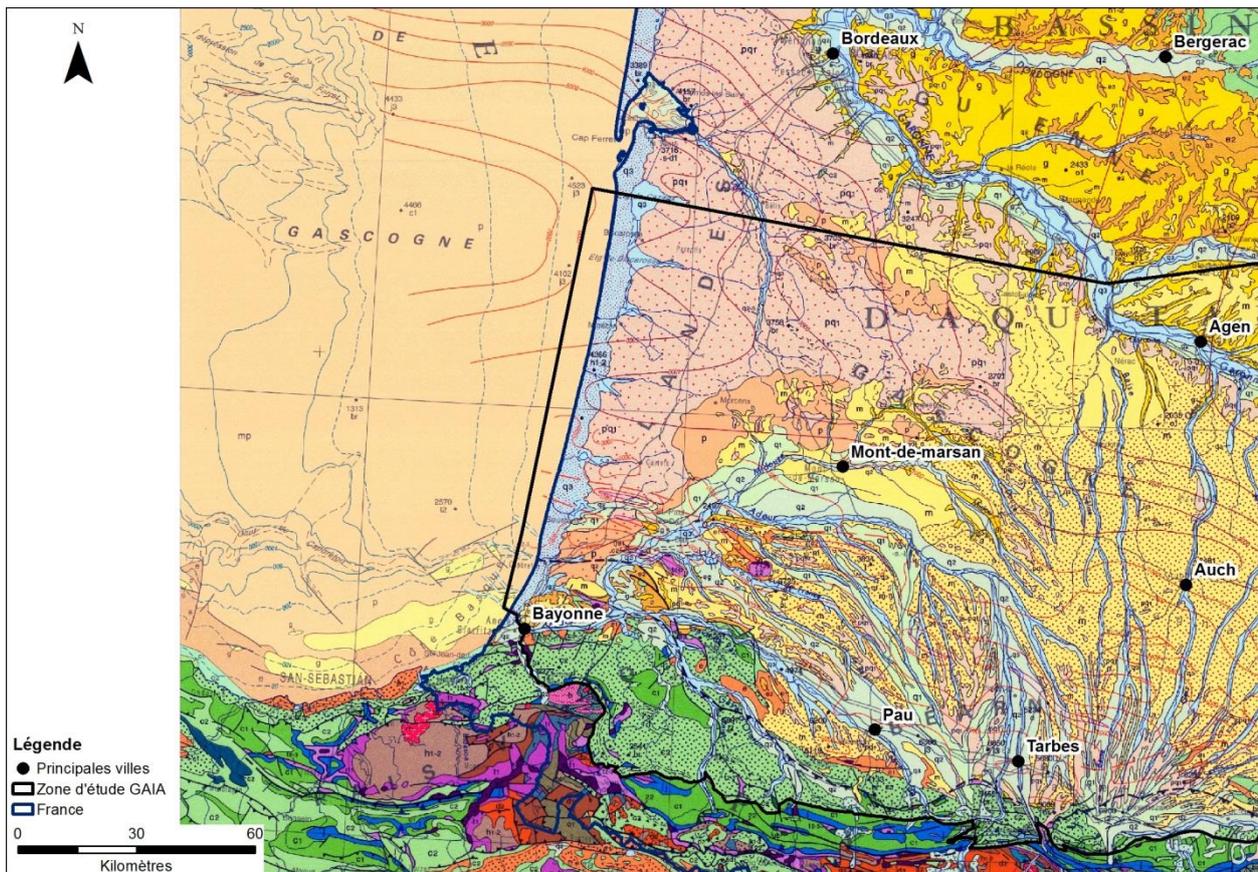


Illustration 23 : Carte géologique au 1M sur la façade atlantique (BRGM)

Plus localement encore, la carte géologique met en évidence la présence d'une boutonnière d'âge Éocène-Paléocène (e) au niveau du canyon du Cap-Ferret et la présence de terrains éocènes à crétacés le long des côtes françaises et espagnoles à partir de Biarritz.

Cette vue d'ensemble de la géologie des fonds marins en face des côtes aquitaines fait donc apparaître deux secteurs dans lesquels une émergence directe d'eaux souterraines depuis un niveau d'âge compris entre l'Éocène et le Crétacé supérieur pourrait se produire.

Il n'existe pas à notre connaissance de carte géologique d'une échelle plus précise couvrant la totalité du littoral aquitain entre Bordeaux et la frontière espagnole. Sur cette zone, les cartes des fonds marins ou du littoral identifiées sont les suivantes :

- carte géologique du plateau continental nord-espagnol entre le canyon de Capbreton et le canyon d'Avilès (Boillot et al., 1973) ;
- carte lithologique simplifiée de la côte basque (Genna et al., 2004, cf. Illustration 24) modifiée sous la forme d'une carte géologique simplifiée de la côte basque dans le cadre du SIGES Aquitaine - <http://sigesaqi.brgm.fr/-Geologie-de-la-Cote-Basque-.html>, (cf. Illustration 25) ;
- cartes géologiques au 1/50 000<sup>ème</sup> du littoral aquitain et en particulier celles couvrant la côte basque, à savoir celles d'Hendaye, de Bayonne et de Saint-Vincent-de-Tyrosse ;
- carte de la nature des fonds marins de Bayonne à Saint Sébastien (carte 7440G – SHOM). Cette carte, issue de la série des cartes « G » élaborées par le SHOM, présente la nature des fonds sédimentaires codifiée en fonction de leur lithologie et de leur granulométrie : fond rocheux, cailloutis, cailloutis-graviers, graviers, graviers-sables, sables, sables fins, sables argileux, sables fins argileux, vases. Elle ne comporte pas en particulier de notion d'âge stratigraphique de la formation.

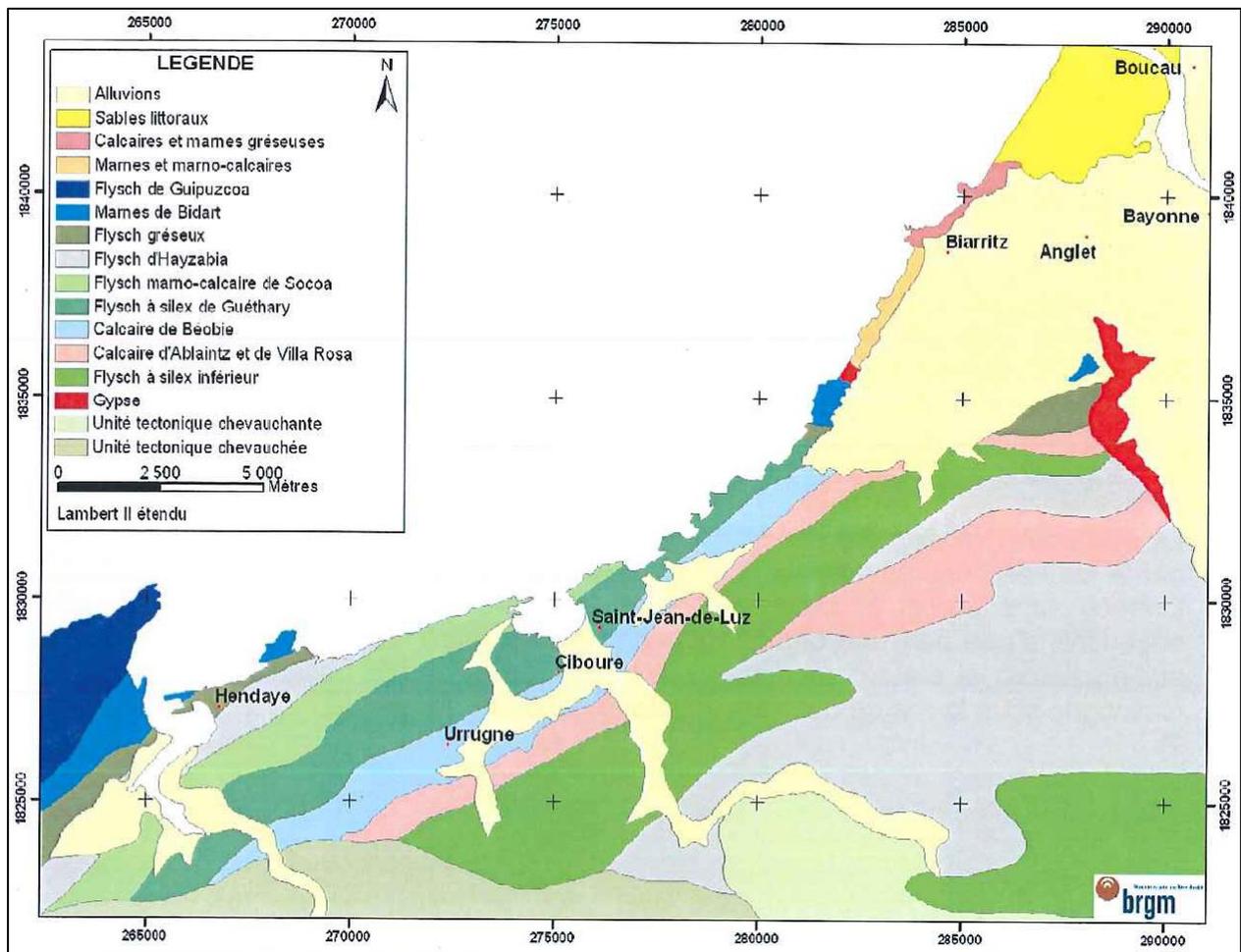


Illustration 24 : Carte lithologique simplifiée de la côte basque (Genna et al., 2004)

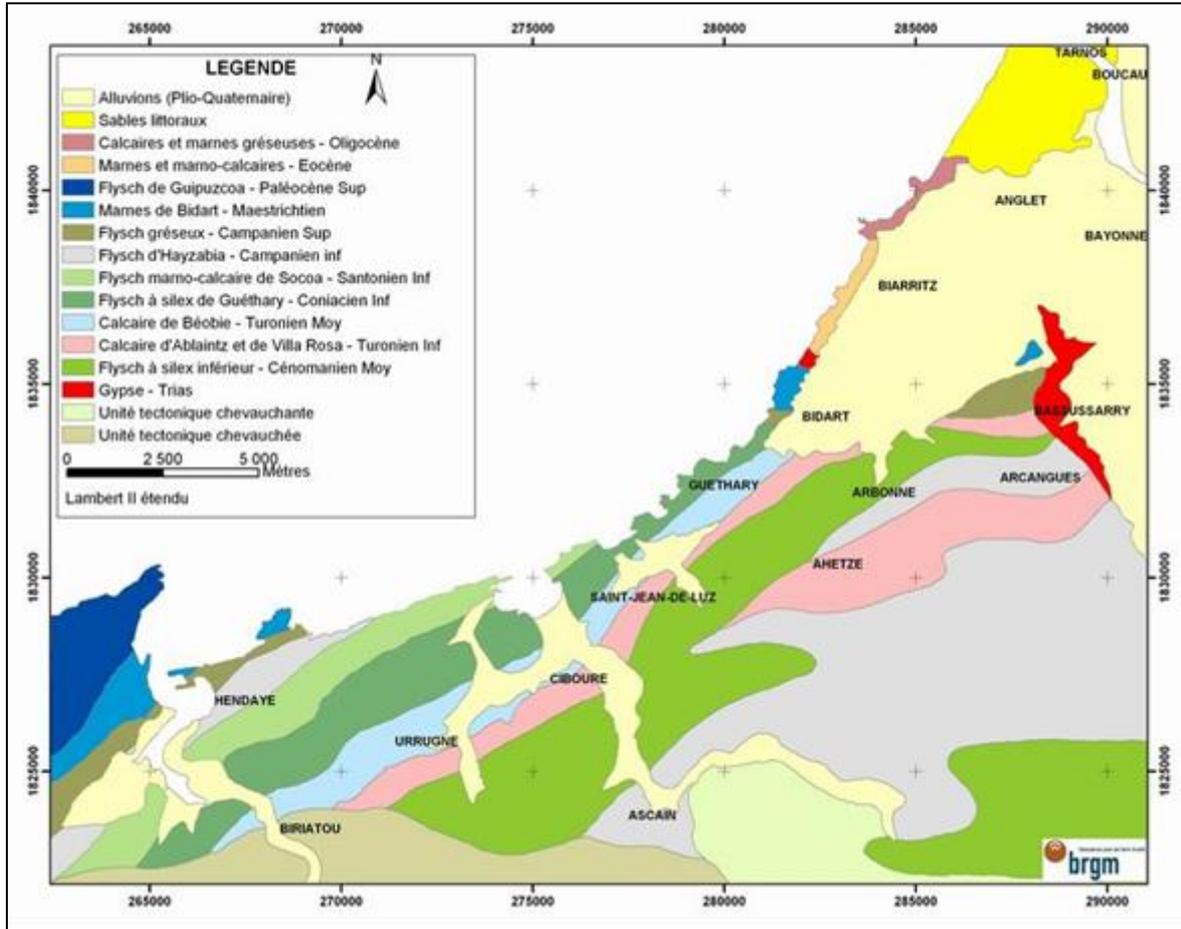


Illustration 25 : Carte géologique simplifiée de la côte basque (SIGES Aquitaine)

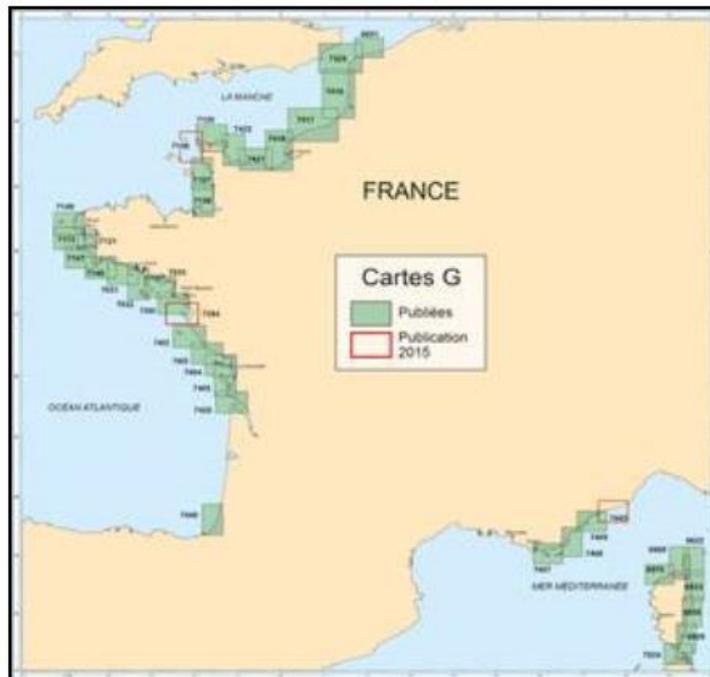


Illustration 26 : Localisation des cartes G publiées (site Internet du SHOM, juin 2016)

On notera pour commencer que ces cartes dans leur ensemble ne font pas apparaître de structures anticlinales complémentaires à celle figurant sur la carte géologique au millionième. Elles ne permettent donc pas d'identifier un secteur d'émergence complémentaire aux deux cités précédemment.

La carte géologique simplifiée de la côte basque (Illustration 25) propose par contre une vue synthétique des formations présentes à l'affleurement sur le littoral et donc possiblement des formations rencontrées off-shore. On identifie parmi celles-ci et en s'appuyant sur le corps du rapport (Genna et al., 2004) des formations potentiellement aquifères telles que :

- les calcaires rosés du Danien, qui représentent la totalité du Paléocène en ce point de la côte ;
- le flysch à silex de Guéthary, d'âge coniacien inférieur, qui est composé « d'une alternance de couches minces à massives de calcaires à nodules et rubans de silex, et d'interbanco marneux » ;
- le flysch gréseux ou flysch gréseux d'Hendaye, d'âge campanien supérieur. Cette formation est constituée d'une succession de couches minces d'épaisseur maximum de 20 cm de calcaires gréseux et calcaires micritiques ».

Ces formations ne sont pas pour autant cartographiées off-shore. On notera par ailleurs l'importance des déformations subies par les formations sédimentaires sur leur organisation présente, rendant difficilement envisageable une connexion des formations potentiellement aquifères avec l'intérieur du bassin sud-aquitain.

### **3.3.2. Logs stratigraphiques de forages**

Dans le cadre de la recherche d'hydrocarbures, plusieurs forages ont été réalisés en mer, au large des côtes aquitaines (cf. Illustration 27). Les données associées aux forages, mises à disposition dans le cadre du BEPH, ne sont pas détaillées dans le cadre de ce rapport. L'exploitation des rapports de fin de sondage montre que :

- le toit du Paléocène est rencontré à une profondeur comprise entre 950 et 1880 m sur un échantillon de 9 forages pour lesquels l'information a été identifiée ;
- la base du Tertiaire est rencontrée à une profondeur comprise entre 530 et 2770 m sur un échantillon de 28 forages.

Ces forages mettent donc en évidence l'existence d'un épais recouvrement, cependant d'épaisseur fortement variable. Ils ne permettent pas de faire apparaître une zone d'affleurement du Tertiaire sur les fonds marins.

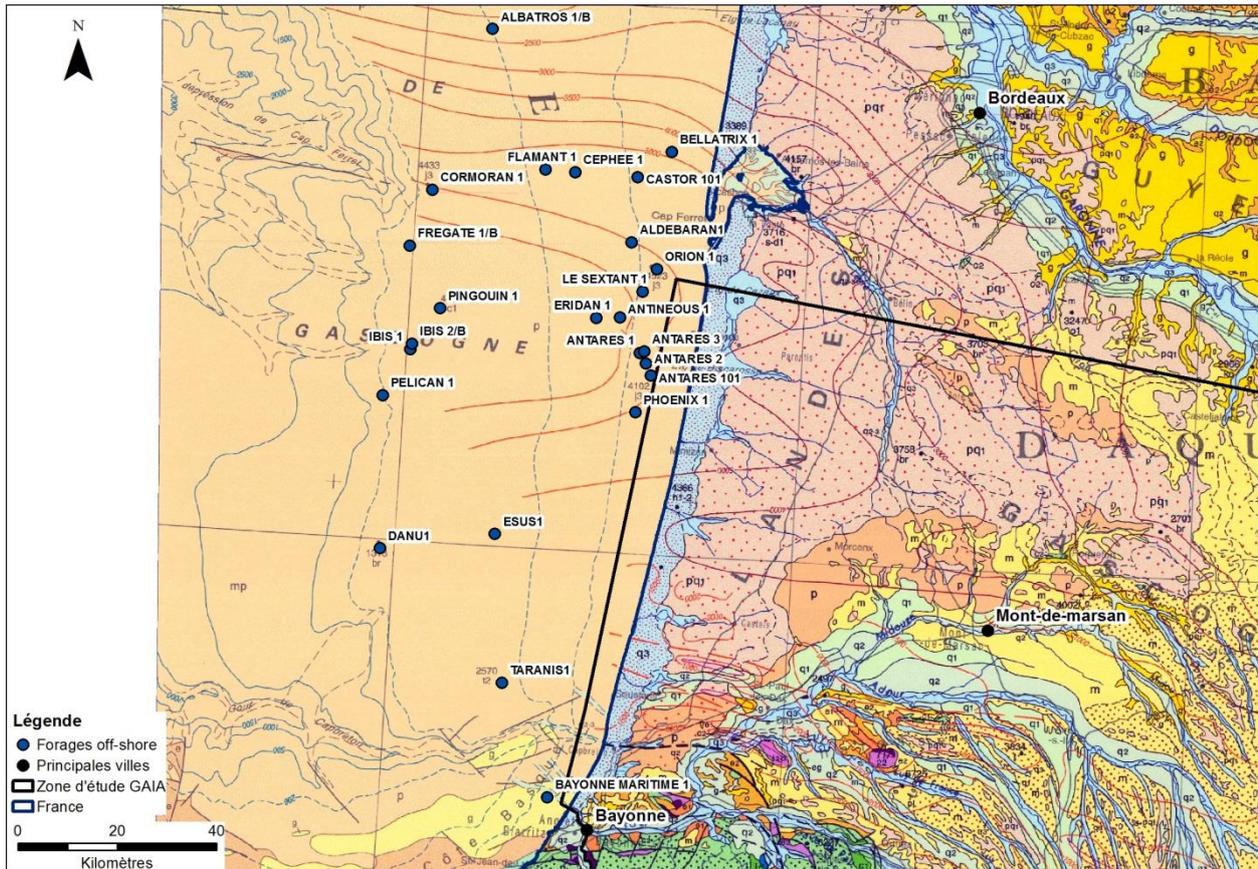


Illustration 27 : Forage pétroliers offshore (source : BEPH)

### 3.3.3. Observations off-shore

Vanara et al. (2007) proposent une description détaillée d'un massif calcaire karstique situé en face du littoral basque - le massif de l'Aroca (cf. Illustration 28). Plus précisément, ce massif est localisé au large de Guethary, à 4 km environ du port de Socoa, à des profondeurs comprises entre 20 et 40 m. Les plongées répétées sur le site ont permis d'établir dans un premier temps une carte topographique du site, puis une carte géomorphologique (cf. Illustration 29). Une analyse des fossiles présents sur des échantillons prélevés *in situ* a permis par ailleurs de préciser l'âge éocène du massif calcaire. Il est intéressant de noter que l'article de Karstologia (Vanara et al., 2007) ne fait référence à aucune émergence d'eau douce ou saumâtre au niveau du massif. Contacté à ce sujet, l'auteur a confirmé qu'à sa connaissance il n'avait pas été identifié d'émergence de ce type au niveau du massif calcaire d'Aroca.

Les recherches complémentaires effectuées auprès de géologues et naturalistes intervenant sur le littoral basque n'ont pas permis d'identifier d'émergences d'eau douce off-shore.

L'existence du phénomène d'émergence d'eau douce off-shore n'a donc pas pu être confirmée.

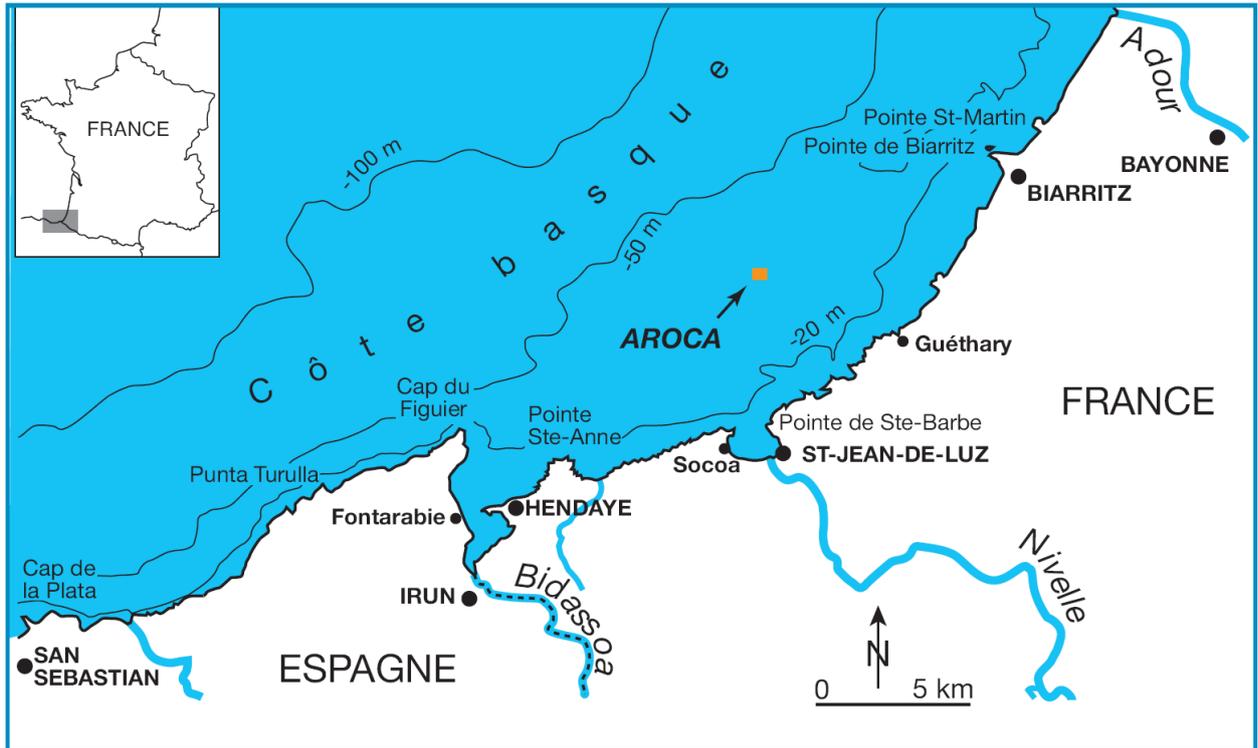


Illustration 28 : Situation du massif karstique de l'Aroca (Vanara et al., 2007)

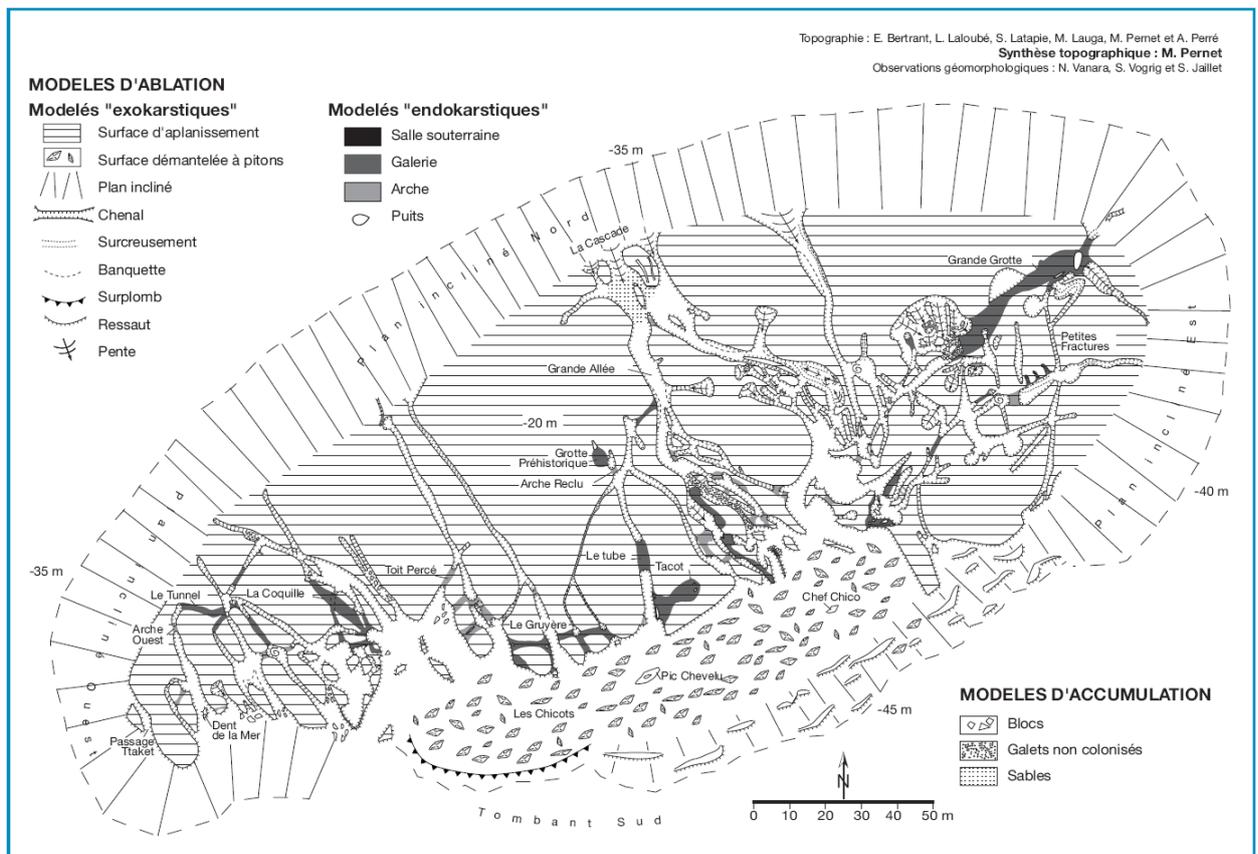


Illustration 29 : Carte géomorphologique du massif d'Aroca (Vanara et al., 2007)

### 3.4. CHARGES D'EAU DOUCE POUR UNE EXHAURE OFF-SHORE DEPUIS LES AQUIFÈRES PROFONDS

#### 3.4.1. Potentialité d'émergences

Les illustrations 30 (hypothèse de gradient de 0.5 ‰) et illustration 31 (hypothèse de gradient de 0.1 ‰) présentent les charges calculées au chapitre 3.2 pour la partie off-shore de la cartographie et le Modèle Numérique de Terrain (IGN, pas de 50 m) pour la partie on-shore. Ces cartes présentent ainsi les cotes altimétriques nécessaires à l'émergence potentielle d'une nappe dans le sud du Bassin aquitain (hors influence de la température). Elles permettent donc de mettre en avant les zones de plus faibles charges dans lesquelles l'émergence est favorisée (indépendamment du recouvrement sédimentaire des aquifères). De façon cohérente, ces zones (en bleu clair sur les cartes) sont localisées dans les fonds de vallée et au voisinage du littoral.

En particulier, plus l'éloignement en mer devient important et plus la charge autorisant une émergence d'eau douce devient importante. En conséquence, une émergence off-shore lointaine ne peut se produire que sous réserve de l'existence de conditions d'émergence proximales très dégradées (par exemple, au travers d'une très faible perméabilité des terrains présents en recouvrement), l'écoulement se produisant préférentiellement là où les conditions sont les meilleures (bonne perméabilité et faible pression à compenser).

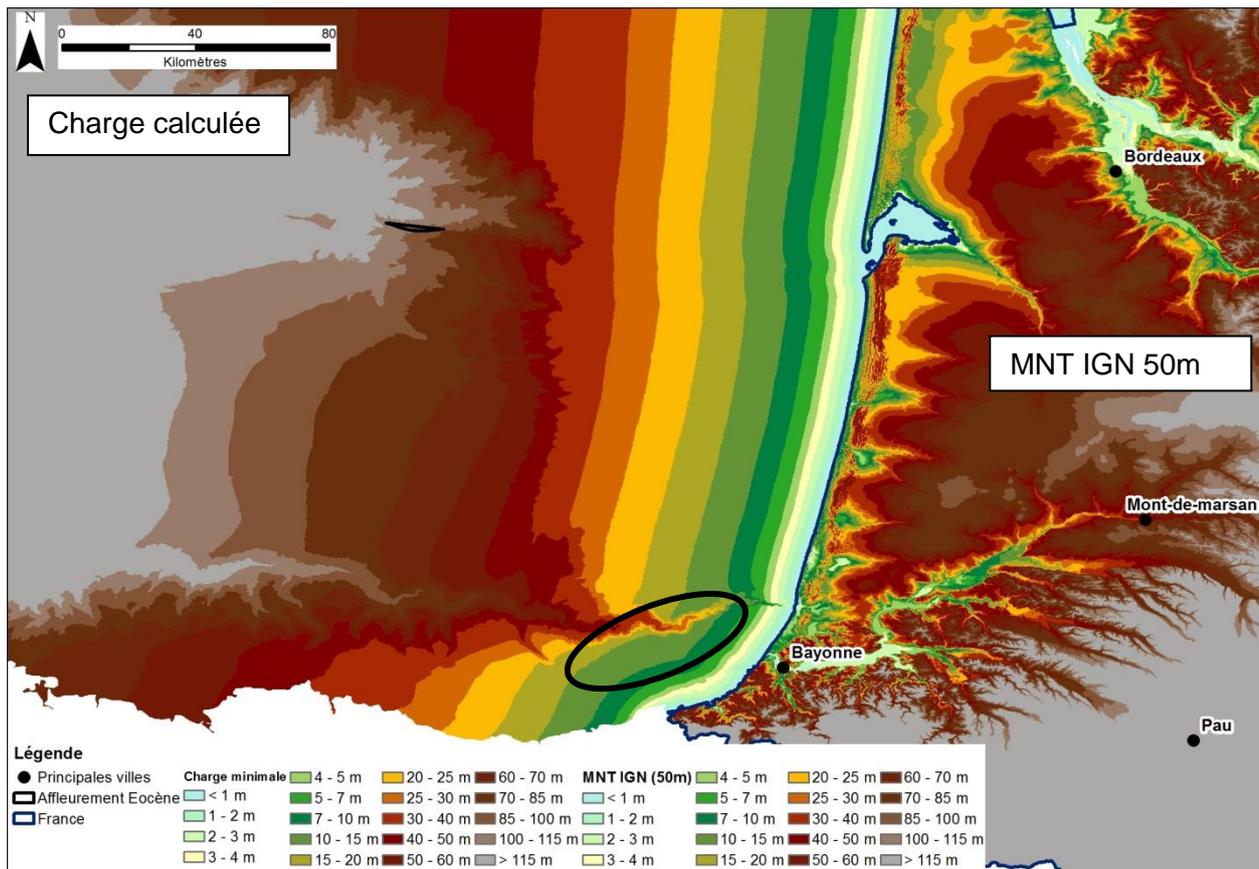


Illustration 30 : Charge d'eau douce minimale (en m NGF) calculée au droit du littoral pour générer une émergence off shore (gradient de 0.5 ‰) et MNT de l'IGN

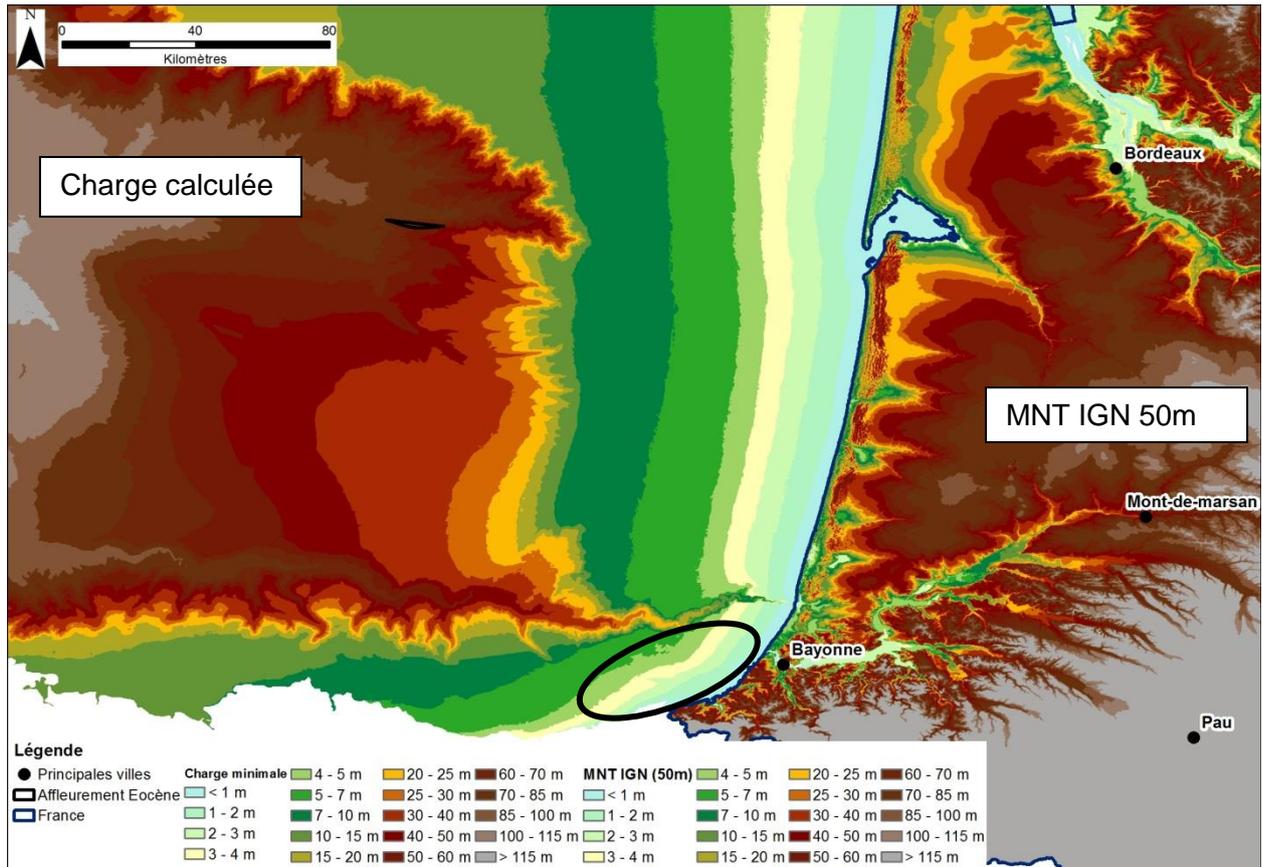


Illustration 31 : Charge d'eau douce minimale (en m NGF) calculée au droit du littoral pour générer une émergence off shore (gradient de 0.1 ‰) et MNT de l'IGN

En tenant compte de la nature des formations sédimentaires présentes sur les fonds marins, le croisement des zones d'affleurement connues des formations éocènes ou anté-éocènes sur ces fonds marins avec les charges calculées au chapitre 3.2 permet de proposer une première estimation de la faisabilité d'une émergence off-shore. Deux zones d'affleurement sont ainsi identifiées au large de la zone d'étude GAIA :

- la boutonnière d'âge Éocène-Paléocène (e) à hauteur du canyon du Cap-Ferret. Dans ce secteur, la bathymétrie est de l'ordre de 2000 m environ. La charge minimale calculée au droit du littoral pour qu'une exhaure puisse se produire dépasse 60 mètres NGF, quelle que soit l'hypothèse prise pour le gradient piézométrique. Elle atteint même 100 m NGF pour une valeur de gradient de 0,5 ‰. Cette cote étant très largement supérieure à celles rencontrées dans la partie ouest des aquifères du sud du Bassin aquitain, une émergence d'eau douce n'est pas envisageable dans ce secteur. On peut noter que ce résultat est conforme aux conclusions apportées par Corbier et al. (2005) : « L'analyse des données concernant des forages pétroliers réalisés au large du Bassin d'Arcachon indique que seul l'aquifère miocène, et en particulier les grès calcaires coquilliers et les sables du sommet de l'Helvétien (Miocène moyen), est susceptible de présenter un exutoire au niveau du talus continental » ;
- les terrains éocènes à crétacés présents le long des côtes françaises et espagnoles à partir de Biarritz. Dans ce secteur, la bathymétrie demeure faible et les charges nécessaires à l'existence d'une émergence off-shore sont en conséquence limitées. Il s'agit donc d'une zone favorable pour une émergence off-shore. Deux éléments viennent cependant apporter un bémol à ce potentiel : i) il n'a pas été identifié d'observations de terrain permettant de démontrer l'existence de ce phénomène (cf. 3.3.3) et ii) la connexion

des aquifères éocènes, paléocènes et du Crétacé supérieur présents dans le sud du Bassin aquitain paraît limitée compte tenu de la forte compartimentation des formations sédimentaires dans ce secteur (cf. 3.3.1).

### **3.4.2. Synthèse**

De façon synthétique, il apparaît que les possibilités d'émergence off-shore des aquifères profonds du sud du Bassin aquitain demeurent limitées. Le potentiel minimal à atteindre pour une émergence se situe au droit du littoral, tandis qu'il augmente au fur et à mesure de l'éloignement à la côte et de l'augmentation de la bathymétrie. Le seul secteur identifié dans lequel les formations éocènes et anté-éocènes sont affleurantes sur les fonds marins à des profondeurs permettant d'envisager une exhaure se situe en face des côtes basques. Aucune observation de terrain n'a permis cependant de confirmer l'existence de ce potentiel.

Notons finalement que l'identification des zones d'affleurement des formations éocènes et anté-éocènes a été effectuée pour l'essentiel à l'aide de la carte géologique au millionième. Une meilleure identification de celles-ci est donc possible et nécessaire. L'analyse conduite dans le cadre de ce rapport bénéficierait donc avantageusement d'études permettant de préciser la nature des fonds marins et en particulier l'existence éventuelle de structures anticlinales non cartographiées à ce jour. La structuration des formations sédimentaires sur le littoral basque joue également un rôle essentiel.

## 4. Poursuite des travaux de constitution de la base de données de prélèvements

### 4.1. AVANCEMENT DE LA BASE DE DONNÉES À JUIN 2015

Lors d'une première phase de collecte d'informations sur les prélèvements, 236 ouvrages avaient été identifiés comme captant les aquifères cibles du sud du Bassin aquitain (Wuilleumier, et al., 2015). Cette identification s'appuyait sur le croisement de bases nationales issues de la Banque du Sous-Sol (BRGM), d'inventaires de captages d'eau potable (ARS), des redevances sur les prélèvements (AEAG) et de thèses et rapports de synthèse. Les ouvrages identifiés avaient été rassemblés dans une base<sup>17</sup> constituée dans l'environnement Excel, puis la collecte des volumes de prélèvements annuels pour la période 1970-2014 avait été initiée.

La démarche de reconstitution de chacune des chroniques de prélèvements annuels depuis 1970 a consisté en premier lieu à intégrer l'ensemble des informations obtenues des différents rapports et thèses ainsi que des fichiers redevance de l'Agence de l'Eau-Adour-Garonne (AEAG). Des prises de contact auprès de certains exploitants (eau potable, industriels, agriculteurs) ont ensuite été initiées afin qu'ils transmettent les chroniques de prélèvements de leurs ouvrages ou, à défaut, qu'ils valident celles reconstituées au préalable par recoupement avec les différentes sources d'informations.

En parallèle, il a été nécessaire de « tracer » les données de volumes obtenues en identifiant l'origine de l'information (rapport d'étude, fichiers de l'exploitant, redevance AEAG, ...) et en la qualifiant (volume réel ou estimé ; dans ce dernier cas, un commentaire est laissé pour préciser le mode d'estimation). Ces précautions permettent d'évaluer la pertinence des données collectées, de faciliter leur suivi et de vérifier la cohérence d'ensemble.

Au terme de cette phase, le degré de renseignement de la base est apparu très hétérogène :

- c'est sur la période 1995-2013 que les volumes prélevés annuellement sont les mieux renseignés (Illustration 32), notamment pour les ouvrages AEP pour lesquels 80 % des volumes sont renseignés (dont seulement 3 % sont des volumes estimés) ;
- les volumes agricoles sont dans l'ensemble encore peu connus. Seulement 44 % des chroniques des points d'eau d'irrigation sont renseignées et au total seulement un tiers des volumes attribués peuvent être considérés comme validés ;
- les volumes thermaux sont les moins bien renseignés (30 % seulement des volumes sont connus dont 9 % sont estimés).

---

<sup>17</sup> Cette base sera appelée par la suite « base des volumes GAIA ».

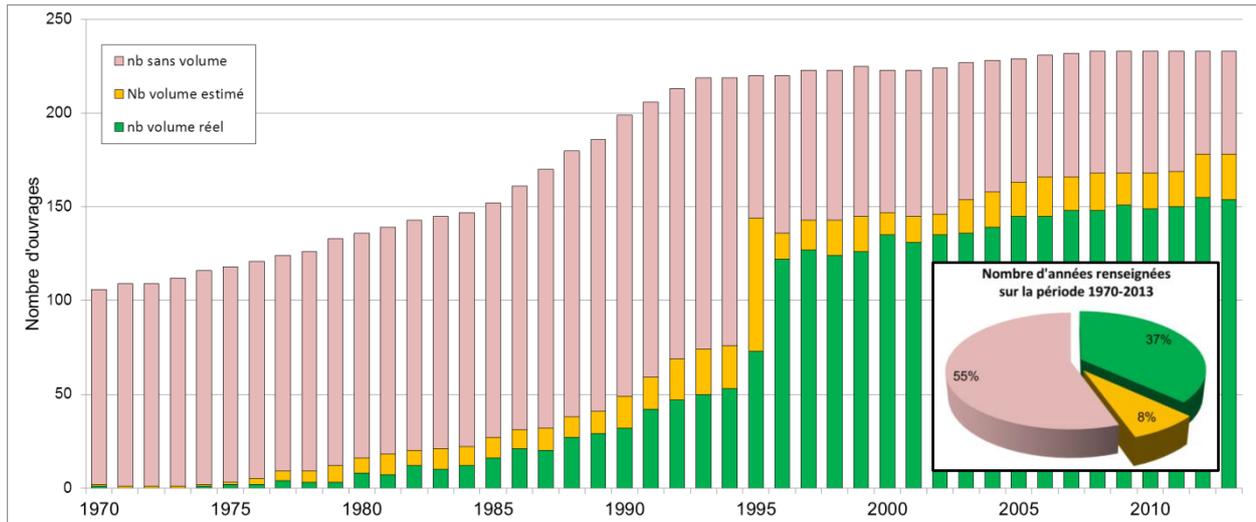


Illustration 32 : Nombre de volumes annuels renseignés par année sur l'ensemble des ouvrages exploitables - état fait en juin 2015 (Wuilleumier, et al., 2015)

Suite à cette première phase, le travail de collecte de données s'est poursuivi en adoptant une démarche différente selon l'usage de l'ouvrage : agricole (cf. chapitre 4.3), AEP (cf. chapitre 4.4), thermal (cf. chapitre 4.5) et autres usages (cf. chapitre 4.6).

## 4.2. LA NOTION DE VOLUME PRÉLEVÉ

Au préalable, et afin de faciliter les sollicitations auprès des exploitants, il a été nécessaire de préciser la notion de « volume prélevé », notamment au regard de l'utilisation de ces données pour la modélisation hydrodynamique future. Ainsi, **les volumes renseignés dans la base sont ceux qui modifient les écoulements naturels dans l'aquifère car générés de manière artificielle.**

Cette modification peut prendre des formes différentes selon la nature du point de prélèvement :

- **Prélèvements au niveau d'une source :**
  - Si la **source a été aménagée par un puits au droit de celle-ci** dans lequel un pompage est effectif, les prélèvements impactent le débit naturel de la source, augmentant artificiellement le débit qui serait sorti naturellement de l'aquifère.
    - ⇒ les volumes à considérer correspondent aux volumes effectivement prélevés.
  - Si la **source alimente par écoulement gravitaire un réservoir** dans lequel on vient pomper ou si les prélèvements sont opérés en aval de la source : les prélèvements n'impactent pas les écoulements dans l'aquifère.
    - ⇒ **Les prélèvements souterrains sont alors considérés comme nuls, les prélèvements se faisant sur des eaux de surface.**
- **Prélèvements au niveau d'un forage :**
  - Si le **forage est équipé d'une pompe**
    - ⇒ Les volumes prélevés sont ceux pompés.
  - Si le **forage est artésien**, deux cas sont distingués :

- soit il est **équipé d'une tête étanche et d'un système de vannes** empêchant tout écoulement au travers du forage par artésianisme, lorsque celui n'est pas utilisé
  - ⇒ les volumes à considérer sont uniquement ceux prélevés lorsque les vannes sont ouvertes et/ou ceux obtenus par pompage.
- soit il n'est pas équipé d'une tête de puits, générant un écoulement continu par artésianisme
  - ⇒ Les volumes prélevés retenus sont ceux correspondant au débit d'artésianisme : il s'agit d'une « perte d'eau » pour l'aquifère.

### **4.3. RECONSTITUTION DES CHRONIQUES DE PRÉLÈVEMENTS AGRICOLES**

La totalité des ouvrages agricoles se trouvant dans le département des Landes, le BRGM a pris contact avec l'Association de Gestion de l'Irrigation Landaise (AGIL - division de la Chambre d'Agriculture des Landes) afin de procéder à un partage de données. Cette démarche a eu pour but de s'assurer de la cohérence des volumes agricoles prélevés issus des fichiers de redevance de l'AEAG et du bon rattachement des prélèvements aux forages et sources connus. Prendre ainsi contact avec un acteur œuvrant au plus près des irrigants a permis de préciser le mode d'exploitation et de fonctionnement des ouvrages, ainsi que les dates de création de ceux-ci.

Le travail a été réalisé en plusieurs phases :

- croisement des bases de données disponibles (Banque du Sous-Sol au BRGM, base redevance de l'AEAG, base de données AGIL, cf. chapitre 4.3.1) ;
- prise de contact avec les exploitants concernés, rencontre téléphonique et/ou sur place pour préciser les modes de fonctionnement et la date de création du ou des ouvrage(s), ainsi que pour collecter les données de prélèvement annuel le cas échéant encore connus par le propriétaire (cf. chapitre 4.3.1) ;
- finalisation des chroniques de prélèvement annuel au travers de la reconstitution des données manquantes sur la base des informations collectées auprès des irrigants (cf. chapitre 4.3.2).

Un bilan de ce travail de constitution des prélèvements annuels agricoles est dressé au chapitre 4.3.3. En complément, des données de prélèvements mensuels ont été collectées auprès d'irrigants durant l'été 2016. Ces éléments sont présentés au chapitre 4.3.4.

#### **4.3.1. Croisement avec la base AGIL et échange avec les irrigants**

L'AGIL a été créée officiellement fin 2008, afin de représenter collectivement les irrigants dans le cadre de la procédure mandataire de renouvellement des autorisations de prélèvements à usage agricole. Elle sollicite chaque année les irrigants afin de comptabiliser les prélèvements en eau. Elle dispose ainsi d'une base de données (issu à l'origine de celle de la DDTM 40) relative aux volumes déclarés depuis 2011 par les agriculteurs au niveau de chacun des ouvrages que ces derniers possèdent. Le mode de fonctionnement de l'exploitation (nombre et caractéristiques des ouvrages, présence de réservoir, reprise en rivière, ...) est également disponible au travers des registres des autorisations détenues par les exploitants au titre de la loi sur l'eau. Dans la base AGIL, chacun des ouvrages est identifié par un code spécifique (différent de l'indice national BSS) nécessitant ainsi au préalable d'effectuer une recherche de correspondance entre les ouvrages connus du BRGM et ceux de l'AGIL.

À partir des informations présentes dans chacune des bases (nom de l'exploitant, profondeur de l'ouvrage, localisation, etc.), une première correspondance a été obtenue. Ce rapprochement des bases a permis de porter à 70 le nombre d'ouvrages agricoles exploitant potentiellement les aquifères profonds du Sud du Bassin aquitain mais a aussi révélé certaines incohérences sur la période 2011-2014 entre les volumes prélevés déclarés à l'AGIL et ceux de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (AEAG). Les exploitants furent ensuite sollicités pour valider les volumes prélevés depuis la mise en exploitation de leur(s) ouvrage(s).

Les 70 forages recensés sont exploités par 37 irrigants. Parmi ceux-ci, 13 ont été rencontrés directement sur le terrain, 17 ont échangé par email ou par téléphone, 2 ont refusé de transmettre des informations et 5 n'ont jamais répondu. Ces échanges ont permis de favoriser la récupération des historiques de volumes, en particulier de savoir si les forages avaient été exploités pour les années le plus anciennes, (Illustration 33) et de faire le point sur certains ouvrages (localisation, date de mise en exploitation, usage actuel et passé, ...) qui étaient jusqu'ici inconnus. La différence entre la courbe bleue et le haut des histogrammes mesure le nombre d'ouvrages pour lesquels des volumes prélevés demeurent inconnus après cette phase d'enquête.

