

Document public

Projet S.A.L.I.N – Salinisation des Aquifères Littoraux de la Narbonnaise

Rapport intermédiaire - Année 1

BRGM/RP-69860-FR

Avril 2020



Document public

Projet S.A.L.I.N – Salinisation des Aquifères Littoraux de la Narbonnaise

Rapport intermédiaire - Année 1

BRGM/RP-69860-FR

Avril 2020

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM – AP18MPL011

P. Fleury, F. Colin, A. Crabit
Avec la collaboration de
F. Maldan, S. Ignace, J. Pinta

Vérificateur :

Nom : B. Dewandel

Fonction : Hydrogéologue

Date : 06/05/2020



Approbateur :

Nom : Ariane Blum

Fonction Directrice Régionale
Occitanie

Date : 11/05/2020



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

Contact : qualite@brgm.fr



Mots-clés : Bassin Narbonne-Sigean, Aquifère quaternaire, Réseau piézométrique, Salinisation.

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

Fleury P., Colin F., Crabit A. avec la collaboration de **Maldan F., Ignace S., Pinta J.** (2020) - Projet S.A.L.I.N - Salinisation des Aquifères Littoraux de la Narbonnaise. Rapport intermédiaire année 1. BRGM/RP-69860-FR, 60 p., 40 ill., 1 ann.

Synthèse

Le projet S.A.L.I.N (Salinisation des Aquifères Littoraux de la Narbonnaise) a débuté en 2019 pour une durée de 3 ans. Il a pour ambition d'améliorer les connaissances relatives aux phénomènes de salinisation sur la zone des basses plaines de l'Aude pour, à terme, permettre de proposer des pistes d'évolution de la gestion de la ressource en eau en lien avec les pratiques agricoles, les prélèvements AEP et la gestion hydraulique des terrains naturels ou semi naturels.

Il est conduit par un partenariat entre le Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée, l'agglomération « Le Grand Narbonne », le BRGM, Montpellier SupAgro, la Région Occitanie et l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse. L'ensemble de ces partenaires cofinancent le projet.

Ce rapport présente l'état d'avancement du projet à l'issue de la première année d'activité.

La zone d'étude correspond au bassin sédimentaire de Narbonne-Sigean. Dans un premier temps, une synthèse géologique a été réalisée. Elle retrace la mise en place du bassin de Narbonne-Sigean, hérité de la phase distensive Oligo-Miocène, liée à l'ouverture du Golfe du Lion. Le bassin a été comblé par les formations synrift de l'Oligocène et du Miocène. Il n'existe pas de forage profond recoupant les formations géologiques du bassin, qui permettrait d'en définir la profondeur. Les données sismiques montrent toutefois que le cœur du bassin présente plus de 1 000 m de remplissage. Les formations récentes du Plio-Quaternaire se sont ensuite déposées en plaquage sur le Miocène. Le toit du Miocène est généralement constitué de niveaux marneux (« marnes bleues de l'Hétangien »), alors que le Plio-Quaternaire correspond à des formations alluviales, constituées d'un mélange ou d'une alternance de sable, de graviers et d'argile. Ces niveaux peuvent atteindre une vingtaine de mètres d'épaisseur, et constituent, de ce fait, un aquifère multicouche.

Un état des lieux de ce système a ensuite été réalisé. Il doit permettre d'élaborer les travaux à mettre en place pour la suite du projet et de choisir les sites adaptés à la problématique de salinisation. Il concerne la qualité des sols et de la nappe quaternaire. Pour le volet sol, SupAgro Montpellier a quantifié l'état de salinité au cours de 2 campagnes spatialisées comprenant près de 700 échantillons sur près de 200 sites. Des cartes spatialisées de la salinité à différentes profondeurs ont été produites. Elles serviront de base à la définition de sites spécifiques à étudier plus en détail, notamment au cours d'un suivi temporel associé aux pratiques agricoles (suivi de phase de submersion par exemple).

Concernant l'état de la nappe Quaternaire, le BRGM a recensé une centaine d'ouvrages sur cet aquifère. Il s'agit pour la plupart de puits peu profonds. Lors d'une campagne estivale (été 2019), les niveaux d'eau et la conductivité électrique ont été mesurés et les ouvrages ont été nivelés, ce qui a permis, entre autre, d'établir une première carte piézométrique. L'interprétation de cette dernière permet de définir les grands axes d'écoulements (alimentation du bassin par les massifs karstiques bordiers, drainage par l'Aude, alimentation de la nappe par le canal de la Robine). Une carte de conductivité électrique a également été établie, elle met notamment en évidence les secteurs où l'eau est de moins bonne qualité. Le recoupement de ces deux cartes montre que le Sud de Narbonne est caractérisé par des niveaux piézométriques bas et des niveaux de conductivité électrique forts, en lien probable avec une intrusion par une eau de mer ancienne ou récente. La campagne géochimique à venir permettra de lever ces interrogations.

L'interprétation des différentes cartes (salinité des sols, piézométrie et conductivité électrique) a permis de définir des secteurs cibles pour améliorer la connaissance du fonctionnement du système à l'échelle du bassin. La mise en place du réseau piézométrique / conductivité électrique est ainsi envisagée selon 2 transecs W-E et N-S avec une douzaine de points suivis. Ce réseau piézométrique devrait être déployé au cours de l'été 2020. En parallèle, une parcelle expérimentale située au milieu du transec W-E sera équipée à l'aide de piézomètres en flûte de pan et fera l'objet d'un suivi spatio-temporel détaillé de la qualité des sols.

Sommaire

1. Introduction.....	9
1.1. PROBLÉMATIQUE.....	9
1.2. PRÉSENTATION DU PROJET SALIN	9
1.3. OBJECTIFS DU PROJET.....	10
1.4. PROGRAMME D'ACTION.....	10
2. Synthèse géologique	11
2.1. GÉOLOGIE RÉGIONALE (D'APRÈS COUEFFE ET AL, 2013).....	11
2.2. CARACTÉRISTIQUES HYDROGÉOLOGIQUES DU BASSIN DE NARBONNE-SIGEAN.....	15
3. Inventaire des actions menées pour la caractérisation des sols	19
3.1. CAMPAGNES SPATIALISÉES SUR L'ENSEMBLE DE LA ZONE D'ÉTUDE	19
3.2. CAMPAGNES LOCALISÉES.....	21
3.2.1. Analyse comparée de trois parcelles	21
3.2.2. Analyse de deux transects.....	21
4. Premiers résultats des analyses de sol.....	23
4.1. RÉFÉRENTIELS D'INTERPRÉTATION	23
4.2. CAMPAGNES SPATIALISÉES SUR L'ENSEMBLE DE LA ZONE D'ÉTUDE	24
4.2.1. Salinité par sous-zones	24
4.2.2. Cartes de salinité.....	26
4.2.3. Comparaison entre les deux campagnes spatialisées	28
4.3. CAMPAGNES LOCALISÉES.....	28
4.3.1. Analyse comparée de trois parcelles	28
4.3.2. Analyse de deux transects sur le Domaine de la Négly	30
5. État des lieux hydrogéologique	33
5.1. RECENSEMENT DES OUVRAGES.....	33
5.2. CARTE PIÉZOMÉTRIQUE ESTIVALE PROVISOIRE	39
5.3. CARTE CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE ESTIVALE PROVISOIRE	41
6. Mise en place du réseau de suivi piézométrique.....	45
6.1. CARACTÉRISTIQUES DU RÉSEAU PIÉZOMÉTRIQUE	45
6.2. PRÉSENTATION DU TRANSEC W-E.....	46
6.3. PRÉSENTATION DU TRANSEC N-S.....	47

6.4. ÉLÉMENTS GÉOLOGIQUES À PROXIMITÉ DES 8 SITES.....	47
6.4.1. Site 1 - Fabre.....	47
6.4.2. Site 2 - Stade de Narbonne	47
6.4.3. Site 3 - Parcelle expérimentale secteur du Cercle	47
6.4.4. Site 4 - Ricardelle	49
6.4.5. Site 5 - Piézomètre massif de la Clape 10613X0036/INRA.....	49
6.4.6. Site 6 - Captage AEP Coursan10396X0075/AEP-F2.....	49
6.4.7. Site 7 - Piézomètre S71.....	50
6.4.8. Site 8 - Secteur à définir au sud de Coursan	51
6.5. MISE EN PLACE	51
7. Conclusion et perspectives.....	53
8. Bibliographie.....	55

Liste des figures

Illustration 1 - Limite de la zone d'étude du Projet SALIN (en rouge).	9
Illustration 2 - Localisation en jaune du fossé de Narbonne-Sigean (Na) et du bassin de l'Hérault (BH) dans le cadre de la marge du Golfe de Lion (modifié d'après Séranne, 1995).	12
Illustration 3 - Localisation de la ligne sismique 87LS01 et du forage pétrolier 10163X0001/C.	13
Illustration 4 - Interprétation géologique de la ligne sismique 87LS01 selon Gorini <i>et al.</i> (1991). Interprétation de l'image sismique « stackée » pour laquelle le pendage des réflecteurs n'a pas été corrigée des vitesses de migration.....	13
Illustration 5 - Annotation sur l'interprétation géologique de la ligne 87LS01 selon Gorini <i>et al.</i> (1991).	14
Illustration 6 - Coupe géologique depuis les Corbières orientales jusqu'au massif de la Clape (d'après Gorini <i>et al.</i> , 1991).	14
Illustration 7 - Log géologique du sondage profond 10613X0001/C1 localisé sur le massif de la Clape.	14
Illustration 8 - Carte hypothétique du Narbonnais au début de l'âge du Fer, proposée à partir des interprétations de Max Guy (1973 et 1990) et Pierre Verdeil (1990). Comparaison avec le littoral actuel (Claire-Anne de Chazelles, « Montlaurès et son territoire à l'âge du Fer », ADLFI. Archéologie de la France - Informations [En ligne], Languedoc-Roussillon, mis en ligne le 01 mars 2004 URL : http://adlfi.revues.org/11806)	15
Illustration 9 - Épaisseur du Quaternaire sur les ouvrages de la BSS (en rouge).....	17
Illustration 10 - Localisation des sondages des deux campagnes 2018-2019 et photos de drains en poterie qui peuvent être enterrés dans les parcelles.	19
Illustration 11 - Localisation des sondages communs aux deux campagnes spatialisées 2018-2019.	20
Illustration 12 - Table d'interprétation des niveaux de salinité des sols, (NDR : 1 dS/m = 1 mS/cm) (d'après FAO, 1988).....	23
Illustration 13 - Sous-zonage et nombre d'échantillons collectés au cours des campagnes spatialisées.	24
Illustration 14 - Box plot des conductivités électriques par zone pour la campagne de Septembre 2018.	25
Illustration 15 - Box plot des conductivités électriques par zone pour la campagne de Mai-Juin 2019.	26
Illustration 16 - Cartes des conductivités électriques pour les différentes profondeurs d'échantillonnage et pour les campagnes de Septembre 2018 (à gauche) et de Mai-Juin 2019 (à droite).	27

