

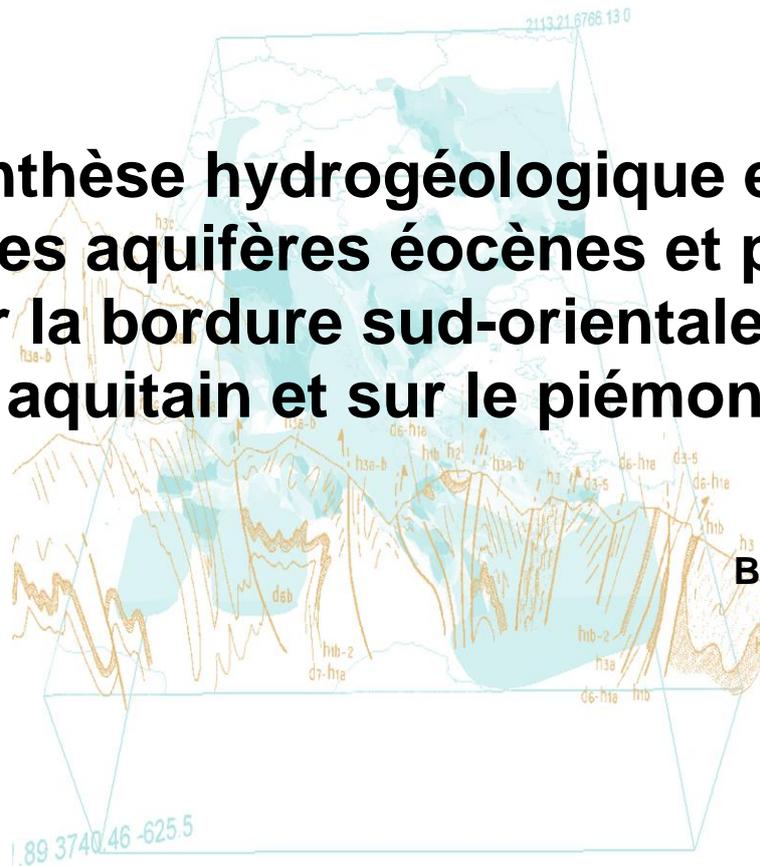


Synthèse hydrogéologique et recharge des aquifères éocènes et paléocènes sur la bordure sud-orientale du Bassin aquitain et sur le piémont pyrénéen

Rapport final

BRGM/RP-65024-FR

Mars 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
Mars 2017

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Recherche du BRGM PDR13AQI02

M. Saplaïroles, M. Bardeau, C. Chauvet, L. André, A. Wuilleumier
avec la collaboration de
E. Poux, A. Grandemange

Vérificateur :

Nom : Delphine ALLIER
Fonction : Responsable
scientifique de programme
Date : 28/06/2016



Approbateur :

Nom : Nicolas PEDRON
Fonction: Directeur BRGM
Nouvelle-Aquitaine
Date : 01/12/2016



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 : Eocène, Petites Pyrénées, Montagne Noire, Poudingues de Palassou, Argiles à graviers, Sables Infra-Molassiques, jaugeages différentiels, géochimie, perméabilité

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

Saplaïroles 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, 90 p., 50 fig., 18 tab., 11 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.

Le rapport vise à restituer les travaux réalisés au cours des deux premières années du module portant sur l'étude des mécanismes de recharge des aquifères éocènes et paléocènes dans les secteurs du golfe de l'Albigeois-Castrais et du piémont pyrénéen.

Cette première phase de travaux s'est appuyée préalablement sur une synthèse bibliographique des données existantes sur le sujet. Par la suite, trois campagnes d'investigations de terrain distinctes se sont déroulées, avec les objectifs suivants :

- mise en œuvre de campagnes de jaugeages différentiels entre juin et juillet 2015 sur une sélection de cours d'eau destinées à mettre en évidence les relations hydrauliques existantes avec les formations encaissantes,
- réalisation d'une campagne de prélèvements pour analyses physico-chimiques sur 16 points d'eau (forages, sources et cours d'eau) caractérisant un ou plusieurs aquifère représentatif du secteur,
- évaluation de la perméabilité à l'affleurement des argiles à graviers sur le territoire de l'Albigeois-Castrais destinée à déterminer le rôle infiltrant de cette formation.

Les **jaugeages réalisés** ont mis en avant l'existence de pertes totales ou partielles du débit de certains cours d'eau en relation avec des phénomènes karstiques d'une part, dans les formations calcaires lacustres de Castres et d'autre part, dans les calcaires du Paléocène dans le Plantaurel (secteur des Petites Pyrénées). Au niveau des Poudingues de Palassou, les mesures effectuées n'ont pas réellement mis en évidence de zones de pertes mais au contraire une augmentation du débit de l'amont vers l'aval, en relation potentielle avec les niveaux calcaires intercalés au sein de la formation. Ces observations sont en accord avec les différents travaux et résultats inventoriés dans la synthèse bibliographique. Cependant, si des phénomènes de pertes sur les formations calcaires affleurantes des 2 secteurs étudiés ont été observés, les données actuelles ne permettent pas de conclure sur une alimentation possible de la nappe des SIM par l'intermédiaire de ces formations. En effet, la continuité géologique et/ou hydrogéologique entre ces formations reste à démontrer.

Les **résultats de la campagne d'analyses**, combinés aux résultats d'études précédentes, montrent la complexité de l'hydrogéochimie du secteur : les niveaux perméables, captés par les différents forages investigués, sont nombreux et les potentielles connexions entre ces niveaux sont difficiles à appréhender.

Le fluor semble être un marqueur de ces éventuelles relations entre niveaux mais les sources de cet élément sont encore mal identifiées. Des prélèvements sous packers (ou au moyen d'un préleveur de fond positionné au droit des horizons ciblés) pourraient être utiles pour confirmer ou infirmer l'hypothèse selon laquelle (Malcuit, 2012) les horizons molassiques pourraient être des sources potentielles de fluor. Il convient, en tout état de cause, de noter l'absence de fluor dans les eaux de surface, ce qui exclut dès à présent la possibilité d'une origine surfacique de cet élément dans les aquifères profonds.

Les argiles à graviers n'ont pas été échantillonnées au cours de cette campagne, tout au moins des forages ne captant que cet horizon. Cependant, de par leur positionnement à la base des formations tertiaires, des questionnements sont toujours en suspens concernant les potentiels échanges/transferts descendants depuis les calcaires de Castres et/ou les formations intramolassiques vers les argiles à graviers. Là aussi, des investigations supplémentaires seraient nécessaires afin d'identifier de manière fiable le pôle géochimique que constituent les argiles à graviers.

La **campagne de mesures d'infiltration** effectuée au niveau des argiles à graviers présentes à l'affleurement sur le territoire de l'Albigeois-Castrais fait ressortir la variabilité des valeurs de perméabilité rencontrée en relation avec le faciès fin ou grossier de la formation. D'une manière générale, les gammes de perméabilité obtenues sont favorables à une infiltration des eaux et donc à une recharge de la nappe en présence. Cependant, dans le détail de la répartition spatiale des valeurs de perméabilité de cette formation un verrou scientifique dans la connaissance de la répartition des différents faciès est à lever, sachant qu'une tendance générale semble se dessiner, à savoir la présence de formations très détritiques à l'est (ou plus exactement à proximité des formations paléozoïques ou de socle), passant à l'ouest à des faciès fins nettement plus argileux.

Ce type d'investigations n'ayant jamais été mené sur la zone apporte d'un point de vue général des informations intéressantes dans une optique de recharge de nappe. Toutefois, un autre verrou de connaissance est à lever au niveau de la variabilité verticale de la perméabilité de cette formation comme en témoigne les faciès hétérogènes observés sur les données de forage ou au niveau de certaines carrières. Ainsi, la géométrie lenticulaire ou multi-niveaux de cet aquifère sera un élément important à prendre en considération pour caractériser la potentielle alimentation des SIM par les argiles à graviers. Il serait sans doute utile de déterminer l'organisation précise de ces différents niveaux aquifères au droit de forages représentatifs recoupant ces formations et d'effectuer des tests hydrauliques spécifiques à ces niveaux, du moins pour les plus importants.

Dans le **secteur du Plantaurel et des Petites Pyrénées**, bénéficiant de l'étude menée dans le module géologique sur la géométrie et les conditions de mise en place de la formation des poudingues de Palassou, il apparaît intéressant d'étudier le rôle joué par cette formation dans la recharge des aquifères profonds. Il est ainsi proposé d'entreprendre une campagne de mesures de perméabilité de cette formation à l'instar du type d'investigations mené pour la formation des argiles à graviers. Dépourvu de données, l'objectif recherché sera d'apporter des gammes de valeurs et d'aborder leurs variabilités en fonction des différents faciès caractérisés.

Une approche à but démonstratif pourrait également être menée à l'échelle de petits bassins versants homogènes sur le plan géologique dans l'optique d'effectuer des bilans hydrologiques et hydrogéologiques et d'estimer les éventuels déficits globaux en eau qui pourraient être potentiellement assimilés au volume de recharge des aquifères sous-jacent.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Cadre géographique	13
2.1 ZONE D'ÉTUDE	13
2.2 CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE	13
2.2.1 Topographie.....	13
2.2.2 Climat	14
2.2.3 Occupation du sol et exploitation sous-sol	15
2.3 CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE	15
2.3.1 Réseau hydrographique.....	15
2.3.2 Jaugeages différentiels	16
2.3.3 Traçages.....	16
3. Contexte hydrogéologique	17
3.1 CADRE GÉOLOGIQUE	17
3.1.1 Golfe de l'Albigeois-Castrais	18
3.1.2 Petites Pyrénées-Plantaurel.....	22
3.2 AQUIFÈRES DE LA ZONE D'ÉTUDE	23
3.2.1 Aquifères alluviaux du Quaternaire	23
3.2.2 Aquifères intra-molassiques du Tertiaire éocène et post-éocène	24
3.2.3 Aquifères de l'Éocène anté-molassique	24
3.2.4 Aquifère du Paléocène.....	27
3.2.5 Aquifères du Secondaire.....	27
3.3 PIÉZOMÉTRIE DE L'AQUIFÈRE DES SABLES INFRA-MOLASSIQUES.....	28
3.4 DÉBITS D'EXPLOITATION DES FORAGES PROFONDS	29
3.5 DONNEES HYDROGÉOCHIMIQUES ET ISOTOPIQUES.....	30
3.5.1 Paramètres physico-chimiques	30
3.5.2 Faciès chimique des eaux.....	31
3.5.3 Éléments majeurs	32
3.5.4 Fluor	35
3.5.5 Isotopie	38
4. Potentialité de recharge des aquifères éocènes	41
4.1 APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE	41

4.2 FORMATIONS À L'AFFLEUREMENT SUR LES CONTREFORTS DE LA MONTAGNE NOIRE.....	43
4.3 FORMATIONS À L'AFFLEUREMENT DANS LES PETITES-PYRÉNÉES.....	47
5. Campagnes de jaugeage	51
5.1 MÉTHODOLOGIE ET DONNÉES EXISTANTES	51
5.1.1 Objectifs et mode de sélection des cours d'eau.....	51
5.1.2 Stations hydrométriques existantes	54
5.2 ORGANISATION DE LA CAMPAGNE DE TERRAIN	56
5.3 RÉSULTATS	57
5.3.1 Montagne Noire.....	57
5.3.2 Petites Pyrénées-Plantaurel	60
5.4 SYNTHÈSE DES PRINCIPALES OBSERVATIONS EFFECTUÉES	62
6. Campagne d'analyses physico-chimiques.....	65
6.1 MÉTHODOLOGIE DE SÉLECTION DE POINTS DE PRÉLÈVEMENT	65
6.2 ORGANISATION DE LA CAMPAGNE DE PRÉLÈVEMENTS	66
6.3 RÉSULTATS D'ANALYSES	70
6.4 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	70
6.4.1 Eaux de surface	70
6.4.2 Eaux prélevées en forage.....	71
6.5 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	72
7. Évaluation de la perméabilité à l'affleurement des argiles à graviers en Albigeois-Castrais.....	75
7.1 CONTEXTE ET OBJECTIF	75
7.2 PRINCIPE DE LA MÉTHODE EMPLOYÉE	75
7.3 SÉLECTION DES SITES ET MISE EN ŒUVRE DE LA CAMPAGNE DE MESURE	78
7.4 ANALYSE DES RÉSULTATS.....	81
7.5 DISCUSSION	84
8. Conclusions.....	85
9. Bibliographie	87

Liste des illustrations

Figure 1 - Extension géographique de la zone d'étude du programme GAIA (fond géologique 1M)	11
Figure 2 - Localisation des zones d'études (polygones rouges). Extension des entités 334 AC (SIM - en vert) et 332 AA (Argiles à graviers - en fushia) de la BD LISA.....	13
Figure 3 - Pluviométrie interannuelle moyenne sur la zone d'étude (source : AURELHY - MétéoFrance)	14
Figure 4 - Réseau hydrographique (source : BD-CARTHAGE - IGN)	15
Figure 5 - Carte géologique schématique de l'Aquitaine orientale (d'après Gèze et al., 1976 modifié)	17
Figure 6 - Carte géologique à 1/250 000 du golfe de l'Albigeois, extrait de la carte de Midi-Pyrénées (Monod et le groupe de travail GARVEMIP, 2014)	19
Figure 7 - Coupe E-W dans le golfe de l'Albigeois (coupe A) montrant la géométrie des formations paléogènes sur le substratum au niveau de la bordure orientale du bassin d'Aquitaine (d'après Bouroullec et Monod (2015))	20
Figure 8 - Coupe de la Grésigne à la Montagne noire (Coupe B) montrant la géométrie des formations paléogènes du golfe de l'Albigeois et du Castrais(d'après Bouroullec et Monod (2015)).....	21
Figure 9 - Localisation des formations affleurantes et des structures synclinales et anticlinales sur les Petites Pyrénées (Monod, 2014) - hypothèses sur la connexion des entités hydrogéologiques des synclinaux et anticlinaux avec la nappe des sables Infra-Molassiques (Guessab, 1970).....	23
Figure 10 - Localisation et extension de la nappe des Sables Infra-Molassiques (d'après BD-LISA).....	25
Figure 11 - Séries stratigraphiques des terrains du Tertiaire affleurants (Geze et Cavaille, 1977)	26
Figure 12 - Carte paléogéographique du Languedoc occidental à l'Eocène moyen (Lutétien - Bartonien) (Plaziat, 1981)	26
Figure 13 - Carte piézométrique des SIM corrigée des effets de la température (Douez, 2007)	28
Figure 14 - Forages d'intérêt situés à proximité des contreforts de la Montagne Noire	30
Figure 15 - Diagramme de PIPER pour déterminer les différents faciès des eaux des forages sélectionnés.....	31
Figure 16 - Rôle de la dolomite dans la minéralisation des entités molassiques et infra molassiques sur le département du Tarn	33
Figure 17 - Rôle de la dolomite dans la minéralisation des entités alluvionnaires et infra molassiques sur le département du Tarn	33
Figure 18 - Teneur en ions chlorures sur les forages sélectionnés (Département du Tarn et l'Est de la Haute-Garonne - la taille du cercle est proportionnelle à la teneur en chlorures).....	34
Figure 19 - Coupe hydrogéologique Nord-Sud de l'Est du Bassin de Castres (Bel, 1989)	35
Figure 20 - Carte géologique de la zone exploitée pour ses filons de Fluorine dans le Tarn (Beziat, 1978).....	37
Figure 21 - Points échantillonnés pour la compréhension des écoulements dans l'aquifère des SIM par utilisation des outils géochimiques (André, 2002)	38
Figure 22 - Zones d'affleurement des grès à Nummulites au nord du synclinal de Bouzin (Haute Garonne).....	41
Figure 23 - Estimations de la recharge apportée à l'aquifère des SIM par les thèses des années 1965-70	42
Figure 24 - Zones d'affleurement des argiles à graviers dans le département du Tarn (en marron) sur fond de carte géologique harmonisée du Tarn à l'échelle 1/50 000 ^{ème}	43

Figure 25 - Zones d'affleurement du Sidérolithique sur les contreforts de la Montagne Noire	44
Figure 26 - Extension de la formation affleurante des Gravieres d'Issel.....	45
Figure 27 - Zones d'affleurement des Calcaires de Castres sur les contreforts de la Montagne Noire.....	46
Figure 28 - Extension de l'entité molassique semi-perméable 322AA03 de la BD-LISA.....	46
Figure 29 - Zones d'affleurement de la formation semi perméable des Poudingues de Palassou sur le Plantaurel au Sud Est de Pamiers (Ariège).....	47
Figure 30 - Zones d'affleurement de la formation des Poudingues de Palassou au nord de l'anticlinal de Plagne-Richou-Le Mas d'Azil (Ariège).....	48
Figure 31 - Zones d'affleurement des poudingues de Palassou sur le synclinal de Bouzin (Haute-Garonne).....	49
Figure 32 - Zones d'affleurement des calcaires du Dano-Montien au Thanétien à l'Est du Mas d'Azil (Ariège)	50
Figure 33 - Tronçons de cours d'eau sélectionnés sur les contreforts de la Montagne Noire pour la campagne de jaugeages différentiels (source : BD-CARTHAGE, IGN).....	52
Figure 34 - Tronçons de cours d'eau sélectionnés sur les Petites Pyrénées pour la campagne de jaugeages différentiels (source : BD-CARTHAGE, IGN).....	53
Figure 35 - Stations hydrométriques situées à proximité de la zone d'affleurement des calcaires de Castres.....	54
Figure 36 - Débits moyens mensuels écoulés à la station hydrométrique du Thoré à Payrin Augmontel sur la période 2003-2016 (station O4384010, Banque HYDRO)	55
Figure 37 - Débits moyens mensuels écoulés à la station hydrométrique de l'Arize au Mas d'Azil entre janvier 1974 et et décembre 2008 (station O0744030, Banque HYDRO).....	55
Figure 38 - Débits moyens mensuels écoulés à la station hydrométrique de l'Arize à Sabarat sur la période 1968-1985 (station O0744020, Banque HYDRO)	56
Figure 39 - Résurgence de la Resse, au lieu-dit d'En Sire (commune de Labruguière).....	59
Figure 40 - Synthèse des observations effectuées lors de la campagne de jaugeages dans le bassin de Castres.....	62
Figure 41 - Carte de localisation du forage 10122X0055/F de Labruguière (Visualiseur ADES)	67
Figure 42 - Chronique piézométrique enregistrée au forage 10122X055/F de Labruguière (Base ADES)	67
Figure 43 - Localisation du forage 09577X0047/F de Buzet/Tarn (Visualiseur ADES)	68
Figure 44 – Chronique piézométrique enregistrée et périodes de retour calculées au forage 09577X0047/F de Buzet/Tarn (Base ADES)	68
Figure 45 - Schéma du principe de mesure à partir du perméamètre de Guelph (SoilMoisture©).....	76
Figure 46 - Représentation du bulbe de saturation autour du trou de tarière (SoilMoisture©)	77
Figure 47 - Photographies du dispositif de mesures du perméamètre de Guelph.....	78
Figure 48 - Carte de localisation des sites investigués pour la campagne de mesures de perméabilité des argiles à graviers de l'Albigeois-Castrais	80
Figure 49 - Répartition des valeurs moyennes de conductivité hydraulique à saturation mesurées lors de la campagne de novembre 2016 (échelle logarithmique).....	81
Figure 50 - Répartition des valeurs moyennes de la conductivité hydraulique à saturation sur le secteur de l'Albigeois-Castrais (campagne de mesures de novembre 2016)	83

Liste des tableaux

Tableau 1 - Modules du programme scientifique GAIA	12
Tableau 2 - Dissolution de quelques minéraux et graphiques correspondant pour l'interprétation	32
Tableau 3 - Minéraux fluorés (Travi, 1988)	36
Tableau 4 - Données de synthèse à la station hydrométrique O4384010 (source : Banque HYDRO)	54
Tableau 5 - Données de synthèse aux stations hydrométriques O0744020 et O0744030 (Banque HYDRO)	55
Tableau 6 - Débits spécifiques calculés pour chaque section mesurée du ruisseau de l'Aybes	57
Tableau 7 - Débits spécifiques calculés pour chaque section mesurée du ruisseau des Gourgs	58
Tableau 8 - Débits spécifiques calculés pour chaque section mesurée du ruisseau de la Resse	58
Tableau 9 - Débits spécifiques calculés pour chaque section mesurée du ruisseau de d'Issalès	59
Tableau 10 - Débits spécifiques calculés pour chaque section mesurée du ruisseau du Rioutord	60
Tableau 11 - Débits spécifiques calculés pour chaque section mesurée du ruisseau du Camarade	60
Tableau 12 - Débits spécifiques calculés pour l'Arize en amont du Mas d'Azil	61
Tableau 13 - Débits spécifiques calculés pour l'Arize en aval du Mas d'Azil	61
Tableau 14 - Débits spécifiques calculés pour chaque section mesurée du ruisseau du Ternesse	61
Tableau 15 - Points de prélèvements pour la campagne d'analyses physico-chimique de novembre 2015	66
Tableau 16 - Liste des points échantillonnés et les paramètres physico-chimiques mesurés sur le terrain avec la date de prélèvement	70
Tableau 17 - Composition chimique des eaux (éléments majeurs et traces)	70
Tableau 18 - Résultats des mesures de perméabilité obtenus lors de la campagne de novembre 2016 sur le secteur de l'Albigeois-Castrais	82

Liste des annexes

Annexe 1 a Entités semi-perméables des molasses de l'Eocène supérieur au Miocène du Bassin Aquitain 322AA03	91
Annexe 1 b Entité semi-perméable des brèches et conglomérats de la Grésigne, argiles à graviers de l'Albigeois et du Carmausin, et graviers d'Issel (Oligo-Eocène) 332AA01	95
Annexe 1 c Entité aquifère des Sables Infra-molassiques de l'Eocène inférieur à moyen du sud du bassin aquitain 334AC01	99
Annexe 2 Carte de localisation des forages à proximité des contreforts de la Montagne Noire - formations des SIM, des argiles à graviers et des calcaires de Castres	103
Annexe 3 Légende de la carte géologique au 1/250 000 ^{ème} de la région Midi-Pyrénées	107
Annexe 4 Résultats des traçages effectués sur les affluents en rive gauche du Thoré (FAUGERE, 1970)	111
Annexe 5 Section des cours d'eau évalués lors de la campagne de terrain de l'été 2015 - Les lignes surlignées correspondent aux cours d'eau ayant été attribués d'un ordre de priorité P1	115
Annexe 6 Méthodes de jaugeage	119
Annexe 7 Compte rendu de mission (jaugeages différentiels)	127

Annexe 8 a Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - L'Aybes	133
Annexe 8 b Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - Les Gourgs	137
Annexe 8 c Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - Issalès	141
Annexe 8 d Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - la Resse	145
Annexe 8 e Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - Rioutord	149
Annexe 8 f Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - Camarade	153
Annexe 8 g Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - l'Arize	157
Annexe 8 h Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - Ternesse	161
Annexe 9 Tableau de synthèse des résultats des campagnes de mesures	165
Annexe 10 Carte des forages profonds et données associées dans les contreforts de la Montagne Noire	171
Annexe 11 Fiches de synthèse de l'ensemble des sites investigués lors de la campagne de mesures de perméabilité des argiles à graviers du territoire de l'Albigeois-Castrais	175

1. Introduction

De nombreuses études menées au cours de ces vingt dernières années ont permis de faire des avancées significatives dans la compréhension du fonctionnement des aquifères du Sud du Bassin aquitain, en permettant notamment d'ébaucher puis de préciser le schéma conceptuel de circulation des eaux souterraines. Entre 1995 et 2003, le BRGM réalise ainsi une succession d'études (dont notamment Bourguine et al, 1997 et 1999 ; Schoen et al, 2000) qui se traduit en 2003 par la finalisation d'un modèle numérique dédié aux aquifères profonds nord-pyrénéens, le Modèle Sud Adour-Garonne (Seguin, 2003). En parallèle, des travaux de recherches universitaires sont effectués par l'Université de Bordeaux 3, conduisant à la parution de thèses s'enrichissant et se complétant au fur et à mesure des progrès scientifiques réalisés (Labat, 1998 ; André, 2002 ; Le Fanic, 2005 ; Douez, 2007). Le dernier travail de thèse (Douez, 2007) a également permis de modéliser les principaux aquifères profonds et de faire une première estimation du bilan des flux de l'aquifère des Sables Infra-Molassiques (SIM). Ces différents travaux soulignent néanmoins le fait que ces aquifères et les aquitards qui les encadrent restent encore aujourd'hui très mal connus du point de vue de leur fonctionnement hydrodynamique. Parmi les verrous scientifiques hydrogéologiques identifiés limitant aujourd'hui la gestion opérationnelle de ces nappes, il y a notamment les incertitudes liées au mode de réalimentation (rôle de la couverture molassique tertiaire, zone le long du front nord-pyrénéen, zones d'affleurements à l'est sur le golfe de l'Albigeois-Castrais) et de vidanges (sources émergent dans les structures anticlinales, sorties en mer) de ces aquifères.

Ces questionnements, qui portent de façon plus large sur les termes du bilan hydrodynamique de ces aquifères, sont au cœur du programme scientifique GAIA (cf. Figure 1). Celui-ci, d'une durée prévisionnelle de 5 ans (2014-2018), fait appel à des disciplines diverses des sciences de la terre (géologie, géophysique, hydrogéologie et hydrogéochimie). Ce programme piloté par le BRGM est organisé en différents modules (cf. Tableau 1).

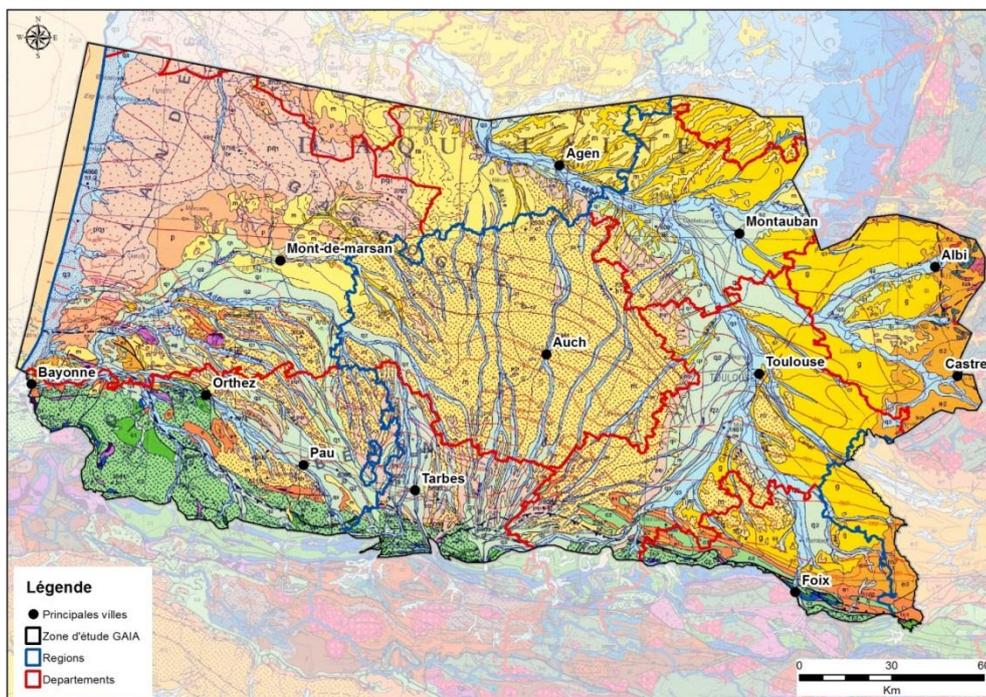


Figure 1 - Extension géographique de la zone d'étude du programme GAIA (fond géologique 1M)

GAIA					
Sujet d'étude	Organisation des corps sédimentaires. Modélisation 3D	Apport de l'hydrogéochimie à la compréhension hydrogéologique	Divers sujets d'hydrogéologie	Rôle des structures anticlinales	Montagne Noire et Petites Pyrénées
Modules	GEOLOGIE	HYDROGEOCHIMIE	HYDROGEOLOGIE	EXUTOIRES	RECHARGE

Tableau 1 - Modules du programme scientifique GAIA

Le présent rapport porte sur l'évaluation de la recharge directe ou indirecte des SIM sur le golfe de l'Albigeois-Castrais et plus particulièrement sur les contreforts de la Montagne Noire et dans le piémont pyrénéen (secteur Petites Pyrénées-Plantaurel). Cette recharge peut procéder de différents processus :

- la recharge directe par infiltration de la pluie dans le sol et le sous-sol ;
- les apports au travers de pertes de cours d'eau ;
- une participation anthropique éventuelle à la recharge, au travers d'une infiltration d'eaux d'irrigation et/ou des réseaux d'eaux urbains ;
- une alimentation par des aquifères sus ou sous-jacents, ou encore adjacents.

Dans le cadre de ce module, plusieurs approches (géologiques, hydrologiques, hydrogéologiques et géochimiques) ont été utilisées afin de mieux cerner les processus à l'œuvre. Celles-ci se sont appuyées sur les données bibliographiques disponibles, ainsi que sur la réalisation de trois campagnes de terrain. La première a porté sur la réalisation de jaugeages différentiels de cours d'eau présélectionnés en fonction des terrains sur lesquels ils s'écoulent, la deuxième visait la réalisation de prélèvements en eaux de surface et en eaux souterraines afin de préciser la chimie des différentes eaux rencontrées dans la zone d'étude, tandis que la dernière a consisté en la réalisation de tests de perméabilité sur différents faciès de la formation des argiles à graviers.

2. Cadre géographique

2.1 ZONE D'ÉTUDE

L'étude se focalise sur les zones potentielles de recharge de l'aquifère des Sables Infra-Molassiques dans la partie orientale du Sud du Bassin aquitain, que l'aquifère soit alimenté directement ou par le biais d'une formation perméable relais. La zone étudiée comporte deux secteurs géographiques distincts : le golfe de l'Albigeois-Castrais et en particulier les contreforts de la Montagne Noire et les Petites Pyrénées-Plantauriel (cf. Figure 2). Ces territoires concernent les départements du Tarn (81), de la Haute-Garonne (31), de l'Ariège (09), des Hautes-Pyrénées (65), et de l'Aude (11).

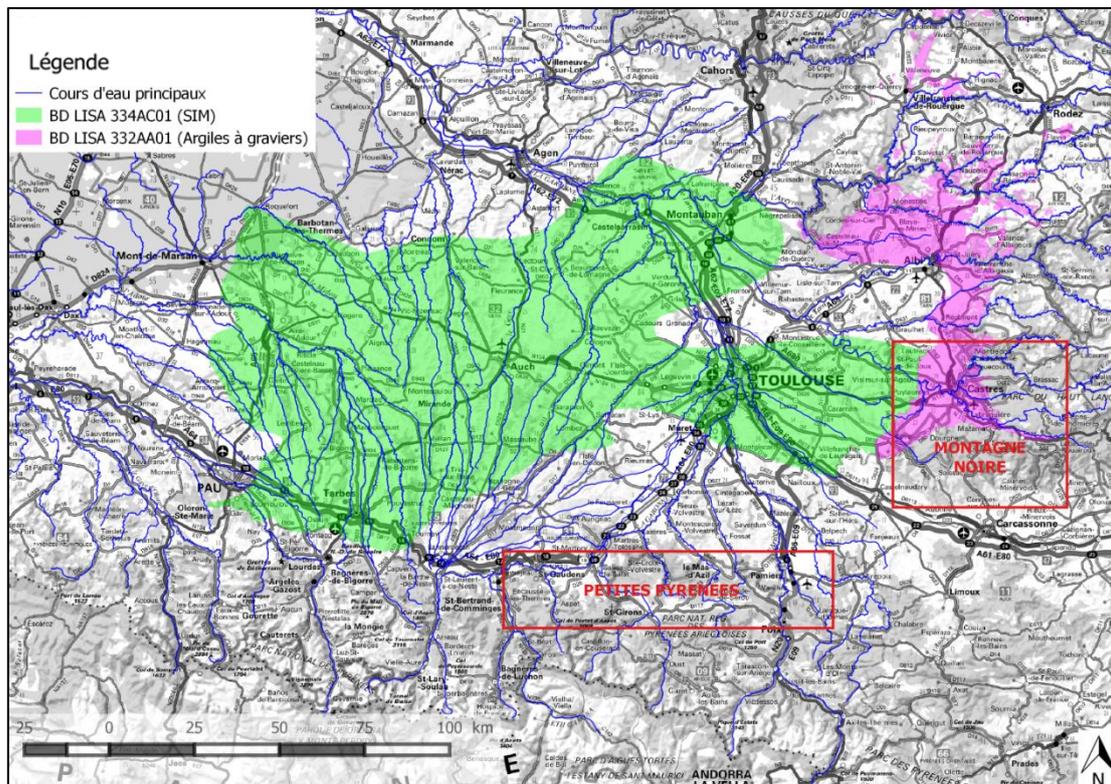


Figure 2 - Localisation des zones d'études (polygones rouges). Extension des entités 334 AC (SIM - en vert) et 332 AA (Argiles à graviers - en fushia) de la BD LISA

2.2 CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE

2.2.1 Topographie

La Montagne Noire est située à l'extrémité Sud-Ouest du Massif Central et culmine à 1211 m au Pic de Nore. On notera qu'il existe une distinction entre la Montagne Noire des géologues (s'étendant jusqu'au massif des Corbières, le Sidobre et les monts du Lacaune) et celle des géographes (plus réduite, dont l'extension est restreinte sur la zone axiale de la Montagne Noire). La zone concernée par cette étude s'étend de Revel (pointe Ouest de la Montagne Noire) au Nord de Castres. Ainsi, la zone est caractérisée par une partie de moyenne montagne, et une partie de plaine (bassin Castrais, de Revel) qui s'étend au pied du massif.

Le secteur des Petites Pyrénées-Plantaurel est situé à la limite entre le front Nord Pyrénéen et le Bassin aquitain, et s'étend sur un axe est-ouest (grossoirement). Dans le cadre de cette étude, les Petites Pyrénées englobent les systèmes d'avant chaîne pyrénéenne ariégeoises et garonnaises selon les limites définies par Goron (1927) dans sa synthèse sur le réseau hydrographique et du relief dans les Petites Pyrénées. Le massif est jalonné de structures anticlinales et synclinales dans des massifs majoritairement calcaires, dont celle du Mas d'Azil culmine à 500 m.

2.2.2 Climat

Caractérisée par un climat assez doux en plaine, plus froid en altitude (moyenne annuelle de 10°C à Saissac), la partie Sud de la Montagne Noire (Aude) aura tendance à être plus douce, vraisemblablement du fait de l'influence méditerranéenne. Les précipitations sont importantes et varient en moyenne entre 850 mm/an à Castres à plus de 1700 mm/an sur les sommets de la Montagne Noire (cf. Figure 3). Les hivers sont humides tandis que l'été, les périodes de faibles pluviosités sont courantes (10-15% de la pluviométrie annuelle) (Centre Régional de la Propriété Forestière - Languedoc Roussillon, 2001).

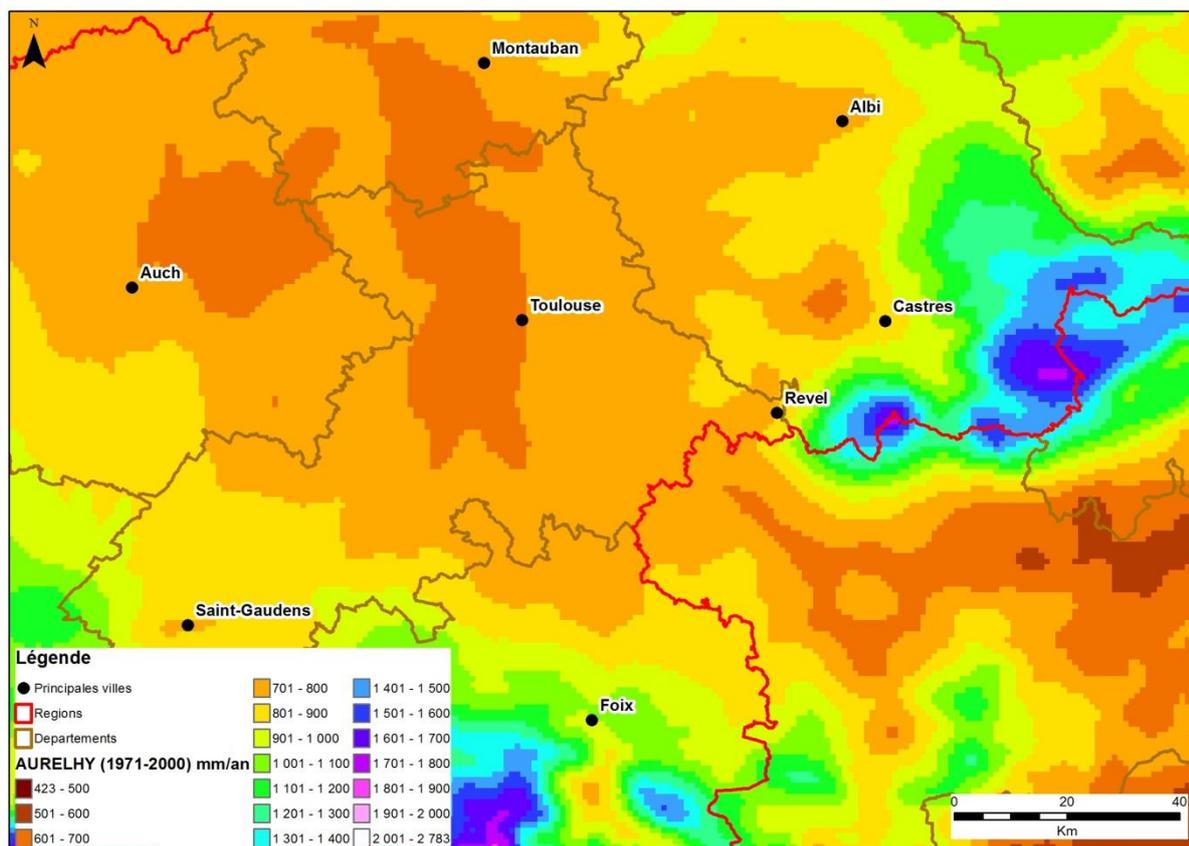


Figure 3 - Pluviométrie interannuelle moyenne sur la zone d'étude (source : AURELHY - MétéoFrance)

Le climat dans les massifs des Petites Pyrénées est nettement différent de celui des Pyrénées d'altitude. Plutôt similaire à celui de la Montagne Noire, la région est soumise à des hivers froids et pluvieux, et une période estivale plutôt sèche. De nombreux cours d'eau sont d'ailleurs à sec une fois les périodes de pluies passées (à partir de mai), et ne retrouvent un écoulement qu'à l'automne.

2.2.3 Occupation du sol et exploitation sous-sol

Autrefois la Montagne Noire présentait une économie agropastorale (jusqu'à la moitié du 20^{ème} siècle), avec des cultures de céréales (blés, seigle, avoine, orge, sarrasin), et localement une activité de prospections minières notamment sur la partie sud de la Montagne Noire (Aude) ou plus au nord, à l'est d'Albi. Les usines de lainages et tanneries dans la vallée du Thoré et de ses affluents ferment progressivement à partir des années 1940, entraînant une diminution des troupeaux.

De nos jours, les contreforts de la Montagne Noire sont composés de forêts denses, de feuillus et de résineux, permettant une économie locale focalisée sur les activités forestières, le tourisme et l'agriculture. Dans la plaine, les exploitations agricoles sont plus nombreuses, avec des cultures de céréales et de maïs.

Les Petites Pyrénées font l'objet d'exploitations agricoles céréalières et maïs dans les plaines et d'élevages majoritairement bovins. Sur les crêtes, particulièrement sur les anticlinaux situés sur les parties Sud des Petites Pyrénées, le paysage est plutôt forestier. Plusieurs carrières calcaires ont été en activité dans la zone d'étude, telle que celle de Sabarat (extrémité Sud du Plantaurel) qui a été exploitée entre 1984 et 2014 pour l'extraction de granulats concassés.

2.3 CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE

2.3.1 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est présenté en Figure 4. Il fait apparaître de façon générale une forte densité des cours d'eau, hormis dans certaines zones d'affleurement de formations calcaires, que ce soit dans le secteur du Castrais ou dans les Petites Pyrénées. Cette partie sera reprise au chapitre 5.

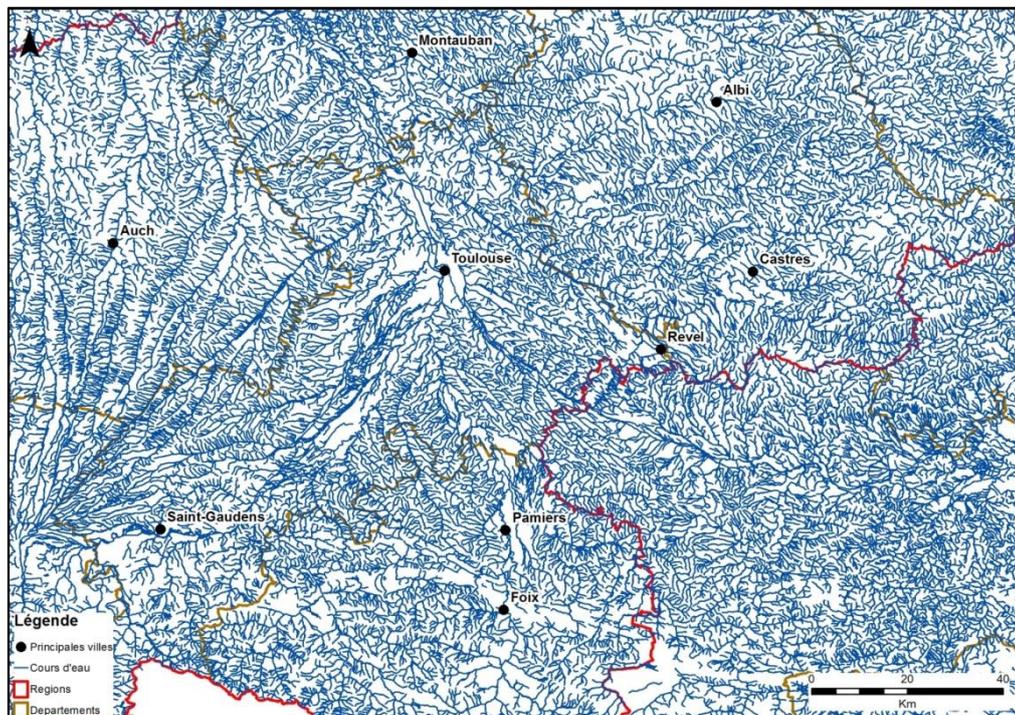


Figure 4 - Réseau hydrographique (source : BD-CARTHAGE - IGN)

2.3.2 Jaugeages différentiels

Dans le cadre de sa thèse, Faugère (1970) a réalisé des jaugeages différentiels sur trois cours d'eau de la zone d'étude : la Durenque, le Bernazobre et le ruisseau d'Aupillac. Si ces mesures n'ont pas permis de conclure quant à l'existence d'une alimentation des eaux souterraines depuis le lit de la Durenque, elles ont mis en évidence des pertes dans le Bernazobre et le ruisseau d'Aupillac. Concernant celui-ci, Faugère mentionne que des « *colorations à la fluorescéine avaient permis de retrouver une partie de ces eaux au niveau des sources en bordure du Thoré* ». Pour le Bernazobre, Faugère indique : « *les jaugeages amont-aval du Bernazobre dénotent des pertes tant que le débit est inférieur à 350 l/s à peu près, au-delà, la capacité d'absorption des terrains étant dépassée, l'écoulement en aval est supérieur à ce qu'il était à l'amont* ».

2.3.3 Traçages

Le Causse de Labruguière situé au Nord de la Montagne Noire (entre Mazamet et Castres) est traversé par la Durenque et le Thoré qui se jettent dans l'Agout au niveau de Castres. De nombreuses cavités sont répertoriées de part et d'autre du Thoré, avec des zones de pertes et de résurgences plus ou moins localisées grâce aux traçages effectués au cours du 20^{ème} siècle.

En 1902, des traçages à la fluorescéine ont été réalisés sur le Thoré par Vire (1902), à 400 m en aval de Caucalières. Ces traçages indiquent la présence d'une « rivière souterraine » (sous forme d'une galerie principale qui collecte les eaux qui se sont infiltrées en 6 à 7 points) sous le Thoré en surface et mettent en avant 7 points de résurgences dans ce cours d'eau.

Des campagnes de traçages ont été réalisées par Faugère (1970) sur des affluents du Thoré s'écoulant sur les Calcaires de Castres. Plusieurs zones de pertes et résurgences ont ainsi été mises en exergue, notamment sur le ruisseau de la Resse (cf. Annexe 4). Les réseaux souterrains liés au creusement du calcaire sont connus des spéléologues et montrent l'existence de drains souterrains karstiques développés.

3. Contexte hydrogéologique

3.1 CADRE GÉOLOGIQUE

Le cadre géologique est repris du rapport Bouroullec et Monod (2015) :

« Les terrains éocènes de l'Aquitaine orientale occupent une dépression entre Albi et Carcassonne (Figure 5). Ce golfe subit un remplissage sédimentaire épais de plusieurs centaines de mètres, disposé en auréoles concentriques ouvertes vers l'Ouest, dont le pendage d'une dizaine de degrés plonge dans la même direction.

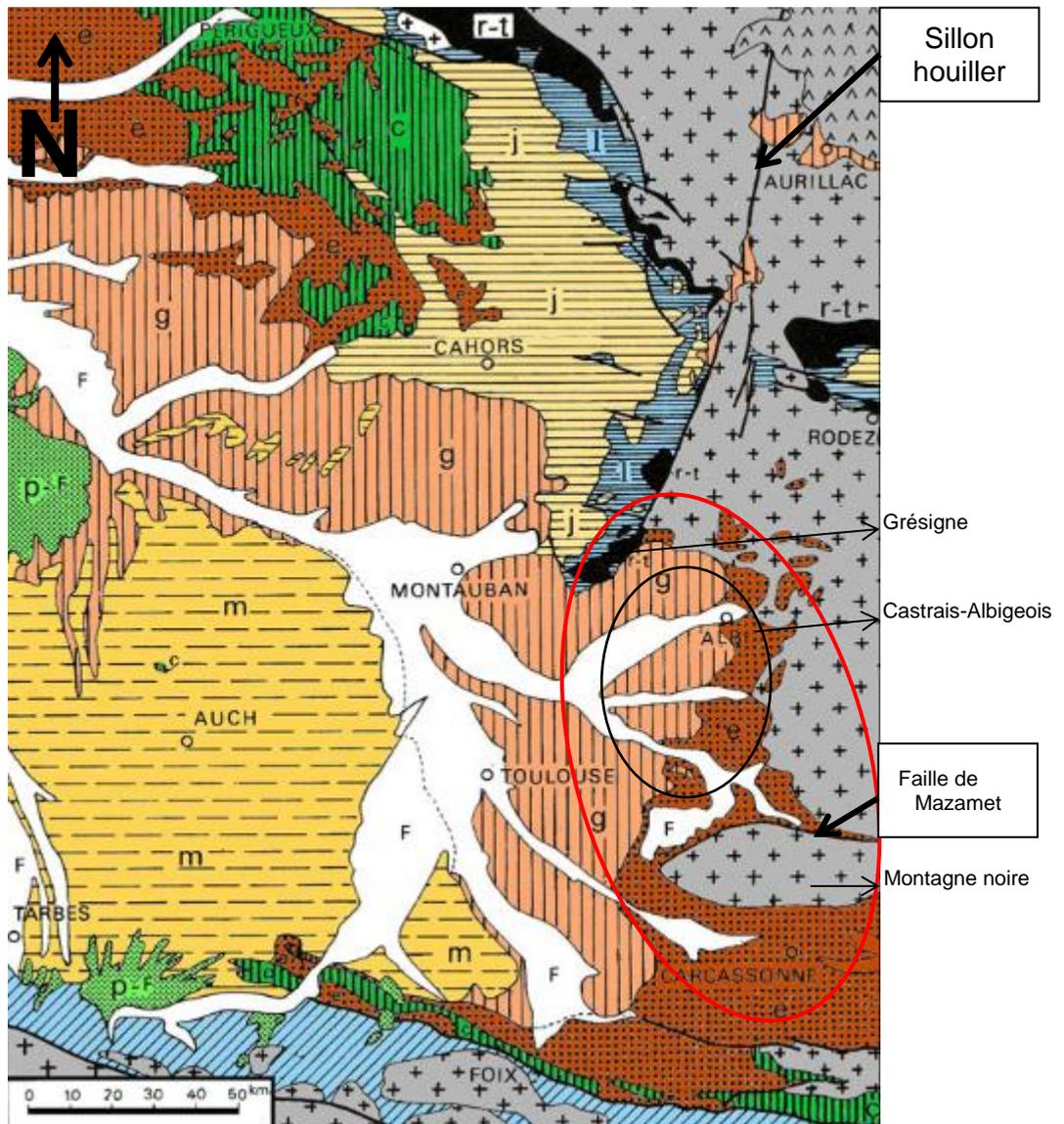


Figure 5 - Carte géologique schématique de l'Aquitaine orientale (d'après Gèze et al., 1976 modifié)
 Légende : zones grises croix noires : socle primaire ; r-t : Permo-Trias ; l : Lias ; j : Jurassique moyen-supérieur ; c : Crétacé ; e : Eocène ; g : Oligocène ; m : Miocène ; p-F : Plio-Quaternaire ; F : Quaternaire ; barré oblique bleu : terrains secondaires plissés nord-pyrénéen.

Les terrains les plus anciens se placent à l'Est, les plus récents à l'Ouest. A l'Oligocène, d'importantes venues détritiques arrivent du Sud et progressent vers le Nord-Ouest.

La structure des terrains est marquée par les deux directions hercyniennes, celle du sillon houiller (SSW-NNE) et la direction secondaire (SSE-NNW), qui sont recoupées par des accidents de direction « pyrénéenne », E-O, comme la faille de Mazamet qui limite au Nord la Montagne noire (Mouline, 1989) ou le chevauchement de la Grésigne (Dauch, 1988). La phase tectonique pyrénéenne a structuré l'ensemble de la zone d'étude à partir de l'Eocène, accentuant le modelé structural du Nord vers le Sud. »

3.1.1 Golfe de l'Albigeois-Castrais

Les argiles à graviers représentent le premier terme déposé de la pile sédimentaire des terrains tertiaires du golfe de l'Albigeois et du Castrais. Elles correspondent donc, de par leur position stratigraphique, aux formations dites infra-molassiques à la base des molasses éocènes. Dans le Castrais, elles s'interstratifient avec les Calcaires de Castres, puis sont recouvertes par une succession de niveaux molassiques datés du Bartonien jusqu'à l'Aquitainien : molasses de Saïx et de Lautrec, molasses de Blan, etc. Dans l'Albigeois, les argiles à graviers passent latéralement au calcaire lacustre ludien de Varen et s'interstratifient dans les conglomérats de la Grésigne (Bouroullec et Monod, 2015).

Les argiles à graviers sont visibles sur les pentes occidentales du Massif central et se retrouvent en forage sous couverture dans le bassin (Figure 6). Ce sont des faciès de bordure de bassin plus ou moins conglomératiques, sableux ou argileux en fonction de leur position dans le bassin. Localement, les argiles à graviers passent latéralement à des dépôts détritiques grossiers à proximité des reliefs : ce sont les conglomérats de Treyne à éléments de Permien autour du massif de la Grésigne, ou les brèches d'Escoussens (parfois attribuées à la brèche Mortadelle) à dolomie cambrienne au pied de la Montagne noire, ou les graviers d'Issel sur le flanc sud de la Montagne noire.

Sur la zone d'étude, les argiles à graviers et leurs équivalents latéraux sont répartis comme suit (Figure 6) :

- un faciès argileux au Nord, avec des graviers de quartz, des grès ferrugineux et parfois quelques niveaux sableux oxydés, plus ou moins propres, appelé sidérolithique de 20 m d'épaisseur maximum ;
- un faciès argileux à l'Est avec les argiles rouges à graviers parfois sableuses, voire conglomératiques, contenant de nombreux galets de quartz mais en bancs discontinus d'épaisseur variable (de 50 à 190 m). Les affleurements sont visibles du Nord au Sud (Figure 6), à l'Est d'Albi, à l'Est de Réalmon-Castres et de la Montagne noire (Mouline, 1975) ;
- un faciès de sables et argiles continentaux au centre et à l'Ouest, correspondant aux premières molasses.

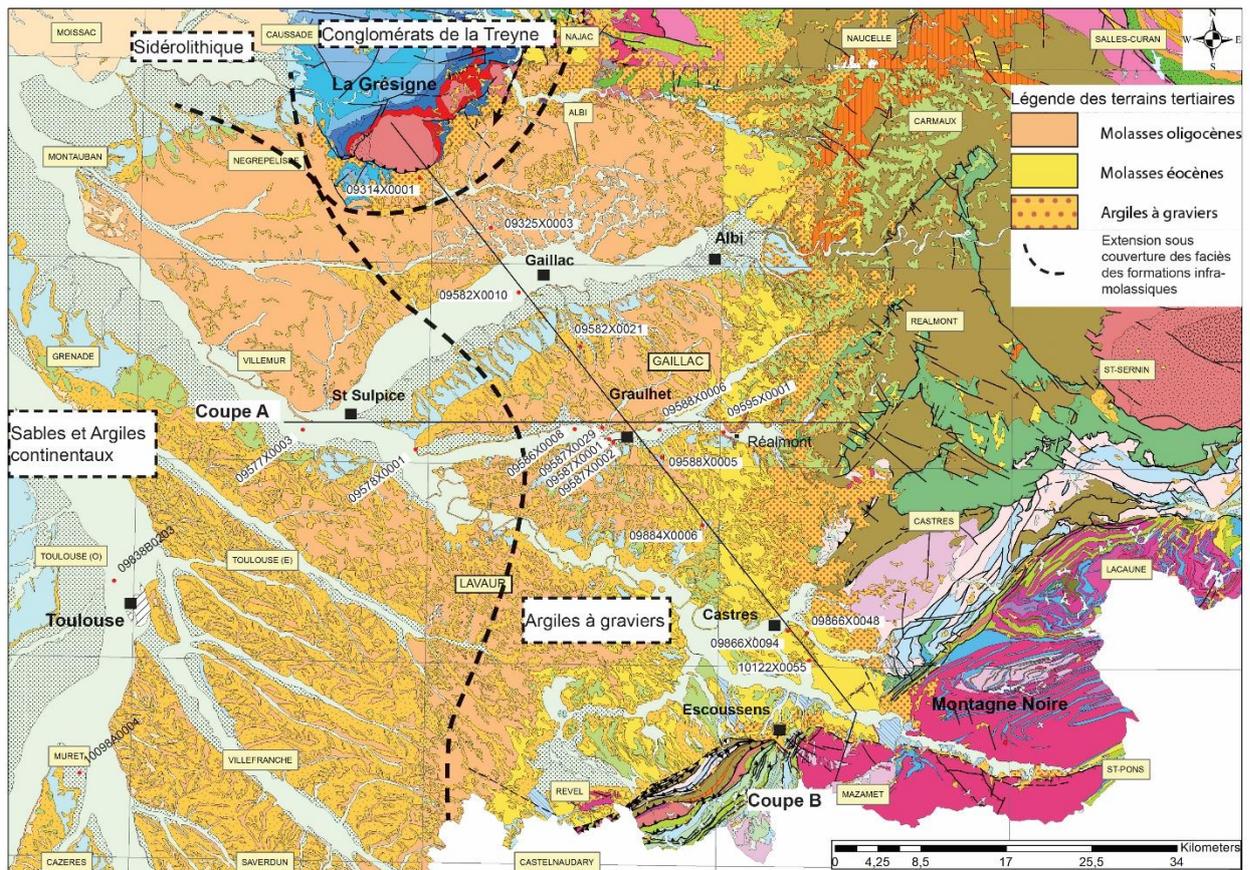


Figure 6 - Carte géologique à 1/250 000 du golfe de l'Albigeois, extrait de la carte de Midi-Pyrénées (Monod et le groupe de travail GARVEMIP, 2014)

Dans le cadre de leur étude, Bouroullec et Monod (2015) proposent deux coupes (Figure 7 et Figure 8), dont la localisation est présentée en Figure 6 (coupe A : Figure 7 et coupe B : Figure 8). La légende de la carte géologique au 1/250 000^{ème} de la région Midi-Pyrénées figure en annexe 3.

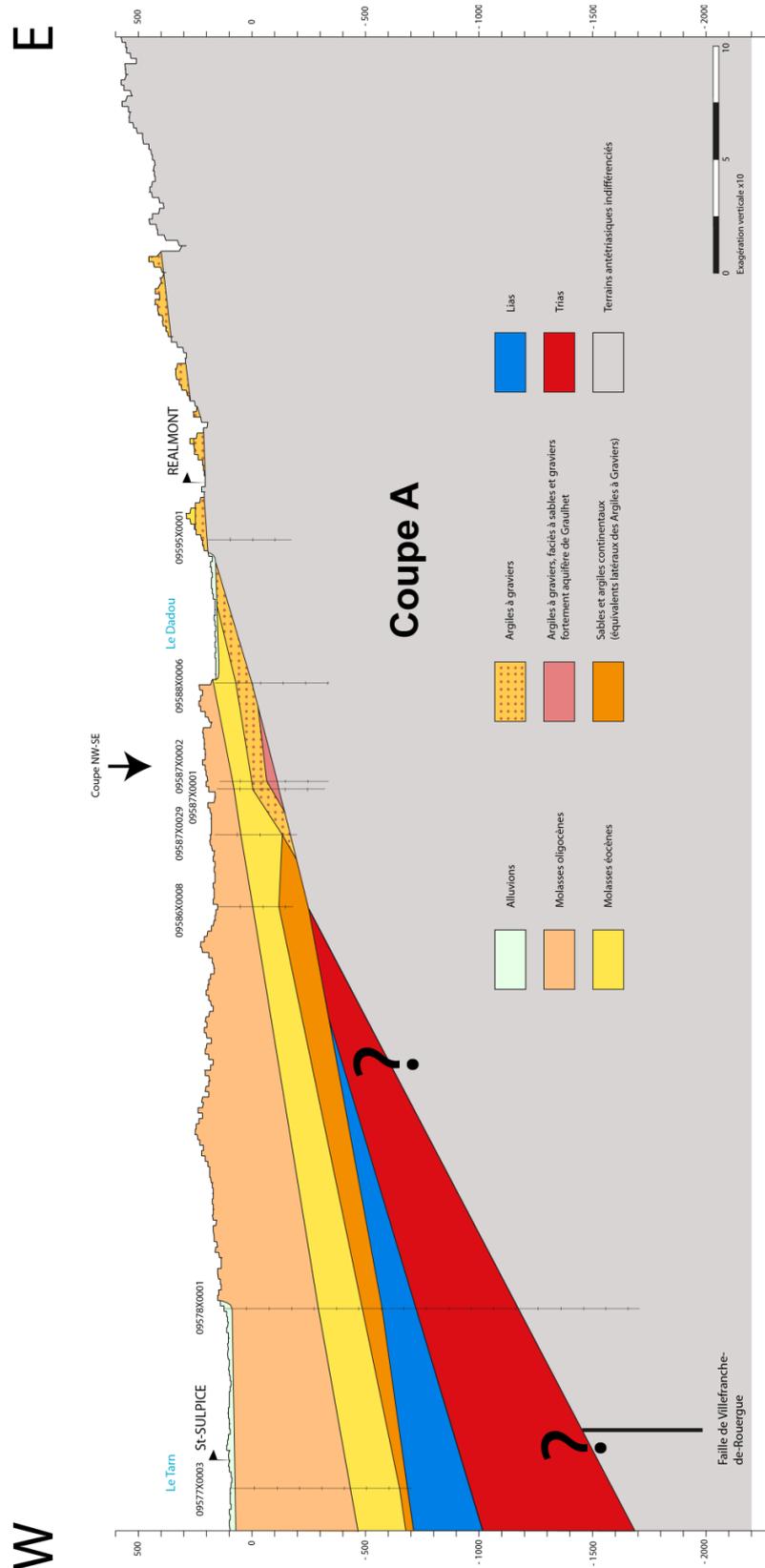


Figure 7 - Coupe E-W dans le golfe de l'Albigeois (coupe A) montrant la géométrie des formations paléogènes sur le substratum au niveau de la bordure orientale du bassin d'Aquitaine (d'après Bouroullec et Monod (2015))

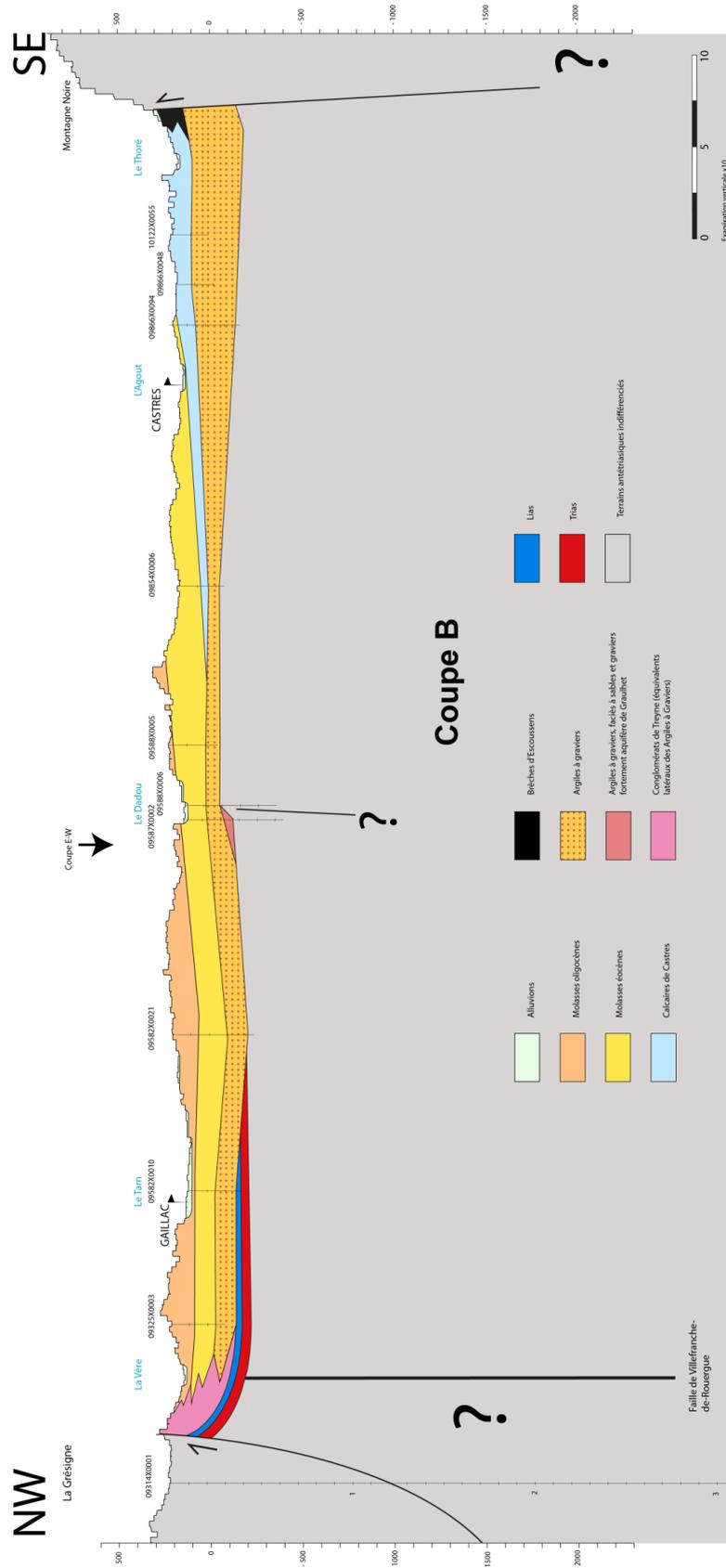


Figure 8 - Coupe de la Grésigne à la Montagne noire (Coupe B) montrant la géométrie des formations paléogènes du golfe de l'Albigeois et du Castrais (d'après Bouroullec et Monod (2015))

3.1.2 Petites Pyrénées-Plantaurel

Le secteur des Petites Pyrénées-Plantaurel s'étend parallèlement aux Pyrénées depuis Saint-Marcet à l'Ouest jusqu'à Lavelanet à l'Est. Bien que situées au Nord du Chevauchement frontal Nord Pyrénéen, elles n'en demeurent pas moins dans un secteur ayant subi une forte activité tectonique. Elles constituent ainsi une succession de chaînons qui s'organisent d'Ouest en Est en rides anticlinales et synclinales d'orientation ONO – ESE. Guessab (1970) proposait de distinguer deux zones bien individualisées par la Garonne : une partie située à l'Ouest du fleuve, une autre située à l'Est.