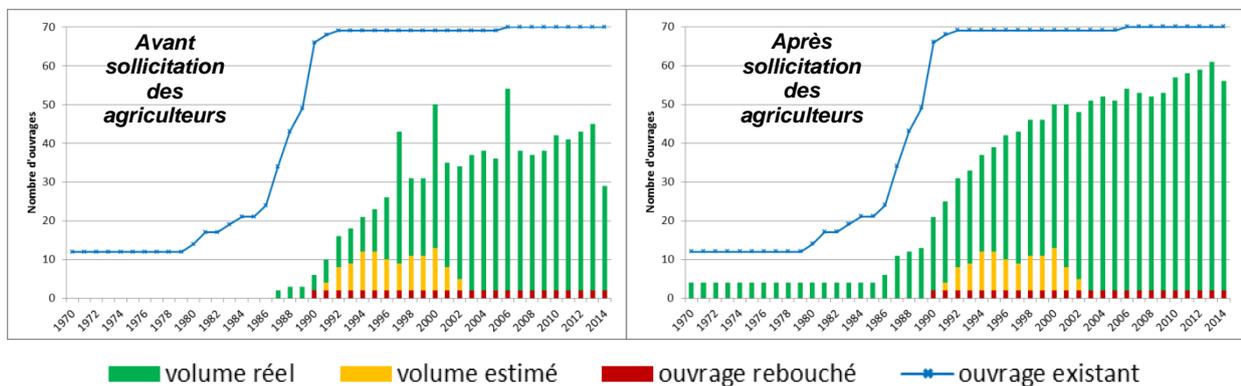


Illustration 33 : Évolution de la reconstitution des chroniques de prélèvements agricoles : nombre d'ouvrages avec type de volume intégré avant et après sollicitation des irrigants<sup>18</sup>

Les échanges avec les agriculteurs et la collaboration avec l'AGIL ont surtout permis de mettre en lumière la diversité et la complexité du mode de fonctionnement des systèmes d'irrigation, ainsi que la difficulté de remonter au volume prélevé par ouvrage. Quelques cas particuliers mais non singuliers illustrent cette difficulté et rendent compte de la nécessité de cette démarche pour reconstituer les chroniques d'exploitation des ouvrages :

- En 2014, le déploiement et l'utilisation des compteurs volumétriques ne sont pas encore systématiques et les déclarations faites par certains exploitants ne s'appuient que sur des estimations des volumes prélevés réalisées à partir du nombre d'heures de fonctionnement de la pompe et de son débit moyen ;
- Les déclarations faites par certains exploitants englobent l'ensemble des prélèvements effectués aussi bien en forage que sur les eaux de surface. Il est ainsi apparu que, malgré des volumes cohérents dans les bases de l'AGIL et de l'AEAG, les prélèvements déclarés ne concernaient pas spécifiquement le(s) forage(s) et considéraient également les prises

<sup>18</sup> Un volume noté comme étant de type réel peut l'être pour trois motifs différents : 1/ il est considéré comme mesuré dans les bases de l'AEAG, 2/ il est indiqué comme mesuré à l'aide d'un compteur par l'exploitant ou dans une autre base et 3/ le forage est connu comme n'ayant pas été prélevé dans l'année : c'est en particulier ce dernier cas qui est observé sur la période 1970-1980 dans l'illustration 33.

d'eau en rivière ou dans les lacs. Certains exploitants possèdent cependant le détail des prélèvements permettant d'évaluer le ratio des volumes prélevés en forage et ceux en eau de surface. La récupération de cette information est primordiale pour l'estimation des volumes soutirés aux nappes ;

- Les données de redevance ne font pas toujours état de la répartition d'un volume global déclaré entre les ouvrages raccordés à ce volume. Dans certains cas, l'aquifère capté par ces ouvrages n'est pas le même et une ventilation par ouvrage est nécessaire afin de limiter le risque d'erreur.

La connaissance du mode de fonctionnement permet de comprendre à quoi font référence les volumes déclarés à l'AEAG et/ou à l'AGIL et permet de corriger les volumes qui sont initialement intégrés en base.

#### **4.3.2. Reconstitution des chroniques par estimation des volumes annuels manquants**

La compilation des informations disponibles auprès de l'AEAG, de l'AGIL et des agriculteurs n'a cependant pas permis de reconstituer la totalité de la chronique de prélèvements pour 68 ouvrages, notamment pour les données antérieures à 1991 où les données sont quasi inexistantes. Il a donc été nécessaire de réaliser des estimations pour les volumes manquants. Plusieurs approches ont été testées. Elles sont présentées ci-après et un bilan en est dressé en 4.3.3.

#### ***Analyse en composantes principales (ACP)***

L'Analyse en Composante Principale est une technique d'analyse qui permet d'identifier des corrélations entre différentes séries de données numériques. Cette technique a été utilisée dans un premier temps avec des données climatiques, puis, dans un second temps, sans celles-ci en se concentrant sur les données de prélèvements disponibles.

- **Corrélation entre les conditions climatiques et l'irrigation**

La première approche retenue fut d'évaluer le lien entre les prélèvements effectués par les agriculteurs et les conditions météorologiques, notamment la Pluie et l'ETP. Les données utilisées sont celles élaborées par Météo-France au travers de la grille SAFRAN qui fournit l'évolution journalière de ces deux variables de 1958 à 2014. Celles-ci sont spatialisées à la maille de 64 km<sup>2</sup>.

Au préalable, afin de comparer les conditions climatiques sur la totalité de la région landaise couverte par les ouvrages agricoles de la base GAIA, une comparaison de la pluie et de l'ETP annuelle a été faite entre 3 mailles SAFRAN (Illustration 34). Le maillage de la grille SAFRAN (8 km par 8 km) donne l'échelle de cette illustration.

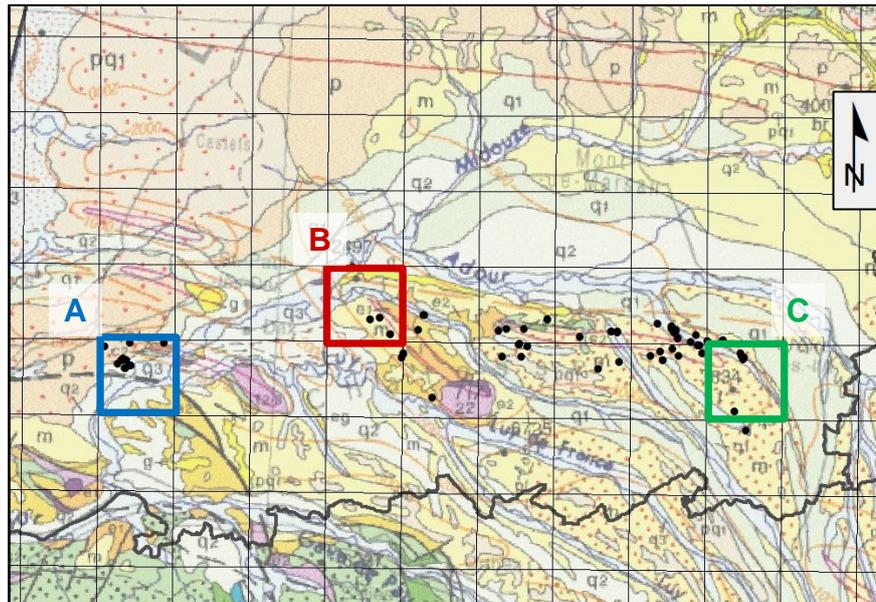


Illustration 34 : Ouvrages agricoles de la base de prélèvements GAIA et maillage SAFRAN (8 km x 8 km) - les points noirs sont les ouvrages agricoles. Les mailles sélectionnées pour la comparaison sont identifiées par une lettre

La comparaison des précipitations et ETP de ces trois mailles sur la période 1970 - 2014 (Illustration 35) fait apparaître des évolutions relativement semblables d'une année sur l'autre sur l'ensemble du territoire couvert par les ouvrages agricoles de la base GAIA. On observe toutefois des précipitations légèrement plus importantes sur les mailles situées à l'ouest, davantage proches du littoral.

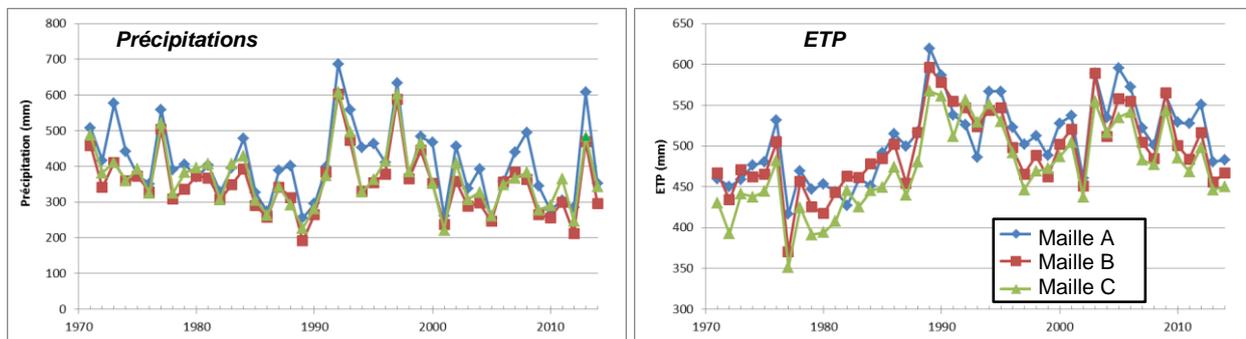


Illustration 35 : Comparaison des précipitations et ETP annuelles sur 3 mailles SAFRAN (source des données : MétéoFrance)

L'analyse en composantes principales (ACP) a porté sur les données de la période d'irrigation<sup>19</sup> des années 2005 à 2014 (années pour lesquelles le maximum de données de prélèvements est connu). Les variables suivantes ont été considérées :

- les volumes prélevés par exploitant (tous ouvrages confondus) ;
- les précipitations ;
- l'ETP ;

<sup>19</sup> La période d'irrigation s'entend ici comme s'étendant de juin à septembre, cf. suite.

- le « stress hydrique » qui correspond ici à la notion de besoin en eau non satisfait. Celui-ci est calculé par rapport au besoin en eau du maïs (cette culture est prépondérante dans le secteur mais ne peut pas cependant être généralisée à l'ensemble des parcelles agricoles) de la manière suivante :

$$\text{Stress hydrique annuel} = \sum_{i=1}^n [\text{Besoin en eau du maïs}^{20} - (\text{Pluie} - \text{ETP})]$$

où  $n$  est le nombre de jours d'irrigation fixé à 107 (cf. ci-après)

Pour chaque jour, deux contraintes sont appliquées dans le calcul :

- si  $[\text{Besoin en eau} - (\text{Pluie} - \text{ETP})] < 0$  alors le besoin en eau est satisfait : le stress hydrique est nul
- si  $[\text{Besoin en eau} - (\text{Pluie} - \text{ETP})] > 0$  alors le besoin en eau existe mais reste plafonné à 5,4 mm/jour

Cette variable est calculée au pas de temps journalier, puis cumulée sur la période d'irrigation de chacune des années considérées. Cette période d'irrigation est différente pour chaque type de culture mais dans le cas du maïs, il apparaît que les forts besoins en eau se font deux semaines avant sa floraison jusqu'à trois semaines après (source : site internet [www.arvalis-infos.fr](http://www.arvalis-infos.fr), article du 16 novembre 2017). Si le pic de la demande en eau apparaît donc en juillet et août, la période d'irrigation s'étend généralement sur juin-début septembre (Illustration 36). Celle-ci est cohérente avec la période d'irrigation déduite des recensements des volumes prélevés par les agriculteurs durant la campagne d'irrigation de 2016 (chapitre 4.3.4). Sur la base de ces informations, la période d'irrigation retenue pour chaque année s'étend du 1<sup>er</sup> juin au 15 septembre, soit 107 jours.

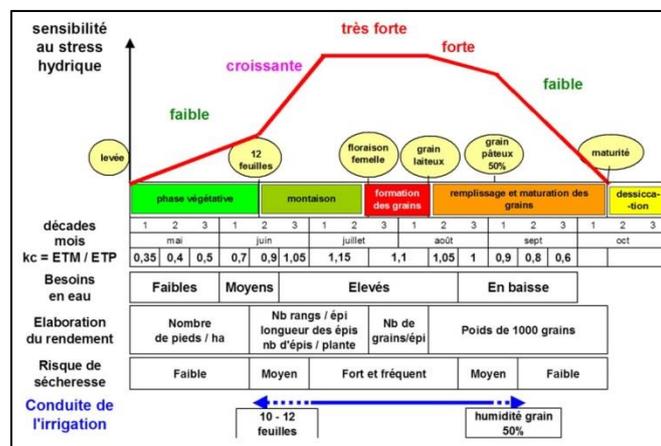


Illustration 36 : Cycle du maïs et sensibilité au stress hydrique (source : site internet [www.arvalis-infos.fr](http://www.arvalis-infos.fr), article du 15 juin 2017)

Sur les 28 exploitants, seulement 6 ont présenté des coefficients de corrélation acceptables avec l'une ou plusieurs des variables climatologiques sur la période 2005-2014 (cadres verts de l'illustration 37). Pour ces 6 cas, un nouveau coefficient de corrélation a été calculé en prenant en compte la totalité de la chronique d'exploitation disponible. Pour les 6 cas, les coefficients de corrélation n'étaient plus satisfaisants et il s'avérait difficile de prolonger les prélèvements à partir des corrélations obtenues : aucune estimation ne fut effectuée sur la base de cette ACP.

<sup>20</sup> Estimé à 575 mm d'eau par an (source : <http://www.semencesdefrance.com/dossier/les-besoins-du-mais/>), soit 5,4 mm par jour pendant la période d'irrigation supposée durer 3,5 mois (1<sup>er</sup> juin au 15 septembre).

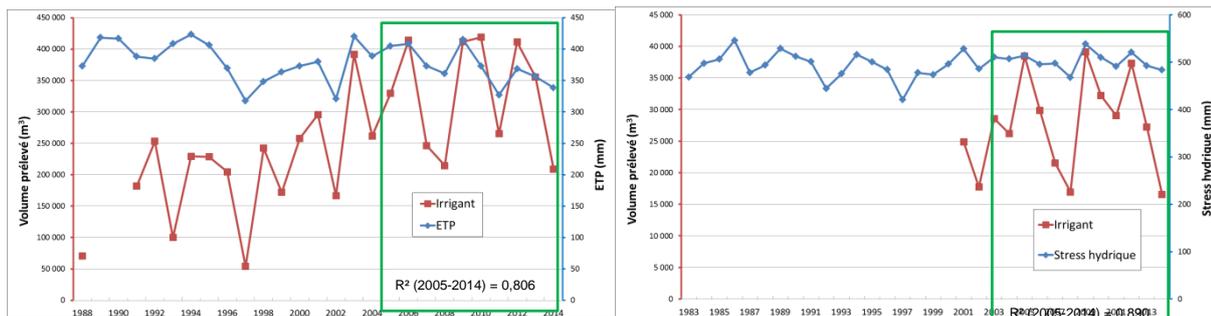


Illustration 37 : Corrélations obtenues entre variables climatiques et prélèvements des irrigants

- **Corrélation des prélèvements annuels entre exploitants**

Une deuxième ACP a été effectuée, cette fois sans considérer les données climatologiques. Le but était de vérifier si certains exploitants avaient des modes de fonctionnement similaires et s'il était possible de se baser sur ces liens pour estimer les années manquantes. En effet, leur proximité géographique laissait envisager, sous réserve de pratiques culturales similaires, des variations interannuelles des besoins en eau présentant un comportement similaire car ils sont soumis aux mêmes conditions climatiques.

Les chroniques de 9 ouvrages - correspondant à deux exploitations - ont pu être reconstituées de cette manière car les prélèvements annuels effectués s'avéraient corrélés de manière satisfaisante à ceux effectués par d'autres exploitants.

Les deux exemples ci-après (Illustration 38) illustrent la méthodologie employée. Les exploitants ne sont pas explicitement nommés et les estimations présentées font références à des volumes totaux (tous les ouvrages d'un même exploitant ont été considérés ensemble). Un travail de ventilation est par la suite effectué pour les exploitants possédant plus d'un ouvrage.

Dans le premier cas, l'ACP montre que les prélèvements annuels des exploitants A et B sont bien corrélés sur la période 2004-2014 ( $R=0,936$ ). Sur cette même période, les prélèvements de l'exploitant A représentent en moyenne 40% des prélèvements de l'exploitant B. Ainsi l'estimation des prélèvements antérieurs à 2004 reprend ce ratio pour reconstituer la chronique des prélèvements de l'exploitant A jusqu'en 1991 (année du dernier volume connu de l'exploitant B). De la même manière, le second exemple montre que les volumes de deux années (2003-2004) sont reconstitués par l'application d'un ratio moyen calculé sur la période 2001-2014 (période présentant un coefficient de corrélation satisfaisant).

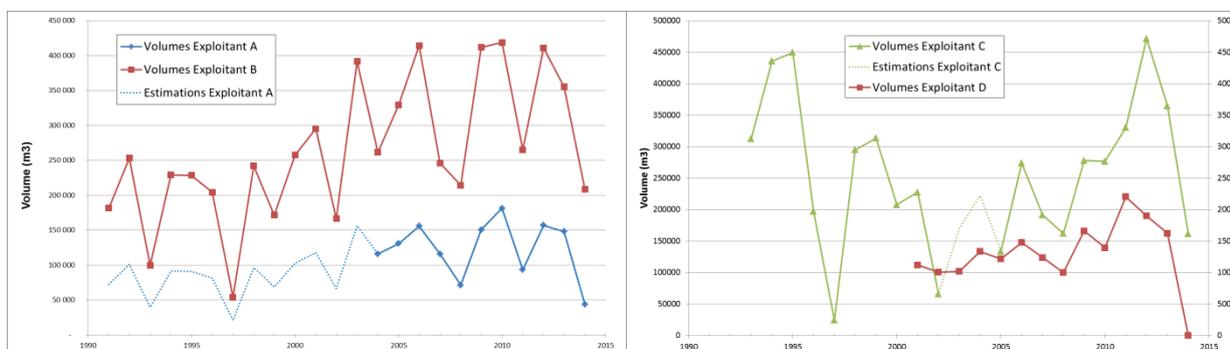


Illustration 38 : Estimation des volumes annuels manquants à partir des corrélations de prélèvements de différents exploitants

### Autres méthodes d'estimations

9 ouvrages seulement ayant pu être estimés grâce à l'ACP décrite ci-avant, une dernière approche d'estimation devait permettre de compléter les années manquantes (majoritairement avant 1990) dans les chroniques. Pour cette estimation, les exploitants restants ont été considérés indépendamment les uns des autres et la moyenne de leur prélèvement annuel a été calculée. Cette moyenne, après s'être assuré de sa représentativité, fut généralisée à la totalité des années manquantes (Illustration 39). Cette méthode très simple présente l'avantage de matérialiser de manière visible l'estimation faite ; l'utilisation de la moyenne engendre par ailleurs une erreur moindre.

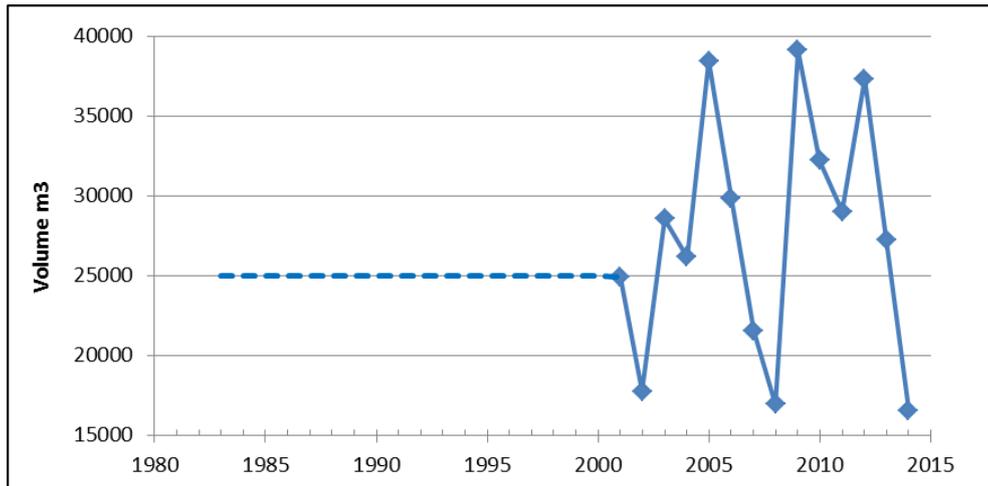


Illustration 39 : Exemple d'estimation des volumes annuels matérialisée par un plateau correspondant à la moyenne des prélèvements disponibles pour un exploitant (en pointillés : volumes estimés à la moyenne des prélèvements effectués sur la période 2001-2014)

Cette méthode a abouti à l'estimation d'un volume annuel de l'ordre de 250 000 m<sup>3</sup> par an, sur la période 1980-2014 (Illustration 40). L'année 1990 est celle pour laquelle le plus grand nombre d'estimations a dû être effectué, cette année étant à la jonction de la mise en exploitation des ouvrages (beaucoup de forages réalisés à la fin des années 1980) et les premiers volumes connus.

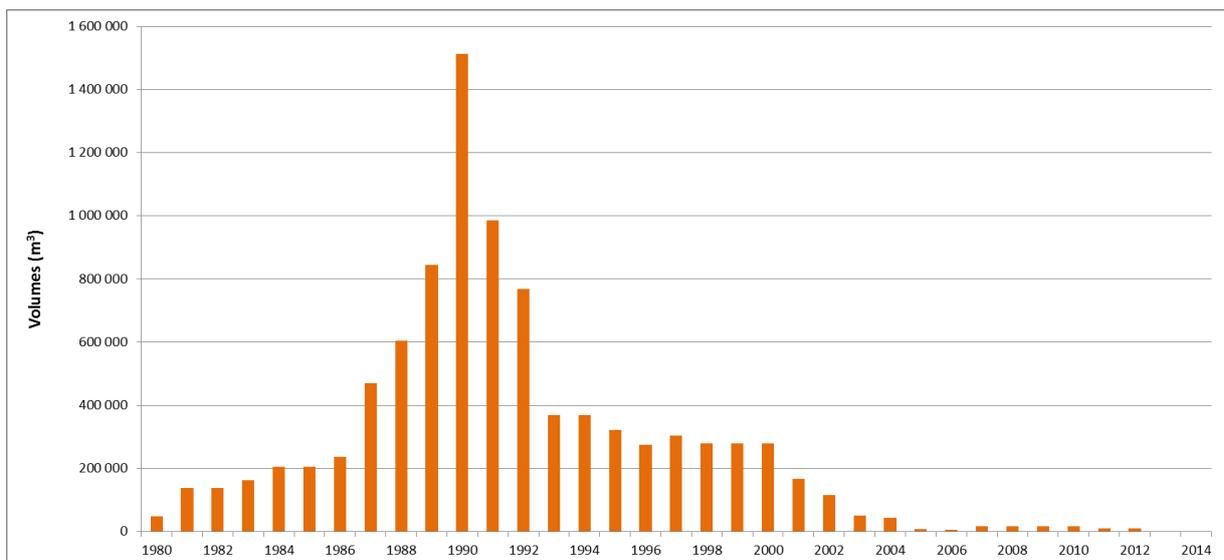


Illustration 40 : Volumes agricoles annuels estimés par la méthode de la moyenne

Une dernière estimation concerne les dates de création et de mise en exploitation des ouvrages. En effet, celles-ci sont inconnues (par les services d'état et les irrigants eux-mêmes) pour certains d'entre eux. Dans ces cas, l'année de création retenue dans la base correspond à celle du début de l'exploitation du plus ancien ouvrage agricole connu (parmi les 70 ouvrages recensés), soit 1980.

#### **4.3.3. Bilan de la reconstitution des chroniques de prélèvements agricoles annuels**

La démarche adoptée pour la reconstitution des chroniques de prélèvements agricoles montre l'importance d'échanger avec les irrigants eux-mêmes et les acteurs du territoire qui en sont proches (ici l'AGIL et la DDTM40) pour comprendre le mode de fonctionnement du système d'irrigation de chaque exploitant. Cette compréhension est indispensable pour préciser les volumes qui sont déclarés aux organismes d'état, lesquels peuvent intégrer à la fois des prélèvements en forage et des prélèvements d'eau de surface, voire des reprises d'eau en réservoir.

Cette démarche, combinée au déploiement plus systématique des compteurs d'eau au forage à partir de 2003, permet depuis d'avoir des estimations relativement précises des volumes prélevés. Pour les données plus anciennes, même s'il en existe dans les bases nationales, notamment celles de l'AEAG, les volumes réellement prélevés ne peuvent qu'être estimés. Dans le cadre de ce travail, la méthode d'estimation a reposé sur l'utilisation des ACP permettant d'évaluer le degré de corrélation entre les volumes prélevés et les conditions météorologiques d'une part et entre les volumes prélevés chez deux exploitants d'autre part. Dans le premier cas, les degrés de corrélation ne furent pas assez satisfaisants pour permettre d'estimer les volumes de prélèvements antérieurs à 2005. Ceci s'explique par le fait que les volumes d'irrigation dépendent en réalité de beaucoup d'autres facteurs que les conditions climatiques, nous citerons par exemple :

- le type de culture ;
- le type de sol qui déterminera notamment sa capacité à stocker de l'eau ;
- la rotation des cultures effectuée au cours du temps ;
- les différents fertilisants utilisés ;
- le mode d'irrigation ;
- le mode de fonctionnement des ouvrages, en particulier lorsque des ressources en eau différentes sont sollicitées (prélèvements en cours d'eau, lac, ...)
- la modification de la surface à irriguer au cours du temps ;
- la mise en place d'une nouvelle législation ou de restrictions conjoncturelles (arrêtés sécheresse).

La comparaison entre exploitants a toutefois donné de meilleurs résultats et a permis d'estimer 9 chroniques de prélèvements. Pour le reste, les estimations reposent sur le calcul du volume moyen prélevé à l'ouvrage. Cette méthode très simple est à mettre en regard des faibles volumes concernés (1.5 Mm<sup>3</sup> prélevés pour un usage agricole via une estimation pour un volume total prélevé de plus de 23 Mm<sup>3</sup> dans la base de prélèvements GAIA).

Au terme de ce travail, la grande majorité des chroniques de prélèvements agricoles a pu être reconstituée (Illustration 41). 3 chroniques restent cependant incomplètes : 2 ne disposent d'aucun volume, l'exploitant ayant refusé de transmettre l'information pour l'un et le propriétaire étant inconnu pour l'autre ; la troisième dispose de données très hétérogènes pour laquelle il est nécessaire d'avoir des informations supplémentaires pour estimer les volumes, le propriétaire n'ayant jamais répondu.

Les volumes prélevés pour les besoins agricoles (Illustration 42) restent assez faibles puisqu'ils dépassent rarement 3 Mm<sup>3</sup>/an depuis 1980. Ils sont toutefois assez concentrés géographiquement, en particulier autour des structures anticlinales, telles que celle d'Audignon. La décennie 1980 est marquée par l'essor d'ouvrages de prélèvements. Par la suite, leur nombre devient relativement stable. Les volumes réels ne sont connus qu'à partir de 1988 (au travers du déploiement plus systématique des compteurs) et ne représentent qu'à partir de 2003 plus de 50 % des volumes intégrés pour un usage agricole dans la base (Illustration 43). Avant 1980, soit les ouvrages sont connus comme non exploités (le volume réel est donc égal à 0), soit les ouvrages sont estimés non exploités (volume estimé égal à 0).

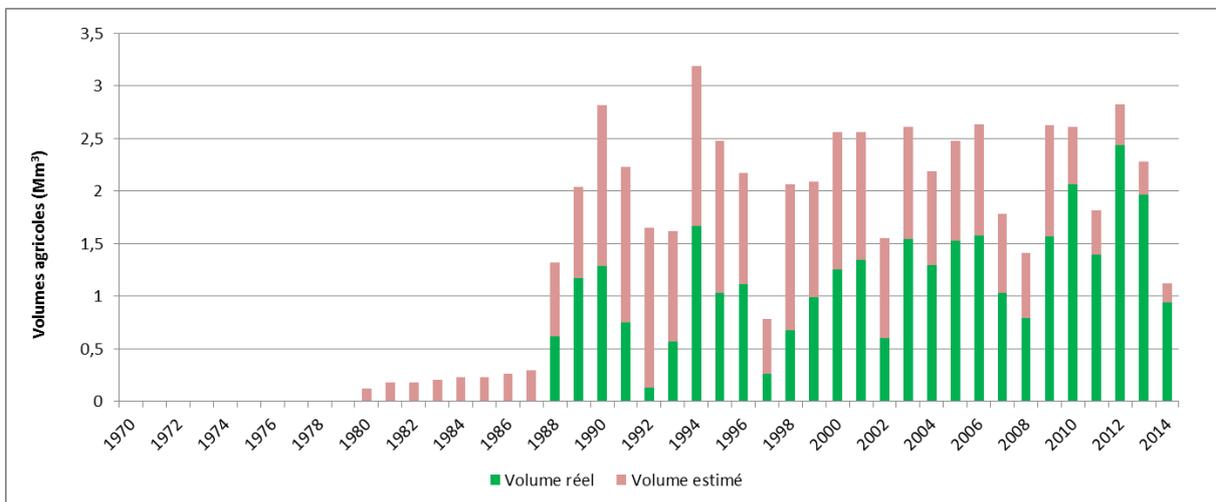
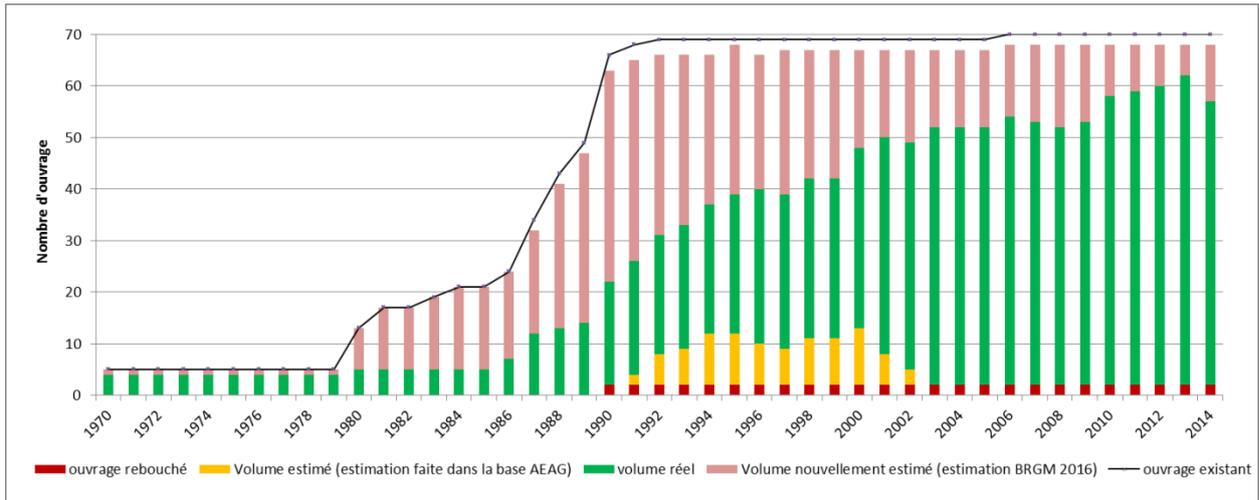


Illustration 42 : Volumes prélevés annuellement pour un usage agricole

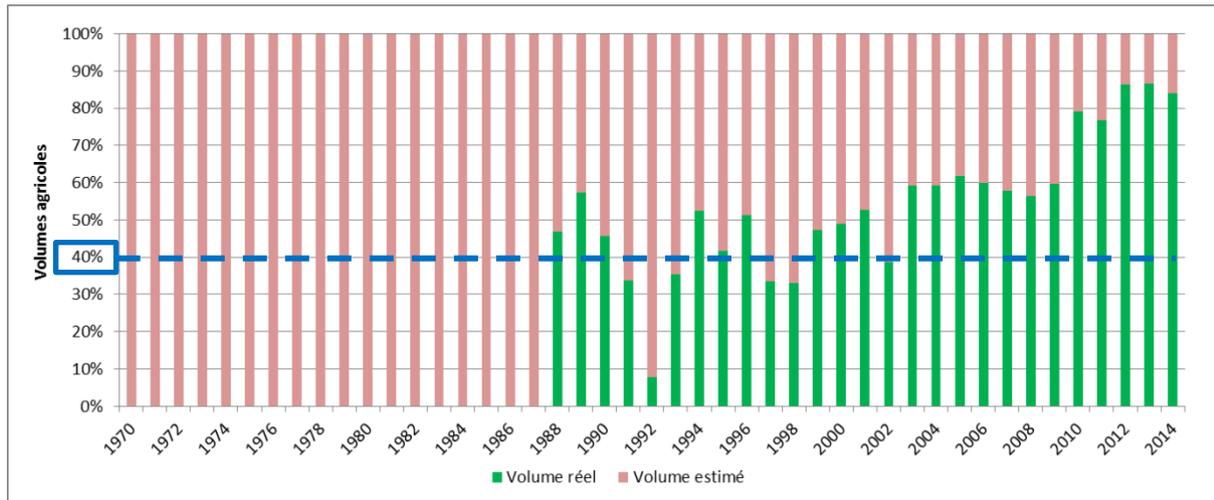


Illustration 43 : Répartition volume réel / volume estimé des prélèvements agricoles annuels

#### 4.3.4. Collecte de prélèvements mensuels agricoles

Parallèlement au travail de reconstitution des chroniques de prélèvements annuels, et dans la perspective des prochains travaux de modélisation, les prélèvements mensuels de quelques exploitants agricoles ont pu être collectés pour l'année 2016. Contrairement à la majorité des usages AEP et industriels, les prélèvements pour l'usage agricole ne s'effectuent que sur une période restreinte de l'année et leur sauvegarde continue à des pas de temps réguliers (relevés automatiques de compteurs) n'est pas fréquente. Ainsi, les modalités de prélèvements au cours de la saison d'irrigation ne sont pas connues avec précision. Afin d'accumuler de l'information quant aux pratiques d'irrigation, 17 exploitants choisis d'après les échanges précédents et/ou les quantités de volumes prélevés (cf. 4.3.1) ont été sollicités entre juin et octobre afin de faire un relevé mensuel du compteur :

- 11 ont finalement accepté d'effectuer le relevé mensuel ;
- 5 n'ont pas fait le relevé mais ont accepté d'estimer les prélèvements par mois sur la base du volume global qui sont ensuite ventilés sur la période d'irrigation (dates de début et de fin connues avec généralement des prélèvements continus) ;
- 1 exploitant a refusé de transmettre l'information.

À mi-décembre 2016, un seul exploitant n'a pas fourni ses estimations, 15 chroniques d'ouvrage sont donc complètes et donnent un aperçu des modalités de prélèvements des irrigants au cours de l'été 2016 (Illustration 44). Ceci apparaît d'autant plus important que les volumes prélevés par ces exploitants représentent depuis 2007 plus de 75 % des volumes prélevés et référencés dans la Base GAIA pour l'usage agricole. La saison d'irrigation a débuté pour les premiers exploitants fin juin pour se terminer début septembre, les prélèvements s'opérant à 94 % en juillet et août. Cet exercice pose les bases de la répartition au cours du temps des prélèvements annuels à usage agricole qui sera effectuée dans le cadre de la modélisation numérique. Selon les besoins, ce travail pourra être réitéré au cours de la saison 2017, certains agriculteurs ayant donné leur accord en ce sens.

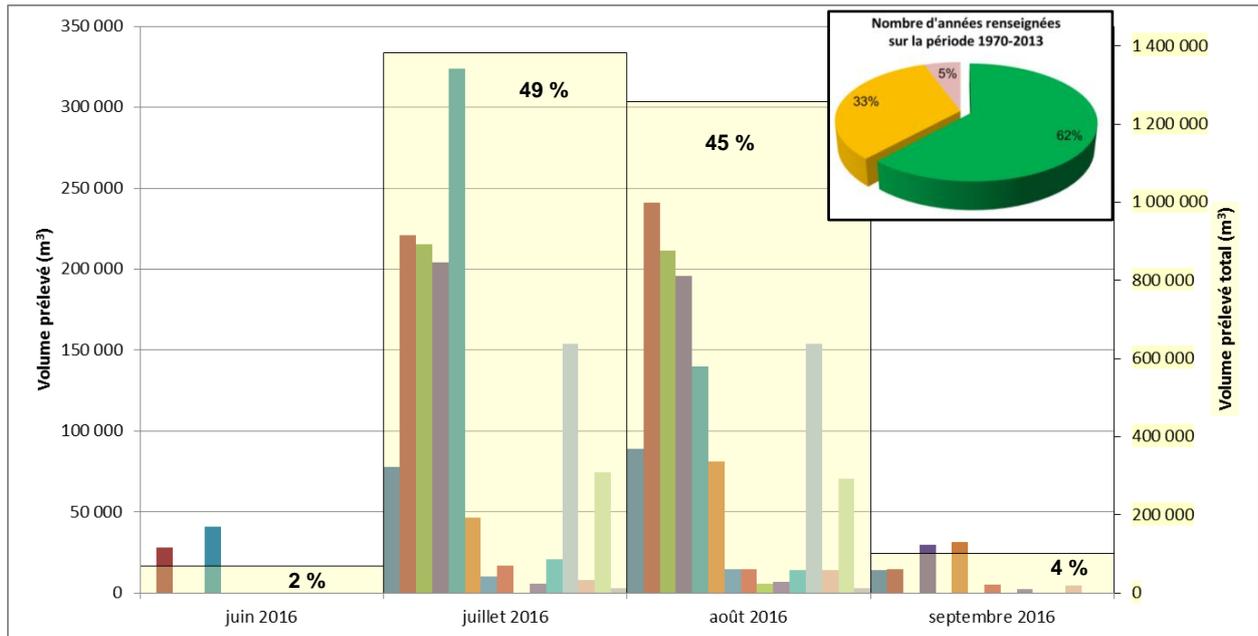


Illustration 44 : Répartition mensuelle des prélèvements agricoles pour 15 exploitants de la base des Volumes GAIA (chaque couleur correspond à un exploitant)

#### 4.4. RECONSTITUTION DES CHRONIQUES DE PRÉLÈVEMENTS AEP

La reconstitution des prélèvements AEP s'appuie principalement sur les données de déclarations faites au titre de la redevance auprès de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne. En phase 1 du projet, les données AEP 1996-2014 avaient pu être collectées. Un complément a été réalisé cette année suite à la transmission de données numériques de volumes sur la période 1991-1996, concernant au total 32 ouvrages AEP de la base (sur les 92 ouvrages recensés pour un usage AEP). Les données plus anciennes, se trouvant au format papier, ne seront malheureusement pas récupérables puisque l'Agence de l'Eau a indiqué que tous les dossiers de déclarations papier ante-2015 ont été détruits, la durée d'« utilité administrative » des redevances ayant été calée à 10 ans.

Dans la suite, on considérera comme volume estimé :

- Les volumes notés « forfait » dans la base des redevances Agence de l'Eau ;
- Les volumes estimés par l'exploitant en l'absence d'une mesure directe de leur part ;
- Les volumes estimés par nos soins selon différentes méthodes parmi lesquelles : interpolation linéaire entre deux années pour lesquelles le volume est connu, estimation sur la base de la population.

Des exemples sont donnés ci-après aux 4.4.1 et 4.4.2. Un bilan en est tiré au 4.4.3.

##### 4.4.1. Contact avec les propriétaires et les exploitants

La poursuite de reconstitution de chronique s'est faite par prise de contact auprès des propriétaires et exploitants des ouvrages AEP. Cette étape est nécessaire afin soit d'apporter un complément aux données de redevance (volumes anciens, explication de la forte variation

des volumes prélevés au cours du temps ou simple validation de chronique), soit de préciser le mode de fonctionnement des ouvrages (artésianisme naturel, étanchéité de la tête de forage, prélèvement au droit d'une source ou non).

L'ensemble des ouvrages AEP de la base Volumes GAÏA appartient à 20 exploitants. La liste ci-dessous présente les différents organismes contactés :

**Organismes d'état/public :**

- Agences Régionales de Santé (ARS),
- Différents Conseils Départementaux,
- Les mairies des différentes communes,
- Différentes Régies des eaux.

**Syndicats :**

- Syndicat Intercommunal d'Alimentation en Eau Potable (SIAEP) des Eschourdes,
- Syndicat Intercommunal de la Basse Vallée de l'Adour (SIBVA),
- Syndicat Mixte Départemental d'Eau et d'Assainissement de l'Ariège (SMDEA 09),
- Syndicat Mixte de l'Eau et de l'Assainissement de Haute-Garonne (SMEA 31),
- Syndicat d'équipement des communes des Landes (SYDEC 40),
- Syndicat Armagnac Ténarèze (SAT 32),
- Syndicat des eaux de Tursan,
- Syndicat de Grechez,
- Syndicat intercommunal des eaux du Marseillon,
- Syndicat mixte d'alimentation en eau potable du nord-est de Pau (SMNEP).

**Exploitants privés :**

- Véolia,
- Société d'Aménagement Urbain et Rural (SAUR),
- Société de Gérance de Distribution d'eau (SOGEDO).

La difficulté de l'exercice réside en partie dans la démultiplication des interlocuteurs nécessaires pour collecter l'ensemble des informations utiles. En effet, les communes ou groupements intercommunaux décident soit d'assurer eux-mêmes la gestion de leur service d'eau, soit de la confier à un délégataire, lequel demande alors au préalable l'autorisation au propriétaire de l'ouvrage de transmettre les données. Le passage en régie directe ou en gestion déléguée peut également s'accompagner d'une perte d'informations liée à la non transmission ou au non archivage des données ; il est ainsi difficile de récupérer les données antérieures au changement du mode de gestion. Enfin, les syndicats et entreprises spécialisées disposent de plusieurs antennes à l'échelle de leur territoire d'action, nécessitant parfois d'avoir recours à différents interlocuteurs pour avoir l'information voulue, les données de volumes prélevés n'étant pas toujours centralisées ou le mode de fonctionnement des ouvrages n'étant pas toujours connu de tous.

#### **4.4.2. Cas particulier des sources de l'Ariège**

La base des Volumes GAÏA recense 23 ouvrages sur le département de l'Ariège correspondant tous à des prélèvements de sources dont l'eau est issue des réservoirs cibles. Il apparaît, d'après les données de redevance, que les volumes affectés aux ouvrages sont relativement

faibles (21 sources sont prélevées à moins de 10 000 m<sup>3</sup> en 2012 et 2013, dont 5 sont inexploitées alors qu'une seule est prélevée à plus de 150 000 m<sup>3</sup>/an). Les mairies des 11 communes concernées ont été contactées ainsi que le Syndicat Mixte Départemental d'Eau et d'Assainissement de l'Ariège (SMDEA 09) afin de préciser i) les volumes qui sont déclarés à l'Agence de l'Eau et surtout ii) le mode de prélèvement de ces sources (prélèvement au droit des griffons ou alimentation gravitaire). Seules 2 mairies ont pu fournir des informations permettant de mettre à jour la base de données et le contact avec le SMDEA n'a pas permis de préciser davantage le mode d'exploitation des sources.

En parallèle, certaines des données recherchées ont été trouvées dans des rapports d'avis d'hydrogéologues agréés mais, à ce stade, la majeure partie des informations collectées ne permet pas de compléter les chroniques de prélèvements. Elles ont permis tout au plus de constater que les 3 sources, pour lesquelles le mode de prélèvement est connu, alimentent gravitairement un réservoir annexe dans lequel un pompage est effectué pour les besoins en eau potable et donc que les prélèvements n'impactent pas les écoulements dans l'aquifère. À ce titre, ces 3 sources sont identifiées comme « eau de surface » dans la base des volumes GAÏA et en sont donc exclues. La connaissance des volumes prélevés est cependant conservée puisqu'elle renseigne sur les ordres de grandeur des flux de sortie de l'aquifère, donnée utile pour la validation du futur modèle numérique.

Si un mode de fonctionnement gravitaire peut être supposé sur les 20 autres sources de l'Ariège, l'absence de preuves tangibles nécessite encore de considérer que les prélèvements effectués au niveau des sources impactent potentiellement l'aquifère. Aussi, des estimations sur les volumes prélevés ont dû être effectuées pour compléter les chroniques jusqu'ici constituées. Ces estimations ont été réalisées en fonction de la population alimentée (recensement fourni par l'INSEE) par lesdites sources, selon un besoin moyen estimé à 150 L/habitant/jour. Ces volumes estimés ont été comparés à ceux de l'AEAG afin d'assurer une cohérence d'ensemble.

Ces estimations se sont traduites pour les deux plus importantes sources de notre base (Francicots - 10765X0137 et Fontestorbes - 10766X0089) de la manière suivante :

- Belesta « FONTESTORBES » (110766X0089) : la corrélation des prélèvements avec la démographie n'est pas bonne sur les 20 dernières années (Illustration 45). En effet, à partir de 1998, l'augmentation des prélèvements sur la source n'est pas en lien avec une augmentation de la population qui n'a pas évolué. En se basant sur les prélèvements sur la période 1991-1997 et en considérant une démographie stable depuis 1970, la moyenne des prélèvements sur cette période (85 000 m<sup>3</sup>/an) a été reportée jusque dans les années 1970.

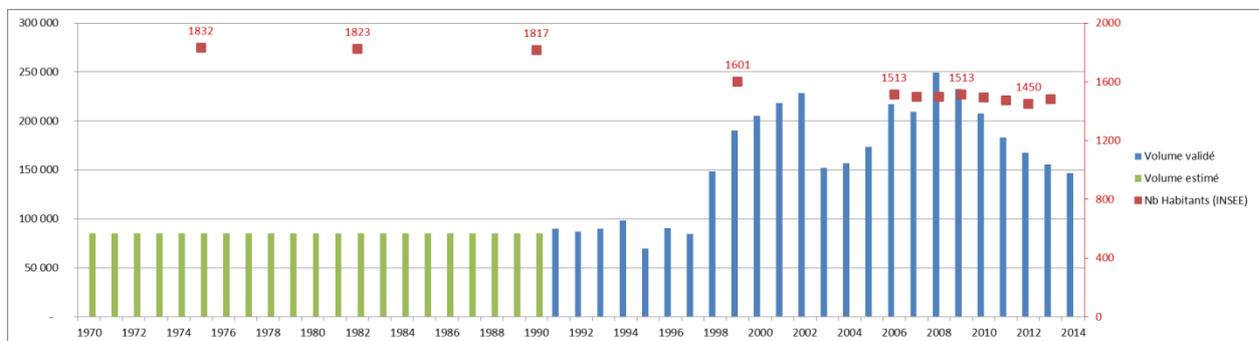


Illustration 45 : Chronique de prélèvements de la source Fontestorbes (10766X0089) en comparaison de la démographie

- Monferrier « FRANCICOTS » (10765X0137) : de la même manière que précédemment, l'ouvrage est prélevé à 50 000 m<sup>3</sup>/an entre 1996 et 2002. La démographie n'ayant que très peu évolué depuis les années 1970, le volume moyen prélevé est reproduit antérieurement à 1996.

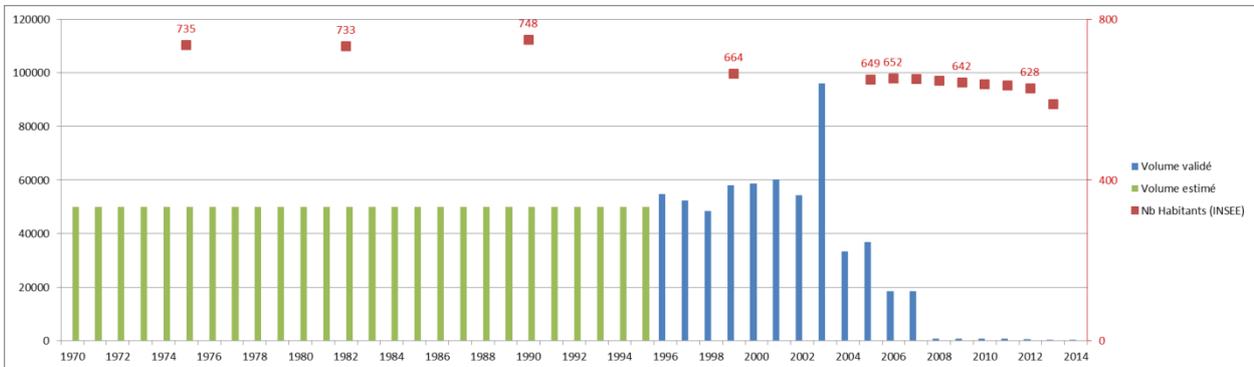


Illustration 46 : Chronique de prélèvements de la source Francicots (10765X0137) en comparaison de la démographie

#### 4.4.3. Bilan de la reconstitution des chroniques de prélèvements AEP

Parmi les 92 ouvrages AEP actuels de la base des volumes GAIA (Illustration 47), 30 correspondent à des sources (dont 23 en Ariège). La collecte des informations sur le mode de prélèvement a permis d'identifier 6 sources prélevées de manière gravitaire (donc prélèvement indirect), exclues depuis de la base Volumes GAIA, et une seule formellement identifiée comme prélevée au droit de la résurgence. 23 ont donc à l'heure actuelle un mode de prélèvement inconnu (dont 20 en Ariège).

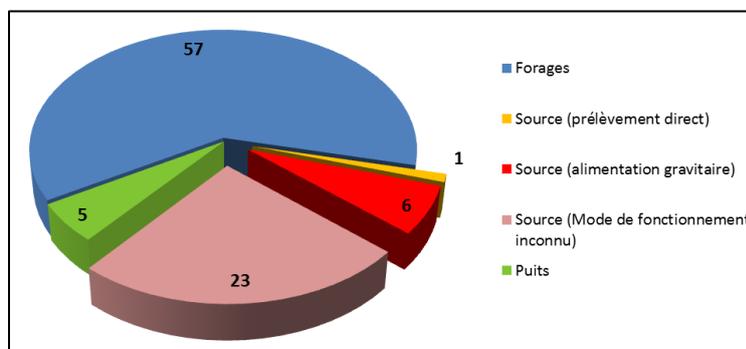


Illustration 47 : Répartition par nature des 92 ouvrages AEP de la base des volumes GAIA

Le bilan de reconstitution des prélèvements AEP (Illustration 48), qui ne prend donc en compte que les 86 ouvrages impactant potentiellement les aquifères, montre l'augmentation progressive du nombre d'ouvrages depuis les années 1970. Sur la période 1970-2013, en prenant en compte seulement les années où les ouvrages sont créés et donc en capacité d'être exploités, 2 757 volumes doivent être, à terme, renseignés dans la base. À fin novembre 2016, 57 % des volumes renseignés correspondent à des volumes réels et 33 % sont estimés. 10 % des volumes sont encore inconnus ; ils sont répartis sur 11 ouvrages qui ne disposent donc pas encore d'une chronique complètement reconstituée.