Illustration 17 - Comparaison des mesures de conductivités électriques des sols (EC) mesurées pour les 2 campagnes.	28
Illustration 18 - Plan d'échantillonnage intra-parcellaire et conductivité électrique pour les 3 profondeurs considérées.	29
Illustration 19 - Résultats des analyses chimiques de sol pour les 3 parcelles.	30
Illustration 20 - Localisation des transects et plan d'échantillonnage associé (avec en pointillés bleus les limites du domaine colluvionné et en vert les limites de l'étang).	31
Illustration 21 - Conductivité électrique, concentrations en calcium, sodium, nitrate et relevés de conductivité électromagnétique.	32
Illustration 22 - Relevés de végétations.	32
Illustration 23 - Localisation des ouvrages déclarés en BSS sur la zone d'étude.	33
Illustration 24 - Localisation des ouvrages quaternaires déclarés en BSS sur la zone d'étude.	34
Illustration 25 - Localisation des points du Quaternaire déclarés en BSS et retrouvés sur le terrain.	35
Illustration 26 - Campagne de terrain, été 2019.	36
Illustration 27 - Localisation de l'ensemble des points identifiés.	37
Illustration 28 - Ensemble des ouvrages identifiés pour l'étude comprenant une vingtaine de points déjà déclarés en BSS.	38
Illustration 29 - Modèle de fiche terrain.	39
Illustration 30 - Carte piézométrique provisoire - été 2019.	40
Illustration 31 - Analyse de la carte piézométrique.	41
Illustration 32 - Conductivité électrique des eaux souterraines des ouvrages identifiés présenté sur la carte géologique.	42
Illustration 33 - Analyse des données de conductivité électrique.	43
Illustration 34 - Proposition de suivi piézométrique / conductivité.	46
Illustration 35 - Parcelles secteur du Cercle.	48
Illustration 36 - Log géologique du piézomètre 10612X0006.	48
Illustration 37 - Chronique piézométrique du piézomètre 10613X0036/INRA.	49
Illustration 38 - Captage AEP Coursan (10396X0075/AEP-F2).	50
Illustration 39 - Log géologique des ouvrages 10396X0161, 10396X0049 et 10396X0006.	50
Illustration 40 - Localisation des ouvrages à proximité du piézomètre S71, avec l'épaisseur du Quaternaire.	51

Liste des annexes

Annexe 1 - Plaquette « présentation du projet SALIN ».	57
---	----

1. Introduction

1.1. PROBLÉMATIQUE

La salinisation des eaux et des sols en zone côtière constitue une menace pour la plupart des cultures et pour la forme de biodiversité actuelle des zones naturelles. Dans la zone de la basse-plaine de l'Aude, la salinisation est un phénomène ancien, géré par des pratiques de lutte en favorisant la submersion des terres par de l'eau douce et assurant le drainage des eaux de lixiviation. Plusieurs acteurs du territoire avancent que l'intensité de la salinisation serait en augmentation sur les dernières années.

1.2. PRÉSENTATION DU PROJET SALIN

Lancé en 2019 pour une durée de 3 ans, le projet SALIN a pour ambition d'améliorer les connaissances relatives aux phénomènes de salinisation sur la zone des basses plaines pour, à terme, permettre de proposer des pistes d'évolution de la gestion de la ressource en eau en lien avec les pratiques agricoles, les prélèvements AEP et la gestion hydraulique des terrains naturels ou semi naturels. Le périmètre de la zone d'étude (Illustration 1) couvre un total d'environ 280 km² dont le massif de la Clape (environ 90 km²), des étangs, une frange littorale et des zones urbanisées (communes de Fleury d'Aude, Salles d'Aude, Coursan, Vinassan, Armissan, Narbonne et Gruissan).



Illustration 1 - Limite de la zone d'étude du Projet SALIN (en rouge).

Ce projet est conduit par le BRGM et SupAgro Montpellier et financé par un partenariat entre le Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée, l'agglomération « Le Grand Narbonne », le BRGM, Montpellier SupAgro, la Région Occitanie et l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse.

1.3. OBJECTIFS DU PROJET

Les objectifs du projet SALIN sont :

- 1- réaliser un état des lieux sur l'état qualitatif des nappes quaternaires et des sols ;
- 2- caractériser le fonctionnement du système, notamment les relations sol/nappe, et définir les différents termes du bilan hydrologique, ainsi que l'origine de la salinité ;
- 3- évaluer les impacts (a) du changement climatique sur l'état quantitatif et qualitatif du système (en particulier, évaluation de l'évolution de la salinité) et (b) des pratiques actuelles et d'un passé récent de la gestion des espaces agricoles et non agricoles sur la salinité ;
- 4- raisonner les adaptations, notamment vers une agriculture durable, à travers plusieurs scénarios d'aménagement des pratiques agricoles et non agricoles.

1.4. PROGRAMME D'ACTION

Le projet est décliné en un programme d'action dont certaines sont sous la responsabilité du BRGM, d'autres de Montpellier SupAgro.

SupAgro Montpellier et le BRGM se sont ainsi attachés à réaliser la phase 1 « État des lieux et caractérisation de la salinité des sols et des eaux de surface » au cours de cette première année.

Pour se faire, concernant la partie aquifère, le BRGM a réalisé les tâches suivantes :

- synthèse géologique de la zone étudiée ;
- recherche d'ouvrages dans le Quaternaire dans les bases de données puis sur le terrain. Au final, une centaine de points ont été identifiés sur le terrain ;
- réalisation d'une campagne piézométrique et de conductivité électrique des eaux souterraines au cours de l'été 2019 (incluant le nivellement des points) ;
- élaboration d'une 1^{ère} carte piézométrique estivale « succincte » (2 autres cartes hautes eaux / basses eaux seront réalisées, les plus complètes possible, une fois le réseau piézométrique en place) ;
- élaboration d'une carte de la conductivité électrique des eaux souterraines ;
- définition du réseau piézométrique à mettre en place (incluant le choix d'une parcelle expérimentale) et achat du matériel de mesure pour une mise en place prévue à l'été 2020.

Concernant la caractérisation des sols, SupAgro Montpellier a élaboré deux stratégies d'observation :

- quantifier l'état de salinité et identifier les causes de salinisation par des campagnes de mesure spatialisées sur l'ensemble de la zone d'étude ;
- et quantifier les processus et les interactions « climat-homme-milieu » influant sur la salinisation par des campagnes plus localisées sur des parcelles et/ou des transects suivant la topographie particulière (toposéquence).

L'inventaire des actions entreprises est présenté avant les premiers résultats obtenus.

Le travail réalisé au cours de cette première année est présenté dans ce rapport, après une partie « Synthèse géologique » permettant de poser le cadre géologique de notre secteur d'étude, à savoir la structuration du bassin de Narbonne-Sigean.

2. Synthèse géologique

2.1. GÉOLOGIE RÉGIONALE (D'APRÈS COUEFFE ET AL, 2013)

La zone d'étude est localisée dans un domaine où sont superposés des terrains de géométrie relativement simple et des terrains fortement structurés. Cette disposition particulière s'explique par une histoire géologique polyphasée marquée par deux évènements géodynamiques d'ampleur régionale relativement tardifs dans l'histoire géologique de la zone d'étude :

- la phase distensive Oligo-Miocène liée à l'ouverture du Golfe du Lion et s'inscrivant dans l'épisode du rifting ouest-européen. Cette phase distensive est à l'origine de structures géologiques en extension dont le bassin (ou fossé) de Narbonne-Sigean témoigne ;
- l'orogénèse pyrénéenne (rattachée plus globalement aux évènements pyrénéo-provençaux dans le sud-est de la France) liée à la collision entre la plaque ibérique et la plaque eurasiennne. Durant tout l'intervalle compris entre le Crétacé supérieur et l'Éocène, le régime compressif (et transgressif) est à l'origine de la structuration complexe des terrains en plis, chevauchements et nappes. Cette complexité structurale est particulièrement bien illustrée par la Nappe des Corbières dont fait partie le massif de Fontfroide-Montredon.

Antérieurement à ces deux évènements fortement structurant, l'histoire géologique de la zone d'étude est celle de la bordure occidentale de l'océan téthysien, dont témoignent les terrains mésozoïques à dominante carbonatée qui arment les reliefs du massif de Fontfroide-Montredon et le massif de la Clape. En base de ces terrains mésozoïques, les termes supérieurs argilo-évaporitiques de la série triasique sont localement reconnus dans ces massifs mésozoïques, ceinturant souvent les dépôts calcaréo-dolomitiques jurassiques charriés. Cette position structurale particulière du Trias argilo-évaporitique, en étroite association avec les chevauchements, souligne le rôle structural déterminant de ces faciès plastiques : principal niveau de décollement lors des épisodes compressifs pyrénéens et principal niveau d'enracinement des failles normales lors de l'extension oligo-aquitaine (Gorini *et al.*, 1991).

Le bassin de Narbonne-Sigean est un des bassins formés lors du rifting oligocène qui a affecté l'Europe de l'Ouest depuis la Mer du Nord jusqu'à la Méditerranée occidentale. En France, cet évènement géodynamique est à l'origine de la création de bassins étroits très subsidents qui ont conduit les premiers auteurs à les définir comme des fossés (fossé rhénan, fossés de Bresse ou de Valence). Ces fossés sont comblés par un épais remplissage sédimentaire silico-clastique d'origine principalement continentale, dont la géométrie est typique des structures extensives en graben ou en semi-graben.

Du point de vue structural, ces bassins synrift (synchrones du rifting oligocène) sont pour la plupart associés à de grands accidents régionaux de direction NNE, hérités de structures extensives post-hercyniennes. Dans le sud-est de la France, les bassins liés au rifting ouest-européen (fossé d'Alès, fossé de Camargue et fossé du Languedoc entre autres) sont ainsi bordés à l'ouest par des failles normales de direction cévenole (failles des Cévennes et de Nîmes).

Le fossé de Narbonne-Sigean répond à cette logique, avec une orientation cévenole NNE-SSW. Situé au front des Corbières, il constitue le témoin synrift le plus interne de la marge occidentale du Golfe du Lion (Séranne, 1995 ; Séranne, 1999 ; Guennoc *et al.*, 2000), c'est-à-dire le plus proche de la bordure des Cévennes (Illustration 2) s'étend depuis l'étang de Sigean au sud jusqu'au nord de Narbonne, en position basse coincée entre les massifs de Fontfroide-Montredon à l'ouest et de la Clape à l'est, suivant un sillon large de 10 à 15 km et long d'au moins 25 km.

Le remplissage sédimentaire du fossé de Narbonne-Sigean est méconnu. Aucun sondage n'a été réalisé au cœur du bassin où les dépôts synrift sont recouverts par des sédiments miocènes et plio-quatérnaires rattachés à la série postrift qui scellent les structures extensives synrift. Seules les bordures structurées du bassin fournissent des affleurements révélant la nature des dépôts (majoritairement silicoclastiques avec des faciès argilo-conglomératiques, localement carbonatés avec des faciès marno-calcaires, plus rarement évaporitiques avec du gypse) et les environnements de dépôt (continentaux de type fluvial et lacustre à lagunaire).