Les Petites Pyrénées sont principalement composées par des matériaux calcaires (Paléocène et Crétacé supérieur) ou conglomératiques (Poudingues de Palassou de l'Eocène), le cas échéant sous recouvrement de formations molassiques peu perméables.

Le Maastrichtien est ainsi représenté par un faciès marneux à marno-calcaire au sein des anticlinaux d'Aurignac, de St Marcet et de Plagne. Le Danien est représenté par un faciès de calcaires à silex en surface, et marneux à la base, les formations devenant de plus en plus marneuses vers l'Est. Le Sélandien-Thanétiens qui affleure dans le dôme de Montmaurin Lespugne, le synclinal de Latoue Spex et la vallée de la Noue est représenté par des sables (partie inférieure) et des marnes (partie supérieure). En revanche, le Thanétiens qui affleure sur les flancs des formations anticlinales et synclinales est représenté par des faciès calcaires. Les Poudingues de Palassou se déposent sur le piémont des Pyrénées entre l'Yprésien et le Lutétien (Eocène supérieur) (cf. Figure 9). D'une épaisseur pouvant dépasser 1000 m, les Poudingues de Palassou ont une extension importante sur les flancs des Petites Pyrénées et dans le massif du Plantaurel au niveau de la vallée du Douctouyre (affluent de l'Hers vif).

Dans le cadre de sa thèse, Guessab (1970) a tenté d'évaluer la faisabilité d'une recharge de l'aquifère des sables infra-molassiques dans ce secteur. Cette évaluation est restituée de façon synthétique en Figure 9. Cette évaluation est cependant rendue difficile faute de disposer d'une géométrie 3D des différents corps sédimentaires présents dans le secteur.

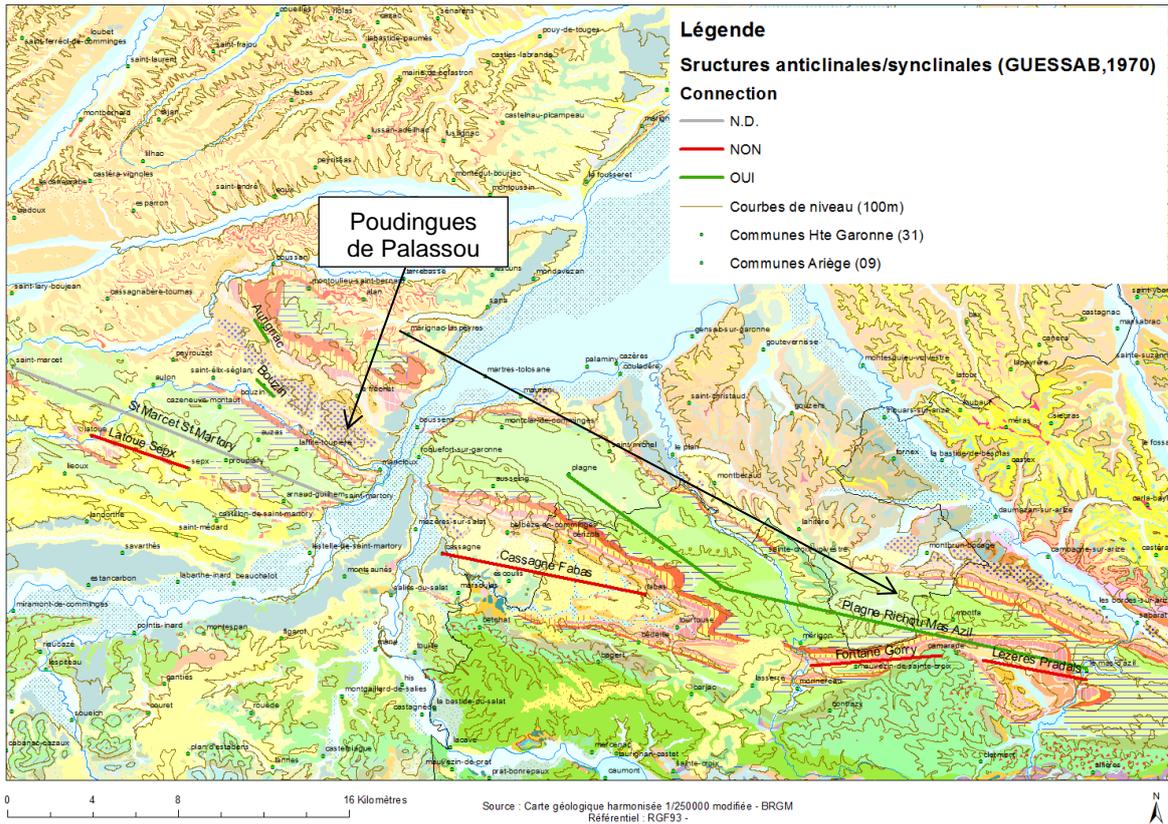


Figure 9 - Localisation des formations affleurantes et des structures synclinales et anticlinales sur les Petites Pyrénées (Monod, 2014) - hypothèses sur la connexion des entités hydrogéologiques des synclinaux et anticlinaux avec la nappe des sables Infra-Molassiques (Guessab, 1970)

3.2 AQUIFÈRES DE LA ZONE D'ÉTUDE

On distingue du plus récent stratigraphiquement parlant au plus ancien :

- les aquifères alluviaux du Quaternaire ;
- les aquifères intra-molassiques du Tertiaire éocène et post-éocène ;
- les aquifères de l'Eocène inférieur et moyen : formation des argiles et graviers, sables infra-molassiques ;
- l'aquifère du Paléocène ;
- les aquifères du Crétacé supérieur ;
- les aquifères du Jurassique et localement du Permo-Trias.

On pourra se reporter aux annexes 1a, 1b et 1c qui présentent l'extension de différentes formations d'après la BD-LISA.

3.2.1 Aquifères alluviaux du Quaternaire

Les aquifères alluviaux sont généralement d'une puissance réduite (inférieure à 10 m) et sont localisés le long des réseaux hydrographiques. Jusqu'à trois niveaux de terrasses alluviales peuvent être rencontrés : hautes, moyennes et basses terrasses. L'altération des formations est la plus développée pour les terrasses les plus anciennes, c'est-à-dire les hautes terrasses. Cette altération diminuant d'autant les propriétés hydrodynamiques de l'aquifère, les hautes terrasses présentent un intérêt hydrogéologique limité.

Les alluvions sont par exemple exploitées localement pour l'eau potable au débit de 40 m³/h au puits de Guitalens Lalbarède (09857X0040/F).

3.2.2 Aquifères intra-molassiques du Tertiaire éocène et post-éocène

Si les formations molassiques présentent généralement des perméabilités faibles à très faibles compte tenu de leur origine détritique, il est possible de rencontrer au sein de cet ensemble des calcaires lacustres d'extension souvent limitée mais susceptibles de contenir un niveau d'eau exploitable. Des passes sableuses peuvent également se révéler localement aquifères, comme par exemple au niveau du forage GAIA-Bio à Graulhet (09857X0029).

Par ailleurs, compte tenu de la présence des formations molassiques sur une extension très importante du Bassin aquitain, elles présentent une surface d'échange étendue avec les Sables Infra-Molassiques sous-jacents et peuvent donc contribuer de façon non négligeable au bilan hydrodynamique des SIM (Douez, 2007).

3.2.3 Aquifères de l'Éocène anté-molassique

Les formations éocènes du Sud du Bassin aquitain sont, du fait des phases de transgression / régression de cette période, composés de dépôts de différents types – marnes calcaires, sables, sables sidérolithique – dont la puissance et l'extension varient géographiquement. Ils constituent donc un ensemble aquifère complexe présentant une hétérogénéité verticale et horizontale qui couvre la quasi-totalité du Bassin aquitain. Dans la zone d'étude, quatre formations présentent un intérêt majeur : les sables infra-molassiques, les argiles à graviers, les calcaires de Castres et les poudingues de Palassou.

Outre ces quatre formations, les grès et graviers d'Issel (Eocène inférieur à moyen) constituent un objet hydrogéologique intéressant mais d'extension limitée : ils ne sont rencontrés qu'en bordure de l'extrémité ouest de la Montagne Noire.

Prenant place dans la partie sud-ouest de la France, la nappe des **Sables Infra Molassiques** (SIM) est localisée dans la partie méridionale du Bassin aquitain. La délimitation retenue pour la BDLisa¹ étend cette nappe jusqu'aux contreforts du Massif Central et de la Montagne Noire à l'Est. Au Sud, la limite retenue correspond à celle proposée par Housse et Maget (1977), tandis qu'il pourrait être envisagé de l'étendre jusqu'au front Nord- Pyrénéen, comme l'avait fait Seguin (2003) dans le cadre de la réalisation du MSAG. Le contour² proposé par la BDLisa pour l'unité 334AC01 correspondant aux Sables Infra-Molassiques délimite une surface d'environ 13500 km² (cf. Figure 10).

D'une manière générale, l'aquifère des SIM possède une bonne transmissivité, comprise entre 3.10⁻² et 1.10⁻⁴ m²/s (BEICIP, 1984).

Les SIM, qui constituent l'aquifère d'intérêt principal pour le projet GAIA, sont peu ou pas présents dans le bassin de Castres. Sur cette zone, ce sont les argiles à graviers qui focalisent l'attention, cette formation étant susceptible de constituer un relais dans l'alimentation des SIM recoupés plus à l'Ouest (aux forages de Blagnac par exemple).

¹ BDLisa : Base de Données sur les limites des systèmes aquifères - Système d'identification unique des entités hydrogéologiques françaises

² Notons que cette délimitation sera très probablement sujette à révision à la suite des travaux effectués dans le cadre du module de géologie du projet GAIA.

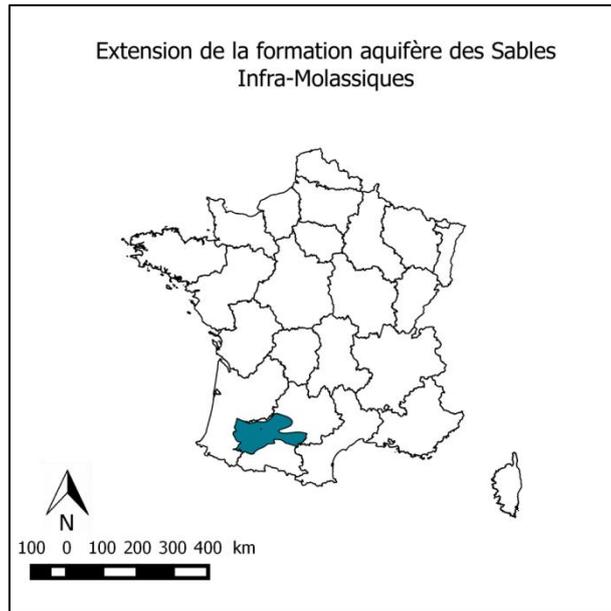


Figure 10 - Localisation et extension de la nappe des Sables Infra-Molassiques (d'après BD-LISA)

La transmissivité déduite des pompages d'essais à proximité de la Montagne Noire est variable, comprise entre 1.10^{-3} et 1.10^{-6} m²/s selon la lithologie de la formation captée.

Les **argiles à graviers** (Eocène inférieur à moyen) d'origine continentale sont rencontrées de façon prédominante dans le bassin de l'Albigeois-Castrais. Cette formation s'est déposée de façon diachrone sur le socle ancien (cf. Figure 11), selon un âge qui s'échelonne de l'Eocène moyen dans les environs de Mazamet, de Roquecourbe et de Réalmont, tandis que plus au Nord le même faciès littoral envahit sans discontinuité les dépôts de l'Eocène supérieur et de l'Oligocène (Bouroullec et Monod, 2015). L'étendue de la période de dépôt des argiles à graviers est bien illustrée dans le Castrais où elles sont à la fois placées stratigraphiquement en dessous et au-dessus des calcaires de Castres (Guérangé-Lozes et al., 2012).

L'hétérogénéité lithologique de cette formation, ainsi que le caractère diachrone et non continue de son dépôt, rendent difficile la délimitation géographique d'un « aquifère des argiles à graviers ». Plusieurs forages captent néanmoins cette formation, tels que les forages de Mascarens (10121X0013/F) ou de Lalbarède (09857X0104).

Les argiles à graviers sont généralement sous recouvrement de formations molassiques, qui constituent donc le toit de l'aquifère lorsque la formation est productrice.

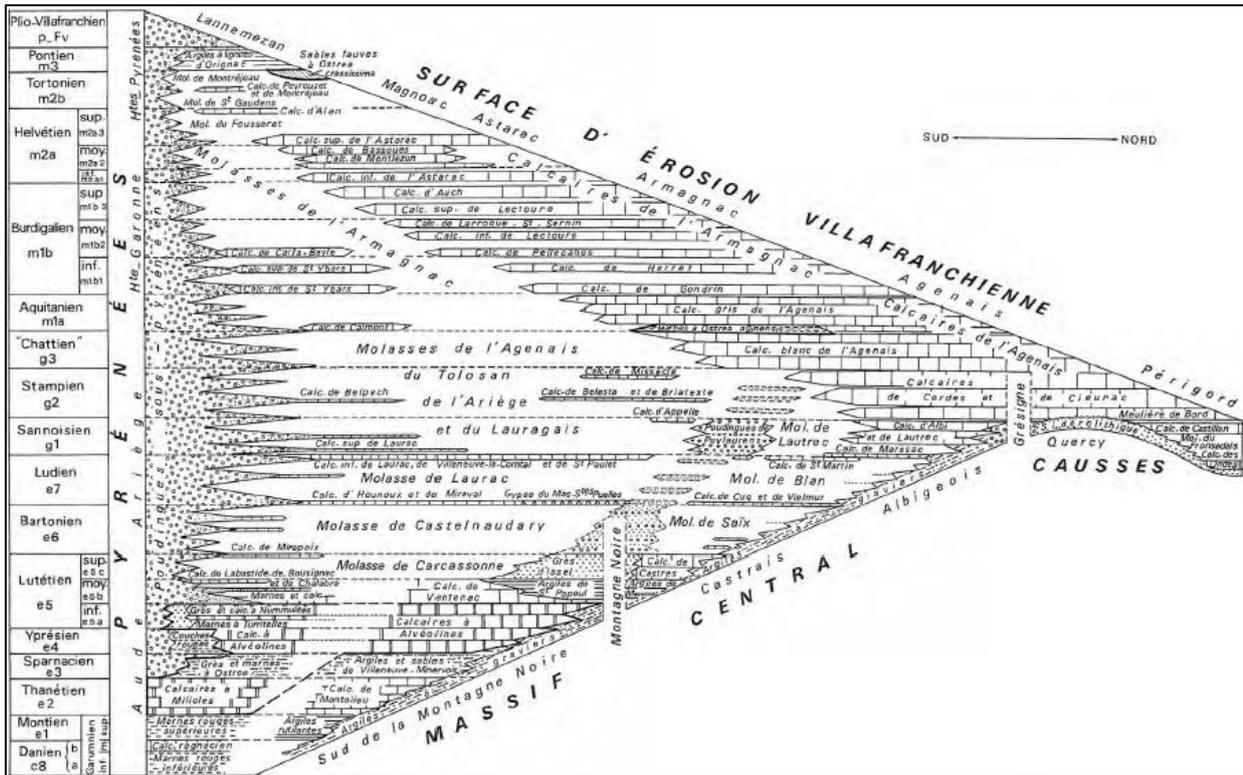


Figure 11 - Séries stratigraphiques des terrains du Tertiaire affleurants (Geze et Cavaille, 1977)

Les **calcaires de Castres** se sont déposés dans une zone géographique comprise entre le SE et l'Ouest de la ville de Castres (cf. Figure 12). Cet aquifère peut atteindre une puissance supérieure à 100 m, comme au forage de Mascarens (10121X0013) où les Calcaires de Castres sont rencontrés sur plus de 110 m (100-212 m). Cet aquifère est exploité pour l'eau potable dans la région de Castres.

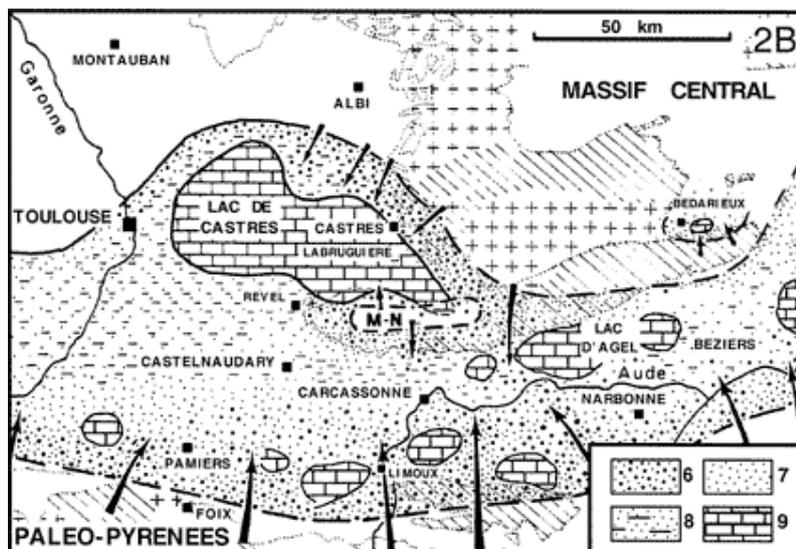


Figure 12 - Carte paléogéographique du Languedoc occidental à l'Eocène moyen (Lutétien - Bartonien) (Plaziat, 1981)

Légende : M-N : paléo-Montagne noire ; 6 - sédiments détritiques grossiers (argiles à graviers et poudingues de Palassou) ; 7 - molasses fluviales sableuses ; 8 - limons de plaines d'inondation ; 9 - calcaires lacustres

Les **Poudingues de Palassou** sont rencontrés dans le secteur des Petites Pyrénées-Plantaurel et résultent de la désagrégation des reliefs pyrénéens³. Ils sont rencontrés sur des épaisseurs pouvant dépasser 1 000 mètres. La présence de bancs calcaires au sein de cet ensemble détritique le rend potentiellement aquifère. Compte tenu de sa puissance et de cette hétérogénéité, cette formation est susceptible de constituer un aquifère relais important dans l'alimentation des SIM depuis les Petites Pyrénées.

3.2.4 Aquifère du Paléocène

Les formations calcaires, gréseuses et dolomitiques qui forment l'aquifère du Paléocène s'étendent sur une bande d'une cinquantaine de kilomètres de large s'étirant de l'Ariège jusqu'au littoral aquitain. Le potentiel hydrogéologique de cet aquifère dépend notamment du développement de sa karstification qui présente une grande variabilité. L'alimentation de ce réservoir se fait à partir des affleurements (Petites Pyrénées, Plantaurel) et par connexion avec les autres aquifères (Eocène, Crétacé). Le Paléocène n'est pas identifié dans le bassin castrais.

Les modèles hydrodynamiques réalisés (Seguin, 2003 et Douez, 2007) ont montré, conformément aux mesures piézométriques disponibles, qu'il existe des échanges bidirectionnels entre l'aquifère du Paléocène et celui des SIM. Dans le secteur des Petites Pyrénées, c'est principalement le Paléocène qui alimente les SIM.

3.2.5 Aquifères du Secondaire

Les réservoirs associés aux formations calcaires et gréseuses (SE du bassin) du Crétacé supérieur ont une karstification bien développée mais irrégulière. L'alimentation de ces aquifères, exploités pour leur ressource calorifique, se ferait à partir des affleurements sur la chaîne du Plantaurel et les Petites Pyrénées (Housse et Maget, 1977). Ils ne sont pas rencontrés dans le Bassin de Castres.

Les réservoirs calcaires du Jurassique sont présents dans le Bassin aquitain sur la quasi-totalité de son extension. Leurs caractéristiques très variables et les épaisseurs relativement réduites font qu'ils n'offrent des possibilités du point de vue hydrogéologique que localement et au nord de la flexure « celtaquitaine » (axe Arcachon – Toulouse, cours de la Garonne) ; au sud, ces niveaux plongent très profondément et ils n'ont fait l'objet d'exploitation que pour la production d'hydrocarbures (Housse et Maget, 1977).

Souvent distinguées des réservoirs du Jurassique (majoritairement du Dogger), les formations aquifères du Lias (Jurassique inférieur) sont particulièrement présentes sur la partie Ouest du bassin, mais aussi sur les Petites Pyrénées. Les faciès sont assez variés et vont des marnes du Toarcien aux calcaires et grès qui sont retrouvés eux aussi à l'affleurement dans les Petites Pyrénées. Les mesures de pression au niveau du Lias sont rares mais les quelques données disponibles font apparaître :

- un axe de dépression le long de la Garonne à partir du « môle de Montauban » ;
- une alimentation le long de la bordure du Massif Central.

Enfin, le Permo-Trias est exploité dans les bassins d'Albi et de Castres où il se présente sous une forme gréseuse perméable (comme par exemple au forage de Graulhet 09587X0002) qui provient de l'érosion de la chaîne hercynienne.

³ <http://asnat.fr/dossier-histoire/palassou.php>

3.3 PIÉZOMÉTRIE DE L'AQUIFÈRE DES SABLES INFRA-MOLASSIQUES

La piézométrie de l'aquifère des SIM - au sens large, c'est-à-dire incluant les formations éocènes perméables du pied de la Montagne Noire - est comprise entre une vingtaine de mètres NGF⁴ (Agenais) et plus de 200 m NGF dans la partie Nord (Sud du Massif Central, Montagne Noire, cf. Figure 13). Sur un transect Sud-Nord allant de Tarbes à Barbotan, la piézométrie s'échelonne de 280 m NGF au Sud tandis qu'elle atteint 105 m NGF environ au Nord, indiquant un gradient de l'ordre de 2 ‰.

Cette piézométrie repose néanmoins sur peu de données, en particulier sur les « bordures » de la partie centrale des SIM. Par exemple, aucune donnée piézométrique n'est disponible à proximité des Petites-Pyrénées pour mesurer la charge existant au sein des formations éocènes.

Ainsi, les différentes cartes piézométriques réalisées depuis les années 1970 (Wuilleumier et al, 2015) comprennent, pour la plupart, des extrapolations sur les parties où la donnée est manquante ou limitent le tracé à l'étendue de la connaissance. Avec ces limites, les piézométries dessinées indiquent l'existence de zones de recharge et/ou d'alimentation sur les contreforts de la Montagne Noire et le long du front nord Pyrénéen.

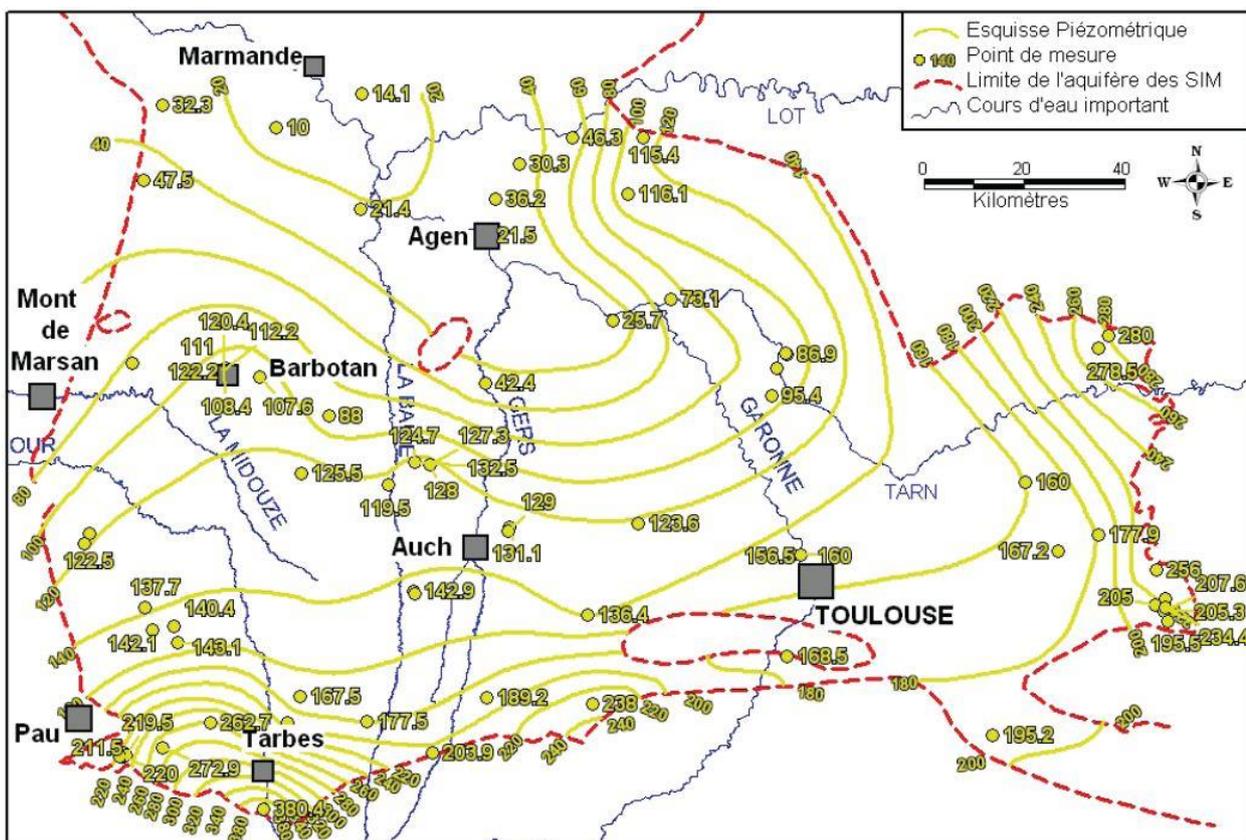


Figure 13 - Carte piézométrique des SIM corrigée des effets de la température (Doez, 2007)

⁴ Nivellement Général de la France - Altitude par rapport au « niveau zéro » de référence situé au niveau de la mer à Marseille

3.4 DÉBITS D'EXPLOITATION DES FORAGES PROFONDS

Peu d'ouvrages de la Banque du Sous-Sol possèdent des informations quant aux caractéristiques hydrodynamiques des formations éocènes situées sur les contreforts de la Montagne Noire, voire concernant la lithologie des formations traversées. Les forages dépassant 300 m de profondeur ont été identifiés et leur localisation figure en Annexe 2. Les forages décrits dans la suite de ce chapitre sont localisables sur la carte placée dans cette annexe.

Le forage le plus ancien est celui de Bernazobre (09858X0100) : réalisé en 1943, il a atteint les formations éocènes perméables sous-molassiques à une profondeur de 400 m et sur une épaisseur de 130 m.

En 1990, une étude est réalisée par le BRGM (Bel, 1990) afin d'évaluer les possibilités d'exploitation de la ressource en eau profonde sur la région de Saix, Naves et Labruguières (département du Tarn). Dans cette étude, la possibilité de réaliser des forages qui recouperaient les formations des SIM est envisagée. Pour atteindre cette formation aquifère, l'auteur préconise des forages qui atteindront le substratum primaire.

Réalisés en 1990, les ouvrages de Mascarens (10121X0013), Labruguière (10122X0055), Valdurenque (09866X0074) et, plus à l'ouest, Graulhet (09587X0029), ont été utilisés pour l'AEP (cf. Annexe 2). Les forages de Labruguière et de Valdurenque sont convertis ultérieurement en piézomètre compte tenu de teneurs en fluor trop élevées.

Le forage de Mascarens (Naves), traverse les formations molassiques sur 100 m avant d'atteindre les Calcaires de Castres présents sur environ 110 m (100-212 m), puis recoupe les formations d'argiles à graviers ici aquifères. Le forage s'arrête à 290 m dans ce niveau d'argiles à graviers. L'ouvrage est crépiné et utilisé pour les besoins en eau potable mais avec un débit d'exploitation faible (valeur exacte indisponible dans la bibliographie), proche d'une dizaine de m³/h.

Le forage de Labruguière capte des niveaux peu aquifères d'argiles à graviers. Le débit capté est de 2.25 m³/h, bien loin des objectifs fixés pour le syndicat sur l'ensemble des 3 forages (total de 200 m³/h recherché pour les deux syndicats voisins de Saix-Naves et de Labruguière).

Le forage de Valdurenque traverse les calcaires de Castres sur 74 m avant de rencontrer les formations d'argiles à graviers à intercalations sablo graveleuses captées avec un débit de l'ordre de 10 m³/h.

Situé au Nord du forage de Valdurenque, le forage de l'Usine Rey (09587X0029) à Graulhet traverse les argiles à graviers (ici non aquifères) et le substratum primaire est atteint à 330 m. Alors que le débit espéré s'élevait à 20 m³/h, seuls des débits de l'ordre de 10 m³/h ont pu être obtenus. Les formations exploitées sont les passées calcaires et sableuses trouvées dans l'aquifère intra et infra molassiques.

A titre de comparaison, le forage de Lalbarède (09857X0104) utilisé pour l'AEP traverse des niveaux aquifères de sables et argiles à partir de 400 m et exploite ce niveau à hauteur de 90 m³/h.

La formation aquifère des Calcaires de Castres a été exploitée par le forage de l'usine Trégas à Labruguière (10121X0003). Il était exploité au débit d'une vingtaine de m³/h pour 40 m de rabattement. Le niveau aquifère capté se situe entre 155 et 218 m de profondeur.

3.5 DONNEES HYDROGÉOCHIMIQUES ET ISOTOPIQUES

16 forages ont été sélectionnés dans la zone d'étude (cf. Figure 14 et Annexe 2), principalement dans la Montagne Noire puisqu'il existe très peu de forages profonds à proximité des Petites Pyrénées. Ces forages traversent les formations aquifères des SIM ou les équivalents latéraux (Argiles à graviers), voire des formations perméables potentiellement participatives des écoulements souterrains en direction des SIM (Calcaires de Castres). L'ensemble des données physico-chimiques présentes dans les dossiers BSS de ces points, ainsi que les coupes géologiques validées ont été analysées et synthétisées sous forme de carte, disponible en annexe 2.

Les caractéristiques géochimiques et isotopiques de la nappe des SIM ont fait l'objet d'études dans les années 2000 [Negrel et al., 2008, Malcuit et al, 2008 et André, 2002]. Dans les projets CARISMEAU 1 (Malcuit et al, 2008) et CARISMEAU 2 (Negrel et al, 2008), les forages de Labruguière (10122X0055), Lalbarède (09857X0104) et Blagnac Piscine (09838B0203) (respectivement nommés SIM4, SIM13 et SIM7 dans ces projets) ont été étudiés.

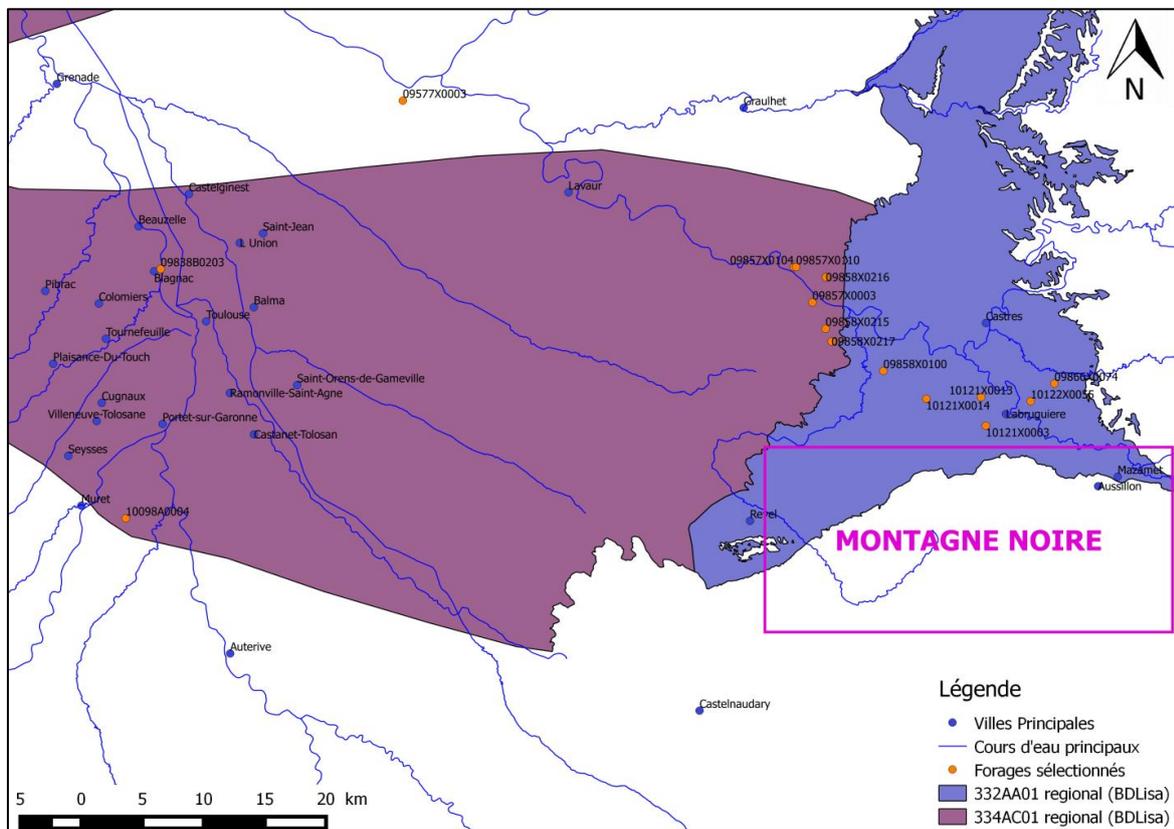


Figure 14 - Forages d'intérêt situés à proximité des contreforts de la Montagne Noire

3.5.1 Paramètres physico-chimiques

D'une manière générale, que ce soit dans les formations des argiles à graviers ou les SIM (Entités 334AC et 332AA de la BDLisa) le pH est légèrement basique et compris entre 7.4 et 8.25. Au forage de Blagnac, exploité pour les ressources géothermiques de l'aquifère, le pH mesuré est très faible, de l'ordre de 4,7. Ces prélèvements datent de l'année où le forage a été effectué et peut donc être influencé par le forage en lui-même. En effet, d'autres résultats d'analyses indiquent un pH de 7,2 (Andre, 2002).

Il semblerait que globalement, le pH est plus basique sur l'est du bassin aquitain, à proximité de la Montagne Noire, dans les argiles à graviers. Le forage de Bernazobre (09858X0100) va à l'encontre de cette tendance puisqu'il semble traverser des formations argilo-graveleuses et possède un pH de 7,8. De la même manière, le forage de Buzet-sur-Tarn (09577X0003) qui capte les SIM possède un pH plutôt basique de 8.

Sur les 16 ouvrages étudiés, les valeurs de **conductivité électrique** sont très variables d'un forage à l'autre, allant de l'ordre de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Valdurenque (09866X0074) à plus de 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Bernazobre (09858X0100) et, jusqu'à 1848 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Buzet-sur-Tarn (09577X0003). Les eaux semblent plus minéralisées dans les SIM que dans les Argiles à graviers ($\sigma > 800 \mu\text{S}/\text{cm}$ dans les SIM). Une précaution particulière doit être portée à cette analyse, étant donné la faible quantité de données physico-chimiques recueillies (le plus souvent, une seule donnée par ouvrage).

3.5.2 Faciès chimique des eaux

Sur les 16 forages préalablement sélectionnés, seulement 7 possèdent des données complètes sur les ions majeurs permettant de tracer des diagrammes de Piper (cf. Figure 15). Ces résultats ont été confrontés aux résultats obtenus pour les systèmes aquifères dans le cadre de la synthèse hydrogéologique du département du Tarn (rapport à paraître).

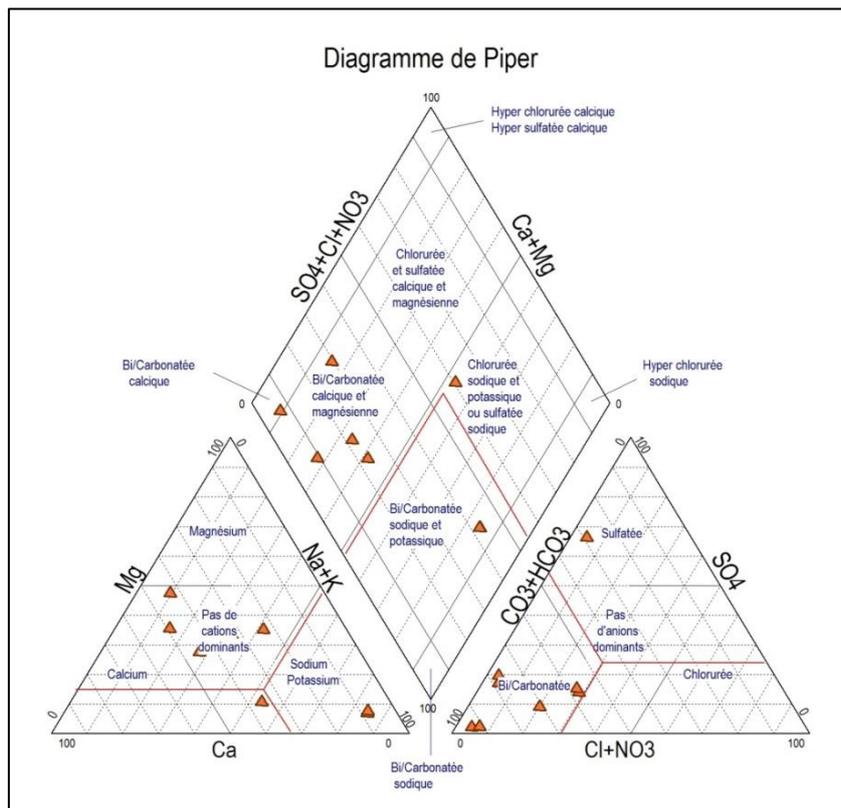


Figure 15 - Diagramme de PIPER pour déterminer les différents faciès des eaux des forages sélectionnés

D'après la synthèse sur les entités hydrogéologiques du Tarn, les entités alluviales (910AC) ont un faciès principal **bicarbonaté calcique et magnésien**. Les masses d'eau 322AA et 326AA, Molasse de l'Oligo-Miocène et de l'Oligo-Eocène supérieur respectivement, ont un faciès **bicarbonaté calcique et magnésien**.

La masse d'eau contenue dans les argiles à graviers est majoritairement **bicarbonatée calcique** sur les contreforts de la face nord de la Montagne Noire. Le faciès tend à être plus sodique en allant vers l'Ouest.

La masse d'eau des Sables Infra molassiques (334AC), dans la continuité des argiles à graviers à l'ouest, présente un **faciès carbonaté sodique et potassique** voire **sulfaté sodique** (ouvrage 10098A0004, cf. Annexe 2). Dans le diagramme réalisé pour ce module du projet GAIA, ce faciès est retrouvé ici pour un seul point sur les 7 ouvrages étudiés, celui de Bernazobre (09858X0100).

Dans le socle, la masse d'eau 370AC est caractérisée par différents faciès dépendants du bassin versant ; ainsi, les eaux des forages dans le bassin versant du Thoré ont un faciès à dominance **chloruré et sulfaté calcique et magnésien** (10 points) / **chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique** (7 points) ; dans le bassin versant du Sor, la totalité des échantillons analysés présentent un faciès **bicarbonaté calcique et magnésien**, de même pour le bassin versant de l'Agout du confluent du Gijou au confluent du Thoré.

3.5.3 Éléments majeurs

Sur les sources issues des Calcaires de Castres, le rapport Mg / Ca est supérieur à 1 en rive gauche du Thoré, ce qui semble indiquer une circulation des eaux au travers de roches dolomitiques, avec une dissolution de la dolomie (formation de Marcory ?), indiquée par la forte proportion de Mg (Faugère, 1970).

En étudiant les compositions chimiques des eaux prélevées dans les différentes entités de la BD Lisa, il est possible de déterminer des origines communes ou non entre les eaux des différentes entités. La première étape consiste à vérifier la cohérence de la balance ionique⁵ dans les eaux échantillonnées. Sur les forages sélectionnés, deux forages et une source ont une erreur sur l'équilibre ionique supérieure à 5% (09858X0216/F, 09866X0074/F et 10135X0012). Compte tenu de ces écarts, ces eaux ne sont pas prises en compte dans l'interprétation.

La minéralisation des eaux peut être issue de la dissolution des minéraux présents dans les roches (calcite, gypse, anorthite, dolomite, quartz...). Ainsi, une dissolution de calcite (CaCO₃), pourra être mise en avant en traçant le graphique Ca / CO₃, et des suppositions analogues pourront être faites sur les dissolutions de chacune des roches (cf. Tableau 2).

Roche / minéral	Composition chimique	Interprétation graphique
Calcite	CaCO ₃	Ca / CO ₃
Gypse	CaSO ₄	Ca / SO ₄
Anorthite	CaAl ₂ SiO ₈	Ca / Si
Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂	Ca / Mg ou Ca / HCO ₃

Tableau 2 - Dissolution de quelques minéraux et graphiques correspondant pour l'interprétation

La Figure 16 permet de mettre en avant le rôle de la dissolution de la dolomite dans la minéralisation des eaux prélevées dans les entités molassiques et dans les SIM. Afin de valider

⁵ Balance ionique : Equilibre des cations et des anions dans l'eau c'est-à-dire que la somme des cations doit être égale à la somme des anions. Généralement exprimé en meq/L ou en pourcentages. Une erreur de 5% sur l'équilibre est estimée satisfaisante.

ces observations, des simulations numériques ont été réalisées avec le logiciel Phreeqc⁶⁶. Sur la plupart des échantillons, les calculs confirment l'équilibre des eaux avec les carbonates (dolomie et calcite).

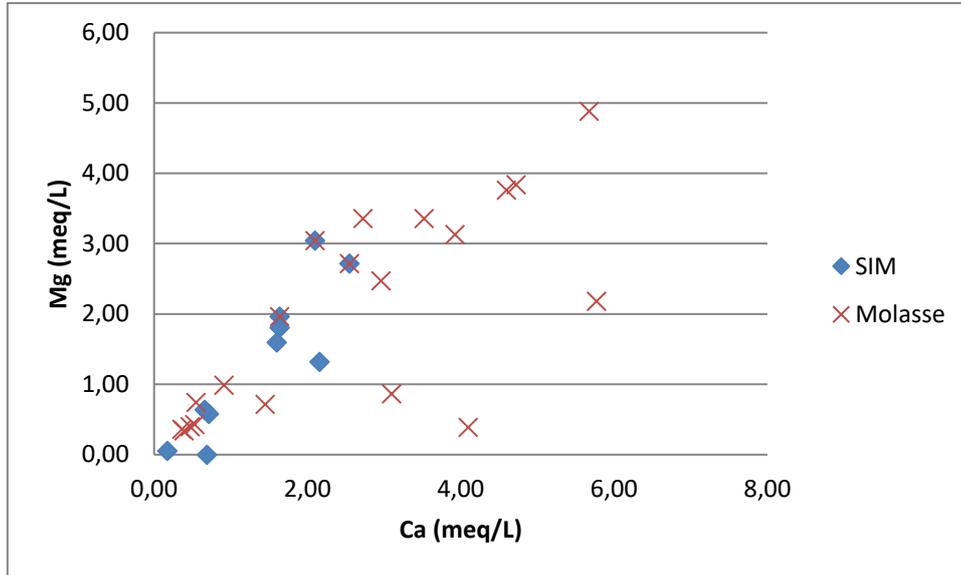


Figure 16 - Rôle de la dolomite dans la minéralisation des entités molassiques et infra molassiques sur le département du Tarn

Dans les entités du Quaternaire, la dissolution de la dolomie semble jouer un rôle non négligeable dans la minéralisation même si le rapport Ca / Mg montre une prépondérance des ions calcium en solution par rapport aux ions magnésium (cf. Figure 17). D'autres réactions (échanges cationiques, dissolution d'autres minéraux...) peuvent expliquer cet apport de Ca^{2+} en solution.

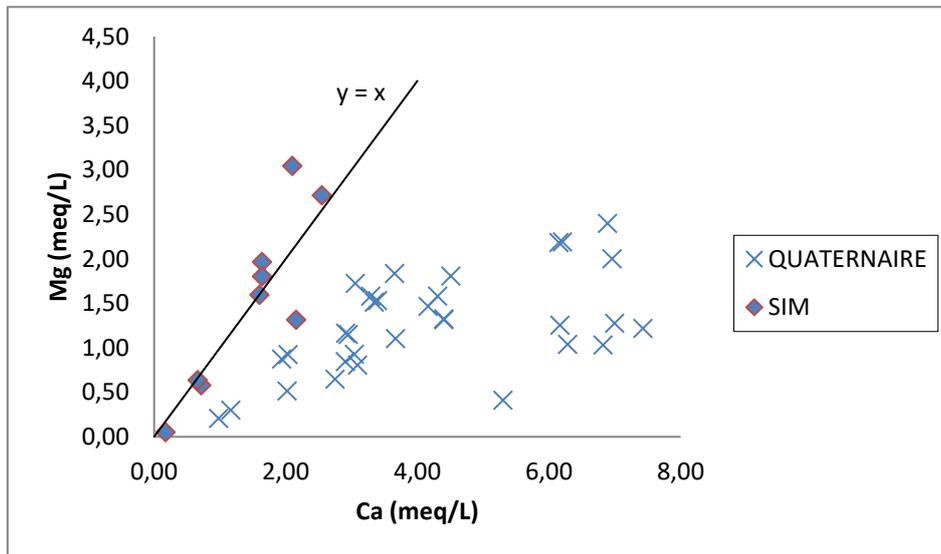


Figure 17 - Rôle de la dolomite dans la minéralisation des entités alluvionnaires et infra molassiques sur le département du Tarn

⁶⁶ http://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc/

Les sources issues des calcaires de Castres, situées en rive gauche du Thoré, ont un indice de déséquilibre chloro-alkalin négatif. Cela peut être dû à un chargement en ions alcalins par destruction des silicates sur les parties cristallines situées en amont (Faugère, 1970). En rive droite du Thoré, l'indice de déséquilibre est positif. Cela correspondrait à une absence d'échanges ou des échanges entre les alcalins de l'eau et ceux des permutolites⁷ (Faugère, 1970 ; Schöller, 1962).

Les ions chlorures sont présents en faible proportion à proximité de la Montagne Noire, et augmentent en allant vers l'ouest (cf. Figure 18). Ainsi, la source BSS 10135X0012 possède 0.11 meq/L, valeur proche des eaux de pluie brutes (0.08 meq/L, d'après Schöller, 1956). La teneur en chlorures est, d'une manière globale, supérieure à 1 meq/L passé Bernazobre.

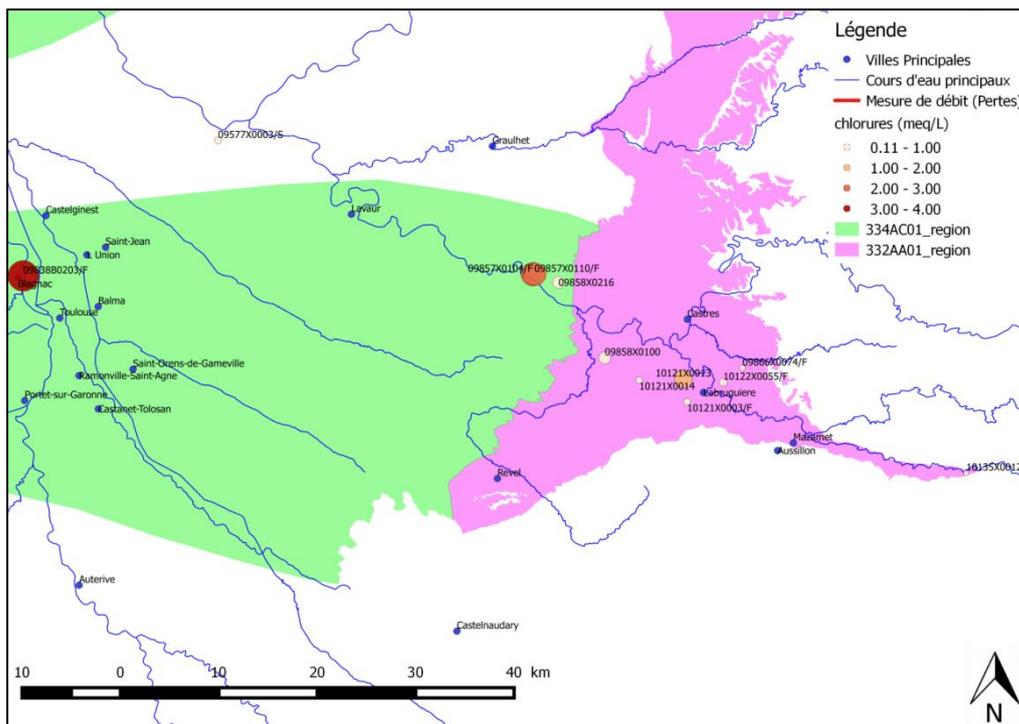


Figure 18 - Teneur en ions chlorures sur les forages sélectionnés (Département du Tarn et l'Est de la Haute-Garonne - la taille du cercle est proportionnelle à la teneur en chlorures)

Le tracé du diagramme Na vs Cl permet de déterminer si l'origine de la salinisation dans les entités hydrogéologique peut être marine. Les eaux des SIM et des entités molassiques sont plus riches en sodium qu'en chlorures, ce qui ne peut être dû à la dissolution de la halite. En effet, celle-ci serait mise en avant par un rapport 1:1 entre les deux éléments. La salinisation observée sur ces points peut être issue de la dissolution des aluminosilicates associés aux ions sodium (Negrel et al, 2008).

Principalement issues de l'altération des évaporites et de l'oxydation de la pyrite, les teneurs en **sulfates** sur les différents forages sélectionnés varient de manière importante (0.09 meq/L à 10.8 meq/L). Les eaux des forages de Cuq Vielmur (09858X0216) et de Bernazobre (09858X0100) sont très minéralisées, riches en chlorures, en magnésium et en sulfates, ce qui peut témoigner d'une dissolution de dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), gypse (CaSO_4) et/ou de magnésie (MgCO_3).

⁷ Permutolites : Substances des roches capables d'échanger des bases

Notons que Bel (1989) identifiait la présence de sulfates dans des forages sollicitant les Calcaires de Castres (cf. Figure 19, forage de Bernazobre par exemple).

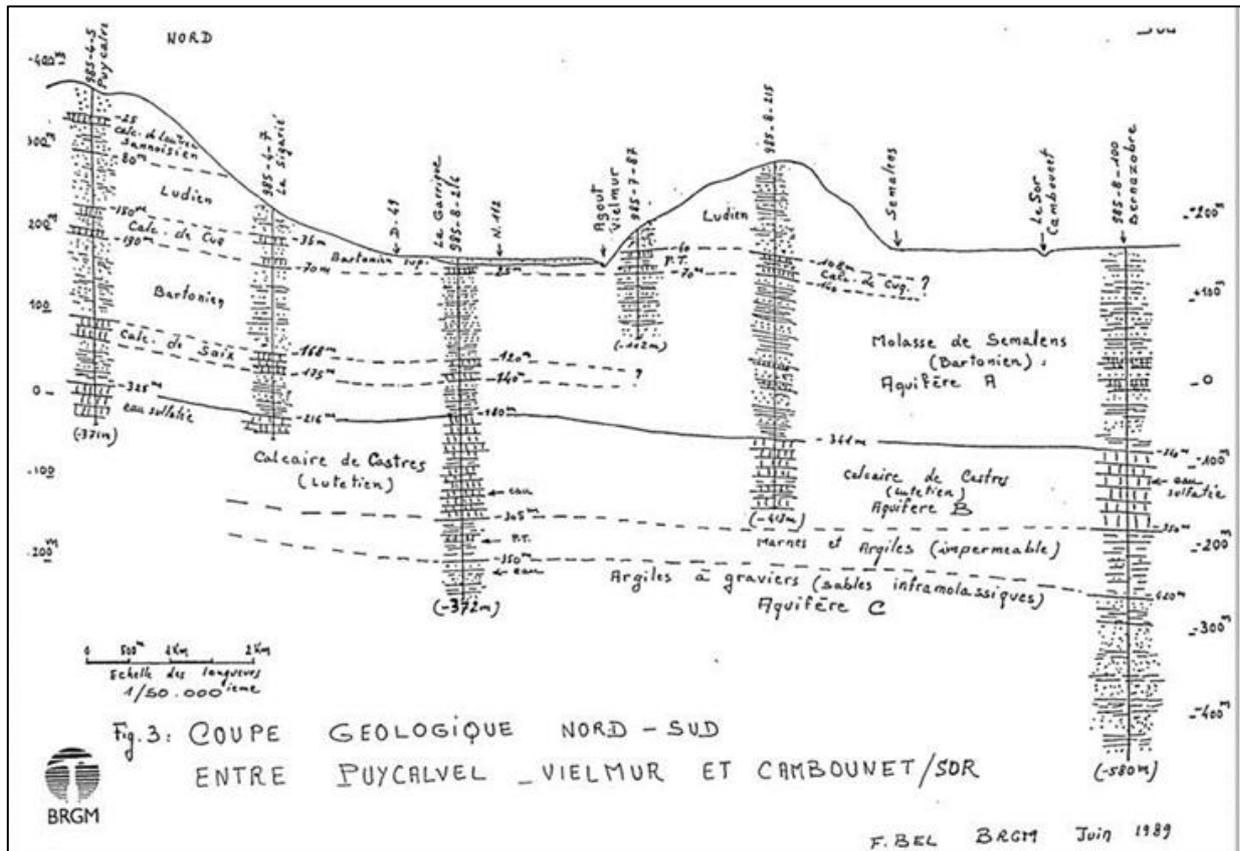


Figure 19 - Coupe hydrogéologique Nord-Sud de l'Est du Bassin de Castres (Bel, 1989)

3.5.4 Fluor

La présence de fluorures à hauteur de plusieurs mg/L a été identifiée sur les forages présents dans le bassin de Castres, en particulier dans les eaux captées par les forages de Labruguière et de Lalbarède.

La faible solubilité de la fluorine (CaF_2) confère au fluor un caractère non conservatif car il aura tendance à s'associer au calcium et donc à précipiter. Cependant, lorsque des teneurs élevées en fluorures sont retrouvées dans les eaux de forage, il est possible de s'en servir comme traceur de l'origine des eaux souterraines.

Le fluor se retrouve dans les formations sédimentaires, bien qu'il soit plus courant de le retrouver dans les minéraux des roches métamorphiques. La fluorine se retrouve associée avec d'autres minéraux tels que la tourmaline, l'apatite, la topaze, le lépidote, ou dans les gisements hydrothermaux (gisements d'imprégnation ou de remplacement dans les assises sédimentaires, ou filons) (cf. Tableau 3) (Malcuit, 2012).

Minéraux	Gisements (d'après DEER et al., 1972)
<u>Minéraux non silicatés</u>	
- Fluorine	minéral filonien des roches plutoniques (granites pneumatolitiques), des calcaires et dolomies (origine métasomatique)
- Fluor-apatite et Fluor-carbonate-apatite	minéraux accessoires très commun des roches plutoniques, sédimentaires et métamorphiques
- Cryolite	minéral rare des pegmatites
<u>Minéraux silicatés</u>	
1) <u>Orthosilicates et sorosilicates</u>	
- sphéne	minéral accessoire des roches plutoniques et métamorphiques
- vésumianite	minéral commun des calcaires métamorphiques
- topaze	minéral en filons ou géodes des granites et pegmatites
- épidote	minéral des roches plutoniques, sédimentaires ou métamorphiques (métamorphisme régional moyen) et altération des plagioclases
- tourmaline	minéral des granites et pegmatites, filons pneumatolitiques, quelques roches métamorphiques et sédimentaires détritiques
2) <u>Tectosilicates</u>	
-scapolite	minéral commun des roches métamorphiques riches en calcium
3) <u>Phyllosilicates</u>	
Micas :-Muscovite	minéral très répandu dans une grande variété d'environnement géologique
-phlogopite	essentiellement calcaires métamorphisés et roches ultrabasiques
-biotite	minéral commun des roches plutoniques et métamorphiques.
-lépidolite	minéral des pegmatites
-sinnwaldite	dans pegmatites et filons de cassitérite
4) <u>Inosilicates</u>	
Amphiboles :	
-anthophyllite	dans les roches métamorphiques et métasomatiques
-tremolite, actinolite	minéraux du métamorphisme (essentiellement régional)
-hornblende	minéral commun des roches plutoniques et métamorphiques
-kaersutite	dans les roches volcaniques et quelques roches plutoniques et alcalines
-riébekite	dans les roches plutoniques acides
-richtérite	dans calcaires métamorphiques et produit hydrothermal
-katophorite	dans les roches magmatiques filoniennes alcalines
	minéral rare des roches les plus basiques

Tableau 3 - Minéraux fluorés (Travi, 1988)

Dans les gisements d'imprégnation ou de remplacement inclus dans les formations sédimentaires, la fluorine « peut constituer des amas stratiformes de grandes dimensions » (Chermette, 1969). Elle est alors associée à d'autres éléments tels que le quartz, la barytine, la calcite, mais aussi aux sulfures métalliques (pyrite, galène, blende, chalcopryrite, sulfures complexes ; Chermette, 1969).

La dissolution de la fluorine dépend de la température, du pH, mais aussi de la présence ou non de gypse. En effet, la mise en solution de ce dernier provoque une libération des ions Ca^{2+} dans les eaux. Le milieu devient alors rapidement saturé en Ca^{2+} limitant la libération des ions calcium issus de la fluorine (CaF_2). La solubilité de cette dernière étant plus faible que celle du gypse, la dissolution de la fluorine sera limitée voire nulle car l'indice de saturation de l'eau vis-à-vis de la fluorine atteindra plus rapidement 1⁸.

⁸ indice de saturation de l'eau vis-à-vis de la fluorine : $IS_{fluorine} = \frac{(Ca^{2+})(F^{-})^2}{K_{fluorine}}$; si le gypse libère du Calcium, l'indice de saturation augmente.

Plusieurs mines exploitant des filons de fluorine ont été en activité, parmi lesquelles les mines de Burc et de Mont Roc, situées à l'Est d'Albi (Tarn). Les filons peuvent être encadrés par le quartz, ou en contact direct avec le schiste métamorphique de l'ordovicien (cf. Figure 20).

L'analyse des échantillons sur les forages sélectionnés montre, lorsque la donnée est disponible, des eaux qui semblent être à l'équilibre avec la fluorine. Cela est cohérent avec ce qui a été observé. Les eaux sont également sous saturées en gypse.