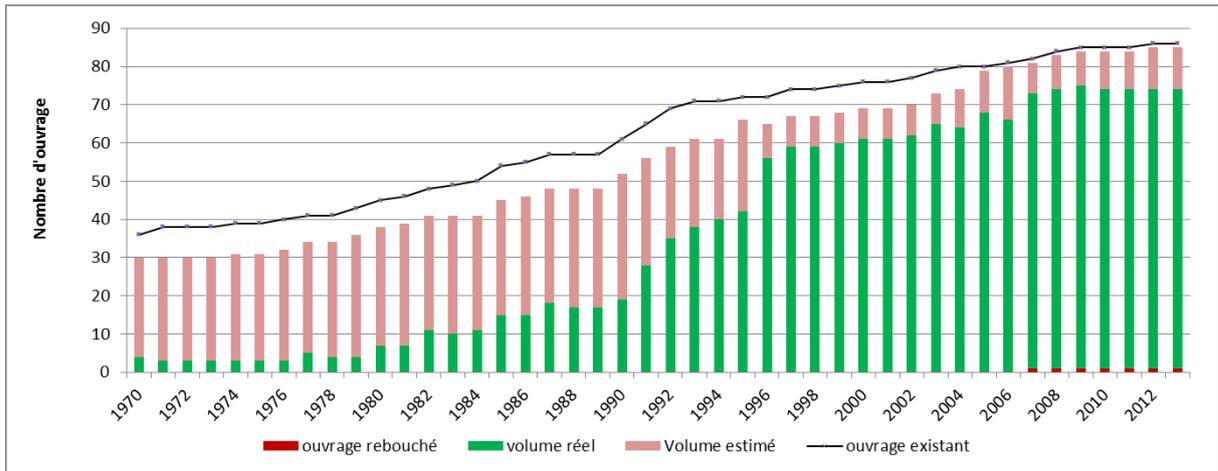


Illustration 48 : Nombre de volumes renseignés par année sur l'ensemble des ouvrages AEP

Les volumes prélevés pour les besoins AEP dans les aquifères profonds du sud du Bassin aquitain (Illustration 49) sont de l'ordre de 20 Mm<sup>3</sup>/an depuis le début des années 2000. Cette chronique apparaît relativement fiable depuis près de 25 ans puisque plus de 90 % des volumes renseignés dans la base correspondent à des volumes « réels » (Illustration 50). Ainsi, sur les près de 429 Mm<sup>3</sup> prélevés depuis 1991, 409 Mm<sup>3</sup> sont « réels », le reste correspondant à des volumes estimés. Cette forte proportion tient en premier lieu aux informations fournies directement par les exploitants et à celles figurant dans les bases de l'AEAG. Le pourcentage de volumes prélevés entre 1984 et 1990 tombe à 57 % de volumes réels (48,5 Mm<sup>3</sup> réels contre 37 Mm<sup>3</sup> estimés) ce qui reste relativement fort en l'absence de données de redevances : cette période bénéficie des volumes apparaissant dans les rapports synthétiques annuels du BRGM édités entre 1984 et 1999. Antérieurement, les volumes prélevés, de l'ordre de 5 à 10 Mm<sup>3</sup>/an, correspondent majoritairement à des volumes estimés.

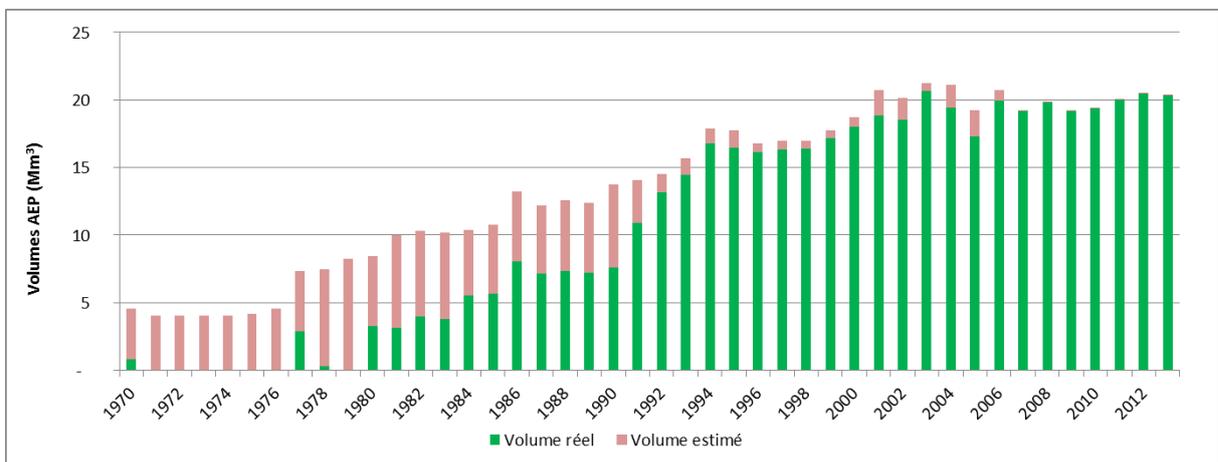


Illustration 49 : Volumes prélevés pour l'usage AEP

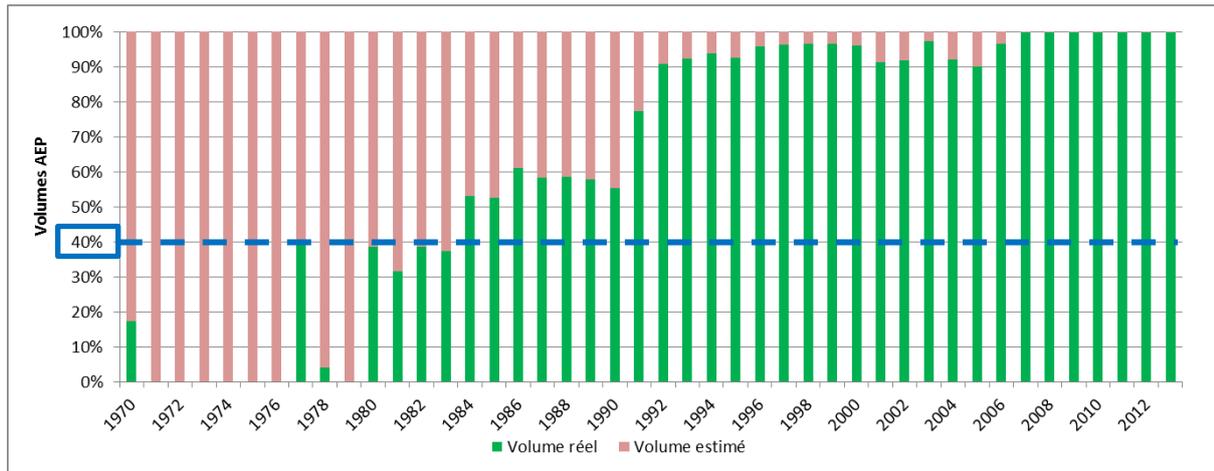


Illustration 50 : Répartition réel / estimé des volumes prélevés pour le besoin AEP

## 4.5. RECONSTITUTION DES CHRONIQUES DE PRÉLÈVEMENTS THERMAUX

Les ouvrages utilisés pour le thermalisme et identifiés dans la base des volumes GAIA sont tous situés dans les Landes et le Gers, et sont exploités par 7 stations thermales différentes. Afin de reconstituer la chronique des prélèvements de ces ouvrages thermaux, chaque station thermale a été approchée de façon indépendante. Au préalable, une fiche synthèse a été réalisée : elle a permis de faire le point sur l'ensemble des informations connues pour une station thermale (dates de créations et d'abandons des ouvrages, mode de fonctionnement des stations de pompage, volumes prélevés, etc.). Ces fiches ont mis ainsi en lumière les informations manquantes pour la reconstitution des chroniques et ont permis de faciliter les échanges avec les exploitants.

Ci-après, les démarches effectuées auprès de quelques exploitants sont présentées.

### 4.5.1. Régie des eaux de Dax

La Régie des eaux de Dax a été créée en novembre 1937 pour prendre en charge la distribution de l'eau potable. Le directeur du laboratoire de la Régie nous a indiqué que « *la Ville de Dax a mis en place une distribution d'eau thermale au cours de la première moitié du XXème siècle. Le réseau s'est vraiment développé au cours des années 50 et 60. Les établissements thermaux ont été progressivement raccordés à ce réseau jusque dans les années 70-80. A la fin des années 80, la distribution d'eau minérale aux particuliers a été arrêtée et un nouveau réseau thermal a été posé à l'usage exclusif des établissements thermaux et de l'alimentation des fontaines publiques* ». Les dates de raccordements des établissements thermaux au réseau thermal ne sont toutefois pas connues. Il mentionne également que depuis 1983, seuls 5 forages ont été exploités et le sont toujours aujourd'hui. Les 15 autres ouvrages étaient alors déjà abandonnés ou rebouchés.

Les échanges avec la Régie des eaux de Dax ont permis de collecter l'historique des prélèvements des 5 forages sur la période 1994-2015 (La Course (09771X0015), Esplanade/Fontaine Chaude (09771X0021), les Baignots (09771X0123), Boulogne 2 (09771X0124) et le Stade (09771X0290)). Ainsi, l'ensemble des volumes connus sur cette période correspond à des volumes réels (Illustration 51 et Illustration 52). Entre 1980 et 1993, seuls les volumes globaux de prélèvements sont connus au travers du rapport de synthèse des

connaissances hydrogéologiques sur les ressources thermo-minérales du Bas-Adour (Berard et al., 1997). Avec l'appui de la Régie des Eaux de Dax, une ventilation par ouvrage a été réalisée. Ils apparaissent dans le graphique comme des volumes estimés même si le volume global des prélèvements est réel. Antérieurement, les volumes prélevés sont davantage estimés sur la base des débits nominatifs de pompes et des dates de mise en exploitation.

Il apparaît dès lors que les volumes prélevés par la Régie des eaux de Dax pour le besoin thermal sont compris entre 1 et 2 Mm<sup>3</sup>/an depuis une vingtaine d'années. La production était plus importante avant. En effet, la Régie des eaux précise que « jusqu'en 1989, il existait un réseau de 20 km qui alimentait à la fois les établissements thermaux et des abonnés particuliers. À cette date, a été posé un nouveau réseau thermal à l'usage exclusif du thermalisme : établissements thermaux, fontaines publiques et production de boue thermale. La production a donc progressivement et nettement chuté sur les 3 saisons: 1989, 1990 et 1991. »

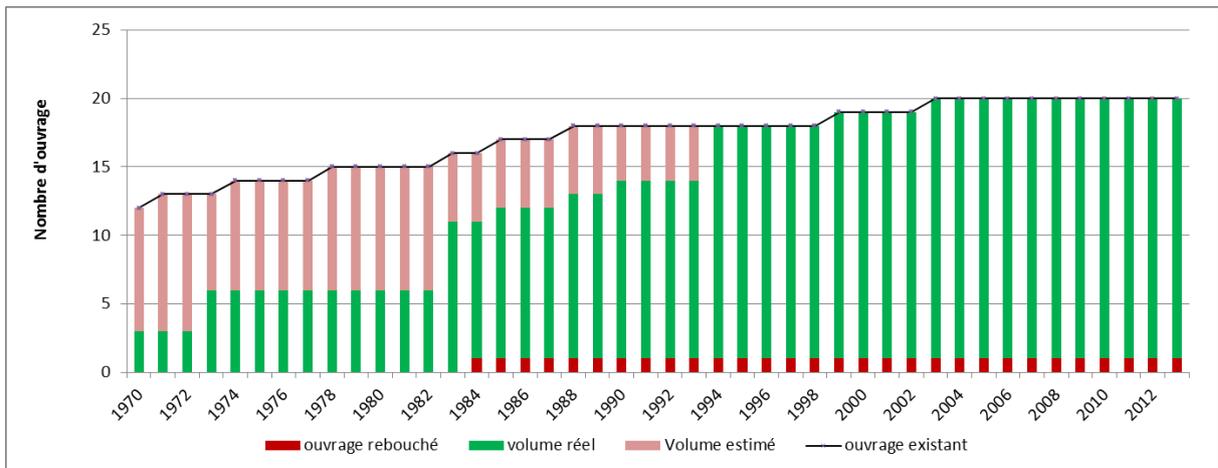


Illustration 51 : Nombre de volumes renseignés par année sur l'ensemble des ouvrages gérés par la Régie des eaux de Dax depuis 1970

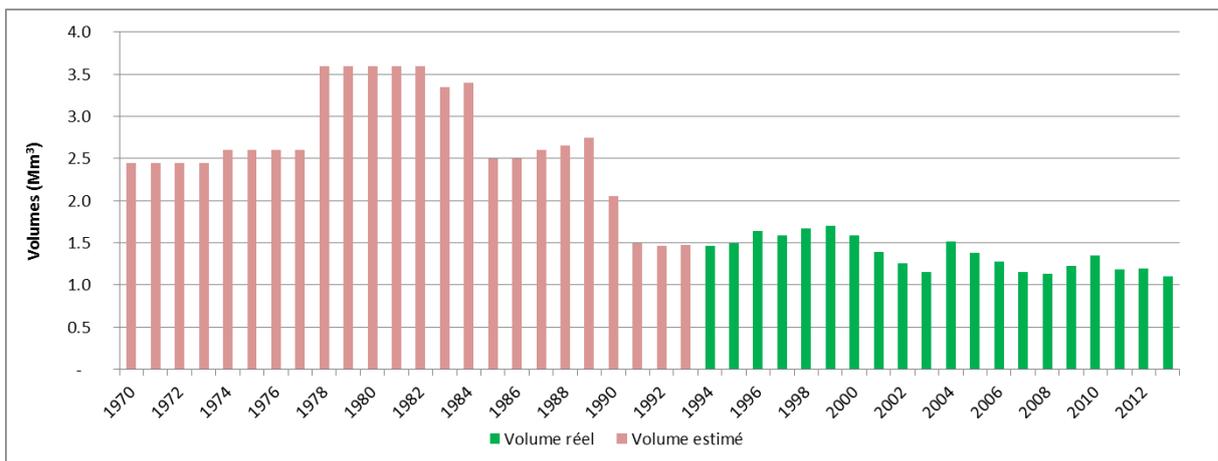


Illustration 52 : Volumes prélevés pour un usage thermal par la Régie des eaux de Dax (1970-2014)

#### 4.5.2. Chaîne Thermale du Soleil

La Chaîne Thermale du Soleil exploite les stations thermales de Préchacq-les-Bains depuis 1996, d'Eugénie-les-Bains depuis 1962 et de Barbotan-les-Therms depuis 1959. Trois fiches de synthèse de l'historique de développement des stations ont été élaborées pour servir de

support d'échange avec la Chaîne Thermale du Soleil, valider les informations collectées et effectuer des hypothèses de production. En parallèle, l'exploitant a transmis les prélèvements annuels sur les 15 ouvrages ayant été exploités depuis le début des années 2000. Les chroniques ont donc pu être complétées sur les 15 dernières années ; elles s'appuient à 98 % sur des volumes réels (Illustration 53). Il n'y a pas de sauvegarde des volumes prélevés antérieurement et les chroniques reconstituées s'appuient en grande partie sur des volumes issus des rapports synthétiques annuels du BRGM réalisés entre 1984 et 1999. À fin novembre 2016, 21 % des volumes annuels demeurent non renseignés sur la période 1970-1999. Il s'agit principalement des données relatives à la station de Préchacq-les-Bains qui, avant 1996, était exploitée par la Société des eaux et des thermes de Préchacq. D'après les données disponibles en 1995 (Mauroux et Danneville, 1996), 600 000 m<sup>3</sup> supplémentaires pourraient avoir été prélevés par an durant les années 1990 (Illustration 54) ce qui est cohérent avec les informations transmises par la Chaîne Thermale du Soleil qui fait état de « volumes probablement plus importants par le passé ». Des essais de reconstitution ont été proposés mais l'exploitant actuel n'a pu les valider. Il conseille de contacter la DREAL, les volumes annuels prélevés dans les années 1980 ayant été transmis d'après ses informations à la DRIRE. Des démarches de récupération auprès des services de la DREAL sont actuellement en cours.

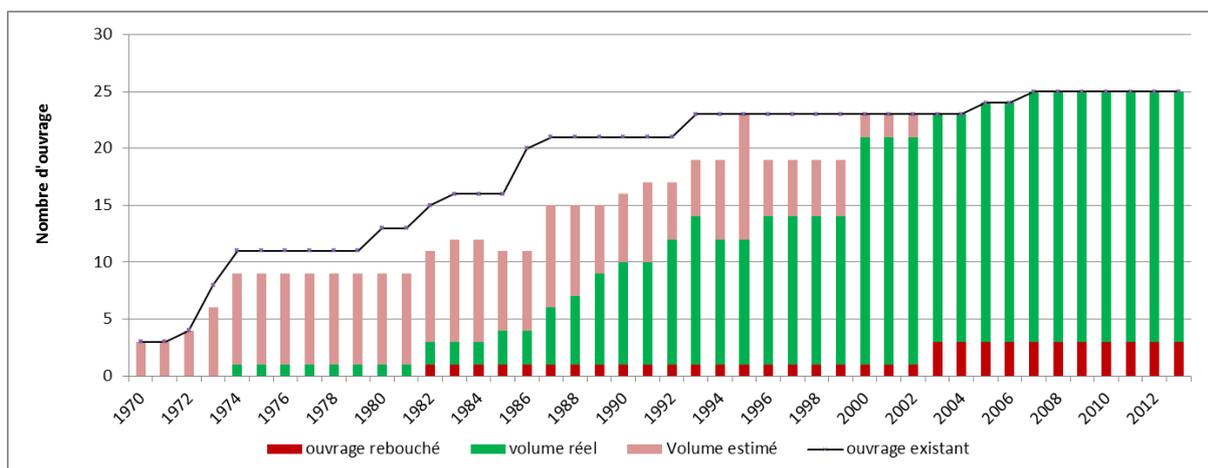


Illustration 53 : Nombre de volumes renseignés par année sur l'ensemble des ouvrages gérés par la Chaîne Thermale du Soleil (période 1970-2014)

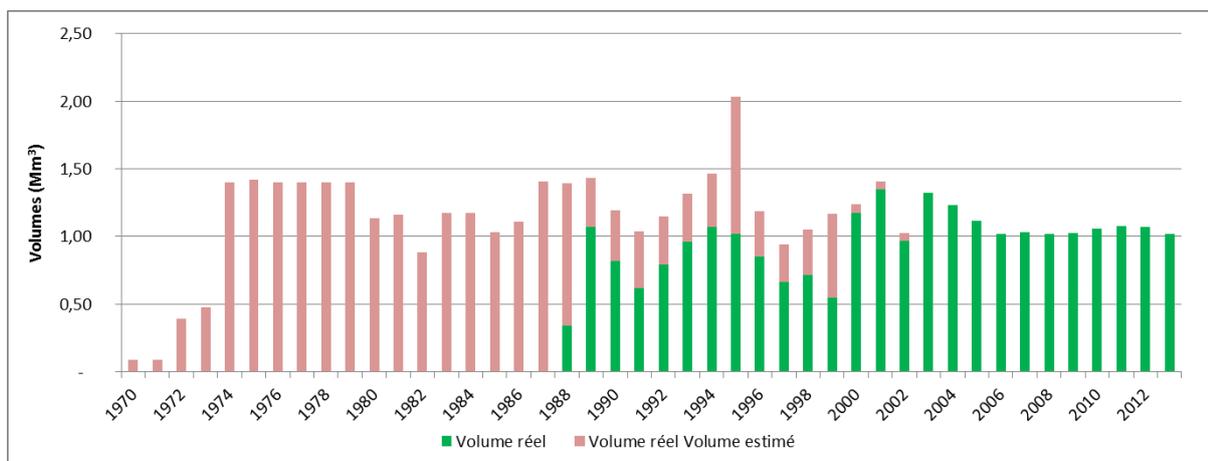


Illustration 54 : Volumes prélevés pour un usage thermal par la Chaîne Thermale du Soleil (1970-2014)

#### 4.5.3. Ancien établissement thermal de Tercis-les-Bains

L'ancien établissement thermal de Tercis-les-Bains constitue un cas singulier et a été entre autres à l'origine de la terminologie développée en début de chapitre afin de préciser la notion de « volume prélevé » (cf. chapitre 4.2). Pour mémoire, dans la base des volumes GAIA, ils correspondent à ceux qui modifient les écoulements dans l'aquifère car générés de manière artificielle.

La station thermale a exploité jusqu'en 2001 une ressource artésienne en eau minérale au moyen d'une source et d'un forage artésien.

La source « Bagnère 1 » (09764X0033/BAGNER) d'un débit moyen de 12 m<sup>3</sup>/h alimente des baignoires : l'ancien directeur de la station a indiqué que les prélèvements ne s'effectuaient pas au droit des griffons mais dans une bêche alimentée de manière gravitaire. En conséquence, l'absence d'impact sur l'aquifère conduit à considérer les prélèvements effectués sur la source comme étant des prélèvements en eau de surface.

Le forage artésien « Bagnère 2 » (09764X0053/F2), réalisé en janvier 1991 et débitant en artésianisme 2,1 m<sup>3</sup>/h, est situé dans une cave en béton construite autour de la tête de puits et munie d'une évacuation permettant d'évacuer le trop-plein du forage dans un ruisseau. Cette sortie, générée artificiellement, impacte l'aquifère : les volumes débités au travers du forage doivent donc être pris en compte dans la base des volumes GAIA. En l'absence de vannes de régulation, l'eau s'est écoulée continuellement depuis la création du forage en 1991. Les volumes annuels à considérer correspondent donc au débit d'artésianisme (2,1 m<sup>3</sup>/h, soit 18 409 m<sup>3</sup>/an).

La reconstitution de la chronique de prélèvements sur le forage (Illustration 55) s'est appuyée sur les hypothèses suivantes :

- la supposée stabilité de la piézométrie dans ce secteur amène à considérer que le débit naturel est constant sur la période 1991-2001 ;
- l'ancien gérant de l'établissement indique que « depuis cette date (2001), le débit d'artésianisme du forage Bagnère 2 a dû progressivement s'arrêter. En tout cas, il n'existe plus actuellement, sans que le forage ait été ni scellé, ni cimenté, ni rebouché ». La date effective d'arrêt de l'artésianisme n'est donc pas connue précisément. Sur la base des informations réunies, celle-ci a été fixée à 2008. Concernant les volumes « prélevés », une interpolation linéaire a été effectuée entre 2001 et 2008 (correspondant à une diminution annuelle de 2 300 m<sup>3</sup>/an).

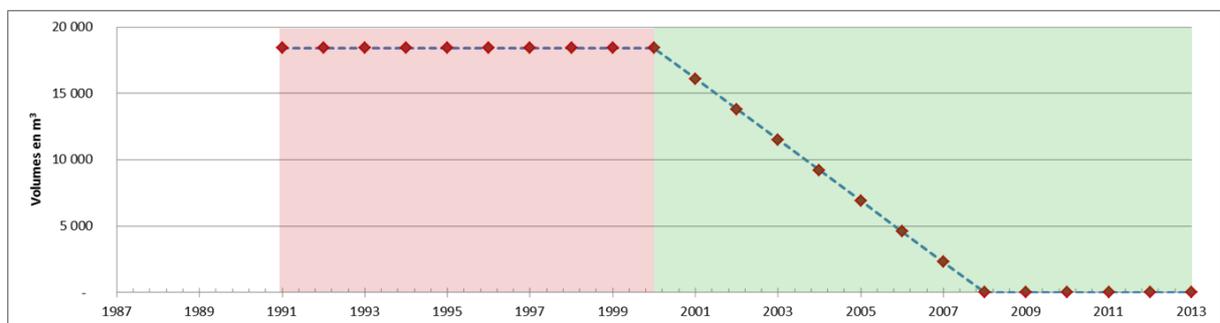


Illustration 55 : Chronique de prélèvement reconstituée sur le forage artésien de Bagnère 2

#### 4.5.4. Bilan de la reconstitution des chroniques de prélèvements thermaux

L'ensemble des exploitants connus des stations thermales utilisant les ressources des aquifères profonds du sud du Bassin aquitain a été contacté. Le groupe thermal Arenadour, issu en 2013 du regroupement des Thermes des Arènes et du groupe Thermes Adour, a fourni des informations concernant les stations de Dax et Saint-Paul-lès-Dax. Les volumes ont été transmis jusqu'en 1993 et des estimations sont encore en cours pour les volumes antérieurs. Leur connaissance revêt un intérêt fort car leurs besoins thermaux dépassent 1,5 Mm<sup>3</sup>/an depuis plus de 20 ans. Enfin, les volumes prélevés sur les stations de Saubusse, Castéra-Verduzan et Valvital ont pu être tous récupérés ou estimés grâce à l'appui du Conseil Départemental du Gers et de la société REM qui gère les stations.

Au final, la chronique des volumes prélevés pour les besoins thermaux est complète depuis l'année 2000 (Illustration 56) et comporte 94 % de volumes « réels ». Les volumes manquants, représentant 13 % des volumes cherchés sur la période 1970-1999 (et correspondant en nombre à la différence entre la courbe noire et le maximum de la représentation en bâtons de l'illustration 56), sont ceux des stations thermales appartenant à la Chaîne thermale du Soleil et d'Arenadour. Ils sont en cours de collecte auprès des services de l'Etat ; à défaut des estimations devront être faites.

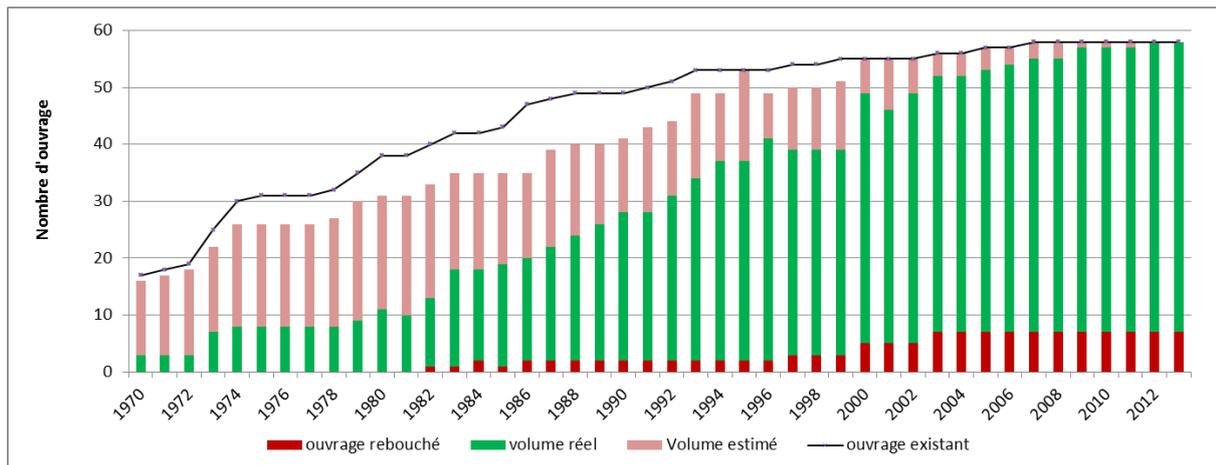


Illustration 56 : Nombre de volumes renseignés par année sur l'ensemble des ouvrages thermaux

Les volumes prélevés au niveau des stations thermales s'élèvent à 4 Mm<sup>3</sup> en moyenne par an (Illustration 57). Cette chronique reste relativement fiable depuis 1994 notamment, puisqu'au minimum 50 % des volumes sont réels chaque année (Illustration 58). Ainsi, sur les 91 Mm<sup>3</sup> prélevés depuis 1994, 78,5 Mm<sup>3</sup> sont issus de données réelles, le reste étant un volume estimé. Au final, très peu de volumes sont issus des redevances de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne car des écarts parfois conséquents ont pu être constatés. Ainsi, à la différence des volumes AEP, les données des exploitants puis les données des rapports ont été davantage utiles à la reconstitution des chroniques de prélèvements.

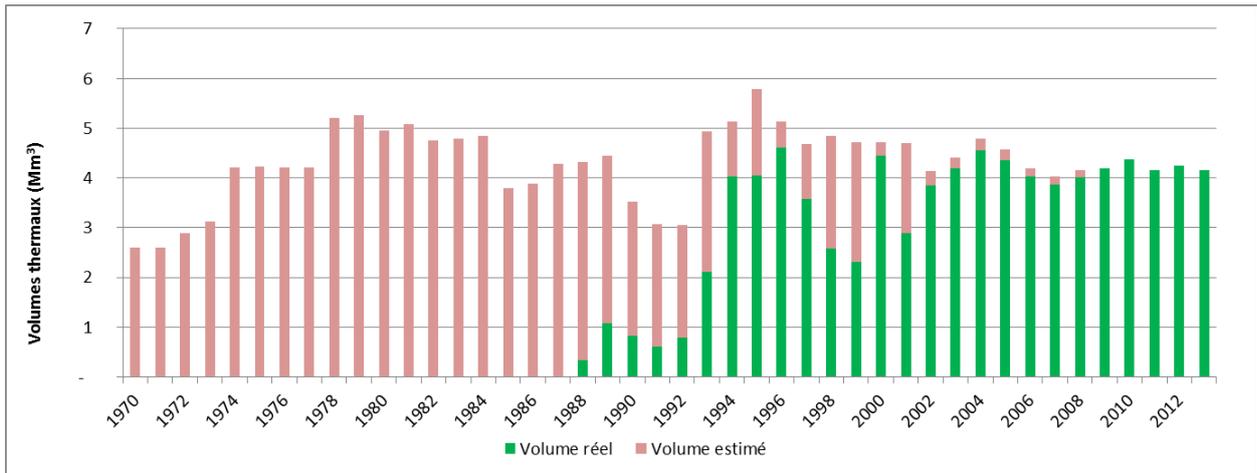


Illustration 57 : Volumes prélevés pour le besoin thermal

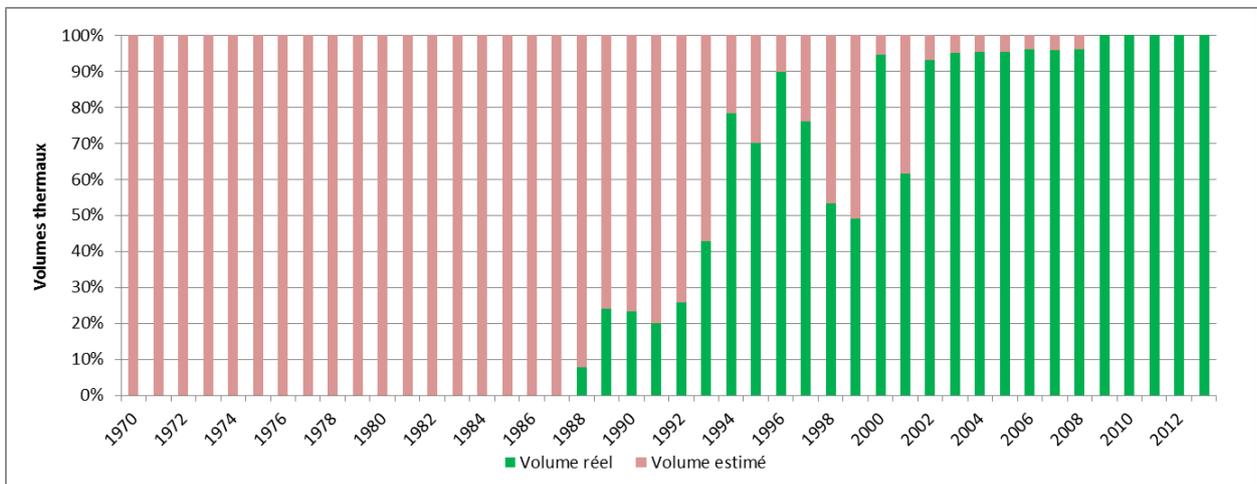


Illustration 58 : Répartition réel / estimé des volumes prélevés pour le besoin thermal

#### 4.6. RECONSTITUTION DES CHRONIQUES DE PRÉLÈVEMENTS POUR D'AUTRES USAGES

La recherche des prélèvements effectués pour l'industrie ou ceux réalisés dans des ouvrages utilisés aujourd'hui comme piézomètre ou sans usage connu s'est poursuivie. La totalité des exploitants a été contactée (Cristalline, Mairies, Régie des eaux de Mont-de-Marsan, Dalkia, Gelatines Weishardt S.A.S., Usine KP1) et, à l'exception d'un organisme n'ayant pas souhaité répondre, tous ont permis de reconstituer les chroniques. Dans la suite, deux cas singuliers sont présentés.

##### 4.6.1. Forages géothermiques de Blagnac

Parmi les cas traités, celui des forages géothermiques de Blagnac a nécessité de nombreux échanges avec la Mairie de Blagnac et Dalkia pour reconstituer la chronique des prélèvements (Illustration 59).

A Blagnac, deux forages géothermiques sont utilisés, celui de la Piscine (09838B0203) datant de 1967 et celui de la Z.A.C. de Ritouret (09838A0421), réalisé en 1977. Le rapport 82-SGN-583-MPY (Roche, 1982) indique que le forage de la Piscine fournit :

- par artésianisme naturel  $\approx 30 \text{ m}^3/\text{h}$  successivement 5 mois / an de 1967 à 1976 soit  $110\,000 \text{ m}^3/\text{an}$  ;
- à partir de 1976, le forage débite en continu, portant ainsi les volumes prélevés à  $260\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ .

À partir de 1978, Blagnac bénéficie de la mise en exploitation du forage du Ritouret. Le rapport 79-SGN-507-MPY (Auriol et Roche, 1979) indique qu'il est admis des débits d'exploitation continus et constants de 45 et  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  à compter de 1979 pour, respectivement, le forage du Ritouret et celui de la piscine. Cette répartition (75 % - 25 %) est cohérente avec celle apparaissant dans les rapports de synthèse annuels sur la période 1988-1992, et celle déduite des données de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (1991-2007). Ainsi, pour les années disposant seulement d'un volume global, cette répartition est conservée. À partir de 2008, le forage de la Piscine n'est plus exploité. Il est constaté en 2010 la formation d'un « bouchon » sur un rétrécissement (télescopage) de l'ouvrage ne permettant plus de descendre du matériel à grande profondeur. La question du devenir du forage (rebouchage) est d'actualité. L'informatisation des volumes prélevés n'a débuté qu'en 2012, mais Dalkia a pu transmettre les relevés mensuels de juin 2007 à juin 2011, en expliquant les faibles productions de 2011 par la réalisation de travaux sur l'ouvrage. Par ailleurs, la mise en place d'une pompe à débit variable a entraîné la baisse des volumes prélevés sur l'ouvrage.

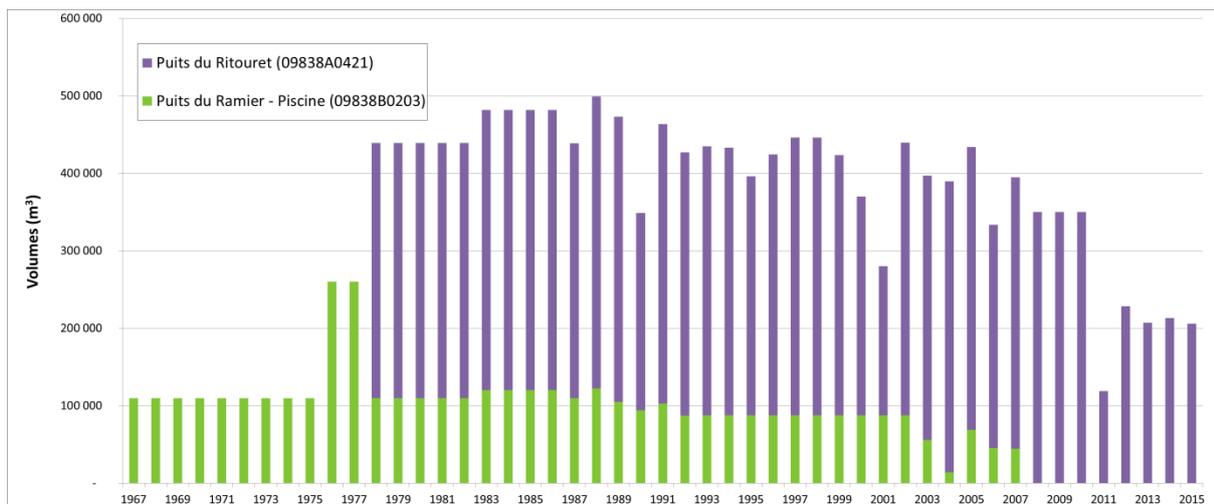


Illustration 59 : Volumes prélevés dans les forages géothermiques de Blagnac

#### 4.6.2. Source de l'Auloue à Castéra-Verduzan : alimentation d'une base de loisirs

À proximité de la station thermale de Castéra-Verduzan, des prélèvements avaient été identifiés dans le cadre de la modélisation des aquifères du Sud du Bassin Adour-Garonne (Seguin, 2003). Après recherche, il s'est avéré qu'une résurgence a été exploitée à partir de 1996 environ pour alimenter le lac de la base de loisirs située à proximité.

Ce prélèvement a été effectué au droit de la résurgence située en rive gauche de l'Auloue. Le responsable des thermes de Castéra-Verduzan a précisé qu'à l'époque, « les prélèvements par pompage sur la résurgence de l'Auloue étaient de l'ordre de la dizaine de  $\text{m}^3/\text{h}$  et séquentiels et que les rabattements induits sur la nappe sont de 1 m tout au plus ». L'ordre de grandeur des prélèvements a été confirmé par le maire. Une baisse des débits ayant été constatée sur les

thermes, il avait été demandé d'installer un système de cuve afin de récupérer l'eau gravitaire et ne pas perturber la nappe. Ceci a été fait vers l'année 2001.

Ainsi, sur la base de ces indications, un volume de prélèvement de 75 000 m<sup>3</sup>/an est estimé pour cette émergence entre 1996 et 2001. Ce volume reste cependant inférieur à celui introduit dans le modèle MSAG : il était de l'ordre de 200 000 m<sup>3</sup>/an et permettait de reproduire la baisse du niveau piézométrique de l'ordre de la dizaine de mètres observée aux piézomètres de Castéra-Verduzan (09545X0007/F et 09545X0017/F). Le différentiel de volume reste important et la recherche de volumes supplémentaires prélevés à proximité est toujours en cours.

#### 4.7. CONCLUSIONS

Les démarches entreprises auprès des différents exploitants agricoles, industriels, d'eau potable et autres ont permis de préciser les dates de création et de mise en service des différents ouvrages, de comprendre les modalités de prélèvements au niveau des forages (artésianisme, présence de tête étanche) et des sources (prélèvements au droit des griffons ou par écoulement gravitaire), de valider les incohérences entre les différentes sources d'informations sur les volumes, et d'estimer, quand l'information manque, les ordres de grandeur des prélèvements effectués. Au final, 241 ouvrages constituent la base des Volumes GAIA, dont 35 ont une chronique encore incomplète (Illustration 60). Leur localisation est donnée en illustration 61.

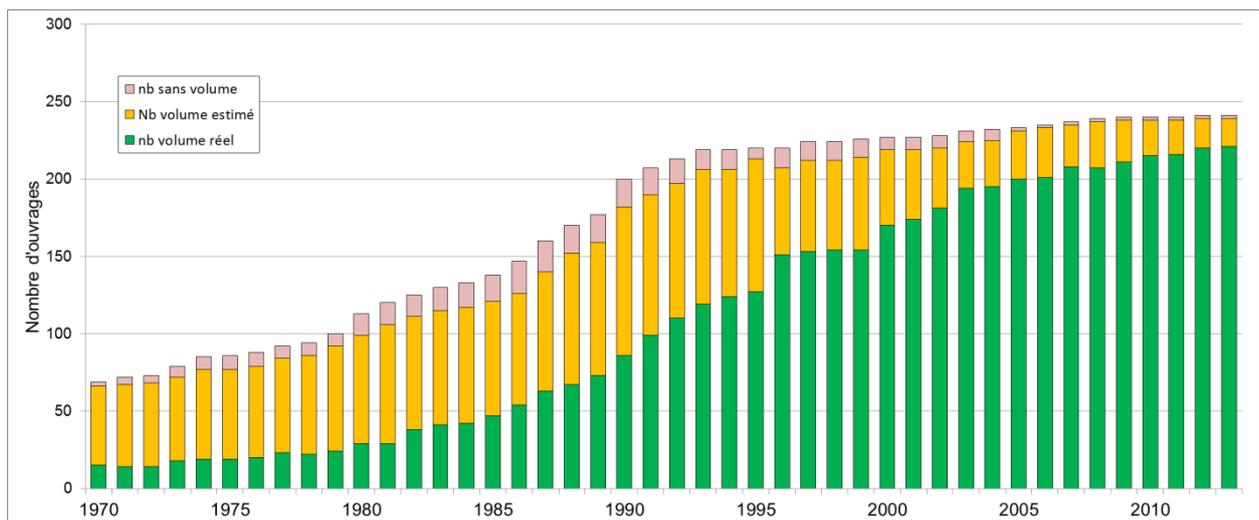


Illustration 60 : Nombre de volumes renseignés par année sur l'ensemble des ouvrages exploitables - état fait en novembre 2016

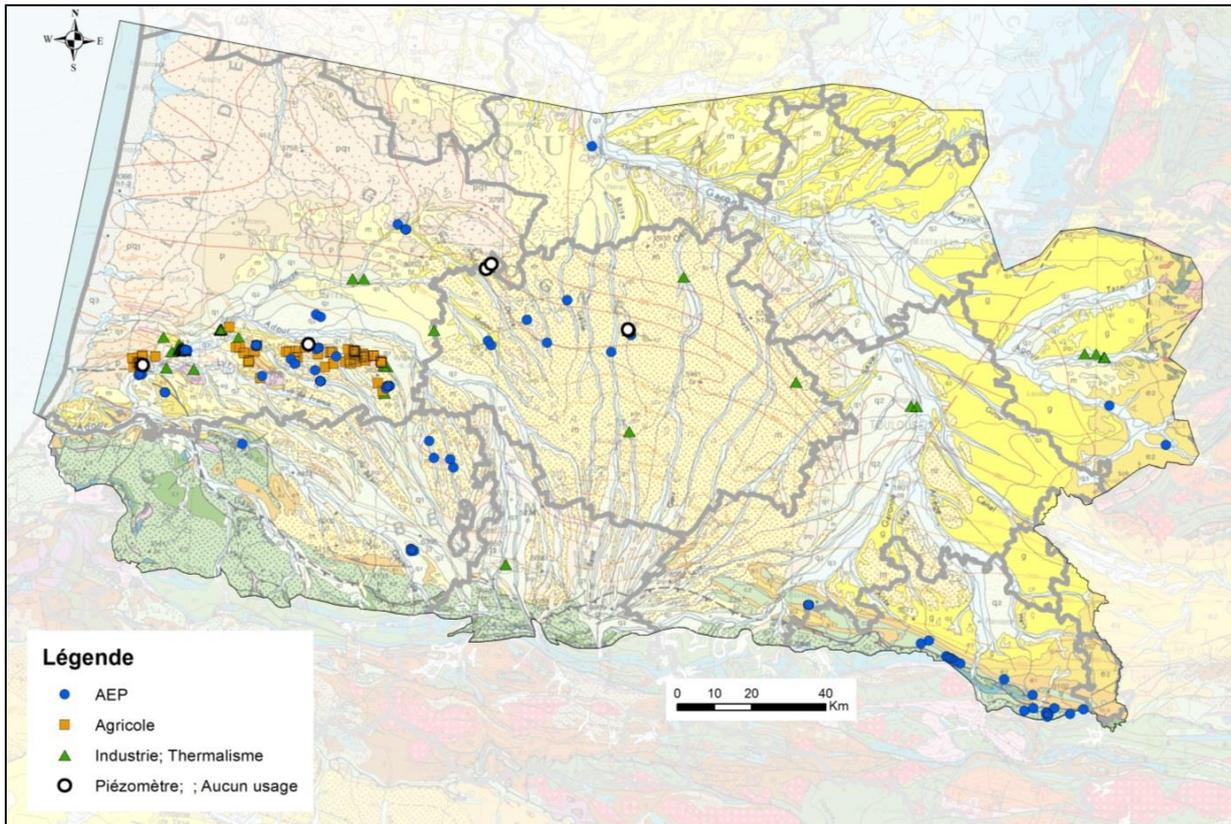


Illustration 61 : Localisation des ouvrages de la base des Volumes GAIA

Dans la suite du projet, les travaux porteront sur :

- la finalisation des 35 chroniques restantes. Des choix et hypothèses probablement fortes devront être effectués sur certaines des chroniques ne disposant d'aucun volume connu ou de volumes très hétérogènes, ceci étant notamment le cas de 3 chroniques agricoles ;
- la mise à jour des chroniques pour les années 2014 et 2015. Les démarches et sollicitations effectuées au cours de cette année ont d'ores et déjà permis de mettre en partie à jour la base pour ces deux années. Ainsi, seules 25 valeurs de volumes prélevés restent à récupérer pour 2014 (dont 23 auprès des exploitants directement) tandis que 127 valeurs de volumes prélevés ne sont pas renseignées pour 2015 (les données de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne n'étant disponible que jusqu'en 2014 en fin d'année 2016) ;
- la collecte de volumes mensuels : elle s'appuiera sur de nouvelles sollicitations auprès des exploitants pour compléter la base. Les exploitants agricoles contactés en 2016 seront sollicités à nouveau en 2017, ainsi, si possible, que ceux qui ne l'avaient pas été en 2016 ;
- la validation des aquifères captés sur les ouvrages de la base. En première année du projet, la position des crépines avait été identifiée. Les avancées effectuées sur la partie géologique du programme de recherche avec la mise en place progressive du modèle permettent d'envisager une mise à jour de l'aquifère capté par les ouvrages.

## 5. Ré-interprétation de pompages d'essai

### 5.1. OBJECTIFS

L'objectif est ici d'utiliser les méthodes d'interprétation des pompages d'essai issues du domaine pétrolier pour déterminer le plus précisément possible les caractéristiques des aquifères étudiés dans le cadre du projet GAIA. En effet, ces techniques sont beaucoup plus poussées que les méthodes classiquement utilisées en hydrogéologie et permettent une estimation plus précise des paramètres hydrodynamiques des aquifères, mais aussi de mettre en évidence des effets liés à leurs géométries (Renard, et al., 2009).

Dans l'approche présentée ici, l'objectif n'est pas de réaliser de nouveaux tests mais de réinterpréter les pompages d'essai existants afin d'acquérir le plus d'information possible sur les propriétés des aquifères rencontrés.

### 5.2. MÉTHODOLOGIE UTILISÉE POUR INTERPRÉTER LES POMPAGES DE LONGUE DURÉE

La méthode mise en œuvre est décrite dans le schéma suivant (Illustration 62).

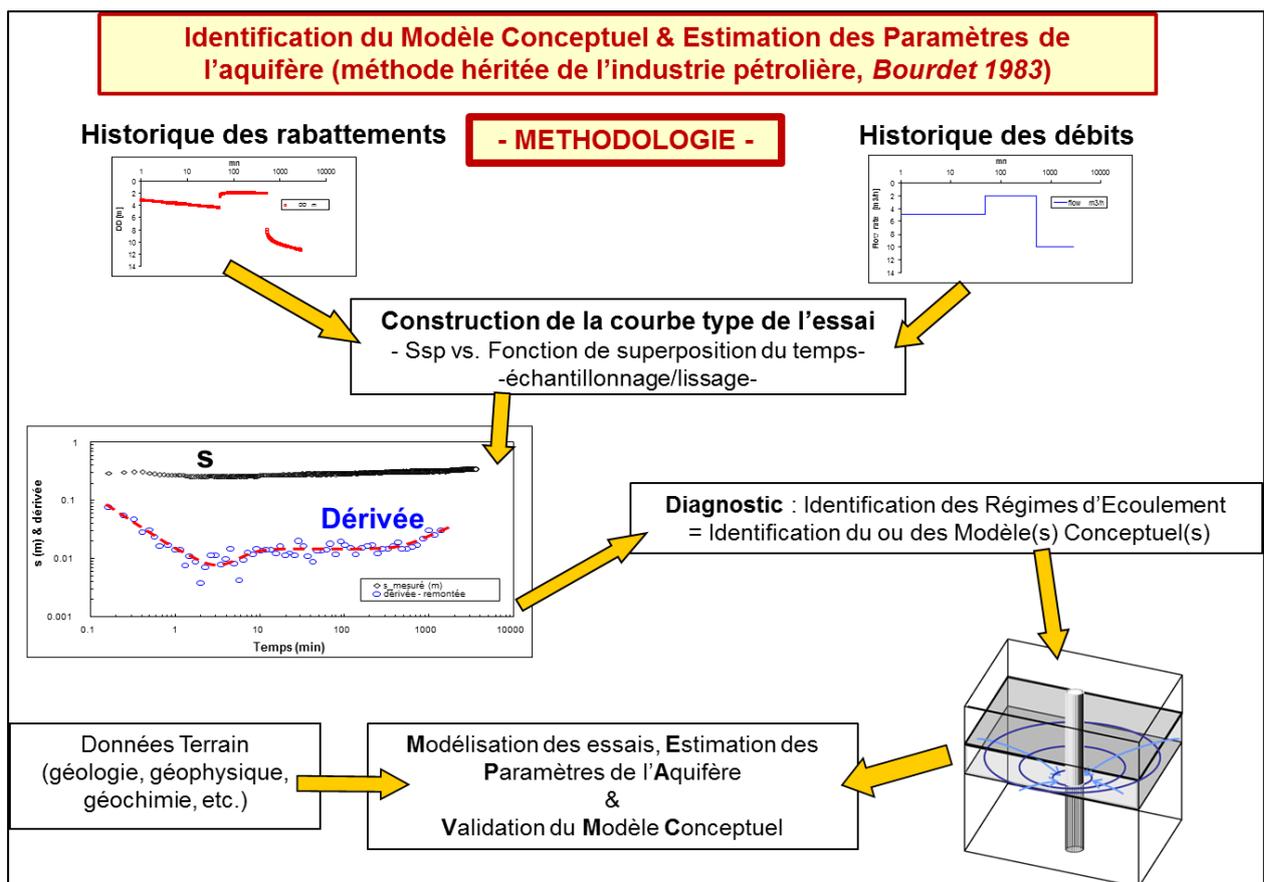


Illustration 62 : Méthodologie mise en œuvre pour l'interprétation de pompages d'essai. Utilisation des dérivées des rabattements pour diagnostiquer les essais.

L'interprétation des pompages d'essai dans les formations fracturées ou dans les formations sédimentaires hétérogènes est souvent complexe, conséquence de la géométrie des réseaux de fractures, 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 des essais. 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).

En effet, pour chaque type et/ou géométrie d'aquifère mais aussi pour chaque type de configuration forage-aquifère (captage partiel de l'aquifère par exemple), il 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 ; Schlumberger, 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. L'illustration 63 présente comme exemple les différents types d'écoulement que l'on observe lors d'un pompage 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.