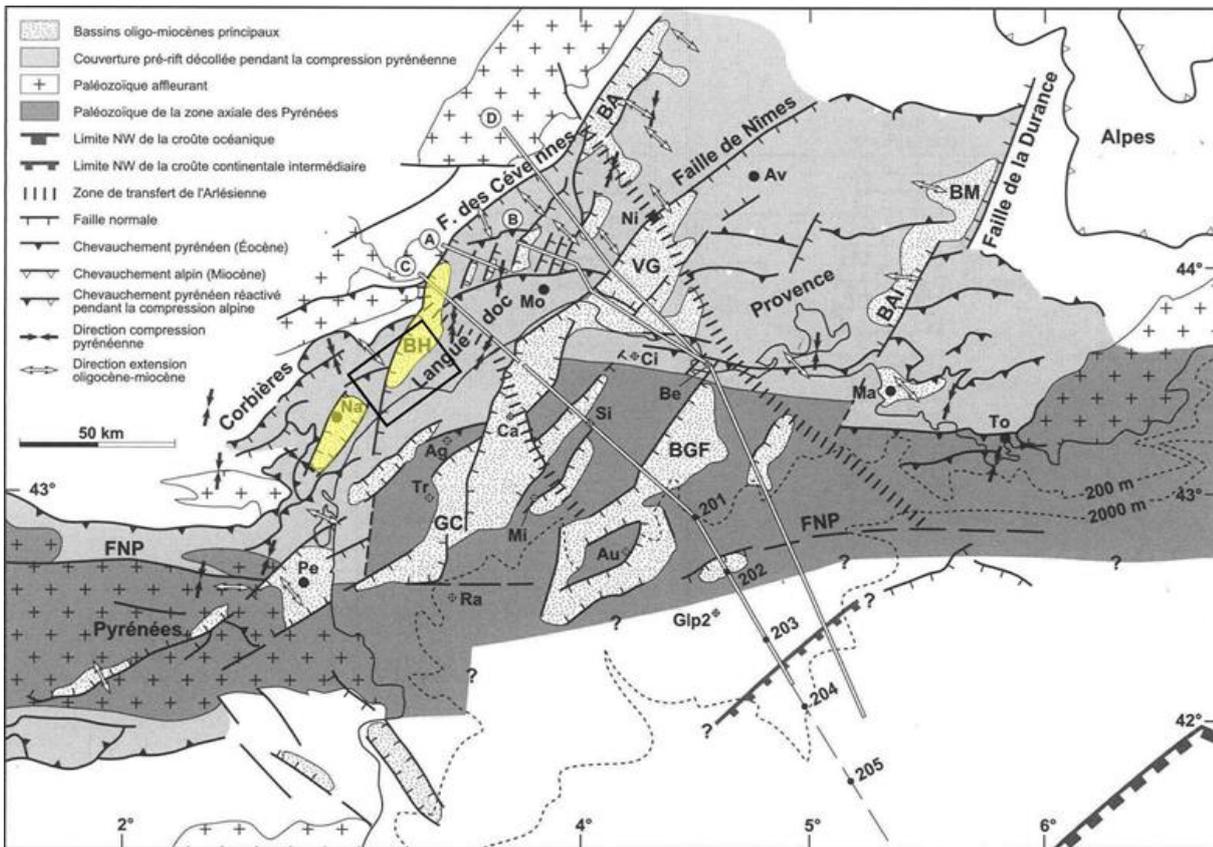


Illustration 2 - Localisation en jaune du fossé de Narbonne-Sigean (Na) et du bassin de l'Hérault (BH) dans le cadre de la marge du Golfe de Lion (modifié d'après Séranne, 1995).

Concernant sa géométrie et sa structure, la seule étude disponible (Gorini, 1989 ; Gorini *et al.*, 1991) décrit le fossé de Narbonne-Sigean comme un semi-graben ouvert vers l'ouest. Le remplissage du bassin apparaît asymétrique, avec des formations oligocènes plus épaisses au nord-ouest du bassin qu'au sud-est en direction du massif de La Clape. Le dépointe serait situé approximativement au droit de Coursan, avec des épaisseurs maximales de sédiments dépassant 1 500 mètres. La ligne sismique 87LS01 (voir localisation Illustration 3), amène ces auteurs à interpréter la structure du bassin comme la conséquence d'un vaste roll-over (failles qui accomode l'extension) en bordure du massif de la Clape. Les failles normales bordant à l'ouest le fossé de Narbonne-Sigean s'enracinent toutes en profondeur au sein des argiles évaporitiques du Trias, niveau de décollement principal des structures pyrénéennes.

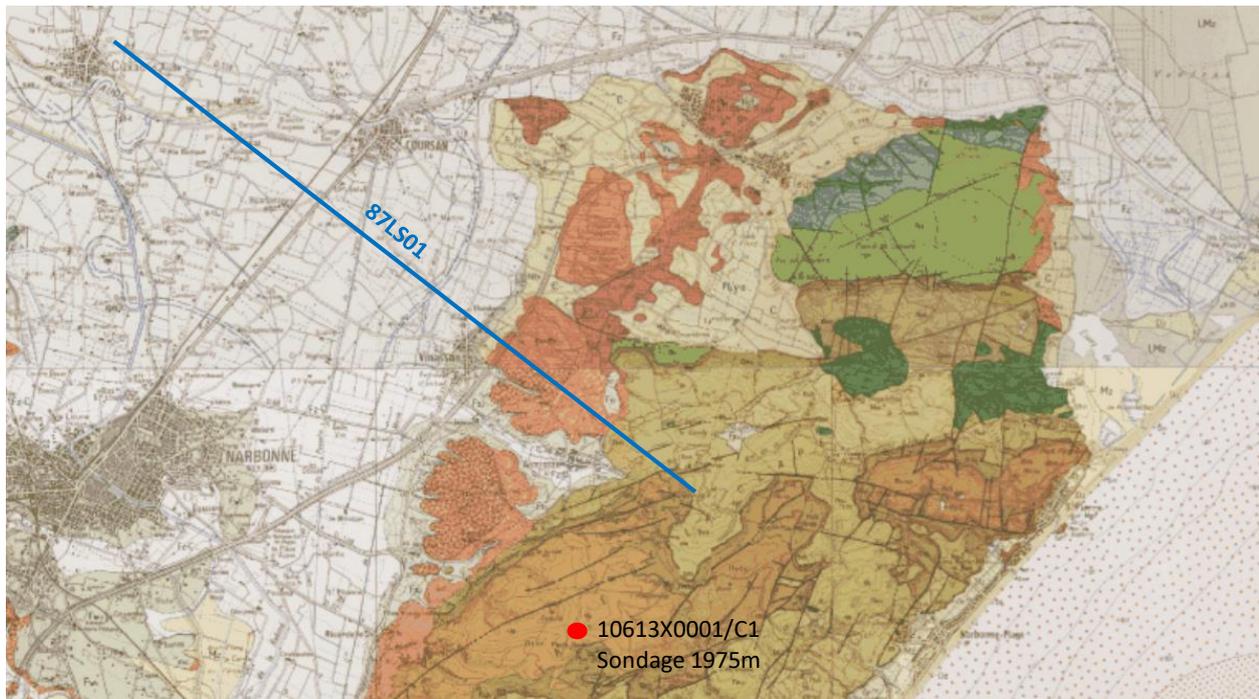


Illustration 3 - Localisation de la ligne sismique 87LS01 et du forage pétrolier 10613X0001/C.

La ligne sismique (Illustrations 4 et 5) a été interprétée par Giorini et al. (1991).

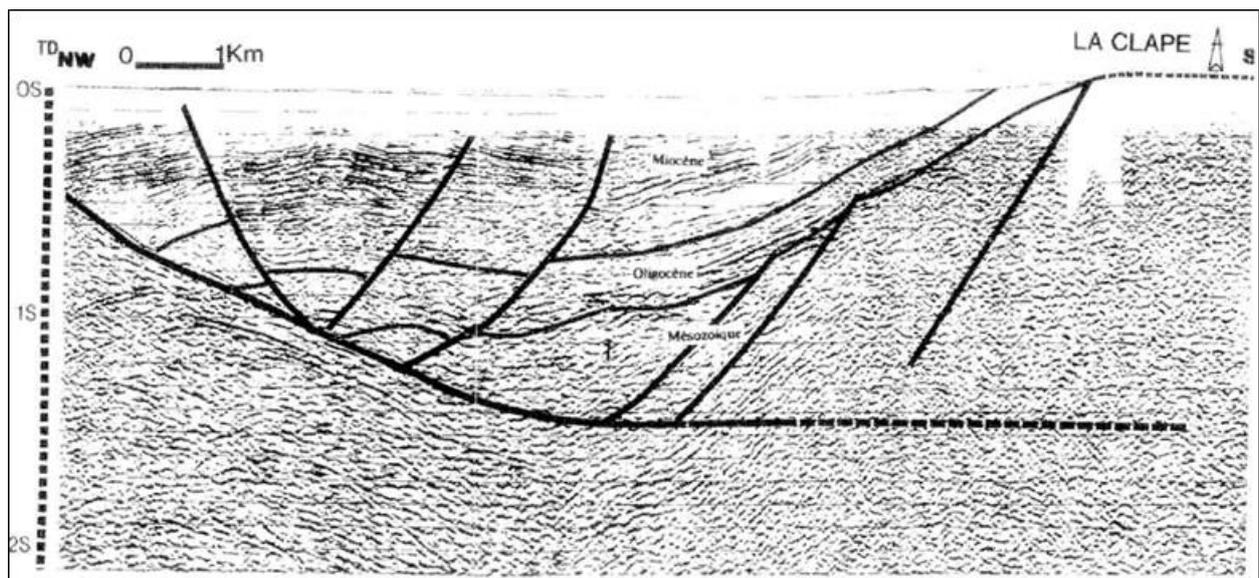


Illustration 4 - Interprétation géologique de la ligne sismique 87LS01 selon Gorini et al. (1991).
Interprétation de l'image sismique « stackée » pour laquelle le pendage des réflecteurs n'a pas été corrigée des vitesses de migration.