Au Sud de la Montagne Noire, côté Aude, la fluorite est largement retrouvée dans les alluvions. Dans cette région, à une cinquantaine de kilomètres au Nord de Carcassonne, la mine de Salsigne exploitée pour l'or présente un gisement de fluorapatites (phosphates de calcium et de fluor).

Les prospections réalisées sur la partie sud-est du Massif Central ne répertorient pas de gisements de fluorite sur la face nord de la Montagne Noire. Cependant, les prospections réalisées à Escoussens et, plus à l'est, à Rouairoux, ont révélé la présence de gisements de Zinc, Cuivre et Plomb. Les prélèvements faits dans les alluvions des contreforts de la Montagne Noire pour des objectifs miniers dans les années 70 ont uniquement mis en avant la présence de sheelite sur la face nord. La partie Sud est plus « riche » avec des sédiments contenant de la fluorine, et de l'or.

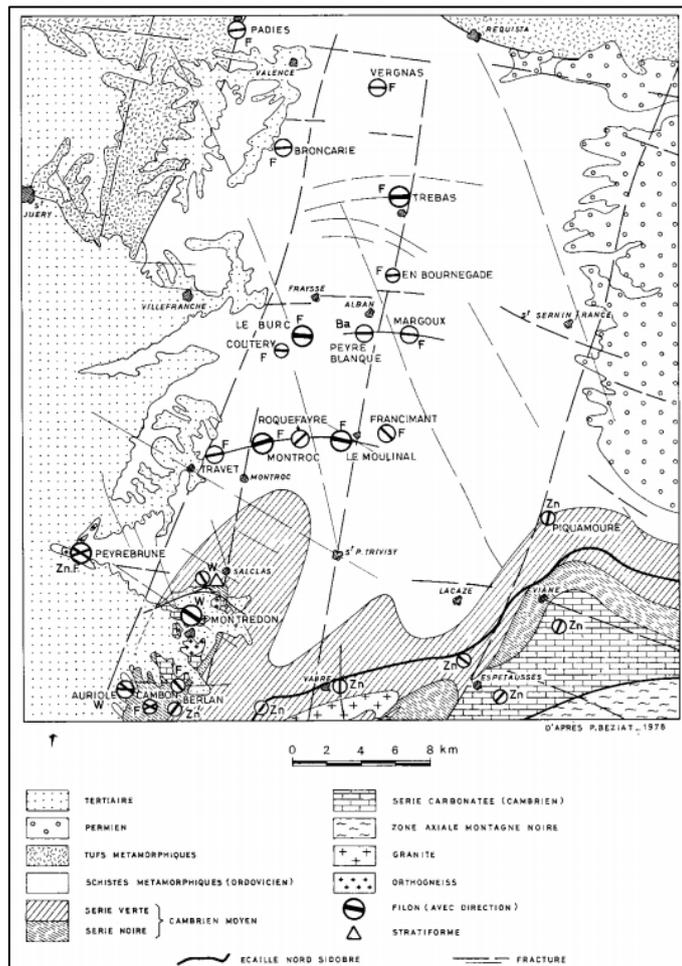


Figure 20 - Carte géologique de la zone exploitée pour ses filons de Fluorine dans le Tarn (Beziat, 1978)

3.5.5 Isotopie

Proche de la zone d'étude de la Montagne Noire, seuls les forages de Blagnac Piscine (09838B0203) et de Lalbarède (09857X0104) ont fait l'objet de prélèvements pour l'étude des écoulements au sein des SIM par isotopie (cf. Figure 21).

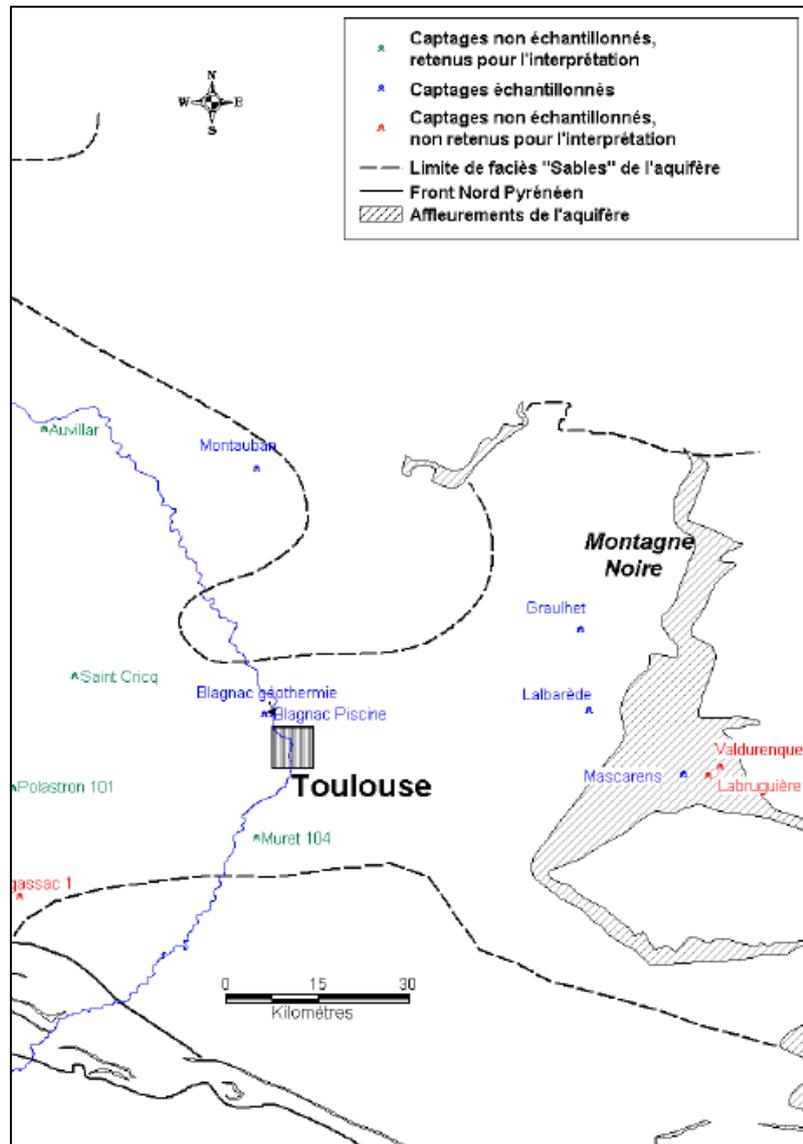


Figure 21 - Points échantillonnés pour la compréhension des écoulements dans l'aquifère des SIM par utilisation des outils géochimiques (André, 2002)

3.5.5.1 Les isotopes de l'eau

Les isotopes de l'eau $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ sont utiles lorsqu'il s'agit de déterminer les conditions de recharge des eaux souterraines (altitude, climat au moment de la recharge, évaporation de l'eau au moment de la recharge, origine de la pluie). Ces outils de datation permettent par exemple de mettre en avant une recharge ayant eu lieu lors d'un climat plus froid que l'actuel (Pléistocène). Pour évaluer l'altitude de la recharge, la connaissance des gradients isotopiques dans la pluie (baisse des teneurs en fonction de l'altitude) est nécessaire (Bourgine et al., 1997).

Les eaux de Lalbarède et de Blagnac sont légèrement enrichies en ^{18}O par rapport à la Droite des Eaux Météoriques Mondiales (Negrel et al, 2008, illustration 21 page 52). Bien que le nombre d'analyses soit largement insuffisant pour tirer une conclusion quelconque quant à l'origine des eaux des SIM, il est possible d'émettre l'hypothèse que les eaux sont d'origine météorique, et ont subi une légère évaporation au moment de l'infiltration, ou bien il y a apport d'eau(x) plus profonde(s) enrichie(s) en $\delta^{18}\text{O}$.

3.5.5.2 Isotopes du Carbone (^{13}C et ^{14}C)

Le carbone est intéressant car issu du sol il est témoin d'une dégradation de la matière organique dans l'aquifère, ou de remontées de CO_2 mantellique. Il est possible de réaliser une datation des eaux allant de quelques centaines d'années à 40 000 ans en se basant sur le principe de la loi de décroissance radioactive du carbone :

$$A = A_0 * e^{-\lambda t}$$

Avec A l'activité au temps t ; A_0 l'activité à la fermeture du système ; λ la constante de dégradation radioactive ; t le temps au moment de la mesure (en années).

La période de demi vie de l'élément définie par :

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

est de 5730 ans ce qui permet d'estimer le temps écoulé depuis la fermeture du système suivant :

$$t = \frac{T}{\ln 2} \left[\ln \left(\frac{A_0}{A} \right) \right]$$

Pour estimer l'âge des eaux, il est également important de prendre en compte l'activité en ^{13}C . Le carbone 13 apporte des informations supplémentaires sur l'origine du carbone en solution (origine mantellique, sol ou activité bactérienne...) et il permet de corriger l'estimation de l'âge des eaux selon des modèles de calculs établis dans la littérature.

L'âge des eaux (estimé via les teneurs en ^{13}C et ^{14}C) sur Blagnac et Lalbarède est évalué à environ 25 000 ans, ce qui fait état d'un faible renouvellement des eaux du réservoir.

3.5.5.3 Soufre 34

Élément essentiel aux plantes, le soufre dissous dans les eaux est présent sous forme oxydée ou réduite. Les sulfates, forme oxydée, sont très sensibles aux conditions d'oxydo-réduction du fait de la large gamme d'état d'oxydation de la molécule (-II + VI). L'origine du soufre 34 au toit de l'aquifère des SIM sur les forages de Blagnac et de Lalbarède a été attribuée en grande partie à la dissolution du gypse, gypse présent dans les formations situées au toit de l'aquifère des SIM (André, 2002).

4. Potentialité de recharge des aquifères éocènes

4.1 APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE

La formation des SIM est très peu présente à l'affleurement dans le Sud du Bassin aquitain, se situant en règle générale sous un recouvrement épais de formations molassiques peu perméables. Mises à part les structures anticlinales du Sud-Ouest du Bassin aquitain, certains secteurs présentent cependant des configurations favorables, comme le secteur de Bordes-Angais dans la zone alluviale du Gave de Pau où les sables de Baliros sont en contact des alluvions, ou encore le synclinal de Bouzin ou celui de Mazères-La Coste dans lesquels affleurent les Grès à Nummulites à l'extrémité Ouest des Petites Pyrénées (cf. Figure 22).

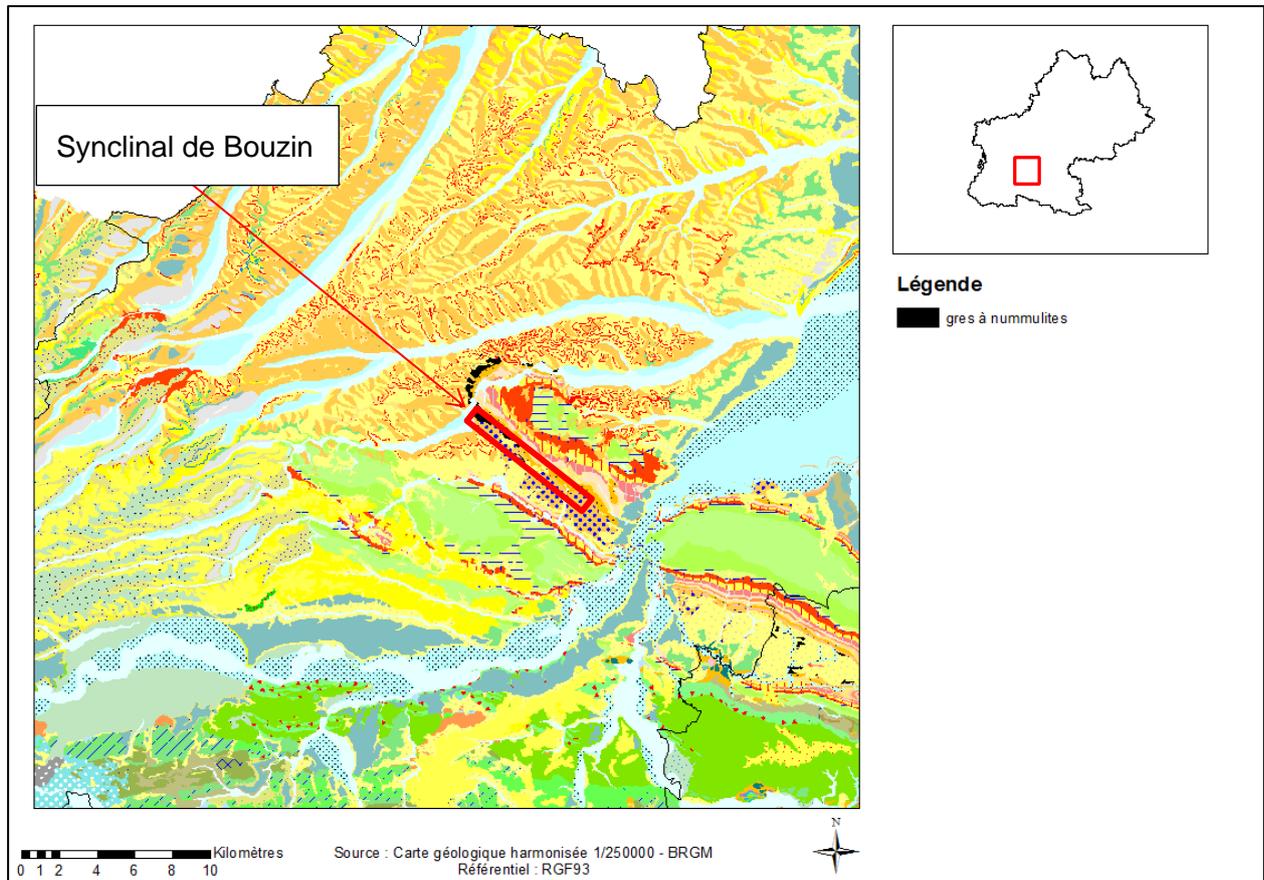


Figure 22 - Zones d'affleurement des grès à Nummulites au nord du synclinal de Bouzin (Haute Garonne)

En dehors de ces secteurs, les zones susceptibles de participer à la recharge de l'aquifère profond des SIM ont été identifiées sur la base de la piézométrie disponible (cf. Figure 13) et de l'identification à l'affleurement de formations relais suffisamment perméables, qu'elles soient contemporaines des SIM dans leur dépôt (argiles à graviers par exemple) ou postérieures (calcaires de Castres par exemple). Les zones ciblées sont situées sur les contreforts de la Montagne Noire, les Petites Pyrénées et en Béarn et Bigorre (cf. Figure 23).

Des évaluations de la recharge ont été effectuées sur ces secteurs dans le cadre de thèses réalisées dans les années 1965-1970. Ainsi, les Petites Pyrénées ont été l'objet d'une thèse soutenue par Guessab (1970) qui a estimé l'infiltration à hauteur de 12 millions de m³/an. La

participation des contreforts de la Montagne Noire a été étudiée par Faugère (1970) et une alimentation potentielle de 18 millions de m³/an a été estimée. Les autres zones d'alimentation seraient situées dans la région de Béarn et Bigorre avec une participation par infiltration directe évaluée à 15 millions de m³/an, sans compter les apports par les nappes sous-jacentes (Crétacé, Paléocène). Enfin, une recharge importante est envisagée au Nord-Est par Le Gallic (1966), via les Sables du Sidérolithique et à hauteur de 25 millions de m³/an (cf. Figure 23).

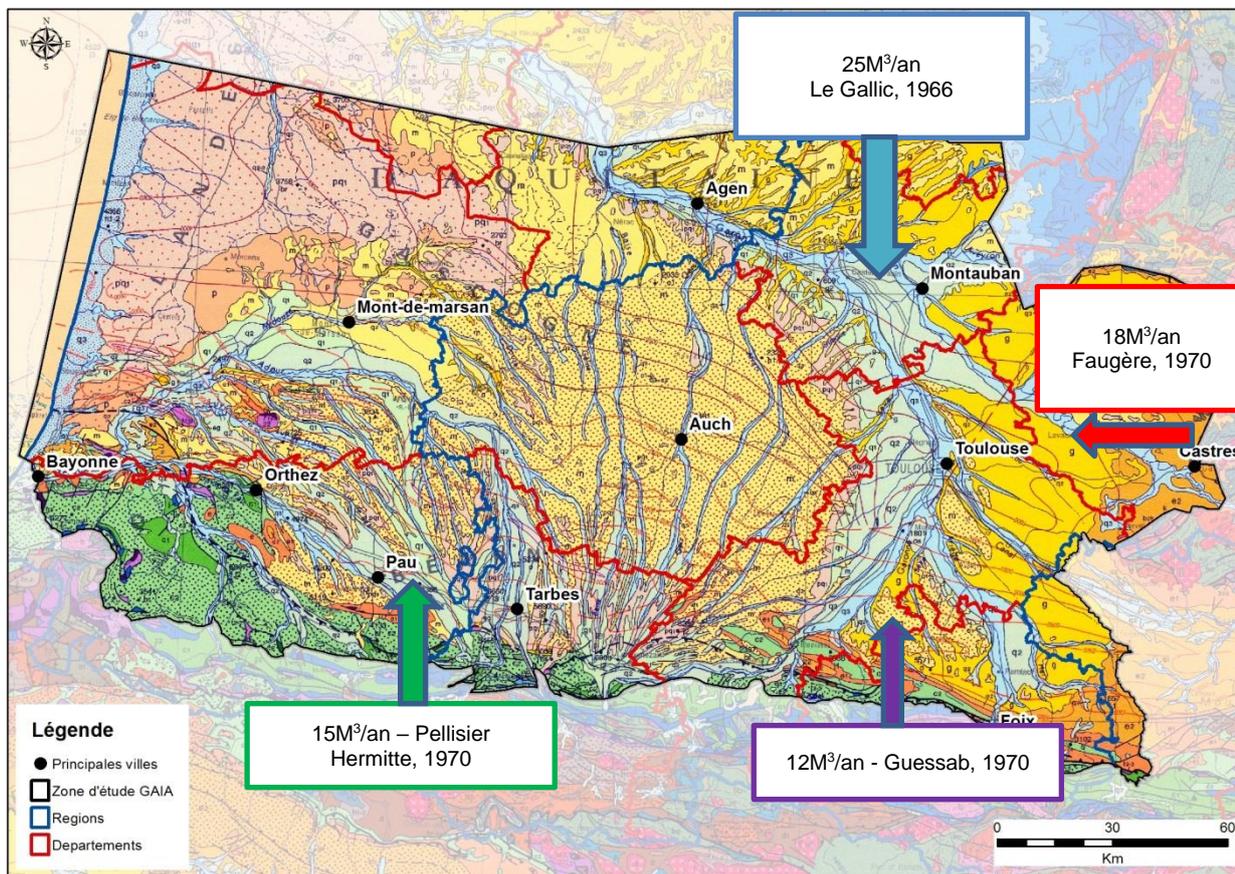


Figure 23 - Estimations de la recharge apportée à l'aquifère des SIM par les thèses des années 1965-70

A la même époque, d'autres études (Bellemare, 1972 ; Maget, 1969 ; Kühn, 1969) ont également contribué à l'amélioration de la connaissance de l'alimentation de l'aquifère des SIM. Par exemple, l'hypothèse d'une alimentation des SIM par les aquifères sous-jacentes dans les Petites Pyrénées a été mise en exergue par Bellemare (1972) dans le cadre de sa thèse, particulièrement au niveau du Plantaurel. Dans ce secteur, ce sont les grès de Labarre et d'Alet du Crétacé supérieur et les calcaires à Miliolites du Thanétien qui avaient été identifiés comme susceptibles d'alimenter les SIM (Bellemare, 1972).

Plus tardivement, l'étude des caractéristiques géochimiques et isotopiques des eaux des Sables Infra-Molassiques (André, 2002) a permis de démontrer l'existence d'une alimentation des SIM par les formations molassiques sus-jacentes. Cette alimentation a été confirmée au travers de la modélisation hydrodynamique des aquifères profonds du Sud du Bassin aquitain réalisée par Douez dans le cadre de sa thèse (2007).

4.2 FORMATIONS À L'AFFLEUREMENT SUR LES CONTREFORTS DE LA MONTAGNE NOIRE

Le principal équivalent temporel des SIM (Yprésien - Lutétien supérieur) sur la bordure Ouest et Sud-Ouest du Massif Central est constitué par les **argiles à graviers** (Galharague et Roche, 1970). Cette formation est présente à l'affleurement (cf. Figure 24) depuis l'extrémité Sud du dôme de la Grésigne (alors représentée par le sidérolithique), jusqu'au Nord de Castres (faciès plus argileux des argiles à graviers), où elle est surmontée par les calcaires de Castres. Plus à l'Ouest, les argiles à graviers sont sous recouvrement des formations molassiques.

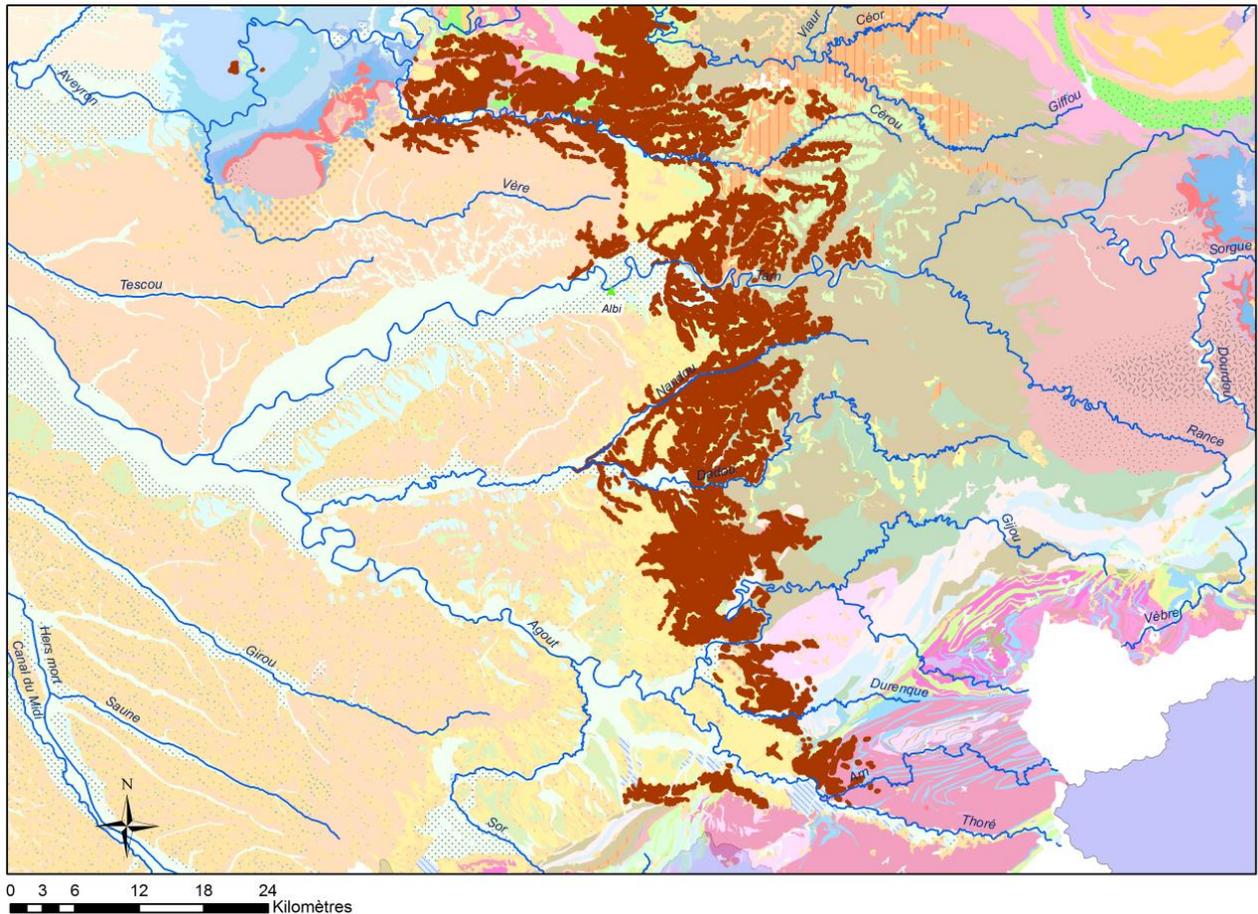
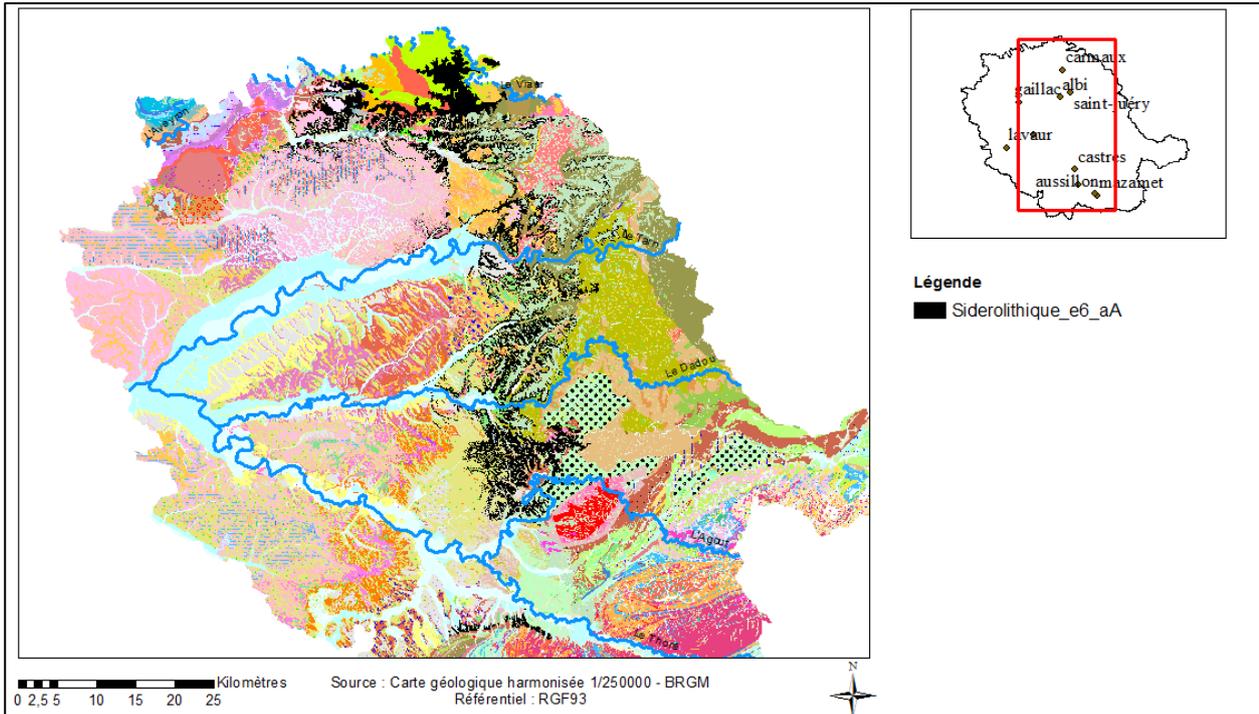


Figure 24 - Zones d'affleurement des argiles à graviers dans le département du Tarn (en marron) sur fond de carte géologique harmonisée du Tarn à l'échelle 1/50 000^{ème}

Ce sont les passées détritiques (sables et graviers) intercalées dans les dépôts argileux qui confèrent à la formation son potentiel (Kühn, 1969). Dans le cadre de son étude, Kühn soulignait le caractère disséminé de ces passées, ainsi que leur faible épaisseur. Dans le cadre de sa thèse, Faugère (1970) évaluait à environ 10% la part de la pluie qui s'infiltrait sur les formations les plus perméables des argiles à graviers dans le bassin versant du Favié (localisé sur l'extrémité Ouest de la vallée sèche d'En Cabrière, au Nord de Caucalière).

Au Nord, les **formations sidérolithiques** très argileuses ont une faible perméabilité. Plus au sud, les dépôts détritiques peuvent devenir plus grossiers et présenter des perméabilités supérieures. Néanmoins, la faible extension de ces formations et la présence uniquement locale des passées sablo-graveleuses limitent la recharge (cf. Figure 25).



Les grès et graviers d'Issel sont le principal objet de la thèse de Bellemare (1972). Ils sont retrouvés sur la bordure occidentale et méridionale de la Montagne Noire où ils prennent place sur les argiles à graviers. Ils forment un ensemble poreux et perméable, d'une puissance de 50 m en moyenne, atteignant près de 70 m près d'Issel et diminuant vers l'Ouest (Kühn, 1969). Avec une extension inférieure à 1 km² (0.8 km² environ d'après la Carte géologique harmonisée à l'échelle 1/250 000^{ème}), la recharge par les affleurements des graviers d'Issel demeure très locale à l'échelle du département du Tarn (cf. Figure 26). Plus au sud, vers Castelnaudary, la formation comporte une proportion en marnes plus importante.

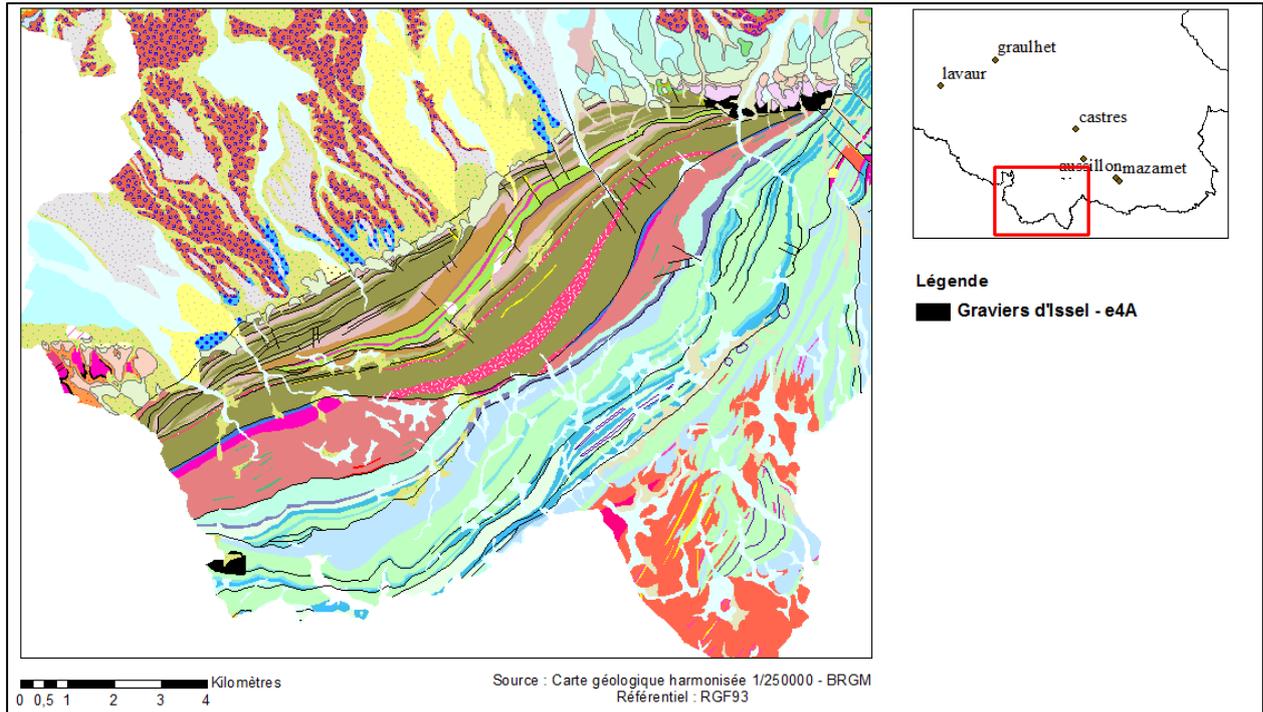


Figure 26 - Extension de la formation affleurante des Gravieres d'Issel

Formation lacustre située à la base de la molasse et reposant sur les argiles à graviers, les **calcaires de Castres (Lutétien supérieur - Bartonien inférieur)** sont présents sur le flanc Nord de la pointe de la Montagne Noire (cf. Figure 27). Présents sur une bande de 30 km de long sur environ 15 km de large, les calcaires de Castres affleurent sur environ 36 km² (d'après la carte géologique harmonisée à l'échelle 1/250 000^{ème}). Ils affleurent notamment dans les vallées du Thoré et de la Durenque. Largement étudiés dans la thèse de Faugère (1970), ils sont caractérisés par une bonne perméabilité. Faugère a en particulier étudié le comportement des formations présentes à l'affleurement dans le bassin versant du Favié. Il évalue l'infiltration sur cette formation des calcaires de Castres à environ 50% de la pluie, valeur particulièrement élevée.

Les formations molassiques constituent l'essentiel du remblaiement détritique tertiaire du Bassin aquitain. Dans l'ensemble très peu perméables, les molasses comportent d'une part des niveaux de calcaires ou sableux plus perméables et peuvent participer à l'alimentation des Sables Infra-Molassiques (André, 2002) compte tenu notamment de la superficie qu'elles occupent. Des entités semi-perméables sont ainsi identifiées dans la BD-LISA au sein des molasses de l'Eocène supérieur au Miocène du Bassin aquitain (322AA03 / 326AA05 / 330AA03). Ces entités se retrouvent dans la partie Ouest du département du Tarn (cf. Figure 28).

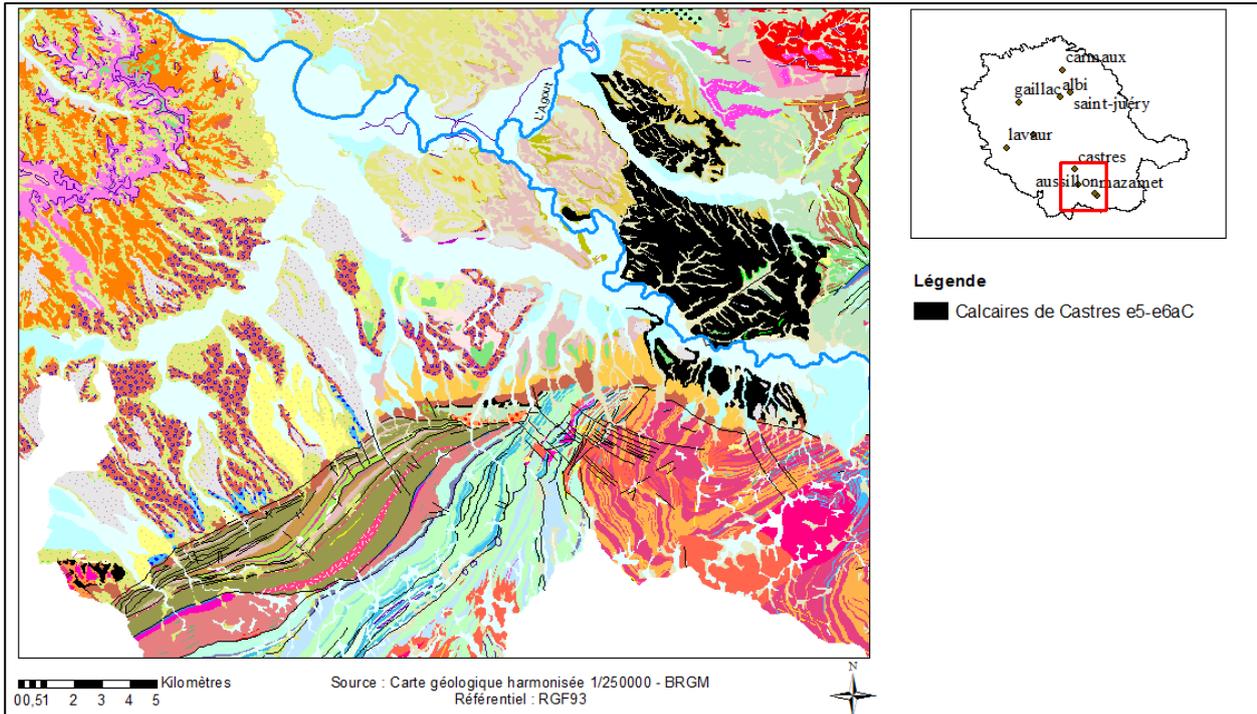


Figure 27 - Zones d'affleurement des Calcaires de Castres sur les contreforts de la Montagne Noire

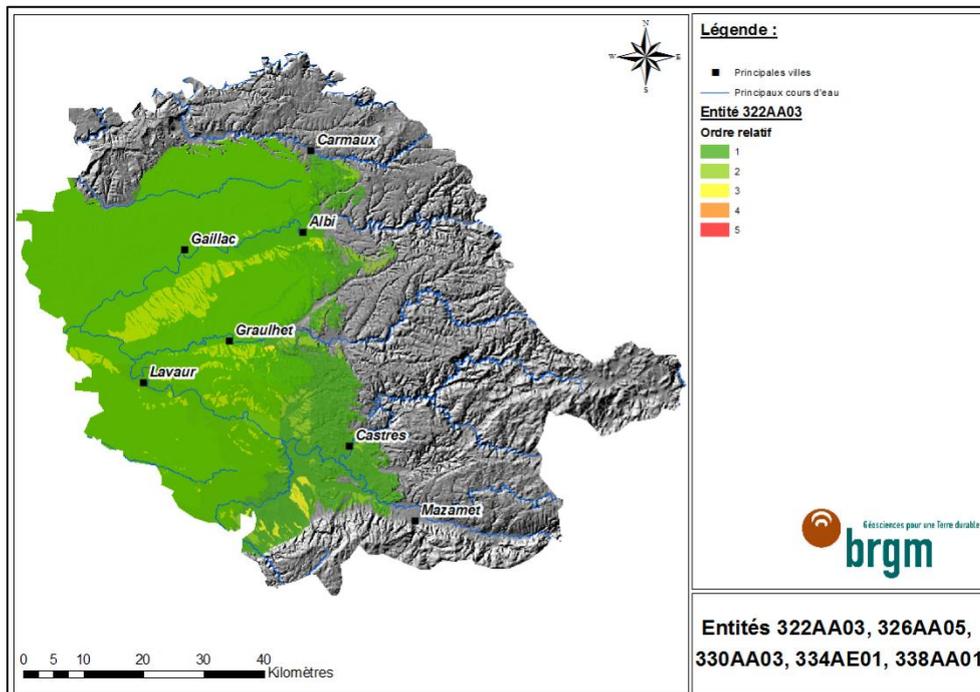


Figure 28 - Extension de l'entité molassique semi-perméable 322AA03 de la BD-LISA

Les formations alluviales du Quaternaire constituent un aquifère susceptible de jouer un rôle de relais dans l'alimentation des aquifères sous-jacents. La nappe alluviale de la Durenque est par exemple en relation avec les calcaires de Castres à partir de Valdurenque. Sur le Thoré, les sources de Théron, Ga, Engasc et Tignarié présentent un mélange des eaux de la nappe alluviale et de celle des calcaires de Castres.

Enfin, d'autres formations sont susceptibles de jouer un rôle dans l'alimentation des aquifères éocènes. **Les formations de socle** du Massif Central peuvent constituer un vecteur d'alimentation de la nappe des SIM par drainance ascendante. Cette éventualité demeure néanmoins dépendante de la perméabilité effective du socle et en particulier des altérites qui en compose la partie supérieure. La présence d'arènes granitiques constitue par exemple un facteur favorable à la circulation d'eaux souterraines. Le Lias peut constituer un autre vecteur.

Les entités semi perméables du socle sont référencées selon le code 370AC dans la BD-LISA. L'entité semi-perméable du Dadou est ainsi en contact avec les argiles à graviers et les formations gréseuses et conglomératiques de Puech Auriol entre Castres et Albi (à l'Est) ; l'entité semi perméable du Sor au Sud-Ouest du département du Tarn pourrait aussi jouer un rôle par contact avec le complexe bréchiqye Mortadelle, les niveaux calcaires (de Castres et Vielmur Cuq) ou les argiles à graviers. Les entités semi perméables du Thoré (370AC04 et 370AC03), du Gijou (370AC02) et de l'Agout (370AC01) sont directement sous-jacentes aux formations des calcaires de Castres et/ou des argiles à graviers dans la BD-LISA.

4.3 FORMATIONS À L'AFFLEUREMENT DANS LES PETITES-PYRÉNÉES

Équivalent temporel des sables de Lussagnet, la formation des **Poudingues de Palassou (Yprésien-Lutétien)** est constituée par des conglomérats d'origines différentes (calcaires, roches cristallines) cimentés par un ciment souvent dur et cristallisé (notice de la carte géologique à l'échelle 1/50 000^{ème} de Bagnères-de-Bigorre).

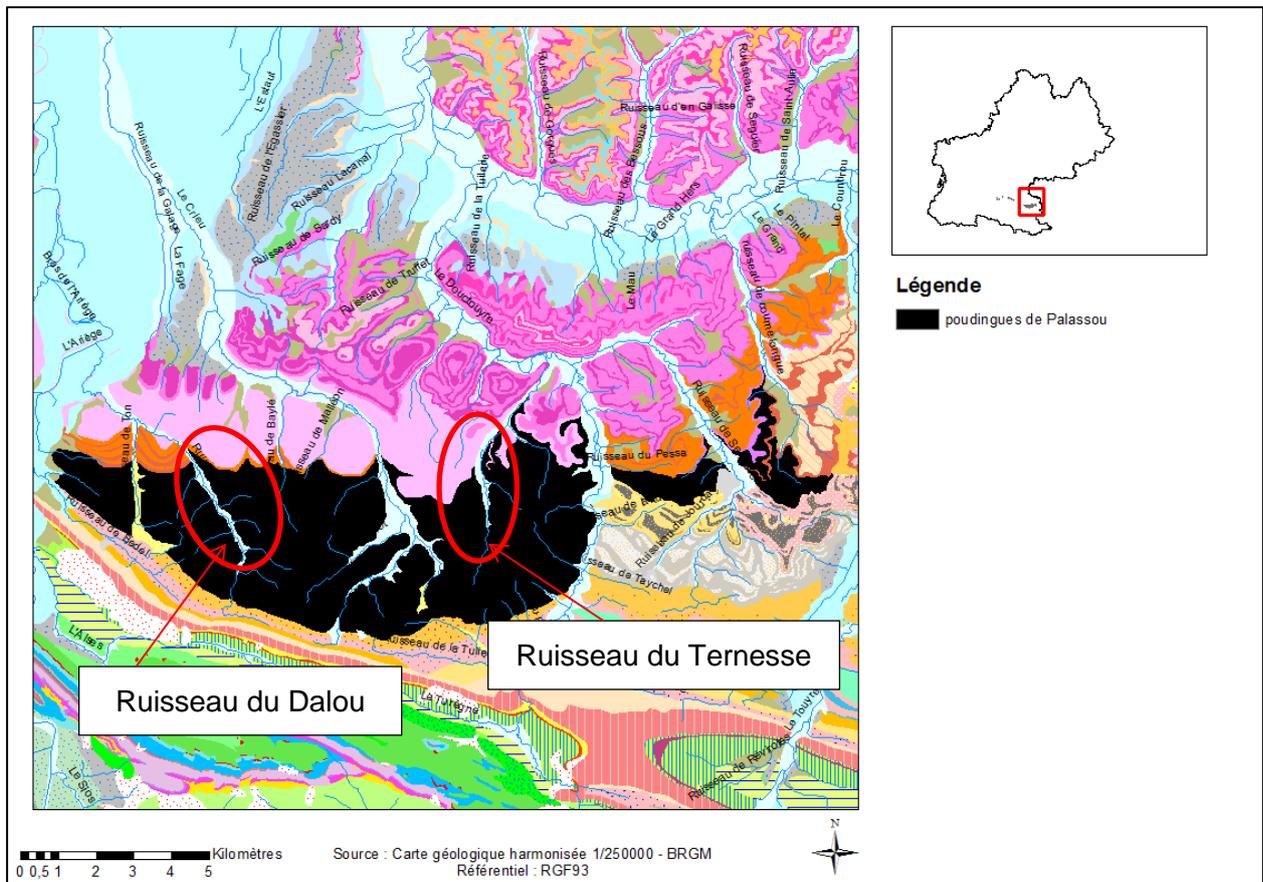


Figure 29 - Zones d'affleurement de la formation semi perméable des Poudingues de Palassou sur le Plantaurel au Sud Est de Pamiers (Ariège)

Ces Poudingues couvrent une superficie importante dans les bassins versants du Ternesse (affluent du Douctouyre) et du Dalou qui s'écoulent sur les affleurements de l'Eocène inférieur sur presque toute leur longueur (9 km et 13 km respectivement). Sur cette formation, la surface d'affleurement des Poudingues est d'environ 40 km² (cf. Figure 29).

Les Poudingues affleurent par ailleurs au profit des plissements importants connus dans les Petites-Pyrénées. Ils sont ainsi présents au Nord de l'anticlinal de Plagne-Richou-Le Mas d'Azil (cf. Figure 30) ou au cœur du synclinal de Bouzin (cf. Figure 31).

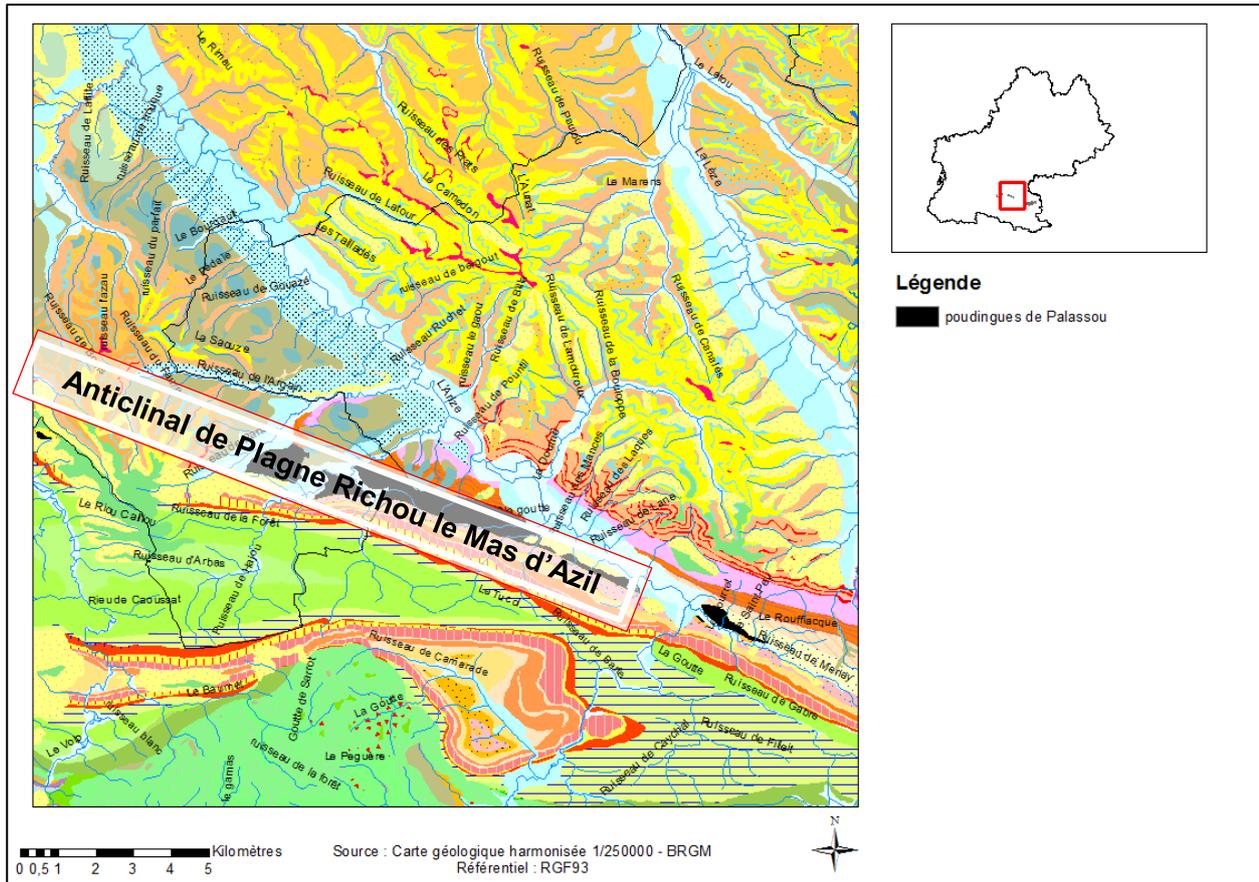


Figure 30 - Zones d'affleurement de la formation des Poudingues de Palassou au nord de l'anticlinal de Plagne-Richou-Le Mas d'Azil (Ariège)

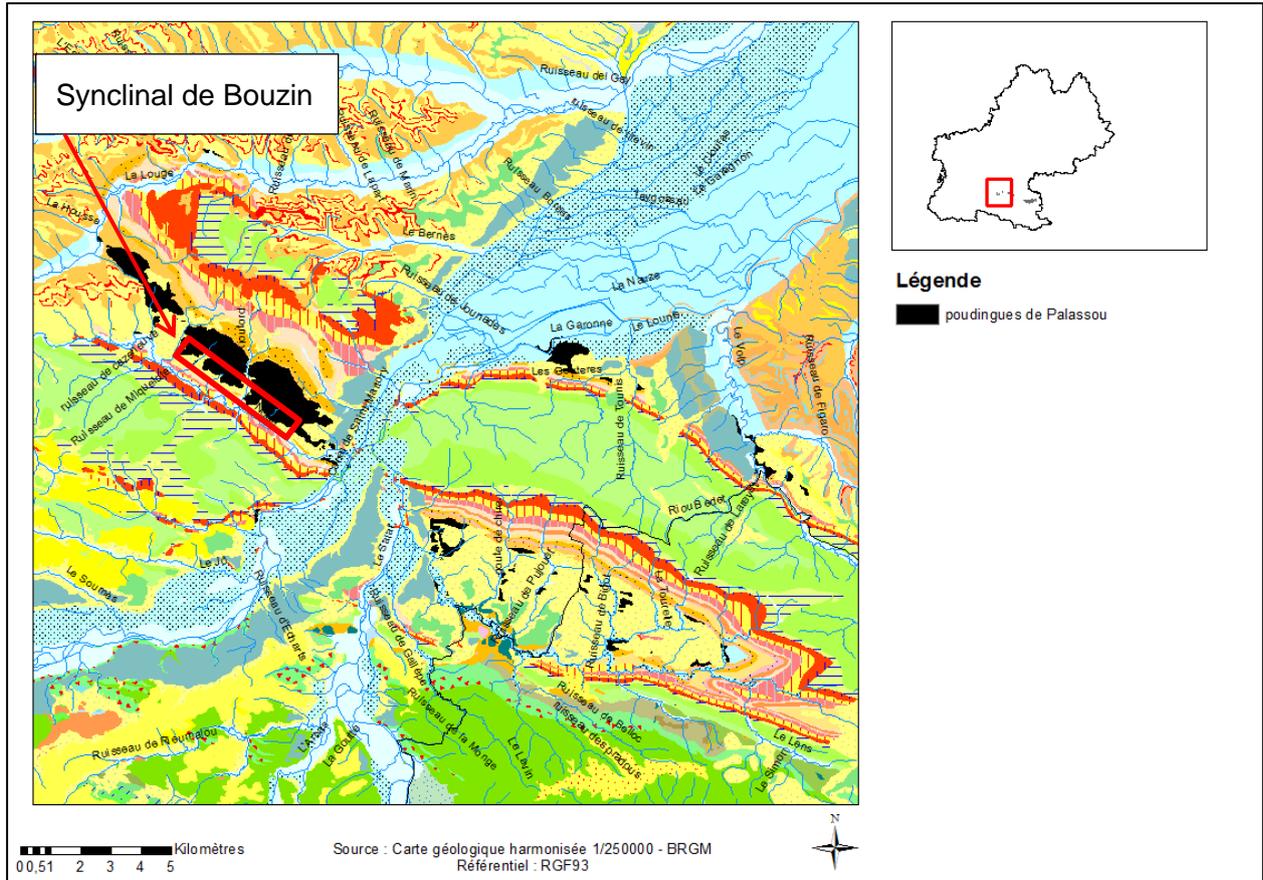


Figure 31 - Zones d'affleurement des poudingues de Palassou sur le synclinal de Bouzin (Haute-Garonne)

En bordure des structures des Petites Pyrénées, les **calcaires lacustres du Danien au Thanétien** (à faciès plus marneux) sont présents à l'affleurement sous forme de bandes plus ou moins étroites. Le calcaire du Thanétien (Calcaire à Miliolites avec Alvéolina) retrouvé à l'affleurement vers le Mas d'Azil, dans le Plantaurel, est large et bien développé (cf. Figure 32), comme l'indique la présence de grottes et cours souterrains (portion souterraine du Ruisseau du canal).

5. Campagnes de jaugeage

5.1 MÉTHODOLOGIE ET DONNÉES EXISTANTES

5.1.1 Objectifs et mode de sélection des cours d'eau

La campagne de jaugeages réalisée a eu pour objectif de rechercher l'existence de pertes éventuelles au droit de cours d'eau des deux zones investiguées, ainsi que l'existence éventuelle d'apports significatifs par les eaux souterraines. Elle s'est accompagnée de mesures des caractéristiques physico chimiques (pH, conductivité, potentiel Redox et O₂ dissous) dans le but d'identifier le cas échéant une évolution de ces paramètres entre l'amont et l'aval du tronçon jaugé.

La sélection des cours d'eau faisant l'objet des jaugeages différentiels a été réalisée sur la base des critères suivants :

- l'écoulement du cours d'eau se fait sur des formations aquifères ou semi-perméables de l'Éocène ;
- longueur de la surface d'échange entre la formation étudiée et le cours d'eau ;
- présence de stations hydrométriques en amont ou en aval ;
- représentativité de la formation géologique présente sur le tronçon par rapport à l'ensemble du bassin versant.

Ainsi, les tronçons de cours d'eau s'écoulant sur une longueur inférieure au kilomètre sur des affleurements homogènes ont été écartés. Cela a été en particulier appliqué pour les ruisseaux présents sur les calcaires de Castres, les grès d'Issel et les formations du Thanétien. Au final, au moins un cours d'eau par formation potentiellement perméable présente à l'affleurement a été sélectionné sur la zone d'étude (cf. annexe 5).

Les cours d'eau pré-sélectionnés pour la campagne de jaugeages différentiels sont visualisables sur les Figure 33 et Figure 34. La numérotation des tronçons permet d'en retrouver la dénomination dans l'annexe 5 (colonne « id »).

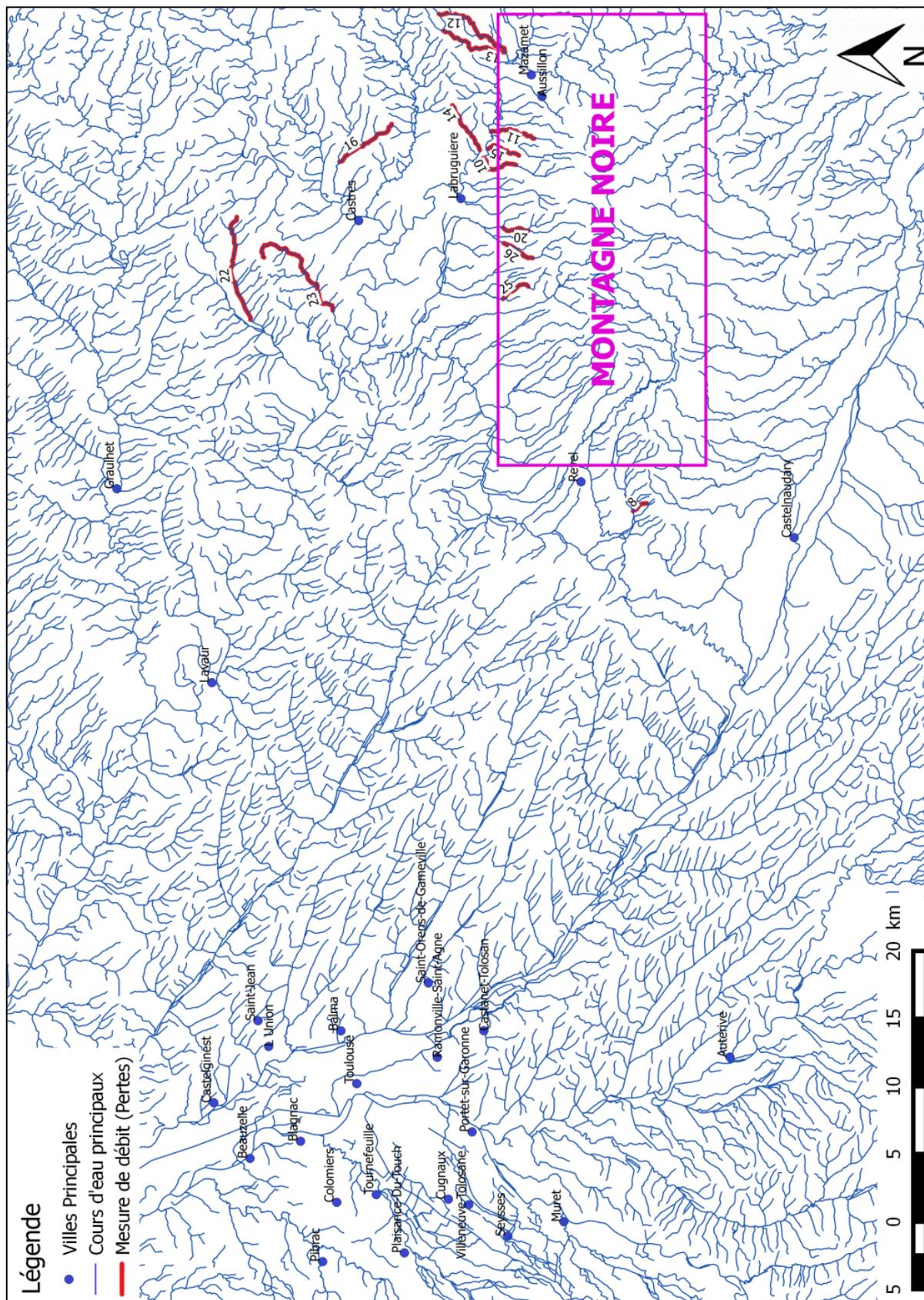


Figure 33 - Tronçons de cours d'eau sélectionnés sur les contreforts de la Montagne Noire pour la campagne de jaugeages différentiels (source : BD-CARTHAGE, IGN)

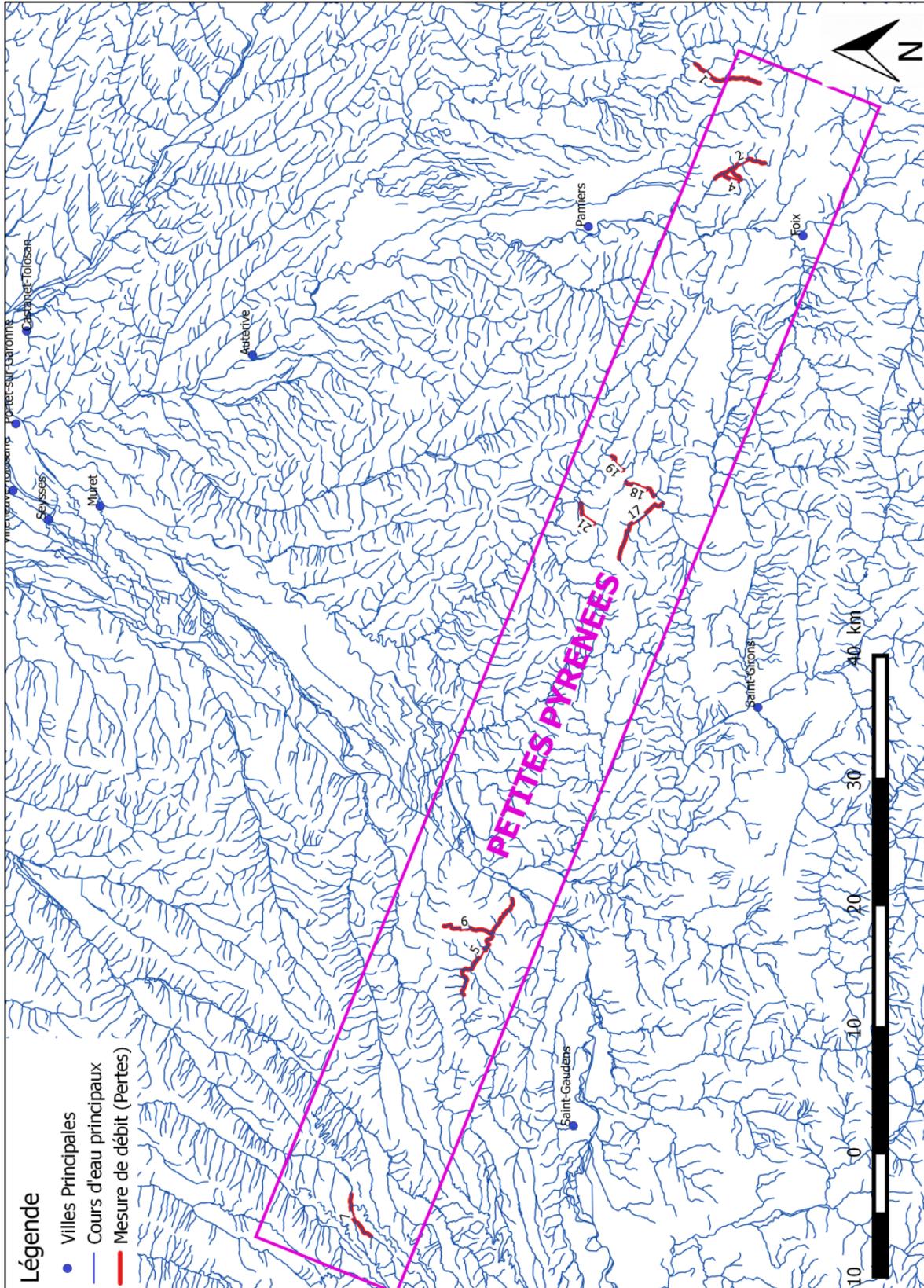


Figure 34 - Tronçons de cours d'eau sélectionnés sur les Petites Pyrénées pour la campagne de jaugeages différentiels (source : BD-CARTHAGE, IGN)

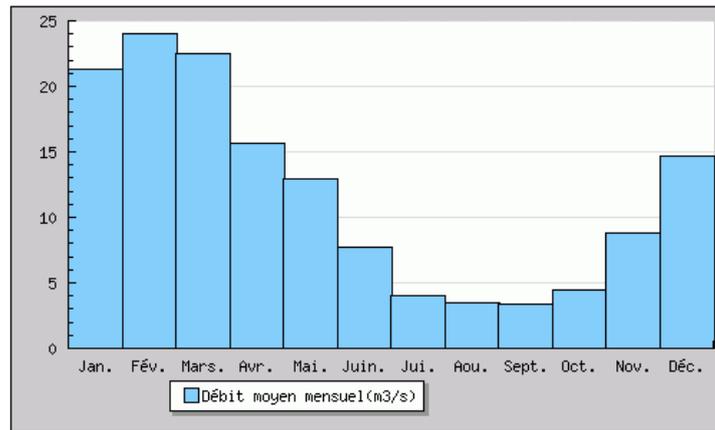


Figure 36 - Débits moyens mensuels écoulés à la station hydrométrique du Thoré à Payrin Augmontel sur la période 2003-2016 (station O4384010, Banque HYDRO)

Sur les contreforts des Petites Pyrénées, deux stations hydrométriques distantes d'environ 3 km ont suffisamment de données et sont situées sur une section de cours d'eau sélectionnée pour son intérêt pour le projet. Celles-ci (codes Hydro O0744020 et O0744030) sont situées en Ariège, sur le cours de l'Arize, qui s'écoule à l'Est du Mas d'Azil. Le débit de l'Arize sur ces stations est caractérisé par un QMNA5 d'environ 0,6 m³/s (cf. Tableau 5).