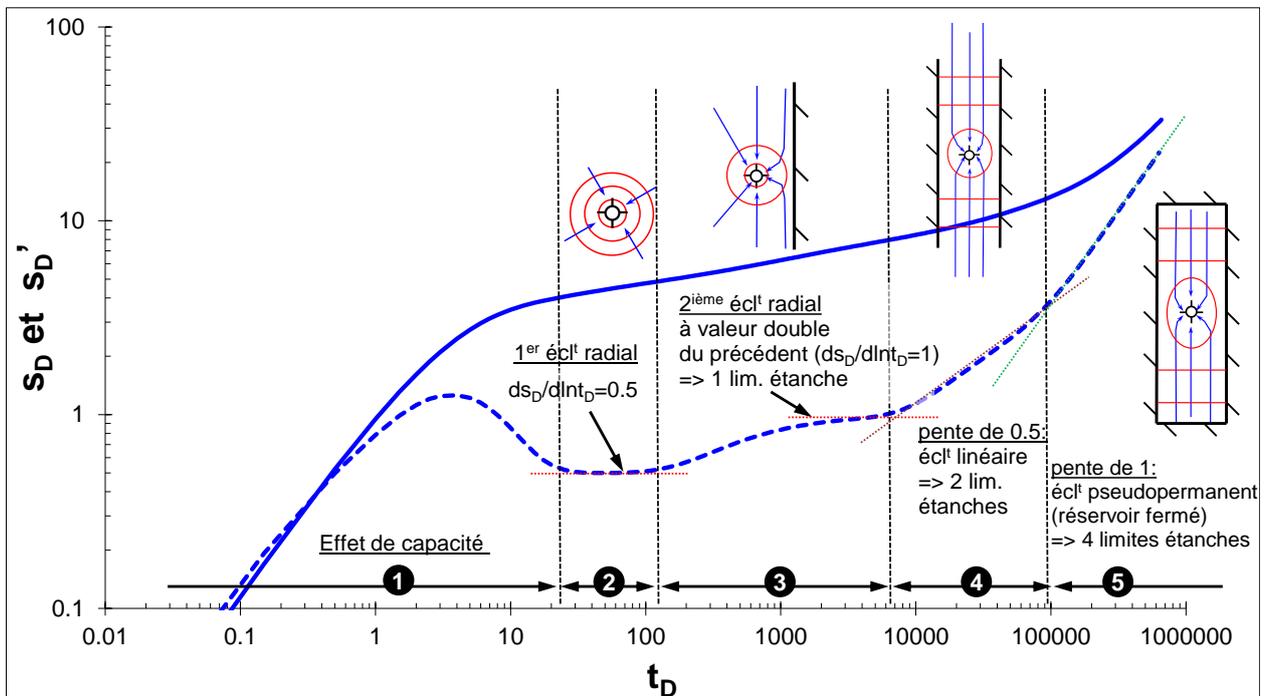


Illustration 63 : Exemple de succession des régimes d'écoulement lors d'un pompage dans un aquifère rectangulaire clos.  $t_D$  : temps adimensionnel,  $s_D$  (courbe pleine) et  $s_D'$  (courbe tiretée) : rabattement et dérivée du rabattement (adimensionnel).

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 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.

### **5.3. INVENTAIRE DES DONNÉES DISPONIBLES**

Un premier inventaire des données de pompage disponibles a été réalisé à partir de la BSS. Il a porté sur près de 110 pompages à partir desquels un premier tri a été réalisé de manière à identifier les données exploitables (Illustration 64). Ont été écartés :

- les pompages ne présentant pas de données de débit ;
- et les pompages dont les courbes paraissaient non exploitables (pompages trop courts, fortes variations liées à des problèmes sur les mesures de débit, ...).

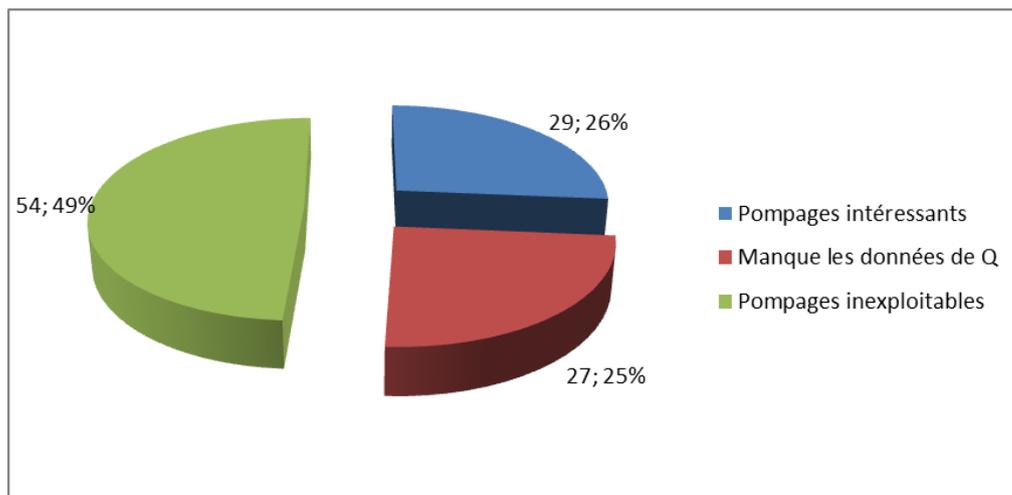


Illustration 64 : Classification des pompages d'essai de la BSS, suivant la qualité de la donnée, en vue d'une ré-interprétation

Ainsi, sur les 110 pompages, seuls 29 paraissent répondre aux critères pour être réinterprétés. Sur cette liste de 29 forages il est apparu intéressant de s'intéresser en priorité aux forages captant les aquifères des Sables-Infra-Molassiques (SIM) et du Paléocène en se concentrant plus particulièrement sur les points situés à proximité des structures anticlinales. Dans cette optique, la réinterprétation des essais a porté uniquement sur 5 des 6 forages présentés au Tableau 24 et dont la localisation figure à l'illustration 65.

INDICE	Commune	Lieu-dit	Aquifère capté
10053X0002/F1	Lespielle	Lespielle 1	SIM
10057X0003/LESP-2	Simacourbe	Lespielle 2 (RD 543)	SIM
10052X0006/F1	Burosse-Mendousse	Le Prince	SIM
10052X0038/F	Lannecaube	Lannecaube	Calcaires Paléocène
10052X0037/F	Lalongue	Lasseppe	SIM
10057X0001/LEE1	Simacourbe	Lembeye 1	SIM

Tableau 24 : Liste des forages sélectionnés pour la ré-interprétation des pompages d'essai

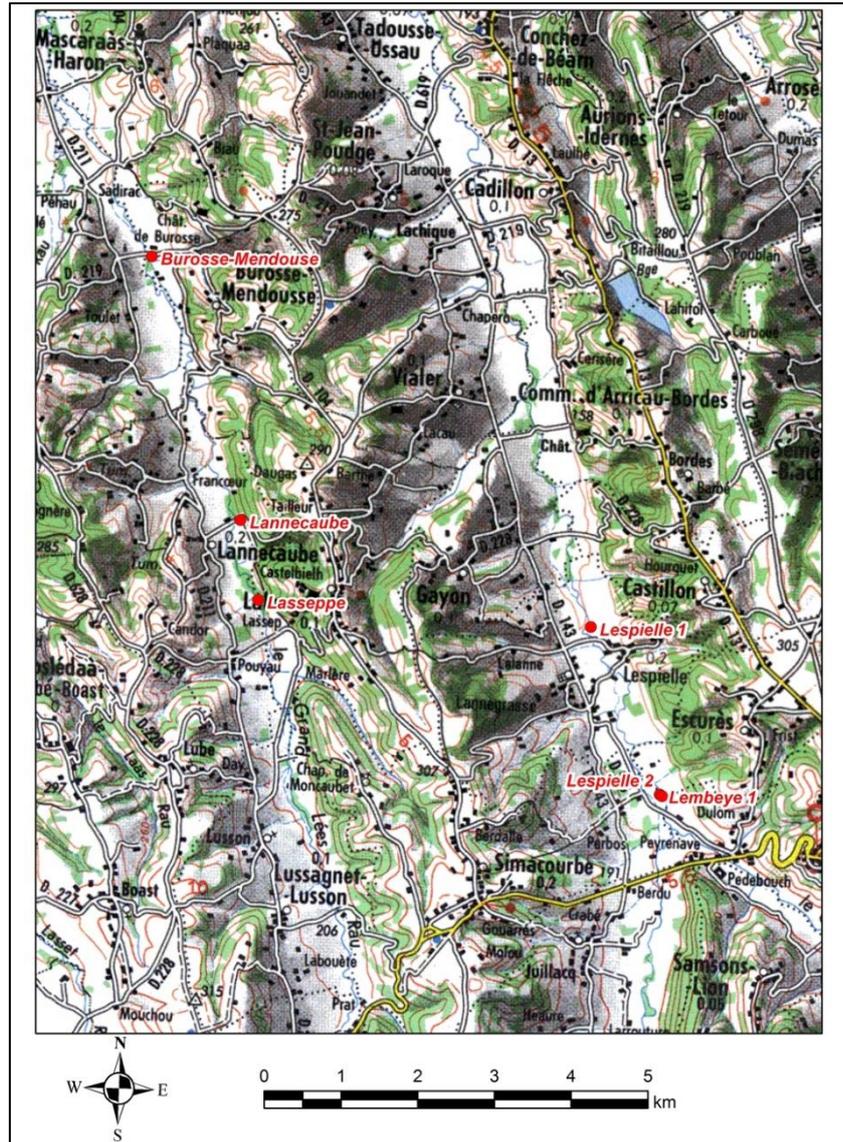


Illustration 65 : Carte de localisation des six forages sélectionnés pour la ré-interprétation des pompages d'essai

Le forage de Lembeye 1 (10057X0001/LEE1) n'a pu faire l'objet d'une ré-interprétation des données collectées. Foré pour la recherche d'hydrocarbures (Lee1), il a été réalisé par Esso Rep et a atteint une profondeur de 3 316 m (Bourgeois, et al., 1969). Il a par la suite été transformé pour servir de piézomètre au forage de Lespielle 2 (1057X0003/F2) lors de pompages d'essai réalisés en 1977 (Bonnerly, et al., 1978). Cependant, seules les courbes de rabattements sont présentées dans le rapport de 1978 et leur digitalisation pour une réinterprétation aurait créé dans ce cas trop d'incertitudes.

Par ailleurs, un test a été réalisé en 2009 (Illustration 66) par Hydro-Assistance sur moins d'une demi-heure à 15 m<sup>3</sup>/h : il a donné lieu à un rabattement de plus de 42 m (le capteur a probablement été dénoyé car le niveau est stable malgré l'arrêt du pompage). Il s'avère que le niveau a mis plus de 3 ans à revenir (Illustration 67) à un niveau comparable à ceux observés avant pompage (en considérant une baisse tendancielle de la nappe sur le secteur).

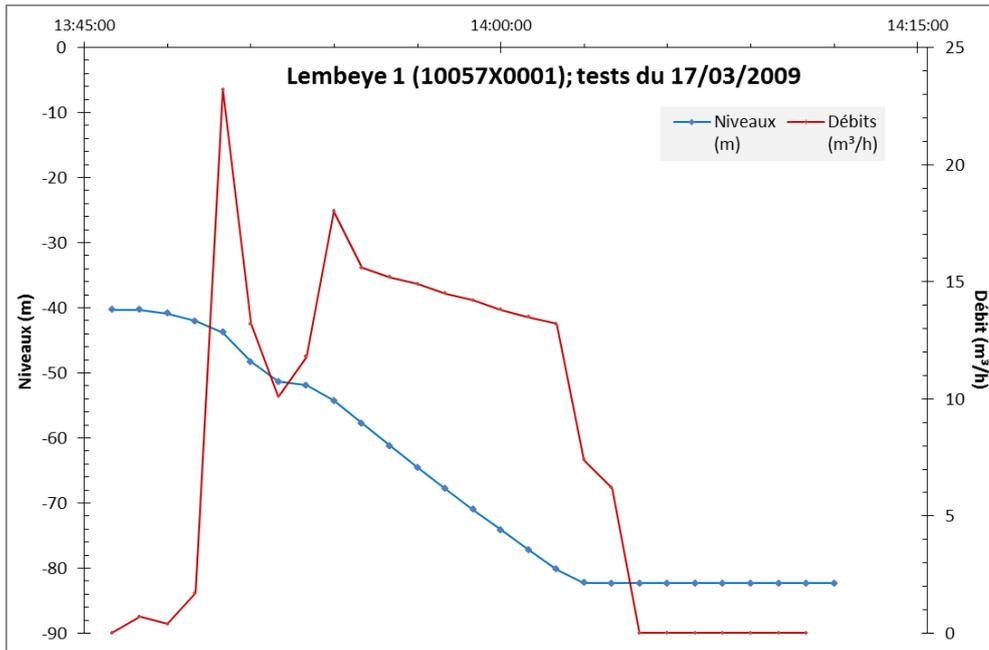


Illustration 66 : Forage de Lembeye 1 (10057X0001/LEE1) - essai de pompage de décembre 2009

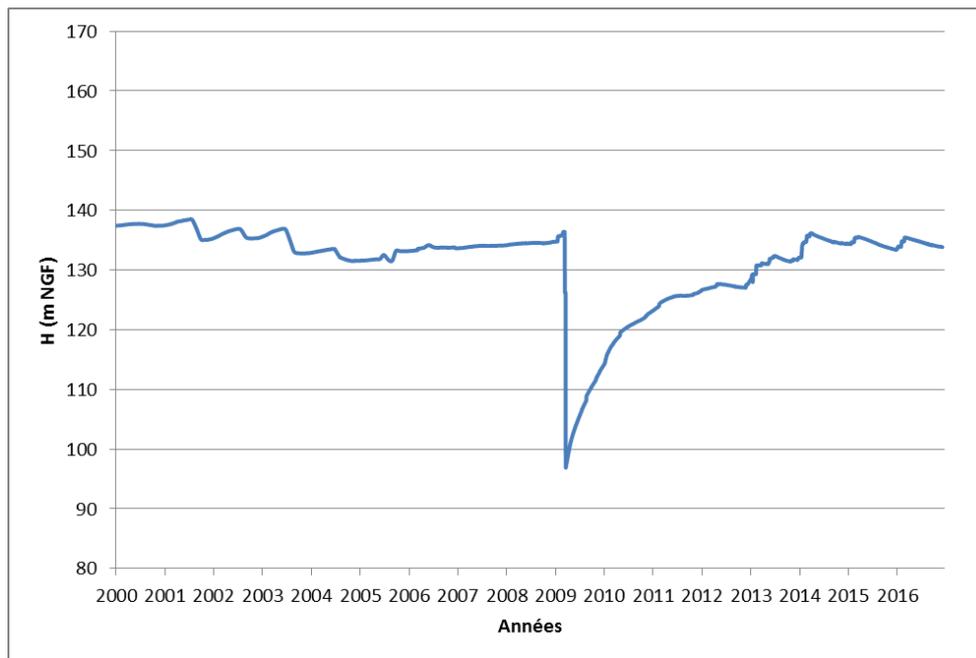


Illustration 67 : Chronique piézométrique du forage de Lembeye 1 (10057X0001/LEE1)

#### 5.4. CONTEXTE GÉNÉRAL

La quasi-totalité des forages sélectionnés captent l'aquifère des Sables-Infra-Molassiques (SIM). En effet, seul le forage de Lannecaube (10052X0038/F) capte les terrains calcaires du Paléocène.

L'aquifère des SIM est le plus étendu du Bassin aquitain. Il est représenté principalement par les dépôts marins des sables dits de « Lussagnet » et le faciès gréseux sous-jacent des « grès à nummulites » (Douez, 2007). Le toit de l'aquifère des Sables Infra-Molassiques est représenté par l'épaisse couverture de formation molassique de l'Aquitaine qui varie de quelques mètres au niveau des affleurements à plusieurs centaines de mètres dans les synclinaux du Bas-Adour. Le mur est constitué principalement des marnes et argiles de l'Eocène inférieur (marnes et argiles yprésiennes) et du Paléocène. Sa géométrie est complexe, liée au mode de dépôts et à la géologie structurale du Bassin aquitain et de ses marges. La structure majeure de Garlin (nord de Pau), sur laquelle est positionné l'ensemble des forages sélectionnés, est comme celles de Lussagnet et d'Izaute : profonde et ne s'observe pas à l'affleurement. Cet accident est affecté par deux failles principales subparallèles susceptibles d'interrompre la continuité hydraulique de la nappe des Sables Infra-Molassiques. Cet aquifère est principalement exploité pour l'alimentation en eau potable, le thermalisme, l'industrie, l'irrigation, la géothermie et pour le stockage de Gaz (stockages TIGF de Lussagnet et d'Izaute).

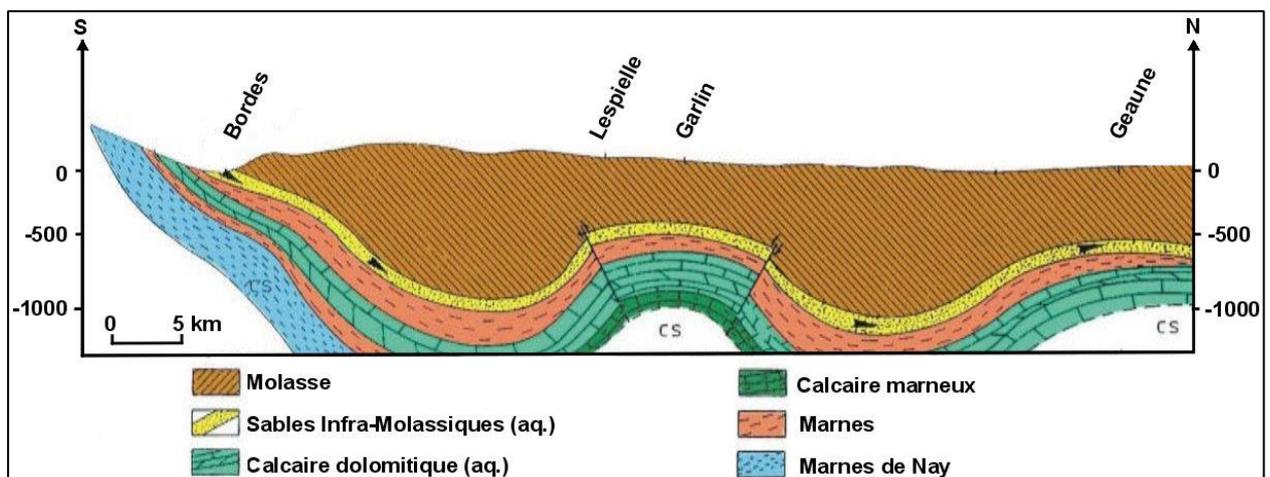


Illustration 68 : Coupe géologique schématique entre Bordes et Geaune (Douez, 2007)

L'aquifère du Paléocène est essentiellement carbonaté (calcaires, dolomies, grès). Cet aquifère est affecté par les différents accidents structuraux. Son toit varie de l'affleurement à plus de - 2 500 m NGF dans le bas des synclinaux. Son épaisseur, également très variable, a tendance à augmenter du nord vers le sud et fluctue entre 50 mètres et 400 mètres. Le mur de ce réservoir est représenté par les formations du Sénonien supérieur en grande partie aquifère (Douez, 2007).

## 5.5. RÉ-INTERPRÉTATION DES POMPAGES D'ESSAI EXISTANTS

### 5.5.1. Lespielle 1 (10053X0002/F1)

#### *Coupe de l'ouvrage*

Le forage de Lespielle 1 (10053X0002/F) a été réalisé du 16 janvier au 17 avril 1976 par la société INTRAFOR-COFOR pour le compte à l'époque du syndicat intercommunal d'irrigation de la vallée du Leez (Astie, et al., 1976). Il capte l'aquifère des Sables Infra-Molassiques (Illustration 69).

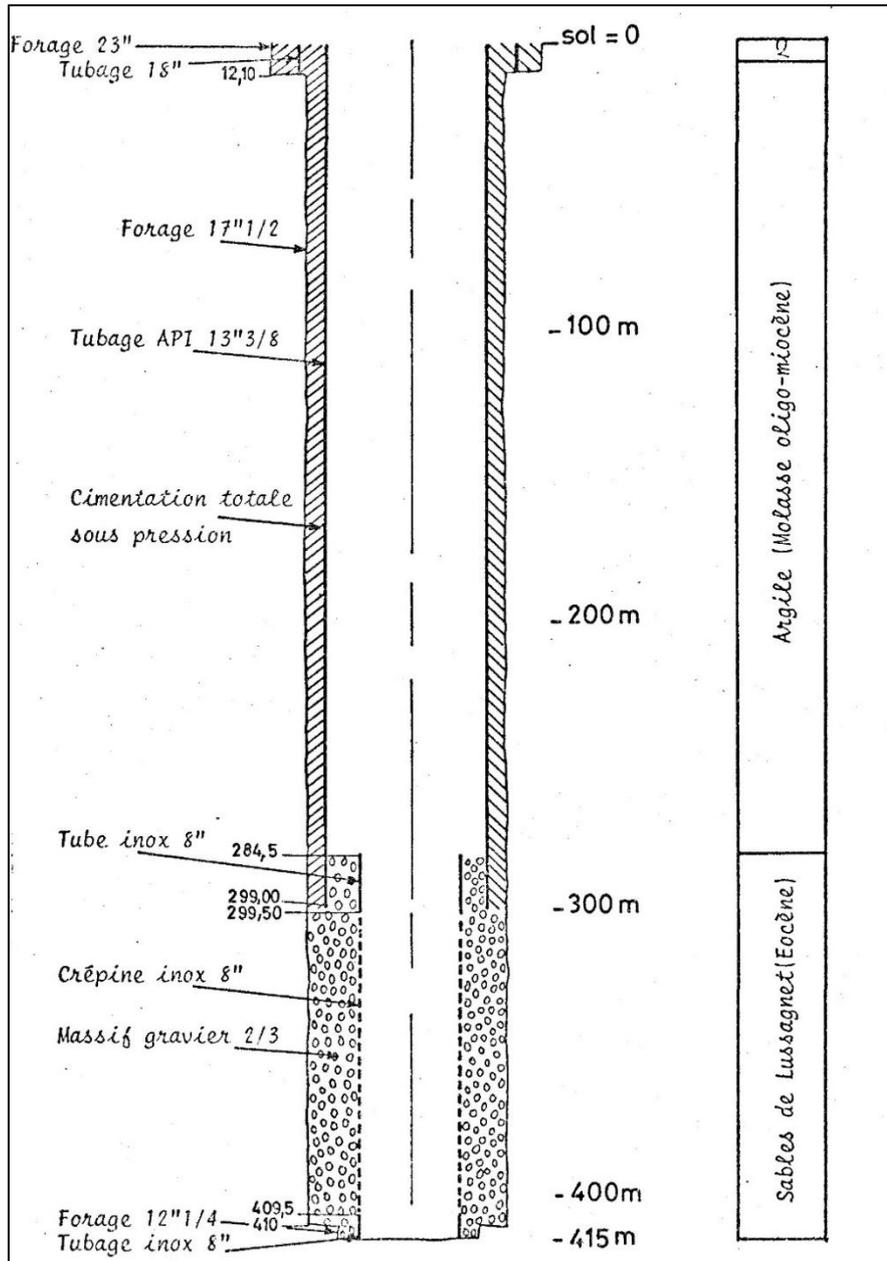


Illustration 69 : Coupe technique du forage de Lespielle 1 (10053X0002/F)

Au total, 4 pompages d'essai ont été recensés sur ce forage (Tableau 25). Le premier correspond à celui réalisé dans le cadre de la réalisation de l'ouvrage.

	<b>avr-1976</b>	<b>janv-1977</b>	<b>sept-2005</b>	<b>déc-2006</b>
<b>Prof. niv. initial (m)</b>	13.51	13.98	36.56	31.5
<b>Essai par paliers (courte durée)</b>	oui	-	-	oui
<b>Durée du pompage de longue durée (h)</b>	55	50	2,6	72
<b>Débit moyen du pompage de longue durée</b>	250 m <sup>3</sup> /h	255 à 407 m <sup>3</sup> /h	70.75 m <sup>3</sup> /h	260 m <sup>3</sup> /h
<b>Source</b>	rapport BRGM 76 SGN 153 AQI (Astie, et al., 1976)	rapport BRGM 77 SGN 604 AQI (Auriol, et al., 1977)	Hydro-Assistance	Hydro-Assistance (Chapiteau, 2006)
<b>Commentaire</b>	Variations de niveaux importantes non corrélables aux variations de débit	Données de rabattement et de débit disponibles dans un tableau en annexe du rapport	Données numériques	Données numériques

Tableau 25 : Essais par pompage disponibles au forage de Lespielle 1 (10053X0002/F)

### **Diagnostic des essais**

Le diagnostic a été réalisé à partir des essais réalisés en janvier 1977, en septembre 2005 et en décembre 2006.

Le pompage de janvier 1977 a duré près de 50 heures (2 990 min) à des débits croissants compris entre 255 et 407 m<sup>3</sup>/h aboutissant à des rabattements maximums de 35 m (Illustration 68).

Le pompage de septembre 2005 a été lui bien plus court puisqu'il n'a duré que 157 min à un débit moyen de 70 m<sup>3</sup>/h induisant par conséquent des rabattements beaucoup plus faibles de l'ordre de 2,5 m (Illustration 71).

Le pompage de décembre 2006 a constitué en un pompage par paliers, suivi d'un essai longue durée s'étalant sur 72 heures (4 343 min) à un débit compris entre 272,5 m<sup>3</sup>/h et 289,1 m<sup>3</sup>/h (Illustration 72). Le rabattement maximum mesuré est de 20,8 m.

L'illustration 73 présente le diagnostic des essais réalisés sur l'ensemble des données exploitables. Il a été établi à partir de la normalisation des données de descente et de remontée du pompage de longue durée de 1977 (17-21/01/1977), de la descente de l'essai par paliers de 2 heures de 2005 (14/09/2005) et de la descente de l'essai longue durée réalisé en 2006 (04-08/12/2006). Les courbes de dérivée montrent un comportement similaire d'un essai à l'autre.

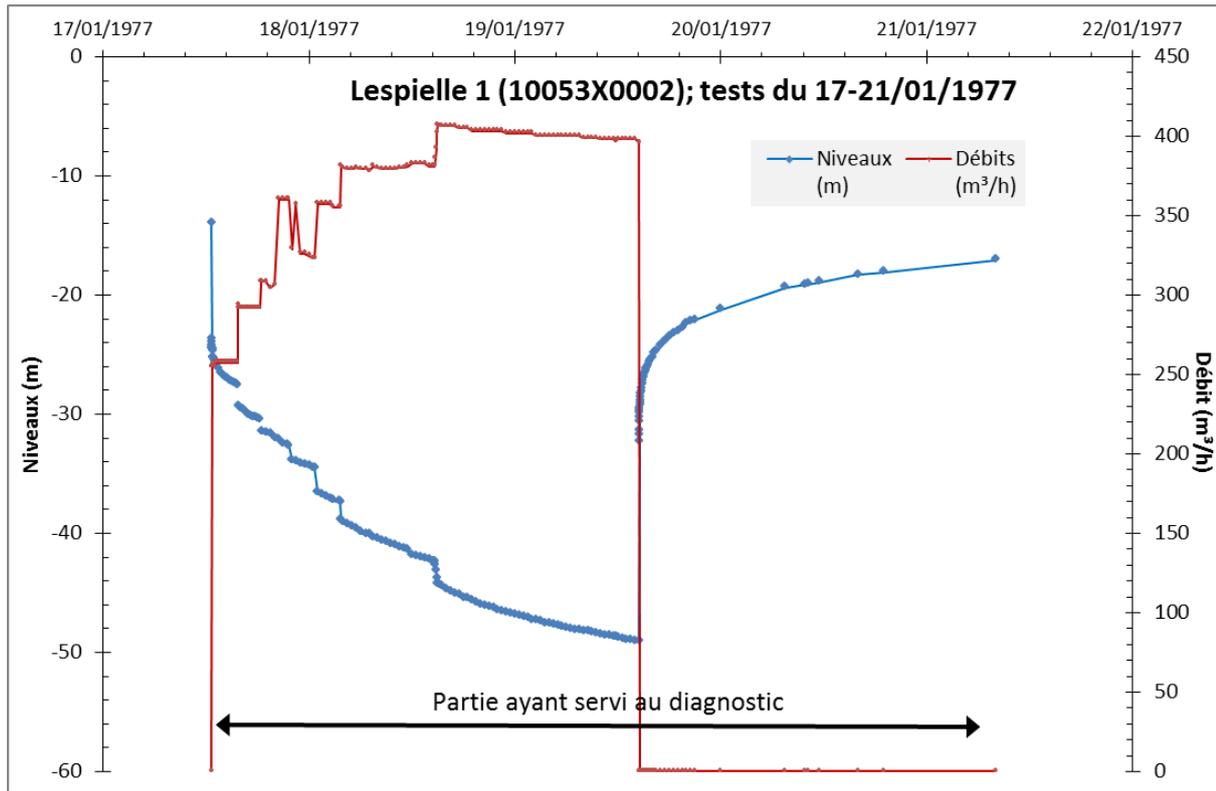


Illustration 70 : Forage de Lespielle 1 (10053X0002/F) - descente et remontée du pompage de janvier 1977

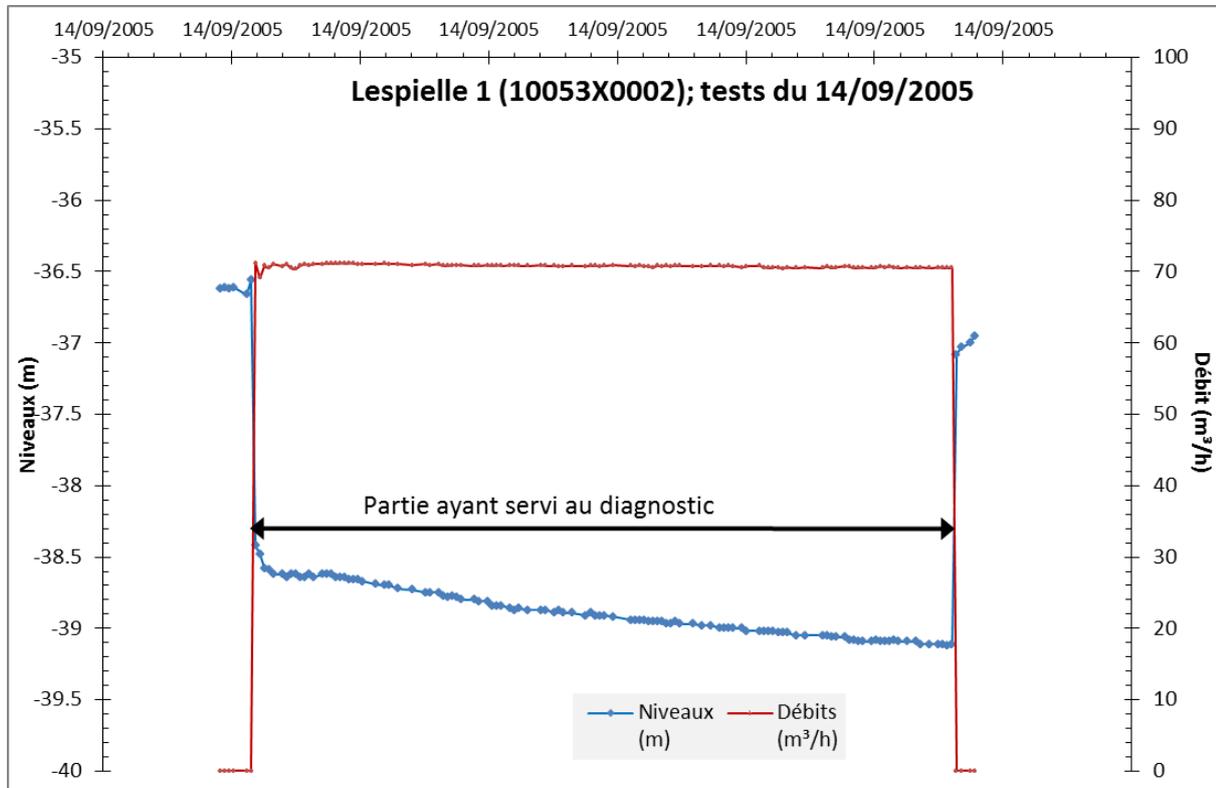


Illustration 71 : Forage de Lespielle 1 (10053X0002/F) - descente et remontée du pompage de septembre 2005

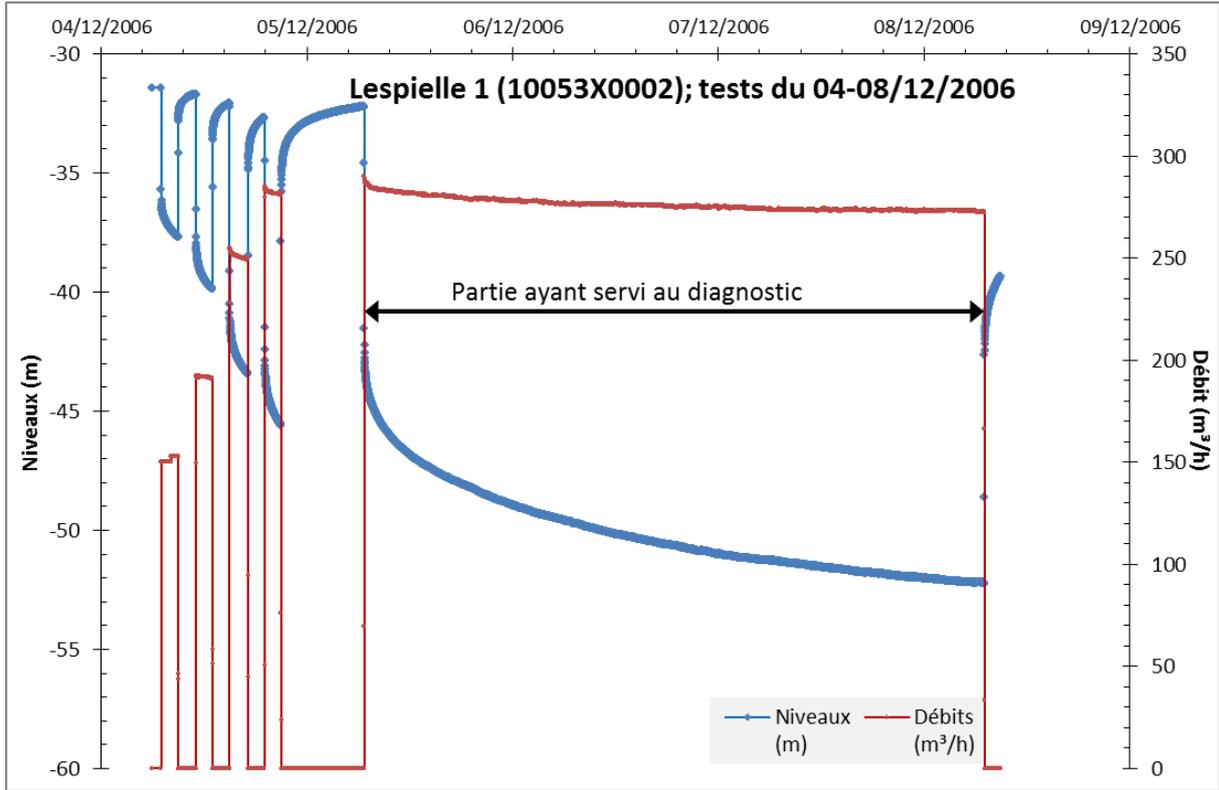


Illustration 72 : Forage de Lespielle 1 (10053X0002/F) - essais de pompage de décembre 2006

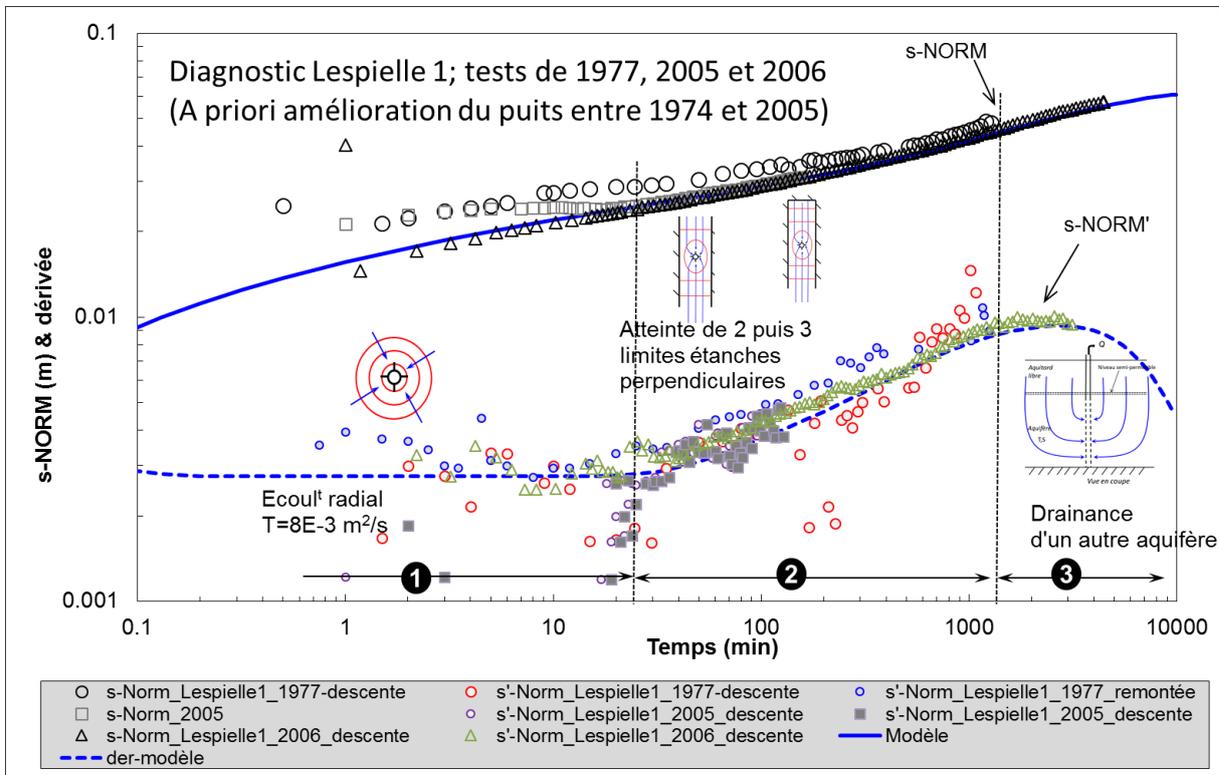


Illustration 73 : Diagnostic des essais réalisés en 1977, 2005 et 2006 au forage Lespielle 1  
 Aquifère captif. s-NORM : rabattement normalisé ; s'-NORM : dérivée du rabattement normalisé à la descente et à la remontée du niveau. En bleu : modèle (trait plein : rabattement ; pointillés : dérivée).

Les phases d'écoulement suivantes peuvent être distinguées (Illustration 73) :

1. du début de l'essai à environ 30 minutes, la courbe de dérivée forme un plateau typique d'un écoulement radial à partir duquel une première estimation de la transmissivité de l'aquifère peut être faite, aux alentours de  $8.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  ;
2. de 30 à 3 000 minutes, la dérivée suit une pente de 0,5 caractéristique d'un écoulement linéaire pouvant correspondre à l'atteinte de deux limites étanches parallèles ou de trois limites étanches (la 3<sup>ème</sup> étant orthogonale aux deux autres) ;
3. et de 3 000 minutes à la fin de l'essai, la dérivée se stabilise puis tend à décroître, ce qui est typique de la réaction d'un autre aquifère, par effet de drainance.

### **Modélisation**

Le modèle mathématique choisi correspond à un modèle générique pouvant prendre en compte un certain nombre de paramètres :

- un aquifère multicouche composé d'un aquifère profond et d'un aquifère de surface séparé par un semi-perméable (effet de drainance). Durant l'essai, la variation du niveau dans l'aquifère de surface est supposée non-négligeable ;
- prise en compte d'une anisotropie de perméabilité 3-D. Option non utilisée ici car nécessitant plusieurs piézomètres d'observation ;
- possibilité d'introduire le captage partiel du forage dans l'aquifère pompé, au puits et au piézomètre ;
- jusqu'à 4 limites étanches orthogonales ;
- positionnement quelconque du puits et du piézomètre dans l'aquifère ;
- positionnement quelconque du piézomètre dans l'aquifère de surface (calcul du rabattement moyen dans l'aquifère) ;
- et prise en compte des effets liés au puits (capacité de puits, skin, pertes de charge).

Ce modèle, issu des travaux de Hunt et Scott (2007), a été étendu par le BRGM aux notions d'anisotropie 3-D, de captage partiel, de limites étanches et d'effets de puits (capacité de puits, pertes de charge). Dans ce modèle, le niveau piézométrique de l'aquifère de surface, défini par une transmissivité  $T_0$  et un emmagasinement  $S_y$ , diminue durant le pompage. Notons que dans le cas où la variation de niveau dans cet aquifère serait négligeable durant l'essai, ce modèle correspond au modèle de Hantush (1964) ; dans ce cas  $T_0 \rightarrow \infty$  ou  $S_y \rightarrow \infty$  (c.à.d. stock d'eau infini). L'illustration 74 et le tableau 26 présentent le modèle et les paramètres associés.

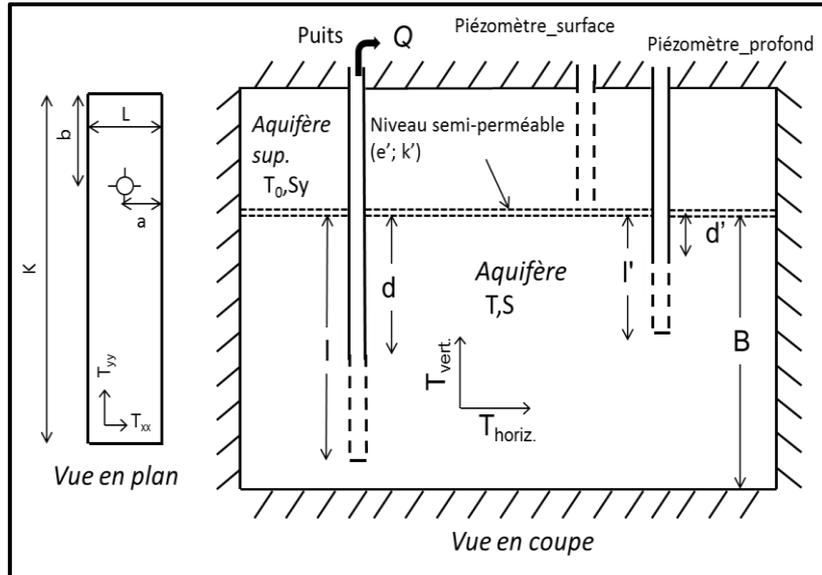


Illustration 74 : Modèle à effet de drainance d'un niveau semi-perméable sus-jacent, anisotropie de perméabilité 3-D, jusqu'à quatre limites étanches orthogonales, captage partiel du puits (ou du piézomètre). Modifié de la solution de Hantush (1964) et Hunt et Scoot (2007). Dans la solution de Hantush  $T_0 \rightarrow \infty$  ou  $S_y \rightarrow \infty$ .

distance	$r$ (m)
Transmissivité	$T$ (m <sup>2</sup> /s)
Emmagasinement	$S$ (-)
Epaisseur de l'aquifère	$B$ (m)
Longueur du puits	$l$ (m)
Dist. haut crépine /toit aquifère	$d$ (m)
Epaisseur de l'éponte	$e'$ (m)
Perméabilité de l'éponte	$k'$ (m/s)
Transmissivité de l'aquifère superficiel	$T_0$ (m <sup>2</sup> /s)
Emmagasinement de l'aquifère superficiel	$S_y$ (-)
Dist. à la 1 <sup>ère</sup> limite	Dist.lim. 1 (min)
Dist. à la 2 <sup>ième</sup> limite	Dist.lim. 2 (min)
Dist. à la 3 <sup>ième</sup> limite	Dist.lim. 3 (min)
Dist. à la 4 <sup>ième</sup> limite	Dist.lim. 4 (min)
Dist. à la 1 <sup>ère</sup> limite* (a)	Dist.lim. 1 (m)
Dist. à la 2 <sup>ième</sup> limite* (L-a)	Dist.lim. 2 (m)
Dist. à la 3 <sup>ième</sup> limite* (b)	Dist.lim. 3 (m)
Dist. à la 4 <sup>ième</sup> limite* (K-b)	Dist.lim. 4 (m)
Pertes de charge quadratiques	PDC (m-5s <sup>2</sup> )
Capacité du puits	Effet capacité (m)

Tableau 26 : Paramètres hydrodynamiques du modèle

\* distance calculée pour un milieu homogène isotrope ; a distance à la première limite, L-a, à la 2<sup>ième</sup>, b à la 3<sup>ième</sup> et K-b à la 4<sup>ième</sup>

Ce modèle est bien adapté à la succession d'écoulements mise en évidence lors du diagnostic des essais. L'illustration 75 présente la modélisation des essais réalisés en 2006 (pompages par paliers et pompage longue durée). Cette essai correspondant au test le plus long et présentant des variations de débit ; la modélisation est de bonne qualité.

La transmissivité de l'aquifère est estimée à  $8 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. Il est considéré que le puits capte la totalité du réservoir (Tableau 27). La valeur de l'emmagasinement,  $5,0 \times 10^{-2}$  (-) pour l'essai de 2006, est élevée pour un aquifère captif. A noter cependant que la valeur indiquée (emmagasinement) correspond à un paramètre de calage qui n'a pas forcément de signification physique lorsqu'estimé au puits de pompage<sup>21</sup>. En se basant sur ces valeurs, les premières limites étanches sont très proches du puits puisqu'elles sont estimées à environ 35 m et 90 m du puits, et à environ 275 m pour la troisième. Elles formeraient ainsi un couloir d'environ 120 m de large dont une extrémité est fermée, il pourrait s'agir de l'extension latérale d'une zone fracturée. A noter que le calcul des distances doit être considéré avec circonspection du fait de l'incertitude sur le coefficient d'emmagasinement.

Les propriétés de l'aquifère sus-jacent (ou sous-jacent) sont considérées comme infinies, sous entendant une drainance « pure » (équivalent au modèle de Hantush, pas de désaturation de l'aquifère drainé).

---

<sup>21</sup> Au puits de pompage, il n'est pas possible d'avoir une estimation fiable de l'emmagasinement en raison des effets de puits, de l'incertitude sur le rayon du puits et aussi du fait que l'on capte des fractures (rayon d'échange puits/aquifère plus grand que le rayon du puits). Donc, l'emmagasinement au puits est un paramètre de calage, parfois sans signification. Cependant, son utilisation pour faire des simulations d'exploitation n'altère pas la qualité des résultats.

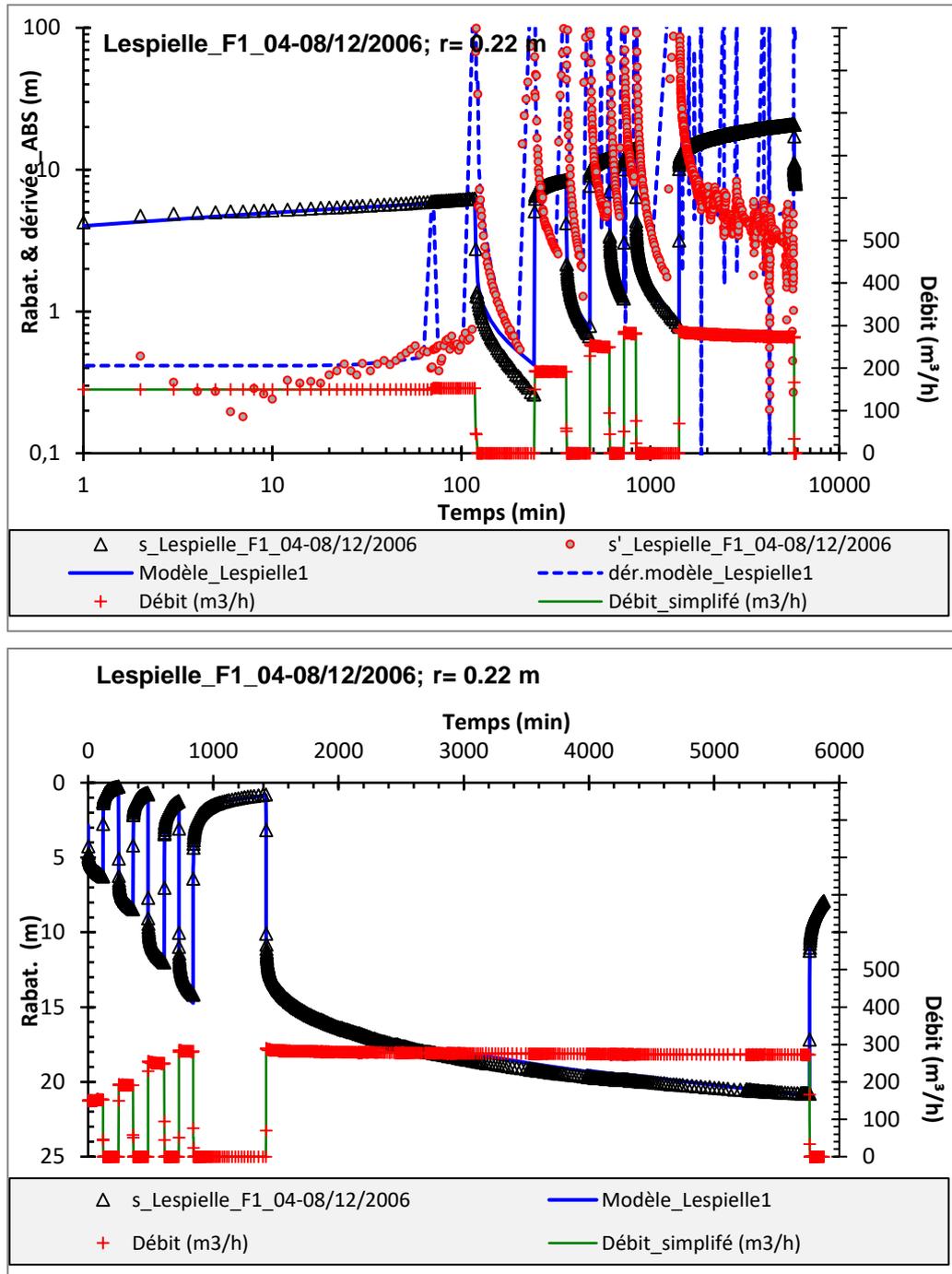


Illustration 75 : Modélisation du rabattement au forage de Lespielle 1 (10053X0002/F1) ; essai réalisé du 04/12/2006 au 08/12/2006 (échelle bi-logarithmique pour le graphique du haut)

Paramètres du modèle		Lespielle1 04-08/12/2006
Distance	r (m)	0.22
Aquifère capté (inférieur)	T (m <sup>2</sup> /s)	8.00E-03
Aquifère capté (inférieur)	S (-)*	5.0E-02
Semi-perméable	k' (m/s)	4.50E-08
Semi-perméable	b' (m)	1
Aquifère supérieur	T0 (m <sup>2</sup> /s)	infinie
Aquifère supérieur	Sy (-)	infinie
Distance à la 1 <sup>ère</sup> limite	Dist.lim. 1 (min)	30
Distance à la 2 <sup>ème</sup> limite	Dist.lim. 2 (min)	200
Distance à la 3 <sup>ème</sup> limite	Dist.lim. 3 (min)	2000
Distance à la 4 <sup>ème</sup> limite	Dist.lim. 4 (min)	-
<i>Distance à la 1<sup>ère</sup> limite</i>	<i>Dist.lim. 1 (m)*</i>	<i>33.9</i>
<i>Distance à la 2<sup>ème</sup> limite</i>	<i>Dist.lim. 2 (m)*</i>	<i>87.6</i>
<i>Distance à la 3<sup>ème</sup> limite</i>	<i>Dist.lim. 3 (m)*</i>	<i>277.1</i>
<i>Distance à la 4<sup>ème</sup> limite</i>	<i>Dist.lim. 4 (m)*</i>	<i>-</i>
Pertes de charge quadratiques	C (m <sup>-5</sup> s <sup>2</sup> )	850
Effet capacitif	Rc (m)	0.1

Tableau 27 : Paramètres hydrodynamiques utilisés pour la modélisation des essais de 2006 sur le forage de Lespielle 1 (10053x0002/F1)<sup>22</sup>. Cf. tableau 26 pour l'explication des paramètres.