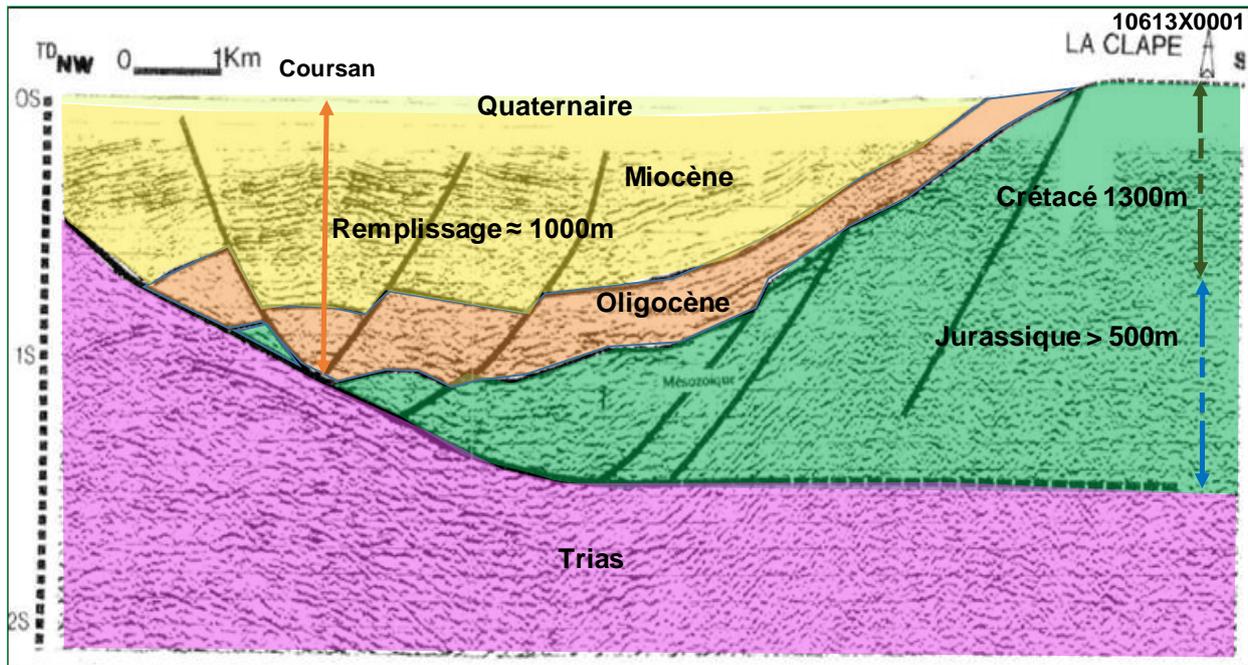


Illustration 5 - Annotation sur l'interprétation géologique de la ligne 87LS01 selon Gorini et al. (1991).

Une coupe géologique a ainsi été établie par ce dernier (Illustration 6), le remplissage Oligo-miocène atteindra plus de 1 km au cœur du bassin de Narbonne-Sigean.

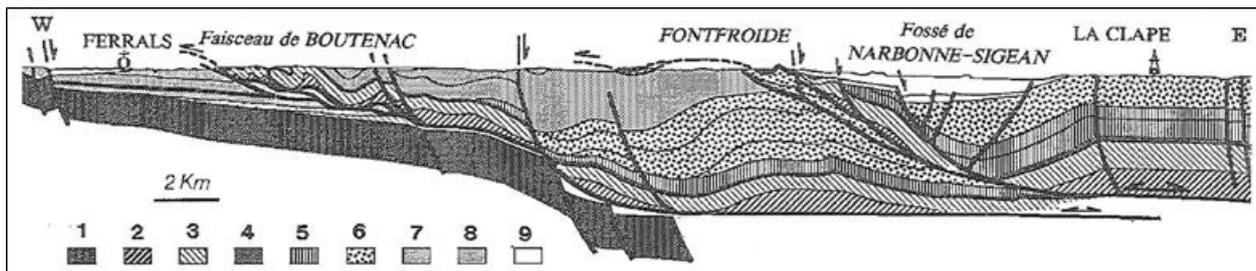


Illustration 6 - Coupe géologique depuis les Corbières orientales jusqu'au massif de la Clape (d'après Gorini et al., 1991).

Enfin le sondage pétrolier profond de 1 975 m (code BSS : 10613X0001/C1, voir localisation Illustration 3) sur le massif de la Clape, relate la succession des formations carbonatées suivantes avec à la base le Dogger (1 819 à 1 975 m), surmonté du Jurassique (1 287 à 1 819 m) et enfin jusqu'à la surface les formations du Crétacé inférieur (voir log géologique Illustration 7).

Profondeur	Lithologie	Stratigraphie
De 0 à 100 m	CALC CRISTALLIN LARGEMENT FISSURE AVEC REMPLISSAGE D'ARGILE ROUGE	CRETACE-INF
De 100 à 547 m	CALC GRIS OU BEIGE AVEC PASSEES DOLOMITIQUES LARGES ET FISSUREES	CRETACE-INF
De 547 à 905 m	CALC BRUN OU GRIS AVEC MINCES INTERC MARNEUSES OU CALCAREOMARNEUSES	CRETACE-INF
De 905 à 1287 m	FORMATION BRECHIQUE	CRETACE-INF
De 1287 à 1320 m	ZONE DE TRANSITION CALC SUBLITHOGRAPHIQUE AVEC PASSEES DOLOMITIQUES	JURASSIQUE
De 1320 à 1350 m	CALC EN PLAQUETTES BRUN (PURBECKIEN)	JURASSIQUE
De 1350 à 1640 m	CALC BEIGE OU BRUN SUBLITHOGRAPHIQUE; NOMBREUSES INTERC DOLOMITIQUES; CLYPEINES A 1425 M	JURASSIQUE
De 1640 à 1819 m	DOLOMIE VACUOLAIRE	JURASSIQUE
De 1819 à 1904 m	CALC MIROITANT GRAVELEUX OU OOLITHIQUE A CYCLAMINIDES ET TROCHOLINES	DOGGER
De 1904 à 1930 m	DOLOMIE NOIRATRE ET CALC DOLOMITIQUE	DOGGER
De 1930 à 1974.58 m	DOLOMIE SILICEUSE ET CALC TRES SILICEUX	DOGGER

Illustration 7 - Log géologique du sondage profond 10613X0001/C1 localisé sur le massif de la Clape.

2.2. CARACTÉRISTIQUES HYDROGÉOLOGIQUES DU BASSIN DE NARBONNE-SIGEAN

Le substratum du bassin de Narbonne-Sigean est ainsi constitué par les séries Mésozoïques (calcaires jurassique et crétacé, -205 à -65 Ma), recouvertes par les séries Oligocènes (-35 à -24 Ma) puis Miocène (-24 à -5 Ma). Le Quaternaire (inférieur à 2 Ma), caractérisé par des formations alluviales, vient recouvrir ces séries.

À l'Oligocène moyen (environ - 30 Ma) on assiste à l'effondrement du bassin, le secteur est ainsi constitué d'une vaste lagune associée à des dépôts de calcaires en plaquettes et des marnes. Au sein des marnes on peut observer des horizons gypseux, avec parfois des niveaux de bitume et de soufre (Mine de Malvési) qui s'intercalent. Au-dessus, on note la présence d'argiles, de grès et de conglomérats surmontés par des calcaires compacts et marneux.

Les dépôts du Burdigalien inférieur (Miocène moyen entre -20 et -15 Ma) sont absents sur la zone, du fait d'une phase d'émersion. Les dépôts reprennent au burdigalien supérieur, ils sont constitués de molasses calcaires.

Les dépôts de l'Helvétien (-15 à -11 Ma) sont constitués de marnes sableuses, qui terminent la série tertiaire, avec cependant en certains points la présence de Pliocène continental représenté par des cailloutis.

À l'aube du Quaternaire (-2 Ma) on assiste à une transgression qui atteint la côte + 13 m. L'embouchure de l'Aude se situait alors à Salleles d'Aude. Un ancien golfe pénétrait ainsi dans la vallée de l'Aude sur près de 20 km. Les apports de sédiments de l'Aude ont conduit à une rapide avancée des terres dans cette anse bien abritée par un ensemble d'îles dont seule celle de la Clape est importante.

Les alluvions anciennes sont cantonnées aux abords immédiats du massif de la Clape et forment une terrasse qui domine le reste de la région sur une hauteur de 2 à 5 m. Les alluvions récentes forment tout le reste de la cuvette. Ces alluvions sont constitués d'un mélange de sable, gravier et limons.

Dans l'histoire récente, il faut noter l'installation des romains vers 118 avant JC. À l'époque la plaine alluviale localisée dans un triangle entre les actuelles communes de Salleles, Narbonne et Coursan, est constituée d'un vaste étang très peu profond séparé de la pleine mer par un ensemble d'île (Illustration 8).



Illustration 8 - Carte hypothétique du Narbonnais au début de l'âge du Fer, proposée à partir des interprétations de Max Guy (1973 et 1990) et Pierre Verdeil (1990). Comparaison avec le littoral actuel (Claire-Anne de Chazelles, « Montlaurès et son territoire à l'âge du Fer », ADLFI. Archéologie de la France – Informations [En ligne], Languedoc-Roussillon, mis en ligne le 01 mars 2004 URL : <http://adlfi.revues.org/11806>).

L'Aude charrie environ 2 Millions de m³ de limon par an, contribuant à l'ensablement progressif des étangs. Au IX^e siècle, les îles sont rattachées à la terre ferme.

Depuis le moyen âge, l'Homme a réalisé de nombreuses actions de drainage des zones marécageuses en vue d'assainir la zone et augmenter les surfaces cultivables.

Concernant l'hydrogéologie du bassin de Narbonne-Sigean, les couches tertiaires (Oligocène et Miocène) bordant le bassin sont souvent peu aquifères (formations argileuses et marneuses). Il en est de même pour les calcaires oligocènes présentant une importante fraction marneuse. Il semblerait que seules les alluvions quaternaires renferment une nappe.

L'épaisseur des formations quaternaires a été caractérisée à partir des logs géologiques des ouvrages localisés sur le bassin et référencés en BSS (voir Illustration 9). Les épaisseurs sont faibles à proximité des massifs bordiers, ainsi que sur le secteur de Narbonne. Sur ce dernier secteur, le Pliocène caractérisé par des niveaux argilo-sableux est décrit sous le Quaternaire. Son épaisseur atteint une vingtaine de mètres.

L'épaisseur du Quaternaire est maximale, supérieure à 20 m, dans la partie sud du bassin. Sur le reste du bassin les épaisseurs sont dans l'ensemble comprises entre 10 et 15 m. Aussi, les formations quaternaires reposent généralement sur des séries appartenant à l'Helvétien (Miocène supérieur -11 à -16 Ma), souvent associées à des : « marnes bleues compacts ». La base du Quaternaire est ainsi peu perméable.

Signalons que le Quaternaire correspond à des formations alluviales. Des niveaux sableux, de graviers, de limons et d'argiles s'intercalent formant ainsi un aquifère multicouche avec des aquifères hébergés au sein des formations perméables (sables et graviers) et potentiellement isolés, au moins partiellement, par des niveaux argileux peu perméables d'épaisseur variable.

Les séries quaternaires dans la partie Sud de la nappe, à proximité de l'étang de Bages, présentent une alternance de niveaux sableux et de vase (voir log forage 10612X0006, Illustration 36), probablement en lien avec des dépôts en milieu lagunaires.

De même, les formations plio-quaternaires au niveau de l'actuel delta de l'Aude présentent également une alternance de niveaux sableux et d'argiles vaseuses sur une épaisseur pouvant atteindre 35 m.

Le fonctionnement hydrogéologique de cet aquifère multicouches va pouvoir être caractérisé à partir des ouvrages recoupant les différents horizons.