Identifiant	Nom	Q _{moy} (m³/s)	Q _{min} (m³/s)	Q _{max} (m³/s)	Module	Q _{MNA5} (m³/s)	BV (km²)
O0744020	L'Arize à Sabarat [Radelanque]		0.661	93	4.7	0.67	215
O0744030	L'Arize au Mas d'Azil		0.578	89	3.96	0.523	218

Tableau 5 - Données de synthèse aux stations hydrométriques O0744020 et O0744030 (Banque HYDRO)

Les chroniques de débits de ces cours d'eau montrent une variation annuelle assez importante, les mois d'août à octobre correspondant à une période de basses eaux (Figure 37 et Figure 38).

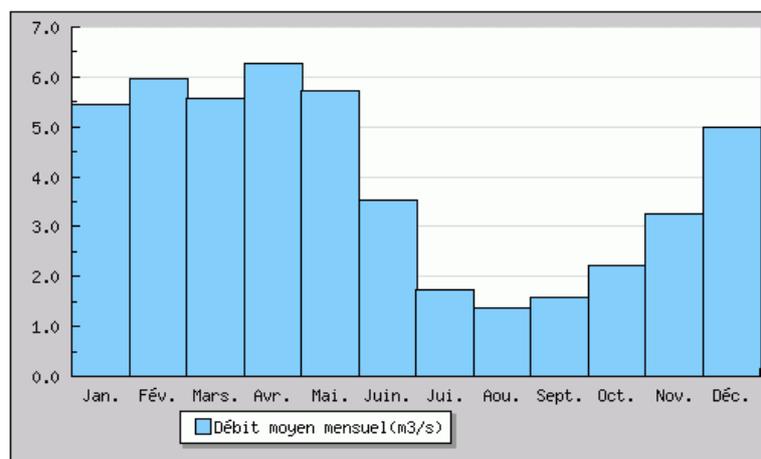


Figure 37 - Débits moyens mensuels écoulés à la station hydrométrique de l'Arize au Mas d'Azil entre janvier 1974 et et décembre 2008 (station O0744030, Banque HYDRO)

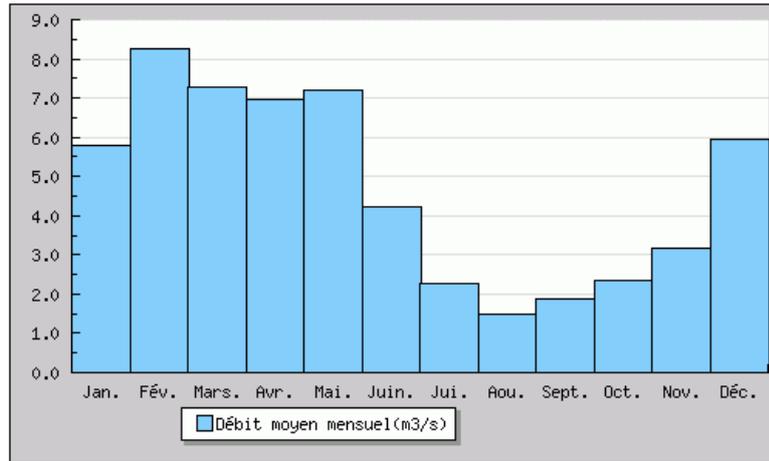


Figure 38 - Débits moyens mensuels écoulés à la station hydrométrique de l'Arize à Sabarat sur la période 1968-1985 (station O0744020, Banque HYDRO)

Les données hydrométriques présentées aux Figure 36 à Figure 38 permettent de préciser le cadre dans lequel seront effectuées les campagnes de terrain (cf. chapitre 5.2) : sans être en période de basses eaux, la décroissance des débits est d'ores et déjà bien amorcée sur les zones investiguées.

5.2 ORGANISATION DE LA CAMPAGNE DE TERRAIN

Pour des questions de logistique et les conditions météorologiques rencontrées lors de la première phase de la campagne, les jaugeages des cours d'eau sélectionnés ont été réalisés en deux temps.

La première campagne s'est déroulée entre le 9 et le 22 juin 2015, période durant laquelle des orages sont survenus sur le secteur tarnais. Les cours d'eau impactés présentaient donc un régime torrentiel. Le cours d'eau de l'Aybes a été peu affecté le 9 et 10 juin. Les mesures effectuées sur l'Issalès le 16 juin ont quant à elles été très impactées, la variabilité du débit étant largement observable au cours de la journée par des épisodes plus ou moins orageux. Que ce soit sur la Montagne Noire ou les Petites Pyrénées, un certain nombre de cours d'eau mesurés s'écoulant sur les calcaires affleurants étaient à sec sur toute ou partie de leur section. Sur les 10 cours d'eau sélectionnés, 8 ont pu être jaugeés lors de cette première phase.

Les deux sections restantes ont fait l'objet d'une campagne de terrain complémentaire réalisée fin juillet début août, à une période plus proche des basses eaux des cours d'eau.

Les mesures ont été effectuées d'aval en amont, en prenant les débits des affluents répertoriés dans la BD Carthage (IGN), sachant que tous les affluents ne sont pas représentés dans ce référentiel. Cependant, après vérification sur la carte IGN 1/25 000 et les photographies aériennes, les affluents pris en compte sont ceux dont le débit est le plus important et qui présentent un écoulement pérenne. Tous les affluents présents dans la BD Carthage ont été visités et/ou mesurés lors des campagnes de terrain.

Les jaugeages différentiels ont été effectués par différentes méthodes (volumétrique, physique et d'exploration du champ de vitesse), fonction des caractéristiques des cours d'eau jaugeés. Les méthodes mises en œuvre sont décrites en annexe 6. La méthodologie suit au mieux la charte de qualité d'hydrométrie (Foray, 1998).

5.3 RÉSULTATS

Les résultats des jaugeages et des mesures physicochimiques sont présentés dans les paragraphes suivants (5.3.1 et 5.3.2). Le compte rendu des campagnes de terrain est restitué en Annexe 7 et les résultats des mesures effectuées pour chaque section mesurée figurent en Annexes 8 et 9.

5.3.1 Montagne Noire

5.3.1.1 L'Aybes (Code Hydro : O4470500)

Le ruisseau de l'Aybes (#23), affluent rive droite de l'Agout, dont le bassin versant concerne principalement les formations molassiques éocènes, présentait les 9 et 10 juin 2015, un débit régulièrement croissant d'amont en aval. Des concrétions calcaires ont été observées dans le lit du cours d'eau lors de la campagne de mesures. Les mesures physico-chimiques confirment ces observations, avec des valeurs de pH plutôt basiques et une conductivité comprise entre 400 et 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cette dernière valeur étant rencontrée dans la partie amont du tronçon. La température varie peu, exception faite du premier affluent (23b) de faible débit. Cet affluent a une conductivité plus faible (452 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et un pH légèrement basique, similaire aux autres cours d'eau.

Le calcul du débit spécifique pour chaque section mesurée a été effectué (cf. Tableau 6).

Section cours d'eau	Débit (L/s)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/km ²)
23Am	5.5	0.9	6.0
23g1	10.3	4.1	2.5
23f1	11.3	8.6	1.3
23e1	23	11.9	1.9
23d1	20	15.4	1.3
23c1	28	17.9	1.6
23b1	34.7	19.4	1.8
23Av	35	20.4	1.7

Tableau 6 - Débits spécifiques calculés pour chaque section mesurée du ruisseau de l'Aybes

Le débit spécifique varie fortement sur la partie amont du bassin versant, passant de 6 l/s/km² à l'amont à 1,3 l/s/km² au niveau du point de mesure 23f1 (le débit double tandis que la superficie du bassin versant est multipliée par près de 10). Plus à l'aval, il reste stable autour d'une valeur comprise entre 1,3 l/s/km² et 1,9 l/s/km².

5.3.1.2 Ruisseau des Gourgs (Code Hydro : O4220650)

Affluent de l'Agout (rive gauche), le ruisseau des Gourgs a été jaugé sur une section d'environ 5 km s'écoulant principalement sur la formation des argiles à graviers. Les résultats montrent une augmentation graduelle du débit d'amont en aval, et peu de variation des paramètres physico-chimiques.

Le débit spécifique calculé est très faible et varie d'un facteur deux sur la zone investiguée (Tableau 7).

Section cours d'eau	Débit (L/s)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/km ²)
16Am	0.2	1.0	0.2
16b1	1.4	3.5	0.4
16a1	1.6	6.8	0.2
16Av	3	8.8	0.3

Tableau 7 - Débits spécifiques calculés pour chaque section mesurée du ruisseau des Gourgs

5.3.1.3 Le Favié (Code Hydro : O4390570)

Affluent du Thoré (rive droite), le ruisseau du Favié (#14) était en assec à environ 1 km en aval d'une retenue d'eau, confirmant les observations et mesures effectuées lors de l'évaluation des conditions d'alimentation de la nappe sous molassique (Faugère, 1970). Le réseau karstique des calcaires de Castres est très développé ici, permettant une infiltration rapide des eaux de surface. Après échanges avec les propriétaires environnants, ce ruisseau s'écoule seulement en période de hautes eaux (printemps). Un essai de traçage a été effectué lors de la thèse conduite par Faugère (1970) mais aucun résultat n'a pu être mis en évidence du fait de l'occurrence d'un épisode orageux qui aurait remis le ruisseau en eau sur toute sa section. Il était attendu que des résurgences soient observées dans le Thoré.

5.3.1.4 Ruisseau de la Resse (Code Hydro : O4390510)

Affluent du Thoré en rive gauche, le ruisseau numéroté #15 devant initialement être jaugé était à sec sur toute sa longueur lors de la campagne de mesures. Il s'écoule sur les calcaires de Castres (section aval) et sur les argiles à graviers (section amont).

En remplacement, le ruisseau de la Resse (#10), situé à proximité a pu être jaugé. La partie amont de son bassin versant concerne les formations de socle de la Montagne Noire (orthogneiss et monzogranites principalement). Entre les deux points de jaugeage amont et aval, le ruisseau s'écoule successivement sur les argiles à graviers et sur les calcaires de Castres. Mentionné dans la bibliographie et sur les cartes de l'IGN, la section aval est ainsi soumise à des pertes, dont la résurgence a été identifiée par traçage lors de la thèse de Faugère (1970). Les mesures de jaugeage et de physico-chimie ont été effectuées en amont et en aval de cette section. Des pertes de près de 80 l/s sont évaluées à partir de ces mesures de jaugeages différentiels (Tableau 8).

Section cours d'eau	Débit (L/s)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/km ²)
10Am	124	8.6	14.4
10Av	38	10.7	3.5

Tableau 8 - Débits spécifiques calculés pour chaque section mesurée du ruisseau de la Resse

D'après la bibliographie, ces pertes se situent un peu en aval de la station amont de jaugeage. Après vérification sur le terrain, il a été possible d'observer la zone d'infiltration, qui s'étend sur environ 50 m linéaires, avec une succession de bassins (zones quasi-stagnantes) reposants sur une lithologie sableuse. Un des lieux de résurgence se situe à une dizaine de mètres en amont du point de mesure aval, au sein d'une grotte calcaire (Figure 39). On note qu'une part importante du débit infiltré n'est pas restituée.



Figure 39 - Résurgence de la Resse, au lieu-dit d'En Sire (commune de Labruguière)

Enfin, les pertes observées se traduisent par une diminution d'un facteur 4 du débit spécifique sur ce tronçon (Tableau 8). En termes de paramètres physico-chimiques, un enrichissement de la minéralisation de l'eau est observé (conductivité électrique passant de 30 à 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ce qui laisse envisager un enrichissement minéralogique de l'eau au contact de l'encaissant calcaire lors de son parcours souterrain.

5.3.1.5 Ruisseau de l'Issalès (Code Hydro : O4380500)

Affluent rive droite du Thoré, le ruisseau de l'Issalès est issu du trop-plein du barrage hydraulique du Pas des bêtes (utilisé pour l'adduction d'eau potable et l'irrigation). Son bassin versant concerne les formations de socle de la Montagne Noire (orthogneiss principalement) sous recouvrement sporadique d'argiles à graviers.

Lors de la première campagne de juin, le cours d'eau connaissait un régime torrentiel, avec des apports très importants issus des affluents et une grande variabilité de son débit dans le temps. Les jaugeages n'étaient donc pas exploitables et le cours d'eau a été jaugé à nouveau lors de la seconde campagne de terrain (fin juillet). A cette date, les apports par les affluents étaient nuls (affluent aval 13a) ou très faibles, et le débit mesuré était croissant d'amont en aval (cf. Tableau 9). On note par ailleurs une diminution du débit spécifique d'amont en aval.

Section cours d'eau	débit (L/s)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/km ²)
13Am	13.8	3.5	4.0
13b1	14.0	4.7	3.0
13b	2.3	0.6	3.7
13b1Av	16.3	5.3	3.1
13Av	18.0	8.5	2.1

Tableau 9 - Débits spécifiques calculés pour chaque section mesurée du ruisseau de l'Issalès

Les paramètres physico-chimiques mesurés ne permettent pas de qualifier la nature des échanges entre le cours d'eau et la ou les nappe(s) environnante(s). L'affluent 13b possède une conductivité élevée et un pH faible, ainsi qu'un potentiel Redox assez important (300mV) mais son apport quantitatif au débit du cours d'eau principal n'est pas suffisant pour avoir un impact mesurable.

5.3.2 Petites Pyrénées-Plantaurel

5.3.2.1 Ruisseau du Rioutord (Code Hydro : O0291070)

Les débits du ruisseau du Rioutord, d'écoulement nord-sud, et de son affluent (rive gauche) ont été mesurés sur une section de 4,2 km de longueur environ. Prenant naissance au sein des séries carbonatées du Paléocène, aucun écoulement n'a été identifié au niveau de son émergence connu lors de la campagne de terrain. Le ruisseau s'écoule par la suite traversant une structure synclinale formée des différentes formations aquifères et peu perméables du Paléocène et de l'Eocène (dont les poudingues de Palassou située au centre du synclinal). Les mesures de jaugeages montrent une augmentation du débit d'amont en aval (cf. Tableau 10). Le débit spécifique est de l'ordre de 2 l/s/km² sur la partie aval mais est beaucoup plus faible dans la partie amont (0,3 l/s/km²).

Section cours d'eau	Débit (L/s)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/km ²)
6Am	0.6	2.0	0.3
6a1	11.5	5.1	2.3
6Av	13	6.8	1.9

Tableau 10 - Débits spécifiques calculés pour chaque section mesurée du ruisseau du Rioutord

Les mesures du pH et de la conductivité sont stables sur le tronçon étudié.

5.3.2.2 Ruisseau du Camarade (Code Hydro : O0740510)

Prenant naissance au sein des formations bréchiques de l'Albien le ruisseau du Camarade, affluent de l'Arize, s'écoule selon une direction ouest – est en traversant la totalité des séries carbonatées et gréseuses (aquifères et peu perméables) du Paléocène et de l'Eocène formant la structure synclinale. Circulant sur des affleurements majoritairement calcaires, plusieurs des affluents devant initialement faire l'objet de mesures étaient à sec lors de la campagne. Au profit d'un changement de lithologie au contact du lit du cours d'eau (entrée dans les calcaires à Alveolina de l'Illerdien), le ruisseau du Camarade était à sec sur une portion d'environ 3 km (entre 17a1 et 17d1, cf. annexe 8f) et n'était plus alimenté à l'aval que par l'un de ses affluents.

Les débits spécifiques (Tableau 11) sont relativement hétérogènes sur la section de cours d'eau étudiée. On note cependant la bonne adéquation entre les débits spécifiques calculés avant les pertes (section 17d1) et après les pertes (section 17Av), ce qui laisse envisager une restitution des pertes au sein du bassin versant.

Section cours d'eau	Débit (L/s)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/m ²)
17Am	1.2	1.7	0.7
17d1	34	10.9	3.1
17a1	14	15.6	0.9
17Av	55	18.6	3.0

Tableau 11 - Débits spécifiques calculés pour chaque section mesurée du ruisseau du Camarade

Les mesures physico-chimiques sont difficilement interprétables, les zones de stagnation étant relativement nombreuses tout au long de la section.

5.3.2.3 Rivière de l'Arize (Code Hydro : O070400)

L'Arize a été jaugée sur deux portions distinctes en amont (en plusieurs points sur une distance de 2,9 km) et en aval (sur une distance de 1,7 km) du Mas d'Azil. Contrairement aux autres jaugages, celui-ci est effectué sur une rivière à fort débit (> 500 l/s), avec des largeurs de tronçon de près de 15 m à certains endroits. Les débits augmentent d'amont en aval, avec un delta de plus de 100 l/s bien qu'aucun autre apport significatif n'ait été observé en surface (Tableau 12 et Annexe 8g – le ruisseau des Hounts ayant un très faible débit). Pour mémoire, cette section concerne la portion semi souterraine de la grotte du Mas d'Azil développée dans les calcaires du Paléocène. Les débits spécifiques augmentent de l'amont vers l'aval.

Section cours d'eau	Débit (L/s)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/km ²)
18Am	561	208	2.7
18Av	672	218	3.1

Tableau 12 - Débits spécifiques calculés pour l'Arize en amont du Mas d'Azil

Section cours d'eau	Débit (L/s)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/km ²)
18Av	672	218	3.1
19a	327		
19Av	898	240	3.7

Tableau 13 - Débits spécifiques calculés pour l'Arize en aval du Mas d'Azil

Pour mémoire également, la DREAL suit deux stations hydrométriques (cf. 5.1.2) : la première est située au niveau du point 18Av et la seconde est intercalée entre les points 18Av et 19Av, après la confluence avec le ruisseau de Gabre. La conductivité sur le cours d'eau principal est relativement homogène, comprise entre 336 μ S/cm et 366 μ S/cm. De même, le pH est assez stable, avec une légère acidification d'amont en aval.

5.3.2.4 Ruisseau du Ternesse (Code Hydro : O1580500)

La partie amont du bassin versant du ruisseau de Ternesse concerne les poudingues de Palassou, la partie aval s'écoulant sur les formations molassiques de l'Oligocène. Le long de la section mesurée (6,2 km environ), le ruisseau s'infiltré et ressort à de nombreuses reprises au droit des formations de poudingues et de niveaux calcaires intercalés. Le débit très faible en amont (mesure au Bécher) augmente progressivement jusqu'à atteindre environ 6 l/s sur la section aval. La conductivité est comprise entre 470 (amont) et 550 μ S/cm (aval), et le pH varie de 8,6 en amont à 7,6 en aval. On note que les débits spécifiques sont particulièrement faibles (Tableau 14). Le détail des mesures réalisées figure en annexe 8h.

Section cours d'eau	Débit (L/s)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/km ²)
1Am	0.008	2.0	0.0
1c1	0.8	5.8	0.1
1Av	6	11.2	0.5

Tableau 14 - Débits spécifiques calculés pour chaque section mesurée du ruisseau du Ternesse

5.4 SYNTHÈSE DES PRINCIPALES OBSERVATIONS EFFECTUÉES

La Figure 40 restitue de façon synthétique les observations effectuées sur les différents cours d'eau du bassin de Castres lors de la campagne de jaugeage.

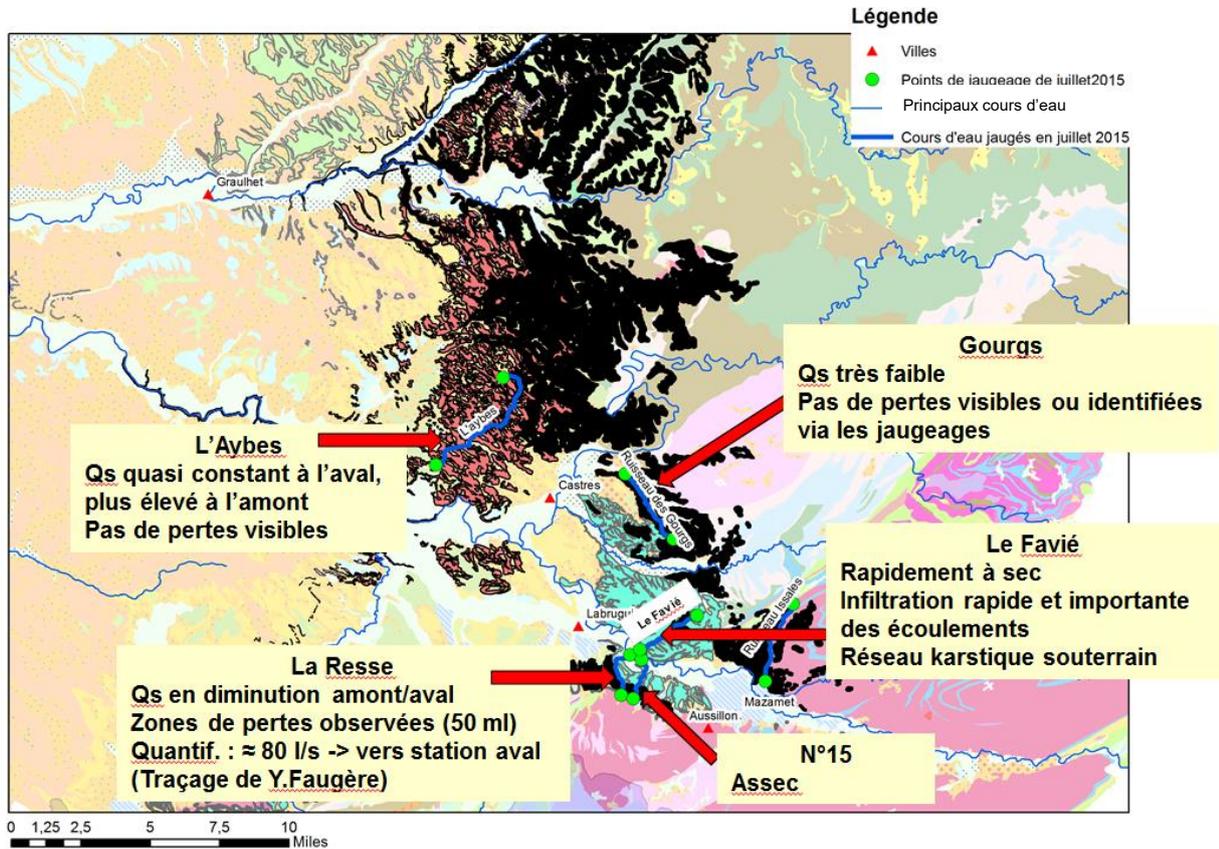


Figure 40 - Synthèse des observations effectuées lors de la campagne de jaugeages dans le bassin de Castres

Il ressort en particulier des jaugeages effectués sur le **ruisseau de la Resse** (Montagne Noire) lors de la campagne de juin 2015 que l'eau infiltrée dans la zone de pertes ne ressort que partiellement au niveau de la résurgence (petite grotte au lieu-dit d'En Sire). Deux possibilités sont alors envisageables :

- une partie de l'eau infiltrée par les pertes vient alimenter l'aquifère calcaire ;
- d'autres points de résurgence existent et n'ont pas été identifiés sur le terrain, le cas échéant dans un autre bassin versant. Des résurgences étaient ainsi identifiés par Faugère dans le lit du Thoré (cf. annexe 4).

La conductivité est faible sur la section, bien qu'une augmentation de la minéralisation ait été mesurée à la résurgence. En amont de la perte, la conductivité est typique d'eaux météoriques très peu minéralisées ($30 \mu\text{S}/\text{cm}$), tandis qu'elle ressort à $120 \mu\text{S}/\text{cm}$, traduisant un enrichissement minéral. Cette augmentation de la minéralisation est sans doute liée au contact de l'eau avec l'encaissant calcaire lors de son parcours souterrain.

Dans le secteur des Petites Pyrénées, le Camarade présente des zones de pertes sur sa section : son écoulement est nul sur environ 3 km entre Camarade et Lézères où les apports d'un affluent remettent le ruisseau en eau. Les zones d'infiltration ne sont pas clairement

définies mais semblent s'étendre sur une longueur d'environ 200 m. Sur cette section, le cours d'eau est soumis à une pente nettement plus faible, et la présence de végétation de part et d'autre est relativement dense. On note la concordance entre la décroissance du débit dans le cours d'eau puis son assèchement complet et l'entrée dans la formation des calcaires à Alveolina de l'Eocène inférieur.

La mesure de la physico-chimie n'a pas permis de mettre en avant une zone de résurgence, mais plusieurs sources issues du massif carbonaté en rive droite du ruisseau possèdent un écoulement pérenne à Lézères et à environ 2 km en aval de Lézères. Comme pour le ruisseau de la Resse, la conductivité augmente d'amont en aval, ce qui suppose une augmentation de la contribution souterraine à l'écoulement.

Le **ruisseau du Ternes** s'écoule sur des affleurements de poudingues de Palassou et présente de façon globale un accroissement du débit de l'amont vers l'aval. Dans le détail, il est aussi observé une alternance de zones d'assecs et d'écoulement sur son linéaire. Au vue des faibles débits observés lors de la campagne de jaugeage, il est difficile de déterminer si cette variabilité du débit est due à l'évapotranspiration (végétation importante sur les rives), à l'évaporation (faible gradient) ou à des pertes réelles pouvant alimenter l'aquifère sous-jacent. La physico-chimie ne fournit pas d'information nette permettant de conforter l'hypothèse d'un apport depuis la nappe en contact avec le cours d'eau. On observe cependant une minéralisation élevée et un accroissement de celle-ci de l'amont vers l'aval. Cette information est à mettre en lien avec l'existence de nombreux bancs calcaires au sein de la formation des poudingues de Palassou.

Enfin, on peut noter que les trois cours d'eau jaugés qui s'écoulent sur les argiles à graviers (Ruisseau des Gourgs, Ruisseau d'Issalès et le ruisseau du Doul) ne présentent pas de pertes sur les sections mesurées.

6. Campagne d'analyses physico-chimiques

La campagne de jaugeages différentiels a montré des phénomènes d'infiltration d'une partie des écoulements de surface, notamment sur les formations des calcaires de Castres pour les contreforts de la Montagne Noire et les affleurements calcaires des Petites Pyrénées-Plantaurel. Le doute subsiste par contre quant au potentiel infiltrant de la formation des poudingues de Palassou (Petites Pyrénées-Plantaurel).

Afin de confirmer ou infirmer l'hypothèse selon laquelle une partie des écoulements de surface s'infiltrent via des formations affleurantes perméables (telles que les calcaires de Castres), et rejoignent ensuite latéralement les Sables Infra-molassiques pour contribuer à leur alimentation, une campagne d'analyse physico-chimique a été organisée.

6.1 MÉTHODOLOGIE DE SÉLECTION DE POINTS DE PRÉLÈVEMENT

Compte tenu de la complexité de la géométrie des aquifères dans le secteur des Petites Pyrénées-Plantaurel, il a été décidé de focaliser la campagne d'analyses sur les processus de recharge dans le secteur des contreforts de la Montagne Noire.

Un inventaire des forages profonds disposant de données géologiques (coupes, log) et physico-chimiques a été réalisé. Les résultats sont synthétisés sous forme d'une carte, présentée en annexe 10. Notons que la détermination des aquifères captés repose sur une connaissance « historique » non mise à jour des travaux géologiques en cours de réalisation dans le cadre du projet GAIA. La révision attendue des aquifères captés par les différents ouvrages est prévue ultérieurement.

Il ressort des données disponibles que les forages profonds alignés le long de la vallée de l'Agout montrent des teneurs en fluor anormalement élevées. L'origine de cet enrichissement n'est pas clairement identifiée et sa compréhension pourrait permettre d'orienter les réflexions en matière d'écoulements souterrains. La campagne d'analyses s'est donc intéressée à cette problématique d'enrichissement en fluor. Les sites de prélèvements ont été sélectionnés selon les critères suivants :

- Sélection de plusieurs forages captant les sables infra-molassiques ;
- Lorsque ces forages ne sont pas exploités par une pompe en place, ceux-ci doivent présenter un niveau statique proche de la surface du sol (niveau statique < 20 m par rapport au sol). Cette contrainte est imposée par le matériel de prélèvement disponible pour la réalisation de cette campagne ;
- Sélection de forages exploitant les calcaires de Castres ;
- Sélection de forage captant des niveaux d'eau dans les argiles à graviers ;
- Sélection de sources identifiées comme exutoires des calcaires de Castres ;
- Sélection de deux cours d'eau sur lesquels des pertes de débit par infiltration ont été identifiés lors des campagnes de jaugeage.

L'ensemble de ces critères permet d'aboutir à la sélection des points présentés dans le Tableau 15. Cette sélection comprend 17 points de prélèvements répartis comme suit :

- 11 forages ;
- 2 sources karstiques ;
- 4 points de prélèvement en ruisseaux.

N°	Nature	Indice	Nom_commune	Lieu-dit	x (Lambert 2 étendu - m)	y	z_(m)	
1	FORAGE	09587X0029	GRAULHET	USINE REY	572713	1863559		
2	FORAGE	09857X0040	GUITALENS- L'ALBAREDE	STATION DE POMPAGE	576316	1849489	147	
3	FORAGE	09857X0104	GUITALENS- L'ALBAREDE	FORAGE DE L'ALBAREDE	576500	1849490	150	
4	FORAGE	09858X0100	CAMBOUNET- SUR-LE-SOR	BERNAZOBRE	583725	1840975	168	
5	FORAGE	09858X0215	PUYLAURENS	CAMPAGNE VIELMUR (VMR1)	578962	1844421	284	
6	FORAGE	09858X0217	SEMALENS	PERMIS VIELMUR SUR EGOUT (VMR4)	579462	1843365	244	
7	FORAGE	09866X0074	VALDURENQUE	VALDURENQUE	597747	1840043	232	
8	FORAGE	10121X0013	NAVES	FORAGE DE MASCARENS	591747	1838871	184	
9	FORAGE	10121X0003	LABRUGUIERE	USINE DE TREGAS	592158	1836518	205	
10	FORAGE	10122X0055	LABRUGUIERE	PIEZO RCS	595819	1838570		
11	FORAGE	10122X0014	CAUCALIERES	BONNERY	596795	1836527		
12	SOURCE	10135X0012	LACABAREDE	LA PLAZEDE	620630	1829460		
13	SOURCE	10122X0012	LABRUGUIERE	EN SIRE	596094	1835626		
14	RUISSEAU	Favié amont (n°14)						
15	RUISSEAU	Favié aval (n°14)						
16	RUISSEAU	Resse amont (n°10)						
17	RUISSEAU	Resse aval (n°10)						

Tableau 15 - Points de prélèvements pour la campagne d'analyses physico-chimique de novembre 2015

Pour les forages et les sources, les aquifères captés sont répartis de la façon suivante (selon les données disponibles à ce jour) :

- 1 forage captant une nappe alluviale (n°2) ;
- 3 forages captant les argiles à graviers (n° 7, 8 et 10) ;
- 3 forages captant les calcaires de Castres (5, 6 et 9) ;
- 1 forage captant à la fois les argiles à graviers et les calcaires de Castres (n°1) ;
- 3 forages captant les SIM ou les argiles à graviers (à confirmer à partir des travaux de modélisation géologique en cours) (n°3, 4 et 11) ;
- une source identifiée comme exutoire de l'aquifère karstique du Causse de Labruguière daté de l'Eocène (n°13) ;
- une source issue des formations de l'Eocène du bassin du Thoré (n°12).

6.2 ORGANISATION DE LA CAMPAGNE DE PRÉLÈVEMENTS

La campagne de prélèvements a eu lieu du 04 au 10 novembre 2015 par temps ensoleillé et sec. Les ressources profondes captées, telles que les SIM, ne connaissent pas de recharge annuelle mais montrent des tendances pluriannuelles, comme celle observée à la baisse sur la période 1990-2005 sur la chronique piézométrique du forage de Labruguière (10122X0055) qui capte un aquifère éocène profond (Figure 41 et Figure 42). On observe que cette tendance s'infléchit à partir des années 2005 et pourrait presque s'interpréter comme une tendance à la hausse depuis cette date. Il n'est en tout état de cause pas possible de replacer la campagne de prélèvement dans un cycle hydrologique saisonnier.

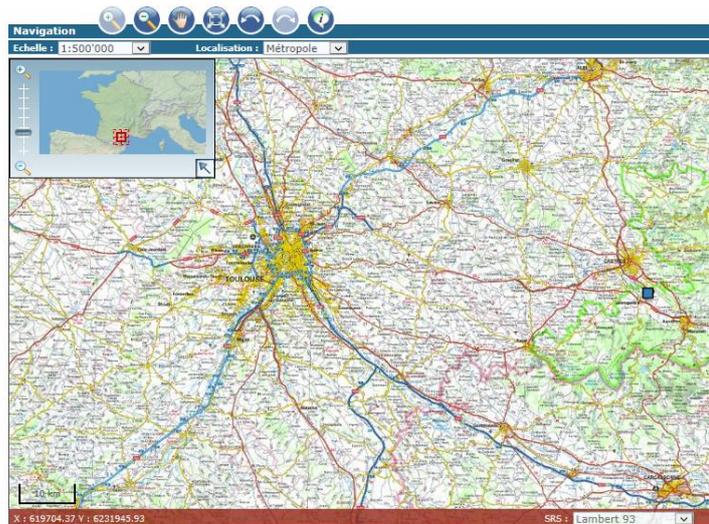


Figure 41 - Carte de localisation du forage 10122X0055/F de Labruguière (Visualiseur ADES)

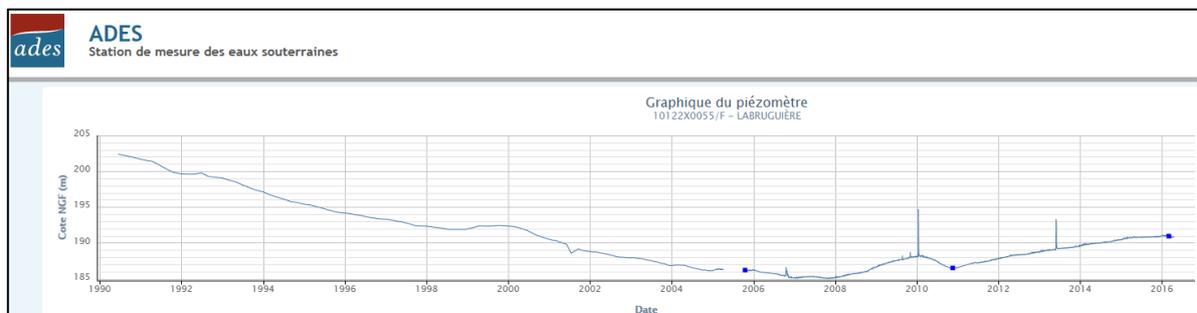


Figure 42 - Chronique piézométrique enregistrée au forage 10122X0055/F de Labruguière (Base ADES)

Pour les sources karstiques et les forages captant des aquifères plus superficiels (calcaires de Castres, argiles à graviers), l'observation de la chronique du piézomètre de Buzet-sur-Tarn (09577X0047, localisation sur la Figure 43), qui capte l'aquifère alluvial du Tarn, permet de resituer la campagne de prélèvements dans le cycle hydrologique. La Figure 44 montre que les prélèvements ont été réalisés en période de basses eaux (peu avant le maximum d'étiage). Les niveaux mesurés au mois de novembre 2015 sont situés dans la moyenne par rapport aux autres années observées.

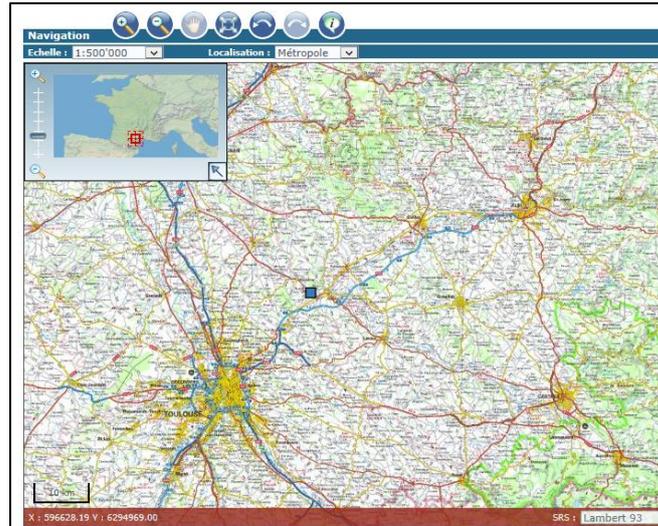


Figure 43 - Localisation du forage 09577X0047/F de Buzet/Tarn (Visualiseur ADES)

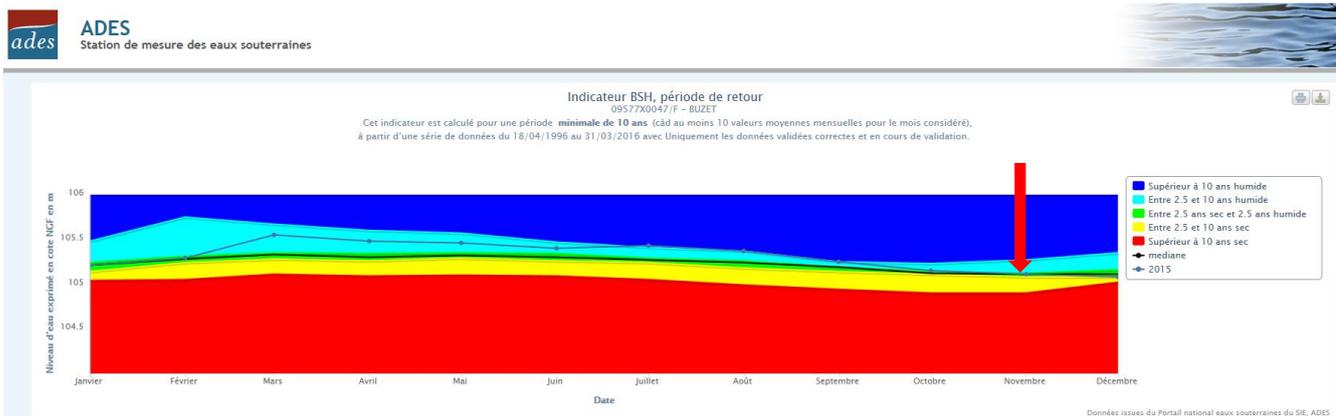


Figure 44 – Chronique piézométrique enregistrée et périodes de retour calculées au forage 09577X0047/F de Buzet/Tarn (Base ADES)

Pour les eaux de surface, les prélèvements ont été réalisés en amont et en aval du ruisseau de la Resse, dont le débit était relativement faible. Le ruisseau du Favié n'a pas pu faire l'objet de prélèvement (n°14 et 15) car il était à sec à cette période. Il est fort probable que celui-ci ne présente un écoulement qu'en période de forte pluviométrie et d'orages.

Les méthodes de prélèvement suivantes ont été appliquées pour les eaux souterraines :

- lorsque l'ouvrage est exploité régulièrement avec pompe en place : prélèvement simple à l'exhaure ;
- lorsque l'ouvrage est équipé d'une pompe mais peu utilisé, mise en route de la pompe environ 2 heures avant le prélèvement ;
- pour un forage profond non exploité avec un niveau statique inférieur à 10 m par rapport au sol, prélèvement direct avec une pompe Twister ;
- pour un forage profond non exploité avec un niveau statique supérieur à 10 m par rapport au sol, prélèvement avec un échantillonneur (sans pompage préalable possible) ;
- pour les forages artésiens, les sources et les ruisseaux : prélèvements directs.

Des analyses physico-chimiques de terrain ont été réalisées lors de chaque prélèvement pour les paramètres suivants : pH, température (T°C), conductivité (C), oxygène dissous (O_{2d}) et potentiel d'oxydo-réduction (Eh).

Tous les forages n'ont cependant pas pu être prélevés ou faire finalement l'objet d'une analyse d'eau. Ainsi, les forages de Mascarens (n°8) et de Semalens (n°6) n'ont pas pu être prélevés à cause du refus respectif de l'exploitant et du propriétaire.

Au forage de Valdurenque (n°7), le prélèvement a été réalisé avec la pompe Twister. Le niveau statique avant pompage était à 10,20 m sous le repère de mesure et à 10,76 m après arrêt du pompage. L'eau pompée était de couleur orange et avait une odeur métallique. Pour le forage de Labruguière (n°10), le prélèvement a été réalisé à l'échantillonneur car le niveau statique était à 26,39 m par rapport au repère. L'eau prélevée était très difficile à filtrer. Compte tenu des caractéristiques des eaux prélevées, ces deux échantillons n'ont pas paru représentatifs des eaux de l'aquifère et ils n'ont pas donné lieu à des analyses de composition chimique plus poussées. Notons cependant que ces deux anciens forages AEP ont fait l'objet en 2016 d'une campagne de diagraphies physico-chimiques et de prélèvements spécifiques dans le but de comparer la chimie d'une eau prélevée en face des crépines sans pompage (avec un préleveur de fond) à celle d'une eau prélevée en surface après pompage et renouvellement de la colonne d'eau (Gal et al., 2016).

Concernant le forage de Vielmur (n°5), le prélèvement a été réalisé avec la pompe Twister. Le niveau statique avant pompage était à 1,28 m de profondeur et à 7,35 m à la fin du pompage. Le puits est relativement facile d'accès et présente une eau très claire. Cependant, le faible pompage réalisé a conduit à un abaissement conséquent du niveau piézométrique, ne permettant pas un pompage prolongé avec le matériel disponible lors de cette campagne. Le renouvellement de l'eau dans le forage par la nappe semble lent et il est fort possible que les eaux prélevées ne soient pas représentatives de celle de l'aquifère. Aucune caractérisation chimique n'a été faite et des investigations plus précises de l'état du forage seraient nécessaire.

Le forage de Tregas (n°9), captant les calcaires de Castres entre 155 et 213 m de profondeur, a été prélevé à l'échantillonneur car le niveau statique était à 24,6 m par rapport au repère. Le forage est toujours équipé d'une pompe qui n'a pas servi depuis longtemps. Le forage n'est pas protégé et n'est pas fermé en surface (risques d'apports divers – terre, feuilles...- depuis la surface). Les conditions de prélèvements de novembre 2015 n'étaient pas optimales et il n'a donné lieu à aucune investigation supplémentaire.

Pour le forage de Bernazobre (n°4), le prélèvement a été réalisé à l'aide de la pompe Twister. Le niveau statique était de 1,5 m de profondeur par rapport au repère. Le forage n'est pas protégé d'éventuelles arrivées d'eaux superficielles. Lors du pompage, réalisé pendant 30 min

environ, les eaux extraites étaient de couleur noire et dégagait une odeur nauséabonde, certainement liée à de la matière organique en décomposition (feuilles et autres débris tombés dans le forage). Le niveau d'eau est descendu rapidement jusqu'à environ 5,5 m mais est également remonté d'environ un mètre lors de l'arrêt de la pompe. Compte tenu de l'âge ancien du forage (1941), des questions peuvent se poser sur la représentativité de l'eau échantillonnée. Les analyses de composition chimique n'ont pas été réalisées.

6.3 RÉSULTATS D'ANALYSES

Compte tenu des observations faites in-situ lors de la campagne (cf. 6.2), 4 forages (n°1, 2, 3 et 11), 2 sources (n°12 et 13) et 2 prélèvements en ruisseau (n°16 et 17) ont finalement donné lieu à des investigations physico-chimiques. Les résultats d'analyses sont présentés dans le tableau 16 et le tableau 17.

N°	Date prélèvement	Cond (µS/cm)	pH	T°C	O ₂ %	O ₂ (mg/L)	Eh (mV)
1	04/11/2015	794	8.94	19.7	32.8	2.95	109.4
2	04/11/2015	794	7.4	17.1	51.6	4.92	197.6
3	04/11/2015	846	8.41	23.1	87.9	7.44	335
11	05/11/2015	456	7.92	14.4	34.9	3.5	181
12	05/11/2015	66	6.94	13.2	97.1	9.86	275
13	05/11/2015	156	7.85	13.3	92.6	9.52	238
16	10/11/2015	53	8.09	11.8	99.1	10.5	280
17	10/11/2015	140	8.63	14	100.7	10.3	176

Tableau 16 - Liste des points échantillonnés et les paramètres physico-chimiques mesurés sur le terrain avec la date de prélèvement

N°	Al µg/l	Ba µg/l	Br- µg/l	CO ₃ ²⁻ mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	F mg/l	HCO ₃ mg/l	K mg/l	Mg mg/l	NO ₃ mg/l	Na mg/l	PO ₄ mg/l	SO ₄ mg/l	SiO ₂ mg/l	Sr µg/l
1	2.57	50.9	120.00	< LQ	4.4	23.6	2.7	372.00	1.1	2.4	< LQ	186.4	< LQ	54.6	9.8	296.00
2	0.66	65.4	83.9	< LQ	147.8	21.8	0.1	372.00	1.2	14.1	63.8	9.3	0.1	29.3	10.3	276.00
3	1.64	78.8	223.00	< LQ	14.0	81.2	3.8	280.00	4.8	6.7	< LQ	163.0	< LQ	55.8	11.5	924.00
11	< LQ	236.00	32.8	< LQ	77.2	3.7	0.6	281.00	1.6	14.0	3.1	2.7	< LQ	4.3	9.9	1717.00
12	6.37	2.05	32.2	< LQ	3.8	5.6	0.1	13.00	< LQ	1.2	6.1	6.1	< LQ	6.6	11.0	18.5
13	7.84	8.17	25.1	< LQ	23.4	5.9	< LQ	71.00	1.2	1.4	3.3	6.0	0.1	4.4	11.7	32.6
16	16.4	4.21	22.3	< LQ	3.2	4.6	< LQ	14.00	0.6	1.0	1.8	5.2	< LQ	3.4	12.2	11.6
17	6.15	7.00	20.3	< LQ	20.4	5.6	< LQ	63.00	1.1	1.3	2.5	5.8	0.1	4.1	11.4	28.6

Tableau 17 - Composition chimique des eaux (éléments majeurs et traces)

6.4 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

6.4.1 Eaux de surface

Les eaux de surface et de source sont des eaux très peu minéralisées, présentant de très faibles conductivités (< 150 µS/cm), probablement des eaux de ruissellement ayant subi très peu d'interactions avec la roche (Tableau 16). Ce sont des eaux bicarbonatées calciques (échantillons 13 et 17) et bicarbonatées sodiques et calciques pour les échantillons 12 et 16.

Concernant les deux échantillons Amont (n°16) et Aval (n°17) de la Resse, il apparaît une évolution de la composition chimique avec une augmentation conjointe de la teneur en hydrogénocarbonates, en calcium et en strontium. L'eau en aval de la Resse est également très proche de la composition de l'eau en sortie de grotte (Tableau 17). Pour les eaux de la grotte, cela semble indiquer un équilibre chimique des eaux avec la calcite de la roche, ce qui est cohérent avec le caractère karstique de la grotte. Concernant le Resse, des apports (mélanges) avec des eaux issues d'horizons karstiques semblent possibles.

6.4.2 Eaux prélevées en forage

L'échantillon d'eau (n°2) correspond au prélèvement effectué sur le puits de Lalbarède (09857X0040/F) captant les eaux de la nappe alluviale, puits situé à proximité du forage profond (09857X0104/F). Les eaux présentent un faciès bicarbonaté calcique enrichi en nitrates (63 mg/L) et une forte oxygénation. On peut également remarquer la très faible teneur en fluor des eaux prélevées.

Les eaux des forages 1, 3 et 11 présentent des valeurs positives de potentiel redox (Tableau 16). Les eaux de Graulhet (n°1) et Lalbarède (n°3) sont plus minéralisées que celles de Caucalières (n°11). De plus, elles ne contiennent aucun nitrate et sont enrichies en bromures, en fluor et en sulfates. Les analyses réalisées dans le cadre de ce travail sur les eaux des forages ont été comparées à des études précédentes.

Pour le forage de l'Usine REY (n°1 - site actuellement occupé par l'entreprise GAIA Bio), le niveau statique mesuré en octobre 2015 était à environ 22 m sous le terrain naturel. Le prélèvement a été réalisé avec la pompe en place et située à environ 105 m de profondeur. La pompe a été mise en route durant environ 2 h avant la réalisation du prélèvement, à un débit de pompage d'environ 6 m³/h. La pompe est en inox et le tuyau de refoulement en PVC, celui-ci avait été nettoyé à la javel lors de la redescente de la pompe après qu'elle ait été sortie pour être nettoyée.

Ce forage capte différents horizons :

- 7 niveaux sableux dans la molasse (64-67 m, 157-160 m, 202-205 m, 223-226 m, 238-244 m, 256-259 m, 289-292 m) ;
- les sables et argiles à graviers présents entre 304-307 m et entre 313-328 m.

De par ses caractéristiques, ce forage se rapproche du forage voisin de l'usine PPB distant de 3 km (09856X0008 – non prélevé lors de cette campagne). Ce dernier est aussi crépiné sur toute la hauteur, jusqu'aux argiles à graviers, identifiées entre 276 et 325 m de profondeur par rapport au sol.

Pour ces deux forages, les compositions des eaux sont très proches. Ce sont des eaux bicarbonatées sodiques, avec des températures inférieures à 20°C et des valeurs en fluor voisines de 2,2 à 2,6 mg/L. Aucune datation n'a été réalisée sur ces eaux.

Toutefois, ces deux eaux se différencient de celles prélevées au forage 09587X0003 de l'usine Weishardt (non prélevé lors de cette campagne), distant de quelques kilomètres des deux précédents ouvrages. Ce forage ne capte que les argiles à graviers, c'est-à-dire l'horizon sablo-argileux compris entre 209,5 et 269,5 m. Les eaux prélevées sont également bicarbonatées sodiques mais sont sensiblement plus chaudes (22°C). Il est à noter que ces eaux contiennent des quantités de fluor beaucoup plus faibles (de l'ordre de 0,6 mg/L). Une estimation de l'âge des eaux, basée sur des mesures de ¹³C et ¹⁴C, a donné une valeur de l'ordre de -16 000 ans (André, 2002).

D'après les résultats obtenus sur ce secteur, il semble donc que les eaux contenues dans les argiles à graviers sont peu minéralisées et présentent des teneurs en fluor relativement faibles. Il se pourrait que le fluor observé dans le forage de l'Usine REY (n°1) et de l'usine PPB provienne d'horizons supérieurs également captés, comme démontré dans la thèse de Malcuit (2012). Cela pourrait également signifier que les échanges verticaux entre la molasse et les argiles à graviers sont relativement faibles, mais, cette hypothèse reste encore à vérifier. Aucune datation n'a été réalisée sur les forages des usines Rey et PPB. On peut cependant supposer que, compte tenu des horizons plus superficiels captés, les âges des eaux soient plus faibles que ceux mesurés à l'usine Weishardt. Ce point reste néanmoins à confirmer car les perméabilités des différents niveaux rencontrés en profondeur peuvent rendre les résultats et leur interprétation plus complexes. Pour mieux comprendre le fonctionnement de ces systèmes, des prélèvements sous packers multi-niveaux pourraient également être envisagés.

Le prélèvement sur le forage de Lalbarède (n°3) a été réalisé à une vanne au niveau de la tuyauterie, dans le local technique. La mesure de niveau n'a pas été possible, et il n'y a pas de possibilité de faire couler l'eau avant prélèvement. L'aquifère capté se situe stratigraphiquement à la base du Tertiaire (entre 402 et 455 m de profondeur) et est constitué de sables et de graviers. Dans leur rapport de fin de sondage, Bel et al. (1990) les décrivent comme une formation datée de l'Eocène Inférieur, ce qui en fait un équivalent latéral des argiles à graviers et des Sables Infra-Molassiques. Les mesures chimiques réalisées au cours de cette campagne semblent cohérentes avec des analyses plus anciennes. Ce sont des eaux bicarbonatées sodiques, sans nitrates, présentant de fortes teneurs en bromures, sulfates et fluor (3,8 mg/L). D'après des études précédentes (André, 2002), les mesures de ^{13}C et ^{14}C indiquent que les eaux sont plutôt anciennes (environ -26 000 ans). Il est à remarquer ici qu'une confusion semble exister entre ce forage (09857X0104/F) et celui présentant l'indice 09857X0110/F, dont la profondeur de forage n'est pas précisée en BSS. En réalité, après enquête, ces indices BSS semblent décrire le même ouvrage. Celui-ci capterait la formation des SIM ou un équivalent temporel situé entre 440 et 471 m de profondeur par rapport au sol (sables grossiers sub-anguleux et graviers avec minces intercalations d'argiles rouges).

Le forage de Bonnery-Caucalières (n°11) est artésien et fermé par une vanne qui fuit légèrement. La propriétaire a indiqué qu'il ne coulait plus quelques jours avant la réalisation du prélèvement. Elle l'a fait nettoyer et depuis il recoule normalement (aucune information n'a été donnée sur la méthode de nettoyage utilisée). Il s'agit d'un forage peu profond (70,5 m) dont les niveaux captés ne sont pas connus avec précision puisque aucune coupe technique n'est disponible. Le rapport de forage réalisé par Y. Faugère dans le cadre de sa thèse (1970) indique qu'il recoupe les calcaires de Castres et les argiles à graviers, mais il n'existe pas d'information sur les horizons réellement captés. Les eaux sont bicarbonatées calciques, peu minéralisées avec des teneurs en fluor peu importantes (0,6 mg/l) mais des concentrations en strontium et en baryum relativement élevées. Des investigations supplémentaires seraient nécessaires pour mieux caractériser les horizons réellement captés.

6.5 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les eaux analysées au cours de cette campagne, combinées aux résultats d'études précédentes, montrent la complexité de l'hydrogéochimie du secteur : les niveaux perméables, captés par les différents forages investigués, sont nombreux et les potentielles connexions entre ces niveaux sont difficiles à appréhender.

Le fluor semble être un marqueur de ces éventuelles relations entre niveaux mais les sources de cet élément sont encore mal identifiées. Comme démontré dans la thèse de Malcuit (2012), les horizons molassiques pourraient être des sources potentielles de fluor. Ce phénomène peut

être supposé sur le secteur de Graulhet mais le nombre de captages sur cette zone n'est pas suffisant pour confirmer ce processus. Des prélèvements sous packers (ou au moyen d'un préleveur de fond positionné au droit des horizons ciblés) pourraient être utiles pour confirmer ou infirmer cette hypothèse.

De plus, les forages captant à la fois les calcaires de Castres et les argiles à graviers présentent des concentrations en fluor supérieures à des ouvrages ne captant que les argiles à graviers. Est ce que le fluor pourrait-être une signature chimique de cet horizon calcaire ? Là aussi, des analyses complémentaires seraient nécessaires pour mieux caractériser cette couche géologique.

Les argiles à graviers n'ont pas été échantillonnées au cours de cette campagne, tout au moins des forages ne captant que cet horizon. Cependant, de par leur positionnement à la base des formations tertiaires, des questionnements sont toujours en suspens concernant les potentiels échanges/transferts descendants depuis les calcaires de Castres et/ou les formations intramolassiques vers les argiles à graviers. Là aussi, des investigations supplémentaires seraient nécessaires afin d'identifier de manière fiable le pôle géochimique que constituent les argiles à graviers.

Enfin, il convient également de noter l'absence de fluor dans les eaux de surface, ce qui exclut dès à présent la possibilité d'une origine surfacique de cet élément dans les aquifères profonds.

7. Évaluation de la perméabilité à l'affleurement des argiles à graviers en Albigeois-Castrais

7.1 CONTEXTE ET OBJECTIF

La description géologique communément employée pour caractériser les argiles à graviers consiste à les présenter comme un ensemble de couches détritiques à matrice argileuse enrobant des graviers ou galets plus ou moins grossiers. Cette formation s'est déposée de façon diachrone sur la périphérie de tous les massifs anciens, Montagne Noire, Massif de l'Agout, Sidobre en les recouvrant jusqu'à une altitude approchant 600m. L'épaisseur des argiles à graviers est généralement comprise entre 40 et 80 mètres (atteignant 200 mètres aux abords du massif de la Grésigne d'après Galharague J et Roche J., 1971).

L'existence de nombreux ouvrages (puits, sources ou forages) captant cette formation atteste de son caractère aquifère. Toutefois, comme mentionné dans le chapitre 3 du présent rapport, une des problématiques concerne la délimitation géographique de cet aquifère en raison de son hétérogénéité de faciès (en liaison avec le mode de dépôts de cette formation) associée à une absence de continuité des niveaux.

Des reconnaissances hydrogéologiques réalisées par le BRGM en 1971 sur des puits à usage domestique de faible profondeur captant cette formation ont mis en évidence une faible potentialité aquifère et une mauvaise alimentation de la nappe (ouvrages asséchés en période d'étiage, abaissement très rapide des niveaux d'eau en pompage). Toutefois, à plus grande profondeur, des passées sableuses ou conglomératiques ont été reconnues en forage et se sont révélées aquifères. Mais là encore les débits observés sont très variables, de 25 m³/h à moins de 1 m³/h selon les horizons aquifères reconnus.

La méconnaissance générale de cet aquifère, et en particulier les incertitudes liées à ses potentielles relations hydrauliques avec l'aquifère des sables infra-molassiques, conduit à s'interroger sur le potentiel d'infiltration des eaux de ruissellement dans les argiles à graviers présentes à l'affleurement sur le territoire de l'Albigeois-Castrais. En effet, sous réserve d'une perméabilité suffisante, l'importance de la zone concernée (plus de 700 km²) est susceptible de générer des volumes de recharge significatifs.

Ces incertitudes ont donc conduit à réaliser une campagne de mesures de perméabilité de cette formation afin de caractériser les gammes de valeur en présence en fonction des différents faciès existants à l'affleurement sur le territoire de l'Albigeois-Castrais.

7.2 PRINCIPE DE LA MÉTHODE EMPLOYÉE

Il existe de nombreuses méthodes expérimentales de mesures de la perméabilité des sols. Parmi celles-ci, et pour les besoins du projet, les approches réalisées in-situ (contrairement à des dispositifs menés en laboratoire) et à l'échelle ponctuelle (à la différence de dispositifs mis en œuvre à l'échelle parcellaire) ont été privilégiées. Elles permettent de répartir l'information dans l'espace tout en limitant la détérioration de l'état de surface du sol.

Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un perméamètre de Guelph, méthode mise au point par l'Université de Guelph (Ontario, Canada) par Reynolds *et al.* (1985). Cet instrument permet d'estimer la conductivité hydraulique à saturation des terrains et les paramètres hydriques dont

elle dépend. Le champ d'application de cet appareil correspond à une gamme relativement étendue de conductivités hydrauliques mesurées dans les sols variant entre 10^{-8} et 10^{-4} m/s.

La **conductivité hydraulique**⁹ K (m/s) est une grandeur fondamentale exprimée dans l'équation de Darcy pour la description du transport de l'eau. Il s'agit d'une grandeur qui caractérise l'aptitude d'un milieu poreux à permettre le déplacement d'une phase liquide continue dans les pores non fermés. Pour rappel, la conductivité hydraulique d'un milieu poreux est le coefficient de proportionnalité K entre la densité de flux J_e et le gradient de potentiel hydrique total :

$$\vec{J}_e = K(\theta) \overrightarrow{\text{grad}}\psi(\theta)$$

La conductivité hydraulique est un coefficient dépendant des propriétés du milieu poreux où l'écoulement a lieu (granulométrie, forme des grains, répartition et forme des pores), des propriétés du fluide concerné par les écoulements (viscosité, masse volumique) et de la saturation du milieu poreux (Calvet R., 2003).

La **conductivité hydraulique à saturation** K_s correspond ainsi à la valeur limite du taux d'infiltration si le sol est saturé et homogène.