### 5.5.2. Lespielle 2 - RD 543 (10057X0003/LESP-2)

#### **Coupe de l'ouvrage**

Le forage de Lespielle 2 (10053X0003/LESP-2) a été réalisé du 22 novembre 1976 au 28 février 1977 par la société INTRAFOR-COFOR pour le compte à l'époque du syndicat intercommunal d'irrigation de la vallée du Leez (Bonnery, et al., 1978). Il capte l'aquifère des Sables-Infra-Molassiques (Illustration 76).

<sup>22</sup> La valeur indiquée pour l'emménagement correspond à un paramètre de calage qui n'a pas forcément de signification physique puisqu'elle est estimée ici au puits de pompage. Il en est de même pour les distances aux limites exprimées en mètres car elles sont assujetties à la valeur de S.

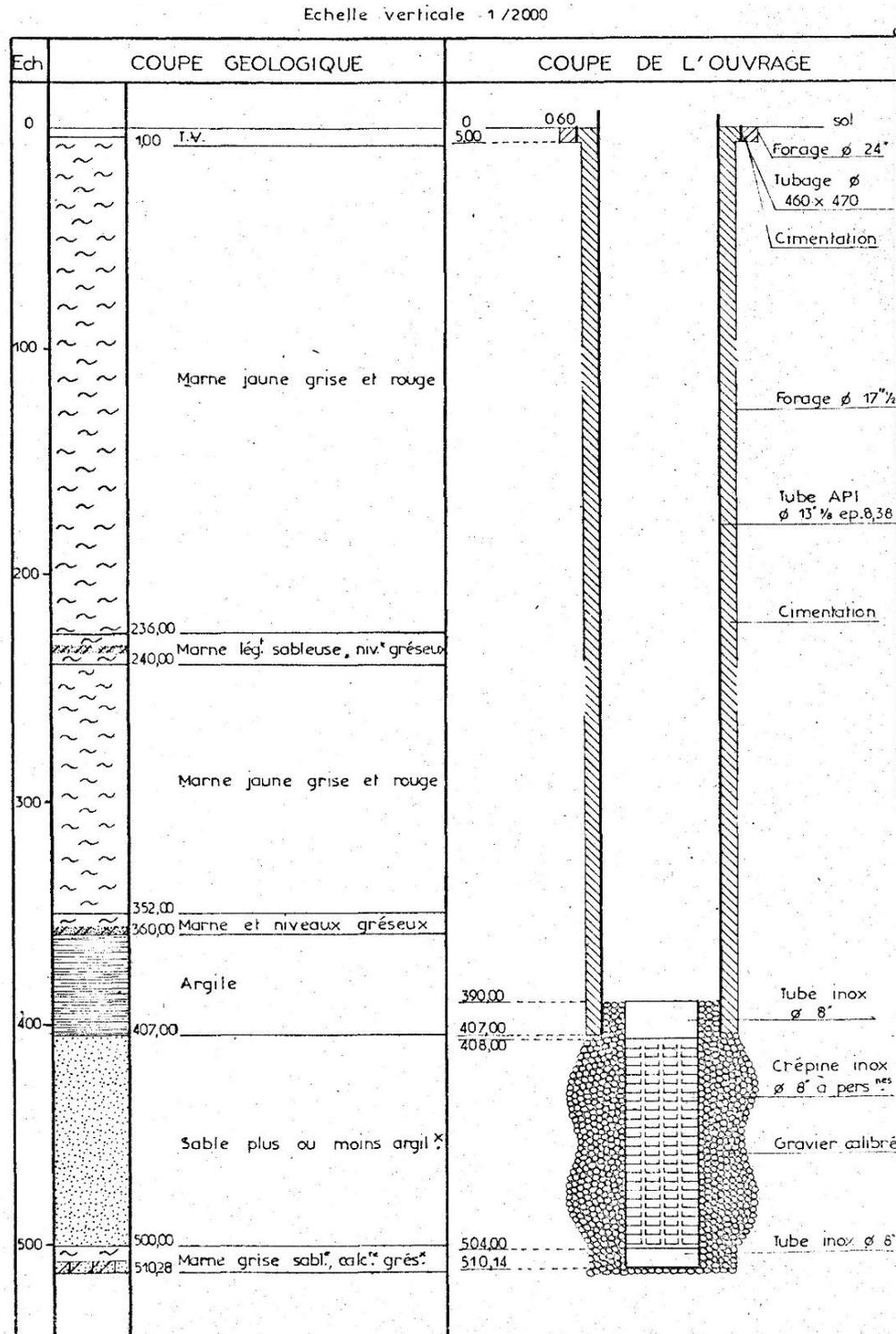


Illustration 76 : Coupes technique et géologique du forage de Lespielle 2 (10053X0003/LESP-2)

Au total, 3 pompages d'essai ont été recensés sur ce forage (Tableau 28). Le premier correspond à celui réalisé dans le cadre de la réalisation de l'ouvrage.

	févr-1977	sept-2005	déc-2006
Prof. niv. initial (m)	25.86	47.83	43
Essai par paliers (courte durée)	oui	non	oui
Durée du pompage de longue durée	72 heures	3 heures	100 heures
Débit moyen du pompage de longue durée	250 m <sup>3</sup> /h	60 m <sup>3</sup> /h	225 m <sup>3</sup> /h
Source	Rapport BRGM 78-SGN-081 (Bonnerly, et al., 1978)	Hydro-Assistance	Hydro-Assistance (Chapiteau, 2006)
Commentaire	Pas de valeurs sous forme de tableau- seulement les courbes	Données numériques	Données numériques

Tableau 28 : Essais par pompage disponibles au forage de Lespielle 2 (10057X0003/LESP-2)

### **Diagnostic des essais**

Le diagnostic a été réalisé à partir des essais réalisés sur les données de février 1977, de septembre 2005 et de décembre 2006.

Le pompage de février 1977 a duré près de 3 jours (4 320 min) à des débits compris entre 244 et 264 m<sup>3</sup>/h aboutissant à un rabattement maximum de 45 m (Illustration 77). Une remontée de 24 heures a été observée. La reconstruction de la courbe de descente a été réalisée en combinant des données provenant de la digitalisation de la courbe d'évolution du niveau dynamique et de données issues d'un tableau de mesures. Une incertitude demeure néanmoins sur la fiabilité de ces données, des incohérences étant observées entre les deux jeux de données.

Le pompage de septembre 2005 est plus court et n'a duré que 183 min à un débit moyen de près de 60 m<sup>3</sup>/h induisant par conséquent des rabattements beaucoup plus faibles de l'ordre de 5 m (Illustration 78).

Le pompage de longue durée de décembre 2006 a fait suite à un pompage par paliers de débit mais seule la descente de l'essai longue durée (la remontée ayant été observée sur une période trop courte pour être prise en compte), s'étalant sur près de 100 heures (5 967 min) à un débit compris entre 202 m<sup>3</sup>/h et 265 m<sup>3</sup>/h, a été prise en compte pour le diagnostic (Illustration 79). Le rabattement maximum mesuré est de 18,8 m.

L'illustration 80 présente le diagnostic des essais réalisés sur l'ensemble des données exploitables. Il a été établi à partir de la normalisation des données de descente du pompage de longue durée de 1977 (21-24/02/1977), de la descente de l'essai par paliers de 3 heures de 2005 (13/09/2005) et de la descente du dernier essai longue durée réalisé sur l'ouvrage en 2006 (11-18/12/2006). Les courbes de dérivée montrent un comportement similaire d'un essai à l'autre, malgré des rabattements normalisés différents traduisant vraisemblablement dans ce cas un développement de l'ouvrage entre 1977 et 2005.

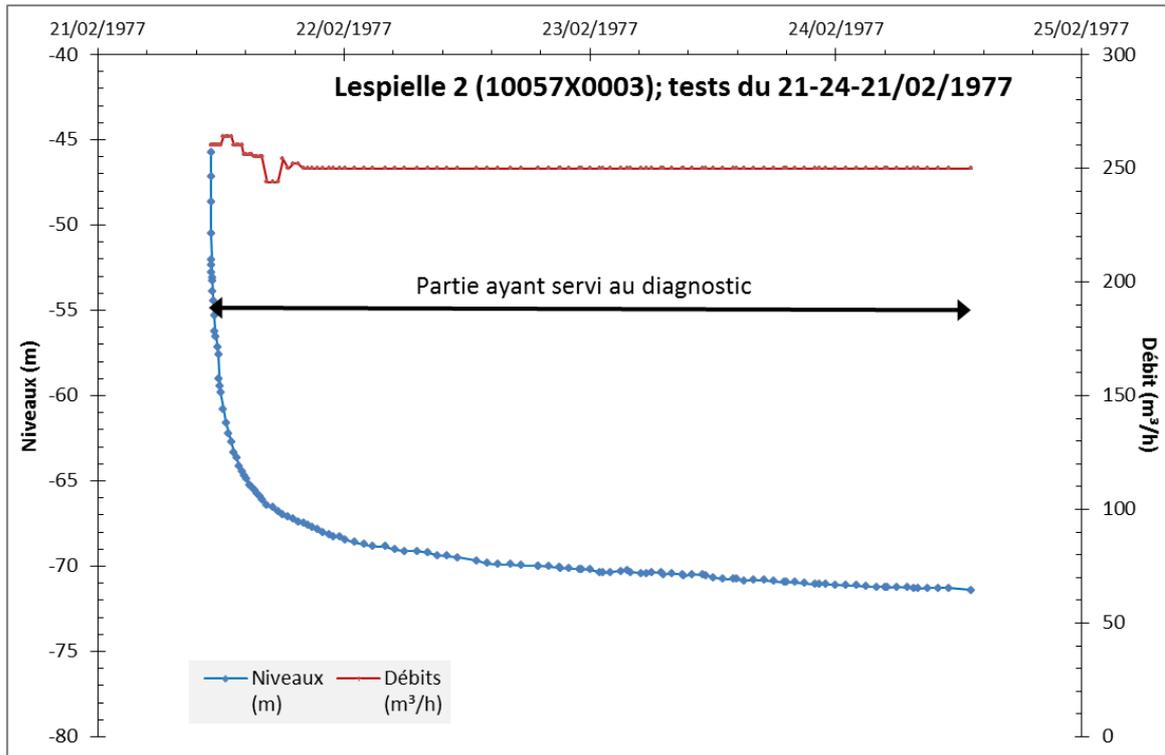


Illustration 77 : Forage de de Lespielle 2 (10057X0003/LESP-2) - descente du pompage de janvier 1977

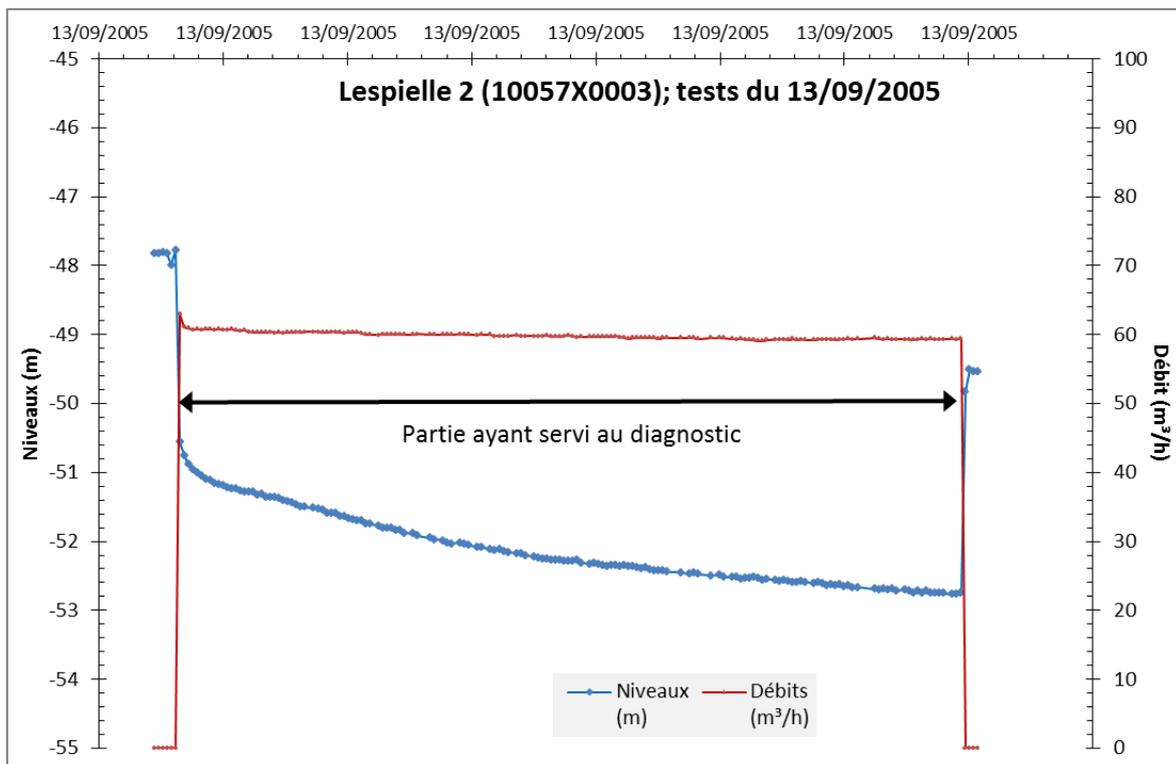


Illustration 78 : Forage de de Lespielle 2 (10057X0003/LESP-2) - descente et remontée du pompage de septembre 2005

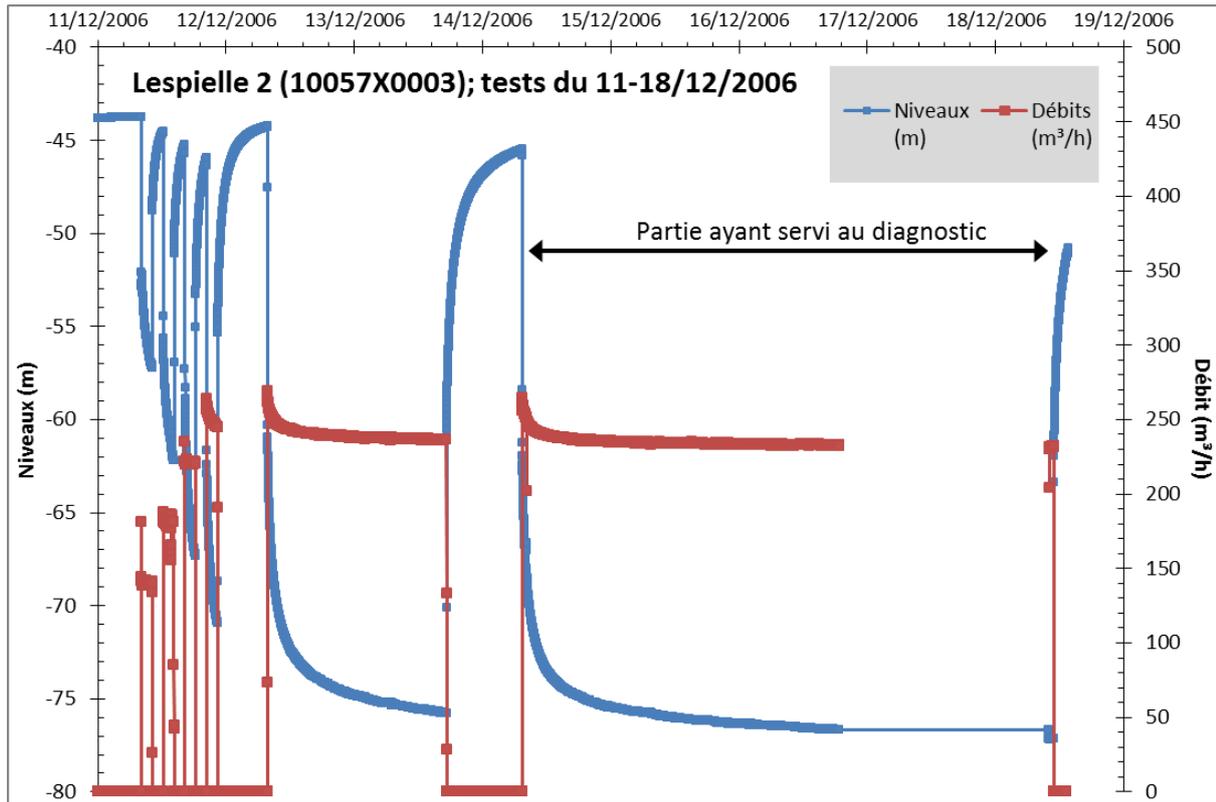


Illustration 79 : Forage de Lespielle 2 (10057X0003/LESP-2) - essais de pompage de décembre 2006

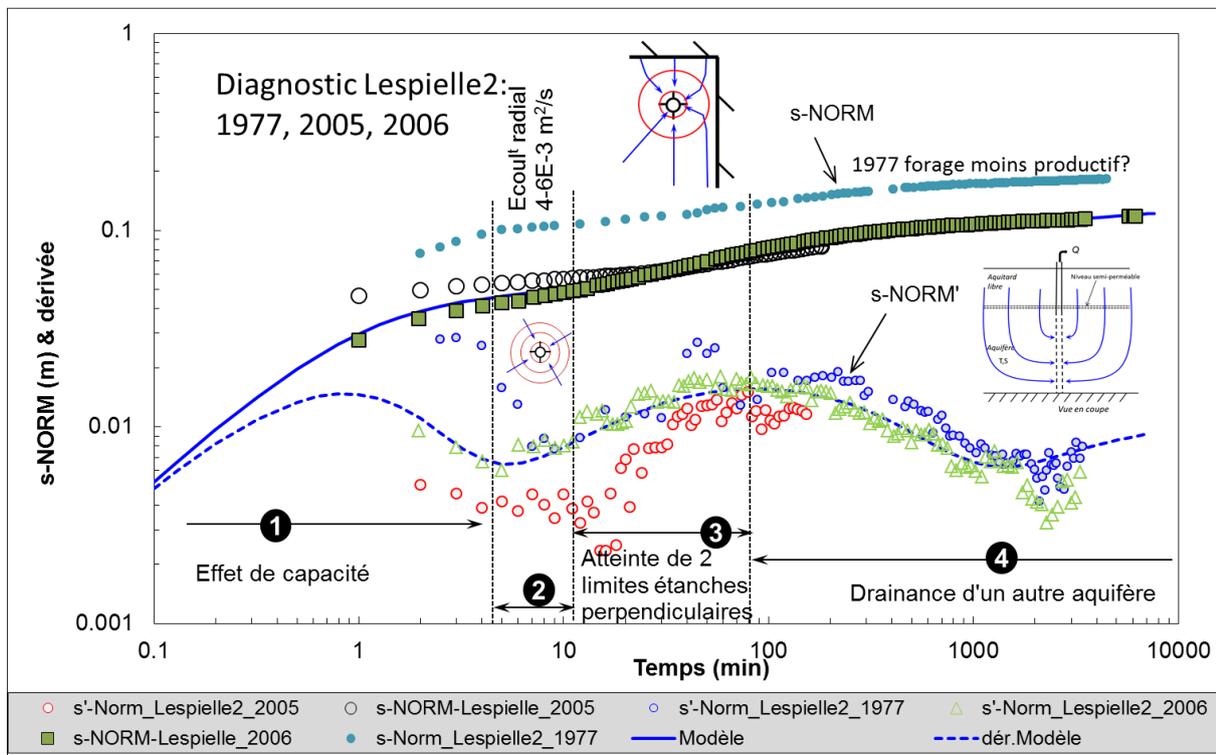


Illustration 80 : Diagnostic des essais réalisés en 1977, 2005 et 2006 au forage Lespielle 2  
 Aquifère captif. s-NORM : rabattement normalisé ; s'-NORM : dérivée du rabattement normalisé à la descente. En bleu : modèle (trait plein : rabattement ; pointillés : dérivée).

Le diagnostic permet d'identifier les phases d'écoulement suivantes (Illustration 80) :

1. du début de l'essai à environ 4,5 minutes, la courbe de dérivée décrit la fin de l'effet de capacité lié au puits ;
2. de 4,5 à 11 minutes, la dérivée forme un plateau typique d'un écoulement radial à partir duquel une première estimation de la transmissivité de l'aquifère peut être faite, aux alentours de  $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  ;
3. de 11 à 80 minutes, la dérivée suit une pente de 0,5 caractéristique d'un écoulement linéaire pouvant correspondre à l'atteinte de deux limites étanches ;
4. de 80 minutes à la fin de l'essai, la dérivée se stabilise puis décroît, ce qui est typique de la réaction d'un effet de drainance provenant d'un autre aquifère.

Le modèle mathématique choisi, aquifère multicouche limité dans l'espace, est le même que celui décrit au paragraphe 5.5.1. Ce modèle est bien adapté aux écoulements mis en évidence lors du diagnostic.

L'illustration 81 présente la modélisation des essais réalisés en 2006 (pompages par paliers et pompages longue durée) ; la modélisation est de bonne qualité.

La transmissivité de l'aquifère est estimée à  $4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  (Tableau 29). Il est considéré que le puits capte la totalité du réservoir. La valeur de l'emmagasinement,  $6 \times 10^{-2}$  (-), est élevée pour un aquifère captif. Rappelons que cette valeur (emmagasinement) correspond à un paramètre de calage qui n'a pas forcément de signification physique lorsqu'estimé au puits de pompage. Les limites étanches sont très proches puisqu'elles sont estimées à environ 8 m du puits. Il semble que le forage soit très proche d'une zone de limites représentée soit par des failles qui compartimentent le réservoir, soit par des réservoirs peu perméables. Il faut garder à l'esprit que les distances aux limites ne peuvent être évaluées avec précision étant donné les incertitudes sur le coefficient d'emmagasinement. Cet aquifère est aussi soumis à des effets de drainance au travers d'une éponte semi-perméable ( $k' = 2,5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  pour une épaisseur unitaire) sollicitant un aquifère supérieur (ou inférieur) de transmissivité et d'emmagasinement élevés,  $4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  et 0,35 (-) respectivement.

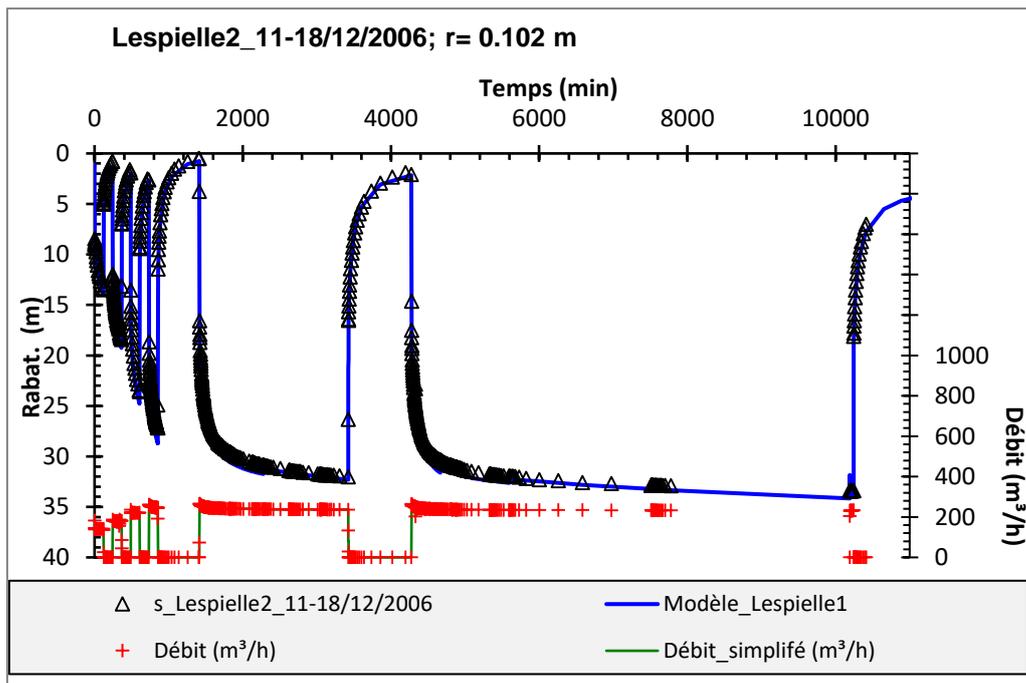
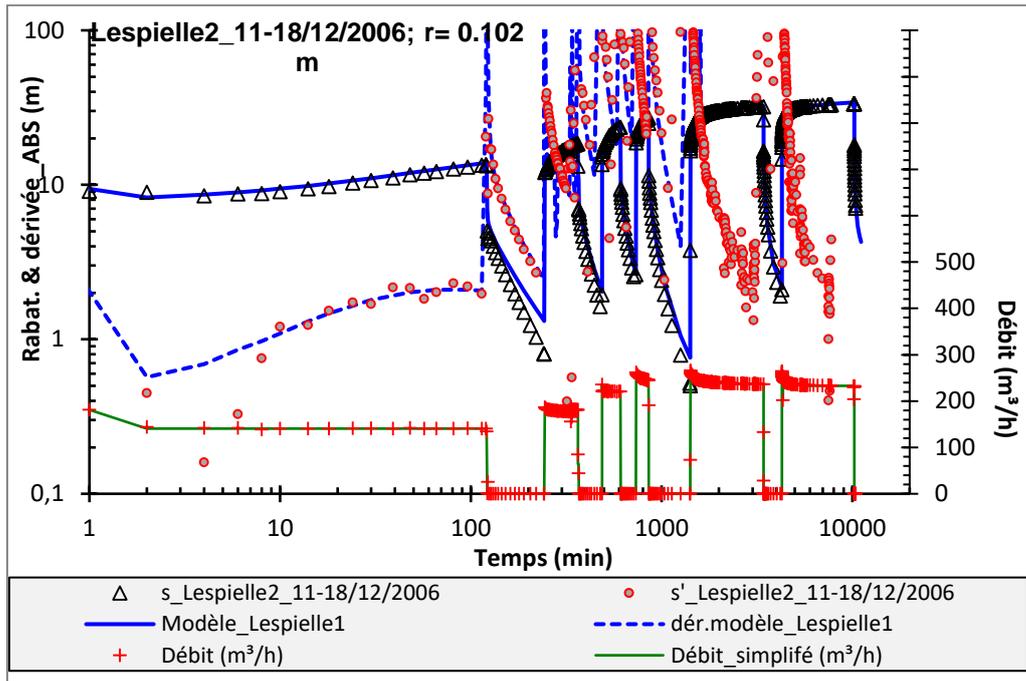


Illustration 81 : Modélisation du rabattement au forage de Lespielle 2 (10057X0003/LESP-2) ; essai réalisé du 11/12/2006 au 18/12/2006 (échelle bi-logarithmique pour le graphique du haut)

Paramètres du modèle		Lespielle2_14-18/12/2006
Distance	r (m)	0.102
Aquifère capté (inférieur)	T (m <sup>2</sup> /s)	4.00E-03
Aquifère capté (inférieur)	S (-)	0.06
Semi-perméable	k' (m/s)	2.50E-06
Semi-perméable	b' (m)	1
Aquifère supérieur	T0 (m <sup>2</sup> /s)	4.00E-03
Aquifère supérieur	Sy (-)	0.35
Distance à la 1 <sup>ère</sup> limite	Dist.lim. 1 (min)	4
Distance à la 2 <sup>ème</sup> limite	Dist.lim. 2 (min)	-
Distance à la 3 <sup>ème</sup> limite	Dist.lim. 3 (min)	4
Distance à la 4 <sup>ème</sup> limite	Dist.lim. 4 (min)	-
<i>Distance à la 1<sup>ère</sup> limite</i>	<i>Dist.lim. 1 (m)</i>	8
<i>Distance à la 2<sup>ème</sup> limite</i>	<i>Dist.lim. 2 (m)</i>	-
<i>Distance à la 3<sup>ème</sup> limite</i>	<i>Dist.lim. 3 (m)</i>	8
<i>Distance à la 4<sup>ème</sup> limite</i>	<i>Dist.lim. 4 (m)</i>	-
Pertes de charge quadratiques	C (m <sup>-5</sup> s <sup>2</sup> )	1450
Effet capacitif	Rc (m)	0.2

Tableau 29 : Paramètres hydrodynamiques utilisés pour la modélisation des essais sur le forage de Lespielle 2 (10057X0003/LESP-2)<sup>23</sup>. Cf. tableau 26 pour l'explication des paramètres.

### 5.5.3. Burosse-Mendousse (10052X0006/F1)

#### **Coupe de l'ouvrage**

Le forage de Burosse-Mendousse ou Garlin 1 (10052X0006/F1) a été réalisé du 19 janvier 1980 au 29 mai 1980 par l'entreprise Monichon-Destribats basée à Cenon à la demande du Syndicat de Garlin (Bernard et Chamayou, 1980). L'équipement du forage était dans un premier temps constitué de crépines à nervures repoussées qui se sont effondrées à 515.25 m de profondeur.

Les premiers pompages d'essai réalisés sur cet ouvrage ont été effectués au mois d'avril 1980 avec la crépine effondrée et ont montré la venue de sables fins. L'extraction de la crépine endommagée fut décidée pour y mettre en place une crépine de type Johnson (à enroulement d'un fil de section triangulaire).

Un pompage de seulement 8 heures a été réalisé par la suite au mois de décembre mettant en évidence l'absence de sable dans les eaux.

<sup>23</sup> La valeur indiquée pour l'emmagasinement correspond à un paramètre de calage qui n'a pas forcément de signification physique puisqu'elle est estimée ici au puits de pompage. Il en est de même pour les distances aux limites exprimées en mètres car elles sont assujetties à la valeur de S.

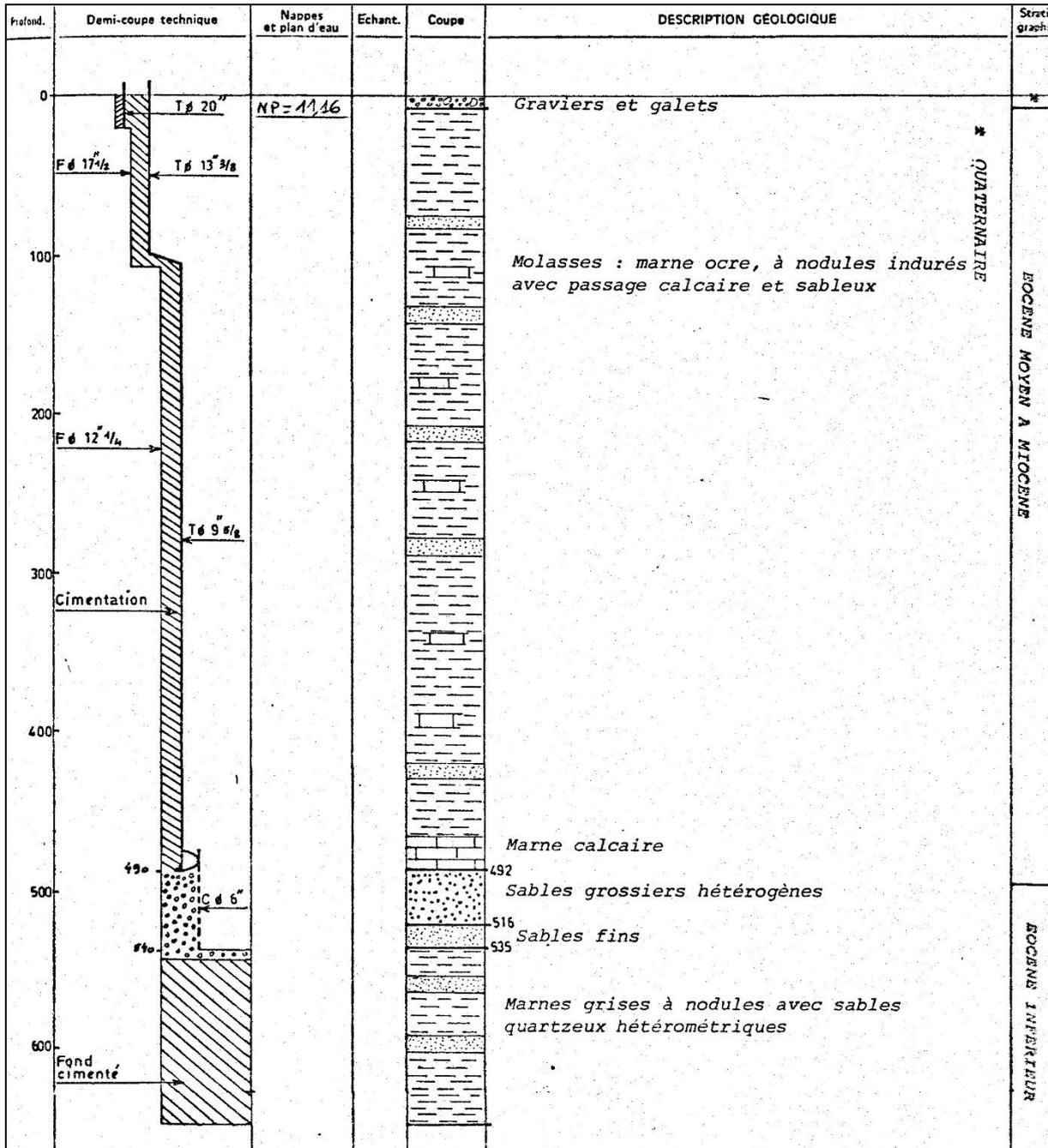


Illustration 82 : Coupes technique et géologique du forage de Burosse-Mendousse / Garlin 1 (10052X0006/F1)

Au total, 2 pompages ont été recensés sur ce forage (Tableau 30). Le premier, correspondant à celui réalisé dans le cadre de la réalisation de l'ouvrage, n'est cependant pas exploitable.

	dec-1980	avr-2007
Prof. niv. initial (m)	16.15	34.84
Essai par paliers (courte durée)	non	non
Durée du pompage de longue durée	8 heures	3 jours
Débit moyen du pompage de longue durée (m <sup>3</sup> /h)	40 m <sup>3</sup> /h	65 m <sup>3</sup> /h
Source	rapport BRGM 80 SGN 869 AQI	Hydro- Assistance
Commentaire	Il existe un autre pompage très court avant le rééquipement du forage	Données numériques

Tableau 30 : Essais par pompage disponibles au forage de Burosse-Mendousse / Garlin 1 (10052X0006/F1)

### Diagnostic de l'essai

Le diagnostic a été réalisé à partir de l'essai réalisé en avril 2007. Il a duré près de 72 heures (4 320 min) à des débits compris entre 35,4 et 66,9 m<sup>3</sup>/h aboutissant à un rabattement maximum de 36,6 m (Illustration 83).

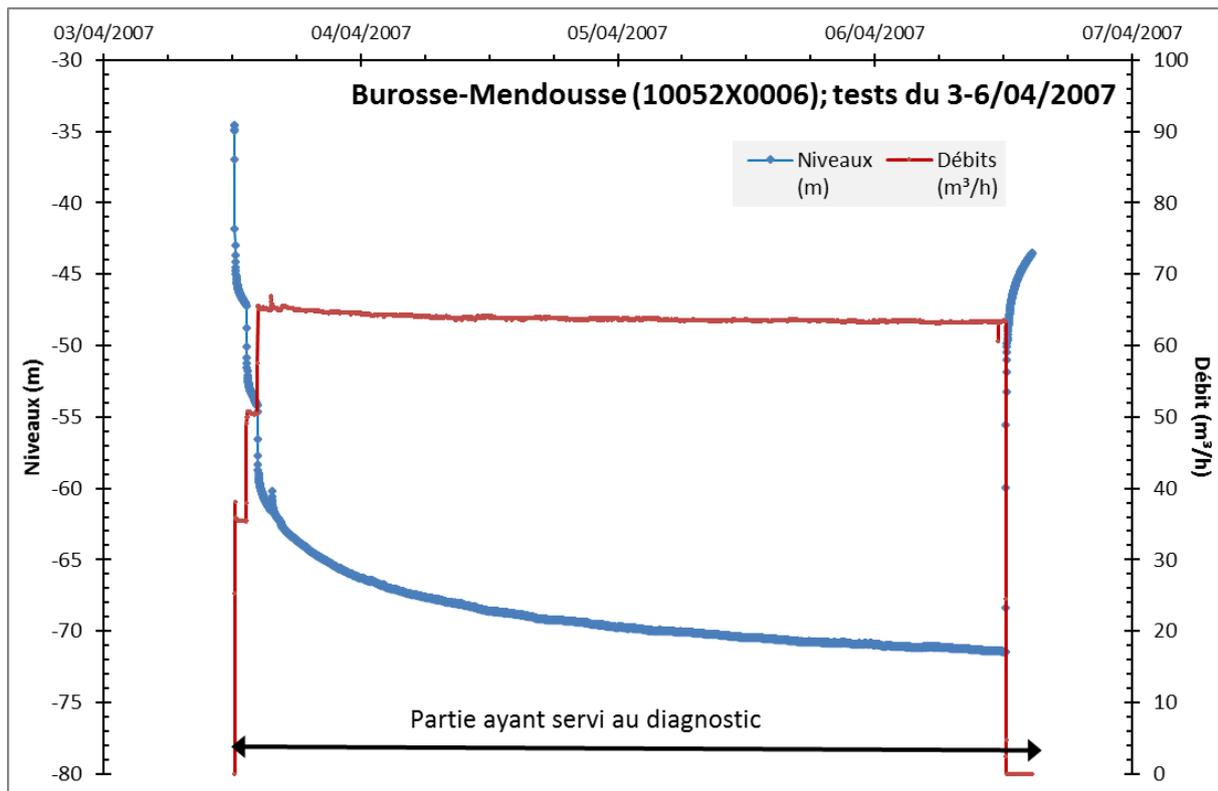


Illustration 83 : Forage de Burosse-Mendousse / Garlin 1 (10052X0006/F1) - descente et remontée du pompage d'avril 2007

L'illustration 84 présente le diagnostic de l'essai à débit variable réalisé en avril 2007. Il a été construit à partir de la normalisation des données de descente et de remontée du pompage.

Les courbes de dérivée à la descente et à la remontée des niveaux montrent un comportement similaire.

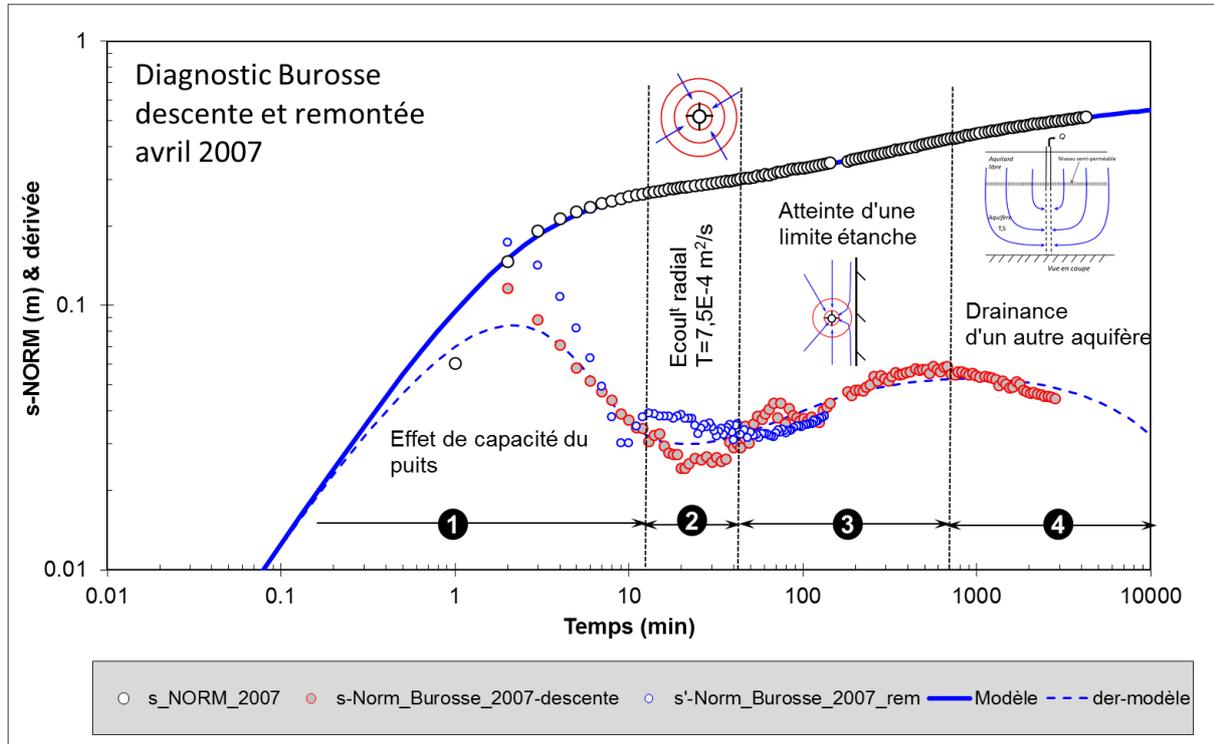


Illustration 84 : Diagnostic des essais réalisés en 2007 au forage Burosse-Mendousse / Garlin 1 (10052X0006/F1).

Aquifère captif.  $s$ -NORM : rabattement normalisé ;  $s'$ -NORM : dérivée du rabattement normalisé à la descente. En bleu : modèle (trait plein : rabattement ; pointillés : dérivée).

Les phases d'écoulement suivantes sont distinguées (Illustration 84) :

1. du début de l'essai à environ 13 minutes, la courbe de dérivée décrit la fin de l'effet de capacité lié au puits ;
2. de 13 à 45 minutes, la dérivée forme un plateau typique d'un écoulement radial à partir duquel une première estimation de la transmissivité de l'aquifère peut être faite, aux alentours de  $7,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  ;
3. de 45 à 710 minutes, la dérivée augmente jusqu'à atteindre un nouveau plateau à une valeur deux fois supérieure à celle du plateau précédent, ce qui correspond au doublement de la pente du rabattement. Cet écoulement est caractéristique de l'atteinte d'une limite étanche ;
4. et de 710 minutes à la fin de l'essai, la dérivée se stabilise puis décroît, ce qui est typique de la réaction d'un effet de drainance provenant d'un autre aquifère.

Le modèle mathématique choisi, aquifère multicouche limité dans l'espace, est le même que celui décrit au paragraphe 5.5.1. Ce modèle est bien adapté aux écoulements mis en évidence lors du diagnostic.

L'illustration 85 présente la modélisation de l'essai réalisé en avril 2006 (pompages longue durée) ; la modélisation est de bonne qualité.

La transmissivité de l'aquifère est estimée à  $7,5 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s. Il est considéré que le puits capte la totalité du réservoir. La valeur de l'emmagasinement,  $1 \times 10^{-3}$  (-), paraît cohérente pour un aquifère captif. A noter cependant que la valeur indiquée (emmagasinement) correspond à un paramètre de calage qui n'a pas forcément de signification physique lorsqu'estimé au puits de pompage. La première limite étanche est localisée à 67 m du puits (Tableau 31). Cette valeur reste cependant indicative étant donné l'incertitude sur la valeur du coefficient d'emmagasinement. De plus, cet aquifère est aussi soumis à des effets de drainance au travers d'une éponte semi-perméable ( $k' = 1,0 \times 10^{-9}$  m/s pour une épaisseur unitaire).

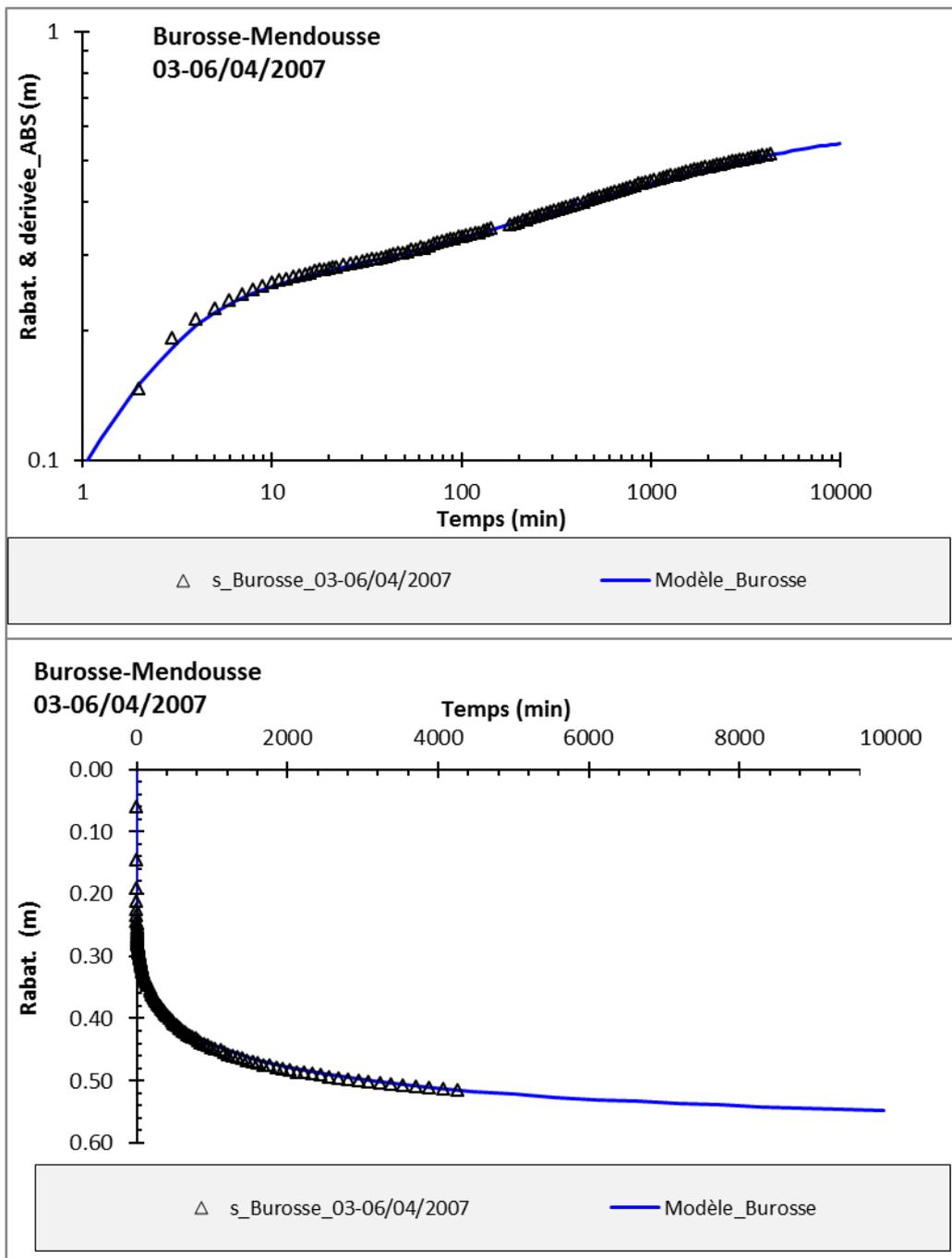


Illustration 85 : Modélisation du rabattement au forage de Burosse-Mendousse / Garlin 1 (10052X0006/F1) ; essai réalisé du 03/04/2006 au 06/04/2007.

Distance	r (m)	0.0762
Transmissivité de l'aquifère capté	T (m <sup>2</sup> /s)	7.50E-04
Emmagasinement de l'aquifère capté	S (-)	1.00E-03
% Epaisseur de l'aquifère capté	B (%)	100
Aquifère supérieur	T0 (m <sup>2</sup> /s)	infinie
Aquifère supérieur	Sy (-)	infinie
Dist. à la 1 <sup>ière</sup> limite	Dist.lim. 1 (m)	67.00
Temps à la 1 <sup>ère</sup> limite	Dist.lim. 1 (min)	25
Perméabilité de l'éponte	k' (m/s)	1.00E-09
Epaisseur de l'éponte	e' (m)	1.00

Tableau 31 : Paramètres hydrodynamiques utilisés pour la modélisation des essais sur le forage de Burosse-Mendousse / Garlin 1 (10052X0006/F1)<sup>24</sup>. Cf. tableau 26 pour l'explication des paramètres.

#### 5.5.4. Lannecaube (10052X0038/F)

##### **Coupe de l'ouvrage**

Le forage de Lannecaube (10052X0038/F) a été réalisé du 12 juin au 31 juillet 1995 par l'entreprise Foradour sous l'égide de la DDAF des Pyrénées Atlantiques (Pouchan et Pélissier-Hermitte, 1995). Le forage capte l'aquifère du Paléocène (Illustration 86).

<sup>24</sup> La valeur indiquée pour l'emmagasinement correspond à un paramètre de calage qui n'a pas forcément de signification physique puisqu'elle est estimée ici au puits de pompage. Il en est de même pour les distances aux limites exprimées en mètres car elles sont assujetties à la valeur de S.

Profondeur/sol	Lith	Age	Description
17		PQ	Argile brune gréseuse Sable argileux beige Argile jaune, à galets de quartz, Feldspath, anguleux
226		EOCENE MOYEN-MIOCENE	Molasse: - argile calcaire jaune ocre plastique, sableuse, à graviers de calcaire gris - passées de: * calcaire blanchâtre, jaune ocre ou blanc rosé * grés jaune ocre fin à moyen, à ciment carbonaté
250			Sables quartzeux, translucides à blanc laiteux, moyens à très grossiers
287		YPPRESIEN INFÉRIEUR	Idem plus grés gris blanchâtre, fin à moyen à ciment carbonaté Grés à nummulites Argile gris foncé à gris vert, plastique, sableuse, micacée et glauconieuse Passées de: - grés gris blanchâtre, moyen, à ciment carbonaté glauconieux - grés moyen à grossier à ciment pyriteux Rares débris ligniteux Nummulites abondantes de 320 à 370 m A la base, argile devenant plus calcaire
532			PALEOCENE Calcaire gris blanchâtre à beige blanchâtre, graveleux, légèrement argileux, glauconieux à rares nummulites et calcaire blanchâtre, graveleux De 650 à 670 m, traces d'asphalte sec à pâteux
762			DANIEN
875		Dolomie beige microcristalline	
933		SENON	Calcaire argileux

Illustration 86 : Coupe géologique du forage de Lannecaube (10052X0038/F)

Le forage est en trou nu de 537 m à 933 m, les terrains calcaires du Paléocène étant suffisamment consolidés, ils ne nécessitent pas la mise en place d'une crépine et d'un massif filtrant. Seules les données de l'essai de longue durée réalisée en septembre 1995 ont pu être retrouvées dans le rapport Pouchan et Hermitte (1995). Nous n'avons pas connaissance d'autre essai de longue durée réalisé sur cet ouvrage (Tableau 32).

	sept-1995
Prof. niv. initial (m)	61.04
Essai par paliers (courte durée)	oui
Durée du pompage de longue durée	72 heures
Débit moyen du pompage de longue durée (m <sup>3</sup> /h)	200 m <sup>3</sup> /h
Source	rapport EGID
Commentaire	Données sous forme de tableau en annexe du rapport

Tableau 32 : Essai par pompage disponible au forage de Lannecaube (10052X0038/F)

### Diagnostic de l'essai

Le diagnostic a été réalisé à partir de la descente et de la remontée de l'essai. Le pompage s'est étalé sur près de 72 heures (4 320 min) à des débits décroissants compris entre 216 et 193 m<sup>3</sup>/h aboutissant à un rabattement maximum de 57,7 m (Illustration 87).