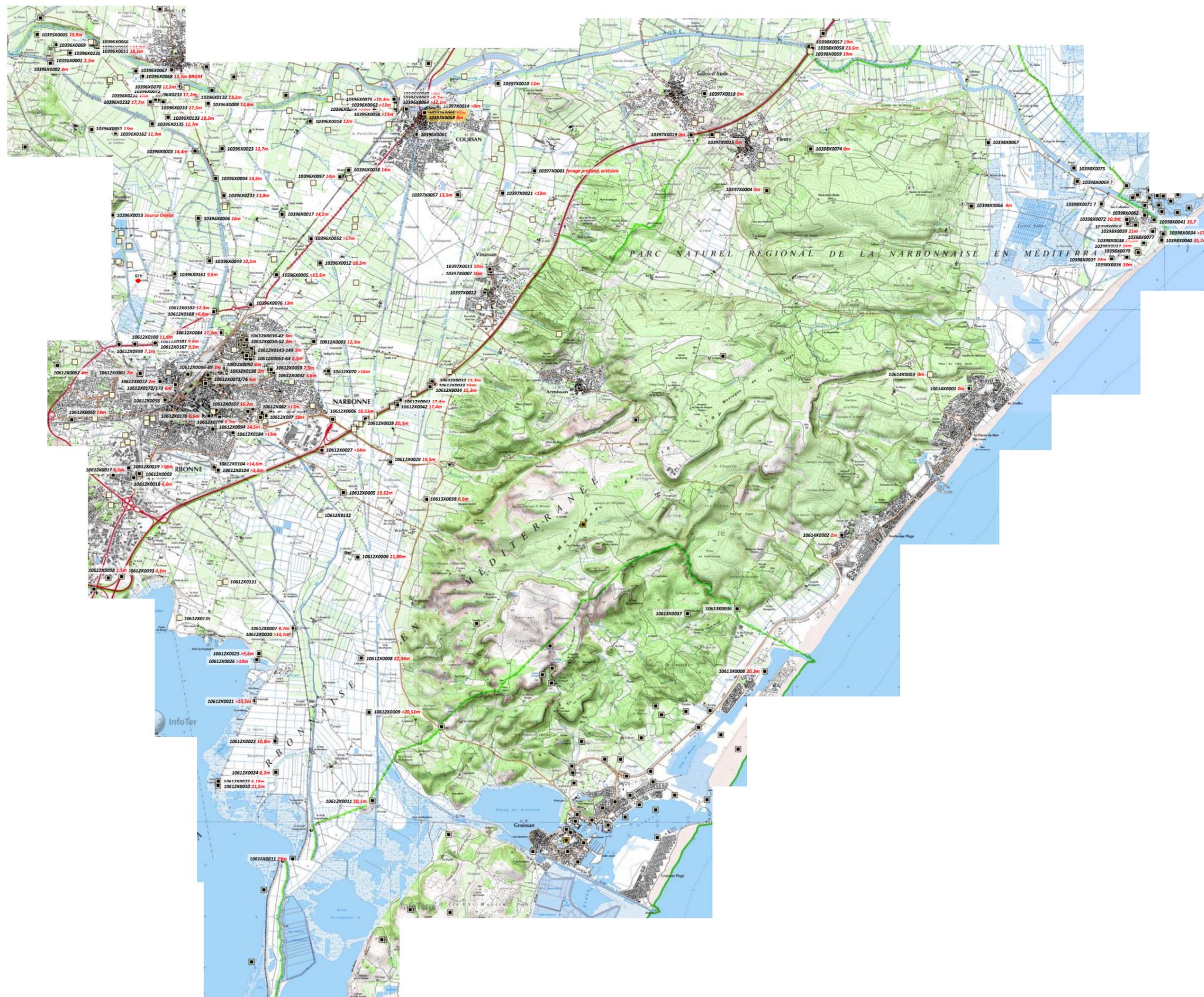


Illustration 9 - Épaisseur du Quaternaire sur les ouvrages de la BSS (en rouge).

3. Inventaire des actions menées pour la caractérisation des sols

Montpellier SupAgro est un établissement d'Enseignement Supérieur qui forme des élèves-ingénieurs et des étudiants de Master. Le Projet SALIN constitue une opportunité car il permet de disposer d'un terrain d'étude réel en prise à une problématique agro-environnementale pour conduire des actions de formation. En retour, ces actions de formation permettent (a) de donner de la visibilité au projet et au territoire d'étude, et (b) d'engager des campagnes de récolte de données synchrones ambitieuses.

3.1. CAMPAGNES SPATIALISÉES SUR L'ENSEMBLE DE LA ZONE D'ÉTUDE

Ces campagnes ont pour premier objectif d'évaluer la salinité des sols afin de produire un premier état des lieux de niveaux de salinité et de leur hétérogénéité spatiale.

Elles ont consisté en sondages à la tarière et prélèvements à 4 profondeurs : 0-20 cm (surface), 30-40 cm (au-dessus d'anciens drains toujours en place, pouvant notamment être constitués de poteries anciennes, voir Illustration 10), 70-80 cm (au-dessous de la zone de drainage ancienne potentiellement présente) et 90-120 (profond). La localisation des points de sondage réalisé à cette date est indiquée à l'illustration 10.



Illustration 10 - Localisation des sondages des deux campagnes 2018-2019 et photos de drains en poterie qui peuvent être enterrés dans les parcelles.

Chaque sondage est repéré par ses coordonnées et chaque prélèvement a été décrit (couleur Munsell, test HCl, humidité estimée, traces d'hydromorphie, texture). Pour chaque échantillon, une dilution 1/5 a été effectuée et a donné lieu à une mesure de la conductivité électrique et, quand cela était possible, du pH et de la concentration en Na^+ et Ca^{2+} . À partir des coordonnées géographiques et du MNT de l'IGN (à 5 m de résolution spatiale), l'altitude au niveau sol a été calculée ainsi que pour chaque prélèvement en prenant en compte la profondeur d'échantillonnage.

Deux campagnes ont été conduites :

- une en fin de saison sèche (25, 26, 27 septembre 2018) : 93 positions échantillonnées avec un groupe de 13 étudiants de l'option d'ingénieur agronome « Eau-Sol-Environnement » et du Master 3A parcours « Sol » promotion 2018-2019 ;
- une en fin de saison humide (20 mai - 21 juin 2019) : 100 positions échantillonnées au cours du stage de M1 Master EAU parcours « Eau & Agriculture » de Jérôme Pinta.

Quelques sondages additionnels ont été conduits à l'aide d'une tarière à rallonge afin de prospecter à une plus grande profondeur (0-4 m) jusqu'à atteindre une zone saturée en eau.

Au total, 669 échantillons ont été analysés, sur 193 positions. Neuf points proches géographiquement (*ie* séparés d'une distance inférieure à 50 m) ont fait l'objet d'échantillonnage pour les 2 campagnes afin d'analyser la variation saisonnière des paramètres mesurés. Leur localisation est donnée à l'illustration 11.



Illustration 11 - Localisation des sondages communs aux deux campagnes spatialisées 2018-2019.

3.2. CAMPAGNES LOCALISÉES

Deux campagnes localisées ont eu lieu en 2019. La première consistait en un échantillonnage répété de trois parcelles : vigne, friche, prairie. La seconde consistait en deux transects sur le Domaine de la Négly (Fleury d'Aude).

3.2.1. Analyse comparée de trois parcelles

Les parcelles de vigne (43,195848° ; 3,06074°) et de friche (43,195197° ; 3,06085°) sont contiguës dans la plaine de Vinassan choisie comme un lieu fortement impacté par de la mortalité viticole. La parcelle en prairie (43,123660° ; 3,025089°), située sur le Domaine du Grand Castelou, est soumise à des submersions régulières. Cette campagne a été conduite avec un groupe d'étudiants étrangers inscrit dans le Junior Research Lab de Montpellier SupAgro en 2019 (mi-avril-début juin).

Les prélèvements ont eu lieu les 16 et 17 mai 2019 (à noter que les prélèvements sur la parcelle en prairie ont été effectués en période de submersion, les échantillons collectés étaient saturés en eau). Pour chaque position, un échantillon moyen a été collecté pour chacune des 3 profondeurs : 0-40 cm, 40-80 cm, 80-120 cm.

Chaque échantillon a été décrit : couleur Munsell, test HCl, traces d'hydromorphie, texture. Pour chaque échantillon, une dilution 1/5 a été effectuée et a donné lieu à une mesure de la conductivité électrique, une dilution 1/2,5 a été effectuée et a donné lieu à une mesure de pH. Les cations Na^+ , K^+ et Ca^{2+} ont été mesurés au laboratoire sur les échantillons de sol (a) après extraction à l'aide d'une solution d'acétate d'ammonium ($\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}_2$) à 1 mol/L à pH 7, et (b) à l'aide d'un spectrophotomètre de flamme (pour Na^+ et K^+) (JENWAY PFP7, UK) et d'une électrode spécifique (pour Ca^{2+}) (LAQUAtwin series, HORIBA Advanced Techno Co., Ltd.). Les prélèvements au cylindre (100 cm³) ont permis de déterminer la densité apparente.

3.2.2. Analyse de deux transects

La deuxième campagne a été motivée par l'identification d'une zone à forte salinité sur le Domaine La Négly, information fournie par le directeur technique Xavier Merveilleux du Vignaux et le conseiller viticulture Gabriel Ruetsch en accord avec le propriétaire Jean Rosset. Elle concernait deux parcelles suspectées de problèmes de salinité aux lieux dits de Camp Noir Salé (43,210274° ; 3,193806°) et Boède (43,201152° ; 3,190672°), à l'est du Massif de la Clape. Compte tenu de l'intérêt pour le projet d'étudier en détail des parcelles de sol à forte salinité, il a été décidé de donner suite à la demande et d'engager une prospection sur ces parcelles.

La logique de prospection a consisté en deux transects le long de la topographie depuis la zone haute de la Clape jusqu'à la zone basse de l'étang de Pissevache. Cette campagne a été conduite avec les étudiants de l'Option « Eau-Sol-Environnement » promotion 2019-2020.

La campagne, qui s'est déroulée du 24 au 27 septembre 2019, comprenait plusieurs types de prospection sur un même site :

- caractérisation de transect :
 - Camp Noir : 2 fosses et 19 sondages représentant 85 échantillons,
 - Boède : 3 fosses et 9 sondages représentant 34 échantillons,
 - pour chaque échantillon, une dilution 1/5 a été effectuée et pour laquelle ont été mesurées la conductivité électrique et les concentrations en Na^+ , Ca^{2+} et NO_3^- à l'aide d'électrodes spécifiques (LAQUAtwin series, HORIBA Advanced Techno Co., Ltd.),
 - les fosses ont été décrites finement avec prélèvements au cylindre (100 cm³) et mesure de la densité apparente pour chaque horizon déterminé ;
- relevés de conductivité électrique du sol par induction à l'aide d'un EM38-MK2 (GEONCIS LTD) ;
- relevés floristiques.

4. Premiers résultats des analyses de sol

L'ambition de cette partie est de montrer les données consolidées à l'issue des différentes campagnes de prospection sur sols, dans le périmètre de la zone d'étude du Projet SALIN menées par Montpellier SupAgro. Pour l'instant, il est prématuré d'en tirer des conclusions définitives car d'autres données seront collectées et permettront d'aboutir à une réflexion approfondie.

4.1. RÉFÉRENTIELS D'INTERPRÉTATION

Afin d'interpréter les mesures de conductivité électrique faites sur les échantillons de sol, il est nécessaire de positionner les résultats obtenus par rapport à des référentiels établis.