Le principe de la mesure consiste à créer, dans un sol non saturé (où la teneur en eau est inférieure à très inférieure à la capacité au champ), un bulbe saturé en appliquant une charge hydraulique constante. Pour cela, le perméamètre est constitué d'un dispositif de Mariotte où la charge est régulée pour rester constante. Elle permet ainsi de mesurer le flux d'eau passant au travers d'une crépine cylindrique et par le fond d'un trou creusé à la tarière dans le sol (figure 45). Le régime permanent est ainsi atteint lorsque le débit qui s'écoule devient constant. (Chossat J.C., 2005).

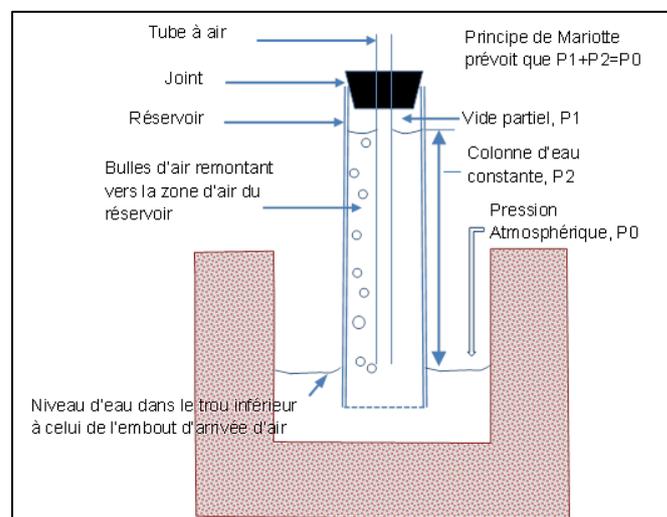


Figure 45 - Schéma du principe de mesure à partir du perméamètre de Guelph (SoilMoisture©)

Un équilibre s'établit lorsque l'essai est en cours de réalisation. La faible pression de l'air au sommet du réservoir et celle de l'eau du réservoir au-dessus de la surface du trou réalisé dans le sol est toujours égale à la pression atmosphérique. Lorsqu'une charge constante est fixée dans le trou de tarière, un bulbe de saturation de dimension spécifique s'établit assez rapidement dans le sol (figure 46). Ce bulbe est très stable et sa forme dépend du type de sol

⁹ ou « perméabilité des hydrogéologues ».

investigué, du rayon du trou, et de la charge appliquée. Une fois le bulbe mis en place, l'écoulement de l'eau dans le trou atteint un taux constant qui peut être mesuré. Ce taux d'écoulement constant, associé au diamètre du trou et à sa charge hydraulique peut être utilisé pour déterminer précisément la conductivité hydraulique à saturation, le potentiel hydrique et la capacité d'absorption du sol (SoilMoisture Equipment Corp, 2012).

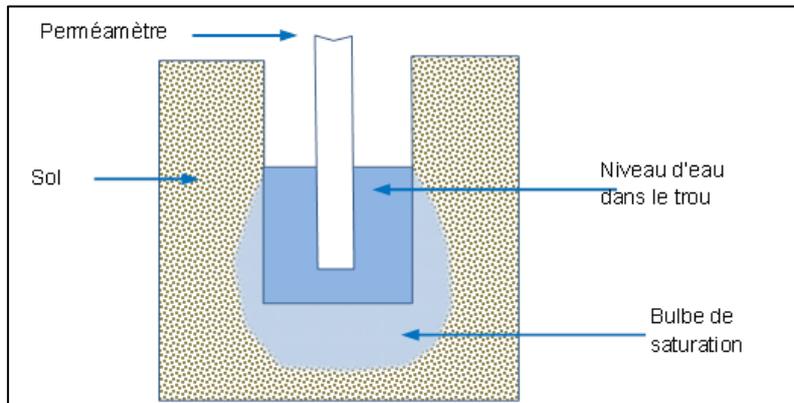


Figure 46 - Représentation du bulbe de saturation autour du trou de tarière (SoilMoisture©)

La conductivité hydraulique à saturation est déduite des débits mesurés par une méthode de calcul prenant en compte les écoulements latéraux, notamment par les faces du trou cylindrique. Cette démarche présente l'avantage de supprimer l'hypothèse d'un écoulement vertical, généralement peu évident à respecter en conditions de terrain.

La méthode de calcul a été décrite par Reynolds *et al.* (1985) à partir de l'équation suivante :

$$2\pi H^2 K_{fs} + C\pi a^2 K_{fs} + 2\pi H\Phi_m = CQ$$

dans laquelle :

K_{fs} ($m \cdot s^{-1}$) est la conductivité hydraulique d'un milieu poreux saturé localement et pouvant contenir de l'air piégé,

Φ_m ($m^2 \cdot s^{-1}$) est le potentiel matriciel,

C est un paramètre proportionnel adimensionnel,

H (m) est la charge appliquée lors de la mesure,

Q est le débit.

Les deux premiers termes peuvent être considérés comme la composante saturée de l'écoulement dans le trou de tarière, le troisième terme comme sa composante non saturée (Chossat J.C., 2005).

La figure 47 schématise le dispositif de mesure du perméamètre de Guelph.



Figure 47 - Photographies du dispositif de mesures du perméamètre de Guelph

7.3 SÉLECTION DES SITES ET MISE EN ŒUVRE DE LA CAMPAGNE DE MESURE

Sur la base des descriptions géologiques des différents faciès des argiles à graviers à l'affleurement entre le massif de la Grésigne au Nord et la Montagne Noire au Sud effectuées lors des reconnaissances de terrain de 2014 (Bouroullec et Monod, 2015), une présélection d'une vingtaine de sites à investiguer a été définie. La carte de la Figure 48 représente leur répartition géographique sur le territoire. L'objectif recherché est alors de caractériser la perméabilité de cette formation en fonction de son hétérogénéité lithologique notamment vis-à-vis du faciès fin ou grossier en présence.

Afin d'identifier la faisabilité de mise en œuvre des essais pour chacun des sites, un diagnostic de terrain préalable a été réalisé fin octobre – début novembre 2016. Ces observations ont notamment permis d'affiner les descriptions géologiques voire de réinterpréter les affleurements dans certains cas. Le faciès fin ou grossier de l'affleurement a été confirmé et si possible la proportion d'éléments grossiers a été estimée lors de ces visites. Sur certains sites, l'existence de chenalisation des éléments grossiers a pu être déterminée. Ces éléments d'observation, bien que ponctuels, seront intéressants à confronter avec les gammes de perméabilité obtenues par les essais.

Ainsi, 4 des sites visités n'ont pas été retenus pour la campagne de mesures d'infiltration en raison de doutes sur la représentativité de la formation géologique en présence (colluvions, altérites de socle...) et/ou d'une mauvaise configuration des lieux (escarpement de l'affleurement, épaisseur de formations superficielles trop importante, terrains remaniés...). L'ensemble des observations collecté est présenté en annexe 11.

Une liste de 15 sites identifiés pour la réalisation des mesures d'infiltration a donc été établie sur la base de cette reconnaissance préalable. Toutefois, un des 15 sites a dû être abandonné au cours de la campagne de mesures en raison du manque de maintien des parois des trous réalisés à la tarière (densité de graviers trop importante créant des éboulements de parois des trous lors de la foration). Les valeurs de perméabilité obtenues sont donc établies sur la base de 14 sites répartis sur les zones d'affleurement des argiles à graviers.

Dans la mesure du possible, afin de prendre en considération la variabilité locale, 2 à 3 essais ont été menés par site. Le nombre d'échantillons dépend de l'hétérogénéité locale observée, et

du compromis souhaité entre la précision de la mesure et le temps disponible à y consacrer sachant que la zone à investiguer couvre une surface de l'ordre de 700 km². Ainsi, 30 essais ont été réalisés au total sur cette campagne qui s'est déroulée du 15 au 25 novembre 2016.

Ces d'investigations ont été effectuées dans un contexte hydrogéologique de début de recharge faisant suite à une longue période déficitaire en précipitations retranscrit par une relative homogénéité du degré d'humidité des terrains rencontrés, majoritairement frais (parfois sec) à humide.

Dans un objectif de représentativité des mesures réalisées une attention particulière a été portée sur le contexte de mise en œuvre des essais notamment vis-à-vis :

- de la caractérisation réelle de la formation des argiles à graviers et non des formations superficielles la recouvrant. La difficulté est alors de se positionner en contrehaut de l'affleurement bien identifié tout en s'assurant d'une relative faible épaisseur de terrains à creuser pour accéder aux argiles à graviers. En moyenne, 24 cm de terrains ont été ôtés lors de la campagne de mesures (avec pour certains sites un maximum de 50 cm).
- de l'occupation du sol en présence et notamment d'éviter les terrains remaniés (sous une action anthropique de type parcelle cultivée ou talus de route ou une action naturelle de type loupe de glissement) susceptibles d'augmenter la perméabilité.

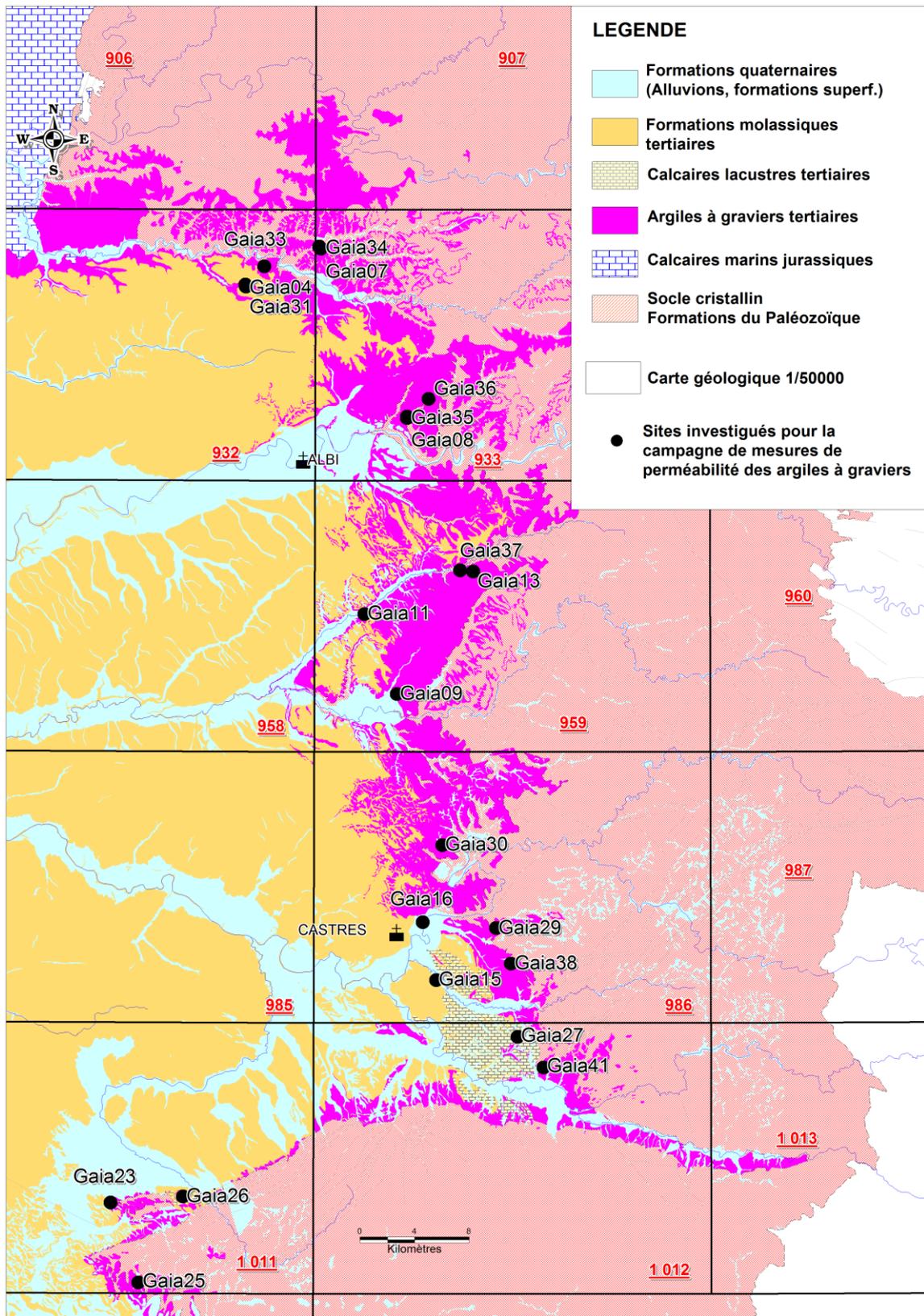


Figure 48 - Carte de localisation des sites investigués pour la campagne de mesures de perméabilité des argiles à graviers de l'Albigeois-Castrais

En complément des essais d'infiltration, une description pédologique sommaire du terrain investigué a été effectuée. En effet, certains facteurs pédologiques, comme en particulier la texture ou la structure sont des éléments majeurs dans la détermination de la perméabilité (une texture équilibrée favorisant une structure stable et ainsi un bon potentiel d'infiltration). Dans le cas présent, et dans une optique de première approche (sans analyse de sols en laboratoire, notamment granulométrique ou de densité) la description effectuée a concerné la détermination de la texture de la matrice (par diagnostic tactile) et de sa couleur (selon la charte de couleur de Munsell), puis de la proportion, de la nature, de la taille et de la forme des éléments grossiers emballés dans la matrice. L'ensemble de ces données est également consigné en annexe 11.

7.4 ANALYSE DES RÉSULTATS

Le graphique de la figure 49 représente la répartition des valeurs de conductivités hydrauliques à saturation (K_s) moyennes (pour chacun des sites) obtenues lors de la campagne de mesures de novembre 2016. A partir de cette représentation en échelle logarithmique, on peut proposer de faire ressortir 4 gammes de valeurs pour les 14 sites de mesures, à savoir :

- Valeurs de K_s supérieures à 10^{-5} m/s ;
- Valeurs de K_s comprises entre 10^{-6} et 10^{-5} m/s ;
- Valeurs de K_s comprises entre $5 \cdot 10^{-7}$ et 10^{-6} m/s ;
- Valeurs de K_s inférieures à $5 \cdot 10^{-7}$ m/s.

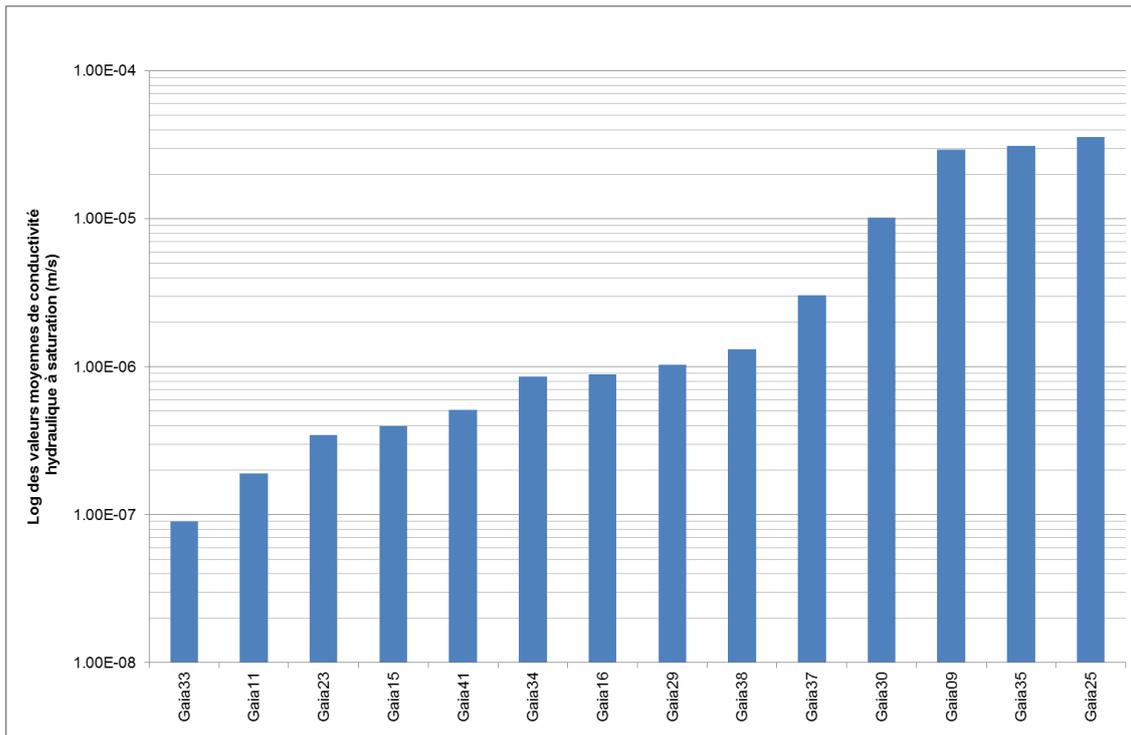


Figure 49 - Répartition des valeurs moyennes de conductivité hydraulique à saturation mesurées lors de la campagne de novembre 2016 (échelle logarithmique)

D'un point de vue pratique, selon les limites généralement utilisées, il s'agit de valeurs s'échelonnant entre de très faibles perméabilités ($K_s < 10^{-7}$ m/s), de faibles perméabilités (10^{-7} m/s $< K_s < 10^{-6}$ m/s), des perméabilités moyennes (10^{-6} m/s $< K_s < 10^{-5}$ m/s) et de fortes perméabilités ($K_s > 10^{-5}$ m/s).

La carte de la figure 50 permet de visualiser la répartition géographique des 4 gammes de valeurs de conductivité hydraulique obtenues. En première analyse, les valeurs sont réparties de manière hétérogène à l'échelle du territoire de l'Albigeois-Castrais. Ainsi, de fortes et de faibles perméabilités sont présentes du sud au nord de la zone. En particulier, des valeurs élevées de Ks sont mesurées dans le secteur nord de l'Albigeois et du Carmausin bien que pressenti très argileux et donc de faible perméabilité.

Plus en détail, une certaine logique dans la répartition des mesures semble se dessiner en introduisant le faciès fin ou grossier des argiles à graviers dans l'analyse des données. En effet, en se référant aux connaissances actuelles sur l'origine et l'organisation des dépôts des argiles à graviers, il apparaît intéressant de les confronter avec les données de perméabilités acquises.

Les argiles à graviers à l'affleurement présentent classiquement une matrice argileuse de couleur rougeâtre au sein de laquelle est emballée une proportion plus ou moins élevée de graviers et/ou de galets de quartz (parfois associés à des éléments de socle). Cette formation est interprétée comme correspondant à une sédimentation proximale en provenance du Paléo-Massif central, sous forme de coulées boueuses et d'écoulements en nappes à éléments paléozoïques ou quartzeux successifs avec ravinement des dépôts précédents. Ces matériaux sont pour l'essentiel issus du démantèlement des paléoaltérites qui les recouvrent (Mouline, 1989). Ces informations géologiques expliquent la présence d'affleurements d'argiles à graviers présentant des concentrations plus ou moins importantes en éléments grossiers.

Le tableau 18 synthétise les résultats de perméabilité obtenus lors de la campagne de mesures en les associant aux différents faciès des argiles à graviers caractérisés. Les données pédologiques, ayant trait à la texture de la matrice et au pourcentage d'éléments grossiers estimé dans l'échantillon, sont également indiquées.

Num Essai	Date Essai	Num. Carte Geol	Code Carte Geol	Facies Formation	Texture Matrice *	%T Elements Grossiers	Nombre Essai	Ks moyen (m/s)
Gaia33	22/11/2016	932	e7-g2A	Fin	LAS	10	3	9.E-08
Gaia11	25/11/2016	959	e6a-b	Fin	LAS	15	2	2.E-07
Gaia23	16/11/2016	1011	e4-5P	Fin	Al	10	2	3.E-07
Gaia15	14/11/2016	986	e4-5b	Fin	LAS	15	2	4.E-07
Gaia41	15/11/2016	1012	e4-5b	Fin	AS	10	2	5.E-07
Gaia34	22/11/2016	933	e6C	Fin	LAS	10	2	9.E-07
Gaia16	15/11/2016	986	e4-5b	Fin	LAS	10	1	9.E-07
Gaia29	17/11/2016	986	e4-5b	Fin + Grossier	LAS	30	2	1.E-06
Gaia38	15/11/2016	986	e4-5b	Fin + Grossier	LAS	25	2	1.E-06
Gaia37	21/11/2016	959	e6a-b	Fin + Grossier	Als	25	2	3.E-06
Gaia30	17/11/2016	986	e6ab(1)	Fin + Grossier	LAS	25	2	1.E-05
Gaia09	18/11/2016	959	e6a-b	Fin + Grossier	AS	25	3	3.E-05
Gaia35	25/11/2016	933	e6C	Grossier	LAS	50	3	3.E-05
Gaia25	16/11/2016	1011	e4	Grossier	Sa	50	2	4.E-05

*Classes texturales selon le triangle des textures Geppa. Sa : Sable argileux. LAS : Limono-argilo-sableux. AS : Argilo-sableux. Als : Argile limono-sableuse. Al : Argile limoneuse

Tableau 18 - Résultats des mesures de perméabilité obtenus lors de la campagne de novembre 2016 sur le secteur de l'Albigeois-Castrais

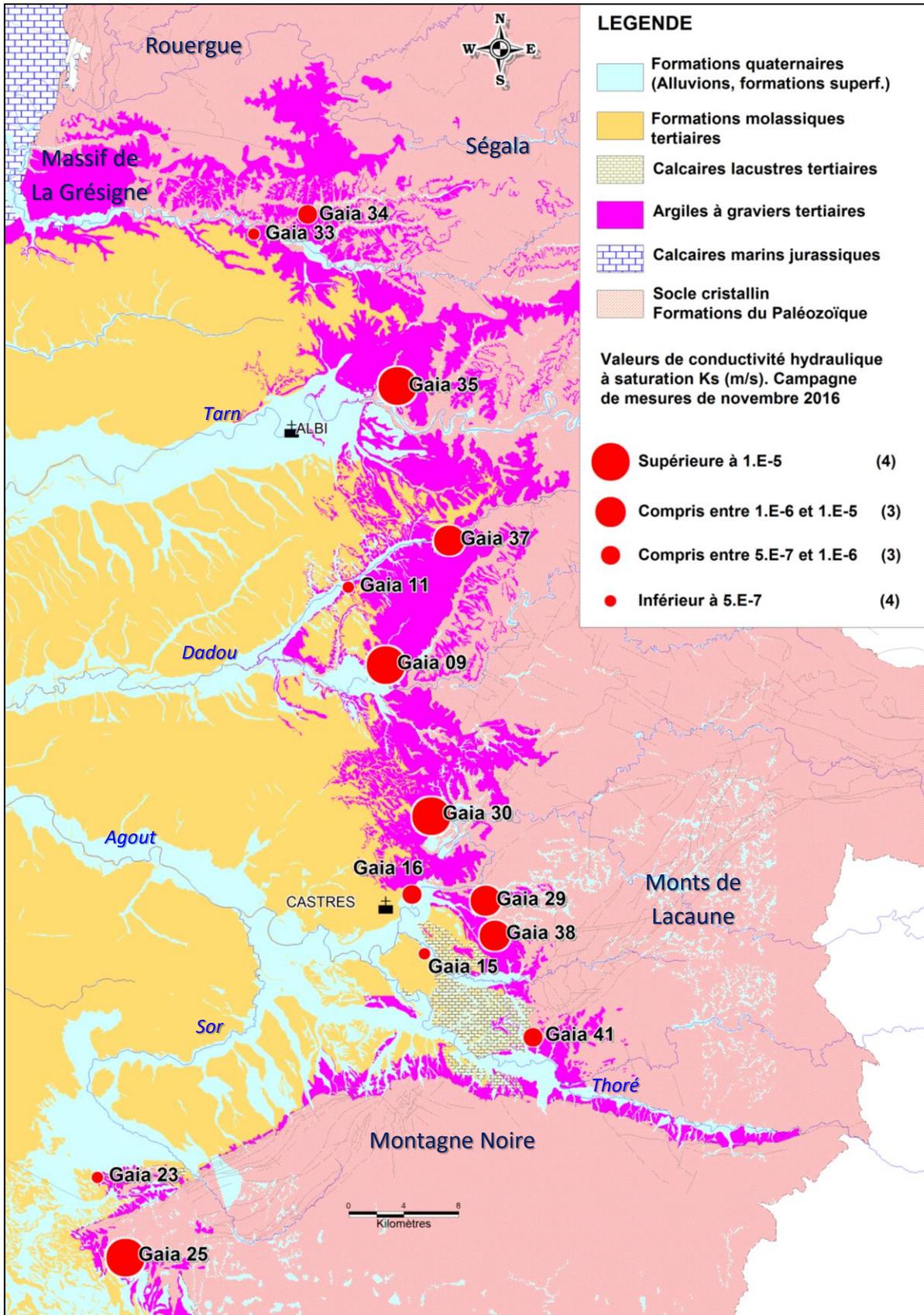


Figure 50 - Répartition des valeurs moyennes de la conductivité hydraulique à saturation sur le secteur de l'Albigeois-Castrais (campagne de mesures de novembre 2016)

Il ressort des données de ce tableau une répartition des valeurs de perméabilité en fonction du faciès caractérisant les argiles à graviers. Ainsi, de manière simplifiée :

- le faciès fin (contenant une faible proportion d'éléments grossiers, entre 10% et 15%) est caractérisé par des perméabilités globalement comprises entre 10^{-7} m/s et 10^{-6} m/s,
- le faciès présentant des alternances de niveaux fins et de niveaux plus grossiers (avec des échantillons contenant des proportions d'éléments grossiers autour de 25% et 30%) est caractérisé par des perméabilités globalement comprises entre 10^{-6} m/s et 10^{-5} m/s,
- le faciès grossier (contenant une forte proportion d'éléments grossiers, de 50% et plus) est caractérisé par des perméabilités de l'ordre de 10^{-5} m/s.

7.5 DISCUSSION

Le travail présenté dans ce chapitre est une première approche permettant d'apporter des ordres de grandeur de la perméabilité caractérisant la formation des argiles à graviers présente à l'affleurement sur le territoire de l'Albigeois-Castrais. En effet, ce type d'investigations, n'ayant jamais été mise en œuvre sur la zone, fait ressortir la variabilité des valeurs de perméabilité rencontrée en relation avec le faciès fin ou grossier de la formation caractérisée. Plus généralement il apparaît que les gammes de perméabilité obtenues sont favorables à une infiltration des eaux et donc à une recharge de la nappe en présence.

Ainsi, une volonté d'extrapolation et de répartition spatiale des zones favorables à l'infiltration induirait préalablement d'être en mesure de cartographier la répartition des différents faciès de la formation des argiles à graviers. Un tel travail semble difficile à envisager en raison de la mauvaise organisation des dépôts en lien avec leur mode de mise en place (coulées boueuses ou remaniement sur les pentes). Malgré tout une tendance générale se dessine, à savoir la présence de formations très détritiques à l'est (ou plus exactement à proximité des formations paléozoïques ou de socle), passant à l'ouest à des faciès fins nettement plus argileux.

Il est important de signaler par ailleurs que les informations acquises à l'occasion de cette campagne ne permettent pas de lever toutes les incertitudes ayant trait à l'alimentation de l'aquifère des argiles à graviers, les résultats discutés ici concernant uniquement les formations des argiles à graviers présentes à l'affleurement et non la variabilité lithologique verticale caractérisant également cette formation.

Les rares coupes géologiques présentes dans les données de forage ou au niveau de certaines carrières témoignent de faciès hétérogènes sur la verticale induisant des perméabilités variables en profondeur. Ainsi, la géométrie lenticulaire ou multi-niveaux de cet aquifère sera un élément important à prendre en considération pour caractériser la potentielle alimentation des SIM par les argiles à graviers.

8. Conclusions

Les travaux des deux premières années du module relatif aux mécanismes de recharges de l'aquifère des SIM sur les secteurs du golfe de l'Albigeois-Castrais et des Petites Pyrénées-Plantaurel se sont appuyés sur une synthèse bibliographique préalable des données existantes sur le sujet. Par la suite, trois campagnes d'investigations de terrain distinctes se sont déroulées, avec les objectifs suivants :

- mise en œuvre de campagnes de jaugeages différentiels entre juin et juillet 2015 sur une sélection de cours d'eau destinées à mettre en évidence les relations hydrauliques existantes avec les formations encaissantes des 2 secteurs mentionnés,
- réalisation d'une campagne de prélèvements pour analyses physico-chimiques sur 16 points d'eau (forages, sources et cours d'eau) caractérisant un ou plusieurs aquifère représentatif du secteur de l'Albigeois-Castrais,
- évaluation de la perméabilité à l'affleurement des argiles à graviers sur le territoire de l'Albigeois-Castrais destinée à déterminer le rôle infiltrant de cette formation.

Les **jaugeages réalisés** ont mis en avant l'existence de pertes totales ou partielles du débit de certains cours d'eau en relation avec des phénomènes karstiques d'une part, dans les formations calcaires lacustres de Castres et d'autre part, dans les calcaires du Paléocène dans le Plantaurel (secteur des Petites Pyrénées). Au niveau des Poudingues de Palassou, les mesures effectuées n'ont pas réellement mis en évidence de zones de pertes mais au contraire une augmentation du débit de l'amont vers l'aval, en relation potentielle avec les niveaux calcaires intercalés au sein de la formation. Ces observations sont en accord avec les différents travaux et résultats inventoriés dans la synthèse bibliographique. Cependant, si des phénomènes de pertes sur les formations calcaires affleurantes des 2 secteurs étudiés ont été observés, les données actuelles ne permettent pas de conclure sur une alimentation possible de la nappe des SIM par l'intermédiaire de ces formations. En effet, la continuité géologique et/ou hydrogéologique entre ces formations reste à démontrer.

Les **résultats de la campagne d'analyses**, combinés aux résultats d'études précédentes, montrent la complexité de l'hydrogéochimie du secteur : les niveaux perméables, captés par les différents forages investigués, sont nombreux et les potentielles connexions entre ces niveaux sont difficiles à appréhender.

Le fluor semble être un marqueur de ces éventuelles relations entre niveaux mais les sources de cet élément sont encore mal identifiées. Des prélèvements sous packers (ou au moyen d'un préleveur de fond positionné au droit des horizons ciblés) pourraient être utiles pour confirmer ou infirmer l'hypothèse selon laquelle (Malcuit, 2012) les horizons molassiques pourraient être des sources potentielles de fluor. Il convient, en tout état de cause, de noter l'absence de fluor dans les eaux de surface, ce qui exclut dès à présent la possibilité d'une origine surfacique de cet élément dans les aquifères profonds.

Les argiles à graviers n'ont pas été échantillonnées au cours de cette campagne, tout au moins des forages ne captant que cet horizon. Cependant, de par leur positionnement à la base des formations tertiaires, des questionnements sont toujours en suspens concernant les potentiels échanges/transferts descendants depuis les calcaires de Castres et/ou les formations intra-molassiques vers les argiles à graviers. Là aussi, des investigations supplémentaires seraient nécessaires afin d'identifier de manière fiable le pôle géochimique que constituent les argiles à graviers.

La **campagne de mesures d'infiltration** effectuée au niveau des argiles à graviers présentes à l'affleurement sur le territoire de l'Albigeois-Castrais fait ressortir la variabilité des valeurs de perméabilité rencontrée en relation avec le faciès fin ou grossier de la formation. D'une manière générale, les gammes de perméabilité obtenues sont favorables à une infiltration des eaux et donc à une recharge de la nappe en présence. Cependant, dans le détail de la répartition spatiale des valeurs de perméabilité de cette formation (et d'extrapolation des résultats) un verrou scientifique dans la connaissance de la répartition des différents faciès est à lever, sachant qu'une tendance générale semble se dessiner, à savoir la présence de formations très détritiques à l'est (ou plus exactement à proximité des formations paléozoïques ou de socle), passant à l'ouest à des faciès fins nettement plus argileux.

Ce type d'investigations n'ayant jamais été mené sur la zone apporte d'un point de vue général des informations intéressantes en termes de recharge de nappe même si la faible connaissance du contexte géologique en profondeur, ne permet pas d'appréhender précisément le cheminement des eaux souterraines des formations de recouvrement vers l'aquifère profond. Ainsi, un autre verrou de connaissance est à lever au niveau de la variabilité verticale de la perméabilité de cette formation comme en témoigne les faciès hétérogènes observés sur les données de forage ou au niveau de certaines carrières. Il apparaît donc que, la géométrie lenticulaire ou multi-niveaux de cet aquifère sera un élément important à prendre en considération pour caractériser la potentielle alimentation des SIM par les argiles à graviers. Il serait sans doute utile de déterminer l'organisation précise de ces différents niveaux aquifères au droit de forages représentatifs recoupant ces formations (par diagraphie gamma ray par exemple lorsque possible), et d'effectuer des tests hydrauliques spécifiques à ces niveaux, du moins pour les plus importants.

Dans le **secteur du Plantaurel et des Petites Pyrénées**, bénéficiant de l'étude menée dans le module géologique sur la géométrie et les conditions de mise en place de la formation des poudingues de Palassou, il apparaît intéressant d'étudier le rôle joué par cette formation dans la recharge des aquifères profonds. Les poudingues de Palassou, composés d'éléments calcaires et cristallins, se placent dans un contexte tectonique complexe. Ce type de formation devrait constituer un aquifère de faible perméabilité de fissures comparativement aux formations calcaires avoisinantes en contact (calcaires karstifiés du Plantaurel) expliquant probablement les résultats des jaugeages différentiels n'ayant pas mis en évidence de pertes notables.

Il est ainsi proposé d'entreprendre une campagne de mesures de perméabilité de cette formation à l'instar du type d'investigations mené pour la formation des argiles à graviers. Dépourvu de données, l'objectif recherché sera d'apporter des gammes de valeurs et d'aborder leurs variabilités en fonction des différents faciès caractérisés.

En complément, une approche hydrologique et hydrogéologique à l'échelle de petits bassins versants homogènes sur le plan géologique devrait permettre de mieux appréhender l'éventuelle participation de cet aquifère à la recharge des aquifères sous-jacents. Il s'agirait notamment en termes de travaux de :

- effectuer un inventaire précis des sources issues des poudingues sur ces bassins versants, de caractériser leur condition d'émergence, leur bassin hydrogéologique si possible, et de procéder à la surveillance de leur débit et des paramètres physico-chimiques durant une année hydrologique (6 à 12 mesures sur l'année),
- procéder au jaugeage régulier des cours d'eau sur 2 à 3 sections réparties sur le linéaire, au moins selon la même fréquence que celle appliquée sur les sources.

Cette approche à but démonstratif permettrait de mieux d'appréhender le bilan hydrologique à l'échelle du bassin versant (associés aux données de précipitations locales), et d'estimer les éventuels déficits globaux en eau qui pourraient être potentiellement assimilés au volume de recharge des aquifères sous-jacent.

9. Bibliographie

- ANDRE L.** (2002). Contribution de la géochimie à la connaissance des écoulements souterrains profonds - Application à l'aquifère des Sables Infra Molassiques du bassin Aquitain. Bordeaux 3, Bordeaux.
- BEICIP.** (1984). Modèle géologique de la nappe inframolassique du Bassin Aquitain. Rueil Malmaison: BEICIP.
- BEL F.** (1990). Etude des ressources en eau profonde de la région de Saix, Naves et Labruguière (81) (No. 90MPY07). BRGM.
- BEL F et al.** (1990) – Rapport de fin de sondage du forage de Lalbarède (09857X0104). Réf. R 30 789 MPY 4S 90.
- BEL F., & SOURISSEAU B.** (1992). Aquifère des Sables Infra Molassiques en Midi Pyrénées et Aquitaine - Etat des connaissances et surveillance piézométrique (mise à jour de décembre 1991) (No. R34280MPY4S92). BRGM.
- BELLEMARE R.** (1972). Contribution à l'étude des aquifères du Crétacé supérieur et de l'Eocène dans le sud est du bassin Aquitain - Essai d'évaluation de l'alimentation de la nappe des grès d'Issel. Bordeaux 3, Bordeaux.
- BEZIAT P.** (1978). Etude du district zincifère de Castres à Brassac (Tarn). Essai de synthèse. Rapport BRGM. RDM/FE/SW.
- BOURGINE B., CAPDEVILLE J., LACHASSAGNE P., SCHOEN R., SEGUIN J., & SOURISSEAU B.** (1999). Outil de gestion des systèmes aquifères du Sud du Bassin Adour Garonne - Base de données géoréférencées et modèle conceptuel, Rapport BRGM RR-40633-FR, 39 p., 29 fig., 3 ann.
- BOURGINE B., CAPDEVILLE J. P., RAZIN P., SOURISSEAU B., TILLOLOY F., & VAIRON J.** (1997). Outil de gestion des systèmes aquifères du Sud du bassin Adour Garonne (No. R 39538). BRGM.
- BOUROULLEC I., & MONOD B.** (2015). Définition du lexique géologique des formations éocènes de l'Aquitaine orientale (No. 64630). BRGM.
- BRENOT A., NEGREL P., PETELET-GIRAUD E., MILLOT R., ROY S., DUTARTRE P., & FOURNIER, I.** (2007). Sulfate isotopic and geochemical constraints on dynamics and interconnections of water bodies in the Adour-Garonne district (SW France). Applied Geochemistry.
- CALVET R.** (2003). Le sol. Propriétés et fonctions. Tome 2. Phénomènes physiques et chimiques. Edition France Agricole
- Centre Régional de la Propriété Forestière - Languedoc Roussillon.** (2001). Forêts privées de la Montagne Noire - Orientations Régionales de production du Languedoc Roussillon.

CHERMETTE A. (1969). Bulletin mensuel de la société linnéenne de Lyon, 38(5).

CHOSSAT J.C. (2005). La mesure de la conductivité hydraulique dans les sols. Choix des méthodes. Editions TEC&DOC

DAUCH C. (1988) - Décrochements et chevauchements dans une zone de plate-forme : l'exemple du massif de la Grésigne (Aquitaine nord-orientale) Thèse de doctorat : Université de Toulouse 3.

DOUEZ O. (2007). Réponse d'un système aquifère multicouche aux variations paléoclimatiques et aux sollicitations anthropiques - Approche par modélisation couplée hydrodynamique, thermique et géochimique. Bordeaux 3 / Institut EGID, Bordeaux.

FAUGERE Y. (1970). Les conditions d'alimentation de la nappe des sables sous molassiques en Castrais et en Albigeois. Bordeaux 3, Bordeaux.

FORAY. (1998). Qualité de l'hydrométrie - Code de bonnes pratiques. Banque Hydro.

GAL F., ANDRE L., BENTIVEGNA G., DECOUCHON E., GRANDEMANGE A. (2016). Investigations sur les forages de Labruguière et de Valdurenque –Diagraphies, Pompages et Prélèvements de fond, Rapport final BRGM/RP-65934-FR, 131 p.

GALHARAGUE J., & ROCHE J. (1971). Alimentation aux limites de la nappe infra molassique dans le « Golfe » de l'Albigeois-Castrais. BRGM.

GEZE B., & CAVAILLE A. (1977). Aquitaine Orientale (Masson). Paris.

GRANO B., & SOULE J. C. (1980). **Hydrogéologie des massifs cristallins du département du Tarn - Sidobre et zone axiale** de la Montagne Noire (No. 80-SGN-563-MPY). BRGM.

GORON L. (1927). L'évolution du réseau hydrographique et du relief dans les Petites Pyrénées. In: Revue de géographie alpine, tome 15, n°4, 1927. pp. 473-532.

GUERANGUE-LOZES J., DEMANGE M., MOUINE M.P. (2012). Notice explicative de la carte géologique de France (1/50 000), feuille Castres (986). BRGM, Orléans.

GUESSAB D. (1970). Alimentation des Aquifères Eocène et Crétacé supérieur par les affleurements des Petites Pyrénées. Bordeaux 3, Bordeaux.

HOUSSE B., & MAGET P. (1977). Potentiel géothermique du bassin Aquitain. ELF Aquitaine et BRGM.

KÜHN H. (1969). La formation Infra Molassique dans la région Midi Pyrénées Partie Nord - Etude structurale et géologique. Bordeaux 3, Bordeaux.

LABAT N. (1998). Rôle de particularités sédimentaires et structurales sur le comportement de l'aquifère des sables sous-molassiques soumis aux fluctuations induites par des stockages souterrains de gaz : application à l'étude de leur influence sur l'hydrodynamisme des émergences locales. Ph.D. dissertation, Thèse, Université Michel de Montaigne - Bordeaux 3, 228p.

LE FANIC R. (2005) - Hydrogéologie d'un système thermal et modélisation couplée hydrodynamique - thermique en vue de la gestion de la ressource - Application au système de Dax - Saint-Paul-lès-Dax. Thèse de doctorat : Thèse de doctorat, Université Michel de Montaigne - Bordeaux 3, 285p.

LE GALLIC H. (1966). Une étude hydrogéologique de la zone d'alimentation des sables inférieurs dans la bordure septentrionale. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux.

MALCUIT E. (2012). Origine de la minéralisation des eaux dans un aquifère multicouche profond - Exemple de la « zone minéralisée de l'Entre Deux Mers » (Bassin Aquitain, France). BRGM.

MALCUIT E, NEGREL P., PETELET-GIRAUD E., GANDOLFI J. M., PEDRON N., & BRENOT A. (2008). Caractérisation isotopique et géochimique des masses d'eau dans le bassin Adour Garonne : interconnexions et hétérogénéités - CARISMEAU -TOME 2 (No. RP - 56737). BRGM.

MONOD B. (2014). Carte géologique numérique 1/250000 de la région Midi Pyrénées (No. RP-63650). BRGM.

MONOD B., et le groupe de travail GARVEMIP (2014) – Carte géologique numérique à 1/250 000 de la région Midi-Pyrénées. Notice technique. BRGM/RP-63650-FR, 160 p., 23 fig., 1 pl. hors-texte.

MOULINE M. (1989) - Sédimentation continentale en zone cratonique : le castrais et l'albigeois (France) au Tertiaire. Thèse de doctorat : Université de Bordeaux III

NEGREL P., PETELET-GIRAUD E., BRENOT A., MILLOT R., & INNOCENT C. (2008). Caractérisation isotopique et géochimique des masses d'eau dans le bassin Adour Garonne : interconnexions et hétérogénéités - CARISMEAU -TOME 1 (No. RP - 56291). BRGM.

PELISSIER-HERMITTE G. (1970). Etude de l'alimentation des aquifères éocènes et adjacents, Région Béarn-Bigorre. Thèse.

REYNOLDS D., ELRICK D. (1985). In situ measurements of field-saturated conductivity, absorptivity and the α -parameter using the Guelph Permeameter. Soil Sci.

SCHOEN R., SEGUIN J.J., SOURISSEAU B. (2000) - Outil de gestion des systèmes aquifères du sud du bassin Adour-Garonne - Année 3. Modèle hydrodynamique. Etape de calage en régime permanent. Rapport BRGM/RP-50241-FR, 37 pages, 39 figures, 17 tableaux, 3 annexes.

SCHÖLLER. H. (1956). Géochimie des eaux souterraines Paris : Masson et Cie, Éditeurs.

SCHÖLLER H. (1962). Les Eaux Souterraines. Hydrologie dynamique et chimique, Recherche, Exploitation et Évaluation des Ressources. Paris : Masson et Cie, Éditeurs. 642 p. et 187 fig.

SEGUIN JJ. (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.

SHAND P., DARBYSHIRE D. P. F., LOVE A. J., & EDMUNDS W. M. (2009). Sr isotopes in natural waters : applications to source characterization and water rock interaction in contrasting landscape. *Applied Geochemistry*, (24), 574-586.

SOILMOISTURE EQUIPMENT CORP. (2012). Operating instructions Guelph permeameter

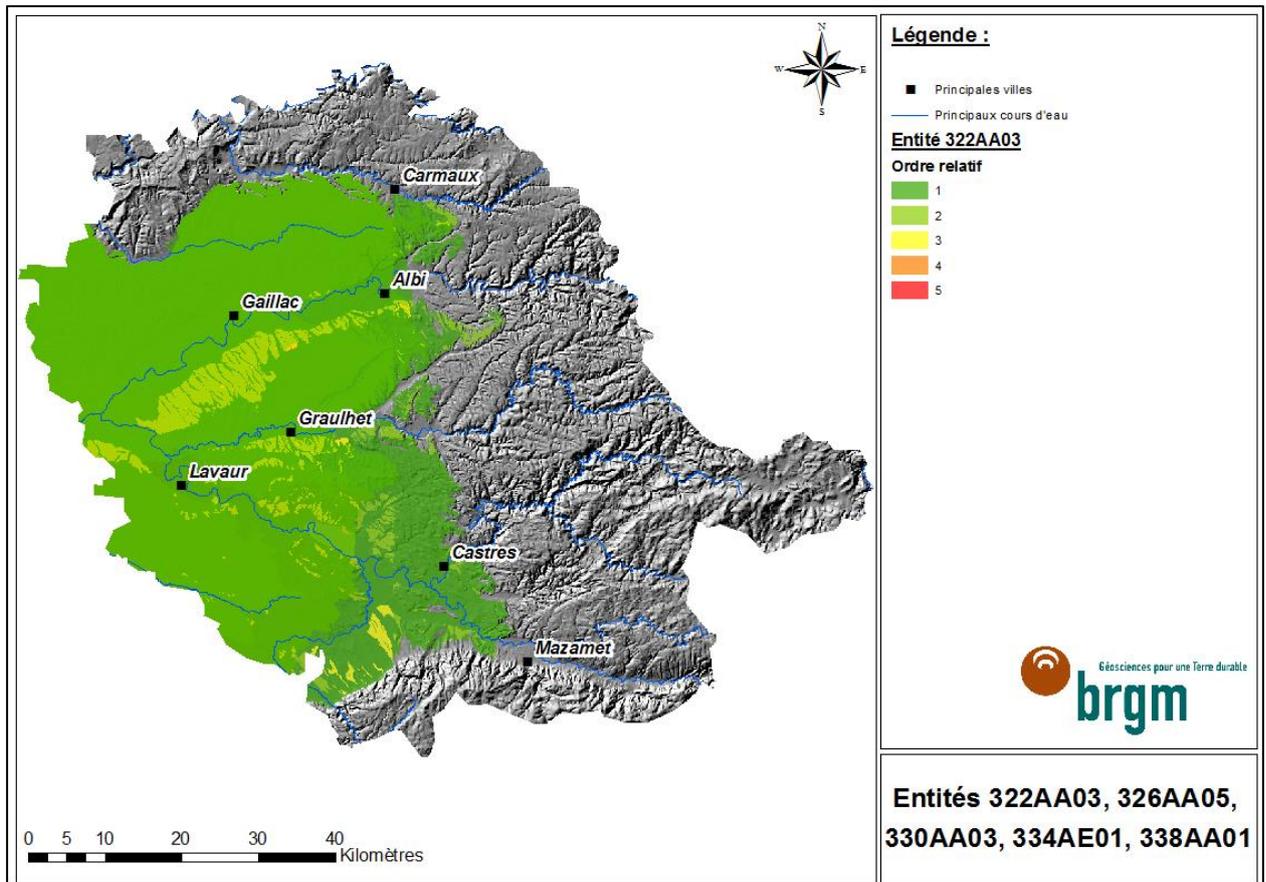
TRAVI Y. (1988) – Hydrogéochimie et hydrologie isotopique des aquifères fluorures du bassin du Sénégal, Université de Paris-sud 11. 229 p.

VIRE A. (1902) – Réalisation de traçage à la fluorescéine sur le Thoré (carte sans référence)

WUILLEUMIER A., ANDRE 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.

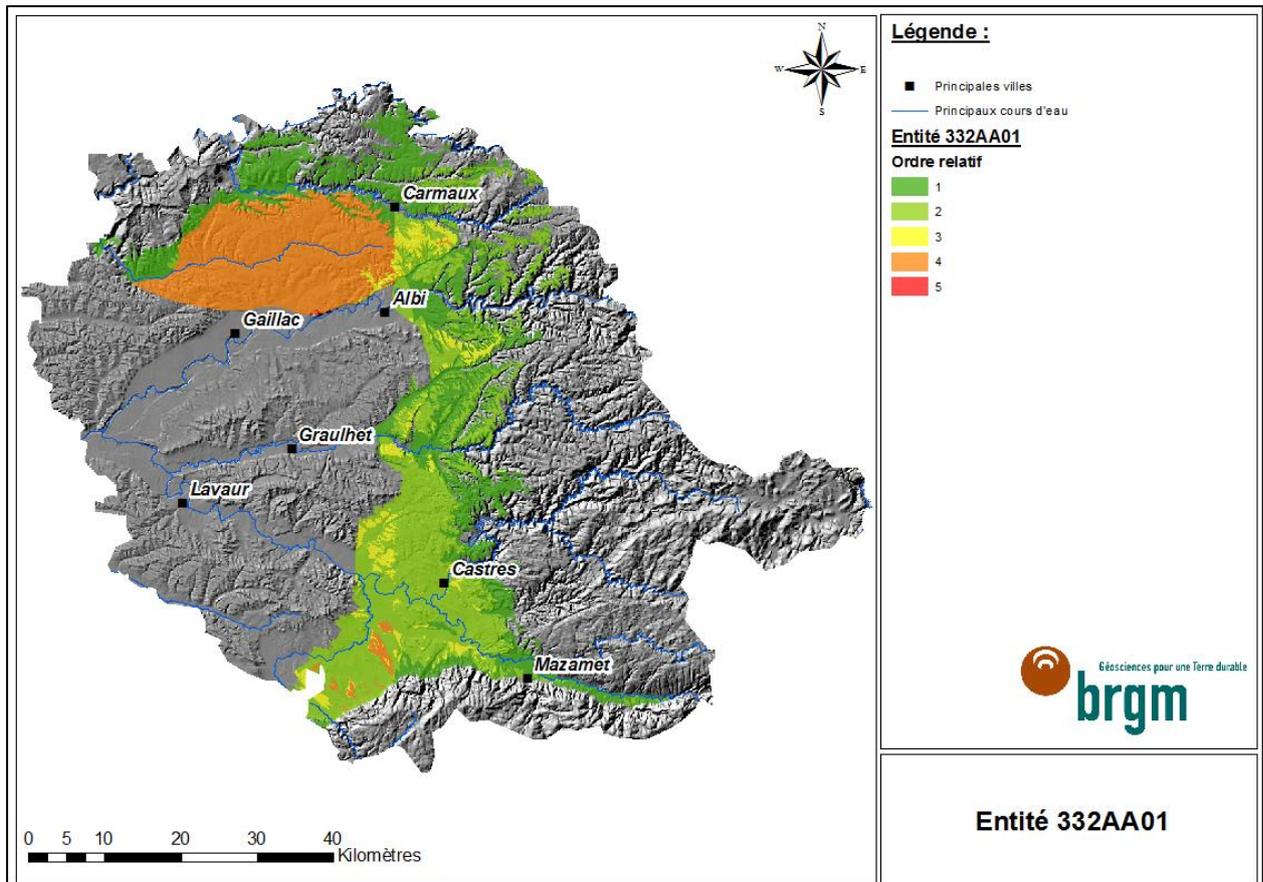
Annexe 1 a

Entités semi-perméables des molasses de l'Eocène supérieur au Miocène du Bassin Aquitain 322AA03



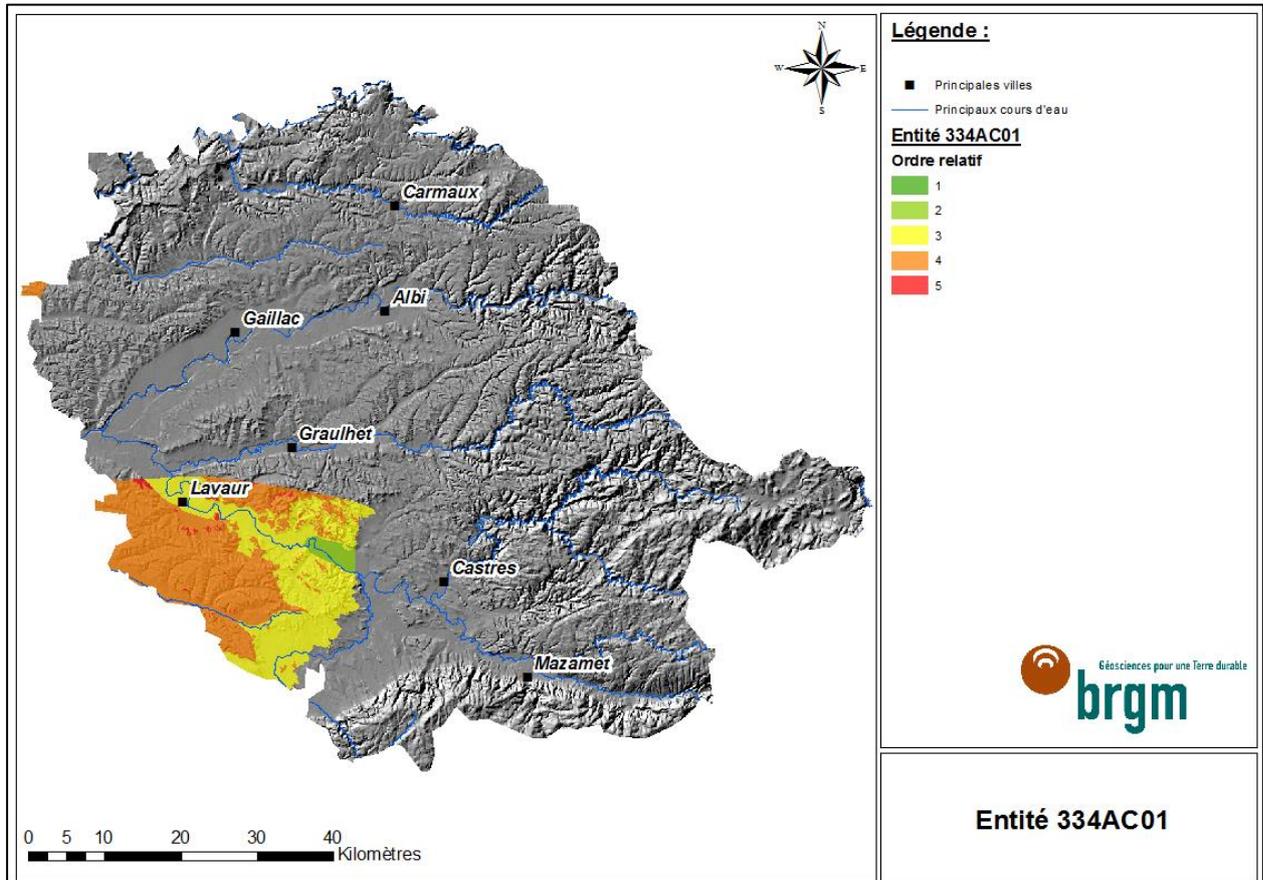
Annexe 1 b

Entité semi-perméable des brèches et conglomérats de la Grésigne, argiles à graviers de l'Albigeois et du Carmausin, et graviers d'Issel (Oligo-Eocène) 332AA01



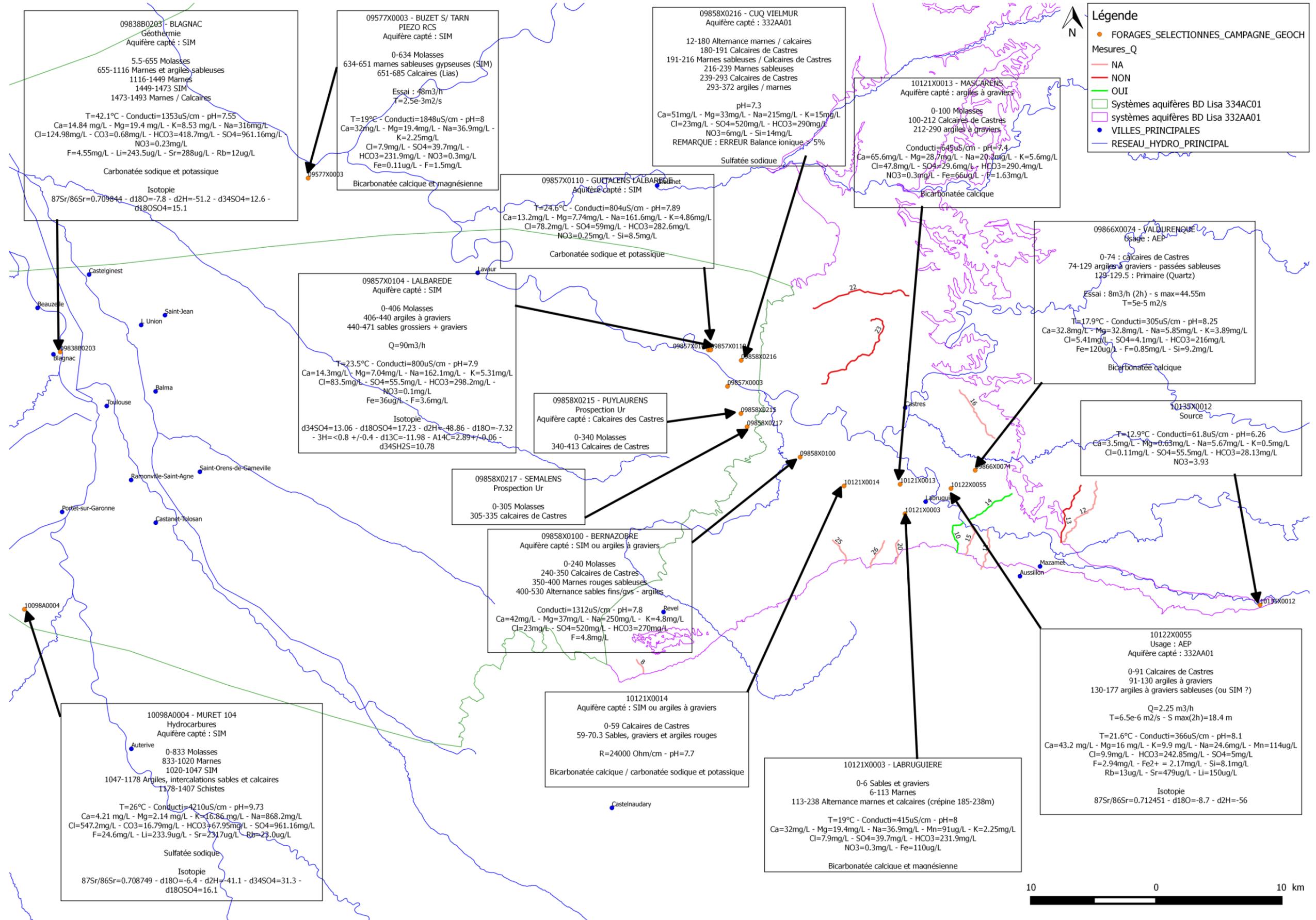
Annexe 1 c

Entité aquifère des Sables Infra-molassiques de l'Eocène inférieur à moyen du sud du bassin aquitain 334AC01



Annexe 2

Carte de localisation des forages à proximité des contreforts de la Montagne Noire - formations des SIM, des argiles à graviers et des calcaires de Castres



Annexe 3

Légende de la carte géologique au 1/250 000^{ème} de la région Midi-Pyrénées



Formations superficielles et altération - Quaternaire

X - Quaternaire. Dépôts anthropiques
FJ - Quaternaire. Cônes de déjection
GL - Quaternaire. Glaciers
U - Quaternaire. Travertins
OE - Quaternaire. Loess
Fz - Pléistocène à Holocène. Alluvions fluviales des basses terrasses à actuel
Fy - Pléistocène. Alluvions fluviales des terrasses inférieures attribuées au Würm
Fx - Pléistocène. Alluvions fluviales des terrasses moyennes attribuées au Riss
Fw - Pléistocène. Alluvions fluviales des hautes terrasses attribuées au Mindel
Fv - Pléistocène. Alluvions fluviales des niveaux supérieurs attribuées au Günz
FG - Pléistocène. Glacio-lacustre et Fluvio-glaciaire
Gy-z - Würm à postglaciaire. Dépôts glaciaires
Gx - Anté-Würm. Dépôts glaciaires
EC - Formations de pentes : éboulis, colluvions
RG - Formations de plateau
K - Remplissage de dépressions karstiques
T - Tourbières
RF - Plio-Pléistocène. Formation de Lannemezan et niveaux alluviaux supérieurs
Δ - Altérites d'âge variable

Volcanisme tertiaire du Massif Central

p3Es - Pliocène supérieur à Pléistocène (2,5 - 1,4 Ma). Volcanisme de l'Escandorgue
m4-p1vs - Langhien à Pliocène (14 - 4 Ma). Laves, brèches ou tufs basaltiques
m5-p1c - Messinien à Pliocène (7 - 3 Ma). Trachyandésites, basaltes
m5troA - Tortonien (12 - 7 Ma). Volcanisme de l'Aubrac. Trachyandésites basaltiques - laves à composition de mugéarites, pyroclastites
m5βA - Tortonien (12 - 7 Ma). Volcanisme de l'Aubrac. Téphrites, trachybasaltes et hawaïtes (leucobasaltes), basaltes, basanites

Formations sédimentaires cénozoïques

m5GB - Tortonien (12 - 7 Ma). Formation des Glaises Bigarrées
m3-4SF - Langhien à Serravallien (16 - 12 Ma). Formation des Sables Fauves
m1-3M - Miocène (23 - 5 Ma). Molasses indifférenciées
g-m1MA - Oligocène à Aquitanien (34 - 20 Ma). Molasses de l'Agenais
g1-2 - Oligocène (34 - 23 Ma). Molasses
e7 - Priabonien (37 - 34 Ma). Calcaires, Molasses, Argiles à graviers, brèches
e4-6 - Yprésien supérieur à Bartonien (52 - 49 Ma). Formation de Palassou
e3-4 - Thanétien à Yprésien (59 - 49 Ma). Calcaires, marnes et grès à Micraster tereensis, Calcaires à Avelina primaeva (faciès marins)
e1 - Danien (65 - 62 Ma). Dolomies, calcaires lithographiques, marnes rouges