L'illustration 88 présente le diagnostic de l'essai. Il apparaît qu'il n'y a pas de superposition nette des courbes de dérivées à la descente et à la remontée. Ceci peut être dû à un problème de précision sur le suivi des débits. En effet, à partir des données disponibles il est difficile de déterminer avec certitude quand ont lieu les variations de débit. Cependant, ce diagnostic permet de réaliser une première estimation de la transmissivité de l'aquifère. A noter qu'il apparaît en fin de pompage un possible effet de drainance.

Ces éléments devront être vérifiés dans la phase de modélisation.

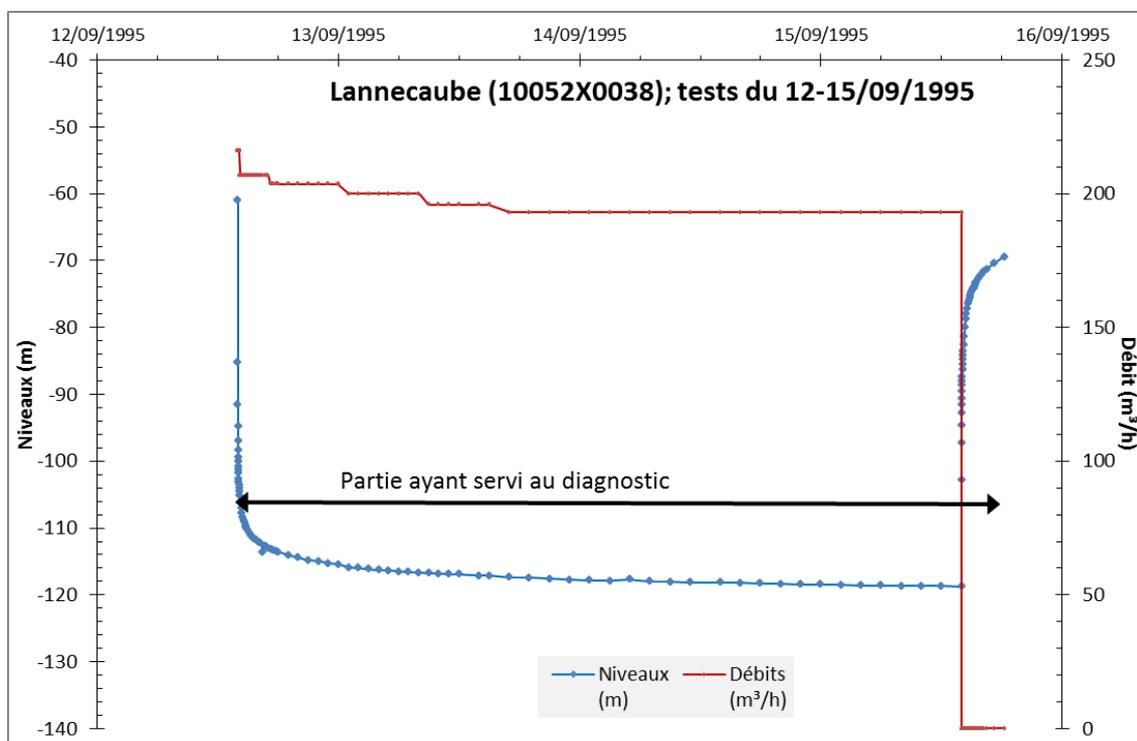


Illustration 87 : Forage de Lannecaube (10052X0038/F) - descente et remontée du pompage de septembre 1995

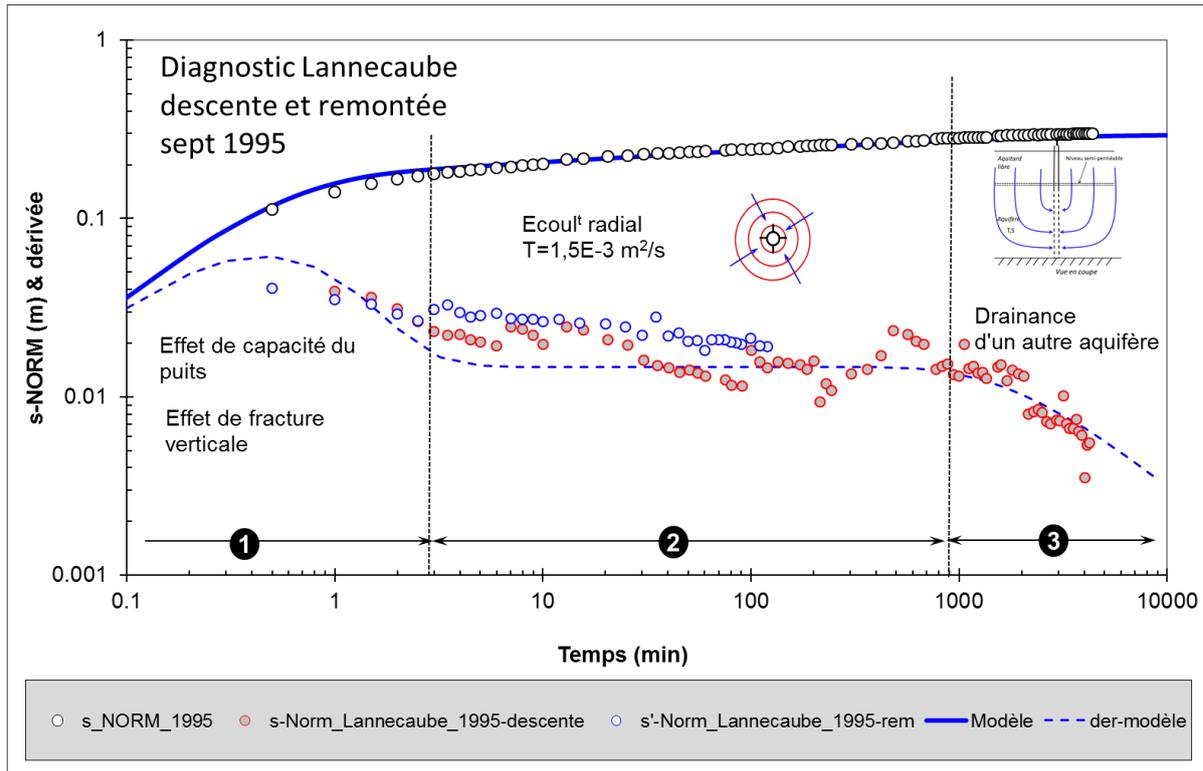


Illustration 88 : Diagnostic de l'essai réalisé en 1995 au forage de Lannecaube (10052X0038/F) Aquifère captif. s-NORM : rabattement normalisé ; s'-NORM : dérivée du rabattement normalisé à la descente. En bleu : modèle (trait plein : rabattement ; pointillés : dérivée).

Le diagnostic permet de distinguer les phases d'écoulement suivantes (Illustration 88) :

1. du début de l'essai à environ 3 minutes, les premières données disponibles de la courbe de dérivée montrent la fin de l'effet de capacité lié au puits ;
2. de 3 à 700-900 minutes, la dérivée forme un plateau typique d'un écoulement radial à partir duquel une première estimation de la transmissivité de l'aquifère peut être faite, aux alentours de  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  ;
3. de 900 minutes à la fin de l'essai, la dérivée décroît, ce qui est typique de la réaction d'un effet de drainance provenant d'un autre aquifère.

Ce diagnostic suggère un fonctionnement de l'aquifère similaire à celui exposé au paragraphe 5.5.1 (aquifère multicouche). Cependant, les modélisations de l'essai de longue durée et de l'essai par paliers de débit n'ont pas donné de résultats probants avec ce modèle : mauvais calage et surtout valeur très irréaliste pour l'emménagement de l'aquifère ( $>1$ ). Il a donc été choisi de tester un autre modèle, un modèle à fracture verticale (Gringarten et Ramey, 1974 ; Illustration 89). Celui-ci permet de modéliser le rabattement d'un puits interceptant une fracture verticale unique (flux uniforme) et recoupant entièrement un aquifère caractérisé par sa transmissivité et son emmagasinement. Ce modèle peut aussi prendre en compte des effets de limites (alimentées ou étanches) et les effets liés au puits. Notons que le diagnostic ne montre pas d'évidence d'écoulement au travers d'une fracture, il se serait caractérisé par une pente de 0,25 à 0,5 (écoulement bilinéaire à linéaire) en tout début d'essai. Il est cependant possible que cet écoulement ait été masqué par les effets de puits (effet de capacité notamment), suggérant que si le forage intercepte une telle structure celle-ci devrait être de faible dimension.

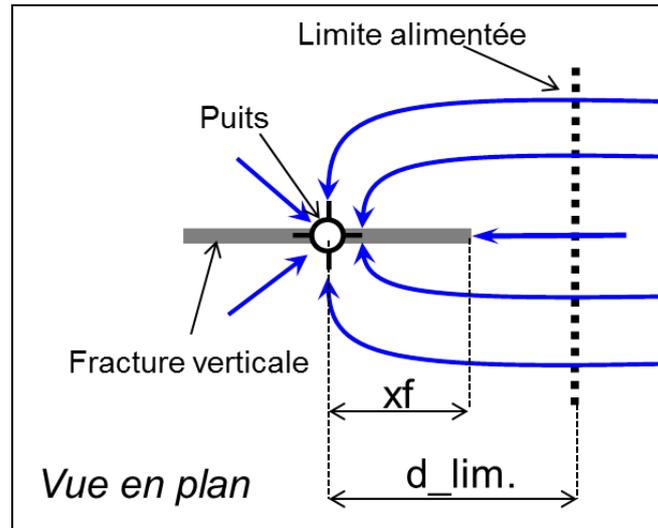


Illustration 89 : Solution de Gringarten et Ramey (1974)

Fracture verticale unique (flux uniforme) recoupant un aquifère avec effet d'une limite alimentée.  $x_f$ : demi-longueur de la fracture ;  $d_{lim.}$  : distance à la limite alimentée (dans ce cas perpendiculaire à la fracture).

L'illustration 90 et l'illustration 91 présentent les modélisations des essais réalisés en 1995 (pompages par paliers et longue durée). Les modélisations sont de relativement bonne qualité, avec des paramètres réalistes (voir ci-dessous ; Tableau 33) suggérant que cette solution est bien adaptée pour modéliser les essais sur cet ouvrage. Notons par ailleurs que ce type de configuration (présence d'une fracture) est attendu en milieu carbonaté.

La transmissivité de l'aquifère est estimée à  $1,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . et la valeur de l'emmagasinement à  $1,0 \times 10^{-4}$  (-) soit cohérente pour un aquifère captif. A noter cependant que la valeur indiquée (emmagasinement) correspond à un paramètre de calage qui n'a pas forcément de signification physique lorsqu'estimé au puits de pompage. La demi-longueur de la fracture est estimée à 20 m. Le calage des modèles a nécessité d'introduire une limite alimentée, située à une distance de 1 700 m du puits de pompage si l'on se base sur la valeur estimée pour le coefficient d'emmagasinement (distance exprimée en temps : 800 minutes). Cependant, celle-ci ne traduit pas forcément la présence d'un milieu extrêmement perméable, mais plutôt la présence d'effets de drainance en provenance d'autres niveaux aquifères ou aquitards comme les niveaux argileux de l'Yprésien.

Distance	r (m)	0.1080
Transmissivité de l'aquifère capté	T ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	1.50E-03
Emmagasinement de l'aquifère capté	S (-)	1.00E-04
Demi-longueur de la fracture	$x_f$ (m)	20
Distance limite alimentée	$d_{lim.}$	800 min ; 1700 m
Capacité du puits	Rc (m)	1.10E-01
Pertes de charges quadratiques	C ( $\text{m}^{-5}\text{s}^2$ )	8200

Tableau 33 : Paramètres hydrodynamiques utilisés pour la modélisation des essais sur le forage de Lannecaube (10052X0038/F)<sup>25</sup>

<sup>25</sup> La valeur indiquée pour l'emmagasinement correspond à un paramètre de calage qui n'a pas forcément de signification physique puisqu'elle est estimée ici au puits de pompage. Il en est de même pour la distance à la limite exprimée en mètres car elle est assujettie à la valeur de S.

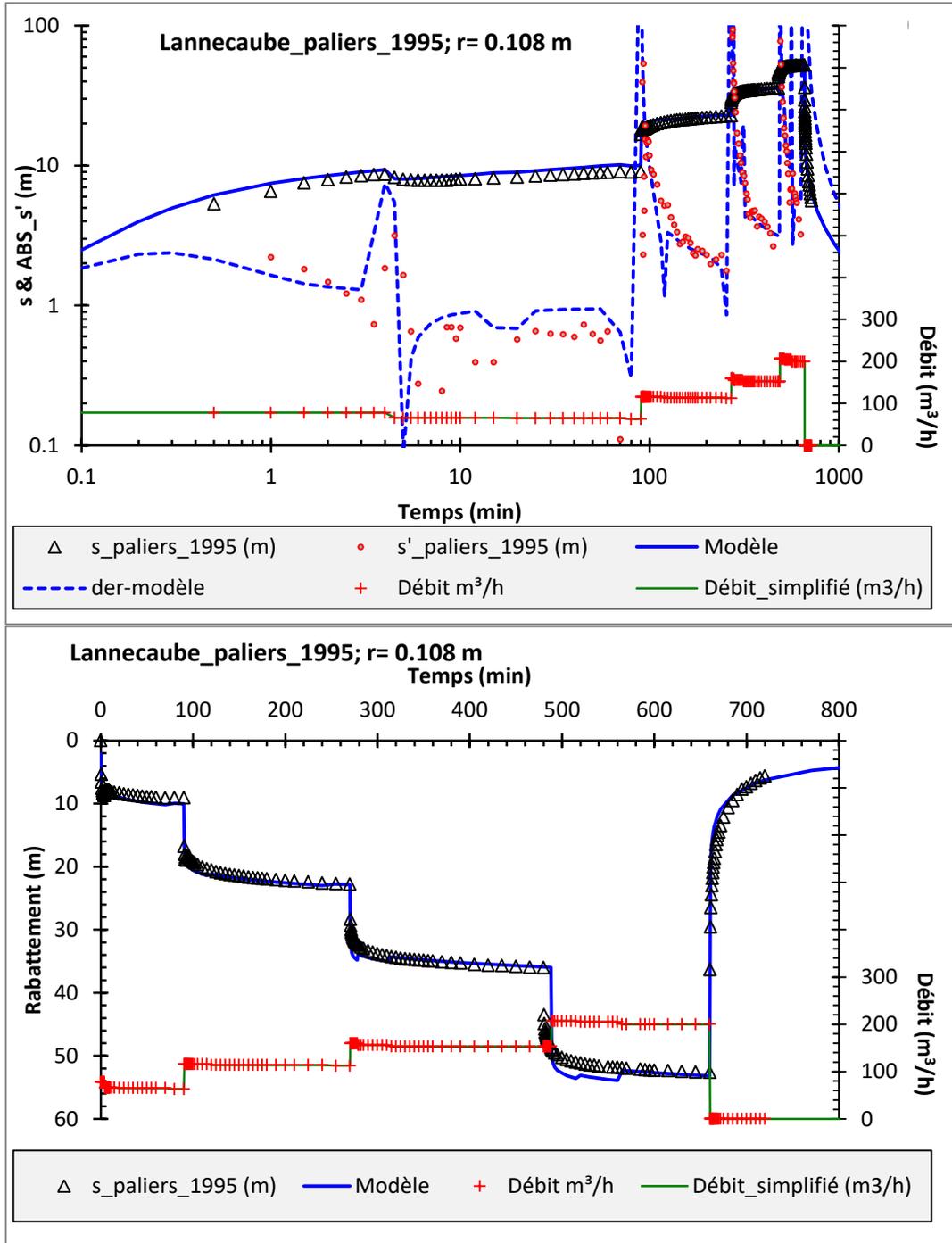


Illustration 90 : Modélisation du rabattement au forage de Lannecaube ((10052X0038/F)) ; essai par paliers de débit du 11/09/1995

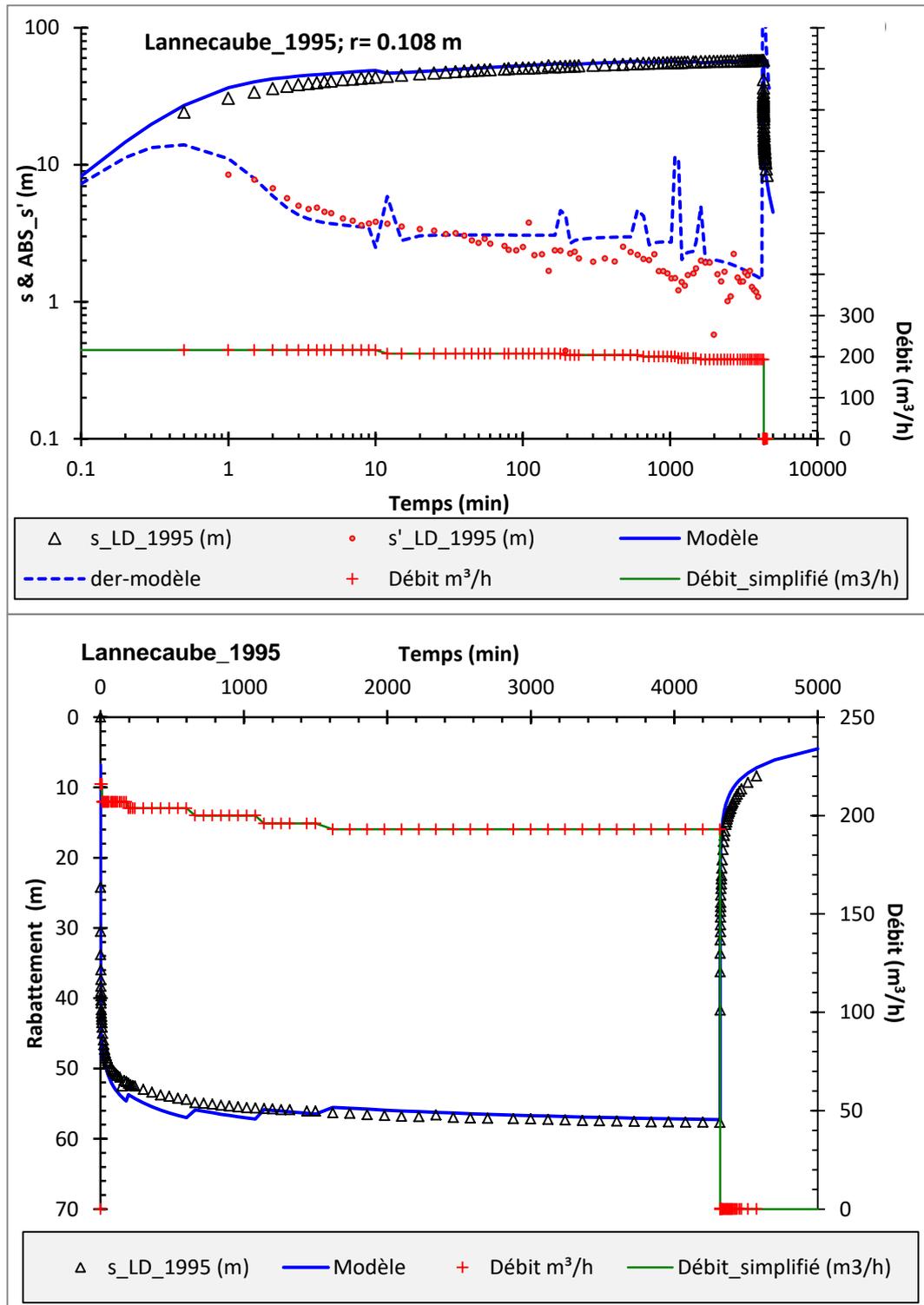


Illustration 91 : Modélisation du rabattement au forage de Lannecaube ((10052X0038/F) ; essai réalisé de longue durée du 12/09/1995 au 15/09/1995

### 5.5.5. Lasseppe (10052X0037/F)

#### Coupe de l'ouvrage

Le forage de Lasseppe (10052X0037/F) a été réalisé du 21 juin au 24 août 1993 par l'entreprise Foradour sous l'égide de la DDAF des Pyrénées Atlantiques (Pouchan et Pélissier-Hermitte, 1993). Le forage capte l'aquifère des Sables-Infra-Molassiques (Illustration 92 et Illustration 93).

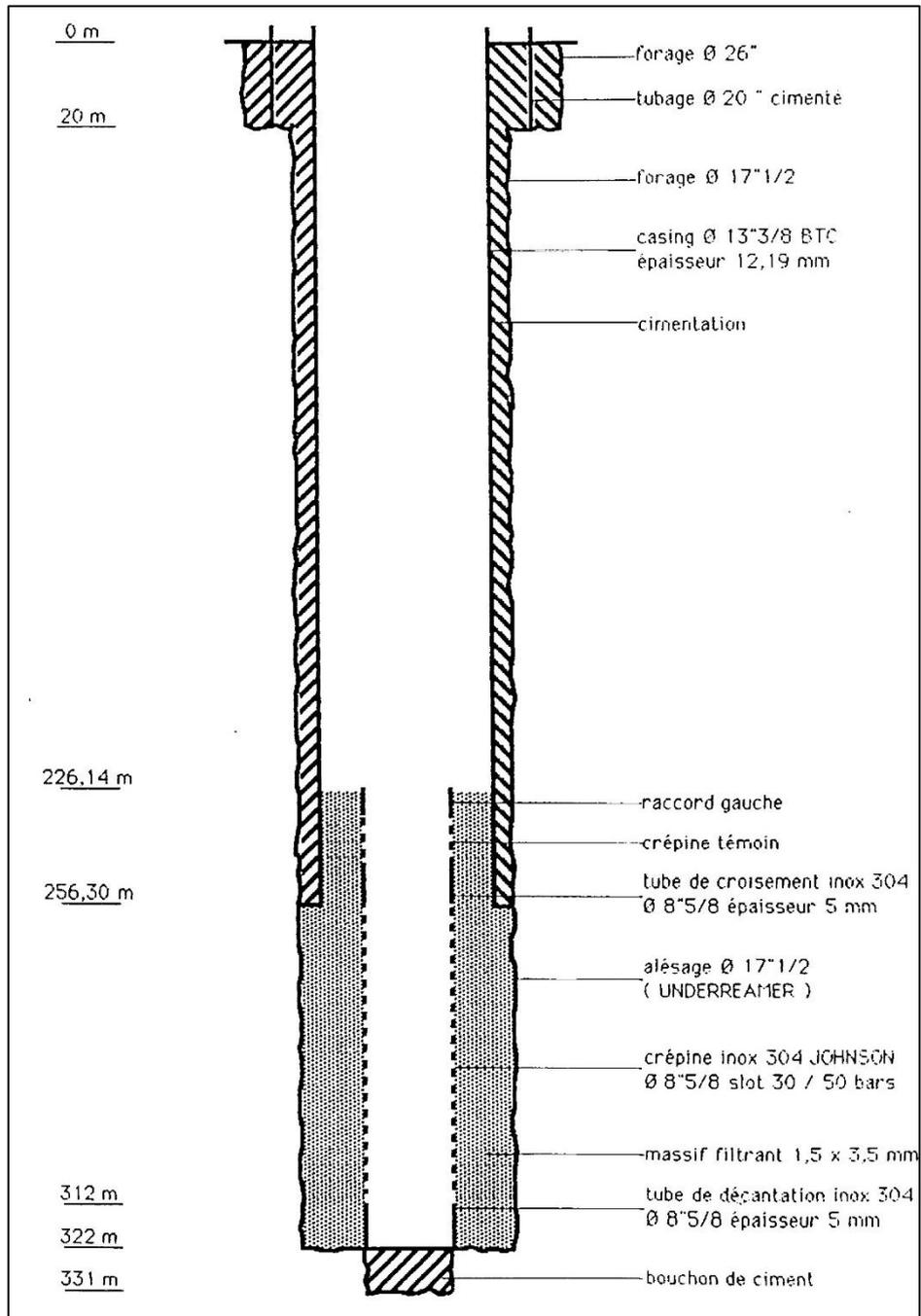


Illustration 92 : Coupe technique du forage de Lasseppe (10052X0037/F)

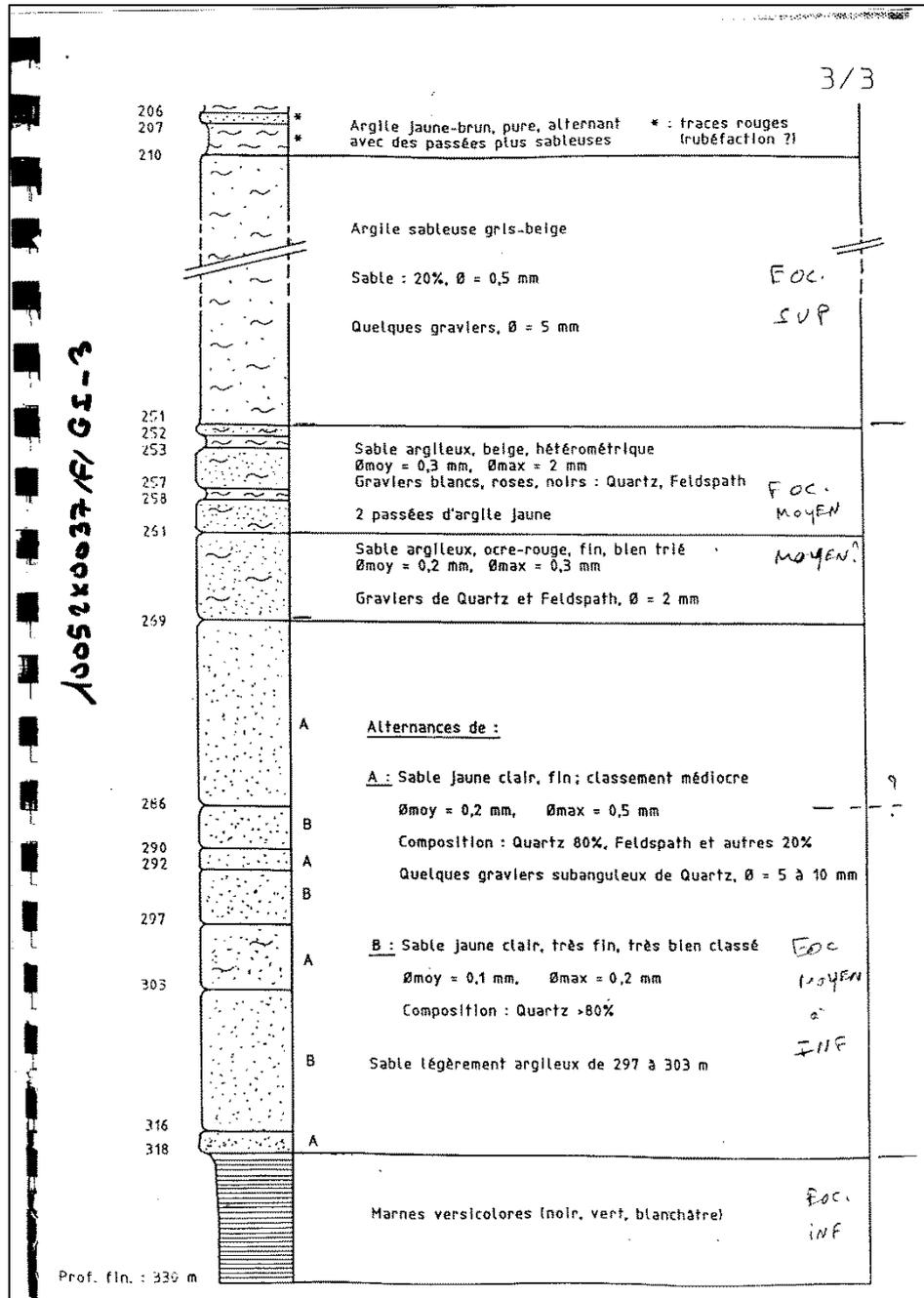


Illustration 93 : Coupe géologique de la base du forage de Lasseppe (10052X0037/F)

Deux pompages d'essais ont pu être recensés sur cet ouvrage : un à la réalisation du forage en 1993 (Pouchan et Pélissier-Hermitte, 1993) et un autre en 2004 (Euzenat, 2004). Ce dernier n'a pas été réinterprété en raison de la courte durée de l'essai (3 h ; Tableau 34).

	août-1993	mars-2004
Prof. niv. initial (m)	-39	-45.47
Essai par paliers (courte durée)	oui	non
Durée du pompage de longue durée	72 heures	3 heures
Débit moyen du pompage de longue durée (m <sup>3</sup> /h)	200 m <sup>3</sup> /h	48 m <sup>3</sup> /h
Source	Pouchan et Pélissier-Hermitte, 1993	Hydro-Assistance (Euzenat, 2004)
Commentaire	Données sous forme de tableau en annexe du rapport	Données numériques

Tableau 34 : Essais par pompage disponibles au forage de Lasseppe (10052X0037/F)

### **Diagnostic de l'essai**

Le diagnostic a été réalisé à partir de la descente de l'essai d'août 1993 (la remontée n'a pas été mesurée). Le pompage a duré près de 72 heures (4 320 min) avec de légères variations du débit en début de pompage. Les valeurs ont diminué progressivement de 204 m<sup>3</sup>/h à 199 m<sup>3</sup>/h aboutissant à un rabattement maximum de 10,6 m (Illustration 94).

Le pompage ayant été réalisé à débits variables, les rabattements ont été normalisés pour un débit nominal de 1 m<sup>3</sup>/h de manière à réaliser le diagnostic (Illustration 95).

L'illustration 95 présente le diagnostic de l'essai réalisé en 1993, et montre les phases suivantes d'écoulement :

1. du début de l'essai à environ 1 minute, la probable fin de l'effet de capacité lié au puits (pas de mesures pendant la 1<sup>ère</sup> minute de pompage permettant une validation) ;
2. de 1 à 40 minutes, la dérivée forme un plateau typique d'un écoulement radial à partir duquel une première estimation de la transmissivité de l'aquifère peut être faite, aux alentours de  $1,5 \cdot 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s ;
3. de 40 à 400 minutes, la dérivée suit une pente de 0,5 caractéristique d'un écoulement linéaire pouvant correspondre à l'atteinte de deux ou trois limites étanches ;
4. de 400 à 2 000 minutes, la dérivée tend à se stabiliser, ce qui est typique de la réaction d'un apport d'eau par un autre aquifère (effet de drainance) ;
5. de 2 000 minutes à la fin de l'essai, la dérivée suit de nouveau une pente de 0,5 traduisant de nouveau l'effet des limites observées en phase 3. Ce dernier écoulement correspond à la réponse globale de l'ensemble des aquifères.

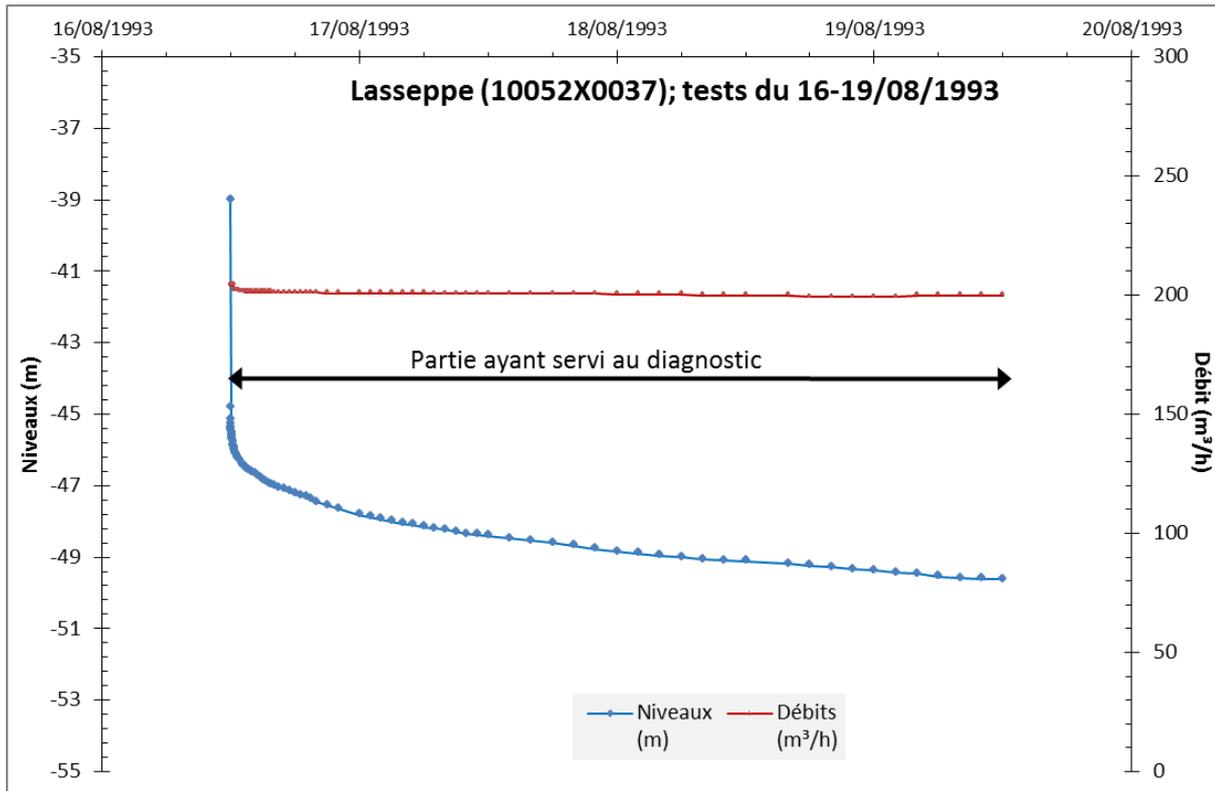


Illustration 94 : Forage de Lasseppe (10052X0037/F) - descente du pompage d'août 1993

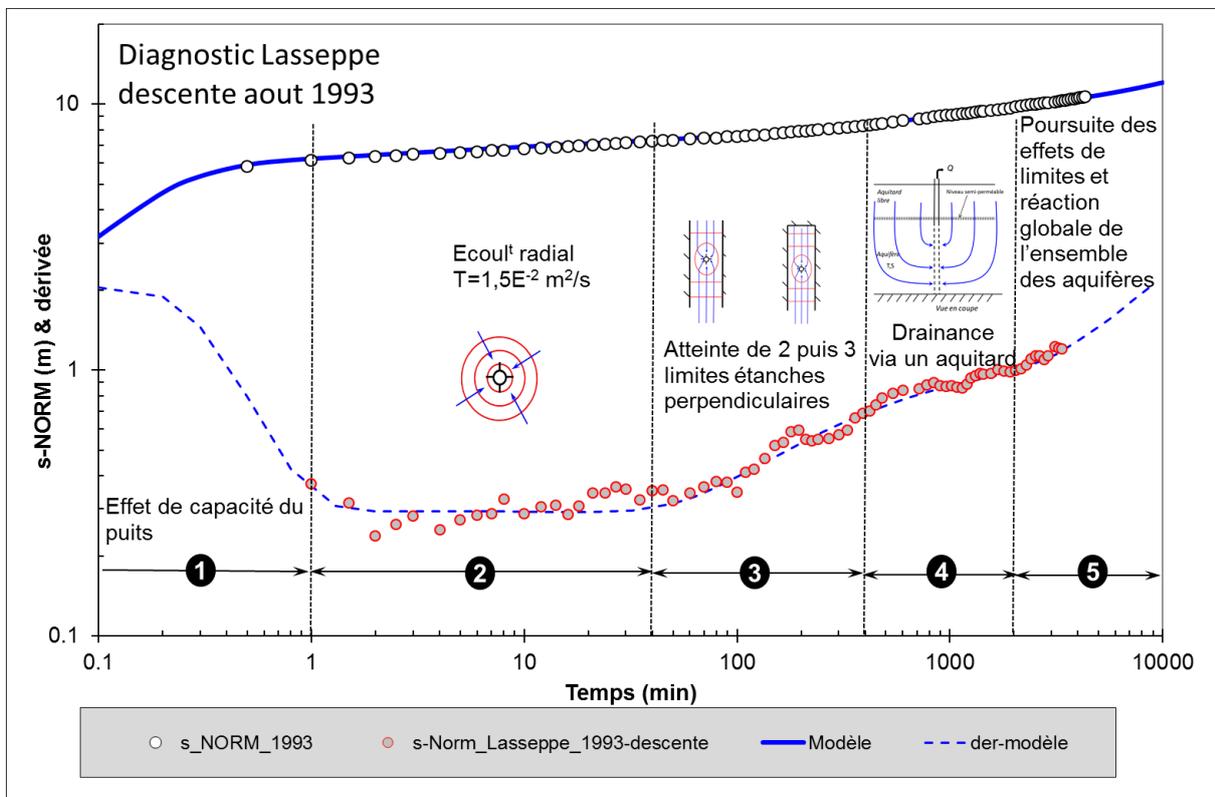


Illustration 95 : Diagnostic de l'essai réalisé en 1993 au forage de Lasseppe (10052X0037/F) Aquifère captif. s-NORM : rabattement normalisé ; s'-NORM : dérivée du rabattement normalisé à la descente. En bleu : modèle (trait plein : rabattement ; pointillés : dérivée).

Le diagnostic suggère donc que cet ouvrage est implanté dans un aquifère multicouche limité dans l'espace. Le modèle mathématique choisi est donc le même que celui décrit au paragraphe 5.5.1.

L'illustration 96 présente la modélisation de l'essai réalisé en août 1993 ; elle est de bonne qualité. La transmissivité de l'aquifère est estimée à  $1,5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ . Cette valeur est plus élevée que celle déduite des essais effectués dans les autres forages. Il est considéré que le puits capte la totalité de l'aquifère. La valeur de l'emmagasinement,  $3 \times 10^{-3}$  (-), paraît cohérente pour un aquifère captif. A noter cependant que cette valeur correspond à un paramètre de calage qui n'a pas forcément de signification physique lorsqu'estimé au puits de pompage. Les rabattements mesurés ont été ajustés en tenant compte de deux limites étanches parallèles. Elles sont atteintes au bout de 40 min de temps de pompage, soit à une distance de 220 m pour la valeur de coefficient d'emmagasinement indiquée (Tableau 35). Notons que le calcul des distances doit être considéré avec prudence du fait de l'incertitude sur le coefficient d'emmagasinement.

L'aquifère drainé a pour caractéristiques  $T_0 : 1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  (valeur approximative) et  $S_y : 5,5 \times 10^{-3}$  (-) et peut correspondre à un aquifère sus-jacent à la partie pompée. Ce dernier est séparé de l'aquifère capté par un niveau peu perméable de perméabilité  $2,5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$  (pour une épaisseur unitaire), traduisant vraisemblablement la présence d'un niveau argileux.

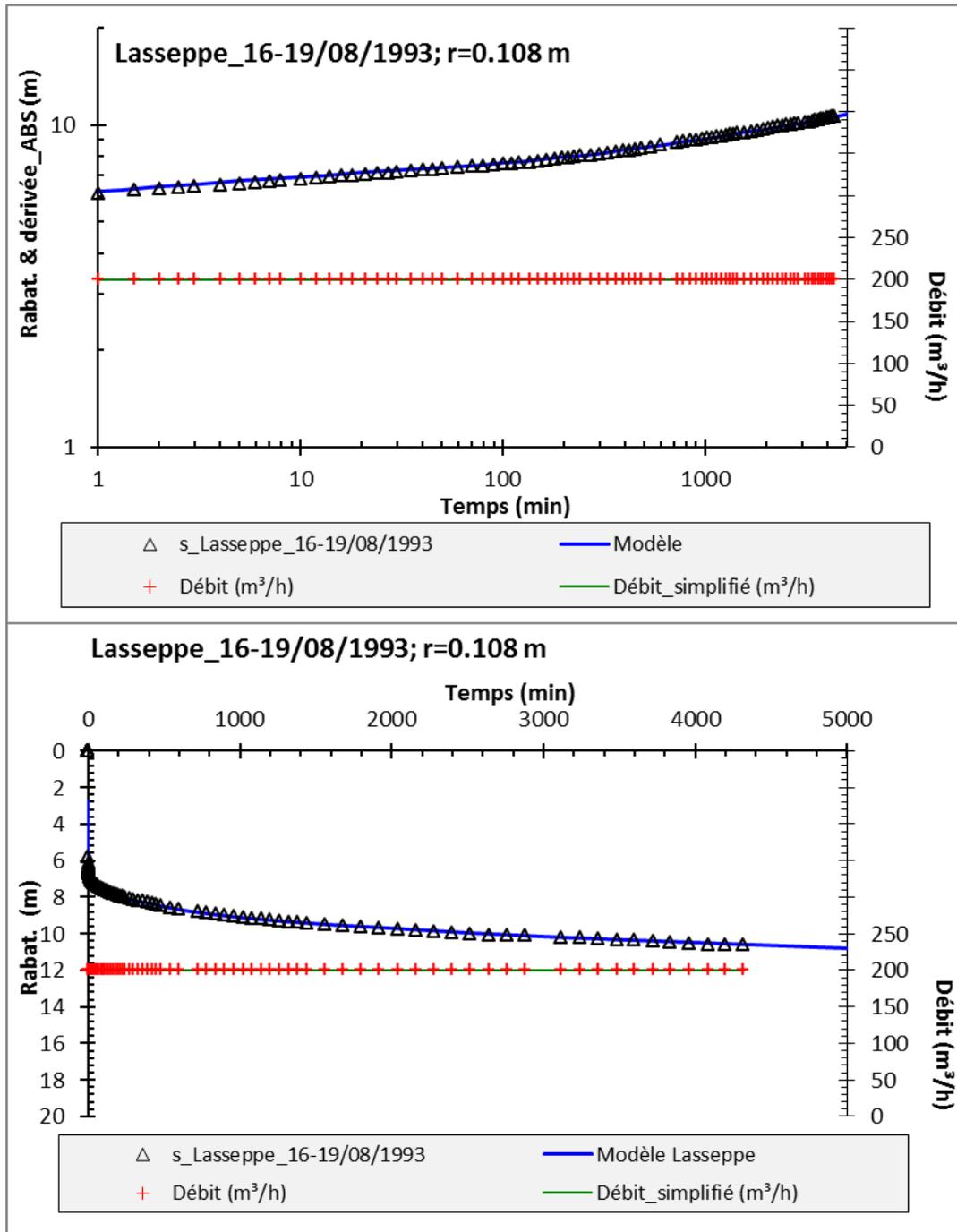


Illustration 96 : Modélisation du rabattement au forage de Lasseppe (10052X0037/F) ; essai réalisé du 16/08/1993 au 19/08/1993

Distance	r (m)	0.108
Transmissivité de l'aquifère capté	T (m <sup>2</sup> /s)	1.50E-02
Emmagasinement de l'aquifère capté	S (-)	3.00E-03
% Epaisseur de l'aquifère capté	B (%)	100
Temps à la 1 <sup>ère</sup> limite	Dist.lim. 1 (min)	40
Temps à la 2 <sup>ième</sup> limite	Dist.lim. 2 (min)	40
<i>Dist. à la 1<sup>ère</sup> limite</i>	<i>Dist.lim. 1 (m)</i>	<i>219.00</i>
<i>Dist. à la 2<sup>ième</sup> limite</i>	<i>Dist.lim. 2 (m)</i>	<i>219.00</i>
Perméabilité de l'éponte	k' (m/s)	2.50E-08
Epaisseur de l'éponte	e' (m)	1.00
Transmissivité de l'aquifère supérieur	T <sub>0</sub> (m <sup>2</sup> /s)	1.00E-05
Emmagasinement de l'aquifère supérieur	Sy (-)	5.50E-03
Capacité du puits	Rc (m)	0.15
Pertes de charge quadratiques	C (m <sup>-5</sup> s <sup>2</sup> )	972

Tableau 35 : Paramètres hydrodynamiques utilisés pour la modélisation des essais sur le forage de Lasseppe (10052X0037/F)<sup>26</sup>. Cf. tableau 26 pour l'explication des paramètres.

## 5.6. SYNTHÈSE

L'utilisation de la méthode des dérivées et de techniques modernes pour la modélisation des essais par pompage a permis d'améliorer significativement l'estimation des valeurs des transmissivités, grâce notamment à la phase de diagnostic des essais. Par ailleurs, d'autres informations sur la géométrie (effets de limite), la structure (présence de fracture) mais aussi sur les relations des aquifères captés avec d'autres aquifères (effet de drainance) ont pu être mises en évidence.

Les estimations de transmissivité réalisées ici sont différentes des valeurs issues des toutes premières interprétations (méthodes « anciennes » type Theis et/ou Jacob et sans diagnostic préalable) où la transmissivité est souvent évaluée sur une portion non adaptée de l'essai, influencée par exemple par une ou plusieurs limites ou par des effets de drainance. La différence d'estimation peut aller jusqu'à quasiment un ordre de grandeur (tableau 36), ce qui a des conséquences importantes en terme d'estimation du débit d'exploitation mais aussi si ces données doivent être utilisées dans le cas d'une modélisation numérique des aquifères.

<sup>26</sup> La valeur indiquée pour l'emmagasinement correspond à un paramètre de calage qui n'a pas forcément de signification physique puisqu'elle est estimée ici au puits de pompage. Il en est de même pour les distances aux limites exprimées en mètres car elles sont assujetties à la valeur de S.

INDICE	Nom	Aquifère	T (m <sup>2</sup> /s) interprétation initiale	T (m <sup>2</sup> /s) nouvelle interprétation
10053X0002/F1	Lespielle 1	SIM	8.50E-03	8.00E-03
10057X0001/LEE1	Lembeye 1	SIM	7.00E-04	-
10057X0003/LESP-2	Lespielle 2	SIM	1.50E-03	4.00E-03
10052X0006/F1	Burosse	SIM	-	7.50E-04
10052X0038/F	Lannecaube	Paléocène	7.79E-04	1.50E-03
10052X0037/F	Lasseppe	SIM	5.50E-03	1.50E-02

Tableau 36 : Synthèse des valeurs de transmissivité déterminées à partir des pompages d'essai

L'interprétation des pompages sur un secteur donné a permis de dégager des informations générales sur les caractéristiques de l'aquifère, sa structuration et ses éventuels échanges avec les autres aquifères du secteur (tableau 37). Ainsi, il apparaît que le réservoir des Sables Infra-Molassiques est compartimenté puisque des limites ont été observées pour chacun des forages captant cet aquifère. Vraisemblablement, cette structure, déduite de l'hydrodynamique, est à mettre en relation avec la géométrie des dépôts. Cependant, étant donné que les essais ont tous été réalisés au puits, il n'est pas possible d'avoir une estimation précise de l'emmagasinement - en raison des effets de puits et de l'incertitude sur le rayon du puits, et donc de la distance à laquelle se trouvent ces limites. Des mesures sur des piézomètres d'observation auraient rendu ces estimations plus précises. Seul le pompage réalisé sur le forage de Lannecaube (10052X0038/F), captant les calcaires fracturés du Paléocène, ne montre pas d'effet de limite. Par contre, il semble que cet ouvrage ait intercepté une fracture de dimension décamétrique.

Des effets de drainance plus ou moins marqués ont été observés sur l'ensemble des essais ce qui met en évidence des communications avec les aquifères environnants, notamment ceux de l'intra molassique et du Paléocène.

INDICE	Nom	Limite	Distance estimée	Drainance
10053X0002/F1	Lespielle 1	3 limites	30 à 2 000 min	oui
10057X0003/LESP-2	Lespielle 2	2 limites	env. 4 min	oui
10052X0006/F1	Burosse	1 limite	env. 25 min	oui
10052X0038/F	Lannecaube	pas de limites	-	oui
10052X0037/F	Lasseppe	2 limites	env. 40 min	oui

Tableau 37 : Apport des essais sur les limites des aquifères et les apports par drainance

## 6. Conclusions

Ce rapport restitue quatre études hydrogéologiques conduites en 2016 et début 2017 dans le cadre du programme scientifique GAIA. Il s'agit de :

- la caractérisation hydrogéologique de réservoirs exploités pour la production d'hydrocarbures dans le Sud du Bassin aquitain ;
- l'évaluation des potentialités d'émergence off-shore des aquifères profonds ;
- la poursuite de la constitution de la base de données des prélèvements dans les aquifères profonds ;
- la ré-interprétation de pompages d'essai dans le secteur du dôme de Garlin, en s'appuyant sur l'utilisation de la méthode des dérivées.

La position géométrique et géographique des gisements d'hydrocarbures exploitant des formations tertiaires ou sénoniennes a pu être précisée en s'appuyant sur les informations disponibles dans les Rapports de Fin de Sondage (RFS) disponibles au BEPH. Les pressions de gisement ultérieures au démarrage de l'exploitation demeurent par contre peu renseignées dans les documents publics consultés et permettent donc peu de préciser l'évolution de celles-ci dans les gisements exploités, notamment gaziers. La consultation des RFS a permis par ailleurs de réunir des données de perméabilité, porosité et de minéralisation des réservoirs traversés par les forages. Ces données montrent notamment l'existence d'une minéralisation élevée pour les gisements de Ger, Charlas, Charlas ouest, Mazères supérieur et Montastruc, signe d'un très faible renouvellement des eaux souterraines dans les réservoirs exploités. Elle est par contre beaucoup plus faible à Lagrave et à Lacq supérieur, gisements pour lesquels le rôle de l'aquifère sénonien dans le maintien de la pression dans le réservoir a par ailleurs été avéré lors de l'exploitation des hydrocarbures. L'exploitation de ces gisements pourrait donc avoir eu un impact - au moins local - sur la piézométrie de l'aquifère du Sénonien inférieur.

En s'appuyant sur la bathymétrie et en prenant en compte un gradient piézométrique minimum, il est possible d'estimer la pression nécessaire pour qu'une émergence d'eau douce puisse se produire offshore, sur le fond marin. Cette pression augmente avec l'éloignement à la côte atlantique et avec l'augmentation de la bathymétrie (et donc du poids de la colonne d'eau océanique) : elle est ainsi minimale sur le littoral. Le seul secteur identifié dans lequel les formations éocènes et anté-éocènes sont affleurantes sur les fonds marins à des profondeurs permettant d'envisager une exhaure se situe en face des côtes basques. Aucune observation de terrain n'a permis cependant de confirmer l'existence de ce phénomène, qui demeure donc peu probable en l'état actuel des connaissances.

En 2016, de nombreux efforts ont été entrepris auprès des exploitants de forages captant les aquifères profonds du Sud du Bassin aquitain pour reconstituer les chroniques de prélèvements annuels sur la période 1970-2013, que ce soit par des données mesurées ou par l'élaboration d'hypothèses permettant de les estimer. A fin 2016, moins de 15% des points de prélèvements disposent encore d'une chronique partiellement incomplète (35 sur 241). Les efforts seront poursuivis en 2017. Il est prévu par ailleurs de mettre à jour les chroniques pour les années 2014 et 2015, de poursuivre l'acquisition de données mensuelles auprès des exploitants agricoles et de préciser l'aquifère capté par les différents ouvrages, en s'appuyant sur les logs validés de 2015 à 2016 dans le cadre du module géologie du projet GAIA.