De manière standardisée, la salinité des sols est établie à partir de mesures de conductivité électrique sur une solution de sol obtenue à partir d'extrait de pâte saturée (EC_{sp}). C'est une méthode longue et nécessitant une forte technicité. Afin d'augmenter le nombre de mesures, la salinité a été appréhendée par une mesure de conductivité électrique sur une dilution de sol 1/5 ($EC_{1:5}$). Il est possible de rapporter les résultats à des équivalents d'extrait de pâte saturée en appliquant une relation issue, soit de références bibliographiques, soit d'une calibration à partir de données locales. Pour la suite, les résultats de conductivité électrique des sols montrés sont replacés dans le référentiel d'extrait de pâte saturée à l'aide de la relation mise au point dans les travaux d'Elen Bless sur des sols du delta de l'Orb (Bless, 2019) :

$$EC_{sp} = 6,74 \cdot EC_{1:5} \quad (\text{Equation 1})$$

Cette relation a été construite à partir de 11 points, pour des valeurs de $EC_{1:5}$ comprises entre 0,1 et 1,5 mS/cm (EC_{sp} compris entre 0,5 et 10 mS/cm), et présente un coefficient de détermination (R^2) égal à 0,93.

Les valeurs de salinité des sols peuvent être interprétés par rapport aux conséquences sur la végétation, données à l'illustration 12.

Etat du sol	Conductivité (dS/m)	Effets
Non salé	0-2	Effets négligeables
Faiblement salé	2-4	Affecte le rendement des plantes sensibles (vigne)
Moyennement salé	4-8	Chute des rendements pour la plupart des plantes
Fortement salé	8-16	Seules les plantes résistantes poussent
Très salé	>16	Seules quelques plantes très résistantes poussent

Illustration 12 - Table d'interprétation des niveaux de salinité des sols, (NDR : 1 dS/m = 1 mS/cm) (d'après FAO, 1988).

4.2. CAMPAGNES SPATIALISÉES SUR L'ENSEMBLE DE LA ZONE D'ÉTUDE

4.2.1. Salinité par sous-zones

La zone d'étude a été découpée en six sous-zones afin d'organiser la prospection sur le terrain et définir un premier cadre d'analyse de la variabilité des données récoltées. Les limites des sous-zones, montrées à l'illustration 13, ont été obtenues en croisant les données géographiques, pédogéologiques, relatives à l'occupation des sols, aux parcelles agricoles, et à une première interprétation de la mortalité en zone viticole à partir de photo-interprétation d'images aériennes.

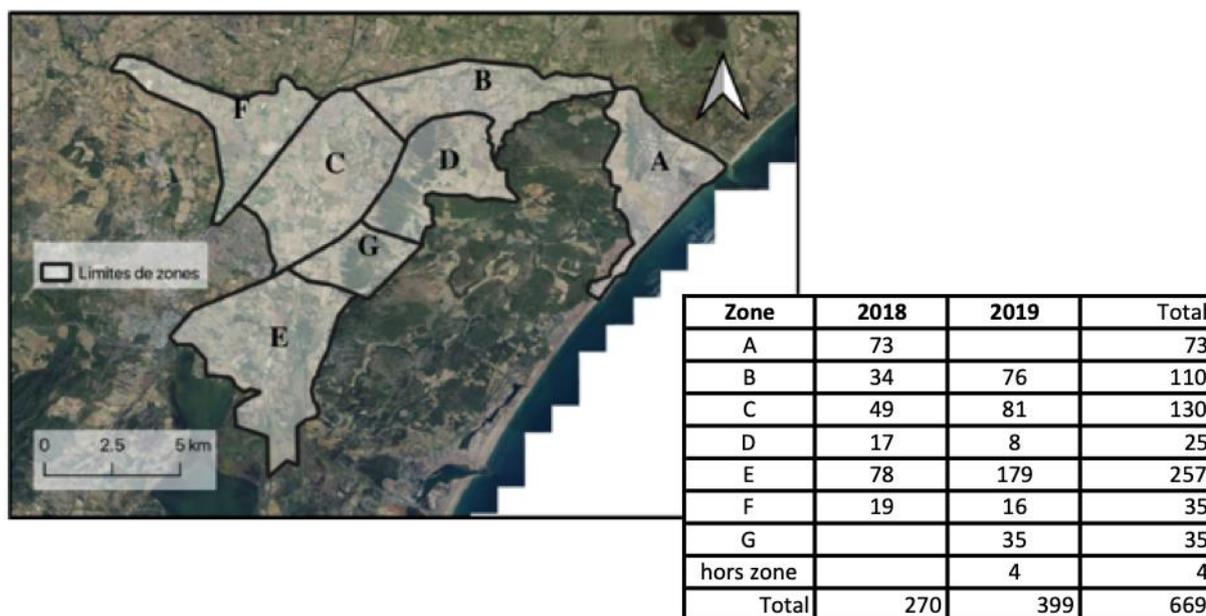


Illustration 13 - Sous-zonage et nombre d'échantillons collectés au cours des campagnes spatialisées.

Les principales caractéristiques des zones sont données ci-dessous.

Zone A :

Au nord-est de la zone d'étude, elle est enclavée entre le littoral, la Clape et l'embouchure de l'Aude ; elle est divisée de manière très nette entre des parcelles cultivées en vigne sous les versants de la Clape et les étangs (Pissevaches) inondés en hiver et asséchés en été ; il est à noter que des tâches de mortalité avaient été identifiées dans les parcelles de vigne.

Zone B :

Elle est constituée en très grande majorité de parcelles de vignes et de friches en bordure du fleuve Aude au nord.

Zone C :

Elle est située à l'ouest du massif de la Clape, entre Vinassan et Narbonne, et délimitée au sud par l'autoroute A9. On y trouve un certain nombre d'aquifères à nappes semi-captives (d'après la BD LISA du BRGM), des grandes cultures au nord et des vignes au sud. Les réseaux de canaux d'irrigation et de drainage sont denses, conséquence des pratiques de submersion des vignes.

Zone D :

Elle se trouve au pied du massif de la Clape, composée de parcelles de vignes, de friches et de prairies pâturées par des chevaux. Cette zone est la plus variée en terme d'unités pédo-paysagères (Barthès *et al.*, 1999) et présente une nappe semi-captive. Cette zone a été complétée par la **Zone G** adjacente lors de la prospection de mai-juin 2019.

Zone E :

Elle est située entre le massif de la Clape au nord-est et les étangs (La Berre, Campagnol, Ayrolle) au sud-ouest et est traversée sur un axe nord-sud par le canal de la Robine. Le canal est situé en hauteur par rapport aux parcelles, ce qui permet son utilisation pour l'irrigation et la submersion des cultures par gravité. En s'éloignant du canal de la Robine, les paysages deviennent de plus en plus caractéristiques des zones salées (friches, prés salés, végétation halophyte) jusqu'à atteindre le canal de la Réunion (utilisé comme canal d'écoulement pour l'évacuation des eaux vers les étangs). Au-delà, on se retrouve dans les contreforts de la Clape, avec des terrains en pente, des sols plus caillouteux et des parcelles de vignes.

Zone F :

Elle correspond à la pointe dessinée par la confluence de l'Aude et du canal de la Robine, au nord de Narbonne.

Les résultats des mesures de conductivité électrique par zone du périmètre d'étude sont donnés sur les Illustrations 14 et 15.

Les zones A et E proches des étangs apparaissent comme les plus salées alors que les zones les moins salées sont les zones D et F. Les zones B et C montrent des valeurs intermédiaires avec des niveaux absolus de conductivité électrique problématiques pour des végétations non adaptées à la salinité (voir Illustration 12). La zone G définie pour la 2^{ème} campagne est également dans ce cas, contrairement à la zone D.

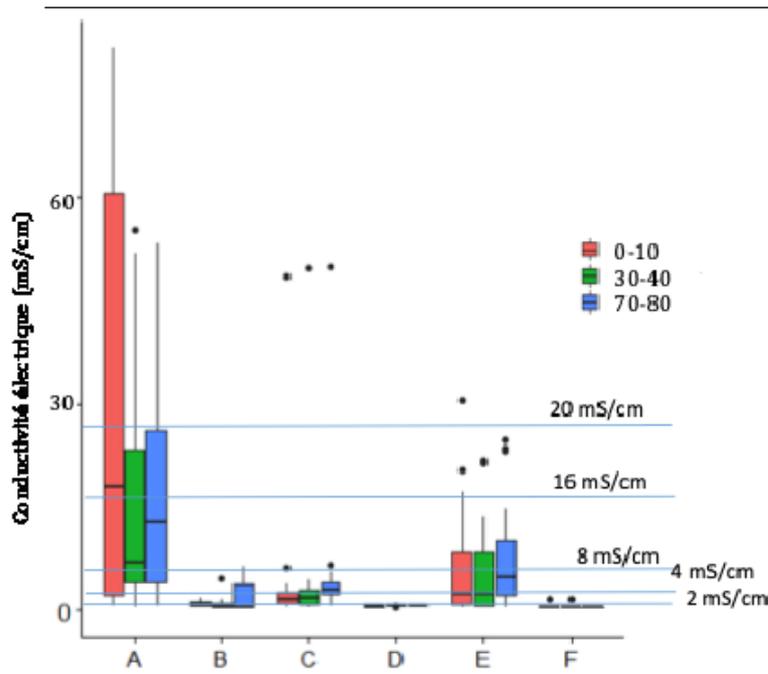


Illustration 14 - Box plot des conductivités électriques par zone pour la campagne de Septembre 2018.

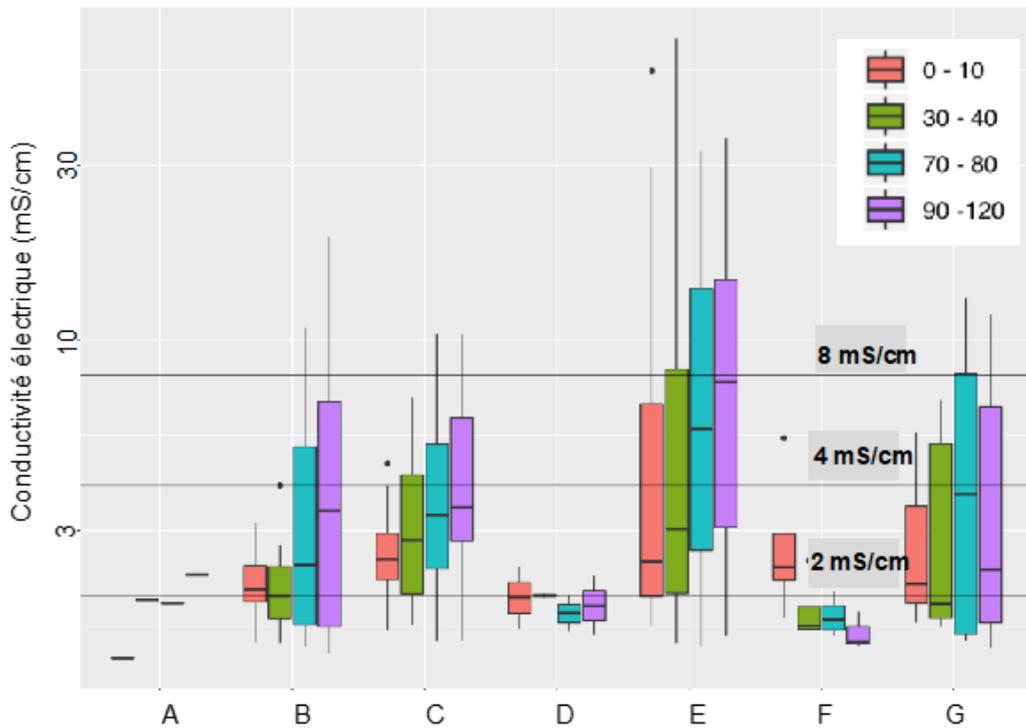


Illustration 15 - Box plot des conductivités électriques par zone pour la campagne de Mai-Juin 2019.