Formations sédimentaires mésozoïques

c1-7 - Cénomaniens à Maastrichtien (95 - 65 Ma). Calcaires du Bassin d'Aquitaine et de la Haute Chaîne primaire des Pyrénées
c5b-7 - Santonien supérieur à Maastrichtien (95 - 65 Ma). Flyschs nord-pyrénéens et marnes, grès ou calcaires sous-pyrénéens
c1-5a - Cénomaniens moyen-supérieur à Santonien inférieur (95 - 95 Ma). Flyschs nord-pyrénéens et leurs équivalents chronologiques (calcaires, marnes)
n6-c1 - Albien moyen à Cénomaniens inférieur (109 - 96 Ma). Flysch noir albo-cénomaniens et ses équivalents chronologiques (calcaires, marnes, grès brèches)
Mi - Mésozoïque indifférencié. Trias à Albien inférieur (251 - 110 Ma). Marbres, cornéennes
Br - Brèches
M-c - Crétacé. Métamorphisme pyrénéen
n6b-7aU - Aptien supérieur à Albien inférieur (121 - 109 Ma). Calcaires urgoniens de l'Albo-Aptien
n6b-7aM - Aptien supérieur à Albien inférieur (121 - 109 Ma). Marnes noires
n5 - Aptien inférieur. Bédoulien à Gargasien basal (126 - 121 Ma). Marnes noires
n1-4 - Néocomien à Barrémien (145 - 126 Ma). "Brèche limite" et calcaires
j7 - Tithonien (150 - 145 Ma). Calcaires et dolomies sublithographiques à bioclastiques
j5-6 - Oxfordien à Kimméridgien (161 - 150 Ma). Calcaires oolithiques et graveleux à trocholines puis brèches polygéniques et alternances marno-calcaires à hûlres ou dolomies
j1-4 - Aalénien à Callovien (175 - 161 Ma). Calcaires à oncolithes ou à Fucoides et chailles puis oolithiques alternant avec des calcaires sublithographiques et de la dolomie
i3-4 - Pliensbachien à Toarcien (190 - 175 Ma). Grandes alternances marnes brunes ou noires et calcaires bioclastiques à crinoïdes et pectens
i2-3 - Sinémurien (196 - 189 Ma). Calcaires bioclastiques ou oolithiques et calcaires lithographiques à microrythmes
i1 - Hettangien (200 - 196 Ma). Dolomies, cagneules ou grès et argilites bariolées
t5-7 - Carnien à Rhétien (228 - 200 Ma). Argiles et marnes bariolées évaporitiques, dolomies, grès
t3-4 - Anisien à Ladinien (245 - 228 Ma). Argiles versicolores, marnes, grès et conglomérats (Massif Central). Dolomies et calcaires (Pyrénées)

Formations du Paléozoïque

r1 - Permien à Trias (300 - 200 Ma). Brèches rouges à éléments de quartzite et de calcaire
r2-3P - Cisuralien à Lopingien (295 - 251 Ma). Série pélique. Alternances siltites à débit fin - siltites dolomitiques, Argiles rouges à gypse (groupe des grès rouges)
r2-3G - Cisuralien à Lopingien (295 - 251 Ma). Faciès gréseux (groupe des grès rouges)
r1-2 - Cisuralien (299 - 270 Ma). Grès, conglomérats et pélites
r1 - Assélien (299 - 294 Ma). Conglomérats, grès, pélites
h5 - Carbonifère supérieur. Moscovien-Kasimovien-Gzhélien-Stéphanien (311 - 299 Ma). Conglomérats, grès, pélites, schistes et sédiments houillers
hC - Viséen supérieur à Bashkirien (330 - 311 Ma). Grès, pélites, intercalations de calcaires résédimentés. Faciès Culm
d5-7 (a) - Dévonien supérieur à Carbonifère (385 - 318 Ma). Formations carbonatées
d5-7 (b) - Dévonien supérieur à Carbonifère (385 - 318 Ma). Formations détritiques
d1-5 (a) - Dévonien inférieur à moyen (416 - 385 Ma). Formations carbonatées
d1-5 (b) - Dévonien inférieur à moyen (416 - 385 Ma). Formations détritiques
s - Silurien indifférencié (443 - 416 Ma). Schistes et ampélites noirs à intercalations de calcaire
KE-O5-6 - Cambrien inférieur et/ou Ordovicien supérieur (542 - 443 Ma). Schistes ardoisiers à lentilles microconglomératiques. Formation d'Évol métamorphique du dôme de la Garonne
k-o-s - Cambrien à Silurien (542 - 416 Ma). Métagrauwackes, métapélites ± migmatitiques, quartzites et cipolins (C) de Gavarnie
o6-S - Ordovicien supérieur et/ou Silurien (480 - 416 Ma)

Formations du Paléozoïque (suite)

o5-6 - Ordovicien supérieur. Katien-Hirnantien (455 - 443 Ma). Katien-Hirnantien. Pélites, microconglomérats, conglomérats, calcschistes et calcaires fossilifères
o5Cg - Ordovicien supérieur. Sandbien (460 - 455 Ma). Sandbien terminal. Conglomérats de base
o1-2Mdβ - Ordovicien inférieur. Arénig (478 - 471 Ma). Métadolérites et metabasaltes
o1-2 - Ordovicien inférieur. Trémadocien à Arénig (488 - 471 Ma). Schistes noirs homogènes avec intercalations diverses
o1-2χ - Ordovicien inférieur. Trémadocien (488 - 478 Ma). Quartzites micacés blancs ou massifs
k5-o1 - Cambrien supérieur à Ordovicien inférieur (489 - 471 Ma). Formation grésopélique verte
k3-6 - Cambrien moyen à supérieur (510 - 488 Ma). Formation grésopélique à Paradoxides, Cystidés, Bailliella
k1-4SC - Cambrien inférieur à moyen (542 - 489 Ma). Série pélique à nombreux horizons calcaires, dolomitiques et à faciès "schistes trous"
k1-4VS - Cambrien inférieur à moyen (542 - 489 Ma). Ensemble volcano-sédimentaire du Sud du Merdelou
KE - Cambrien inférieur. Terreneuvien-Série 2 (521 - 510 Ma). Complexe schisto-gréseux à intercalations de calcaire et de cipolin (C) de quartzite ou microconglomérat (G). Formation d'Évol indifférenciée
K2 - Cambrien inférieur (542 - 510 Ma). Formation carbonatée (calcaires à Archeocyathus)
KE3 - Cambrien inférieur. Série 2-Etage 4 (517 - 510 Ma). Pélites et grésopélites claires ± rubanées, quartzites, rares microconglomérats et conglomérats (Cg), calcaires (C). Formation d'Alins
KE2 - Cambrien inférieur. Série 2-Etage 3 (521 - 517 Ma). Calcaires et dolomies, quartzites, microconglomérats. Formation de Luret-Bayau
k1-3fpB - Cambrien (542 - 488 Ma). Formations volcano-sédimentaires tufs rhyolitiques, blavériens, schistes tuffacés du Layrac
k1 - Cambrien inférieur (542 - 510 Ma). Formation détritique (Grès de Marcoray)
KE1 - Cambrien inférieur. Terreneuvien (542 - 521 Ma). Pélites et grésopélites sombres ou claires, microconglomérats (G), calcaires (C), Formation d'Alôs d'Isi

Formations métamorphiques de haut degré. Métamorphisme varisque

Formations métamorphiques en dômes migmatitiques et gneissiques : magmatisme ordovicien

ko3SN - Orthogneiss du Somail-Nore
M - Migmatites à protolithe indéterminé
GP - Gneiss leucocrate à grain fin (type Peyregand)
GA - Orthogneiss oeilé. Monzogranite (type Riète)

Massif Central : Ensembles métamorphiques (protolithe incertain)

ULFex - Unité de Leyme-Figeac. Micaschistes à biotite et grenat, parfois staurolite, quartzites feldspathiques noirs à biotite, intercalations d'amphibolite, de leptynite, d'orthogneiss et de rares cipolins
ULFg - Unité de Leyme-Figeac. Paragneiss à un ou deux micas
USGoζ - Unité Supérieure des Gneiss. Orthogneiss acides, granitiques à granodioritiques, ± migmatitiques
USGpM - Unité Supérieure des Gneiss. Paragneiss migmatitique du Lévêzu
USGδ - Unité Supérieure des Gneiss. Amphibolites diverses, rares skams et cipolins
USGδδ - Unité Supérieure des Gneiss. Complexe leptyno-amphibolique
USGζ - Unité Supérieure des Gneiss. Leptynites, quartzites, gneiss et micaschistes péliques indifférenciés
USGA - Unité Supérieure des Gneiss. Roches ultrabasiques serpentinisées
UIGpfζ - Unité Inférieure des Gneiss. Porphyroïdes leucocrates à grain fin localement oeilés
UIGoζ - Unité Inférieure des Gneiss. Orthogneiss acides, granitiques à granodioritiques
UIGηη - Cambrien (540 Ma). Métadiorites quartziques
UIGδδ - Unité Inférieure des Gneiss. Complexe leptyno-amphibolique
UIGδδχ - Unité Inférieure des Gneiss. Micaschistes et/ou paragneiss avec intercalations locales de quartzite

Formations métamorphiques de haut degré. Métamorphisme varisque (suite)

Massif Central : Ensembles métamorphiques (protolithe incertain)

UPApfζ - Unité Para-autochtone. Porphyroïdes leucocrates à grain fin localement oeilés
UPAoζγ - Unité Para-autochtone. Orthogneiss granitiques
UPAδδ - Unité Para-autochtone. Séricitoschistes, micaschistes, paragneiss

Enveloppe métamorphique du dôme migmatitique de la zone axiale de la Montagne Noire

SPg-h - Ensemble supérieur schisto-gréseux
SPf - Schistes péliques, grès et quartzites clairs
Sa3-SPd-e - Formations grésopélique et carbonatée de Mas de Rieu (SPd-e) et de Nages (Sa3)
Sa2-SPC - Formations méta-volcanique à volcano-sédimentaire : Gneiss de l'Orbiel (SPC) et Formation de Murat (Sa2)
Sa1-SPb - Ensemble inférieur méta-grésopélique : Formations de Rieumajou (SPb) et de Puech-Plo (Sa1)
ko3C - Orthogneiss des Cammazes et de Plaisance

Pyrénées : Formations méta-sédimentaires à métamorphiques

Gr - Granulites
b-k - Micaschistes et gneiss indéterminés, granites
b2 - Métateixites supérieures
b1 - Diatexites
b0 - Métateixites inférieures

Formations mantelliques

x2 - Crétacé. Lherzolites

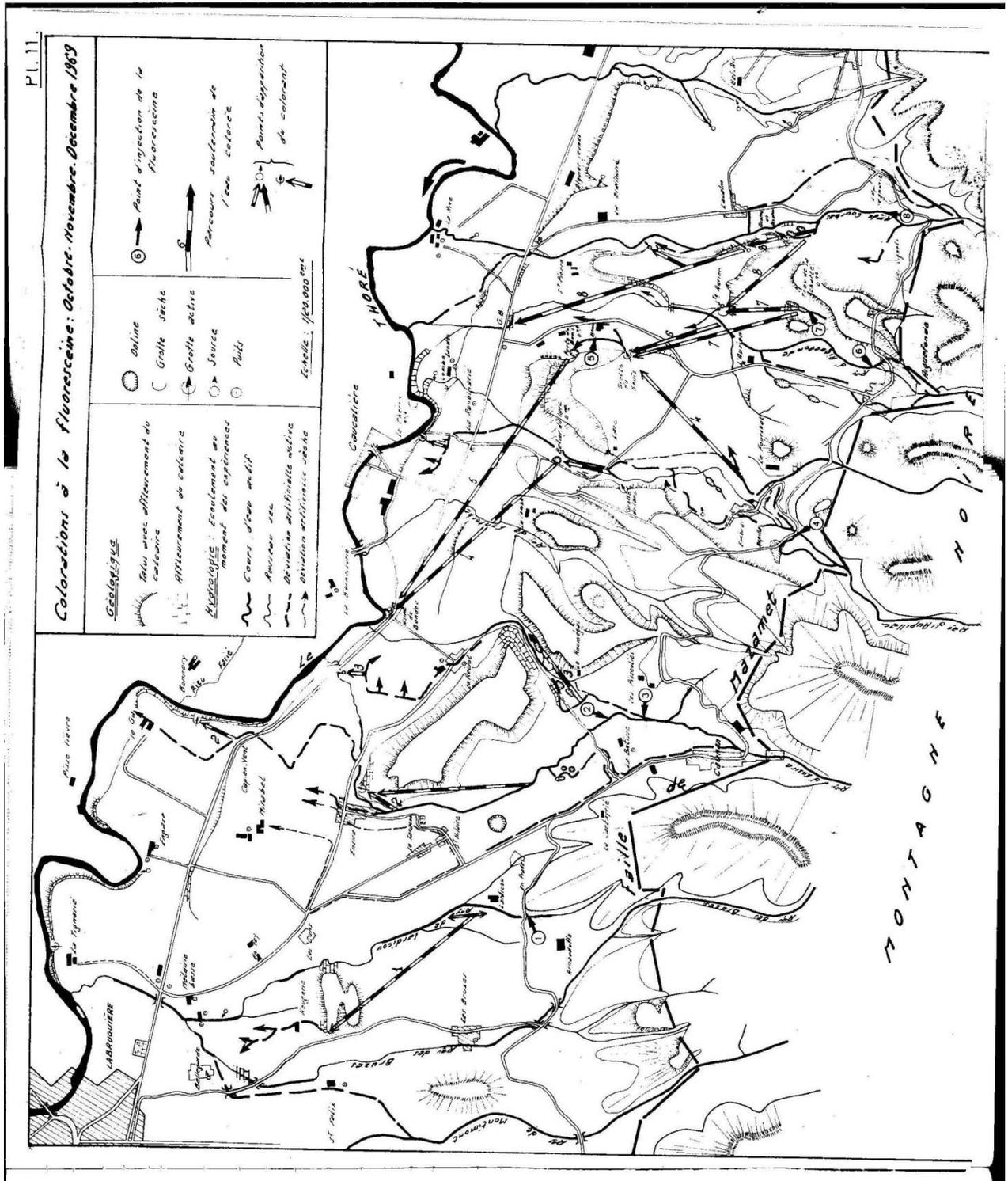
Formations magmatiques et volcaniques

ω - Trias à Jurassique. Ophites
h3p2 - Stéphanien à Permien (308 - 270 Ma). Volcanisme du Massif Central et des Pyrénées
h5-r1Ly - Kasimovien à Cisuralien (308 - 270 Ma). Leucogranites aluminopossiques à biotite et/ou muscovite et parfois tourmaline
θ - Varisque. Gabbrros et diorites
h4-r1y - Serpukhovien à Cisuralien (326 - 270 Ma). Monzogranites, granodiorites à biotite
M-cont - Métamorphisme de contact autour des plutons granitiques varisques
h3yAl - Serpukhovien à Bashkirien (326 - 311 Ma). Granite aluminopossique, à biotite +/- muscovite, de la Margende-Entraygues
h2γyAl - Viséen (345 - 328 Ma). Leucogranites-granites foliés à biotite + muscovite ou grenat, zone axiale de la Montagne noire
h2My - Viséen (345 - 328 Ma). Granite migmatitique à cordiérite du Lauouzas, zone axiale de la Montagne noire
d7-h1yCA - Dévonien supérieur à Tourmaisien (385 - 345 Ma). Granitoides calco-alcalins orientés ("orthogneiss" du Pinet)
d6-7yCA - Dévonien supérieur (385 - 359 Ma). Roches intermédiaires à basiques, à hornblende et biotite
Hydro - Zone hydrographique

- Bauxite
- Crétacé. Roches magmatiques intrusives sous-saturées
- ★ Eclogites et granulites rétroformosées dans le faciès amphibolite
- Lherzolites
- Talc

Annexe 4

Résultats des traçages effectués sur les affluents en rive gauche du Thoré (FAUGERE, 1970)



Annexe 5

**Section des cours d'eau évalués lors de la campagne
de terrain de l'été 2015 - Les lignes surlignées
correspondent aux cours d'eau ayant été attribués
d'un ordre de priorité P1**

Synthèse hydrogéologique - golfe de l'Albigeois-Castrais et piémont pyrénéen

id	X_RGF93	Y_RGF93	X_WGS84_DD	Y_WGS84_DD	Priorité	Mesures_Q	Formations_Geol	L_affleu	code_hyd	ro	Toponyme	SH	Donnees_qualite	Forage	Code_BSS_Source
1	598606.39	6211128.72	1.75775	42.99233	P1	3	e4_6P	6199.00	O1580500		Ruisseau de Ternesse	NON	NON		NON
1	600113.74	6216230.29	1.77525	43.03842	P1		e4_6P					NON	NON		
2	592162.65	6210700.58	1.67891	42.98754	P2	2	e4_6P	4881.00	O1310650		Dalou	NON	NON		
2	590899.43	6214709.05	1.66261	43.02340	P2		e4_6P					NON	NON		
3	590838.93	6212632.81	1.66230	43.00472	P2	2	e4_6P	1207.00	O1311080			NON	NON		NON
3	591672.15	6213388.99	1.67235	43.01164	P2		e4_6P					NON	NON		
4	590710.16	6212897.94	1.66066	43.00708	P2	2	e4_6P	1450.00	O1310720			NON	NON		NON
4	591287.99	6214076.72	1.66750	43.01777	P2		e4_6P					NON	NON		
5	525074.57	6234789.34	0.84932	43.19089	P3	11		10919.00	O0290530		La Noue	NON	NON		
5	532801.28	6230919.54	0.94551	43.15794	P3							OUI	NON		
6	530622.97	6236375.36	0.91699	43.20648	P1	3	e1CM; e3a5; e3aC; e4M; e4CM; e4_6P; e3c2	4234.00	O0291070		Le Rioutord	NON	NON		NON
6	530033.60	6232585.12	0.91098	43.17226	P1		e1CM; e3a5; e3aC; e4M; e4CM; e4_6P; e3c2					NON	NON		
7	505603.96	6242201.18	0.60731	43.25249	P3		e1CM	4205.00	O24-0400			NON	05155300		
7	508940.34	6243777.71	0.64777	43.26757	P3		e1CM					NON	05155300		
8	617611.51	6257759.57	1.98322	43.41418	P2	2		1245.00	O4511340			NON	NON		NON
8	617058.23	6258800.67	1.97622	43.42348	P2		e4A					NON	NON		
9	499386.09	6301935.46	0.50763	43.78794	P3			1753.00	O6640580			NON	NON		
9	497897.93	6302103.58	0.48909	43.78903	P3							NON	NON		
10	642656.58	6267379.75	2.29122	43.50318	P3		e6_aA; e5_e6aC	3266.00	O4390510		Ruisseau la Resse	NON	NON		NON
10	643147.56	6269740.81	2.29703	43.52447	P3		e6_aA; e5_e6aC					NON	NON		
11	644604.28	6266053.60	2.31543	43.49141	P3		e6_aA; e5_e6aC	3613.00	O4380750		Ruisseau Aiguefonde	NON	NON		NON (10122X0054/HY)
11	645155.45	6269152.97	2.32192	43.51934	P3		e6_aA; e5_e6aC					NON	NON		
12	653778.42	6272988.76	2.42818	43.55446	P3	7	e4_e5A	7085.00	O4380540		Ruisseau du Dou	NON	NON		
12	651008.79	6268191.84	2.39437	43.51112	P3		e4_e5A					NON	NON		
13	652608.16	6272711.11	2.41373	43.55188	P1	3	e4_e5A	5471.00	O4380500		Ruisseau Issales	NON	05135900		
13	651016.87	6268195.05	2.39447	43.51115	P1		e4_e5A					NON	05135900		
14	647048.64	6272048.24	2.34503	43.54553	P1	4	e4_e5A; e5_e6aC	5090.00	O4390570		Le Favie	NON	NON		NON
14	642947.45	6270558.76	2.30419	43.52728	P1		e4_e5A; e5_e6aC					NON	NON		
15	643348.00	6267165.00	2.29979	43.50131	P1	2	e6_aA; e5_e6aC	2646.00	O4391050			NON	NON		NON
15	643831.43	6269459.18	2.30551	43.52199	P1		e6_aA; e5_e6aC					OUI	NON		
16	645672.66	6276514.64	2.32754	43.58616	P1	4	e4_e5A	5131.00	O4220650		Ruisseau des Gourgs	NON	NON		NON (09866X0028/HY)
16	642886.45	6280307.48	2.29263	43.61951	P1		e4_e5A					NON	NON		
17	560253.86	6222341.09	1.28501	43.08670	P1	6	e3(6); e4a(2); e3(3); e4a e1; e4_6P	6404.00	O0740510		Ruisseau de Camarade	NON	NON		10567X0016
17	564691.00	6218912.01	1.34034	43.05672	P1		e3(6); e4a(2); e3(3); e4a e1; e4_6P					NON	NON		
18	565397.36	6219501.60	1.34885	43.06215	P1	2	e3(6); e4a(2); e3(3); e4a e1; e4_6P	2917.00	O07-0400		L'Arize	NON	Arize		
18	566401.34	6221784.34	1.36058	43.08287	P1		e3(6); e4a(2); e3(3); e4a e1; e4_6P					OUI	Arize		
19	567401.80	6222079.00	1.37278	43.08570	P1	2	e3(6); e4a(2); e3(3); e4a e1	1696.00	O07-0400		L'Arize	OUI	Arize		
19	568478.57	6222893.56	1.38578	43.09323	P1		e3(6); e4a(2); e3(3); e4a e1					NON	Arize		
20	637795.53	6266482.67	2.23125	43.49471	P3		e4A; e4_e5A; e5_e6aC; e6_aA; (e6_aM)	2014.00	O4550540		Ruisseau Mouscaillou	NON	NON		NON
20	638004.38	6268332.76	2.23361	43.51137	P3		e4A; e4_e5A; e5_e6aC; e6_aA; (e6_aM)					NON	NON		
21	563100.82	6224359.82	1.31942	43.10540	P2		e3(6); e4a(2); e3(3); e4a e1; e4_6P	2226.00	O0750390		Lapiche Portedus	NON	NON		
21	564722.32	6225413.98	1.33904	43.11519	P2		e3(6); e4a(2); e3(3); e4a e1; e4_6P					NON	NON		
22	638800.70	6287887.50	2.24113	43.68738	P3		e6_aA	8409.00	O4610590		Ruisseau Poulobre	NON	NON		NON
22	631236.77	6286873.40	2.14748	43.67756	P3		e6_aA					NON	NON		
23	635797.92	6285935.30	2.20414	43.66954	P1	5	e6_aA	12138.00	O4470500		L'aybes	NON	NON		NON
23	629882.37	6279616.00	2.15638	43.62330	P1		e6_aA					NON	NON		
24	640640.77	6322975.70	2.25986	44.00328	P3			5926.00	O3900580			NON	NON		NON
24	635552.56	6320626.45	2.19672	43.98169	P3							NON	NON		
25	633662.26	6266491.86	2.18017	43.49441	P3		e6_aM; e6_aA	2364.00	O4550620		Ruisseau du Perche	NON	NON		NON
25	632743.99	6268348.67	2.16858	43.51103	P3		e6_aM; e6_aA					NON	NON		
26	635761.41	6266149.84	2.20615	43.49153	P2		e4A; e4_e5A; e5_e6aC; e6_aA; (e6_aM)	2596	O4550500		Rau du Bernazobre	NON	Bernazobre		NON
26	636859.93	6268313.58	2.21946	43.51109	P2		e4A; e4_e5A; e5_e6aC; e6_aA; (e6_aM)					NON	Bernazobre		

Annexe 6

Méthodes de jaugeage

Jaugeage MFPro – capteur électromagnétique

Principe de fonctionnement :

Selon le principe de Faraday, l'écoulement d'un fluide conducteur perpendiculairement au champ magnétique génère une tension proportionnelle à la vitesse du fluide. Plusieurs mesures sont effectuées sur chacune des verticales de la section mesurée. L'appareil intègre la vitesse sur l'ensemble de la section pour calculer le débit sur la section mesurée.

Caractéristiques techniques :

Paramètres mesurés : vitesse du flux et hauteur d'eau

Notes d'utilisation sur le produit: Faible maintenance – Fonctionne pour les débits faibles et en conditions turbulentes – sections polluées et présence de végétation – Applicable aux cours d'eau et aux conduites.

Plage de mesure: 0 ... 6 m/s

Précision: $\pm 2\%$ de la valeur mesurée ± 0.015 m/s (0 ... 3 m/s) et $\pm 4\%$ de la valeur mesurée ± 0.015 m/s (3 ... 5 m/s)

Méthodologie appliquée :

Cet outil a été utilisé lorsque la hauteur d'eau était d'au moins 8 cm sur environ 80% de la section mesurée. Le lit était choisi ou arrangé de telle sorte qu'aucun embâcle ne se trouvait en face du capteur. Dans certains cas, le lit comportait des cuvettes et il a donc été décidé de faire plusieurs mesures rapprochées sur les pentes afin d'optimiser l'intégration.

Jaugeage OTT ADCP – courantomètre à effet Doppler (acoustique)

Principe de fonctionnement :

Les 4 transducteurs présents dans le capteur émettent des ultrasons de manière indépendante. Les matières en suspension réfléchissent le signal qui est alors réceptionné par l'ADCP avec un différentiel de temps qui correspond à l'écoulement. Plusieurs mesures sont effectuées sur chacune des verticales de la section mesurée. L'appareil intègre la vitesse sur l'ensemble de la section pour calculer le débit sur la section mesurée.

Méthodologie appliquée :

Cet outil a été utilisé lorsque la hauteur d'eau était d'au moins 10 cm sur environ 80% de la section mesurée. Le lit était choisi ou arrangé de telle sorte qu'aucun embâcle ne se trouvait en face du capteur. Dans certains cas, le lit comportait des cuvettes et il a donc été décidé de faire plusieurs mesures rapprochées sur les pentes afin d'optimiser l'intégration.

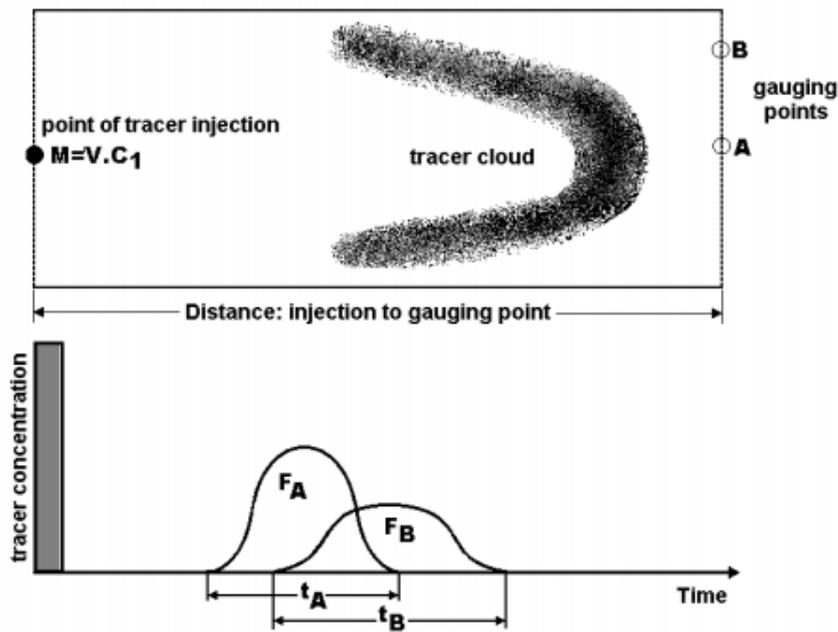


Jaugeage au courantomètre acoustique sur l'Arize

Jaugeage SalinoMadd – par dilution (NaCl)

Principe de fonctionnement :

Une solution concentrée – traceur - est injectée en amont de la section de mesure. En aval hydraulique, à une distance suffisamment importante du point d'injection pour que la distance de mélange soit suffisante, la concentration en traceur est mesurée lorsque le traceur atteint le point de mesure. La dilution est fonction de la vitesse d'écoulement, supposée constante sur la section concernée lors de la mesure. Cette méthode est particulièrement adaptée dans le cas de rivières ou ruisseaux dont le débit est torrentiel et impossible à mesurer avec les méthodes précédentes. La concentration en traceur dépend de la section du cours d'eau et d'une approche de la vitesse (peut être estimée par une méthode type flotteur).



Caractéristiques techniques :

Salinité :

Plage de mesure de salinité : 0-2000 mg/L

Conductivité : 0-3600 μ S/cm

Sensibilité: 1 mg/l

Précision: < 1%

Quantité de sel (min - max): 1g - 1000 kg

Température :

Plage de mesure : 0-40°C

Précision absolue : +/- 0,2 °C

Débit :

Précision : < 5 %

Etendue de la mesure affichée : 0,01 l/s - 999'900 l/s

Méthodologie appliquée :

La quantité de sel mis à l'injection en amont du lieu de mesure dépend de la turbulence du cours d'eau, et de sa taille. Une approximation du débit doit être effectuée au préalable, ainsi que la mesure de la lame d'eau sur le lieu de mesure et la largeur du cours d'eau. Une quantité d'environ 2 kg de sel (NaCl) est valable sur une rivière dont le débit approximatif est de 200-300 l/s. Le dispositif a été mis en place, la sonde plongée dans la rivière, avant d'effectuer l'injection après mélange du sel avec l'eau de la rivière une centaine de mètres en amont.



Jaugeage au sel sur le ruisseau du Camarade

La plupart des cours d'eau présentant des sections trop peu turbulentes en amont des points de mesure, le jaugeage au sel n'a été effectué que sur une section du cours d'eau du Camarade. Le débit obtenu était évalué par l'instrument à 36 l/s, mesure qui a été vérifiée/validée par une méthode moins précise, celle du flotteur.

Mesure au seau ou sac :

Lorsqu'aucune autre méthode n'était applicable, l'utilisation d'un tuyau (PVC ou alliage métallique) a été effectuée. Cela s'appliquait généralement aux débits trop faibles pour être mesurés avec des méthodes traditionnelles. De part et d'autre du tuyau, des berges imperméabilisées avec des argiles ou terre végétale ont été montées afin d'éviter tout écoulement à l'extérieur du tuyau.

Dans certains cas, la mesure de forts débits a dû être réalisée avec des sacs d'une contenance de 40 litres environ. Bien que cette méthode soit très approximative, aucune autre solution n'était envisageable sur place.



Jaugeage au seau et au tuyau sur un affluent de l'Arize

Annexe 7

Compte rendu de mission (jaugeages différentiels)

Réf. :

Ramonville, le 04/08/15

COMPTE RENDU DE MISSION	
Rédacteurs : Clara Chauvet	
Entité : DAT/GIR SO/MPY	
Projet : GAIA Amélioration de la connaissance sur l'alimentation de la nappe des sables Infra Molassiques sur la Montagne Noire	Numéro :
Objet : Jaugeages différentiels et mesures physico chimiques sur les cours d'eau sélectionnés (Montagne Noire et Petites Pyrénées)	
Date : 04/08/2015	Lieu : Montagne Noire et Petites Pyrénées (Plantaurel)
Participants :	Edouard POUX et Clara CHAUVET

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS
<p>1. Objectifs</p> <p>La campagne de terrain de jaugeages différentiels et mesures physico chimiques fait partie intégrante de mon stage. En effet, celui-ci s'intéresse majoritairement à la recharge de la nappe des Sables Infra Molassiques par les eaux de surface sur les contreforts de la Montagne Noire et les Petites Pyrénées. Le but des jaugeages est de déterminer les zones pouvant participer à la recharge par la mise en exergue de pertes à l'échelle du cours d'eau (drainance de la rivière par la nappe). Les mesures effectuées peuvent aussi permettre de mettre en avant d'éventuels apports par la nappe (drainance de la nappe par la rivière).</p> <p>2. Méthodologie :</p> <p>Les sections des cours d'eau à jauger ont été préalablement sélectionnées à partir des formations géologiques (perméabilité, fissures, fractures) et de la bibliographie.</p> <p>Les mesures de physico chimie et les jaugeages ont été réalisés d'aval en amont, sur 2 campagnes de terrain : 10 jours en juin (semaines 24 à 26) et 4 jours en juillet (semaine 31). Les périodes de campagnes ont été déterminées en fonction de la disponibilité du matériel.</p> <p>Matériel utilisé :</p> <p>Courantomètre numérique acoustique OTT ADC Perche avec capteur MF Pro électromagnétique Salinomad (jaugeages au sel) Tuyau et Seau ou Sac étanche + seau Bécher Sondes pH, conductimétrie, O2 dissous et potentiel Redox (+Température) HCl 10% GPS</p>

3. Déroulement des campagnes

MONTAGNE NOIRE

- L'aybes (Code Hydro : O4470500) – 09/06/2015 et 10/06/2015

Longueur de la section : 12km – Nombre de mesures effectuées : 15

Discussion avec les locaux : mesures physico chimiques à proximité d'un puits. Bons contacts.

- Ruisseau des Gourgs (Code Hydro : O4220650) – 11/06/2015

Longueur de la section : 5km – Nombre de mesures effectuées : 6

- Ruisseau du Favié (Code Hydro : O4390570) – 15/06/2015

Longueur de la section : 5.1km – Nombre de mesures effectuées : 2

Discussion avec des riverains et mesures physico-chimiques à une source captée : Le ruisseau est généralement à sec à partir de mai au niveau de la propriété (environ 500m en aval de la retenue). Infiltration dans les Calcaires de Castres.

- Ruisseau de l'Issalès (Code Hydro : O4380500) – 12/06/2015, 15/06/2015 et 30/07/2015

Longueur de la section : 5.5km – Nombre de mesures effectuées : 12

Orage le 15/06/2015 avec des mesures de débit et physico chimiques qui témoignent de l'importance des apports par la pluie. Les mesures ont été reprises le 30/07/2015, légère pluie qui n'a pas eu d'impact sur les mesures.

- Ruisseau de la Resse (Code Hydro : O4390510) – 15/06/2015 et 31/07/2015

Longueur de la section : 3.3km – Nombre de mesures effectuées : 2

Le 30/07/2015 : Les sondes de pH et de conductimétrie ne fonctionnent plus, l'utilisation d'un appareil de mesure avec une précision au dixième de mS/cm pour la conductimétrie a été faite. Le ruisseau s'infiltré en amont sur des formations sableuses, et la résurgence se fait 2km en aval à travers les calcaires (grotte).

Discussion avec les locaux qui nous ont montré de nombreuses dolines à proximité et la présence de trous au sein même du ruisseau, ce qui atteste d'un karst bien développé.



Résurgence de la Resse

PETITES PYRENEES – PLANTAUREL

- Ruisseau du Rioutord (Code Hydro : O0291070) – 18/06/2015

Longueur de la section : 4.2km – Nombre de mesures effectuées : 5

- Ruisseau du Camarade (Code Hydro : O0740510) – 16/06/2015, 17/06/2015 et 29/07/2015

Longueur de la section : 6.4km – Nombre de mesures effectuées : 8

Discussion avec les locaux : le 17/06/2015, visite de la source qui alimentait le village de Lézère ; prise des

paramètres physico chimiques. Le ruisseau s'infiltré puis ressort en aval ; des traçages ont été effectués dans le passé et ont mis en avant des points de résurgence à divers endroits. La source n'était pas répertoriée dans la BSS.

Le 29/07/2015, visite de la source qui alimentait Maury et le Mas d'Azil. La source est captée, mais s'écoule à perte, comme celle visitée le 17/06. L'agriculteur voudrait que ce soit repris en main pour pouvoir stocker l'eau et l'utilisée pour les troupeaux ou autre.



Source de Lézère

- Ruisseau de Ternesse (Code Hydro : O1580500) – 20/06/2015

Longueur de la section : 6.2km – Nombre de mesures effectuées : 3

Le ruisseau s'infiltré à de nombreuses reprises dans des formations calcaires / poudingues. Discussion avec les locaux : le ruisseau est sujet, de même que le ruisseau du Camarade, à une grande variabilité de débit ; sec en saison estivale, fort débit en hiver et début de printemps.

- Arize (Code Hydro : O07-0400) – 28/07/2015 et 29/07/2015

2 sections de 2.9 et 1.7km – Nombre de mesures effectuées : 5

Sections très larges (15m). La sonde de conductimétrie ne fonctionne plus.



Jaugeage au tuyau dans un affluent de l'Arize



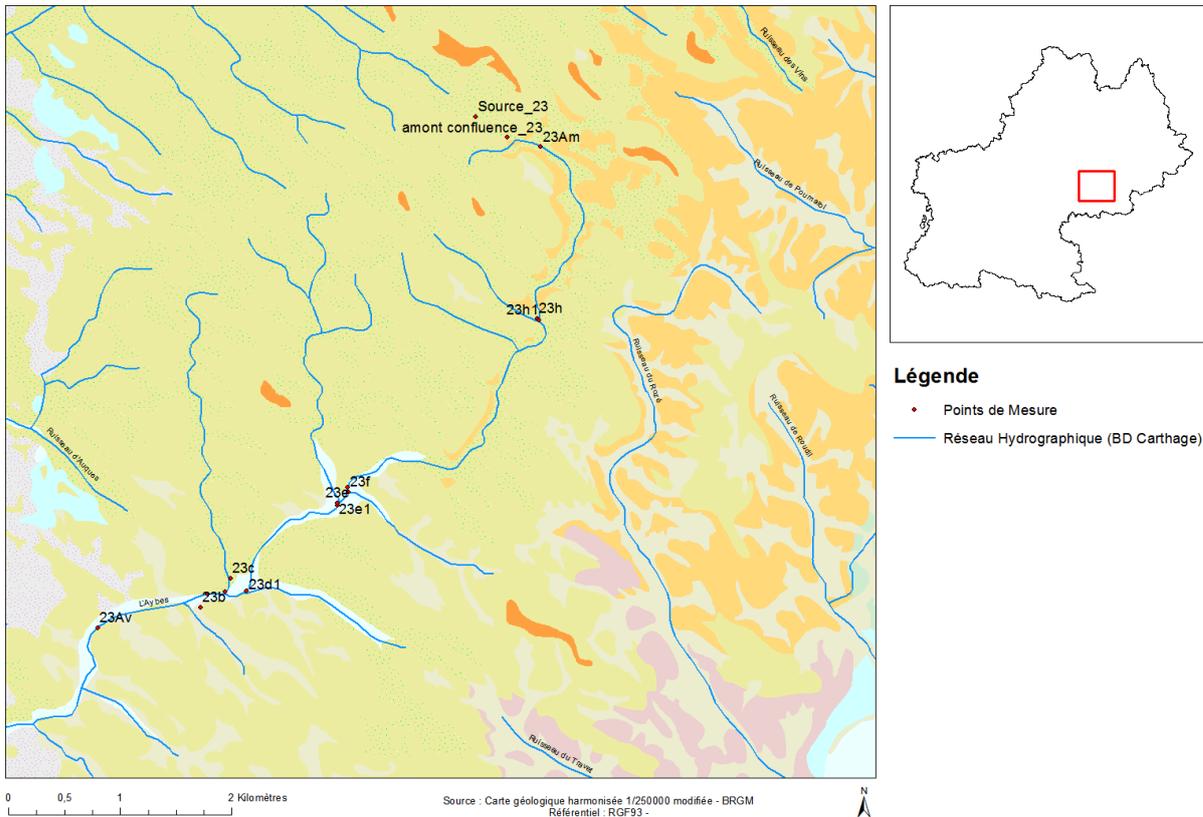
Jaugeage avec le courantomètre acoustique sur l'Arize

Annexe 8 a

Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - L'Aybes¹⁰

¹⁰ Certains des affluents présents dans la BD Carthage étaient en assec lors de la campagne de mesure et bien qu'ils aient été visités, ils n'apparaissent pas dans les points de mesure.

Campagne de mesures sur le ruisseau de l'Aybes - Montagne Noire



	Date	Débit mesuré (L/s)	Technique	Conductivité (uS/cm)	pH	O2 (mg/L)	O2 (%)	Redox (mv)	T (°C)
23Av	09/06/2015	31.3	sac (très approximatif)	651	7.87	670	71.8	133	17.3
23b1	09/06/2015	34.0	jaugage perche	618	8.3	8.03	84.7	149.8	17.1
23b	09/06/2015	0.65	tuyau + seuil	452	8.06	7	84.2	207.6	23.7
23c1	09/06/2015	28	jaugage perche	615	8.05	7.58	80.9	192.2	17.7
23c	09/06/2015	4.8	sac	747	8.12	8.97	97.4	159	18.3
23d1	09/06/2015	20.0	jaugage perche	623	8.04	7.53	80.6	153.4	17.6
23d	09/06/2015	2.3	tuyau + sac						
23e1	10/06/2015	23.0	jaugage perche	623	8.04	7.53	80.6	153.4	17.6
23e	10/06/2015	6.1	tuyau + seuil	762	8.23	8.62	91	198	16.8
23f	10/06/2015	1.02	tuyau + seuil	735	8.2	8.57	90.3	205.5	16.8
23f1	10/06/2015	10.3	sac	712	8.25	8.65	91.3	208	16.8
23h	10/06/2015	0.45	tuyau + seuil	748	8.22	8.29	90.7	150	18.5
23h1	10/06/2015	5.5	tuyau + seuil	682	8.19	8.31	89.1	167.6	17.5
23Am	10/06/2015	1.4	tuyau + seuil	644	8.22	8.29	93.4	218.7	20
amont confluence	10/06/2015	0.4	tuyau + becher	754	8.34	206	8.53	82.8	18

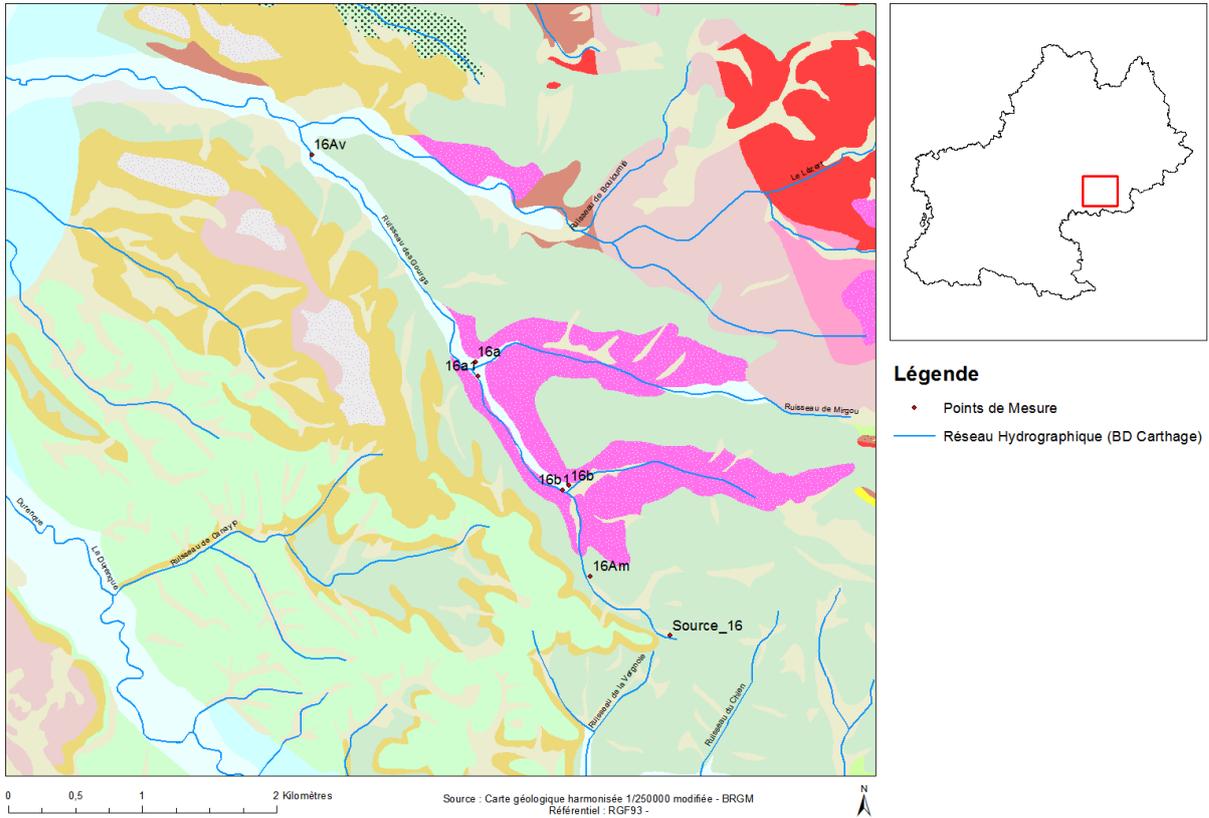
Section cours d'eau	Débit (L/s)	Surface BV (m ²)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/km ²)
23Av	35	20358942.0	20.4	1.7
23b1	34.7	19362638.0	19.4	1.8
23c1	28	17916939.0	17.9	1.6
23d1	20	15404263.0	15.4	1.3
23e1	23	11860345.0	11.9	1.9
23f1	11.3	8598202.0	8.6	1.3
23g1	10.3	4064763.0	4.1	2.5
23Am	5.5	910716.0	0.9	6.0

Annexe 8 b

Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - Les Gourgs¹¹

¹¹ Certains des affluents présents dans la BD Carthage étaient en assec lors de la campagne de mesure et bien qu'ils aient été visités, ils n'apparaissent pas dans les points de mesure.

Campagne de mesures sur le ruisseau des Gourgs - Montagne Noire



Point	Date	Débit mesuré (L/s)	Technique	Commentaires	Conductivité (uS/cm)	pH	O2 (mg/L)	O2 (%)	Redox (mv)	T (°C)
16Av	11/06/2015	3.0	tuyau + seau	Beau temps - Tout ne passe pas dans le tuyau	152	7.32	6.65	71.2	81.8	17.5
16a1	11/06/2015	0.7	perche	Amont affluent	143	7.56	6.82	73.7	168.4	17.6
16a	11/06/2015	0.9	tuyau + seau	Socle	132	7.58	8.3	88.7	223	16.8
16b	11/06/2015	0.9	tuyau + seau		82	7.16	7.8	85.2	194	18.4
16b1	11/06/2015	1.4	tuyau + seau		131	7.81	8.24	90.1	182	18.3
16Am	11/06/2015	0.2	tuyau + béccher		247	7.72	7.32	80.2	179.6	18.1
Source	11/06/2015									

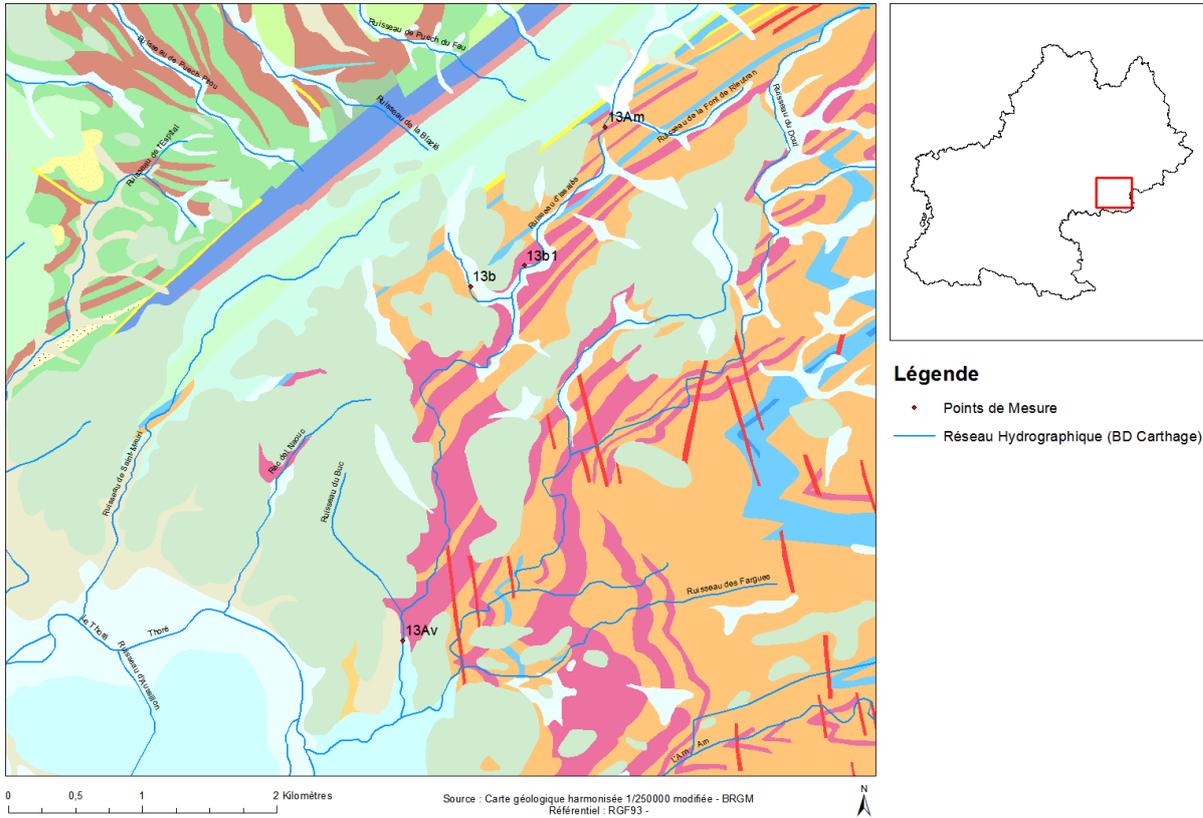
Section cours d'eau	débit (L/s)	Surface BV (m ²)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/km ²)
16Am	0.2	983740.0	1.0	0.2
16b1	1.4	3506248.0	3.5	0.4
16a1	1.6	6809426.0	6.8	0.2
16Av	3	8816955.0	8.8	0.3

Annexe 8 c

Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - Issalès¹²

¹² Certains des affluents présents dans la BD Carthage étaient en assec lors de la campagne de mesure et bien qu'ils aient été visités, ils n'apparaissent pas dans les points de mesure.

Campagne de mesures sur le ruisseau d'Issalès - Montagne Noire



Point	Date	Débit mesuré (L/s)	Technique	Commentaires	Conductivité (uS/cm)	pH	O2 (mg/L)	O2 (%)	Redox (mv)	T (°C)
13Av	30/07/2015	18.0	Perche	Pluvieux (faible)	80	7.8	9.42	99	300	16.7
13b	30/07/2015	0.4	seau + tuyau	Pluvieux (faible)	100	6.07	7.65	80.4	308.7	14.7
13b1	30/07/2015	14.0	Perche	Pluvieux (faible)	60	7.72	8.51	89	106.8	14.5
13Am	30/07/2015	13.8	Sac	Pluvieux (faible)	60	7.14	8.62	83.6	31.8	11.2

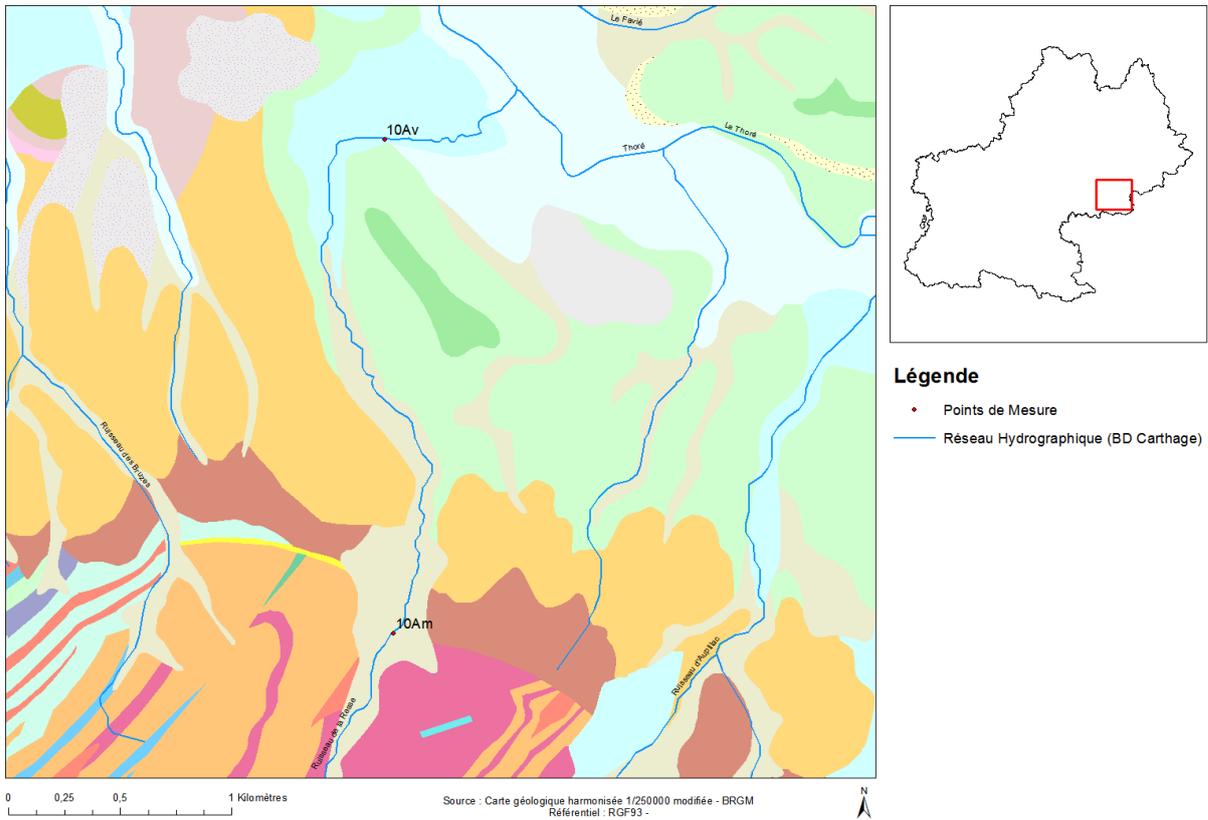
Section cours d'eau	débit (L/s)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/km ²)
13Am	13.8	3.5	4.0
13b1	14.0	4.7	3.0
13b	2.3	0.6	3.7
13b1Av	16.3	5.3	3.1
13Av	18.0	8.5	2.1

Annexe 8 d

Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - la Resse¹³

¹³ Certains des affluents présents dans la BD Carthage étaient en assec lors de la campagne de mesure et bien qu'ils aient été visités, ils n'apparaissent pas dans les points de mesure.

Campagne de mesures sur le ruisseau de la Resse - Montagne Noire



Point	Date	Débit mesuré (L/s)	Technique	Commentaires	Conductivité (uS/cm)	pH	O2 (mg/L)	O2 (%)	Redox (mv)	T (°C)
10Av	15/06/2015	38	Perche	Physico chimie mesurée le 31/07	120	7.49	9.01	92	292	15.3
10Am	15/06/2015	124	Perche	Physico chimie mesurée le 31/07	30	7.79				15.4

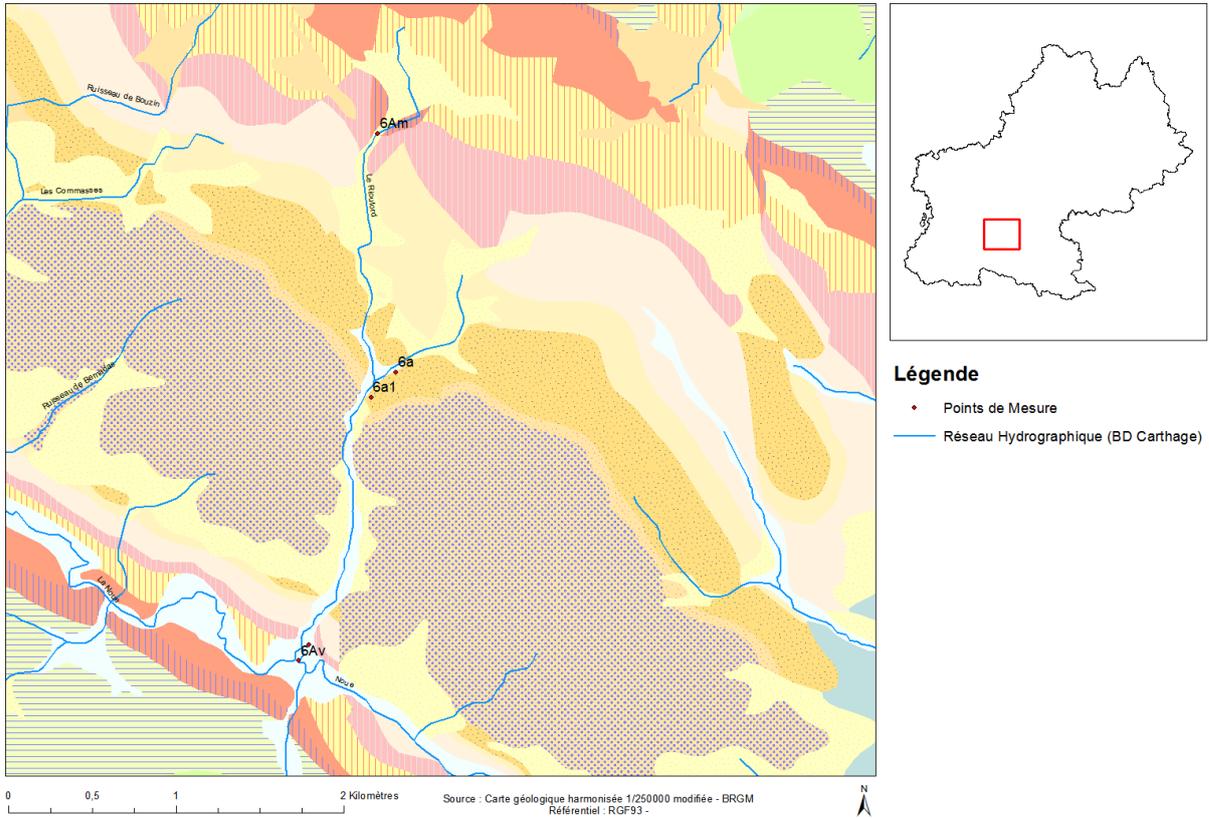
Section cours d'eau	débit (L/s)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/km ²)
10Am	124	8.6	14.4
10Av	38	10.7	3.5

Annexe 8 e

Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - Rioutord¹⁴

¹⁴ Certains des affluents présents dans la BD Carthage étaient en assec lors de la campagne de mesure et bien qu'ils aient été visités, ils n'apparaissent pas dans les points de mesure.

Campagne de mesures sur le ruisseau du Rioutord - Petites Pyrénées



Point	Date	Débit mesuré (L/s)	Technique	Commentaires	Conductivité (uS/cm)	pH	O2 (mg/L)	O2 (%)	Redox (mv)	T (°C)
6Av	18/06/2015	13	Perche		525	8.49	9.64	96.2	188.9	14.1
6Av1	18/06/2015		Perche		539	8.22	9.74	97.1	186.9	14.2
6a1	18/06/2015	11.5	Sac		600	8.36	9.7	96.8	221.4	13.9
6a	18/06/2015	0.71	Sac		671	8.18	8.82	88.8	240	14.3
6Am	18/06/2015	0.60	Seau		532	8.41	8.92	93.4	256.6	15.3

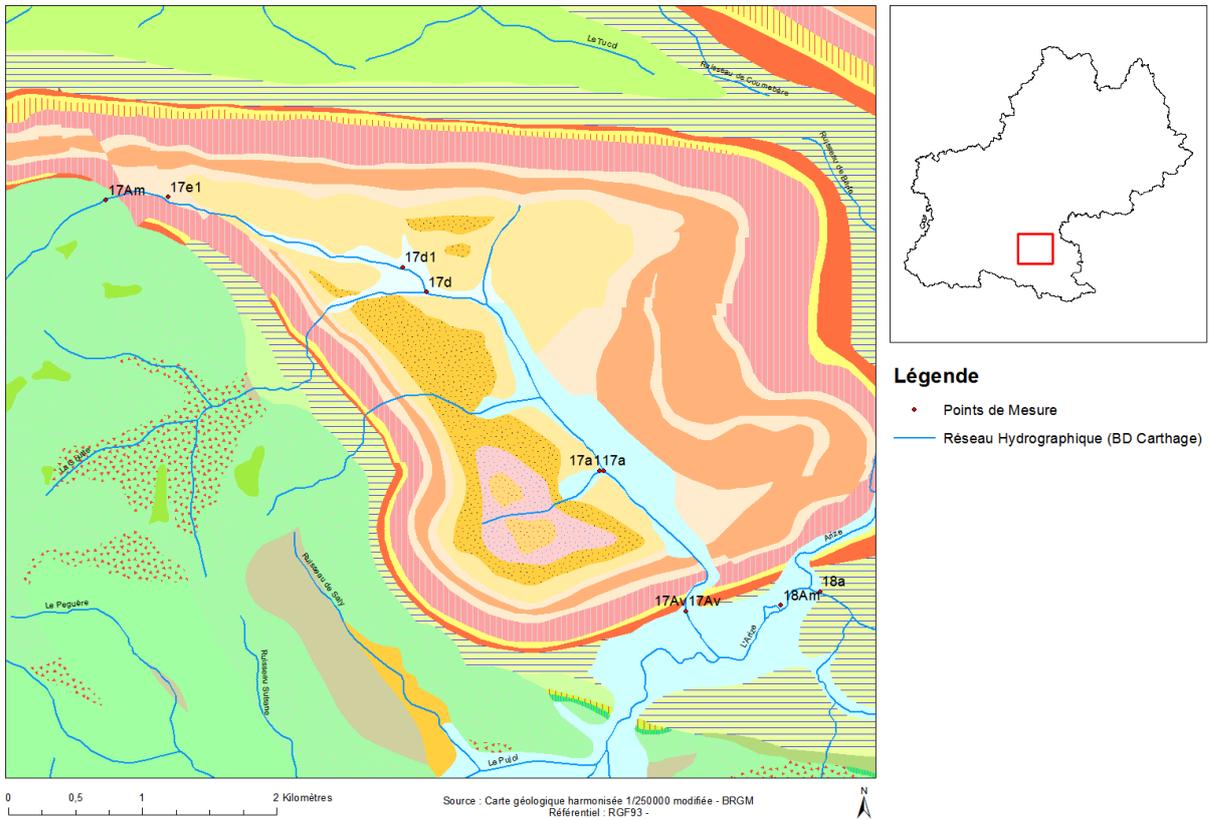
Section cours d'eau	débit (L/s)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/km ²)
6Am	0.6	2.0	0.3
6a1	11.5	5.1	2.3
6Av	13	6.8	1.9

Annexe 8 f

Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - Camarade¹⁵

¹⁵ Certains des affluents présents dans la BD Carthage étaient en assec lors de la campagne de mesure et bien qu'ils aient été visités, ils n'apparaissent pas dans les points de mesure.