L'utilisation de la méthode des dérivées pour analyser une série de données débit-rabattement issue du suivi d'un pompage d'essai permet de préciser le comportement du forage et celui de

l'aquifère lors de la conduite d'un test de ce type. Mise en œuvre sur des données de pompages d'essais réalisés entre 1976 et 2007 sur le secteur du dôme de Garlin, cette technique a permis de conforter ou de réviser les interprétations effectuées jusqu'ici. Elle a également permis de mettre en évidence l'existence de discontinuités dans l'alimentation des forages captant les Sables Infra-Molassiques.

En sus de la capitalisation des données de prélèvements, les investigations et études hydrogéologiques se poursuivent en quatrième année de GAIA au travers notamment de l'établissement de cartes piézométriques, de l'étude de la propagation des ondes de pression dans le réservoir sableux et de premiers travaux de modélisation hydrogéologique afin de préciser la faisabilité du modèle conceptuel envisagé.

## 7. Bibliographie

- Auriol, J. & Roche, J. (1979) – UTEC-CGC – Détermination de périmètres de protection des forages géothermiques de la commune de Blagnac (31) 983-8-203 et 983-8-421, 17 p.
- Bardainne T. (2005) – Etude de la sismicité de Lacq et analyse des formes d'ondes par décomposition en chirplets. Geophysics. Thèse. Université de Pau et des Pays de l'Adour.
- Berard P., Chery L., Lopoukhine M., Platel JP., Sourisseau B. (1997) – Synthèse des connaissances hydrogéologiques sur les ressources thermo-minérales du Bas-Adour. Rapport RR-39396-FR.
- Biteau J-J., Canerot J. (2007) – La chaîne des Pyrénées et ses avant-pays d'Aquitaine et de l'Ebre : systèmes pétroliers et gisement d'hydrocarbures. In Géologues, Spécial Grand Sud-Ouest : géologie et substances minérales. Revue n°155.
- Boillot G., Dupeuble P-A., Hennequin-Marchand I., Lamboy M., Lepretre J-P. (1973) – Carte géologique du plateau continental nord-espagnol entre le canyon de Capbreton et le canyon d'Avilès. Bulletin de la Société Géologique de France – 1973-7. 25 pages.
- Cirac P., Bourillet J.-F., Griboulard R. and Normand A., (2001). Le canyon de Capbreton : nouvelles approches morphostructurales et morphosédimentaires. Premiers résultats de la campagne Itsas. Canyon of Capbreton : new morphostructural and morphosedimentary approaches. First results of the ITSAS cruise. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science, 332(7) : 447-455.
- Collectif (2013) - SYNThèse et Analyse des données eXistantes sur un écosystème profond transfrontalier : le gouf de Capbreton – « SYNTAX ». Rapport final. 213 p.
- Collins A.G. (1975) - Geochemistry of oilfield waters, Volume 1. First Edition. Elsevier Science. 495 pages.
- Corbier P., Capdeville J-P., Pedron N., Platel J-P., Winckel A., avec la collaboration de Lopez B. (2005) – SAGE Nappes profondes de Gironde. Atlas des zones à risques. BRGM/RP-53756-FR.
- Dubarry (1988) - Interprétation dynamique du Paléocène et de l'Éocène inférieur et moyen de la région de Pau-Tarbes (avant-pays nord des Pyrénées occidentales, sw France) : Sédimentologie, corrélations diagraphiques, décompaction et calculs de subsidence. Thèse de doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour.
- Elf Aquitaine Production (1994) : Gisements des bassins aquitains – Base de données géologiques et pétrolières – Document confidentiel.
- Feng C., Mao A., Yang H., Fui J., Shi Y., Cheng Y., Zhang H., Niu L., Aqeel Ashraf M. (2016) - Origin of Formation Water Salinity Variation and Its Geological Significance in Chang 9 Stratum, Jiyuan Oilfield (Punca Pembentukan Variasi Kemasinan Air dan Kepentingan Geologi Chang 9 Stratum di Lapangan Minyak Jiyuan). Sains Malaysiana 45(1), 9–18
- Fleury P. (2005) – Sources sous-marines et aquifères karstiques côtiers méditerranéens. Fonctionnement et caractérisation. Thèse. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.

Genna A., Capdeville J-P., Mallet C., Deshayes L. (2004) – Observatoire de la côte aquitaine. Etude géologique simplifiée de la côte basque. Rapport BRGM RP-53258-FR.

Housse B., Maget P. (1977). Potentiel géothermique du bassin aquitain. Rapport BRGM - Elf Aquitaine.

Kharaka Y.K., Hanor J.S. (2003) - Deep Fluids in the Continents: I. Sedimentary Basins in Treatise on Geochemistry, Volume 5. Editor: James I. Drever. Executive Editors: Heinrich D. Holland and Karl K. Turekian. pp. 605. ISBN 0-08-043751-6. Elsevier, p. 499-540

Mauroux, B. & Danneville, L. (1996) - Outil de gestion des systèmes aquifères du Sud du bassin Adour-Garonne - Phase préliminaire : inventaire des prélèvements - BRGM/RR-38871-FR, 290 p.

Roche, J. (1982) - Surveillance piézométrique des nappes profondes dans la région Midi-Pyrénées. Etat des relevés au 03/08/1982. Rapport 82-SGN-583-MPY.

Seguin J-J. (2003). Outil de gestion des aquifères du Sud du Bassin Adour-Garonne - Année 4. Calage du modèle hydrodynamique en régime transitoire - BRGM/RP-52041-FR, 80 p.

Serrano O., Hanot F., Delmas J., Vially R., Herbin J.P., Houel P., Tourlière B. (2006) : Le Bassin d'Aquitaine : valorisation des données sismiques, cartographie structurale et potentiel pétrolier, Ed. BRGM, 245 p., 142 figures, 17 tableaux, 17 annexes.

Serrano O. (2015) – Histoire de l'exploration des hydrocarbures du bassin d'Aquitaine. In Géosciences, la revue du BRGM pour une Terre durable, mai 2015, n°19 « La Garonne, jeux et enjeux géologiques », 128 pages.

Vanara N., Perre A., Pernet M., Latapie S., Jaillet S., Martine O. (2007) : Aroca (domaine marin côtier, Pays basque, France) : un karst continental ennoyé par les transgressions maritimes quaternaires. Revue Karstologia n°49, pp 43-55.

Wuilleumier A., André L., Cabaret O., Abou Akar A., Bardeau M., Mazurier C., Sasseville P-L. (2015) – Projet GAIA – année 1. Collecte des données hydrogéologiques et hydrogéochimiques. Rapport final. BRGM/RP-64850-FR, 137 p., 98 ill., 9 tab., 19 ann.

### **Bulletins mensuels du BEPH (2006-2015) :**

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-publications-et-les.html>

#### Chapitre relatif à la ré-interprétation de pompages d'essais

Astie H. et Trupin G. Forage de Lespielle 1, Compte rendu de fin de travaux, Rapport BRGM/76-SGN-153-AQI, 27 p., 10 fig., 1 ann - 1976.

Auriol J. et Trupin G. Forage de Lespielle - 1 (Pyrénées-Atlantiques). Compte rendu et résultats de l'essai de pompage complémentaire de janvier 1977, Rapport BRGM/77-SGN-604-AQI, 15 p., 6 fig., 1 ann - 1977.

Bernard D. et Chamayou J. Alimentation en eau potable du syndicat. Forage profond de Garlin 1. Compte-rendu de fin de travaux. Rapport BRGM 80-SGN-869-AQI. - 1980.

Bonnery H. et Trupin G. Forage de Lespielle 2. Compte-rendu de fin de travaux. Rapport BRGM 78-SGN-081 - 1978.

Bourdet D, Ayoub J A et Pirard Y M A new set of type curves simplifies well test analysis [Revue] // World Oil. - 1983. - 6 : Vol. 196. - pp. 95-106. - Larroque.

Bourdet D., Ayoub A. et Pirard Y.M. Use of Pressure Derivative in Well-Test Interpretation [Revue] // Society of Petroleum Engineers Formation Evaluation. - 1989. - Vol. 4. - pp. 293-302.

Bourgeois M., Roche J. et Vandenberghe A. Mesure piézométrique à la nappe des sables éocènes effectuée sur le forage pétrolier "Lee1" Lembeye (Basses Pyrénées). Rapport BRGM 69-SGN-126-AQI - 1969.

Chapiteau A. Syndicat mixte du nord-Est de Pau - Forage F1 - 64 350 Lespielle - examen endoscopique - Restitution graphiques des pompages [Rapport] : Hydro Assistance. - 2006.

Chapiteau A. Syndicat mixte du nord-Est de Pau - Forage F2 - 64 350 Lespielle - examen endoscopique - Restitution graphiques des pompages [Rapport] : Hydro Assistance. - 2006.

Deruyck B., Ehlig-Economides C. et Joseph J. Testing Design an Analysis [Revue] // Oilfield Review. - 1992. - Vol. 4, 2. - pp. 28-45.

Douez O. Réponse d'un système aquifère multicouche aux variations paléoclimatiques et aux sollicitations anthropiques - Approche par modélisation couplée hydrodynamique, thermique et géochimique [Rapport] : Ph.D. dissertation / Université Michel de Montaigne - Bordeaux 3. - 2007. - p. 306.

Euzenat K. SMNEP. Contrôle des caractéristiques du forage - examen endoscopique - forage de Lassepe - 64350 Lalongue [Rapport] : Hydro Assistance. - 2004.

Gringarten A., Ramey H. (1974) – Unsteady state pressure distribution created by a well with a single infinite conductivity vertical fracture. - Soc. Pet. Eng. J. (Aug. 74)

Pouchan P. et Pelissier-Hermitte G. Syndicat Mixte d'Alimentation en Eau Potable du Nord-Est de Pau. Réalisation d'un forage captant le Dano-Paléocène sur le dôme de Garlin, commune de Lannecaube. rapport de fin de travaux [Rapport] : Tech. rep. / Université de Bordeaux III. - 1995.

Pouchan P. et Pelissier-Hermitte G. Réalisation d'un forage profond captant les Sables Sous-Molassiques sur le dôme de Garlin dans la vallée du Grand Lees sur la commune de Lannecaube, lieu-dit "Lassepe" [Rapport] : Tech. rep. / Institut de Géodynamique. - 1993.

Renard Philippe, Glenz Damian et Mejias Miguel Understanding diagnostic plots for well-test interpretation [Revue] // Hydrogeology Journal. - [s.l.] : Springer-Verlag, 2009. - 3 : Vol. 17. - pp. 589-600. - ISSN: 1431-2174 DOI: 10.1007/s10040-008-0392-0.

Schlumberger Well test interpretation. Rapport Schlumberger. - 2002.

Spane F. et Wurstner S. DERIV: a computer program for calculating pressure derivatives for use in hydraulics test analysis [Revue] // Groundwater. - 1993. - 5 : Vol. 31. - pp. 814-822. - Larroque.



## Annexe 1

### Formations litho-stratigraphiques du Tertiaire rencontrées par les forages du gisement de Ger

Les forages figurant dans cette annexe sont, dans l'ordre de leur présentation, les suivants :

Dénomination	Indice BSS	Coordonnées Lambert 2 étendu		Date de début du forage	Date de fin du forage	Profondeur (en m)	Cote au sol (m NGF)
		X	Y				
Ger 1	10308X0001	404533	1808401	23/05/1968	27/12/1968	6650	406,5 m
Ger 101	10308X0002	405967	1805720	13/04/1975	05/08/1975	3790	426,08 m
Ger 201	10308X0003	403913	1809319	16/12/1977	17/01/1978	2185	403,64 m
Ger 301	10308X0004	403269	1810301	17/10/1977	27/11/1977	2200	430 m
Azereix 1	10308X0202	406514	1803349	20/06/1969	13/12/1969	5333	431,22 m
Livron 1	10307X0014	400299	1807140	25/12/1979	08/02/1980	2350	408 m
Ponson Dessus 1	10304X0002	406094	1814910	14/06/1972	27/11/1972	5730	341,06 m

Les profondeurs indiquées dans les tableaux présentés dans cette annexe correspondent aux profondeurs de foration (déviation non corrigée et position relative à la table de rotation).



Etage et formation		Profondeur	Description foreur	
Eocène supérieur à Pliocène	Molasses	0 - 996 m	Argile sableuse ocre, bancs de grès ocre, nombreux galets calcaires et gréseux épars ou en conglomérats	
Eocène moyen	Sables de Lussagnet	996 - 1032 m	Superposition de séquences de type : Sables et grès grossiers coquilliers; Lignites et argiles grises, sableuses, pyriteuses; Calcaire gréseux, pyriteux, blanchâtre	
	Lumachelle à numulites	1032 - 1040 m	La série Eocène moyen repose, par l'intermédiaire d'une lumachelle à Nummulites de 8 m d'épaisseur, sur la formation des « Grès à Nummulites » vraisemblablement partiellement érodée.	
Eocène inférieur - Paléocène	Eocène 1	"Grès à Nummulites"	1140 - 1122 m	Grès fins coquilliers à intercalation d'argile
		"Argiles plastiques"	1122 - 2136 m	Argile sableuse gris clair, pyriteuse et micacée, renfermant quelques intercalations de grès carbonaté fin à moyen.
	Eocène 2	1ère série de type "Flysch"	2136 - 2197 m	Grès fin, argile, marne et calcaire argileux
		Conglomérat de Vielle Adour?	2197 - 2214 m	Sables grossiers et micro-conglomérat quartzeux : équivalent possible du Conglomérat de Vielle Adour
		2ème série de type "Flysch"	2214 - 2258 m	série marno-gréseuse
		3ème série de type "Flysch"	2258 - 2379 m	Série essentiellement marneuse
	Eocène 3		2379 - 2493 m	Série d'argile et de marnes, gréseuse à la base
			2493 - 2524 m	Calcaire argileux à spicules, radiolaires, globigérines et globorotalia
			2524 - 2635 m	Série d'argiles, marnes et grès. A partir de 2625m, intercalations de calcaires argileux
	Paléocène		2635 - 2673 m	Alternance de calcaires graveleux et bioclastiques, micro-cristallins et de calcaire argileux, cryptocristallin. L'épisode marneux médian, habituellement rencontré dans la région, n'est plus représenté à Ger 1 que par 2 mètres d'un calcaire plus argileux. L'intervalle inférieur montre, entre 2 655 et 2 667 m, un développement récifal à algues, bryozoaires et polypiers.

### Formations tertiaires infra-molassiques traversées par le forage de Ger 1

Réservoir	Epaisseur	Observations
Sables de Lussagnet sens large	144 m	Renferme une soixantaine de mètres de sables et grès grossiers, plus ou moins argileux. Les sables sont envahis par une eau douce (Rt = 100-200 Ω).
Grès à Nummulites	82 m	Bien que plus argileux, les grès à nummulites semblent présenter des caractères réservoirs comparables (d'après le rapport de fin de sondage).
Formations gréseuses incluses dans les "Argiles plastiques"	Métriques à plurimétriques	On trouve quelques niveaux gréseux réservoirs envahis d'eau douce, en particulier à 1770, 1775, 1827 et 1890m de profondeur. De faibles indices de CH4 ont accompagné la traversée de la partie inférieure de ces argiles éocènes (de 1840 à 2136m).
Conglomérat de Vielle Adour	17 m (2197 - 2214 m)	Sables grossiers et microconglomérat, constitue un bon réservoir. La porosité sur diagraphies acoustiques avoisine les 10 %. Il est envahi d'eau salée à environ 25 g/l (mesuré sur diagraphies).
"Barre Paléocène" (partie inférieure)	12 m (2655 - 2667 m)	Calcaire récifal à algues et bryozoaires, excellent réservoir. Les diagraphies acoustiques indiquent une porosité voisine de 16 % et les diagraphies électriques une eau salée à environ 50 g/l.

### Réservoirs tertiaires identifiés au forage de Ger 1

Etage et Formation		Profondeur	Description foreur		
Eocène supérieur à Pliocène	Molasse	0 - 1126 m	Argile jaune ocre plastique sableuse, galets calcaréo-gréseux ocres et roux, intercalations de micrite blanchâtre.		
Eocène moyen	Sables de Lussagnet	1126 - 1263 m	Alternance d'argile grise, de grès carbonaté et de sable dans la partie supérieure, passant à un sable moyen à grossier avec présence de lignite.		
Eocène inférieur	Eocène 1 (Yprésien)	"Grès à Nummulites"	1263 - 1353 m	Argile grise, grès micritique à nummulites.	
		Argile à passées de grès sableux	1353 - 2327 m	Argile grise plastique sableuse, intercalations de grès gris, ligniteux et pyriteux.	
		Grès à microconglomérat, micrite	2327 - 2346 m	Quelques niveaux de grès peu indurés, grossiers.	
	Eocène 2	Grès à microconglomérat	2346 - 2382 m	Grès grossier glauconieux à microconglomérat	
		Eocène 3	Argile, marne, grès	2382 - 2437 m	Alternance de : - argile grise silteuse, - micrite glauconieuse, sableuse.
				2437 - 2574 m	Argile, marne, grès
				2574 - 2588 m	Calcaire "repère", micrite argileuse à globigérines
		2588 - 2691 m	Argile micritique		
Paléocène	Calcaires de Lasseube	2691 - 2733 m	Micrite blanche à bioclasts, et biomicrite beige clair à blanche localement graveleuse.		

### Formations tertiaires traversées par le forage de Ger 101

Réservoir	Epaisseur	Profondeur	Observations
Sables de Lussagnet	137 m	1126 à 1263 m	Aucune information dans le RFS
Grès à Nummulites	90 m	1263 à 1353 m	Aucune information dans le RFS
Eocène 1 - passées sablo-gréseuses	4 m	1974 à 1978 m	porosité moyenne de 20 % (diagraphie). Débit de 9,85 m <sup>3</sup> d'eau à 16,5 g/l de NaCl en 9h42 (pressions non stabilisées).
	4 m	2076 à 2080 m	Présence de deux passées propres de 1 m d'épaisseur chacune, séparées par une passée de 2 m plus argileuse. La porosité est de 20 % pour les niveaux propres et 10 % pour la partie argileuse.
	19 m	2327 à 2346 m	Constituée de micrite et de grès à microconglomérats (eau salée à 17 g/l). La porosité varie de 5 à 12 %.
Eocène 2 - grès microconglomératique	9 m	2373 à 2382 m	La porosité sonic moyenne est de 8 %. Eau salée à 17 g/l de NaCl (diagraphie).
Calcaires de Lasseube	42 m	2691 à 2733 m	Mauvais réservoir pétrolier: porosité sonic de 5 %

### Réservoirs tertiaires identifiés au forage de Ger 101

Etage et formation		Profondeur	Description foreur	
Eocène sup. à Pliocène	Molasse	0 - 862 m	Marnes à galets et à passées de grès et de calcaire argileux.	
Eocène moyen (Lutétien)	Sables de Lussagnet	862 - 1003 m	Argile grise, sableuse, à passées de sable localement argileux et de grès calcaire.	
Eocène inférieur	Eocène 1 (Yprésien)	Argile silteuse, quelques passées gréseuses	1003 - 1643 m	sur ce forage, la partie supérieure de l'Eocène 1 présentant un faciès essentiellement argileux à bancs gréseux peu nombreux.
		Unité de Ger	1643 - 1832 m	Passées de grès gris fin, friable, ligniteux, glauconieux, micritique à 1643 et 1654 m. Passée de grès fin glauconieux micritique à 1688m.
		Unité d'Azereix	1832 - 2123 m	La partie sommitale de l'unité d'Azereix (1832 à 1940m de profondeur) est constituée par les "argiles radioactives". La partie basale de l'unité d'Azereix (2066 à 2123m de profondeur) est constituée par l'ensemble suivant: calcaire bioclastique, argile et calcaire et grès calcaire.
	Eocène 2		2123 - 2185 m (fin du forage)	Marne à passées calcaires

### Formations tertiaires traversées par le forage de Ger 201

Réservoir	Epaisseur	Profondeur	Observations
Sables de Lussagnet	141 m	862 - 1003 m	Aucune information dans le RFS
Grès à Nummulites	?	?	Faciès argileux, non réservoir
Eocène 1 - passées gréseuses de l'unité de Ger	1.5 m	1642.5 à 1644 m	Porosité variant entre 8 et 11% (diagraphie). Envahis d'une eau salée : 7 à 9 g/l de NaCl (diagraphies)
	2 m	1654 à 1656 m	
	1.5 m	1687 à 1688.5 m	

### Réservoirs identifiés au forage de Ger 201

Etage et Formation		Profondeur	Description foreur	
Eocène sup. à Pliocène	Molasse	0 - 955 m	Marnes à galets et à passées de calcaire argilo gréseux	
Eocène moyen (Lutétien)	Sables de Lussagnet	955 - 1040 m	Sable grossier et argile micritique.	
Eocène inférieur	Eocène 1 (Yprésien)	"Grès à Nummulites"	1040 - 1150 m	Alternance d'argile et de grès
		Argiles plastiques micritiques à intercalations de grès	1150 - 1595 m	Argile plastique calcaire gris foncé; intercalations de grès gris moyen à grossier, ligniteux à ciment micritique; nummulites, alvéolines, débris coquilliers.
		Unité de Ger	1595 - 1876 m	A prédominance argileuse. Le banc gréseux de Ger101 est remplacé par de fines passées gréseuses dans une zone à argile dominante.
		Unité d'Azereix	1876 - 2111 m	La partie sommitale de l'Unité d'Azereix est constituée par les « argiles radioactives »
		Grès microconglomératique	2111 - 2142 m	Grès microconglomératique à ciment micritique.
	Eocène 2	Alternance grès/biomicrite	2142 - 2173 m	Alternance de grès gris à ciment blanchâtre moyen à microconglomératique glauconieux, micritique; et de biomicrite gris beige, gréseuse et glauconieuse.
		Argile micritique	2173 - 2200 m (fin du forage)	Argile micritique à fines passées de grès

### Formations tertiaires traversées par le forage de Ger 301

Réservoir	Epaisseur	Profondeur	Observations
Sables de Lussagnet	85 m	955 - 1040 m	Aucune information dans le RFS
Grès à Nummulites	110 m	1040 - 1150 m	Aucune information dans le RFS
Eocène 1 - passées gréseuses de l'unité de Ger	métrique	Entre 1595 et 1876 m	Aucun réservoir identifié dans l'unité de Ger
Grès microconglomératique	31 m	2111 - 2142 m	Porosité de 15 à 20% sur une épaisseur de 5 à 6 m, avec de fortes perméabilités (200 à 600 mD). Salinité estimée par diagraphie : supérieure à 40 g/l

### Réservoirs identifiés au forage de Ger 301

Etage et formation		Profondeur	Observations
Eocène sup. à Pliocène	Molasse	0 - 1095 m	Argile ocre à galets.
Eocène moyen (Lutétien)	Sables de Lussagnet	1095 - 1172 m	Sable moyen à grossier. Intercalations d'argile grise. Présence de Lignite.
Eocène inférieur	Eocène 1	1172 - 2297 m	Argile silteuse grise. Passées sableuses et gréseuses.
	Eocène 2	2297 - 2415 m	Alternance d'argile silteuse grise et de grès. Quelques intercalations calcaires. Le conglomérat de Vieille-Adour est mal représenté à Azereix.
	Eocène 3	2415 - 2735 m	Alternance d'argile silteuse grise et de grès moyen à grossier. Quelques intercalations calcaires.
Paléocène	Calc. Lasseube?	2735 - 2765 m	Calcaire microcristallin, graveleux et bioclastique.

### Formations tertiaires traversées par le forage d'Azereix 1

Formation	Epaisseur	Profondeur des niveaux réservoirs	Porosité	Salinité (g/l)
Sables de Lussagnet	77 m	1095 - 1172 m		"eau douce"
Grès à Nummulites	Non décrits en forage			
Eocène 1	30 m	1640 - 1670 m	12 à 20 %	>= 10
	6 m	1809 - 1815 m	20%	>= 10
Eocène 2	48 m	2297 - 2345 m	10 à 18 %	>= 10
	40 m	2408 - 2448 m	15%	>= 10
Eocène 3	15 m	2535 - 2550 m	15%	>= 10
	5 m	2730 - 2735 m	18%	>= 10
Calcaires du Paléocène	30 m	2735 - 2765 m	moy : 2-3% max : 5%	"peu salée"

### Réservoirs sablo-gréseux identifiés au forage d'Azereix 1

Etage et formation		Profondeur	Observations
Eocène supérieur à Miocène	Molasse	0 - 562 m	Constituée d'argile calcaire et de marne sableuse ocres, de calcaire wackestone, gréseux et graveleux jaune, avec des passées de calcaire mudstone, crayeux, blanchâtre et de grès fin à moyen, ferrugineux.
Eocène moyen à inf.	Sables de Lussagnet (Lutétien)	562 - 662 m ?	Ensemble constitué de grès, grès calcaires, de sables moyens à grossiers et d'argiles silteuses à gréseuses.
	Grès à Nummulites	662 ? - 727 m	
	"Eocène 1"	727 - 1647 m	727 - 1598 m : série argilo-calcaire à fines intercalations de grès fin à ciment calcaire. 1598 - 1618 m : argile silteuse très radioactive 1618 - 1647 m : séquence de remaniement commençant en base par des grès fins à grossiers, à ciment carbonaté ou non, passant progressivement à des termes sommitaux argilo-silteux, micacés.
	"Eocène 2"	1647 - 1908 m	1647 - 1702 m : deux séquences de remaniement commençant en base par des grès fins à grossiers, à ciment carbonaté ou non, passant progressivement à des termes sommitaux argilo-silteux, micacés. 1702 - 1709 m : micro-conglomérats argileux. 1709 - 1781 m : deux séquences de comblement, la première (1736-1781) à termes carbonatés dominants, la seconde (1709-1736) à termes gréseux dominants; 1781 - 1836 m : séquence transgressive à termes carbonatés à la base et argileux au sommet; 1836 - 1876 m : séquence de comblement, avec des termes argilo-carbonatés silteux à la base et des faciès de calcaires mudstone et packstone au sommet; 1876 - 1908 m : séquence de remaniement avec des termes gréséo-carbonatés à la base et des termes argilo-calcaires, silteux, au sommet.
	"Eocène 3"	1908 - 2242 m	1908 - 2094 m : termes argileux et silteux, micacés en alternance avec des termes chenalisants gréseux, fins à micro-conglomératiques; 2094 - 2156 m : séquence de comblement à faciès carbonatés dominants; 2156 - 2197 m : alternances argilo-gréseuses; 2197 - 2232 m : séquence de remaniement, depuis des termes de base gréseux vers un appareil sommital argilo-silteux; 2232 - 2242 m : terme argilo-carbonaté avec alternances de faciès calcaires wackestones et d'argile calcaire, silteuse.
Paléocène	Calcaire de Lasseube (Danien)	2242 - 2320 m	Barre carbonatée calcaire (wackestone/packstone à pellets et bioclastes et de calcaire mudstone).

### Formations tertiaires traversées par le forage de Livron 1

Réservoir	Epaisseur	Profondeur	Observations
Sables de Lussagnet	100 m	562 - 662 m ?	Hauteur utile de la formation : 57 m, porosité d'environ 16 %, salinité déduite de la diagraphie (PS) aux alentours de 2,5 g/l.
Grès à Nummulites	65 m	662 ? - 727 m	Hauteur utile de la formation : 40 m, porosité d'environ 14 %, salinité déduite de la diagraphie (PS) aux alentours de 2,5 g/l.
Eocène 1	métrique	727 - 1647 m	Quelques rares niveaux réservoirs de très faible épaisseur dans un ensemble essentiellement argileux. Minéralisation de l'eau comprise entre 7 et 9 g/l (diagraphie PS)
Eocène 2	métrique	1647 - 1908 m	Réservoirs gréseux de l'Eocène 2 sont aquifères et présentent une salinité de l'ordre de 20 g/l (diagraphies PS). La perméabilité sur carotte atteint exceptionnellement 1200 mD à 1704m de profondeur mais demeure inférieure ou égale à 10 mD sur les autres mesures effectuées.
Eocène 3	métrique à pluri-métrique	1908 - 2242 m	Réservoirs gréseux de l'Eocène 3 généralement très peu poreux (2 à 6 %, ciment calcaire). Seul un niveau présente une porosité et perméabilité importante (2002 à 2004,5 m). Ces réservoirs sont aquifères. La salinité dérivée de la diagraphie PS est de 20 g/l.

### Réservoirs identifiés au forage de Livron 1

Etage et formation		Profondeur	Description foreur	
Eocène moyen	Sables de Lussagnet	1094 - 1204 m	Alternance de : Sables quartzeux, moyens à grossiers ; Grès micritiques, gris clair, fins Argiles grises, sableuses, Ligniteuses ; Nummulites et débris coquilliers	
Eocène inférieur - Paléocène	Eocène 1	"Grès à Nummulites"	1204 - 1263 m	Grès micritique gris clair, fin, pyriteux à Nummulites, alternant avec de l'argile grise, finement sableuse, un peu ligniteuse.
		"Argiles plastiques"	1263 - 1922 m	Argile grise, très finement sableuse. Par endroits, rares passées de grès micritique gris, très fin à fin, finement glauconieux. Présence de Nummulites. Intercalations de grès gris blanchâtres plus fréquentes vers la base.
			1922 - 1956 m	Grès et sable gris blanchâtre, fin.
			1956 - 2073 m	Argile grise silteuse. Fines passées de dolomicrite argileuse.
	Eocène 2	2073 - 2111 m	Grès fin glauconieux à ciment micritique passant à un micrite gréseux.	
		2111 - 2132 m	Argile	
Eocène 3	2132 - 2293 m	Grès fin à ciment micritique passant à une micrite argileuse gris-claire. Passées d'argiles. Argiles gris foncés à gris claires. Fines passées de micrites argileux.		
Paléocène	Calcaires de Lasseube	2293 - 2298 m	Micrite beige claire graveleuse à bioclasts	

### Formations tertiaires traversées par le forage de Ponsons-Dessus 1

Réservoir	Epaisseur	Profondeur	Observations
Sables de Lussagnet sens large	110 m	1094 - 1204 m	La transformation du forage en piézomètre permet de suivre la piézométrie de cette formation après perforation du tubage.
Grès à Nummulites	59 m	1204 - 1263 m	
Formations gréseuses incluses dans les "Argiles plastiques" de l'Eocène 1	Métriques à plurimétriques	1922 - 1956 m	Léger indice de gaz (méthane)
Calcaire de Lasseube	5 m	2293 - 2298 m	Pas d'information réunie dans le RFS

### Réservoirs identifiés au forage de Ponsons-Dessus 1

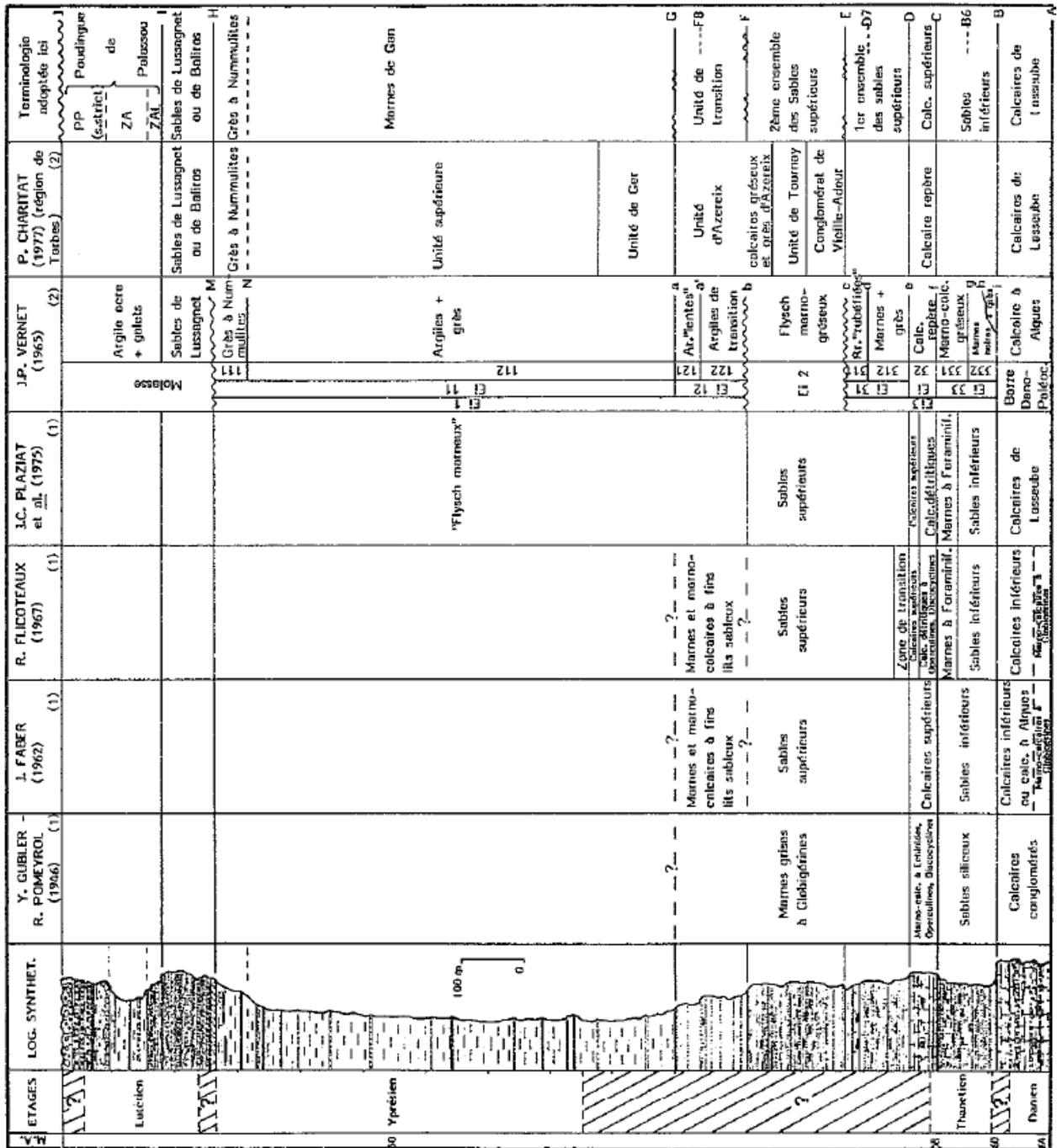


## **Annexe 2**

### **Tableau de correspondance litho-stratigraphique des formations de la série paléocène à éocène moyen de la région de Pau-Tarbes (Dubarry, 1988)**



Les appellations sont proposées pour des formations rencontrées (1) aux affleurements ou (2) en forages.





## Annexe 3

### Formations litho-stratigraphiques du Tertiaire et Crétacé supérieur rencontrées par les forages des gisements de Charlas et Charlas Ouest

Les forages figurant dans cette annexe sont, dans l'ordre de leur présentation, les suivants :

Dénomination	Indice BSS	Coordonnées Lambert 2 étendu		Date de début du forage	Date de fin du forage	Profondeur (en m)	Cote au sol
		X	Y				
Charlas 101	10328X0003	467334	1803584	13/06/1949	22/07/1949	393	350 m
Charlas 102	10328X0010	466842	1802974	26/07/1949	10/08/1949	311	351 m
Charlas 1	10328X0006	466873	1803765	23/07/1959	16/01/1960	3602	357,2 m
Charlas 2	10335X0005	468225	1803173	18/12/1964	17/02/1965	2566	383 m
Charlas 3	10328X0032	467203	1803224	15/01/1971	04/04/1971	3083	346,4 m
Charlas ouest 1	10328X0048	465141	1804579	11/01/1975	01/04/1975	2612	380,8 m
Charlas ouest 2	10328X0052	464951	1804120	09/04/1964	29/05/1964	3145	384,78 m

Les profondeurs indiquées dans les tableaux présentés dans cette annexe correspondent aux profondeurs de foration (déviations non corrigées et position relative à la table de rotation).



Etage et formation	Profondeur	Description RFS
Quaternaire - Alluvions	0 - 18 m	Alluvions essentiellement composées d'argiles jaunâtres, de sables fins et de petits galets siliceux roulés.
Miocène - Molasses	18 - 210 m	Argiles jaunes et blanchâtres, sables fins à éléments siliceux et calcaires, galets anguleux noirs, bruns, jaunes, blancs, siliceux et calcaires.
Paléocène - Danien	210 - 319 m	Calcaire jaunâtre, sublithographique à Foraminifères (dont Miliolites) un peu ocré et marneux par endroits, avec de rares tâches rougeâtres et contenant de très rares grains de quartz.
Sénonien - Maestrichtien	319 - 366 m	Marne grise légèrement verdâtre finement sableuse et faiblement micacée qui passe par endroits à un marno-calcaire finement gréseux
	366 - 393 m	Marno-calcaire gris finement gréseux

### Formations tertiaires et sénoniennes traversées par le forage de Charlas 101

Etage et formation	Profondeur	Description RFS
Quaternaire - Alluvions	0 - 10 m	Sables argileux à galets qui constituent les alluvions anciennes de la Nère.
Miocène - Molasses	10 - 140 m	Argile sableuse jaune avec lits de galets siliceux et calcaire.
	140 - 160 m	Galets noirs, bruns, jaunes, siliceux ou calcaires.
Paléocène - Danien	160 - 206 m	Calcaire blanc à Foraminifères et calcaire sublithographique jaunâtre.
	206 - 265 m	Perte totale au-delà de 206m de profondeur => absence d'échantillons jusqu'à 265 m
Sénonien ? Maestrichtien?	265 - 311 m	Argile beige à jaune, parfois marneuse.

### Formations tertiaires et sénoniennes traversées par le forage de Charlas 102

Etage et formation	Profondeur	Description RFS	
Tertiaire - formations molassiques	0 - 190 m	Argile jaune et blanchâtre avec des passages de sable fin, de graviers et de galets siliceux ou calcaires	
	190 - 213 m	Sable fin plus ou moins grossier jaunâtre	
Paléocène - calcaires du Danien	213 - 327 m	Calcaire jaune à ocre plus ou moins altéré et silicifié par endroits. Miliolites – Algues.	
Sénonien	Maestrichtien	327 - 1097 m	Marnes gris verdâtres du Flysch
	Campanien	1097 - 2075 m?	Marnes grises du Flysch à intercalations marno-calcaires et gréseuses,
	Santonien?	2075 - 2137 m	Marnes grises du Flysch à intercalations marno-calcaires et gréseuses,
		2137 - 2165 m	Calcaire beige à gris beige clair récifal et grès.
		2165 - 2187 m	Zone à allure noduleuse ou bréchique montrant le passage progressif du calcaire au grès par des faciès faiblement marneux.
		2187 - 2225 m	Série essentiellement gréseuse de grès grossiers gris, gris clair et gris foncé, à petits graviers de quartz principalement abondants à 2187-2193 m. 2194,50 - 2198 et 2206 - 2206,50 m. ; passées plus ou moins calcarifères au sommet, rarement noduleuses à la base.
		2225 - 2251 m	Zone à allure noduleuse ou bréchique de calcaire gréseux, grumeleux ou faiblement marneux gris et gris beige, en nodules plus ou moins diffus dans un grès gris foncé plus ou moins marneux et micacé passant rarement (2238 - 2240 m.) à un marno-calcaire gréseux et micacé à filets marno-bitumineux brunâtres.
2251 - 2279 m	Grès grossier conglomératique à calcaire gréseux		

### Formations tertiaires et sénoniennes traversées par le forage de Charlas 1

Etage et formation	Profondeur	Description RFS
Molasse	0 - 210 m	Argiles calcaire sableuse, à intercalations de sable fin à moyen, parfois à graviers de quartz ou même à petits galets. Niveau de sable à la base de la couche correspondant à la séparation Molasse–Danien.
Paléocène	210 - 305 m	Pas de cuttings de 224 à 235 m. Calcaire cryptocristallin.
Maestrichtien	305 - 563 m	Marnes à intercalations de calcaire sableux, parfois bioclastique. Calcaire bioclastique ou microbioclastique, à intercalations de marne sableuse.
Santonien-Campanien	563 - 2420 m	Flysch : marnes et argiles à passées calcaires
Albien	2420 - 2436 m	Calcaire
Zone de faille	2436 - 2440 m	Roche volcanique altérée et bloc de grès
Sénonien inférieur	2440 -2453 m?	Brèche et calcaire bréchiqque

### Formations tertiaires et sénoniennes traversées par le forage de Charlas 2

Etage et Formation		Profondeur	Description RFS
Miocène - Quaternaire	Molasse et Alluvions	0 - 204 m	Alluvions. Argiles sableuses et graveleuses.
Paléocène		204 - 279 m	Calcaire microcristallin.
Maestrichtien - Campanien	Marnes d'Auzas	279 - 340 m	Marne sableuse gris verdâtre.
	Calcaire Nankin	340 - 540 m	Alternance de calcaire plus ou moins sableux, graveleux et marne sableuse.
	Flysch	540 - 1142 m	Argile calcaire finement sableuse
		1142 - 1555 m	Argile calcaire finement sableuse, intercalations de calcaire plus ou moins sableux et calcaire micrograveleux à graviers de quartz.
		1555 - 2160 m	Argile calcaire finement sableuse, intercalations de calcaire argileux, silto-gréseux, micacé et pyriteux.
Santonien		2160 - 2163 m	Calcaire gréseux et glauconieux à pellets
		2163- 2260 m	Calcaire granuleux à nombreux organismes
		2260 - 2297 m	Calcaire à grains légèrement gréseux

### Formations tertiaires et sénoniennes traversées par le forage de Charlas 3

Etage et formation		Profondeur	Description RFS
Tertiaire	Plio-Miocène	0 - 133 m	Molasse – argile sableuse avec galets et graviers siliceux à intercalations de calcaire argileux et sableux.
	Paléocène (Montien)	133 - 190.5 m	Calcaire mudstone et grainstone.
	Paléocène (Danien)	190.5 - 224 m	Calcaire
Maestrichtien - Campanien	Marnes d'Auzas	224 - 340 m	Marne sableuse
	Calcaires de Nankin	340 - 498 m	Calcaire et marne sableuse
	Flysch	498 - 2214 m	Argile calcaire grise à gris verdâtre, silteuse à sableuse, pyriteuse. Rares éléments de calcaire packstone beige à brun plus ou moins gréseux, glauconieux et de grès très fins à ciment calcaire et argileux. Fins débris carbonneux.
Santonien	Formation de Charlas	2214 - 2234 m	Brèche marno-calcaire à bioclastes
		2234 - 2255 m	Calcaire mustone à marne gris foncé, silteuse, calcaire grainstone à grès fin et argile silto-gréseuse

### Formations tertiaires et sénoniennes traversées par le forage de Charlas Ouest 1

Etage et formation		Profondeur	Description RFS
Tertiaire		0 - 372 m	Pas de description disponible
Maestrichtien - Campanien	Marnes d'Auzas	372 - 478 m	Pas de description disponible
	Calcaire de Nankin	478 - 629 m	Pas de description disponible
Flysch Crétacé		629 - 2124 m	Surveillance géologique à partir de 1630 m. Argile calcaire silteuse, pyriteuse, à passées de grès à ciment calcanéo-argileux, glauconieux et niveaux de calcaires gréseux, argileux, micacés et glauconieux.
Sénonien inférieur		2124 - 2224 m	Calcaire wackestone packstone bioclastique avec passées de calcaire gréseux plus ou moins argileux.
		2224 - 2261 m	Marne à calcaire argileux
		2261 - 2362 m	Calcaire gréseux recristallisé
Cénomaniens		2362 - 2363 m	Grès moyen à grossier pyriteux
		2363 - 2365 m	Argile noire ligniteuse
		2365 - 2374 m	Calcaire wackestone packstone à bioclastes et intraclastes, légèrement gréseux.

### Formations tertiaires et sénoniennes traversées par le forage de Charlas Ouest 2



## Annexe 4

### Formations litho-stratigraphiques du Tertiaire et Crétacé supérieur rencontrées par les forages des gisements de Mazères

Les forages figurant dans cette annexe sont, dans l'ordre de leur présentation, les suivants :

Dénomination	Indice BSS	Coordonnées Lambert 2 étendu		Date de début du forage	Date de fin du forage	Profondeur (en m)	Altitude sol (NGF)
		X	Y				
Mazères 1	10305X0004	382134	1811925	29/03/1966	13/07/1966	3425	187.1 m
Mazères 2	10305X0005	382079	1812011	01/08/1966	14/04/1967	5143	187.1 m
Mazères 101	10305X0068	381260	1810906	28/11/1979	24/09/1980	5450	310.8 m
Mazères 3 D	10305X0069	381260	1810905	15/10/1980	23/06/1981	5240	310.8 m
Mazères 4 D	10305X0072	381234	1810959	20/09/1985	05/05/1986	5125	310.8 m
Mazères 5 D	10298X0028	379446	1811786	17/08/1987	24/02/1988	4913	184.1 m
Mazères 6 D	10305X0073	384008	1812593	17/12/1988	11/06/1989	5090	238.0 m

Les profondeurs indiquées dans les tableaux présentés dans cette annexe correspondent aux profondeurs de foration (déviation non corrigée et position relative à la table de rotation).



Etage et formation		Profondeur	Description RFS
Quaternaire	Alluvions	0 - 26 m	Alluvions
Oligocène - Miocène	Molasses	26 - 335 m	Argile jaune ocre plastique à galets calcaires et siliceux.
Eocène	Eocène 1	335 - 1081 m	Argile grise plastique, sableuse à fines passées de grès fin à moyen.
		1081 - 1125 m	"Argiles lentes" : argile à argile calcaire verte, plastique.
	Eocène 2	1125 - 1192 m	« Flysch marno-gréseux »: marnes gris-vert à intercalations gréseuses décimétriques.
	Eocène 3	1192 - 1195 m	Argile kaki feuilletée, traces d'argile rouge.
		1195 - 1228 m	Alternance de grès grossier glauconieux, calcaire gréseux et marne grise à verte .
		1228 - 1275 m	"Calcaire repère" : blanchâtre graveleux, à points noirs. Passée silicifiée à 1 233 m.
	1275 - 1292 m	Alternance de marne grise et calcaire gréseux.	
Paléocène		1292 - 1344 m	Calcaire cryptocristallin beige blanchâtre.
Maestrichtien	Marnes de Nay	1344 - 1534 m	Marne kaki à marne grise à gris verdâtre finement sableuse.
	Flysch carbonaté	1534 - 1605 m	Alternance de marnes, calcaires (surtout abondant au sommet de la zone, jusqu'à 1557 m de profondeur) et grès.
	Flysch F3 / F4	1605 - 2126 m	Alternance de marne silteuse indurée, calcaire et grès où les bancs résistants ont une épaisseur de 1 à 2 m groupés en séquences de 5 m d'épaisseur environ.
	Flysch F5	2126 - 2392 m	Flysch à prédominance argileuse où les intercalations de grès et calcaire ont une épaisseur inférieure à 0.5 m
Campanien	Flysch F6	2392 - 3026 m	Alternance d'argile calcaire à marne argileuse, silts et grès en bancs décimétriques à semi-métriques jusqu'à 2840 m, métriques au-delà.
	Flysch F7	3026 - 3182 m	Flysch à prédominance argileuse
Santonien?	Flysch F8	3182 - 3381 m	Flysch plus carbonaté que les précédents, comportant en alternance : marne calcaire à calcaire argileux, grès carbonaté et grès argileux.
Coniacien	Calcaire des canyons	3381 - 3420 m	Calcaire cristallin à microcristallin, graveleux très zoogène. Plages silicifiées et passées de dolomie microcristalline vers 3400 m.
		3420 - 3425.4 m	Les calcaires précédents alternent, en bancs décimétriques, avec des lits centimétriques à décimétriques d'argile noire.

### Formations tertiaires et sénoniennes traversées par le forage de Mazères 1

Etage et formation		Profondeur	Description RFS
Quaternaire	Alluvions	0 - 24 m	Alluvions
Oligocène - Miocène	Molasse	24 - 348 m	Argile jaune à ocre, plastique, à galets de calcaire blanc, beige ou ocre, et de silex brun.
Eocène	Eocène 1 (Yprésien)	348 - 1076 m	Argile grise plastique, finement sableuse, micacée, pyriteuse, à éléments de lignite. Fines intercalations de grès fin à moyen, à ciment carbonaté.
		1076 - 1121 m	"Argiles lentes" : argile à argile calcaire, grise à verte, plastique, pyriteuse.
	Eocène 2	1121 - 1182 m	Marne gris vert à kaki, feuilletée, micacée, à intercalations gréseuses décimétriques.
	Eocène 3	1182 - 1270 m	Argiles à Marnes gris foncé gréseuses et pyriteuses. Passées de Calcaire cryptocristallin beige clair et de sable mat fin à moyen.
Paléocène		1270 - 1368 m	Calcaire beige à blanc cryptocristallin moyennement dur, parfois graveleux ou crayeux. Passée de Marne grise à verte de 1320 à 1325 m.
Maestrichtien	Marnes de Nay	1368 - 1565 m	Marnes kaki puis grises
	Flysch carbonaté	1565 - 1641 m	Alternances de marnes, de calcaires et de grès
	Flysch F3	1641 - 1901 m	Alternances de marnes, de calcaires et de grès
	Flysch F4	1901 - 2148 m	Alternances de marnes, de calcaires et de grès
	Flysch F5	2148 - 2395 m	Flysch surtout argileux
Campanien	Flysch F6	2395 - 3037 m	Alternances d'argiles, de marnes et de grès
	Flysch F7	3037 - 3275 m	Flysch surtout argileux
	Flysch F8 et F9	3275 - 3337 m	Flysch argileux à intercalations de grès, de calcaire argileux et de microbrèches.
Santonien	Calcaire des canyons	3337 - 3393 m	Alternances métriques de calcaire beige graveleux, parfois silicifié et de calcaire argilo-crayeux blanchâtre
Coniacien à Albien		3393 - 3542 m	Argiles et marnes grises. Fines intercalations calcaires
		3542 - 3635 m	Alternance de calcaire argileux beige à spicules et de marnes grises.
		3635 - 3819 m	Marne gris foncé sableuse bréchique à la base.