4.2.2. Cartes de salinité

Les cartes de conductivité électrique pour chaque profondeur d'échantillonnage et pour chaque campagne spatialisée sont données sur l'illustration 16.

Comme vu précédemment, la salinité est forte dans les zones d'étangs et proches d'étangs. Des zones comme la cuvette entre Fleury-d'Aude et Saint-Pierre-la-mer peuvent être considérées comme non salées.

La salinité augmente avec la profondeur avec des niveaux quasi-systématiquement supérieurs à 2 mS/cm pour la profondeur 90-120 cm de la campagne de Mai-Juin 2019. Les motifs spatiaux à 70-80 cm et 90-120 cm apparaissent assez proches.

Pour les prélèvements de surface et à la profondeur 30-40 cm, les résultats sont hétérogènes avec des valeurs non problématiques inférieures à 2 mS/cm qui peuvent être spatialement proches de valeurs élevées à très élevées.

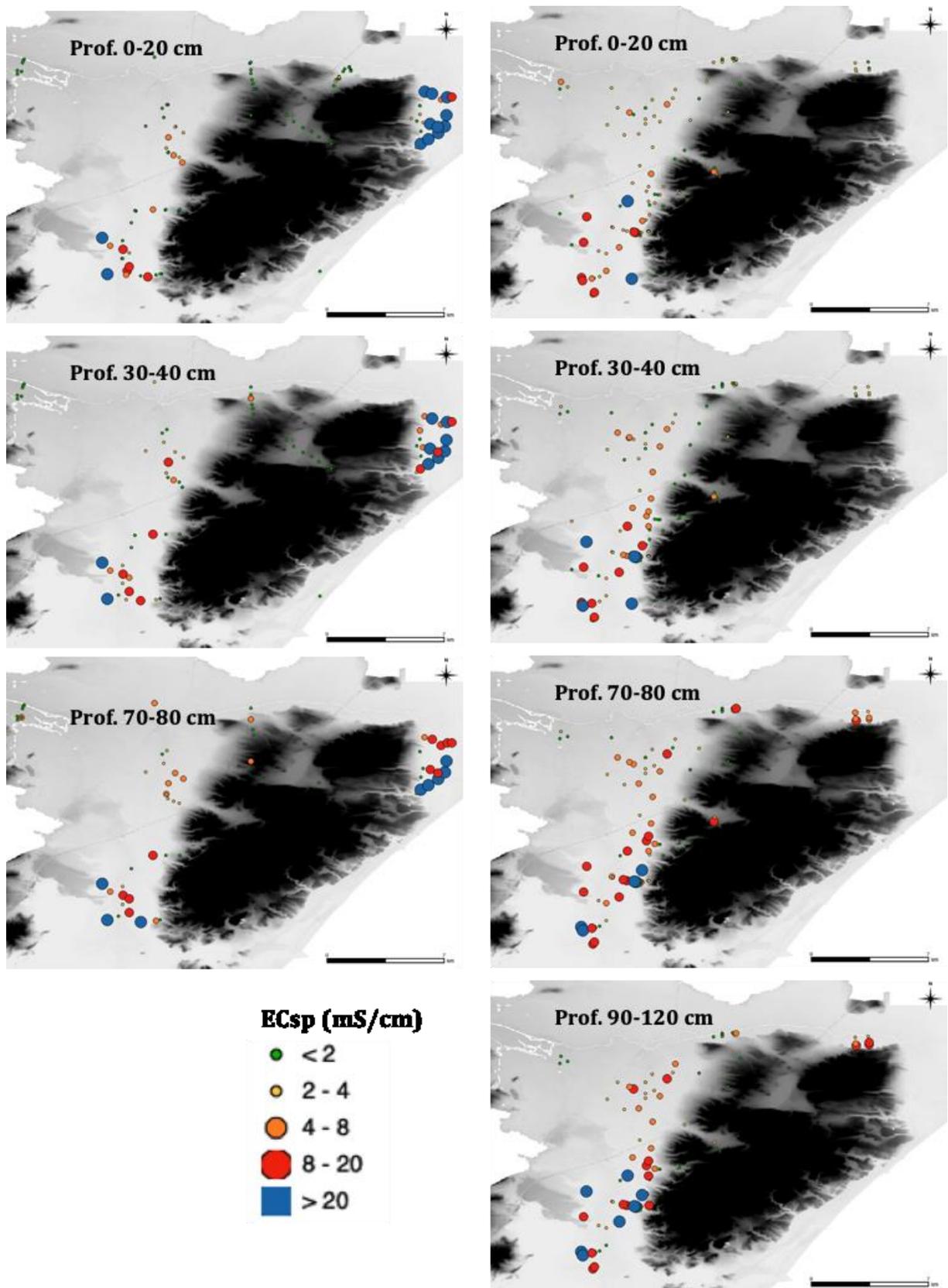


Illustration 16 - Cartes des conductivités électriques pour les différentes profondeurs d'échantillonnage et pour les campagnes de Septembre 2018 (à gauche) et de Mai-Juin 2019 (à droite).

4.2.3. Comparaison entre les deux campagnes spatialisées

Neuf points répartis sur la zone d'étude séparés d'une distance inférieure à 50 m ont été échantillonnés au cours des 2 campagnes spatialisées. Les mesures de conductivité électrique des sols en fonction de la profondeur pour les deux campagnes sont comparées à l'illustration 17.

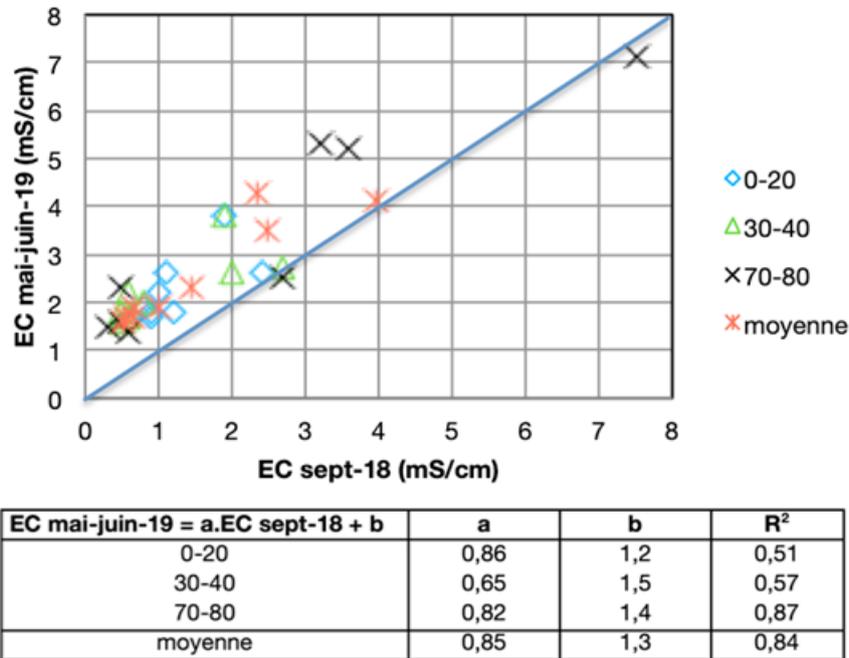


Illustration 17 - Comparaison des mesures de conductivités électriques des sols (EC) mesurées pour les 2 campagnes.

Les valeurs mesurées aux deux dates sont globalement linéairement corrélées avec un coefficient de détermination sur les données moyennes par profil de 0,84. L'intensité de la corrélation linéaire augmente avec la profondeur pour atteindre R² de 0,87 pour les échantillons prélevés à la profondeur 70-80 cm. Ces premiers résultats semblent indiquer que les conditions de salinité sont plus stables en profondeur qu'en surface. Les valeurs mesurées en mai-juin 2019 sont quasi-systématiquement supérieures à celles mesurées en septembre 2018. À partir des données moyennes par profil, la pente de la relation linéaire (en considérant EC mai-juin-2019 comme variable expliquée) est de 0,86 et l'ordonnée à l'origine de 1,3 mS/cm.

4.3. CAMPAGNES LOCALISÉES

4.3.1. Analyse comparée de trois parcelles

La position des prélèvements au sein de chaque parcelle et la conductivité électrique des échantillons de sol pour les trois profondeurs sont données à l'illustration 18. Les résultats des analyses chimiques de sol sont donnés à l'illustration 19.

Ces premiers résultats permettent d'appréhender la variabilité intra-parcellaire et la variabilité entre 3 parcelles présentant des occupations du sol différentes et fortement présentes sur la zone d'étude. Les niveaux de salinité des sols des 3 parcelles sont comparables. Les sols sont peu à modérément salés sur les 40 premiers cm. La salinité augmente avec la profondeur. La parcelle de vigne présente en profondeur les plus forts écarts de valeurs. La salinité sur la parcelle en friche apparaît proche de celle de la vigne adjacente voire légèrement supérieure. La salinité de la parcelle en prairie est celle qui augmente le moins avec la profondeur.

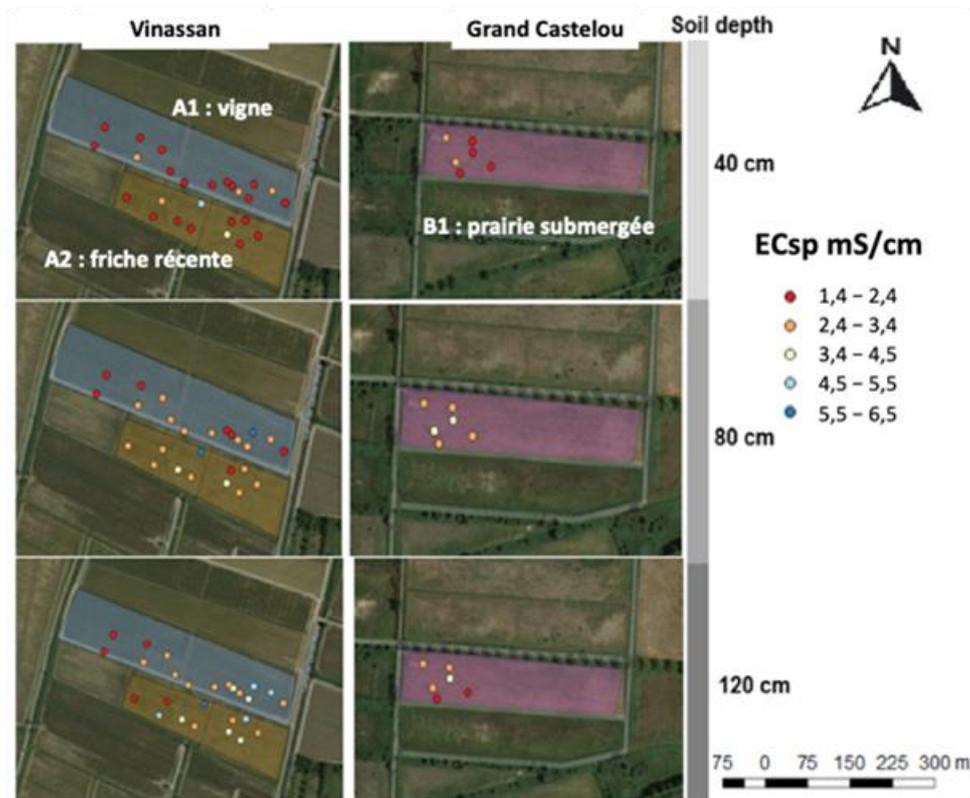


Illustration 18 - Plan d'échantillonnage intra-parcellaire et conductivité électrique pour les 3 profondeurs considérées.