Campagne de mesures sur le ruisseau du Camarade - Petites Pyrénées



Point	Date	Débit mesuré (l/s)	Technique	Conductivité (uS/cm)	pH	O2 (mg/L)	O2 (%)	Redox (mv)	T (°C)
17Av	16/06/2015	67	Perche	461	8.37	11.31	126	200.41	19.1
17Av	17/06/2015	55	Perche	484	8.45	10.11	100	196.9	13.9
17a1	16/06/2015	14	Perche	571	8.59	8.47	92.6	208	18.1
17a	16/06/2015	4.3	tuyau + sac	591	8.44	7.83	86.3	213	18.4
17d	17/06/2015	34.4	tuyau + sac	304	8.47	9.87	100	158	14.5
17d1	17/06/2015	0		0	0				
17e1	17/06/2015	1.2	tuyau + sac	249	8.15	7.89	80	254	14.1
17Am	17/06/2015	3.8	tuyau + sac	182	8.24	9.74	99	231	13.8
Source grotte	17/06/2015			651	7.62	8.84	87.7	277.3	13.3

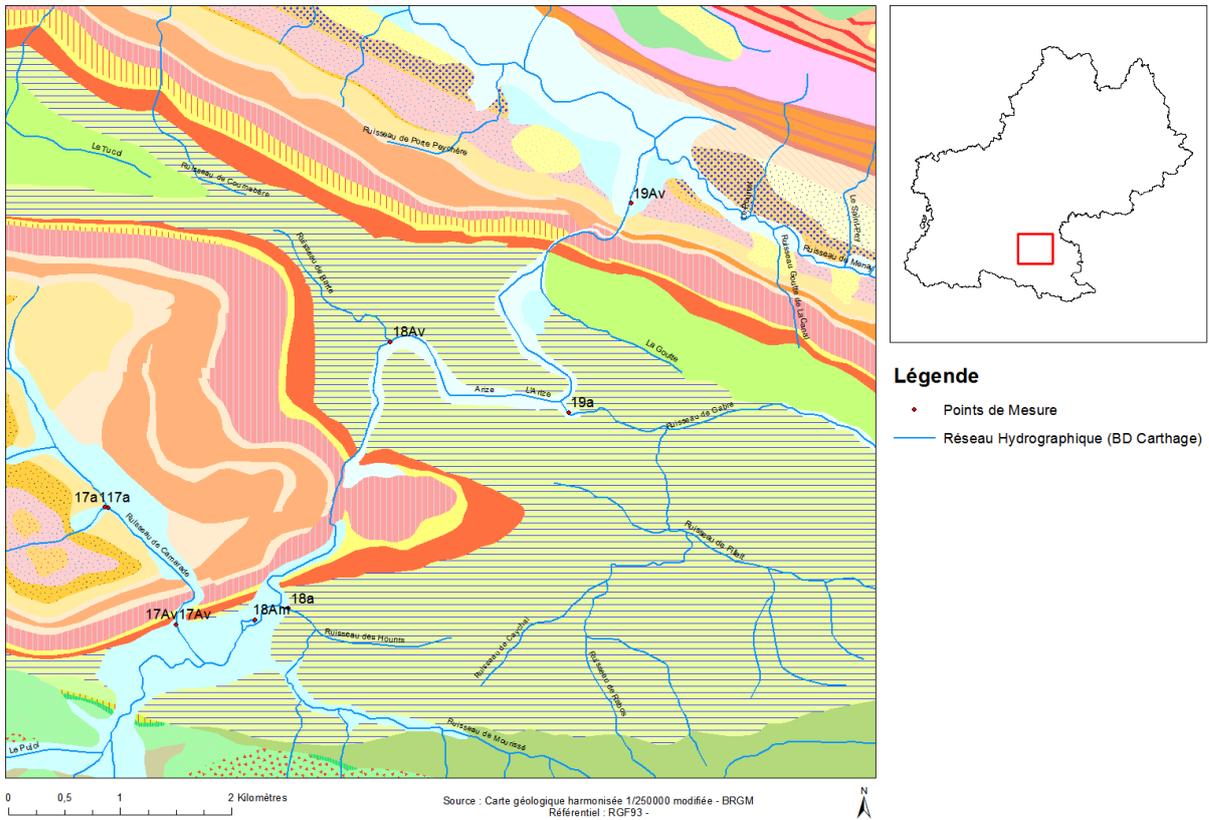
Section cours d'eau	débit (L/s)	Surface BV (m ²)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/m ²)
17Am	1.2	1742502.0	1.7	0.7
17d	34	10873375.0	10.9	3.1
17a1	14	15581151.0	15.6	0.9
17Av	55	18593942.0	18.6	3.0

Annexe 8 g

Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - l'Arize¹⁶

¹⁶ Certains des affluents présents dans la BD Carthage étaient en assec lors de la campagne de mesure et bien qu'ils aient été visités, ils n'apparaissent pas dans les points de mesure.

Campagne de mesures sur l'Arize - Petites Pyrénées



Point	Date	Débit mesuré (L/s)	Technique	Commentaires	Conductivité (uS/cm)	pH	O2 (mg/L)	O2 (%)	Redox (mv)	T (°C)
18Am	28/07/2015	561	Perche	nuageux	366		12.03	131.3	169.3	17.3
18a	28/07/2015	0.09	tuyau + seau	nuageux	695	7.68	5.73	63.6	116	18.2
18Av	28/07/2015	672	Perche	nuageux	336	8.69	13.83	100	154.6	22.2
19a	28/07/2015	327	Perche	beau	295	8.19	9.31	97	228.3	15.9
19Av	19/07/2015	898	Perche	beau	355	8.35	9.24	100	247	17.5

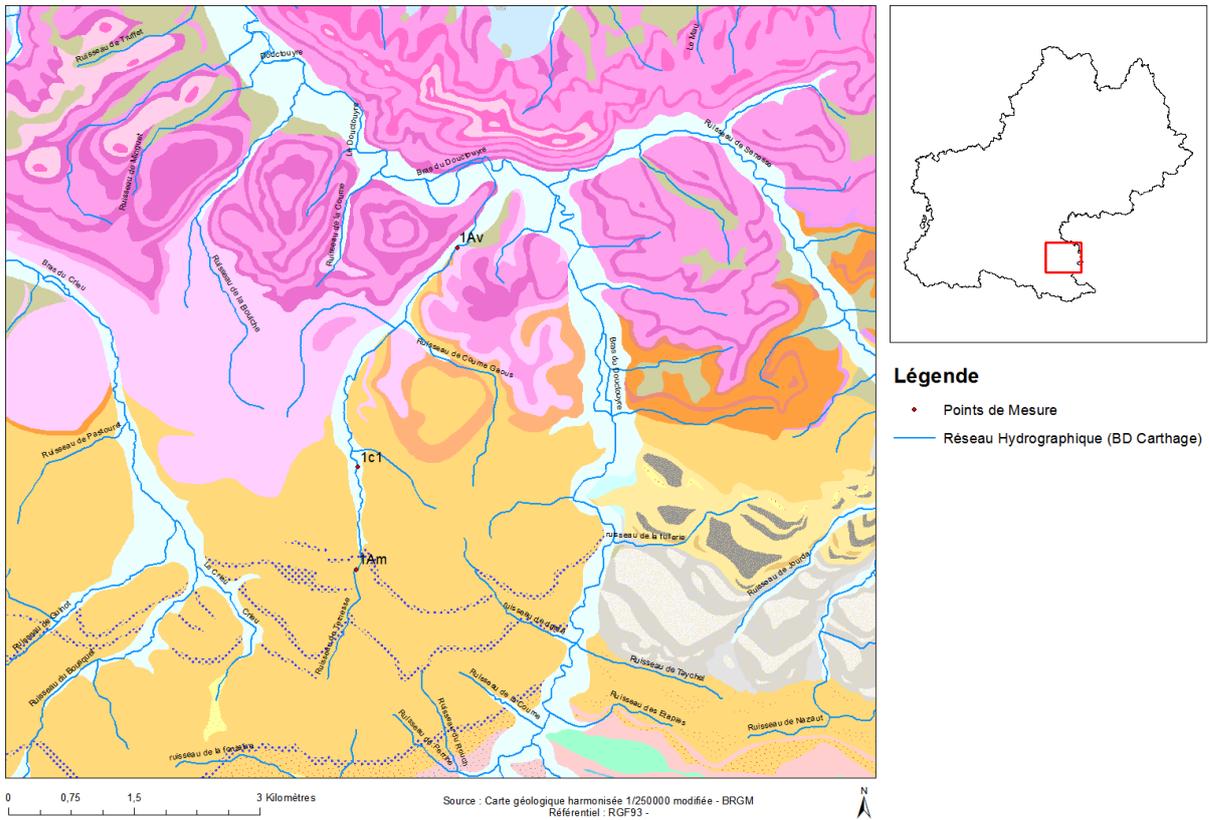
Section cours d'eau	débit (L/s)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/km ²)
18Am	561	208	2.7
18Av	672	218	3.1
19Av	898	240	3.7

Annexe 8 h

Synthèse des résultats des campagnes de jaugeages différentiels - Ternesse¹⁷

¹⁷ Certains des affluents présents dans la BD Carthage étaient en assec lors de la campagne de mesure et bien qu'ils aient été visités, ils n'apparaissent pas dans les points de mesure.

Campagne de mesures sur le ruisseau du Ternesse - Petites Pyrénées



Point	Date	Débit mesuré (L/s)	Technique	Conductivité (uS/cm)	pH	O2 (mg/L)	O2 (%)	Redox (mv)	T (°C)
1Av	20/06/2015	6	perche	551	7.63	8.22	81.6	274.6	13.3
1c1	20/06/2015	0.8	Seau	487	8.45	8.34	88.9	231	16.3
1Am	20/06/2015	0.008	Bécher	473	8.56	7.93	88.3	215.8	17.2

Section cours d'eau	débit (L/s)	Surface BV (km ²)	Débit spécifique (L/s/m ²)
1Am	0.008	2.04	0.0
1c1	0.8	5.77	0.1
1Av	6	11.62	0.5

Annexe 9

Tableau de synthèse des résultats des campagnes de mesures

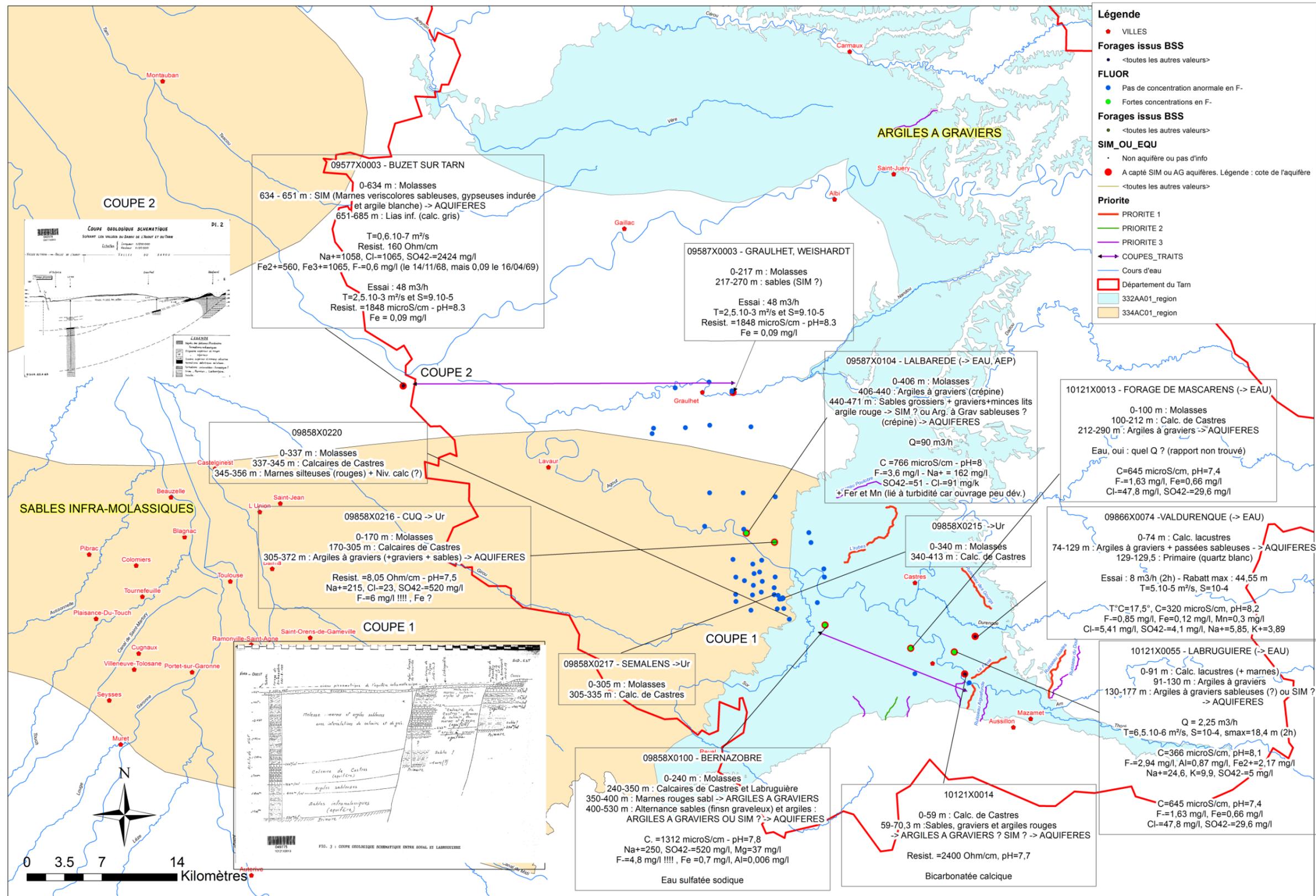
Point	X_WGS84	Y_WGS84	Z (m)	Date	Débit mesuré (L/s)	Technique	Commentaires	Carte geol	Conductivité (uS/cm)	pH	O2 (mg/L)	O2 (%)	Redox (mv)	T (°C)
23Av	2,16357	43,63091	175	09/06/2015	31,3	sac (très approximatif)	Contacteur mairie ou syndicat commune de Carbes pour récupérer données echelle limni + seuil - Calcaires	Argiles à graviers; éboulis et colluvions	651	7,87	670	71,8	133	17,3
23b1	2,17578	43,63372		09/06/2015	34,0	jaugeage perche	Amont confluence	Argiles à graviers; éboulis et colluvions	618	8,3	8,03	84,7	149,8	17,1
23b	2,17496	43,63264	185	09/06/2015	0,65	tuyau + seau	seau	Argiles à graviers; éboulis et colluvions	452	8,06	7	84,2	207,6	23,7
23c1	2,17765	43,63392		09/06/2015	28	jaugeage perche		Argiles à graviers; éboulis et colluvions	615	8,05	7,58	80,9	192,2	17,7
23c	2,17826	43,63502	170	09/06/2015	4,8	tuyau + sac	Présence de concrétion	Argiles à graviers; éboulis et colluvions	747	8,12	8,97	97,4	159	18,3
23d1	2,18006	43,63403	180	09/06/2015	20,0	jaugeage perche		Argiles à graviers; éboulis et colluvions	623	8,04	7,53	80,6	153,4	17,6
23e1	2,19003	43,64102	198	10/06/2015	23,0	jaugeage perche		Argiles à graviers; éboulis et colluvions	623	8,04	7,53	80,6	153,4	17,6
23e	2,19006	43,64124	186	10/06/2015	6,1	tuyau + seau	Calcaires	Argiles à graviers; éboulis et colluvions	762	8,23	8,62	91	198	16,8
23f	2,19121	43,64215	192	10/06/2015	1,02	tuyau + seau		Argiles à graviers; éboulis et colluvions	735	8,2	8,57	90,3	205,5	16,8
23f1	2,19119	43,64252	191	10/06/2015	10,3	sac	Amont confluence	Argiles à graviers; éboulis et colluvions	712	8,25	8,65	91,3	208	16,8
23h	2,21204	43,65637	210	10/06/2015	0,45	tuyau + seau	Calcaires à l'affleurement	Argiles à graviers; éboulis et colluvions	748	8,22	8,29	90,7	150	18,5
23h1	2,21220	43,65623	220	10/06/2015	5,5	tuyau + seau		Argiles à graviers; éboulis et colluvions	682	8,19	8,31	89,1	167,6	17,5
23Am	2,21222	43,67029	234	10/06/2015	1,4	tuyau + seau		Argiles à graviers; éboulis et colluvions	644	8,22	8,29	93,4	218,7	20
Source_23 amont confluence_2 3	2,20498	43,67268	247	10/06/2015			Stagnant	Argiles à graviers; éboulis et colluvions						
	2,2085	43,67102	245	10/06/2015	0,4	tuyau + becher		Argiles à graviers; éboulis et colluvions	754	8,34	206	8,53	82,8	18
16Av	2,2937	43,61812	206	11/06/2015	3,0	perche	Beau temps - Tout ne passe pas dans le tuyau	Argiles à graviers; Paléo alterites	152	7,32	6,65	71,2	81,8	17,5
16a1	2,30921	43,60325	229	11/06/2015	0,7	tuyau + seau	Amont affluent	Argiles à graviers; Paléo alterites	143	7,56	6,82	73,7	168,4	17,6
16a	2,30902	43,60421	215	11/06/2015	0,9	tuyau + seau	Socle	Argiles à graviers; Paléo alterites	132	7,58	8,3	88,7	223	16,8
16b	2,31774	43,59591	248	11/06/2015	0,9	tuyau + seau		Argiles à graviers; Paléo alterites	82	7,16	7,8	85,2	194	18,4
16b1	2,31716	43,59561	235	11/06/2015	1,4	tuyau + seau		Argiles à graviers; Paléo alterites	131	7,81	8,24	90,1	182	18,3
16Am	2,31976	43,58979	252	11/06/2015	0,2	tuyau + becher		Argiles à graviers; Paléo alterites	247	7,72	7,32	80,2	179,6	18,1
Source_16	2,32723	43,58582	289	11/06/2015			Stagnant	Argiles à graviers; Paléo alterites						

13Av	2,39438	43,51625		30/07/2015	18,0	Perche	Pluvieux (faible)	Orthogneiss; argiles à graviers	80	7,8	9,42	99	300	16,7
13b	2,40035	43,54022		30/07/2015	0,4	seau + tuyau	Pluvieux (faible)	Orthogneiss; argiles à graviers	100	6,07	7,65	80,4	308,7	14,7
13b1	2,4053	43,54166		30/07/2015	14,0	Perche	Pluvieux (faible)	Orthogneiss; argiles à graviers	60	7,72	8,51	89	106,8	14,5
13Am	2,41267	43,55107		30/07/2015	13,8	Sac	Pluvieux (faible)	Orthogneiss; argiles à graviers	60	7,14	8,62	83,6	31,8	11,2
10Av	2,28993	43,52266		31/07/2015		perche		Calcaires de Castres; colluvions	120	7,49	9,01	92	292	15,3
10Am	2,29068	43,50263		31/07/2015		perche		Calcaires de Castres; colluvions	30	7,79				15,4
6Av	0,91086	43,17213	297	18/06/2015	13	perche		Poudingues de Palassou; Calcaires Mancieux; colluvions	525	8,49	9,64	96,2	188,9	14,1
6Av1	0,91158	43,17301		18/06/2015		perche		Poudingues de Palassou; Calcaires Mancieux; colluvions	539	8,22	9,74	97,1	186,9	14,2
6a1	0,91565	43,18647	333	18/06/2015	11,5	Sac		Poudingues de Palassou; Calcaires Mancieux; colluvions	600	8,36	9,7	96,8	221,4	13,9
6a	0,9174	43,18788	345	18/06/2015	0,71	Sac		Poudingues de Palassou; Calcaires Mancieux; colluvions	671	8,18	8,82	88,8	240	14,3
6Am	0,91561	43,20075	374	18/06/2015	0,60	Seau		Poudingues de Palassou; Calcaires Mancieux; colluvions	532	8,41	8,92	93,4	256,6	15,3
17Av	1,33759	43,05942	331	16/06/2015	67	Perche		Alluvions; Calcaires à Miliolites	461	8,37	11,31	126	200,41	19,1
17Av	1,33759	43,05942	331	17/06/2015	55	Perche		Alluvions; Calcaires à Miliolites	484	8,45	10,11	100	196,9	13,9
17a1	1,32979	43,06881	341	16/06/2015	14	Perche		Alluvions; Calcaires à Alvéolina	571	8,59	8,47	92,6	208	18,1
17a	1,32947	43,06881	342	16/06/2015	4,3	tuyau + sac		Alluvions; grès à Nummulites	591	8,44	7,83	86,3	213	18,4
17d	1,31326	43,08062		17/06/2015	34,4	tuyau + sac		Calcaires à Alvéoliné; Grès à Nummulites	304	8,47	9,87	100	158	14,5
17d1	1,311	43,08225		17/06/2015	0	sel		Calcaires à Alvéolina; Alluvions						
17e1	1,28936	43,08667	447	17/06/2015	1,2	tuyau + sac		Calcaires à Miliolites	249	8,15	7,89	80	254	14,1
17Am	1,28369	43,08636		17/06/2015	3,8	tuyau + sac		Brèches (conglomérats, calcaires)	182	8,24	9,74	99	231	13,8
1Av	1,7757	43,03866	338	20/06/2015	6	perche		Poudingues, molasses, calcaires; alluvions	551	7,63	8,22	81,6	274,6	13,3
1c1	1,76167	43,01477	375	20/06/2015	0,8	tuyau + seau		Poudingues, molasses, calcaires; alluvions	487	8,45	8,34	88,9	231	16,3
1Am	1,76164	43,00368	430	20/06/2015	0,008	becher		Poudingues, molasses, calcaires; alluvions	473	8,56	7,93	88,3	215,8	17,2

18Am	1,34627	43,05995	319	28/07/2015	561	Perche	nuageux	Calcaires à milioles et Alveolina; grès et marnes	366		12,03	131,3	169,3	17,3
18a	1,34988	43,06093	319	28/07/2015	0,09	tuyau + seau	nuageux	Calcaires à milioles et Alveolina; grès et marnes	695	7,68	5,73	63,6	116	18,2
18Av	1,36044	43,08272	282	28/07/2015	672	Perche	nuageux	Calcaires à milioles et Alveolina; grès et marnes	336	8,69	13,83	100	154,6	22,2
19a	1,38019	43,07729	265	28/07/2015	327	Perche	beau	Calcaires à milioles et Alveolina; grès et marnes	295	8,19	9,31	97	228,3	15,9
19Av	1,38657	43,09433	262	19/07/2015	898	Perche	beau	Calcaires à milioles et Alveolina; grès et marnes	355	8,35	9,24	100	247	17,5

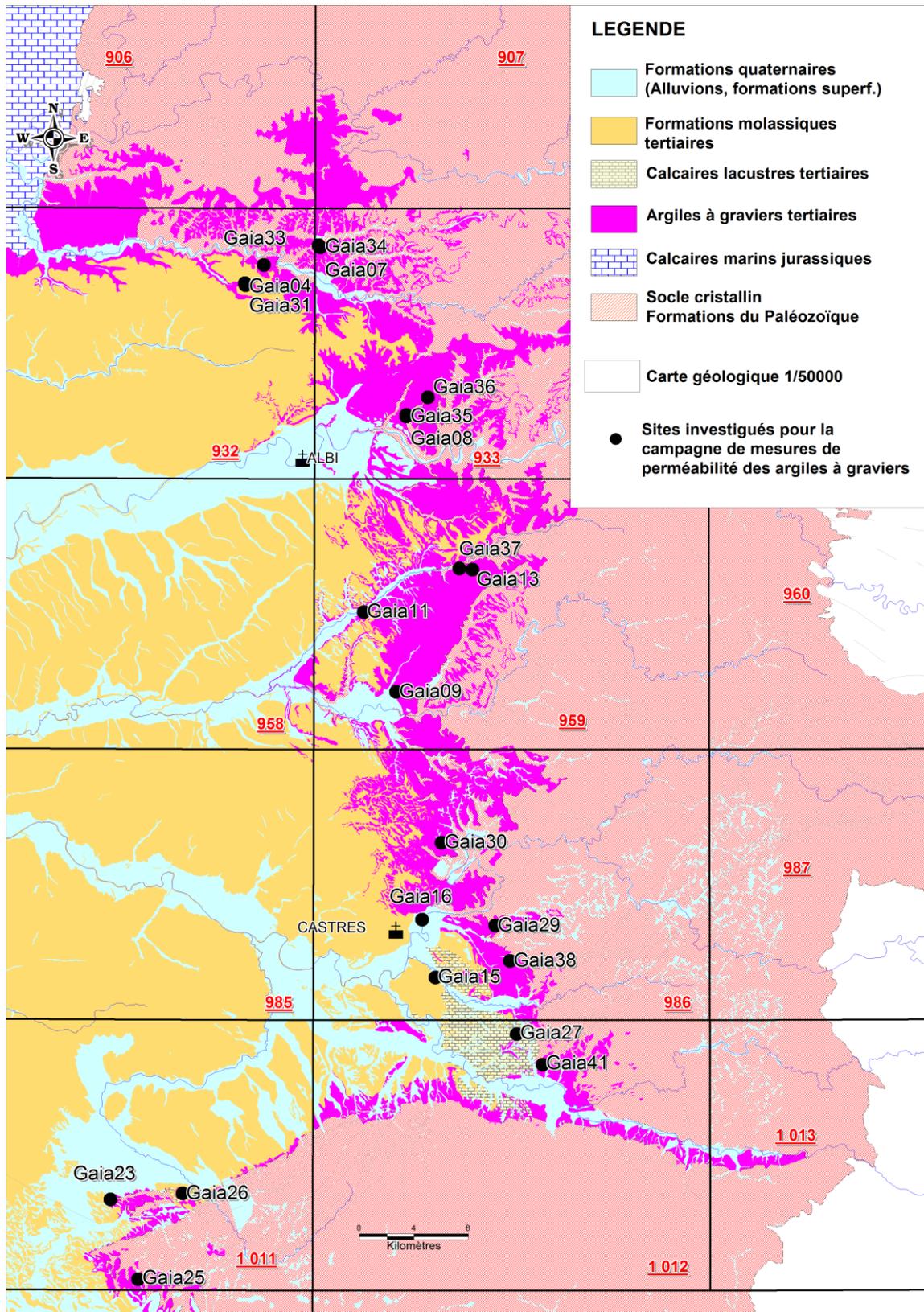
Annexe 10

Carte des forages profonds et données associées dans les contreforts de la Montagne Noire



Annexe 11

Fiches de synthèse de l'ensemble des sites investigués lors de la campagne de mesures de perméabilité des argiles à graviers du territoire de l'Albigeois-Castrais



Carte de localisation des sites investigués pour la campagne de mesures de perméabilité des argiles à graviers de l'Albigeois-Castrais

➤ Caractérisation pédologique de la formation

Numéro Projet	GAIA 09
Opérateurs	AG
Date	18/11/2016
Condition Météo	Pluie

Nombre d'essai	3
Epaisseur Sol décaissé	13 à 19 cm
Profondeur Trou de tarière	16 à 22 cm
Occupation du sol	Lande
Position du site de mesure	Lisière de forêt, en contrehaut de l'affleurement

Numéro Profil	Profondeur reconnue		Texture				Couleur matrice (Charte Munsell)
	Haut	Bas	A%	L%	S%	Geppa	
GAIA_09-1	0	16	> 30	<20	>50	AS	5YR - 6/6

Compacité	Structure	Humidité	MO	Eléments grossiers			
				%T	Nature	Taille	Forme
Compact	Non déterminé	Frais	Absence	25	Quartz	Graviers	Irréguliers émoussés

Commentaires

Présence de cailloux (2 ≤...<6cm) au toit de la formation puis apparition de graviers.
Trou légèrement désaxé mais bien calibré

Photographies



➤ Mesures d'infiltration

Numéro :	Gaia 09
Date :	18/11/2016
Longitude X :	43.77864
Latitude Y :	2.23144
Météo :	Pluvieux

Nombre Essai :	3
Kfs moyen (m/s)	2.94E-05
ϕm moyen (cm ² /s)	1.33E-03
Kfs min (m/s)	3.34E-06
Kfs max (m/s)	4.57E-05



Avec :

Kfs : Conductivité hydraulique de champs à saturation

ϕm : Potentiel hydrique

<p>Essai 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Paramètres Essai 1</th> <th colspan="3">Résultats Essai 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>16</td> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.02500</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>18</td> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.06000</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> <td>Kfs =</td> <td>3.91E-03</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> <td>Kfs =</td> <td>3.91E-05</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> <td>ϕm =</td> <td>2.82E-04</td> <td>cm²/s</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Paramètres Essai 1		Résultats Essai 1			Profondeur Trou (cm)	16	R1 (5 cm)	0.02500	cm/s	Profondeur Fouille (cm)	18	R2 (10 cm)	0.06000	cm/s	Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	3.91E-03	cm/s	Réservoir utilisé	Combiné	Kfs =	3.91E-05	m/s	Constante X du réservoir	35.220	ϕm =	2.82E-04	cm²/s	Constante Y du réservoir	2.150				
Paramètres Essai 1		Résultats Essai 1																																			
Profondeur Trou (cm)	16	R1 (5 cm)	0.02500	cm/s																																	
Profondeur Fouille (cm)	18	R2 (10 cm)	0.06000	cm/s																																	
Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	3.91E-03	cm/s																																	
Réservoir utilisé	Combiné	Kfs =	3.91E-05	m/s																																	
Constante X du réservoir	35.220	ϕm =	2.82E-04	cm²/s																																	
Constante Y du réservoir	2.150																																				
<p>Essai 2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Paramètres Essai 2</th> <th colspan="3">Résultats Essai 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>22</td> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.003333</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>13</td> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00670</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> <td>Kfs =</td> <td>3.34E-04</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> <td>Kfs =</td> <td>3.34E-06</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> <td>ϕm =</td> <td>1.12E-03</td> <td>cm²/s</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Paramètres Essai 2		Résultats Essai 2			Profondeur Trou (cm)	22	R1 (5 cm)	0.003333	cm/s	Profondeur Fouille (cm)	13	R2 (10 cm)	0.00670	cm/s	Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	3.34E-04	cm/s	Réservoir utilisé	Combiné	Kfs =	3.34E-06	m/s	Constante X du réservoir	35.220	ϕm =	1.12E-03	cm²/s	Constante Y du réservoir	2.150				
Paramètres Essai 2		Résultats Essai 2																																			
Profondeur Trou (cm)	22	R1 (5 cm)	0.003333	cm/s																																	
Profondeur Fouille (cm)	13	R2 (10 cm)	0.00670	cm/s																																	
Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	3.34E-04	cm/s																																	
Réservoir utilisé	Combiné	Kfs =	3.34E-06	m/s																																	
Constante X du réservoir	35.220	ϕm =	1.12E-03	cm²/s																																	
Constante Y du réservoir	2.150																																				
<p>Essai 3</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Paramètres Essai 3</th> <th colspan="3">Résultats Essai 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>22</td> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.031667</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>19</td> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.07333</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> <td>Ks =</td> <td>4.57E-03</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> <td>Ks =</td> <td>4.57E-05</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> <td>ϕm =</td> <td>2.58E-03</td> <td>cm²/s</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Paramètres Essai 3		Résultats Essai 3			Profondeur Trou (cm)	22	R1 (5 cm)	0.031667	cm/s	Profondeur Fouille (cm)	19	R2 (10 cm)	0.07333	cm/s	Diamètre Trou (cm)	6	Ks =	4.57E-03	cm/s	Réservoir utilisé	Combiné	Ks =	4.57E-05	m/s	Constante X du réservoir	35.220	ϕm =	2.58E-03	cm²/s	Constante Y du réservoir	2.150				
Paramètres Essai 3		Résultats Essai 3																																			
Profondeur Trou (cm)	22	R1 (5 cm)	0.031667	cm/s																																	
Profondeur Fouille (cm)	19	R2 (10 cm)	0.07333	cm/s																																	
Diamètre Trou (cm)	6	Ks =	4.57E-03	cm/s																																	
Réservoir utilisé	Combiné	Ks =	4.57E-05	m/s																																	
Constante X du réservoir	35.220	ϕm =	2.58E-03	cm²/s																																	
Constante Y du réservoir	2.150																																				

Avec,

R1, R2 : Taux d'écoulement en régime permanent correspondant respectivement à la charge hydraulique H1 de 5 cm et à la charge hydraulique H2 de 10 cm

❖ **PT GAIA11**

➤ Reconnaissance préalable aux mesures d'infiltration

Carte géologique : 959 (Réalmont)

Formation géologique concernée : e6a-b (959) ou e6aA (Harmonis. 81) : Argiles à graviers de Saint-Jean-de-Vals, de l'Albigeois et du Carmausin. Eocène supérieur (Bartonien inf. à moyen). Série épaisse riche en galets de quartz de taille variable, accompagné parfois de débris de schistes. Alternance d'ensembles peu détritiques et de complexes sédimentaires plus graveleux, parfois même conglomératiques.



Figure 3 – Contexte géologique du site GAIA11 (carte géologique à 1/50000 de Réalmont)

Observations Juin 2014 : Affleurement d'argiles à graviers orangées avec graviers de quartz de taille centimétrique à décimétrique situés sur le haut de l'affleurement. Estimation visuelle d'une proportion de 15% de graviers au sein des argiles.

Observations Novembre 2016 : Argiles à graviers reconnues à environ 500 mètres de l'affleurement décrit en juin 2014. Site plus adapté pour la réalisation des essais d'infiltration en raison de leur position sub-affleurante en bordure du chemin.

Sélection du site et intérêt de l'essai : Site retenu, permettant de caractériser le faciès fin des argiles à graviers de Saint-Jean-de-Vals sur la feuille de Réalmont.

Contexte de mise en œuvre de l'essai : Site de mesures sélectionné au niveau d'un chemin menant à une parcelle cultivé où les argiles à graviers sont observées au pied du talus.



Figure 4 – Photographies de l'affleurement du site GAIA11 (observations juin 2014)

➤ Caractérisation pédologique de la formation

Numéro Projet	GAIA 11
Opérateurs	MS
Date	25/11/2016
Condition Météo	Ensoleillée

Nombre d'essai	2
Epaisseur Sol décaissé	17 à 20 cm
Profondeur Trou de tarière	20 à 28 cm
Occupation du sol	Sol nu
Position du site de mesure	Chemin en lisière de forêt

Numéro Profil	Profondeur reconnue		Texture				Couleur matrice (Charte Munsell)
	Haut	Bas	A%	L%	S%	Geppa	
GAIA_11-1	20	40	< 30	>20	<50	LAS	7.5YR - 5/4

Compacité	Structure	Humidité	MO	Eléments grossiers			
				%T	Nature	Taille	Forme
Compact	Non déterminé	Frais	Absence	15	Quartz	Graviers	Irréguliers anguleux

Commentaires

Présence de graviers de quartz ($0.2 \leq \dots < 2\text{cm}$) depuis la surface jusqu'à 20 cm de profondeur
Faciès fin et compact (difficile à forer) avec quelques éléments grossiers (<20%)

Photographies



➤ Mesures d'infiltration

Numéro :	Gaia 11
Date :	25/11/2016
Longitude X :	43.83
Latitude Y :	2.19773
Météo :	Pluvieux
Nombre Essai :	2
Kfs moyen (m/s)	1.89E-07
ϕ_m moyen (cm ² /s)	2.34E-04
Kfs min (m/s)	1.26E-07
Kfs max (m/s)	2.52E-07



Avec :

Kfs : Conductivité hydraulique de champs à saturation

ϕ_m : Potentiel hydrique

<p>Essai 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Paramètres Essai 1</th> <th colspan="3">Résultats Essai 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>20</td> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.000250</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>20</td> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00042</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> <td>Kfs =</td> <td>1.26E-05</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> <td>Kfs =</td> <td>1.26E-07</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> <td>ϕ_m =</td> <td>1.56E-04</td> <td>cm²/s</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Paramètres Essai 1		Résultats Essai 1			Profondeur Trou (cm)	20	R1 (5 cm)	0.000250	cm/s	Profondeur Fouille (cm)	20	R2 (10 cm)	0.00042	cm/s	Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	1.26E-05	cm/s	Réservoir utilisé	Combiné	Kfs =	1.26E-07	m/s	Constante X du réservoir	35.220	ϕ_m =	1.56E-04	cm²/s	Constante Y du réservoir	2.150				
Paramètres Essai 1		Résultats Essai 1																																			
Profondeur Trou (cm)	20	R1 (5 cm)	0.000250	cm/s																																	
Profondeur Fouille (cm)	20	R2 (10 cm)	0.00042	cm/s																																	
Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	1.26E-05	cm/s																																	
Réservoir utilisé	Combiné	Kfs =	1.26E-07	m/s																																	
Constante X du réservoir	35.220	ϕ_m =	1.56E-04	cm²/s																																	
Constante Y du réservoir	2.150																																				
<p>Essai 2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Paramètres Essai 2</th> <th colspan="3">Résultats Essai 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>28</td> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.000500</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>17</td> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00083</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>7</td> <td>Kfs =</td> <td>2.52E-05</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> <td>Kfs =</td> <td>2.52E-07</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> <td>ϕ_m =</td> <td>3.12E-04</td> <td>cm²/s</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Paramètres Essai 2		Résultats Essai 2			Profondeur Trou (cm)	28	R1 (5 cm)	0.000500	cm/s	Profondeur Fouille (cm)	17	R2 (10 cm)	0.00083	cm/s	Diamètre Trou (cm)	7	Kfs =	2.52E-05	cm/s	Réservoir utilisé	Combiné	Kfs =	2.52E-07	m/s	Constante X du réservoir	35.220	ϕ_m =	3.12E-04	cm²/s	Constante Y du réservoir	2.150				
Paramètres Essai 2		Résultats Essai 2																																			
Profondeur Trou (cm)	28	R1 (5 cm)	0.000500	cm/s																																	
Profondeur Fouille (cm)	17	R2 (10 cm)	0.00083	cm/s																																	
Diamètre Trou (cm)	7	Kfs =	2.52E-05	cm/s																																	
Réservoir utilisé	Combiné	Kfs =	2.52E-07	m/s																																	
Constante X du réservoir	35.220	ϕ_m =	3.12E-04	cm²/s																																	
Constante Y du réservoir	2.150																																				

Avec,

R1, R2 : Taux d'écoulement en régime permanent correspondant respectivement à la charge hydraulique H1 de 5 cm et à la charge hydraulique H2 de 10 cm

❖ **PT GAIA13**

➤ Reconnaissance préalable aux mesures d'infiltration

Carte géologique : 959 (Réalmont)

Formation géologique concernée : e6a-b (959) ou e6aA (Harmonis. 81) : Argiles à graviers de Saint-Jean-de-Vals, de l'Albigeois et du Carmausin. Eocène supérieur (Bartonien inf. à moyen). Série épaisse riche en galets de quartz de taille variable, accompagné parfois de débris de schistes. Alternance d'ensembles peu détritiques et de complexes sédimentaires plus graveleux, parfois même conglomératiques.



Figure 5 – Contexte géologique du site GAIA13 (carte géologique à 1/50000 de Réalmont)

Observations Juin 2014 : Affleurement d'argiles à graviers brunes avec graviers de quartz et de schistes de taille centimétrique à décimétrique. Estimation visuelle d'une proportion de 60% de graviers au sein des argiles.

Observations Novembre 2016 : Affleurement d'argiles à graviers à l'apparence remaniées, positionnées au niveau d'une pente.

Sélection du site et intérêt de l'essai : **Site non retenu** car non représentatif du faciès en place des Argiles à graviers. Recherche d'un nouveau site effectuée au niveau du point Gaia37



Figure 6 – Photographies de l'affleurement du site GAIA13 (observations juin 2014)

❖ **PT GAIA15**

➤ Reconnaissance préalable aux mesures d'infiltration

Carte géologique : 986 (Castres)

Formation géologique concernée :

- e4-5b (986) ou e4-e5A (Harmonis. 81) : Argiles à graviers sous-jacentes aux calcaires de Castres non cartées. Eocène inférieur (Yprésien - Lutétien). Formation débutant souvent par des dépôts conglomératiques suivis de dépôts relativement fins. Niveau portant les marques de pédogenèses successives

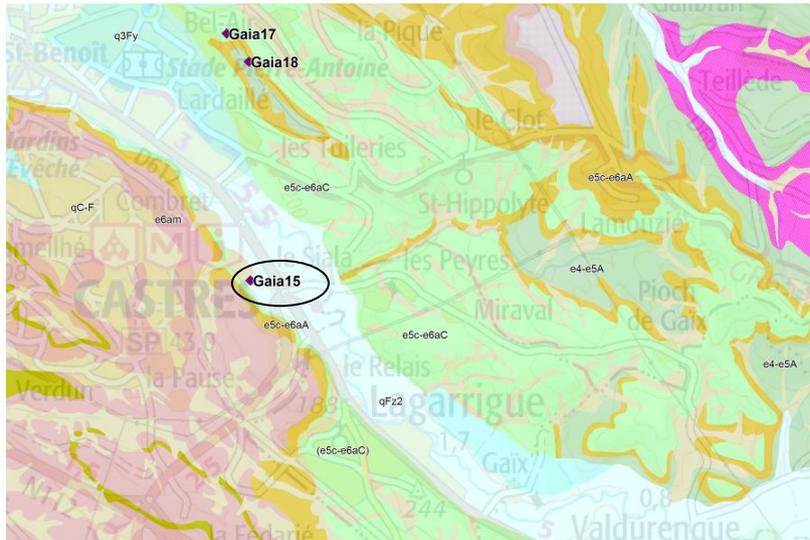


Figure 7 – Contexte géologique du site GAIA15 (carte géologique à 1/50000 de Castres)

Observations Novembre 2016 : Argiles à graviers en contact faillé avec Calcaires de Castres et molasses argileuses. Argiles à graviers présentant un faciès fins avec peu d'éléments grossiers et relativement induré

Sélection du site et intérêt de l'essai : **Site retenu**, permettant de caractériser le faciès des argiles à graviers du bassin de Castres

Contexte de mise en œuvre de l'essai : Doubte sur la présence d'une loupe de glissement sur le sommet de l'affleurement nécessitant de faire attention à l'implantation du site de mesures pour disposer d'une mesure représentative (échantillon non remanié).

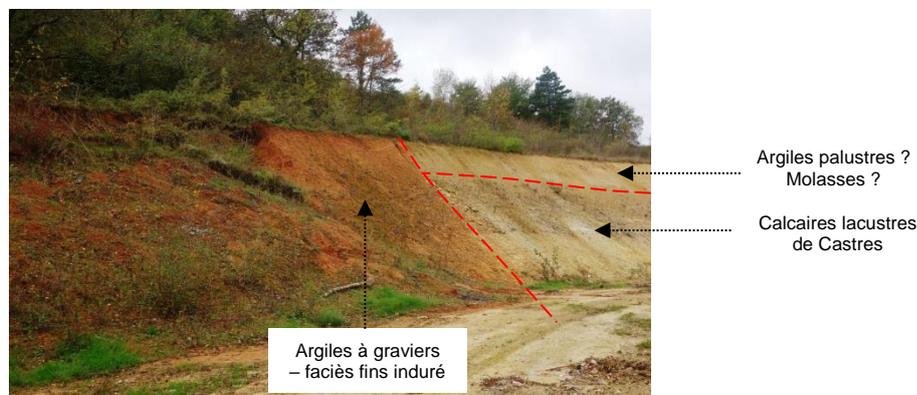


Figure 8 – Photographies de l'affleurement du site GAIA15

Caractérisation pédologique de la formation

Numéro Projet	GAIA 15
Opérateurs	MS + AG
Date	14/11/2016
Condition Météo	Nuageux

Nombre d'essai	2
Epaisseur Sol décaissé	30 cm
Profondeur Trou de tarière	17 à 20 cm
Occupation du sol	Sol nu
Position du site de mesure	Chemin en lisière de forêt

Numéro Profil	Profondeur reconnue		Texture				Couleur matrice (Charte Munsell)
	Haut	Bas	A%	L%	S%	Geppa	
GAIA_15-1	30	47	< 30	>55	<15	LAS	2.5Y - 7/6
GAIA_15-2	30	50	< 30	>55	<15	LAS	10YR - 6/6

Compacité	Structure	Humidité	MO	Eléments grossiers			
				%T	Nature	Taille	Forme
Compact	Non déterminé	Frais	Absence	15	Calcaire	Graviers	Irréguliers anguleux
Compact	Non déterminé	Frais	Absence	15	Calcaire	Graviers	Irréguliers anguleux

Commentaires

30 premiers centimètres constitués d'un sol brun avec présence d'un horizon contenant de nombreux galets de quartz de taille décimétrique entre 20 et 30 cm de profondeur
 Faciès fin et compact (difficile à forer) avec quelques éléments grossiers (<20%)

Photographies



➤ Mesures d'infiltration

Numéro :	Gaia 15
Date :	14/11/2016
Longitude X :	43.58841
Latitude Y :	2.26677
Météo :	Nuageux
Nombre Essai :	2
Kfs moyen (m/s)	3.95E-07
ϕ_m moyen (cm ² /s)	1.32E-03
Kfs min (m/s)	2.20E-07
Kfs max (m/s)	5.70E-07



Avec :

Kfs : Conductivité hydraulique de champs à saturation

ϕ_m : Potentiel hydrique

<p>Essai 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Paramètres Essai 1</th> <th colspan="3">Résultats Essai 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>37</td> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.00002</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>20</td> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00042</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> <td>Kfs =</td> <td>5.70E-05</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> <td>Kfs =</td> <td>5.70E-07</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> <td>ϕ_m =</td> <td>8.25E-04</td> <td>cm²/s</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Paramètres Essai 1		Résultats Essai 1			Profondeur Trou (cm)	37	R1 (5 cm)	0.00002	cm/s	Profondeur Fouille (cm)	20	R2 (10 cm)	0.00042	cm/s	Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	5.70E-05	cm/s	Réservoir utilisé	Combiné	Kfs =	5.70E-07	m/s	Constante X du réservoir	35.220	ϕ_m =	8.25E-04	cm²/s	Constante Y du réservoir	2.150				
Paramètres Essai 1		Résultats Essai 1																																			
Profondeur Trou (cm)	37	R1 (5 cm)	0.00002	cm/s																																	
Profondeur Fouille (cm)	20	R2 (10 cm)	0.00042	cm/s																																	
Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	5.70E-05	cm/s																																	
Réservoir utilisé	Combiné	Kfs =	5.70E-07	m/s																																	
Constante X du réservoir	35.220	ϕ_m =	8.25E-04	cm²/s																																	
Constante Y du réservoir	2.150																																				
<p>Essai 2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Paramètres Essai 2</th> <th colspan="3">Résultats Essai 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>37</td> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.00083</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>17</td> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00125</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> <td>Kfs =</td> <td>2.20E-05</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> <td>Kfs =</td> <td>2.20E-07</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> <td>ϕ_m =</td> <td>1.82E-03</td> <td>cm²/s</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Paramètres Essai 2		Résultats Essai 2			Profondeur Trou (cm)	37	R1 (5 cm)	0.00083	cm/s	Profondeur Fouille (cm)	17	R2 (10 cm)	0.00125	cm/s	Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	2.20E-05	cm/s	Réservoir utilisé	Combiné	Kfs =	2.20E-07	m/s	Constante X du réservoir	35.220	ϕ_m =	1.82E-03	cm²/s	Constante Y du réservoir	2.150				
Paramètres Essai 2		Résultats Essai 2																																			
Profondeur Trou (cm)	37	R1 (5 cm)	0.00083	cm/s																																	
Profondeur Fouille (cm)	17	R2 (10 cm)	0.00125	cm/s																																	
Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	2.20E-05	cm/s																																	
Réservoir utilisé	Combiné	Kfs =	2.20E-07	m/s																																	
Constante X du réservoir	35.220	ϕ_m =	1.82E-03	cm²/s																																	
Constante Y du réservoir	2.150																																				

Avec,

R1, R2 : Taux d'écoulement en régime permanent correspondant respectivement à la charge hydraulique H1 de 5 cm et à la charge hydraulique H2 de 10 cm

➤ Caractérisation pédologique de la formation

Numéro Projet	GAIA 16
Opérateurs	MS + AG
Date	15/11/2016
Condition Météo	Eclaircies

Nombre d'essai	1
Epaisseur Sol décaissé	10 cm
Profondeur Trou de tarière	10 cm
Occupation du sol	Lande
Position du site de mesure	Replat en contrehaut de l'affleurement

Numéro Profil	Profondeur reconnue		Texture				Couleur matrice (Charte Munsell)
	Haut	Bas	A%	L%	S%	Geppa	
GAIA_16-1	10	20	< 30	>20	>50	LAS	10R - 4/3

Compacité	Structure	Humidité	MO	Éléments grossiers			
				%T	Nature	Taille	Forme
Très compact	Non déterminé	Sec	Absence	10	Quartz	Graviers	Irréguliers anguleux

Commentaires

Site positionné sur un replat en contrehaut d'une falaise d'environ 10 mètres de hauteur
Faciès fin et très compact (extrêmement difficile à forer) avec quelques éléments grossiers (<10%)

Photographies



➤ Mesures d'infiltration

Numéro :	Gaia 16
Date :	15/11/2016
Longitude X :	43.62714
Latitude Y :	2.25538
Météo :	Nuageux
Nombre Essai :	1
Kfs moyen (m/s)	8.86E-07
ϕm moyen (cm ² /s)	1.54E-03
Kfs min (m/s)	8.86E-07
Kfs max (m/s)	8.86E-07



Avec :

Kfs : Conductivité hydraulique de champs à saturation

ϕm : Potentiel hydrique

Essai 1				
Paramètres Essai 1		Résultats Essai 1		
Profondeur Trou (cm)	10	R1 (5 cm)	0.00017	cm/s
Profondeur Fouille (cm)	0	R2 (10 cm)	0.00083	cm/s
Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	8.86E-05	cm/s
Réservoir utilisé	Combiné	Kfs =	8.86E-07	m/s
Constante X du réservoir	35.220	ϕm =	1.54E-03	cm²/s
Constante Y du réservoir	2.150			



Avec,

R1, R2 : Taux d'écoulement en régime permanent correspondant respectivement à la charge hydraulique H1 de 5 cm et à la charge hydraulique H2 de 10 cm

❖ **PT GAIA23**

➤ Reconnaissance préalable aux mesures d'infiltration

Carte géologique : 1011 (Revel)

Formation géologique concernée : Formations de type "argiles à graviers" - Argiles de Saint-Papoul et des Mousques-Hautes (e4-5P). Eocène (Yprésien-Lutétien). Succession d'argiles gréseuses à coloration caractéristique violacée, rouge, blanchâtre ou verte. Base de la formation constituée de conglomérats à galets de quartz associés à des argilites rouges

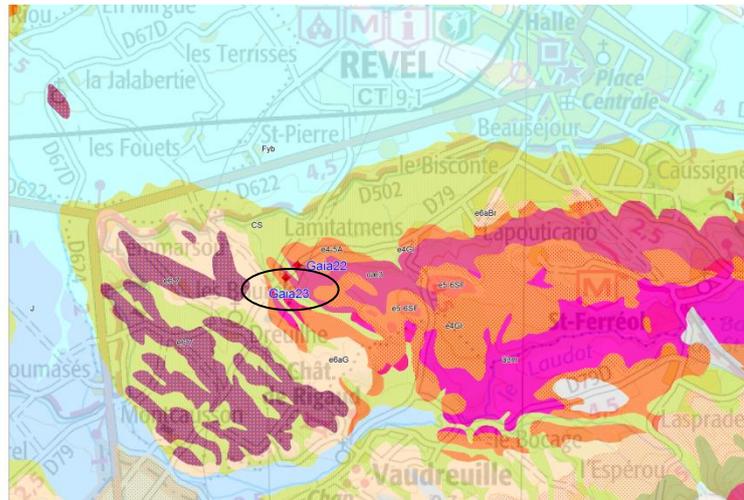


Figure 11 – Contexte géologique du site GAIA23 (carte géologique à 1/50000 de Revel)

Observations Juin 2014 : Argiles à graviers très rougeâtres tachetées avec présence d'un chenal de galets de quartz (centimétriques à décimétriques) et galets de micaschistes en haut de l'affleurement

Observations Novembre 2016 : Argiles à graviers reposant sur altérites des gneiss (oæ3). Présence d'un niveau plus ou moins épais de colluvions ou de molasses (d'En-Calcat-En-Jaurès (e6aG) ?) au dessus des Argiles à graviers.

Sélection du site et intérêt de l'essai : **Site retenu**, permettant de caractériser le faciès des argiles à graviers en bordure des formations de socle

Contexte de mise en œuvre de l'essai : Difficultés de foration en raison de la présence de nombreux graviers + Couche de colluvions relativement épaisse. Site nécessitant de réaliser un pré-trou à la pelle pour faciliter l'accès direct aux argiles à graviers.

Colluvions argilo-sableux riches en éléments grossiers

Niveau Argiles à graviers de faible épaisseur (évalué entre 30 et 50 cm)

Altérites des gneiss (structure de la roche encore visible)



Figure 12 – Photographies de l'affleurement du site GAIA23

➤ Caractérisation pédologique de la formation

Numéro Projet	GAIA 23
Opérateurs	MS + AG
Date	16/11/2016
Condition Météo	Pluvieux

Nombre d'essai	2
Epaisseur Sol décaissé	25 à 30 cm
Profondeur Trou de tarière	12 à 13 cm
Occupation du sol	Prairie
Position du site de mesure	Bordure d'une parcelle en prairie, en contrehaut de l'affleurement

Numéro Profil	Profondeur reconnue		Texture				Couleur matrice (Charte Munsell)
	Haut	Bas	A%	L%	S%	Geppa	
GAIA_23-1	30	42	> 30	<55	<15	AI	5YR - 6/8

Compacité	Structure	Humidité	MO	Éléments grossiers			
				%T	Nature	Taille	Forme
Compact	Non déterminé	Frais	Absence	10	Quartz	Graviers	Irréguliers anguleux

Commentaires

Essai n°2 présentant sur les 10 premiers cm un niveau argileux ocre à éléments grossiers centimétriques de quartz

Photographies

➤ Mesures d'infiltration

Numéro :	Gaia 23
Date :	16/11/2016
Longitude X :	43.44031
Latitude Y :	1.97317
Météo :	Pluvieux



Nombre Essai :	2
Kfs moyen (m/s)	3.45E-07
ϕ_m moyen (cm ² /s)	6.45E-04
Kfs min (m/s)	2.49E-07
Kfs max (m/s)	4.40E-07

Avec :

Kfs : Conductivité hydraulique de champs à saturation

ϕ_m : Potentiel hydrique

<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 1</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 1		Paramètres Essai 1		Profondeur Trou (cm)	12	Profondeur Fouille (cm)	30	Diamètre Trou (cm)	7	Réservoir utilisé	Combiné	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150			
Essai 1																				
Paramètres Essai 1																				
Profondeur Trou (cm)	12																			
Profondeur Fouille (cm)	30																			
Diamètre Trou (cm)	7																			
Réservoir utilisé	Combiné																			
Constante X du réservoir	35.220																			
Constante Y du réservoir	2.150																			
<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 1</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.00167</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00250</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>4.40E-05</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>4.40E-07</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>ϕ_m =</td> <td>1.27E-03</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>		Résultats Essai 1			R1 (5 cm)	0.00167	cm/s	R2 (10 cm)	0.00250	cm/s	Kfs =	4.40E-05	cm/s	Kfs =	4.40E-07	m/s	ϕ_m =	1.27E-03	cm²/s	
Résultats Essai 1																				
R1 (5 cm)	0.00167	cm/s																		
R2 (10 cm)	0.00250	cm/s																		
Kfs =	4.40E-05	cm/s																		
Kfs =	4.40E-07	m/s																		
ϕ_m =	1.27E-03	cm²/s																		
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 2</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Interne seul</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 2		Paramètres Essai 2		Profondeur Trou (cm)	13	Profondeur Fouille (cm)	25	Diamètre Trou (cm)	7	Réservoir utilisé	Interne seul	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150			
Essai 2																				
Paramètres Essai 2																				
Profondeur Trou (cm)	13																			
Profondeur Fouille (cm)	25																			
Diamètre Trou (cm)	7																			
Réservoir utilisé	Interne seul																			
Constante X du réservoir	35.220																			
Constante Y du réservoir	2.150																			
<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 2</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.002917</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00667</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>2.49E-05</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>2.49E-07</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>ϕ_m =</td> <td>1.90E-05</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>		Résultats Essai 2			R1 (5 cm)	0.002917	cm/s	R2 (10 cm)	0.00667	cm/s	Kfs =	2.49E-05	cm/s	Kfs =	2.49E-07	m/s	ϕ_m =	1.90E-05	cm²/s	
Résultats Essai 2																				
R1 (5 cm)	0.002917	cm/s																		
R2 (10 cm)	0.00667	cm/s																		
Kfs =	2.49E-05	cm/s																		
Kfs =	2.49E-07	m/s																		
ϕ_m =	1.90E-05	cm²/s																		

Avec,

R1, R2 : Taux d'écoulement en régime permanent correspondant respectivement à la charge hydraulique H1 de 5 cm et à la charge hydraulique H2 de 10 cm

❖ **PT GAIA25**

➤ Reconnaissance préalable aux mesures d'infiltration

Carte géologique : 1011 (Revel)

Formation géologique concernée : e4 (1011) ou e4c-e (Harmonis. 11) : Formations de type "argiles à graviers" – Formations détritiques inférieures ("Graviers d'Issel"). Eocène inférieur (Yprésien). Formation puissante d'une cinquantaine de mètres. Ensemble argilo-sableux à graveleux de couleur blanche, grisâtre. Formation débutant par un conglomérat plurimétrique à galets de quartz bien roulés

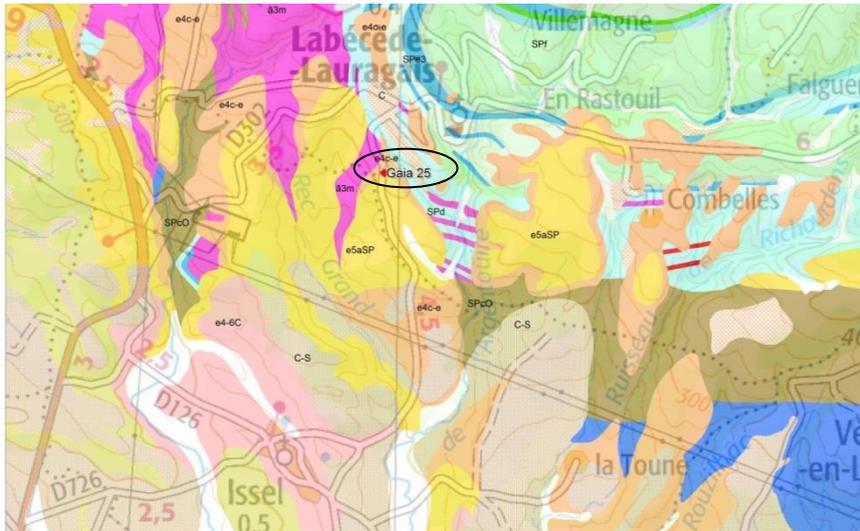


Figure 13 – Contexte géologique du site GAIA25 (carte géologique à 1/50000 de Revel)

Observations Juin 2014 : Affleurement des graviers d'Issel induré de couleur blanchâtre représenté par un conglomérat à matrice argilo-sableuse et à éléments de quartz

Observations Novembre 2016 : Graviers d'Issel présents à l'affleurement au niveau d'une ancienne carrière de faible extension, falaise d'environ 3 à 4 mètres de hauteurs. Alternance de niveaux grossiers à éléments de graviers de quartz subarrondis et de niveaux plus fins.

Sélection du site et intérêt de l'essai : **Site retenu**, permettant de caractériser le faciès des graviers d'Issel

Contexte de mise en œuvre de l'essai : Probable difficultés de foration en raison du caractère induré du faciès des graviers d'Issel représenté par un conglomérat.