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Mazères 2

Etage et formation		Profondeur	Description RFS
Oligo-Miocène	Molasse	0 - 321 m	Argile plastique, sableuse, à galets de calcaire et silex.
Eocène	Eocène 1	321 - 1180 m	Sédiments de milieu profond, à faciès « flysch », constitué d'argile plastique, finement sableuse, micacée, à rares intercalations de sable et grès à ciment carbonaté. Présence de lignite et de pyrite.
	Eocène 2	1180 - 1242 m	Sédiments identiques à ceux de l'Eocène 1, légèrement plus sableux.
	Eocène 3	1242 - 1386 m	Argile, marne sableuse, intercalation de grès pyriteux et glauconieux, calcaire gréseux et graveleux, grain de quartz.
		1386 - 1457 m	Calcaire wakestone packstone graveleux.
	1457 - 1594 m	Argile à marne silteuse.	
Paléocène		1594 - 1749 m	Calcaire mudstone blanc crayeux, calcaire wackestone, fines passées d'argile noire (1655 à 1670 m).
Maestrichtien	Marnes de Nay	1749 - 2038 m	Epaisse série à faciès flysch constituée d'une matrice argileuse marneuse, silteuse, plus ou moins chargée en éléments carbonatés ou gréseux
	Flysch carbonaté	2038 - 2175 m	
	Flysch F3 / F4	2175 - 2927 m	
	Flysch F5	2927 - 3483 m	
Campanien	Flysch F6 - F7 ?	3483 - 3982 m	Epaisse série à faciès flysch assez riche en fines intercalations de grès fin à moyen, micacé, à ciment carbonaté, la matrice étant une argile calcaire silteuse.
Sénonien inférieur	Formation argilo-gréseuse de la Passerelle	3982 - 4258 m	
	Calcaire des canyons	4258 - 4345 m	
Turonien	Formation argilo-gréseuse	4345 - 4590 m	
	Formation carbonatée	4590 - 4685 m	

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Mazères 101

Etage et formation		Profondeur	Description RFS
Oligo-Miocène	Molasse	0 - 321 m	Pas de description - cotes reprises de Mazères 101
Eocène	Eocène 1	321 - 1180 m	Pas de description - cotes reprises de Mazères 101
	Eocène 2	1180 - 1242 m	Pas de description - cotes reprises de Mazères 101
	Eocène 3	1242 - 1568 m	Pas de description - cote de toit reprise de Mazères 101
Paléocène		1568 - 1715 m	Pas de description - démarrage du contrôle géologique à 1750 m
Maestrichtien	Marnes de Nay	1715 - 1965 m	Argile à marne grise, silteuse et rares intercalations gréseuses
	Flysch carbonaté	1965 - 2052 m	Calcaire mudstone - wackestone et intercalations marneuses
	Flysch F3 / F4	2052 - 2705 m	Flysch grés-carbonaté. Alternance de marne silteuse, de grès à ciment carbonaté et de calcaire gréseux mudstone-wackestone. La fréquence des niveaux grés-carbonatés diminue vers la base de l'intervalle.
	Flysch F5	2705 - 3269 m	Flysch grés-carbonaté. Alternance de marne silteuse et de grès calcaire.
Campanien	Flysch F6 - F7 ?	3269 - 3795 m	Série à faciès flysch constitué d'une alternance de grès fin à moyen à ciment carbonaté et d'argile calcaire, silteuse, micacée.
Sénonien inférieur	Formation argilo-gréseuse de la Passerelle	3795 - 4062 m	Argile calcaire silteuse micacée admettant de fines intercalations de grès fin à moyen à ciment carbonaté auxquelles s'ajoutent vers la base des niveaux de calcaire mudstone argileux. Les éléments résédimentés gréseux et carbonatés deviennent plus abondants vers le bas, jusqu'à former une alternance plus ou moins régulière.
	Calcaire des canyons	4062 - 4143 m	Argile calcaire plastique, silteuse avec des intercalations de grès et de calcaire gréseux passant vers le bas à un calcaire wackestone-packstone, graveleux, à bioclasts nombreux.
Turonien	Flysch	4143 - 4285 m	Argile calcaire admettant des intercalations de grès fin à moyen, à ciment carbonaté.

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Mazères 3 D

Etage et formation		Profondeur
Oligo-Miocène	Molasse	0 - 327 m
Eocène	Eocène 1	327 - 1355 m
	Eocène 2	1355 - 1491 m
	Eocène 3	1491 - 1569 m
Paléocène		1569 - 1712 m
Maestrichtien	Marnes de Nay	1712 - 1960 m
	Flysch carbonaté	1960 - 2055 m
	Flysch F3 / F4	2055 - 2626 m
	Flysch F5	2626 - 3134 m
Campanien	Flysch F6 - F7 ?	3134 - 3650 m
Sénonien inférieur	Formation argilo-gréseuse de la Passerelle	3650 - 3884 m
	Calcaire des canyons	3884 - 3986 m
Turonien	Flysch	3986 - 4129 m

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Mazères 4 D

Etage et formation		Profondeur	Description RFS
Oligo-Miocène	Molasse	0 - 438 m	Pas de contrôle géologique
Eocène	Eocène 1	438 - 1053 m	
	Eocène 2	1053 - 1081 m	
	Eocène 3	1081 - 1300 m	
Paléocène	Calcaires de Lasseube	1300 - 1404 m	
	Marnes de Nay	1404 - 1611 m	
Maestrichtien	Flysch carbonaté	1611 - 1708 m	calcaire beige - calcaire crayeux. Passées de marnes grises
	Flysch F3 / F4	1708 - 2237 m	Faciès flysch
	Flysch F5	2237 - 2775 m	
Flysch F6 - F7	2775 - 3265 m		
Campanien	Flysch F8	3265 - 3520 m	
	Brèche de Soumoulou	3520 - 3597 m	Argile gris foncée, silteuse, à passées de calcaire gris à blanc argileux, crayeux.
Turonien - Santonien	Formation de Mazères moyen	3597 - 3705 m	Marnes puis calcaire des canyons présents en base de la formation
	Formation de Mazères inférieur	3705 - 3785 m	Marne gris clair, silteuse. Calcaire argileux gris tendre. Calcaire brun peu bioclastiques à rares silicifications
		3785 - 4176 m	Marne gris clair, gris beige, silteuse. Passées de calcaire biege à brun argileux, silteux, pyriteux. Veines de calcite.

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Mazères 5 D

Etage et formation		Profondeur	Description RFS
Oligo-Miocène	Molasse	0 - 484 m	Pas de contrôle géologique jusqu'à 1518 m de profondeur
Eocène	Eocène 1	484 - 1273 m	
	Eocène 2	1273 - 1443 m	
	Eocène 3	1443 - 1607 m	
Paléocène	Calcaires de Lasseube	1607 - 1703 m	Pas de description dans le RFS
Maestrichtien	Marnes de Nay	1703 - 1904 m	Pas de description dans le RFS
	Flysch carbonaté	1904 - 1965 m	Pas de contrôle géologique de 1928 à 3190 m de profondeur
	Flysch F3 / F4	1965 - 2548 m	
	Flysch F5	2548 - 2799 m	
Campanien	Flysch F6 - F7	2799 - 3356 m	
Campanien?	Flysch F8	3356 - 3682 m	Pas de description dans le RFS

### Formations tertiaires et sénoniennes traversées par le forage de Mazères 6 D

## Annexe 5

### Formations litho-stratigraphiques du Tertiaire et Crétacé supérieur rencontrées par les forages des gisements de Lagrave

Les forages figurant dans cette annexe sont, dans l'ordre de leur présentation, les suivants :

Dénomination	Indice BSS	Coordonnées Lambert 2 étendu		Date de début du forage	Date de fin du forage	Profondeur (en m)	Altitude sol (NGF)
		X	Y				
Lagrave 1	10303X0204	402323	1822050	20/07/1984	14/10/1984	3401	349.77 m
Lagrave 2	10303X0006	402264	1822553	30/10/1984	13/03/1985	4359	342 m
Lagrave 3	10303X0007	401575	1819744	14/05/1985	13/06/1985	2340	268.9 m
Lagrave 4 D	10057X0006	402234	1823765	23/07/1985	14/08/1985	2200	340.5 m
Lagrave 5 /RD	10303X0205	402586	1821950	21/08/1985	19/09/1985	2498 repris jusqu'à 2855	353.3 m
Lagrave 6 D	10303X0206	402390	1822063	27/11/1991	22/12/1991	2150	349.68 m
Lagrave 7 D	10303X0214	402341	1822089	22/08/1998	25/09/1998	2240	356.77 m
Lagrave 8 D	?	402390	1822102	02/07/2007	18/08/2007	2250	350 m

Les profondeurs indiquées dans les tableaux présentés dans cette annexe correspondent aux profondeurs de foration (déviation non corrigée et position relative à la table de rotation).



Etage et Formation		Profondeur	Description RFS
Oligo-Miocène	Molasse	0 - 861 m	Début du contrôle géologique à 225 m. Argile calcaire à marne jaune ocre à galets de calcaire gréseux et galets siliceux.
			Eocène
Grès à Nummulites	968 - 1064 m	Alternance d'argile grise sableuse, de grès fin à grossier et de sable fin à grossier.	
Yprésien supérieur	1064 - 1441 m	Argile grise sableuse. Rares éléments de grès gris fin à moyen dans la partie supérieure, d'avantage présents dans la partie inférieure	
Paléocène		1441 - 1520 m	Calcaire argileux mudstone. Intercalations d'argile grise
		1520 - 1525 m	Calcaire mudstone à wackestone sableux.
Crétacé supérieur	Formation de Dumes	1525 - 1658 m	Marne grise sableuse. Fines passées de calcaire mudstone argileux.
		1658 - 1780 m	Calcaire mudstone à wackestone à passées de marne
	Formation de Pé-Marie	1780 - 1930 m	Alternances de calcaire argileux mudstone gris-blanc légèrement glauconieux avec une marne grise silteuse
		1930 - 1954 m	Calcaire argileux mudstone / wackestone très glauconieux à silex abondants
	Formation de Jouansalles	1954 - 2025.4 m	Calcaire wackestone / packstone à pellets et gravelles
		2025.4 - 2105.5 m	Calcaire packstone / wackestone gris foncé, graveleux
	Formation de Pilo (Cénomanién)	2105.5 - 2122 m	Calcaire packstone / wackestone beige, graveleux et bioclastique
		2122 - 2172 m	Calcaire packstone graveleux, bioclastique, légèrement argileux

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Lagrave 1

Etage et Formation		Profondeur	Description RFS
Oligo-Miocène	Molasse	0 - 840 m	Début du contrôle géologique à 802 m.
			Eocène
Grès à Nummulites	970 - 1083 m	Alternances de grès, d'argile et de sable.	
Yprésien supérieur	1083 - 1398 m	Argile calcaire à passées de grès et de dolomie.	
Paléocène		1398 - 1497 m	Calcaire wackestone et argile à marne.
Crétacé supérieur	Formation de Dumes	1497 - 1642 m	Marne gris-vert à intercalations de calcaire mudstone
		1642 - 1747 m	Calcaire wackestone bioclastique à intercalations de marne
	Formation de Pé-Marie	1747 - 1961 m	Marne silteuse et calcaire mudstone / wackestone Calcaire à silex en partie intérieure de la formation
	Formation de Jouansalles	1961 - 2115 m	Calcaire packstone à pellets bioclastique, puis calcaire mudstone à wackestone noduleux
	Formation de Pilo (Cénomanién)	2115 - 2202 m	Calcaire wackestone et calcaire packstone graveleux Passées de dolomie

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Lagrave 2

Etage et formation		Profondeur	Description RFS
Oligo-Miocène	Molasse	0 - 844 m	Pas de données
Eocène	Sables de Lussagnet à Grès à Nummulites	844 - 905 m	Début du contrôle géologique à 870 m. Argile calcaire jaune ocre silteuse.
		905 - 960 m	Argile calcaire grise silteuse plastique, Passées de grès gris clair ligniteux, pyriteux, carbonatés.
		960 - 984 m	Sable jaune moyen à grossier et argile jaune ocre sableuse plastique.
		984 - 1110 m	Alternances de : - Sable fin à moyen, jaune, translucide à gris, - Argile calcaire jaune ocre à grise, sableuse, - Grès moyen, gris, ligniteux, pyriteux, carbonatés.
Yprésien à Lutétien	Flysch Yprésien	1110 - 1684 m	Argile calcaire gris foncé sableuse, ligniteuse, plastique à passées de grès gris-moyens carbonatés et de sables fins à moyens translucides subanguleux (1520 – 1625 m).
Paléocène		1684 - 1734 m	Argile calcaire gris foncé, silteuse, plastique à passées de calcaire Mudstone à Wackestone gris clair argileux, gréseux.
	Calcaire de Lasseube	1734 - 1736 m	Calcaire Mudstone à Wackestone blanc crayeux.
Crétacé supérieur	Formation de Dumes	1736 - 1782 m	Marne gris-vert silteuse à passées de calcaire mudstone gris argileux.
		1782 - 1799 m	Calcaire Wackestone gris blanc argileux.
	Formation de Pé-Marie	1799 - 1933 m	Marne grise à gris-beige, silteuse, plastique à indurée. Passées de calcaire mudstone/wackestone gris-beige, argileux, pyriteux, légèrement glauconieux.
		Formation de Jouansalles	1933 - 2106 m
	2106 - 2128 m		Calcaire wackestone/packstone beige, bioclastique, crayeux, graveleux.
	2128 - 2164 m		Dolomie cristalline gris à beige clair, légèrement poreuse
	Formation de Pilo (Cénomaniens)	2164 - 2187 m	Calcaire wackestone gris, localement argileux ou gréseux à graveleux.
		2187 - 2220 m	Dolomie cristalline, jaunâtre, pyriteuse à glauconieuse.

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Lagrave 3

Etage et formation		Profondeur	Description RFS
Oligo-Miocène	Molasse	0 - 847 m	Pas de données
Eocène	Sables de Lussagnet	847 - 897 m	
	Grès à Nummulites	897 - 975 m	
Paléocène	Flysch Yprésien	975 - 1444 m	Début du contrôle géologique à 1200 m, Argile grise silteuse, pyriteuse, ligniteuse. Fines passées de grès gris moyen, carbonaté, pyriteuse, glauconieuse.
	Calcaires de Lasseube	1444 - 1533 m	Argile calcaire grise, sableuse, glauconieuse à intercalations de calcaires wackestone gris argilo-gréseux.
		1533 - 1543 m	Calcaire wackestone/packstone blanc, bioclastique
Crétacé supérieur	Formation de Dumes	1543 - 1721 m	Marne gris clair, sableuse; rares intercalations de calcaire mudstone ou mudstone/wackestone gris, argileux, gréseux.
		1721 - 1806 m	Calcaire wackestone gris gréseux, à plages silicifiés, glauconieux. Intercalations de marne sableuse, grise.
	Formation de Pé-Marie	1806 - 1955 m	Calcaire wackestone gris, bioclastique, sableux, glauconieux, argileux. Rares passées de marne grise, silteuse, glauconieuse.
		1955 - 2086 m	Calcaire mudstone/wackestone gris argileux, recristallisé, gréseux, glauconieux à plages silicifiées. Rares niveaux de marne grise, silteuse, glauconieuse.
	Formation de Jouansalles	2086 - 2155 m	Calcaire wackestone/packstone bioclastique, blanc, compact
		2155 - 2200 m	Calcaire wackestone/packstone gris beige crayeux.

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Lagrave 4D

Etage et formation		Profondeur	Description RFS
Oligo-Miocène	Molasse	0 - 929 m	Pas de données géologiques.
Eocène	Sables de Lussagnet	929 - 1089 m	
	Grès à Nummulites	1089 - 1226 m	Grès carbonaté et sable moyen.
	Yprésien supérieur	1226 - 2021 m	Argile gris foncé silteuse, ligniteuse. Passées ou inclusions de grès, gris fin, moyen carbonaté. Niveaux de calcaires mudstone gris-beige, argileux, glauconieux (à la base de la couche).
Paléocène		2021 - 2061 m	Calcaire wackestone gris argileux, pyriteux. Marne grise, silteuse. Calcaire mudstone/wackestone gréseux.
	Calcaires de Lasseube	2061 - 2063 m	
Crétacé supérieur	Formation de Dumes	2063 - 2141 m	Calcaire wackestone gris argileux. Marne grise silteuse.
		2141 - 2229 m	Calcaire wackestone beige clair, argileux, pyriteux, glauconieux.
	Formation de Pé-Marie	2229 - 2388 m	Calcaire wackestone beige argileux, glauconieux à plages silicifiées. Passées de marne gris beige, gréseuse, glauconieuse.
	Formation de Jouansalles	2388 - 2498 m	Dolomie cristalline beige. Intercalations de calcaire wackestone/packstone à pellets, bioclastique

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Lagrave 5D

Etage et formation		Profondeur	Description RFS
Oligo-Miocène	Molasse	0 - 866 m	Pas de suivi géologique
Eocène	Sables de Lussagnet	866 - 981 m	
	Grès à Nummulites	981 - 1061.5 m	
Paléocène	Yprésien supérieur	1061.5 - 1427 m	Début du contrôle géologique à 1084 m. Argile grise, silteuse plastique à rares passées de grès fin gris, argilo-carbonaté.
	Calcaires de Lasseube	1427 - 1525 m	Calcaire Mudstone/Wackestone, silteux, argileux et glauconieux puis calcaire Wackestone blanc, bioclastique.
Crétacé supérieur	Formation de Dumes	1525 - 1526.5 m	Calcaire Mudstone /Wackestone argilo-gréseux compact.
		1526.5 - 1682.5 m	Marne grise, sableuse avec fines passées de calcaire mudstone argilo-gréseux.
	1682.5 - 1777 m	Calcaire wackestone gris-beige, gréseux et glauconieux, puis calcaire mudstone argileux à marne.	
	Formation de Pé-Marie	1777 - 1994 m	Marne grise silto-sableuse à rares passées de calcaire wackestone/mudstone gris-blanc argilo-gréseux. A la base, calcaire mudstone/wackestone, argilo-gréseux localement siliceux, puis gris beige à silex blonds et très glauconieux à la base.
	Formation de Jouansalles	1994 - 2150 m	Calcaire wackestone à packstone bioclastique et graveleux. Calcaire dolomitique à dolomie calcaire packstone, bioclastique et graveleux. Calcaire wackestone à packstone, beige à blanchâtre, bioclastique et graveleux.

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Lagrave 6D

Etage et formation		Profondeur
Oligo-Miocène		Molasse 0 - 884 m
Eocène	Lutétien	Sables de Lussagnet 884 - 1016 m
	Yprésien	Grès à Nummulites 1016 - 1097 m
		Yprésien supérieur 1097 - 1653 m
Crétacé supérieur	Formation de Dumes	1653 - 1764 m
		1764 - 1858 m
	Formation de Pé-Marie 1858 - 2115 m	
Formation de Jouansalles 2115 - 2222 m		

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Lagrave 7D

Etage et formation		Profondeur
Oligo-Miocène		Molasse 0 - 863 m
Eocène	Lutétien	Sables de Lussagnet 863 - 984.5 m
	Yprésien	Grès à Nummulites 984.5 - 1061.5 m
		Yprésien supérieur 1061.5 - 1425 m
Paléocène		1425 - 1526.5 m
Crétacé supérieur	Formation de Dumes	1526.5 - 1709.5 m
		1709.5 - 1824 m
	Formation de Pé-Marie 1824 - 2110 m	
	Formation de Jouansalles 2110 - 2250 m	

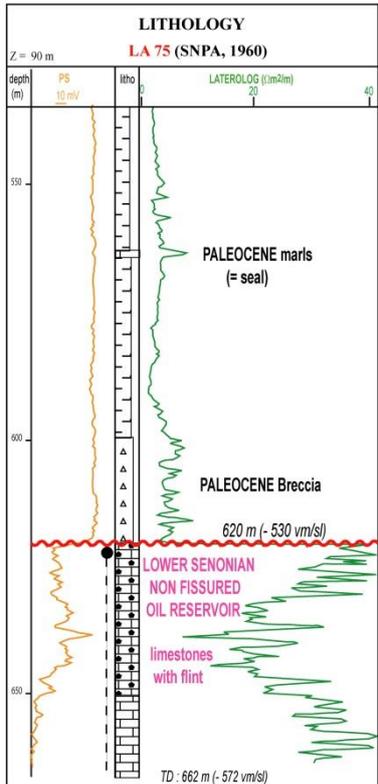
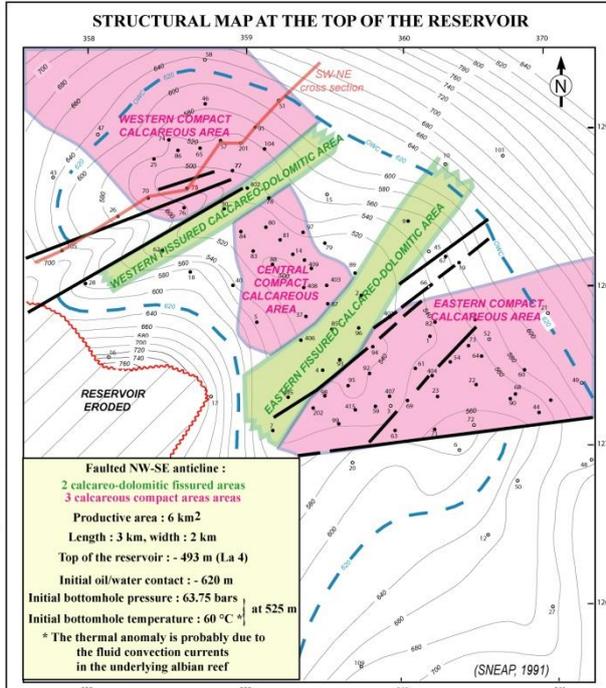
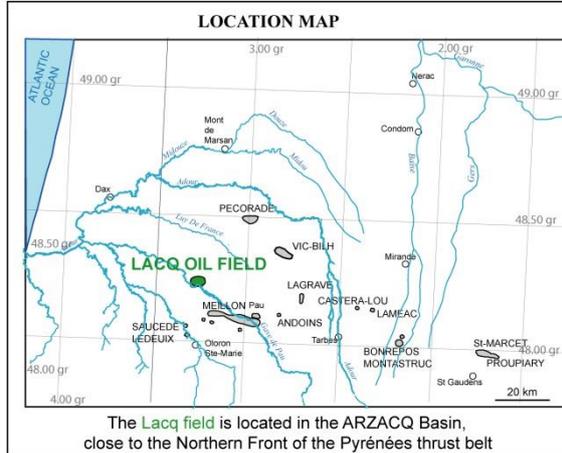
### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Lagrave 8D

## **Annexe 6**

### **Fiche descriptive du gisement de Lacq supérieur (Serrano et al., 2006)**



## AQUITAINE BASIN : ADOUR SUB-BASIN LACQ "SUPERIEUR" OIL FIELD (SNPA, 1949) Reservoir = Lower Senonian carbonates



### MAIN CHARACTERISTICS

**SEAL :**  
 - Paleocene marls (SW)  
 - Upper Senonian argillaceous limestones (NE)

**OIL RESERVOIR : Lower Senonian carbonates**

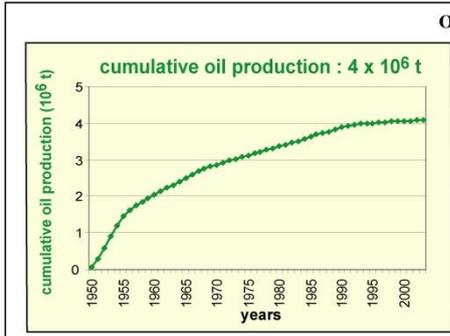
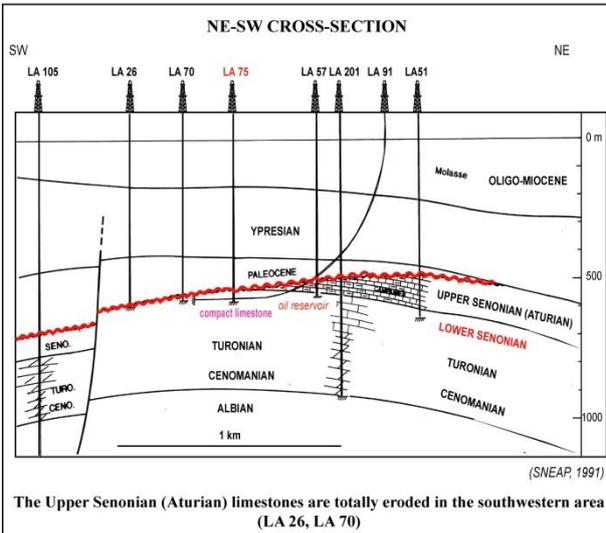
oil reservoir lithology	matrix	
	Φ (%)	K (mD)
Calcareo-dolomitic fissured reservoir (central area)	11	0.1 - 1
Calcareous non fissured reservoir (NW, SE)	20	3 - 5

**GROSS THICKNESS :**  
 150 m

**Sw :** 60 %

**HC TRAPPING :**  
 Upper Eocene

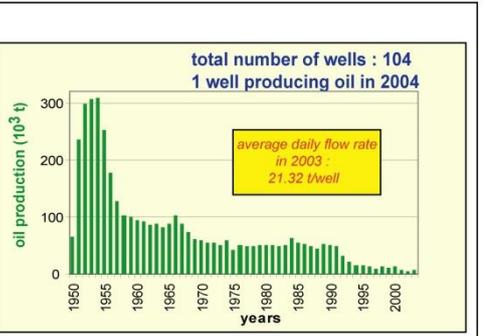
**SOURCE ROCK :**  
 Formation de Lons (Upper Kimmeridgian)



**FORMATION FLUID :**  
 mixed oil (paraffinic and naphthenic)

$\rho = 0.920 \text{ g/cm}^3$   
 $d = 22.3^\circ \text{ API}$   
 $v = 260 \text{ cPo (at } 20^\circ \text{ C)}$   
 sulfur content = 3.9 %

**number of barrels per ton = 6.84**





## **Annexe 7**

### **Valeurs de perméabilités relevées sur les forages du gisement de Lacq supérieur**

Les valeurs figurant dans les tableaux suivants sont issues des Rapports de Fin de Sondage relatifs aux forages de Lacq supérieur. Une indication « 0 » ou « néant » ne signifie pas que la perméabilité est nulle mais qu'elle est inférieure à un seuil de précision non spécifié dans les documents consultés. Le caractère matriciel ou fissural de la perméabilité mesurée n'est pas non plus spécifié.



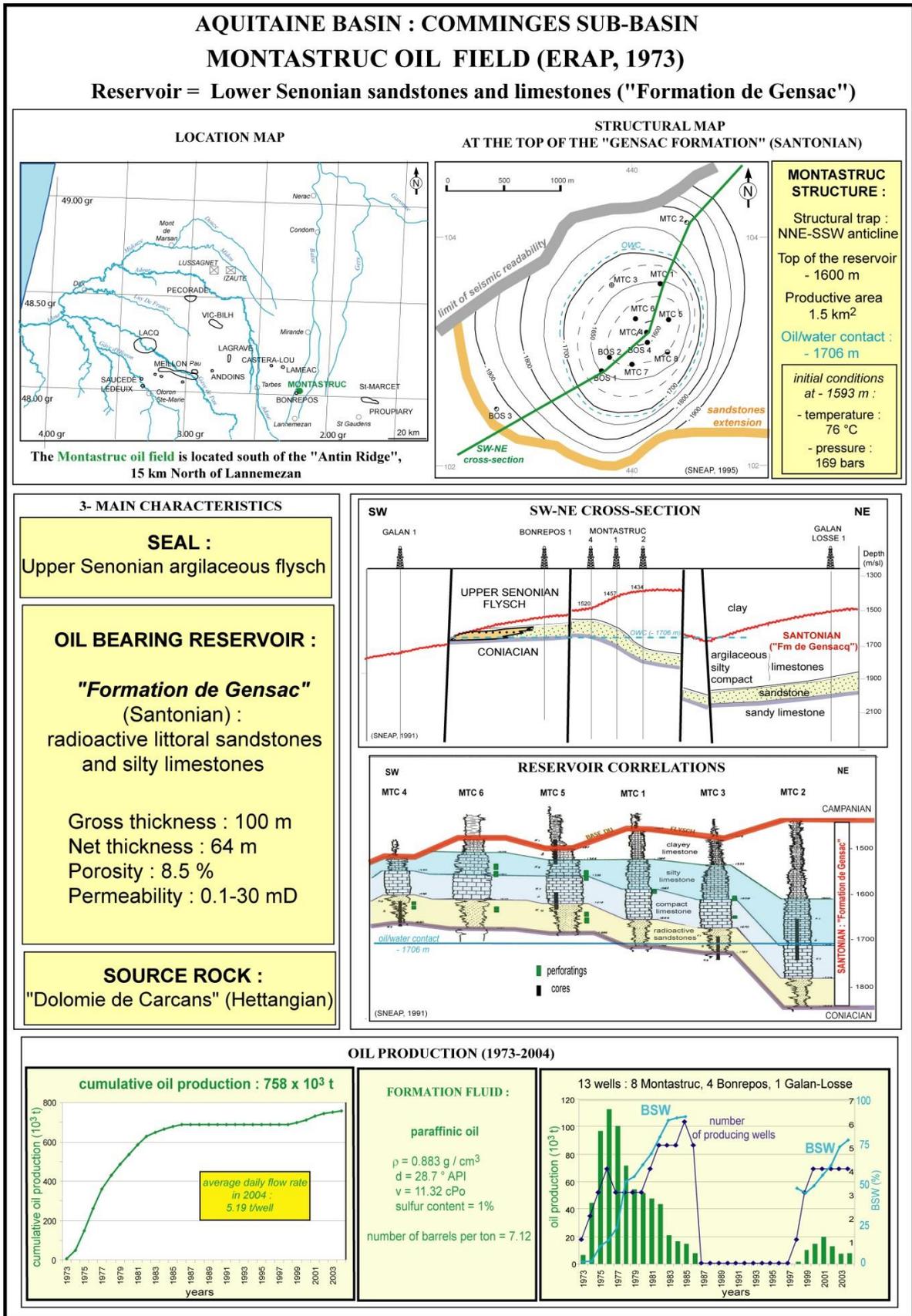
Forage BEPH	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof début (m/foration)	Prof fin (m/foration)	Perméabilité (mdy)
12-1127-	LACQ sup	LA 7	Sénonien inférieur	628.0	631.0	"0"
12-1127-	LACQ sup	LA 7	Sénonien inférieur	631.0	634.0	"0"
12-1127-	LACQ sup	LA 7	Sénonien inférieur	634.0	637.0	"0"
12-1127-	LACQ sup	LA 7	Sénonien inférieur	637.0	641.2	0.16
12-1127-	LACQ sup	LA 7	Sénonien inférieur	641.2	646.4	0 - 0.20
12-1127-	LACQ sup	LA 7	Sénonien inférieur	646.4	651.2	0 - 0.1
12-1127-	LACQ sup	LA 7	Sénonien inférieur	651.2	657.2	"0"
12-1127-	LACQ sup	LA 7	Sénonien inférieur	657.2	660.2	1.3 - 78
12-1127-	LACQ sup	LA 7	Sénonien inférieur	660.2	663.8	0.6 - 5.6
12-1127-	LACQ sup	LA 7	Sénonien inférieur	663.8	666.4	"0"
12-1127-	LACQ sup	LA 7	Sénonien inférieur	666.4	669.5	1 - 4
12-1127-	LACQ sup	LA 7	Sénonien inférieur	669.5	675.3	0.4
12-1129-	LACQ sup	LA 9	Sénonien inférieur	646.0	680.1	"0"
12-1129-	LACQ sup	LA 9	Sénonien inférieur	649.5	670.8	"0"
12-1130-	LACQ sup	LA 10	Sénonien inférieur	644.0	645.0	"0"
12-1130-	LACQ sup	LA 10	Sénonien inférieur	812.0	814.3	"0"
12-1169-	LACQ sup	LA 14	Sénonien inférieur	596.0	677.7	0.3 - 12.9
12-1170-	LACQ sup	LA 15	Sénonien inférieur	632.5	634.4	1.1
12-1170-	LACQ sup	LA 15	Sénonien inférieur	674.9	676.1	1.9
12-1170-	LACQ sup	LA 15	Sénonien inférieur	676.2	677.7	0.7
12-1170-	LACQ sup	LA 15	Sénonien inférieur	677.7	679.8	1.1
12-1170-	LACQ sup	LA 15	Sénonien inférieur	679.8	681.8	0.5
12-1170-	LACQ sup	LA 15	Sénonien inférieur	681.8	683.8	"0"
12-1171-	LACQ sup	LA 16	Brèche paléocène	629.2	630.4	16.9
12-1171-	LACQ sup	LA 16	Brèche paléocène	684.0	685.3	13
12-1171-	LACQ sup	LA 16	Brèche paléocène	735.9	737.4	11
12-1172-	LACQ sup	LA 17	Cénomaniens	816.9	818.0	0.54
12-1172-	LACQ sup	LA 17	Cénomaniens	840.0	842.0	2.17
12-1172-	LACQ sup	LA 17	Paléocène	775.0	777.0	0.78
12-1172-	LACQ sup	LA 17	Sénonien inférieur	686.0	688.0	0.62
12-1172-	LACQ sup	LA 17	Sénonien inférieur	688.0	688.8	1.92
12-1173-	LACQ sup	LA 18	Sénonien inférieur	681.0	695.0	0.51 - 2.87
12-1174-	LACQ sup	LA 19	Sénonien inférieur	677.0	697.0	1.1 - 5.3
12-1175-	LACQ sup	LA 20	Sénonien inférieur	682.0	775.0	0.78 - 5.15
12-1176-	LACQ sup	LA 21	Sénonien inférieur	742.0	762.5	0.54 - 0.94
12-1177-	LACQ sup	LA 22	calcaires marneux du Campanien	561.0	646.0	2.7
12-1177-	LACQ sup	LA 22	Sénonien inférieur	653.0	655.0	2.2 - 5.4
12-1177-	LACQ sup	LA 22	Sénonien inférieur	655.0	657.0	3.4
12-1177-	LACQ sup	LA 22	Sénonien inférieur	657.0	658.5	1.2
12-1177-	LACQ sup	LA 22	Sénonien inférieur	658.5	660.5	3.3 - 4.5
12-1177-	LACQ sup	LA 22	Sénonien inférieur	660.5	663.5	4.5
12-1177-	LACQ sup	LA 22	Sénonien inférieur	663.5	665.5	5.1
12-1177-	LACQ sup	LA 22	Sénonien inférieur	665.5	668.0	12.8
12-1177-	LACQ sup	LA 22	Sénonien inférieur	668.0	671.5	6.2
12-1177-	LACQ sup	LA 22	Sénonien inférieur	671.5	673.1	1.2
12-1177-	LACQ sup	LA 22	Sénonien inférieur	673.1	676.8	11.6
12-1177-	LACQ sup	LA 22	Sénonien inférieur	676.8	679.8	8.1
12-1177-	LACQ sup	LA 22	Sénonien inférieur	679.8	683.0	5.7
12-1178-	LACQ sup	LA 23	Sénonien inférieur	660.3	662.9	9.4
12-1178-	LACQ sup	LA 23	Sénonien inférieur	668.0	670.0	5.1
12-1178-	LACQ sup	LA 23	Sénonien inférieur	670.0	672.4	1.9
12-1178-	LACQ sup	LA 23	Sénonien inférieur	672.4	675.0	2.5
12-1178-	LACQ sup	LA 23	Sénonien inférieur	675.0	678.0	2
12-1178-	LACQ sup	LA 23	Sénonien inférieur	678.0	681.2	0.8
12-1179-	LACQ sup	LA 24	Sénonien inférieur	662.4	663.9	7.4
12-1179-	LACQ sup	LA 24	Sénonien inférieur	671.0	671.3	40 - 85
12-1179-	LACQ sup	LA 24	Sénonien inférieur	671.6	673.0	3.8 - 4.5
12-1179-	LACQ sup	LA 24	Sénonien inférieur	681.3	683.0	4.45

Forage BEPH	Gisement	Nom du forage	Niveau géologique	Prof début (m/foration)	Prof fin (m/foration)	Perméabilité (mdy)
12-1180-	LACQ sup	LA 25	Sénonien inférieur	653.0	685.0	0.5 - 20.5
12-1181-	LACQ sup	LA 27	calcaires marneux du Campanien	659.0	661.5	0.5 - 1.5
12-1181-	LACQ sup	LA 27	calcaires marneux du Campanien	790.0	792.0	0.61
12-1181-	LACQ sup	LA 27	Sénonien inférieur	810.0	811.4	2.2
12-1183-	LACQ sup	LA 28	calcaires marneux du Campanien	670.0	671.5	"0"
12-1183-	LACQ sup	LA 28	Sénonien inférieur	686.7	688.2	0 - 1
12-1183-	LACQ sup	LA 28	Sénonien inférieur	688.2	690.2	0.3
12-1183-	LACQ sup	LA 28	Sénonien inférieur	690.2	692.2	0.2
12-1183-	LACQ sup	LA 28	Sénonien inférieur	692.2	693.8	0.3 - 0.4
12-1661-	LACQ sup	LA 71	Sénonien inférieur	658.4	662.4	0.5 - 12.5
12-1661-	LACQ sup	LA 71	Sénonien inférieur	675.0	679.0	0.5 - 0.9
12-1661-	LACQ sup	LA 71	Sénonien inférieur	692.0	693.3	6.3 - 15
12-1661-	LACQ sup	LA 72	Sénonien inférieur	667.7	672.3	0.3 - 7.5
12-1661-	LACQ sup	LA 72	Sénonien inférieur	680.0	686.3	0.3 - 3
12-1661-	LACQ sup	LA 72	Sénonien inférieur	686.3	690.3	0.4 - 2
12-1661-	LACQ sup	LA 72	Sénonien inférieur	700.0	704.0	0.4 - 4
12-1661-	LACQ sup	LA 73	Sénonien inférieur	651.3	655.3	0.8 - 4.8
12-1661-	LACQ sup	LA 73	Sénonien inférieur	667.0	667.7	"néant"
12-1661-	LACQ sup	LA 73	Sénonien inférieur	685.0	689.0	1.7
12-1893-	LACQ sup	LA 84	Paléocène à Sénonien inférieur	620.0	628.6	0.1
12-1893-	LACQ sup	LA 84	Sénonien inférieur	628.6	635.9	0.1 - 0.55
12-1893-	LACQ sup	LA 84	Sénonien inférieur	635.9	644.9	0.1 - 7000
12-1893-	LACQ sup	LA 84	Sénonien inférieur	644.9	647.6	0.1 - 4.4
12-1893-	LACQ sup	LA 84	Sénonien inférieur	647.6	648.8	0.1 - 420
12-1893-	LACQ sup	LA 84	Sénonien inférieur	648.8	652.5	0.1 - 4.7
12-1893-	LACQ sup	LA 84	Sénonien inférieur	652.5	656.1	0.1 - 3.5
12-1893-	LACQ sup	LA 84	Sénonien inférieur	656.1	660.5	0.1 - 2.6
12-2002-	LACQ sup	LA 86	Sénonien inférieur	692.5	701.1	0.1 - 12.2
12-2002-	LACQ sup	LA 86	Sénonien inférieur	701.1	705.4	0.39 - 36
12-2002-	LACQ sup	LA 86	Sénonien inférieur	705.4	714.4	0.58 - 12
12-2003-	LACQ sup	LA 87	Sénonien inférieur	628.0	641.0	0.01 - 265
12-2003-	LACQ sup	LA 87	Sénonien inférieur	641.0	660.0	0.1 - 11
12-2003-	LACQ sup	LA 87	Sénonien inférieur	660.0	667.0	0.17 - 1.7
12-2003-	LACQ sup	LA 87	Sénonien inférieur	667.0	681.0	0.01 - 89
12-2003-	LACQ sup	LA 87	Sénonien inférieur	681.0	704.2	0.7 - 16.4
12-2104-	LACQ sup	LA 90	Sénonien inférieur	976.0	980.5	1.2 - 5.3
12-2104-	LACQ sup	LA 90	Sénonien inférieur	1021.5	1024.1	0.2 - 0.7
12-2104-	LACQ sup	LA 90	calcaires marneux du Campanien	1082.0	1086.0	0.01
12-2129-	LACQ sup	LA 91	Sénonien inférieur	909.0	916.0	0.01 - 6
12-2129-	LACQ sup	LA 91	Sénonien inférieur	967.0	976.0	0.01 - 0.4
12-2129-	LACQ sup	LA 91	Sénonien inférieur	976.0	983.0	0.15 - 1.6
12-2129-	LACQ sup	LA 91	Sénonien inférieur	1111.0	1115.0	0.01 - 30
12-2129-	LACQ sup	LA 91	Sénonien inférieur	1159.0	1163.5	0.01 - 1.6
12-2170-	LACQ sup	LA 95	Sénonien inférieur	650.7	652.7	0.33 - 2.6
12-2170-	LACQ sup	LA 95	Sénonien inférieur	652.7	657.2	0.21 - 27.5
12-2170-	LACQ sup	LA 95	Sénonien inférieur	657.2	662.8	0.11 - 13
12-2170-	LACQ sup	LA 95	Sénonien inférieur	662.8	667.5	0.01 - 14
12-2170-	LACQ sup	LA 95	Sénonien inférieur	667.5	669.4	1.2 - 11
12-2170-	LACQ sup	LA 95	Sénonien inférieur	698.0	699.4	0.01 - 9.5
12-2173-	LACQ sup	LA 93	Sénonien inférieur	604.0	606.2	0.01
12-2173-	LACQ sup	LA 93	Sénonien inférieur	606.2	607.8	0.01 - 720
12-2173-	LACQ sup	LA 93	Sénonien inférieur	607.8	609.3	0.01 - 12
12-2173-	LACQ sup	LA 93	Sénonien inférieur	609.3	611.0	0.01
12-2173-	LACQ sup	LA 93	Sénonien inférieur	611.0	619.8	0.01
12-2186-	LACQ sup	LA 97	Sénonien inférieur	705.0	708.4	0.12 - 7.3
12-2186-	LACQ sup	LA 97	Sénonien inférieur	708.4	710.6	0.01 - 2.9
12-2186-	LACQ sup	LA 97	Sénonien inférieur	710.6	712.6	0.55 - 420

## **Annexe 8**

### **Fiche descriptive du gisement de Montastruc (Serrano et al., 2006)**







## Annexe 9

### Formations litho-stratigraphiques du Tertiaire et Crétacé supérieur rencontrées par les forages des gisements de Montastruc

Les forages figurant dans cette annexe sont, dans l'ordre de leur présentation, les suivants :

Dénomination	Indice BSS	Coordonnées Lambert 2 étendu		Date de début du forage	Date de fin du forage	Profondeur (en m)	Altitude sol (NGF)
		X	Y				
Montastruc 1	10325X0008	439905	1803368	05/06/1973	14/08/1973	2990	492.2 m
Montastruc 2	10325X0010	440106	1803914	24/06/1974	04/08/1974	2343.5	485 m
Montastruc 3	10325X0011	439439	1803419	10/10/1974	11/01/1975	3023.3	487 m
Montastruc 4	10325X0012	439869	1802957	10/04/1975	17/05/1975	2170	491.15 m
Montastruc 5	10325X0013	440065	1803087	09/06/1976	21/07/1976	2192	486.81 m
Montastruc 6	10325X0018	439702	1803101	13/03/1981	15/04/1981	2210	497.51 m
Montastruc 7	10325X0020	439733	1802607	30/11/1981	19/03/1982	2815.5	495.1 m
Montastruc 8	10325X0021	439891	1802948	20/02/1982	30/04/1982	2252	491 m

Les profondeurs indiquées dans les tableaux présentés dans cette annexe correspondent aux profondeurs de foration (déviation non corrigée et position relative à la table de rotation).



Etage et Formation		Profondeur	Description RFS	
Mio-Pliocène	Molasse	0 - 316 m	Argile jaunâtre sableuse à lits sableux grossiers, graviers et galets siliceux brun ou noir.	
	Calcaire	316 - 393 m	Calcaire ocre et beige sableux et marneux.	
Yprésien		393 - 822 m	Marne grise argileuse à fines et rares intercalations de calcaire argileux, finement silteux, glauconieux et pyriteux.	
Paléocène		822 - 1125 m	Marne argileuse grise, plastique à rares et fines intercalations de calcaire argileux gris parfois glauconieux.	
		1125 - 1258 m	Alternance de calcaire Mudstone à bioclastes, glauconieux et de marne grise parfois sableuse. Spicules, Algues, Milioles.	
		1258 - 1270 m	Grès à ciment calcaire ?	
	Danien	1270 - 1289 m	Argile silteuse, grès à ciment calcaire, calcaire à spicules et calcaire microcristallin gris clair.	
Sénonien supérieur	Flysch	1289 - 1954 m	Argile grise, marne grise, argile calcaire.	
Sénonien inférieur	Formation de Gensac	Membre supérieur calcaréo-argileux	1954 - 2019 m	Calcaire argileux
			2019 - 2080.5 m	Calcaires silteux
			2080.5 - 2145.5 m	Calcaires compacts
		Membre moyen	2145.5 - 2207.5 m	Grès radioactifs
		Membre inférieur calcaréo-gréseux	2207.5 - 2393 m	

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Montastruc 1

Etage et Formation		Profondeur	Description RFS	
Mio-Pliocène	Molasse	5 - 456 m	Pas de données géologiques.	
Eocène inférieur		456 - 857 m		
Paléocène	Danien	857 - 1276.5 m		
		1276.5 - 1300 m		
Sénonien supérieur	Flysch	1300 - 1924 m	Début de la surveillance géologique à 1500 m. Argile grise, marne grise, argile calcaire.	
Sénonien inférieur	Formation de Gensac	Membre supérieur calcaréo-argileux	1924 - 2097.5 m	Calcaire argileux
			2097.5 - 2199 m	Calcaires silteux
			2199 - 2269 m	Calcaires compacts
		Membre moyen	2269 - 2334 m	Grès radioactifs
		Membre inférieur calcaréo-gréseux	2334 - 2343.5 m	Fond du forage à 2343.5 m

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Montastruc 2

Etage et formation		Profondeur	Description RFS	
Mio-Pliocène et Eocène inférieur		5 - 907.5 m	Pas de données géologiques.	
Paléocène	Danien	907 - 1273 m		
		1273 - 1326.5 m		
Sénonien supérieur	Flysch	1326.5 - 1966.5 m	Début surveillance géologique à 1354 m, dans un niveau d'argile calcaire grise.	
Sénonien inférieur	Formation de Gensac	Membre supérieur calcaréo-argileux	1966.5 - 2024.5m	Calcaire argileux
			2024.5 - 2100 m	Calcaires silteux
			2100 - 2161.5 m	Calcaires compacts
		Membre moyen	2161.5 - 2218.5 m	Grès radioactifs
	Membre inférieur calcaréo-gréseux	2218.5 - 2419.5 m		
Turono-Cénomaniens		2419.5 - 2562.5 m	Calcaires gris beige et calcaire grainstone (2419,5 - 2459,5 m), Calcaire mudstone, calcaire packstone et grainstone beige (2459,5 - 2515 m), Tuf volcanique et calcaire packstone wackestone (2515 - 2562,5 m).	

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Montastruc 3

Etage et formation		Profondeur	Description RFS	
Mio-Pliocène	Molasse	0 - 387 m	Pas de données géologiques	
Yprésien		387 - 824 m		
Paléocène		824 - 1264 m		
	Danien	1264 - 1288 m		
Sénonien supérieur	Flysch	1288 - 2014 m	Début du contrôle géologique à 1575 m.	
Sénonien inférieur	Formation de Gensac	Membre supérieur calcaréo-argileux	2014 - 2042 m	Calcaires silteux
			2042 - 2091 m	Calcaires compacts
		Membre moyen	2091 - 2156 m	Grès radioactifs
		Membre inférieur calcaréo-gréseux	2156 - 2170 m	Fond du forage à 2170 m

#### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Montastruc 4

Etage et formation		Profondeur	Description RFS	
Mio-Pliocène	Molasse	0 - 364 m	Pas de données géologiques	
Yprésien		364 - 815 m		
Paléocène		815 - 1215.5 m		
	Danien	1215.5 - 1237 m		
Sénonien supérieur	Flysch	1237 - 1988.5 m		
Sénonien inférieur	Formation de Gensac	Membre supérieur calcaréo-argileux	1988.5 - 2015.5 m	Calcaires argileux
			2015.5 - 2050.5 m	Calcaires silteux
			2050.5 - 2111 m	Calcaires compacts
		Membre moyen	2111 - 2178 m	Grès radioactifs
	Membre inférieur calcaréo-gréseux	2178 - 2192 m	Fond du forage à 2192 m	

#### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Montastruc 5

Etage et formation		Profondeur	Description RFS	
Mio-Pliocène et Eocène inférieur		0 - 848 m	Pas de données géologiques	
Paléocène		848 - 1289 m		
	Danien	1289 - 1321 m		
Sénonien supérieur	Flysch	1321 - 1978,5 m	Début de la surveillance géologique à 1510 m.	
Sénonien inférieur	Formation de Gensac	Membre supérieur calcaréo-argileux	1978.5 - 2011 m	Calcaires argileux
			2011 - 2059.5 m	Calcaires silteux
			2059.5 - 2115 m	Calcaires compacts
		Membre moyen	2115 - 2183 m	Grès radioactifs
	Membre inférieur calcaréo-gréseux	2183 - 2210 m	Fond du forage à 2210 m	

#### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Montastruc 6

Etage et Formation		Profondeur	Description RFS	
Yprésien à Pliocène		0 - 854 m	Pas de données géologiques	
Paléocène	Danien	854 - 1336 m		
	Sénonien supérieur	Flysch		1336 - 2059 m
Sénonien inférieur	Formation de Gensac	Membre supérieur calcaréo-argileux	2059 - 2112 m	Calcaires silteux
		Membre moyen	2112 - 2129 m	Calcaires compacts
		Membre inférieur calcaréo-gréseux	2129 - 2175 m	Grès radioactifs
			2175 - 2299 m	Calcaire argileux et calcaire gréseux
Turono-Cénomaniens		2299 - 2461 m	Calcaire wackestone packstone finement gréseux, intercalations d'argiles (2299 - 2389 m). Calcaire wackestone packstone puis mudstone wackestone, Tuff volcanique à éléments gréseux. Intercalations calcaire wackestone packstone gréseux et d'argile (2389 - 2461 m).	
Albien		2461 - 2815,5 m (fond du forage)	Marnes indurées à spicules (2461 - 2517 m), Calcaire mudstone wackestone argileux (2517 - 2588 m), Repère radioactif : Argile calcaire (2588 - 2602 m), Calcaire mudstone wackestone à spicules (2602 - 2762 m), Calcaire wackestone packstone bioclastique à Calcaire packstone, bioclastiques, à pellets (2762 - 2815,5 m).	

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Montastruc 7

Etage et formation		Profondeur	Description RFS	
Pas de données		0 - 912 m	Pas de données géologiques	
Paléocène	Danien	912 - 1319 m		
	Sénonien supérieur	Flysch		1319 - 1345 m
Sénonien supérieur		Flysch	1345 - 2123 m	Le contrôle géologique a commencé à 1 450 m. Marne silteuse, localement finement silteuse, à passées de calcaire mudstone argileux, légèrement glauconieux.
Sénonien inférieur	Formation de Gensac	Membre supérieur calcaréo-argileux	2123 - 2141 m	Calcaires silteux
			2141 - 2167 m	Calcaires compacts
		Membre moyen	2167 - 2230 m	Grès radioactifs : calcaire gréseux à Grès fin à moyen à ciment calcaire plus ou moins abondant.
		Membre inférieur calcaréo-gréseux	2230 - 2250 m	Membre inférieur : Calcaire mudstone argileux légèrement gréseux.

### Formations tertiaires et du Crétacé supérieur traversées par le forage de Montastruc 8



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique**

3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

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

**Direction régionale Nouvelle Aquitaine**

Parc Technologique Europarc  
24, Avenue Léonard de Vinci  
33600 PESSAC – France

Tél. : +33 (0) 5 57 26 52 70