Figure 14 – Photographies de l'affleurement du site GAIA25

➤ Caractérisation pédologique de la formation

Numéro Projet	GAIA 25
Opérateurs	MS + AG
Date	16/11/2016
Condition Météo	Pluvieux

Nombre d'essai	2
Epaisseur Sol décaissé	0 cm
Profondeur Trou de tarière	10 à 12 cm
Occupation du sol	Lande
Position du site de mesure	En contrehaut de l'affleurement, a priori au niveau d'une ancienne petite carrière

Numéro Profil	Profondeur reconnue		Texture				Couleur matrice (Charte Munsell)
	Haut	Bas	A%	L%	S%	Geppa	
GAIA_25-1	0	10	< 30	< 20	> 50	Sa	2.5Y - 8/1

Compacité	Structure	Humidité	MO	Eléments grossiers			
				%T	Nature	Taille	Forme
Peu compact	Non déterminé	Frais	Absence	50	Quartz	Graviers	Irréguliers émoussés

Commentaires

Grès d'Issel présents à l'affleurement au niveau d'une ancienne petite carrière, falaise d'environ 3 à 4 m de hauteur. Foration à la tarière extrêmement difficile en raison de la forte densité des éléments grossiers et du caractère pulvérulent (sableux) de la matrice

Photographies



➤ Mesures d'infiltration

Numéro :	Gaia 25
Date :	16/11/2016
Longitude X :	43.38752
Latitude Y :	1.99854
Météo :	Pluvieux
Nombre Essai :	2
Kfs moyen (m/s)	3.59E-05
ϕm moyen (cm ² /s)	2.14E-03
Kfs min (m/s)	3.59E-05
Kfs max (m/s)	3.59E-05



Avec :

Kfs : Conductivité hydraulique de champs à saturation

ϕm : Potentiel hydrique

<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 1</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 1		Paramètres Essai 1		Profondeur Trou (cm)	10	Profondeur Fouille (cm)		Diamètre Trou (cm)	8	Réservoir utilisé	Combiné	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 1</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.01667</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>Echec</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>Echec</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>Echec</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>ϕm =</td> <td>Echec</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>		Résultats Essai 1			R1 (5 cm)	0.01667	cm/s	R2 (10 cm)	Echec	cm/s	Kfs =	Echec	cm/s	Kfs =	Echec	m/s	ϕm =	Echec	cm²/s
Essai 1																																					
Paramètres Essai 1																																					
Profondeur Trou (cm)	10																																				
Profondeur Fouille (cm)																																					
Diamètre Trou (cm)	8																																				
Réservoir utilisé	Combiné																																				
Constante X du réservoir	35.220																																				
Constante Y du réservoir	2.150																																				
Résultats Essai 1																																					
R1 (5 cm)	0.01667	cm/s																																			
R2 (10 cm)	Echec	cm/s																																			
Kfs =	Echec	cm/s																																			
Kfs =	Echec	m/s																																			
ϕm =	Echec	cm²/s																																			
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 2</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 2		Paramètres Essai 2		Profondeur Trou (cm)	12	Profondeur Fouille (cm)		Diamètre Trou (cm)	8	Réservoir utilisé	Combiné	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 2</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.025000</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.05778</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>3.59E-03</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>3.59E-05</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>ϕm =</td> <td>2.14E-03</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>		Résultats Essai 2			R1 (5 cm)	0.025000	cm/s	R2 (10 cm)	0.05778	cm/s	Kfs =	3.59E-03	cm/s	Kfs =	3.59E-05	m/s	ϕm =	2.14E-03	cm²/s
Essai 2																																					
Paramètres Essai 2																																					
Profondeur Trou (cm)	12																																				
Profondeur Fouille (cm)																																					
Diamètre Trou (cm)	8																																				
Réservoir utilisé	Combiné																																				
Constante X du réservoir	35.220																																				
Constante Y du réservoir	2.150																																				
Résultats Essai 2																																					
R1 (5 cm)	0.025000	cm/s																																			
R2 (10 cm)	0.05778	cm/s																																			
Kfs =	3.59E-03	cm/s																																			
Kfs =	3.59E-05	m/s																																			
ϕm =	2.14E-03	cm²/s																																			



Avec,

R1, R2 : Taux d'écoulement en régime permanent correspondant respectivement à la charge hydraulique H1 de 5 cm et à la charge hydraulique H2 de 10 cm

❖ **PT GAIA27**

➤ Reconnaissance préalable aux mesures d'infiltration

Carte géologique : 1012 (Mazamet)

Formation géologique concernée :

- e5C2C (1012) ou e5c-e6aC (Harmonis. 81) : Faciès lacustres : Calcaires de Castres et de Labruguière. Eocène supérieur (Lutétien supérieur),
- e4-5b (1012) : Dépôts argileux en milieux calmes, argiles à graviers placées sous les calcaires de Castres. Eocène supérieur (Lutétien inférieur et moyen),

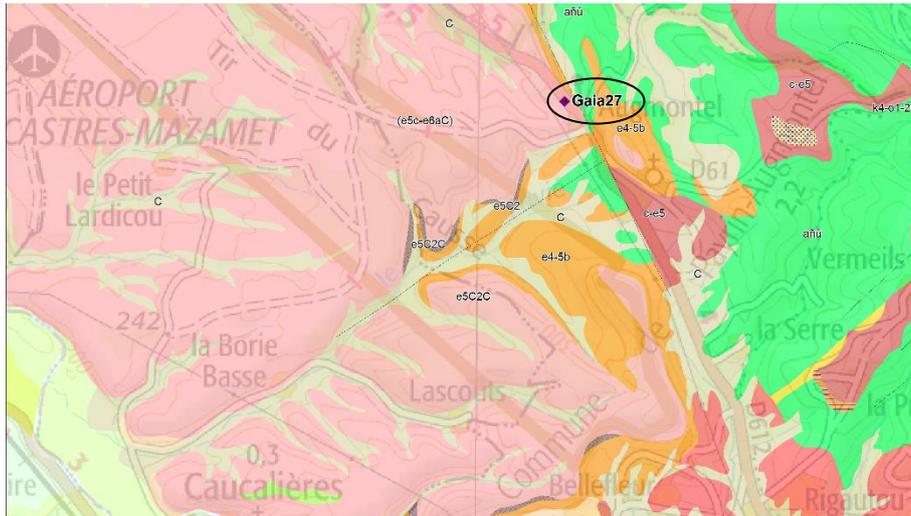


Figure 17 – Contexte géologique du site GAIA27 (carte géologique à 1/50000 de Mazamet)

Observations Juin 2014 : Contact entre les calcaires lacustres de Castres et les argiles à graviers placées en dessous. Grande proportion de graviers de quartz arrondis de taille centimétrique ou décimétrique (3 à 20 cm), voire d'éléments de schistes (rares), de cornéennes et de gneiss plus anguleux. Observation de chenaux de graviers à la base des calcaires.

Observations Novembre 2016 : Calcaires lacustres de Castres reposant sur les argiles à graviers. Argiles à graviers présentant 2 faciès visibles à l'affleurement :

- faciès inférieur très induré contenant peu d'éléments grossiers,
- faciès supérieur avec de nombreux éléments grossiers, agencés en chenaux.

Sélection du site et intérêt de l'essai : **Site non retenu**, en raison de l'impossibilité de mise en œuvre de l'essai sur un affleurement uniquement présent en falaise. **Site d'intérêt géologique** permettant de représenter l'intercalation des argiles à graviers au sein des calcaires de Castres.



Figure 18 – Photographies de l'affleurement du site GAIA27

❖ **PT GAIA29**

➤ Reconnaissance préalable aux mesures d'infiltration

Carte géologique : 986 (Castres)

Formation géologique concernée :

- e4-5b (986) ou e4-e5A (Harmonis. 81) : Argiles à graviers sous-jacentes aux calcaires de Castres. Eocène inférieur (Yprésien - Lutétien). Formation débutant souvent par des dépôts conglomératiques suivis de dépôts relativement fins. Niveau portant les marques de pédogenèses successives

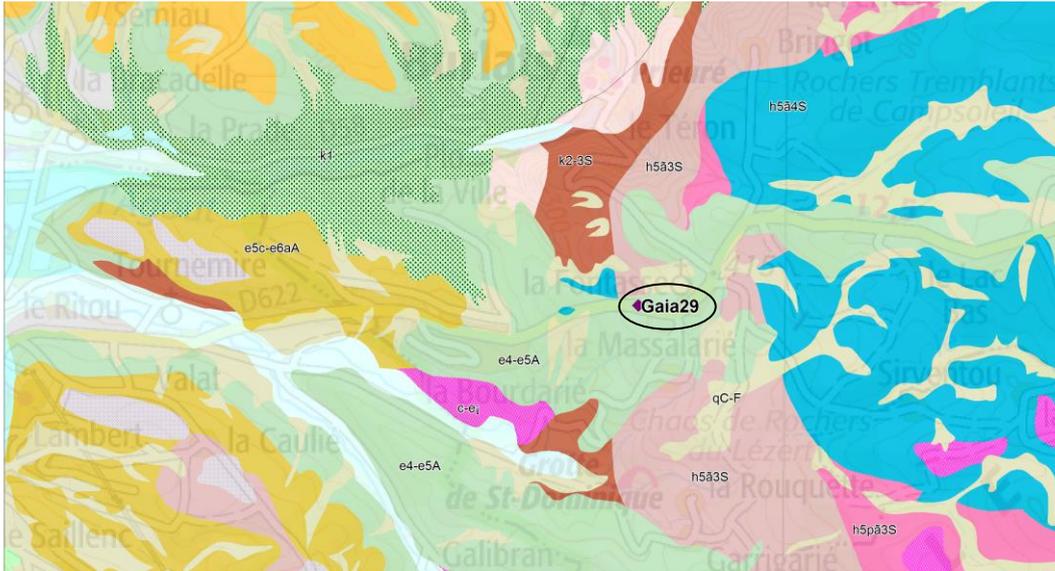


Figure 19 – Contexte géologique du site GAIA29 (carte géologique à 1/50000 de Castres)

Observations Novembre 2016 : Argiles à graviers présentes à l’affleurement en bordure de route sous un faciès présentant de nombreux éléments grossiers de quartz agencés au sein de chenaux plus ou moins épais. Estimation visuelle d’une proportion de 30 à 40% de graviers au sein des argiles.

Sélection du site et intérêt de l’essai : **Site retenu**, permettant de caractériser le faciès grossier des argiles à graviers en bordure du massif granitique du Sidobre

Contexte de mise en œuvre de l’essai : Site nécessitant probablement de réaliser un pré-trou à la pelle pour faciliter l’accès direct aux argiles à graviers. Epaisseur de sol estimé à environ 40 cm.



Figure 20 – Photographies de l’affleurement du site GAIA29

➤ Caractérisation pédologique de la formation

Numéro Projet	GAIA 29
Opérateurs	AG
Date	17/11/2016
Condition Météo	Ensoleillé

Nombre d'essai	3
Epaisseur Sol décaissé	37 à 43 cm
Profondeur Trou de tarière	12 à 21.5 cm
Occupation du sol	Lisière de forêt
Position du site de mesure	Lisière de forêt, en contrehaut de l'affleurement

Numéro Profil	Profondeur reconnue		Texture				Couleur matrice (Charte Munsell)
	Haut	Bas	A%	L%	S%	Geppa	
GAIA_29-2	43	60	< 30	> 55	< 15	LAS	7.5YR - 6/8

Compacité	Structure	Humidité	MO	Éléments grossiers			
				%T	Nature	Taille	Forme
Compact	Non déterminé	Frais	Présence	30	Quartz	Graviers	Irréguliers anguleux

Commentaires

Faciès graveleux avec nombreux éléments grossiers (type graviers). Présence de niveaux faiblement graveleux (environ 10%) et de niveaux nettement graveleux (autour de 50%) positionnés sur la partie haute de l'affleurement (talus de route)

Matrice argileuse contenant de nombreux graviers de taille millimétrique

Photographies



➤ Mesures d'infiltration

Numéro :	Gaia 29
Date :	17/11/2016
Longitude X :	43.62326
Latitude Y :	2.32159
Météo :	Beau
Nombre Essai :	2
Kfs moyen (m/s)	1.03E-06
ϕ_m moyen (cm ² /s)	3.60E-04
Kfs min (m/s)	8.22E-07
Kfs max (m/s)	1.23E-06



Avec :

Kfs : Conductivité hydraulique de champs à saturation

ϕ_m : Potentiel hydrique

<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 1</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>43</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 1		Paramètres Essai 1		Profondeur Trou (cm)	15	Profondeur Fouille (cm)	43	Diamètre Trou (cm)	6	Réservoir utilisé	Combiné	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 1</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.00083</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00167</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>8.218E-05</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>8.22E-07</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>ϕ_m =</td> <td>2.88E-04</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>		Résultats Essai 1			R1 (5 cm)	0.00083	cm/s	R2 (10 cm)	0.00167	cm/s	Kfs =	8.218E-05	cm/s	Kfs =	8.22E-07	m/s	ϕ_m =	2.88E-04	cm²/s
Essai 1																																					
Paramètres Essai 1																																					
Profondeur Trou (cm)	15																																				
Profondeur Fouille (cm)	43																																				
Diamètre Trou (cm)	6																																				
Réservoir utilisé	Combiné																																				
Constante X du réservoir	35.220																																				
Constante Y du réservoir	2.150																																				
Résultats Essai 1																																					
R1 (5 cm)	0.00083	cm/s																																			
R2 (10 cm)	0.00167	cm/s																																			
Kfs =	8.218E-05	cm/s																																			
Kfs =	8.22E-07	m/s																																			
ϕ_m =	2.88E-04	cm²/s																																			
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 2</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>21.5</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>37</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 2		Paramètres Essai 2		Profondeur Trou (cm)	21.5	Profondeur Fouille (cm)	37	Diamètre Trou (cm)	6	Réservoir utilisé	Combiné	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 2</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.001250</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00250</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>1.23E-04</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>1.23E-06</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>ϕ_m =</td> <td>4.31E-04</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>		Résultats Essai 2			R1 (5 cm)	0.001250	cm/s	R2 (10 cm)	0.00250	cm/s	Kfs =	1.23E-04	cm/s	Kfs =	1.23E-06	m/s	ϕ_m =	4.31E-04	cm²/s
Essai 2																																					
Paramètres Essai 2																																					
Profondeur Trou (cm)	21.5																																				
Profondeur Fouille (cm)	37																																				
Diamètre Trou (cm)	6																																				
Réservoir utilisé	Combiné																																				
Constante X du réservoir	35.220																																				
Constante Y du réservoir	2.150																																				
Résultats Essai 2																																					
R1 (5 cm)	0.001250	cm/s																																			
R2 (10 cm)	0.00250	cm/s																																			
Kfs =	1.23E-04	cm/s																																			
Kfs =	1.23E-06	m/s																																			
ϕ_m =	4.31E-04	cm²/s																																			



Avec,

R1, R2 : Taux d'écoulement en régime permanent correspondant respectivement à la charge hydraulique H1 de 5 cm et à la charge hydraulique H2 de 10 cm

❖ PT GAIA30

➤ Reconnaissance préalable aux mesures d'infiltration

Carte géologique : 986 (Castres)

Formation géologique concernée :

- e6ab(1) (986) ou e6aA (Harmonis. 81) : Argiles à graviers de Saint-Amans-de-Négrins et Montredon. Eocène supérieur (Bartonian inf. à moyen). Epaisse série où alternent des ensembles peu détritiques et des complexes plus graveleux et conglomératiques. Présence disséminée de lentilles de grès fins associées à des horizons carbonatés d'argiles rosées sur le sommet de la formation.

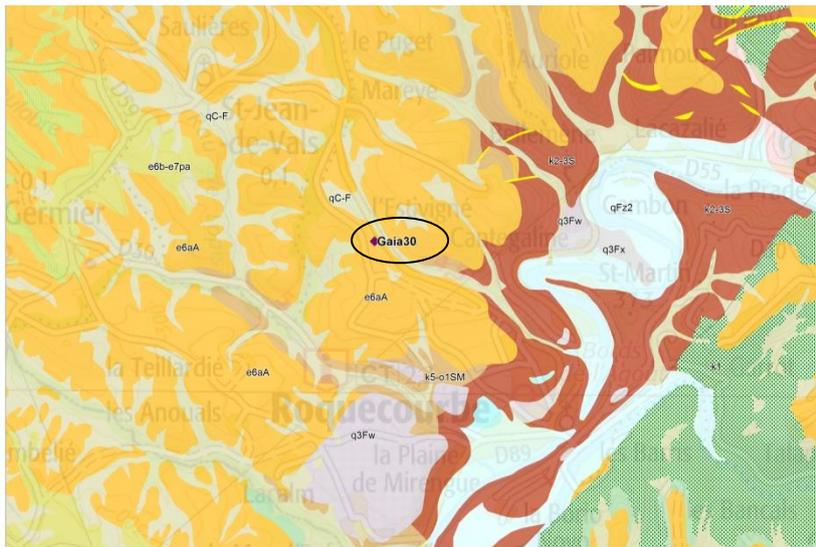


Figure 21 – Contexte géologique du site GAIA30 (carte géologique à 1/50000 de Castres)

Observations Novembre 2016 : Argiles à graviers présentes à l'affleurement en bordure de route sous un faciès plus fins par rapport au point de reconnaissance précédent (GAIA29) avec toujours la présence de galets de quartz mais dans un agencement plus disparate. Estimation visuelle d'une proportion de 20 à 25% de graviers au sein des argiles.

Sélection du site et intérêt de l'essai : **Site retenu**, permettant de caractériser un autre faciès des argiles à graviers en remontant vers le nord du bassin de Castres, toujours proche de la bordure du massif de socle (représenté ici par des formations pélitiques).

Contexte de mise en œuvre de l'essai : Site de mesures situé à l'intérieur du bois, au niveau du chemin d'accès, nécessitant probablement de réaliser un pré-trou à la pelle pour faciliter l'accès direct aux argiles à graviers. Epaisseur de sol et/ou de colluvions non estimé.



Figure 22 – Photographies de l'affleurement du site GAIA30

➤ Caractérisation pédologique de la formation

Numéro Projet	GAIA 30
Opérateurs	AG
Date	17/11/2016
Condition Météo	Couvert

Nombre d'essai	3
Epaisseur Sol décaissé	17 à 29 cm
Profondeur Trou de tarière	15 à 17 cm
Occupation du sol	Forêt
Position du site de mesure	En lisière de forêt, en contrehaut de l'affleurement situé en bordure de route

Numéro Profil	Profondeur reconnue		Texture				Couleur matrice (Charte Munsell)
	Haut	Bas	A%	L%	S%	Geppa	
GAIA_30-3	29	46	< 30	> 55	< 15	LAS	7.5YR - 5/6

Compacité	Structure	Humidité	MO	Éléments grossiers			
				%T	Nature	Taille	Forme
Peu compact	Non déterminé	Frais	Absence	25	Quartz	Graviers	Irréguliers anguleux

Commentaires

Présence de nombreux éléments grossiers (type cailloux) dès la surface rendant difficile la foration du trou. Matrice présentant également de nombreux graviers

Photographies



➤ Mesures d'infiltration

Numéro :	Gaia 30
Date :	17/11/2016
Longitude X :	43.67907
Latitude Y :	2.27277
Météo :	Couvert

Nombre Essai :	2
Kfs moyen (m/s)	1.02E-05
ϕm moyen (cm ² /s)	2.47E-03
Kfs min (m/s)	4.17E-06
Kfs max (m/s)	1.63E-05



Avec :

Kfs : Conductivité hydraulique de champs à saturation

ϕm : Potentiel hydrique

<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 1</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 1		Paramètres Essai 1		Profondeur Trou (cm)	15	Profondeur Fouille (cm)	17	Diamètre Trou (cm)	6	Réservoir utilisé	Combiné	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 1</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.01167</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.02667</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>1.63E-03</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>1.63E-05</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>ϕm =</td> <td>1.24E-03</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>		Résultats Essai 1			R1 (5 cm)	0.01167	cm/s	R2 (10 cm)	0.02667	cm/s	Kfs =	1.63E-03	cm/s	Kfs =	1.63E-05	m/s	ϕm =	1.24E-03	cm²/s
Essai 1																																					
Paramètres Essai 1																																					
Profondeur Trou (cm)	15																																				
Profondeur Fouille (cm)	17																																				
Diamètre Trou (cm)	6																																				
Réservoir utilisé	Combiné																																				
Constante X du réservoir	35.220																																				
Constante Y du réservoir	2.150																																				
Résultats Essai 1																																					
R1 (5 cm)	0.01167	cm/s																																			
R2 (10 cm)	0.02667	cm/s																																			
Kfs =	1.63E-03	cm/s																																			
Kfs =	1.63E-05	m/s																																			
ϕm =	1.24E-03	cm²/s																																			
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 2</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 2		Paramètres Essai 2		Profondeur Trou (cm)	17	Profondeur Fouille (cm)	29	Diamètre Trou (cm)	6	Réservoir utilisé	Combiné	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 2</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.006667</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.01167</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>4.17E-04</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>4.17E-06</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>ϕm =</td> <td>3.69E-03</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>		Résultats Essai 2			R1 (5 cm)	0.006667	cm/s	R2 (10 cm)	0.01167	cm/s	Kfs =	4.17E-04	cm/s	Kfs =	4.17E-06	m/s	ϕm =	3.69E-03	cm²/s
Essai 2																																					
Paramètres Essai 2																																					
Profondeur Trou (cm)	17																																				
Profondeur Fouille (cm)	29																																				
Diamètre Trou (cm)	6																																				
Réservoir utilisé	Combiné																																				
Constante X du réservoir	35.220																																				
Constante Y du réservoir	2.150																																				
Résultats Essai 2																																					
R1 (5 cm)	0.006667	cm/s																																			
R2 (10 cm)	0.01167	cm/s																																			
Kfs =	4.17E-04	cm/s																																			
Kfs =	4.17E-06	m/s																																			
ϕm =	3.69E-03	cm²/s																																			



Avec,

R1, R2 : Taux d'écoulement en régime permanent correspondant respectivement à la charge hydraulique H1 de 5 cm et à la charge hydraulique H2 de 10 cm

❖ **PT GAIA31 / PT GAIA04**

➤ Reconnaissance préalable aux mesures d'infiltration

Carte géologique : 932 (Albi)

Formation géologique concernée : e7-g2A (932) ou e6aA (Harmonis. 81) : Argiles à graviers de l'Albigeois et du Carmausin. Eocène supérieur (Bartonien inf. à moyen). Formation constituée de dépôts continentaux fluviatiles à palustres mais aussi d'altérites de socle. Gravieres et galets de quartz filonien plus ou moins bien roulés, emballés dans une matrice argileuse et silteuse rouge.



Figure 23 – Contexte géologique du site GAIA31 (carte géologique à 1/50000 de Albi)

Observations Juin 2014 au niveau du site Gaia04 : Vue des niveaux calcaires molassiques en position haute au niveau de la topographie, intercalés au sein des formations molassiques argileuses oligocènes. Formations molassiques reposant sur les argiles à graviers de l'Eocène.

Niveaux calcaires
Formations molassiques argileuses



Figure 24 – Vue d'ensemble des formations molassiques du site GAIA04

Observations Novembre 2016 : Affleurement à la base d'un fossé de route d'argiles à graviers présentant un faciès fins (argile plastique) à présence d'éléments de graviers de petites tailles. Présence de colluvions relativement épaisses sur le dessus de l'affleurement

Sélection du site et intérêt de l'essai : **Site non retenu** car incertitude sur la représentativité du faciès en place des Argiles à graviers au niveau des sites possibles de mesures (principalement au niveau des champs dans l'axe du thalweg).



Colluvions
Argiles à graviers en pied de fossé de route

Figure 25 – Photographie de l'affleurement du site GAIA31

➤ Caractérisation pédologique de la formation

Numéro Projet	GAIA 33
Opérateurs	AG
Date	22/11/2016
Condition Météo	Couvert

Nombre d'essai	3
Epaisseur Sol décaissé	25 à 38 cm
Profondeur Trou de tarière	32 à 41 cm
Occupation du sol	Friche
Position du site de mesure	En bordure de parcelle en friche / Haut du talus de la route

Numéro Profil	Profondeur reconnue		Texture				Couleur matrice (Charte Munsell)
	Haut	Bas	A%	L%	S%	Geppa	
GAIA_33-1	38	70	< 30	> 55	< 15	LAS	10YR - 5/8

Compacité	Structure	Humidité	MO	Éléments grossiers			
				%T	Nature	Taille	Forme
Compact	Non déterminé	Humide	Absence	10	?	Graviers	Irréguliers anguleux

Commentaires

Matrice très compacte contenant très peu d'éléments grossiers de taille millimétrique (environ 2mm)

Photographies



➤ Mesures d'infiltration

Numéro :	Gaia 33
Date :	22/11/2016
Longitude X :	44.06279
Latitude Y :	2.11113
Météo :	Pluvieux
Nombre Essai :	3
Kfs moyen (m/s)	8.96E-08
ϕm moyen (cm ² /s)	4.09E-06
Kfs min (m/s)	8.96E-08
Kfs max (m/s)	8.96E-08



Avec :

Kfs : Conductivité hydraulique de champs à saturation

ϕm : Potentiel hydrique

<p>Essai 1</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Paramètres Essai 1</th> <th colspan="3">Résultats Essai 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>24</td> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.000000</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>26</td> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.000000</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> <td>Kfs =</td> <td>Echec</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Interne seul</td> <td>Kfs =</td> <td>Echec</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> <td>ϕm =</td> <td>Echec</td> <td>cm²/s</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Paramètres Essai 1		Résultats Essai 1			Profondeur Trou (cm)	24	R1 (5 cm)	0.000000	cm/s	Profondeur Fouille (cm)	26	R2 (10 cm)	0.000000	cm/s	Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	Echec	cm/s	Réservoir utilisé	Interne seul	Kfs =	Echec	m/s	Constante X du réservoir	35.220	ϕm =	Echec	cm²/s	Constante Y du réservoir	2.150				
Paramètres Essai 1		Résultats Essai 1																																			
Profondeur Trou (cm)	24	R1 (5 cm)	0.000000	cm/s																																	
Profondeur Fouille (cm)	26	R2 (10 cm)	0.000000	cm/s																																	
Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	Echec	cm/s																																	
Réservoir utilisé	Interne seul	Kfs =	Echec	m/s																																	
Constante X du réservoir	35.220	ϕm =	Echec	cm²/s																																	
Constante Y du réservoir	2.150																																				
<p>Essai 2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Paramètres Essai 2</th> <th colspan="3">Résultats Essai 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>26</td> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.001000</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>19</td> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00233</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> <td>Kfs =</td> <td>8.96E-06</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Interne seul</td> <td>Kfs =</td> <td>8.96E-08</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> <td>ϕm =</td> <td>4.09E-06</td> <td>cm²/s</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Paramètres Essai 2		Résultats Essai 2			Profondeur Trou (cm)	26	R1 (5 cm)	0.001000	cm/s	Profondeur Fouille (cm)	19	R2 (10 cm)	0.00233	cm/s	Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	8.96E-06	cm/s	Réservoir utilisé	Interne seul	Kfs =	8.96E-08	m/s	Constante X du réservoir	35.220	ϕm =	4.09E-06	cm²/s	Constante Y du réservoir	2.150				
Paramètres Essai 2		Résultats Essai 2																																			
Profondeur Trou (cm)	26	R1 (5 cm)	0.001000	cm/s																																	
Profondeur Fouille (cm)	19	R2 (10 cm)	0.00233	cm/s																																	
Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	8.96E-06	cm/s																																	
Réservoir utilisé	Interne seul	Kfs =	8.96E-08	m/s																																	
Constante X du réservoir	35.220	ϕm =	4.09E-06	cm²/s																																	
Constante Y du réservoir	2.150																																				
<p>Essai 3</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Paramètres Essai 2</th> <th colspan="3">Résultats Essai 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>41</td> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.000000</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>30</td> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.000000</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> <td>Kfs =</td> <td>Echec</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Interne seul</td> <td>Kfs =</td> <td>Echec</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> <td>ϕm =</td> <td>Echec</td> <td>cm²/s</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Paramètres Essai 2		Résultats Essai 2			Profondeur Trou (cm)	41	R1 (5 cm)	0.000000	cm/s	Profondeur Fouille (cm)	30	R2 (10 cm)	0.000000	cm/s	Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	Echec	cm/s	Réservoir utilisé	Interne seul	Kfs =	Echec	m/s	Constante X du réservoir	35.220	ϕm =	Echec	cm²/s	Constante Y du réservoir	2.150				
Paramètres Essai 2		Résultats Essai 2																																			
Profondeur Trou (cm)	41	R1 (5 cm)	0.000000	cm/s																																	
Profondeur Fouille (cm)	30	R2 (10 cm)	0.000000	cm/s																																	
Diamètre Trou (cm)	6	Kfs =	Echec	cm/s																																	
Réservoir utilisé	Interne seul	Kfs =	Echec	m/s																																	
Constante X du réservoir	35.220	ϕm =	Echec	cm²/s																																	
Constante Y du réservoir	2.150																																				

Avec,

R1, R2 : Taux d'écoulement en régime permanent correspondant respectivement à la charge hydraulique H1 de 5 cm et à la charge hydraulique H2 de 10 cm

❖ **PT GAIA34 / PT GAIA07**

➤ Reconnaissance préalable aux mesures d'infiltration

Carte géologique : 933 (Carmaux)

Formation géologique concernée :

- e6C (933) ou e6aA (Harmonis. 81) : Argiles à graviers inférieures du Carmausin et de l'Albigeois. Eocène supérieur (Bartonien inf. à moyen). Série épaisse riche en galets de quartz de taille variable, accompagné parfois de débris de schistes. Alternance d'ensembles peu détritiques et de complexes sédimentaires plus graveleux, parfois même conglomératiques.



Figure 28 – Contexte géologique des sites GAIA34 et GAIA07 (carte géologique à 1/50000 de Carmaux)

Observations Juillet 2014 au niveau du site Gaia07 : Affleurement d'argiles à graviers orangées en bordure de route avec graviers de quartz sub-arrondis de taille centimétrique. Estimation visuelle d'une proportion de 15% de graviers au sein des argiles.



Figure 29 – Photographie du site GAIA07 (Observations de juin 2014)

Observations Novembre 2016 au niveau du site Gaia34 : Affleurement à la base d'un talus de route d'argiles à graviers de teinte orangées présentant un faciès relativement fin avec présence de d'éléments de graviers de quartz de petites tailles.

Sélection du site et intérêt de l'essai : Site retenu permettant de caractériser le faciès fin des argiles à graviers de l'Albigeois et du Carmausin sur la feuille de Carmaux.

Contexte de mise en œuvre de l'essai : Site de mesures situé au sein d'un centre de loisirs en contrebas du terrain de football afin d'éviter de se positionner dans des terrains remaniés. Site nécessitant de réaliser un pré-trou à la pelle pour faciliter l'accès direct aux argiles à graviers. Epaisseur de sol relativement importante, estimé à environ 20 cm.

➤ Caractérisation pédologique de la formation

Numéro Projet	GAIA 34
Opérateurs	AG
Date	22/11/2016
Condition Météo	Couvert, Pluvieux

Nombre d'essai	2
Epaisseur Sol décaissé	19 à 26 cm
Profondeur Trou de tarière	24 à 26 cm
Occupation du sol	Prairie
Position du site de mesure	En contrebas d'un parc d'un centre de loisirs

Numéro Profil	Profondeur reconnue		Texture				Couleur matrice (Charte Munsell)
	Haut	Bas	A%	L%	S%	Geppa	
GAIA_34-1	26	50	< 30	> 55	< 15	LAS	10YR - 5/8

Compacité	Structure	Humidité	MO	Eléments grossiers			
				%T	Nature	Taille	Forme
Compact	Non déterminé	Humide	Absence	10	?	Graviers	Irréguliers anguleux

Commentaires

Matrice compacte contenant peu d'éléments grossiers de taille millimétrique (4 à 6 mm). Présence de quelques graviers en fond de trou

Photographies



➤ Mesures d'infiltration

Numéro :	Gaia 34
Date :	22/11/2016
Longitude X :	44.07559
Latitude Y :	2.15982
Météo :	Pluvieux

Nombre Essai :	2
Kfs moyen (m/s)	8.62E-07
ϕ_m moyen (cm ² /s)	2.88E-04
Kfs min (m/s)	7.95E-08
Kfs max (m/s)	1.64E-06



Avec :

Kfs : Conductivité hydraulique de champs à saturation

ϕ_m : Potentiel hydrique

<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 1</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Interne seul</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 1		Paramètres Essai 1		Profondeur Trou (cm)	24	Profondeur Fouille (cm)	26	Diamètre Trou (cm)	6	Réservoir utilisé	Interne seul	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 1</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.000833</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00200</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>7.95E-06</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>7.95E-08</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>ϕ_m =</td> <td>5.73E-07</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>		Résultats Essai 1			R1 (5 cm)	0.000833	cm/s	R2 (10 cm)	0.00200	cm/s	Kfs =	7.95E-06	cm/s	Kfs =	7.95E-08	m/s	ϕ_m =	5.73E-07	cm²/s
Essai 1																																					
Paramètres Essai 1																																					
Profondeur Trou (cm)	24																																				
Profondeur Fouille (cm)	26																																				
Diamètre Trou (cm)	6																																				
Réservoir utilisé	Interne seul																																				
Constante X du réservoir	35.220																																				
Constante Y du réservoir	2.150																																				
Résultats Essai 1																																					
R1 (5 cm)	0.000833	cm/s																																			
R2 (10 cm)	0.00200	cm/s																																			
Kfs =	7.95E-06	cm/s																																			
Kfs =	7.95E-08	m/s																																			
ϕ_m =	5.73E-07	cm²/s																																			
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 2</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 2		Paramètres Essai 2		Profondeur Trou (cm)	26	Profondeur Fouille (cm)	19	Diamètre Trou (cm)	6	Réservoir utilisé	Combiné	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 2</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.001667</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00333</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>1.64E-04</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>1.64E-06</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>ϕ_m =</td> <td>5.75E-04</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>		Résultats Essai 2			R1 (5 cm)	0.001667	cm/s	R2 (10 cm)	0.00333	cm/s	Kfs =	1.64E-04	cm/s	Kfs =	1.64E-06	m/s	ϕ_m =	5.75E-04	cm²/s
Essai 2																																					
Paramètres Essai 2																																					
Profondeur Trou (cm)	26																																				
Profondeur Fouille (cm)	19																																				
Diamètre Trou (cm)	6																																				
Réservoir utilisé	Combiné																																				
Constante X du réservoir	35.220																																				
Constante Y du réservoir	2.150																																				
Résultats Essai 2																																					
R1 (5 cm)	0.001667	cm/s																																			
R2 (10 cm)	0.00333	cm/s																																			
Kfs =	1.64E-04	cm/s																																			
Kfs =	1.64E-06	m/s																																			
ϕ_m =	5.75E-04	cm²/s																																			



Avec,

R1, R2 : Taux d'écoulement en régime permanent correspondant respectivement à la charge hydraulique H1 de 5 cm et à la charge hydraulique H2 de 10 cm

❖ **PT GAIA35 / PT GAIA08**

➤ Reconnaissance préalable aux mesures d'infiltration

Carte géologique : 933 (Carmaux)

Formation géologique concernée : e6C (933) ou e6aA (Harmonis. 81) : Argiles à graviers inférieures du Carmausin et de l'Albigeois. Eocène supérieur (Bartonien inf. à moyen). Série épaisse riche en galets de quartz de taille variable, accompagné parfois de débris de schistes. Alternance d'ensembles peu détritiques et de complexes sédimentaires plus graveleux, parfois même conglomératiques.



Figure 30 – Contexte géologique des sites GAIA35 et GAIA08 (carte géologique à 1/50000 de Carmaux)

Observations Juillet 2014 au niveau du site Gaia08 : Affleurement d'argiles à graviers orangées en bordure de route avec graviers de quartz sub-arrondis et de schistes de taille centimétrique à décimétriques. Estimation visuelle d'une proportion de 70% de graviers au sein des argiles.

Observations Novembre 2016 au niveau du site Gaia35 : Affleurement distant d'environ 500 m du site Gaia 08 décrit en juin 2014, situé au niveau d'un talus de route. Argiles à graviers de teinte orangées présentant un faciès grossier avec de très nombreux d'éléments de graviers de quartz. Argiles à graviers situé au-dessus des altérites des schistes du Cambrien.

Sélection du site et intérêt de l'essai : **Site retenu** permettant de caractériser un faciès grossier des argiles à graviers de l'Albigeois et du Carmausin à proximité des formations de socle.

Contexte de mise en œuvre de l'essai : Site de mesures susceptible de présenter des difficultés de mise en œuvre en raison de l'importante densité d'éléments grossiers. Site sélectionné en lisière de bois, en contrehaut de la route où se situe l'affleurement, toutefois la quantité de graviers est délicate à gérer dans la mise en œuvre de l'essai.



Figure 31 – Photographies des affleurements des sites GAIA08 (à gauche) et GAIA35 (à droite)

➤ Caractérisation pédologique de la formation

Numéro Projet	GAIA 35
Opérateurs	MS
Date	25/11/2016
Condition Météo	Couvert

Nombre d'essai	3
Epaisseur Sol décaissé	20 à 50 cm
Profondeur Trou de tarière	15 à 24 cm
Occupation du sol	Lande
Position du site de mesure	En contrehaut de l'affleurement situé en bordure de route, à la lisère d'un bois

Numéro Profil	Profondeur reconnue		Texture				Couleur matrice (Charte Munsell)
	Haut	Bas	A%	L%	S%	Geppa	
GAIA_35-1	50	65	< 30	> 55	< 15	LAS	10YR - 6/4

Compacité	Structure	Humidité	MO	Éléments grossiers			
				%T	Nature	Taille	Forme
Compact	Non déterminé	Humide	Absence	> 50	Quartz	Graviers	Irréguliers anguleux

Commentaires

Présence de très nombreux galets de quartz associés à quelques éléments de socle (schistes) de taille décimétrique sur les 50 premiers centimètres de sol.

Photographies



➤ Mesures d'infiltration

Numéro :	Gaia 35
Date :	25/11/2016
Longitude X :	43.96275
Latitude Y :	2.24181
Météo :	Pluvieux



Nombre Essai :	3
Kfs moyen (m/s)	3.13E-05
φm moyen (cm ² /s)	6.49E-03
Kfs min (m/s)	1.96E-05
Kfs max (m/s)	3.92E-05

Avec :

Kfs : Conductivité hydraulique de champs à saturation

φm : Potentiel hydrique

<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 1</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 1		Paramètres Essai 1		Profondeur Trou (cm)	15	Profondeur Fouille (cm)	50	Diamètre Trou (cm)	8	Réservoir utilisé	Combiné	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 1</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.030000</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.06667</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>3.92E-03</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>3.92E-05</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>φm =</td> <td>4.79E-03</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>		Résultats Essai 1			R1 (5 cm)	0.030000	cm/s	R2 (10 cm)	0.06667	cm/s	Kfs =	3.92E-03	cm/s	Kfs =	3.92E-05	m/s	φm =	4.79E-03	cm²/s
Essai 1																																					
Paramètres Essai 1																																					
Profondeur Trou (cm)	15																																				
Profondeur Fouille (cm)	50																																				
Diamètre Trou (cm)	8																																				
Réservoir utilisé	Combiné																																				
Constante X du réservoir	35.220																																				
Constante Y du réservoir	2.150																																				
Résultats Essai 1																																					
R1 (5 cm)	0.030000	cm/s																																			
R2 (10 cm)	0.06667	cm/s																																			
Kfs =	3.92E-03	cm/s																																			
Kfs =	3.92E-05	m/s																																			
φm =	4.79E-03	cm²/s																																			
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 2</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 2		Paramètres Essai 2		Profondeur Trou (cm)	24	Profondeur Fouille (cm)	20	Diamètre Trou (cm)	7	Réservoir utilisé	Combiné	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 2</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.035556</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.07111</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>3.51E-03</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>3.51E-05</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>φm =</td> <td>1.23E-02</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>		Résultats Essai 2			R1 (5 cm)	0.035556	cm/s	R2 (10 cm)	0.07111	cm/s	Kfs =	3.51E-03	cm/s	Kfs =	3.51E-05	m/s	φm =	1.23E-02	cm²/s
Essai 2																																					
Paramètres Essai 2																																					
Profondeur Trou (cm)	24																																				
Profondeur Fouille (cm)	20																																				
Diamètre Trou (cm)	7																																				
Réservoir utilisé	Combiné																																				
Constante X du réservoir	35.220																																				
Constante Y du réservoir	2.150																																				
Résultats Essai 2																																					
R1 (5 cm)	0.035556	cm/s																																			
R2 (10 cm)	0.07111	cm/s																																			
Kfs =	3.51E-03	cm/s																																			
Kfs =	3.51E-05	m/s																																			
φm =	1.23E-02	cm²/s																																			
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 3</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 3</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 3		Paramètres Essai 3		Profondeur Trou (cm)	18	Profondeur Fouille (cm)	40	Diamètre Trou (cm)	7	Réservoir utilisé	Combiné	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 3</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.015000</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.03333</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>1.96E-03</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>1.96E-05</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>φm =</td> <td>2.39E-03</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>		Résultats Essai 3			R1 (5 cm)	0.015000	cm/s	R2 (10 cm)	0.03333	cm/s	Kfs =	1.96E-03	cm/s	Kfs =	1.96E-05	m/s	φm =	2.39E-03	cm²/s
Essai 3																																					
Paramètres Essai 3																																					
Profondeur Trou (cm)	18																																				
Profondeur Fouille (cm)	40																																				
Diamètre Trou (cm)	7																																				
Réservoir utilisé	Combiné																																				
Constante X du réservoir	35.220																																				
Constante Y du réservoir	2.150																																				
Résultats Essai 3																																					
R1 (5 cm)	0.015000	cm/s																																			
R2 (10 cm)	0.03333	cm/s																																			
Kfs =	1.96E-03	cm/s																																			
Kfs =	1.96E-05	m/s																																			
φm =	2.39E-03	cm²/s																																			



Avec,

R1, R2 : Taux d'écoulement en régime permanent correspondant respectivement à la charge hydraulique H1 de 5 cm et à la charge hydraulique H2 de 10 cm

❖ **PT GAIA36**

➤ Reconnaissance préalable aux mesures d'infiltration

Carte géologique : 933 (Carmaux)

Formation géologique concernée :

- e6C (933) ou e6aA (Harmonis. 81) : Argiles à graviers inférieures du Carmausin et de l'Albigeois. Eocène supérieur (Bartonian inf. à moyen). Série épaisse riche en galets de quartz de taille variable, accompagné parfois de débris de schistes. Alternance d'ensembles peu détritiques et de complexes sédimentaires plus graveleux, parfois même conglomératiques.

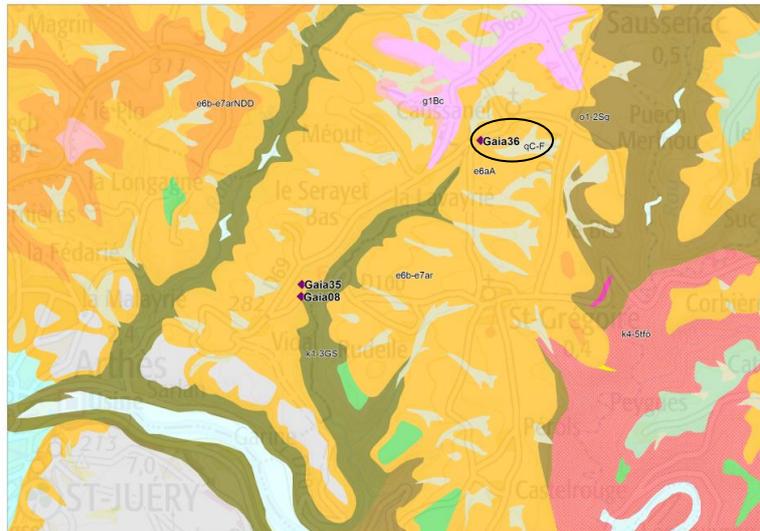


Figure 32 – Contexte géologique des sites GAIA36 (carte géologique à 1/50000 de Carmaux)

Observations Novembre 2016 : Affleurement à la base d'un talus de route d'argiles à graviers très indurées présentant un faciès fin avec peu d'éléments de graviers de quartz. Argiles à graviers situé au-dessus des altérites des schistes du Cambrien.

Sélection du site et intérêt de l'essai : Site sélectionné dans un objectif de représentativité du secteur de Saint-Juéry (en complément de Gaia35), à proximité des formations de socle, où de vastes surfaces sont cartographiées en argiles à graviers au sein desquelles différents faciès peuvent être reconnus.

Contexte de mise en œuvre de l'essai : **Echec dans la réalisation des essais** en raison du faciès particulièrement grossier de la formation entraînant l'éboulement des trous au fur-et-à-mesure de leur foration à la tarière



Figure 33 – Photographie de l'affleurement du site GAIA36

➤ Caractérisation pédologique de la formation

Numéro Projet	GAIA 36
Opérateurs	AG
Date	21/11/2016
Condition Météo	Couvert

Nombre d'essai	3
Epaisseur Sol décaissé	15 à 20 cm
Profondeur Trou de tarière	10 à 15 cm
Occupation du sol	Bande enherbée
Position du site de mesure	Lisière de bois, en bordure de route

Numéro Profil	Profondeur reconnue		Texture				Couleur matrice (Charte Munsell)
	Haut	Bas	A%	L%	S%	Geppa	
GAIA_36-2	15	25	> 30	< 40	< 30	Als	5YR - 4/5

Compacité	Structure	Humidité	MO	Eléments grossiers			
				%T	Nature	Taille	Forme
Peu compact	Non déterminé	Frais	Absence	35	Quartz	Graviers	Irréguliers anguleux

Commentaires

3 trous réalisés, tous abandonnés en raison de leur éboulement en cours de foration à la tarière par la présence de nombreux cailloux

Photographies



❖ **PT GAIA37**

➤ Reconnaissance préalable aux mesures d'infiltration

Carte géologique : 959 (Réalmont)

Formation géologique concernée :

- e6a-b (959) ou e6aA (Harmonis. 81) : Argiles à graviers de Saint-Jean-de-Vals, de l'Albigeois et du Carmausin. Eocène supérieur (Bartonien inf. à moyen). Série épaisse riche en galets de quartz de taille variable, accompagné parfois de débris de schistes. Alternance d'ensembles peu détritiques et de complexes sédimentaires plus graveleux, parfois même conglomératiques.

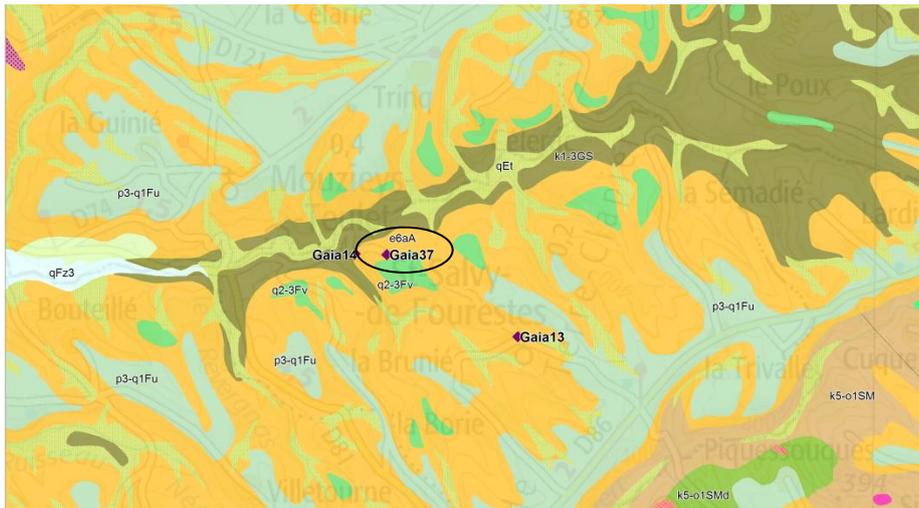


Figure 34 – Contexte géologique du site GAIA37 (carte géologique à 1/50000 de Réalmont)

Observations Novembre 2016 : Pas d'affleurement bien identifié, toutefois les argiles à graviers semblent sub-affleurantes au niveau d'une parcelle en bordure de route dont les sols sont de teinte orangée. Reconnaissance réalisée à la tarière mettant en évidence des argiles contenant de nombreux éléments de quartz de petites tailles.

Sélection du site et intérêt de l'essai : **Site retenu** permettant de caractériser le faciès des argiles à graviers de Saint-Jean-de-Vals sur la feuille de Réalmont.

Contexte de mise en œuvre de l'essai : Site de mesures à l'intérieur d'une parcelle enherbée situé en bordure de route, nécessitant de réaliser un pré-trou à la pelle pour faciliter l'accès direct aux argiles à graviers. Epaisseur de sol relativement faible, estimée à environ 20 cm.



Figure 35 – Photographie de l'affleurement du site GAIA37

➤ Caractérisation pédologique de la formation

Numéro Projet	GAIA 37
Opérateurs	AG
Date	21/11/2016
Condition Météo	Couvert / Vents en rafale

Nombre d'essai	2
Épaisseur Sol décaissé	24 à 25 cm
Profondeur Trou de tarière	16 à 23 cm
Occupation du sol	Prairie
Position du site de mesure	A l'intérieur d'une parcelle en prairie située en bordure de route

Numéro Profil	Profondeur reconnue		Texture				Couleur matrice (Charte Munsell)
	Haut	Bas	A%	L%	S%	Geppa	
GAIA_37-2	24	40	> 30	< 40	< 30	Als	7.5YR - 6/4

Compacité	Structure	Humidité	MO	Éléments grossiers			
				%T	Nature	Taille	Forme
Compact	Non déterminé	Frais	Absence	25	Quartz	Graviers	Applatis anguleux

Commentaires

4 trous réalisés dont 2 abandonnés en raison de leur éboulement par la présence de nombreux cailloux. Présence de graviers en fond de trou pour les 2 trous ayant fait l'objet des essais de mesure

Photographies



➤ Mesures d'infiltration

Numéro :	Gaia 37
Date :	21/11/2016
Longitude X :	43.86074
Latitude Y :	2.28879
Météo :	Vents en rafale
Nombre Essai :	2
Kfs moyen (m/s)	3.04E-06
ϕm moyen (cm ² /s)	6.51E-03
Kfs min (m/s)	2.03E-06
Kfs max (m/s)	4.05E-06



Avec :

Kfs : Conductivité hydraulique de champs à saturation

ϕm : Potentiel hydrique

<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 1</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 1		Paramètres Essai 1		Profondeur Trou (cm)	23	Profondeur Fouille (cm)	25	Diamètre Trou (cm)	6	Réservoir utilisé	Combiné	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 1</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.00083</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00250</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>2.03E-04</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>2.03E-06</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>ϕm =</td> <td>4.34E-03</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>	Résultats Essai 1			R1 (5 cm)	0.00083	cm/s	R2 (10 cm)	0.00250	cm/s	Kfs =	2.03E-04	cm/s	Kfs =	2.03E-06	m/s	ϕm =	4.34E-03	cm²/s
Essai 1																																				
Paramètres Essai 1																																				
Profondeur Trou (cm)	23																																			
Profondeur Fouille (cm)	25																																			
Diamètre Trou (cm)	6																																			
Réservoir utilisé	Combiné																																			
Constante X du réservoir	35.220																																			
Constante Y du réservoir	2.150																																			
Résultats Essai 1																																				
R1 (5 cm)	0.00083	cm/s																																		
R2 (10 cm)	0.00250	cm/s																																		
Kfs =	2.03E-04	cm/s																																		
Kfs =	2.03E-06	m/s																																		
ϕm =	4.34E-03	cm²/s																																		
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 2</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 2		Paramètres Essai 2		Profondeur Trou (cm)	16	Profondeur Fouille (cm)	24	Diamètre Trou (cm)	6	Réservoir utilisé	Combiné	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 2</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.00167</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00500</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>4.05E-04</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>4.05E-06</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>ϕm =</td> <td>8.68E-03</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>	Résultats Essai 2			R1 (5 cm)	0.00167	cm/s	R2 (10 cm)	0.00500	cm/s	Kfs =	4.05E-04	cm/s	Kfs =	4.05E-06	m/s	ϕm =	8.68E-03	cm²/s
Essai 2																																				
Paramètres Essai 2																																				
Profondeur Trou (cm)	16																																			
Profondeur Fouille (cm)	24																																			
Diamètre Trou (cm)	6																																			
Réservoir utilisé	Combiné																																			
Constante X du réservoir	35.220																																			
Constante Y du réservoir	2.150																																			
Résultats Essai 2																																				
R1 (5 cm)	0.00167	cm/s																																		
R2 (10 cm)	0.00500	cm/s																																		
Kfs =	4.05E-04	cm/s																																		
Kfs =	4.05E-06	m/s																																		
ϕm =	8.68E-03	cm²/s																																		



Avec,

R1, R2 : Taux d'écoulement en régime permanent correspondant respectivement à la charge hydraulique H1 de 5 cm et à la charge hydraulique H2 de 10 cm

➤ Caractérisation pédologique de la formation

Numéro Projet	GAIA 38
Opérateurs	MS + AG
Date	15/11/2016
Condition Météo	Couvert

Nombre d'essai	3
Epaisseur Sol décaissé	30 à 40 cm
Profondeur Trou de tarière	13 à 23 cm
Occupation du sol	Forêt
Position du site de mesure	En contrehaut de l'affleurement situé en bordure de route, à l'intérieur d'un bois clairsemé

Numéro Profil	Profondeur reconnue		Texture				Couleur matrice (Charte Munsell)
	Haut	Bas	A%	L%	S%	Geppa	
GAIA_38-1	40	60	< 30	> 55	< 15	LAS	10YR - 6/8

Compacité	Structure	Humidité	MO	Eléments grossiers			
				%T	Nature	Taille	Forme
Compact	Non déterminé	Frais	Absence	25	Quartz	Graviers	Irréguliers anguleux

Commentaires

Présence de nombreux galets de quartz anguleux (d'environ 5 cm) sur les premiers centimètres (fouille). Matrice contenant de nombreux graviers de taille millimétrique

Photographies



➤ Mesures d'infiltration

Numéro :	Gaia 38
Date :	15/11/2016
Longitude X :	43.60034
Latitude Y :	2.33002
Météo :	Nuageux

Nombre Essai :	2
Kfs moyen (m/s)	1.31E-06
ϕm moyen (cm ² /s)	2.59E-03
Kfs min (m/s)	4.11E-07
Kfs max (m/s)	2.22E-06



Avec :

Kfs : Conductivité hydraulique de champs à saturation

ϕm : Potentiel hydrique

<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 1</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 1		Paramètres Essai 1		Profondeur Trou (cm)	13	Profondeur Fouille (cm)	40	Diamètre Trou (cm)	6	Réservoir utilisé	Combiné	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 1</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.00042</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00083</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>4.11E-05</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>4.11E-07</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>ϕm =</td> <td>1.33E-03</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>		Résultats Essai 1			R1 (5 cm)	0.00042	cm/s	R2 (10 cm)	0.00083	cm/s	Kfs =	4.11E-05	cm/s	Kfs =	4.11E-07	m/s	ϕm =	1.33E-03	cm²/s
Essai 1																																					
Paramètres Essai 1																																					
Profondeur Trou (cm)	13																																				
Profondeur Fouille (cm)	40																																				
Diamètre Trou (cm)	6																																				
Réservoir utilisé	Combiné																																				
Constante X du réservoir	35.220																																				
Constante Y du réservoir	2.150																																				
Résultats Essai 1																																					
R1 (5 cm)	0.00042	cm/s																																			
R2 (10 cm)	0.00083	cm/s																																			
Kfs =	4.11E-05	cm/s																																			
Kfs =	4.11E-07	m/s																																			
ϕm =	1.33E-03	cm²/s																																			
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 2</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Combiné</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table>		Essai 2		Paramètres Essai 2		Profondeur Trou (cm)	16	Profondeur Fouille (cm)	24	Diamètre Trou (cm)	6	Réservoir utilisé	Combiné	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 2</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.00042</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00208</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>2.22E-04</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>2.22E-06</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>ϕm =</td> <td>3.85E-03</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>		Résultats Essai 2			R1 (5 cm)	0.00042	cm/s	R2 (10 cm)	0.00208	cm/s	Kfs =	2.22E-04	cm/s	Kfs =	2.22E-06	m/s	ϕm =	3.85E-03	cm²/s
Essai 2																																					
Paramètres Essai 2																																					
Profondeur Trou (cm)	16																																				
Profondeur Fouille (cm)	24																																				
Diamètre Trou (cm)	6																																				
Réservoir utilisé	Combiné																																				
Constante X du réservoir	35.220																																				
Constante Y du réservoir	2.150																																				
Résultats Essai 2																																					
R1 (5 cm)	0.00042	cm/s																																			
R2 (10 cm)	0.00208	cm/s																																			
Kfs =	2.22E-04	cm/s																																			
Kfs =	2.22E-06	m/s																																			
ϕm =	3.85E-03	cm²/s																																			



Avec,

R1, R2 : Taux d'écoulement en régime permanent correspondant respectivement à la charge hydraulique H1 de 5 cm et à la charge hydraulique H2 de 10 cm

➤ Caractérisation pédologique de la formation

Numéro Projet	GAIA 41
Opérateurs	MS + AG
Date	15/11/2016
Condition Météo	Couvert

Nombre d'essai	3
Epaisseur Sol décaissé	17 à 20 cm
Profondeur Trou de tarière	37 à 40 cm
Occupation du sol	Prairie
Position du site de mesure	En bordure de route, à la lisière d'une forêt

Numéro Profil	Profondeur reconnue		Texture				Couleur matrice (Charte Munsell)
	Haut	Bas	A%	L%	S%	Geppa	
GAIA_41-1	20	57	< 30	< 20	> 50	AS	10YR - 6/6

Compacité	Structure	Humidité	MO	Eléments grossiers			
				%T	Nature	Taille	Forme
Compact	Non déterminé	Humide	Absence	10	Quartz	Graviers	Irréguliers émoussés

Commentaires

Matrice argilo-sableuse présentant quelques graviers de taille millimétrique associés plus rarement à des éléments de plus grande taille (environ 5 cm), anguleux

Photographies



➤ Mesures d'infiltration

Numéro :	Gaia 41
Date :	15/11/2016
Longitude X :	43.53292
Latitude Y :	2.36433
Météo :	Nuageux



Nombre Essai :	2
Kfs moyen (m/s)	5.14E-07
φm moyen (cm ² /s)	7.17E-04
Kfs min (m/s)	2.94E-07
Kfs max (m/s)	7.35E-07

Avec :

Kfs : Conductivité hydraulique de champs à saturation

φm : Potentiel hydrique

<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 1</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>37</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Interne seul</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 1</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.00000</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00833</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>7.35E-05</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>7.35E-07</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>φm =</td> <td>1.02E-03</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>	Essai 1		Paramètres Essai 1		Profondeur Trou (cm)	37	Profondeur Fouille (cm)	20	Diamètre Trou (cm)	6	Réservoir utilisé	Interne seul	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	Résultats Essai 1			R1 (5 cm)	0.00000	cm/s	R2 (10 cm)	0.00833	cm/s	Kfs =	7.35E-05	cm/s	Kfs =	7.35E-07	m/s	φm =	1.02E-03	cm²/s	
Essai 1																																			
Paramètres Essai 1																																			
Profondeur Trou (cm)	37																																		
Profondeur Fouille (cm)	20																																		
Diamètre Trou (cm)	6																																		
Réservoir utilisé	Interne seul																																		
Constante X du réservoir	35.220																																		
Constante Y du réservoir	2.150																																		
Résultats Essai 1																																			
R1 (5 cm)	0.00000	cm/s																																	
R2 (10 cm)	0.00833	cm/s																																	
Kfs =	7.35E-05	cm/s																																	
Kfs =	7.35E-07	m/s																																	
φm =	1.02E-03	cm²/s																																	
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Essai 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Paramètres Essai 2</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Trou (cm)</td> <td>37</td> </tr> <tr> <td>Profondeur Fouille (cm)</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>Diamètre Trou (cm)</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Réservoir utilisé</td> <td>Interne seul</td> </tr> <tr> <td>Constante X du réservoir</td> <td>35.220</td> </tr> <tr> <td>Constante Y du réservoir</td> <td>2.150</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td colspan="3">Résultats Essai 2</td> </tr> <tr> <td>R1 (5 cm)</td> <td>0.00000</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>R2 (10 cm)</td> <td>0.00333</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>2.94E-05</td> <td>cm/s</td> </tr> <tr> <td>Kfs =</td> <td>2.94E-07</td> <td>m/s</td> </tr> <tr> <td>φm =</td> <td>4.10E-04</td> <td>cm²/s</td> </tr> </table>	Essai 2		Paramètres Essai 2		Profondeur Trou (cm)	37	Profondeur Fouille (cm)	17	Diamètre Trou (cm)	6	Réservoir utilisé	Interne seul	Constante X du réservoir	35.220	Constante Y du réservoir	2.150	Résultats Essai 2			R1 (5 cm)	0.00000	cm/s	R2 (10 cm)	0.00333	cm/s	Kfs =	2.94E-05	cm/s	Kfs =	2.94E-07	m/s	φm =	4.10E-04	cm²/s	
Essai 2																																			
Paramètres Essai 2																																			
Profondeur Trou (cm)	37																																		
Profondeur Fouille (cm)	17																																		
Diamètre Trou (cm)	6																																		
Réservoir utilisé	Interne seul																																		
Constante X du réservoir	35.220																																		
Constante Y du réservoir	2.150																																		
Résultats Essai 2																																			
R1 (5 cm)	0.00000	cm/s																																	
R2 (10 cm)	0.00333	cm/s																																	
Kfs =	2.94E-05	cm/s																																	
Kfs =	2.94E-07	m/s																																	
φm =	4.10E-04	cm²/s																																	

Avec,

R1, R2 : Taux d'écoulement en régime permanent correspondant respectivement à la charge hydraulique H1 de 5 cm et à la charge hydraulique H2 de 10 cm



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

Direction régionale Occitanie
3, rue Marie Curie
31520 - Ramonville Saint Agne - France
Tél. : 05 62 24 14 50