Le pH augmente avec la profondeur et en fonction de l'occupation du sol (vigne < friche < prairie). Le sodium est le cation globalement le plus abondant et beaucoup plus élevé au-delà de 40 cm sur les 3 parcelles. Le calcium est plus présent en surface qu'en profondeur. Les teneurs en potassium sont très faibles pour les parcelles de vigne et de friche, elles sont 2 à 3 fois plus importantes dans la parcelle de prairie et augmentent avec la profondeur.

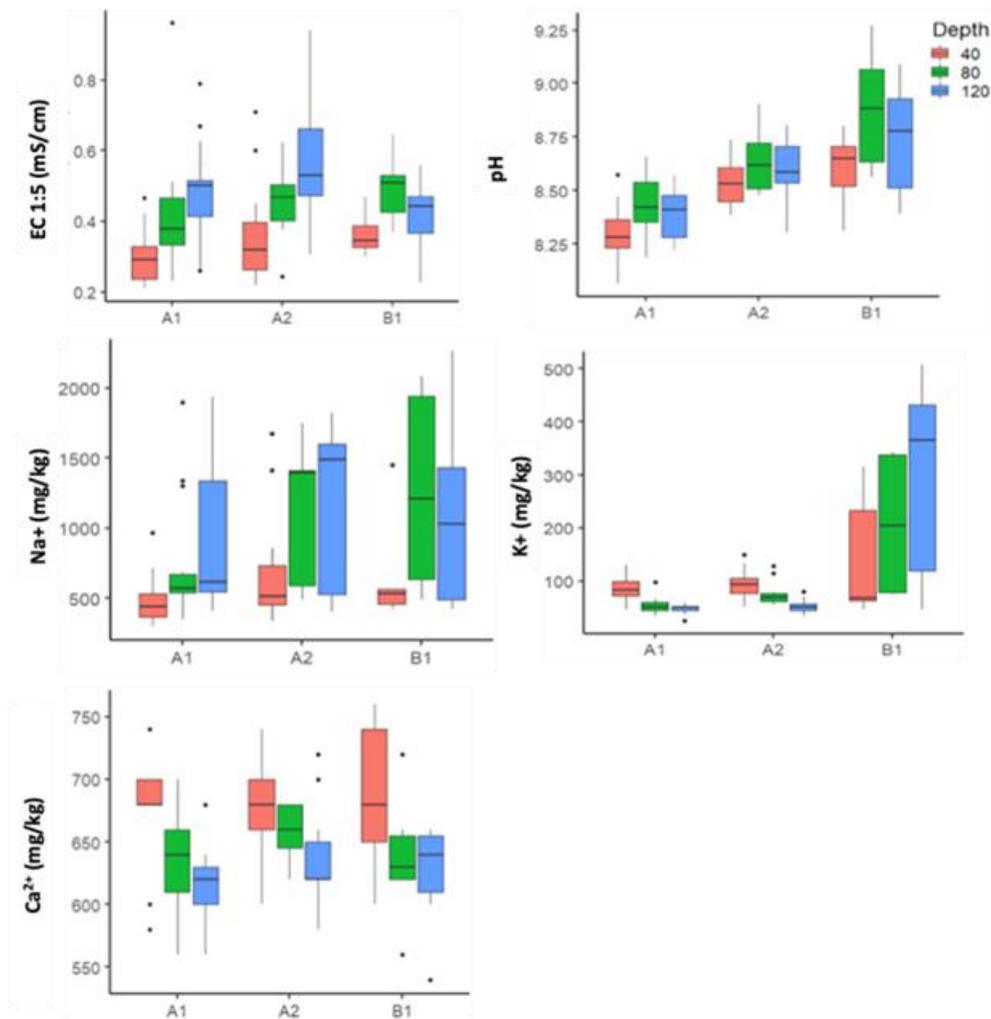


Illustration 19 - Résultats des analyses chimiques de sol pour les 3 parcelles.

4.3.2. Analyse de deux transects sur le Domaine de la Négly

La localisation des transects et la position des prélèvements sont donnés sur l'illustration 20. Au-delà des éléments de diagnostic viticole produits, cette campagne sur un périmètre restreint a offert l'opportunité (a) de conduire plusieurs types de prospection de manière conjointe et (b) d'appréhender la variabilité intra-parcellaire de la salinité sur un site de mortalité de la vigne avéré.



Illustration 20 - Localisation des transects et plan d'échantillonnage associé (avec en pontillés bleus pointillés bleus les limites du domaine colluvionné et en vert les limites de l'étang).

Les différents sondages ont permis de relever l'hétérogénéité et l'organisation des matériaux pédologiques. Les mesures de conductivité électrique, de concentrations en calcium, sodium, nitrate et les relevés à l'EM38-MK2 sur le site de Boède sont montrés sur l'illustration 20. De telles prospections permettent de raisonner sur l'extension, la nature et les facteurs explicatifs des « ronds de sel ». Ces prospections ont été accompagnées de relevés de végétation. La liste des plantes, essentiellement pionnières et eutrophes, leur taux de recouvrement et leur tolérance au sel, relevées sur une des deux parcelles sont donnés sur l'illustration 22. Ce type d'observation devrait être reproduit à d'autres périodes de l'année où d'autres espèces pourraient présenter un développement végétatif permettant de les identifier pour être complet.

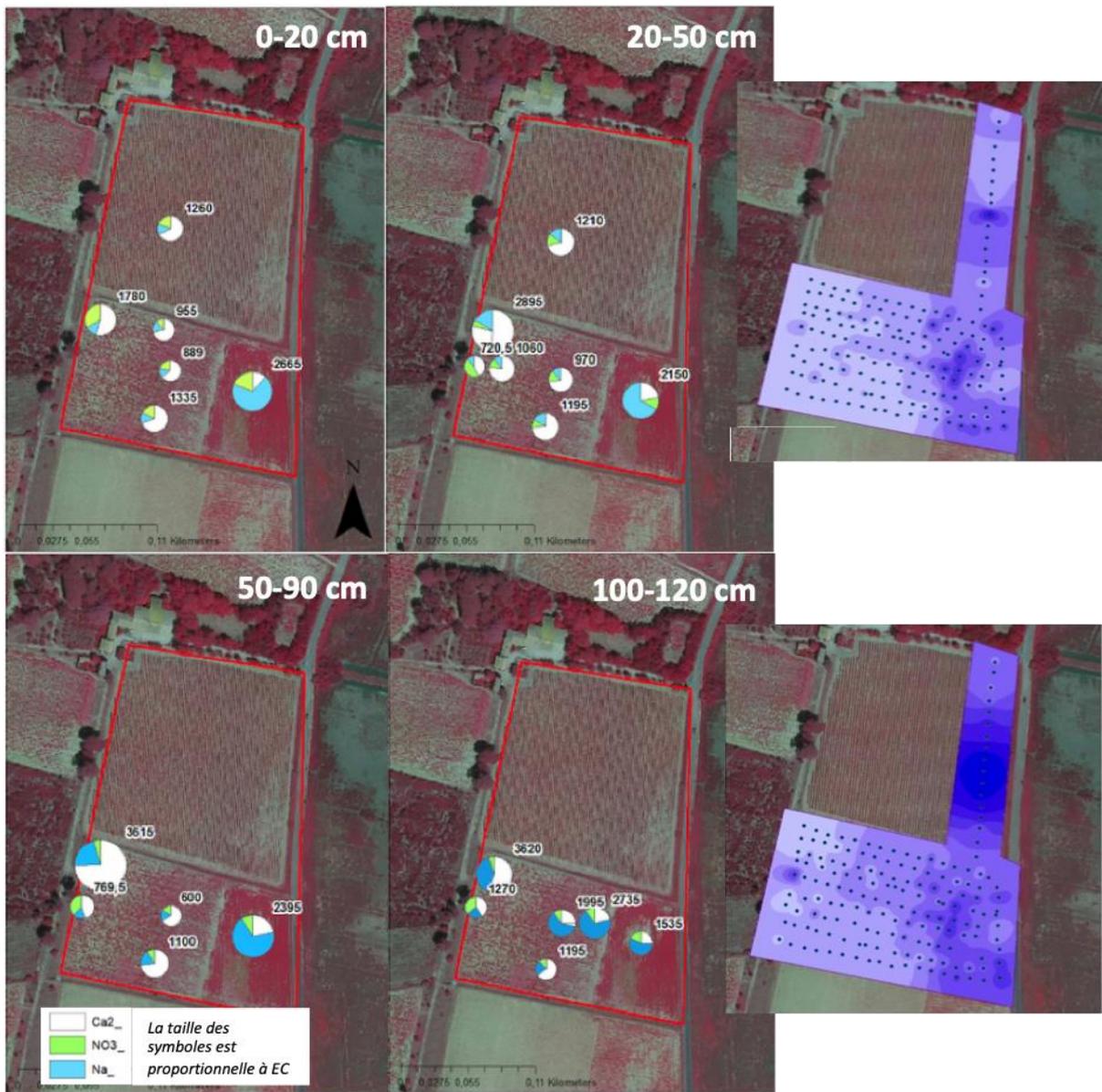


Illustration 21 - Conductivité électrique, concentrations en calcium, sodium, nitrate et relevés de conductivité électromagnétique.

n° zone sur la parcelle				1	2	3
% sol nu				80	50	30
Nom latin	Nom vernaculaire	Famille	Tolérance sel (/8) ¹			
<i>Anacyclus clavatus</i>	Anacycle en massue	Astéracées	0	+		
<i>Chenopodium album</i>	Chenopode blanc	Amaranthacées	0	2	2	
<i>Chenopodium vulvaria</i>	Arroche puante	Amaranthacées	0	2	1	
<i>Convolvulus arvensis</i>	Liseron des champs	Convolvulacées	0	2	1	
<i>Cynodon dactylon</i>	Pied de poule	Poacées	1	2	1	1
<i>Datura stramonium</i>	Datura officinal	Solanacées	1	+		
<i>Daucus carota</i>	Carotte sauvage	Apiacées	0	+		
<i>Dittrichia viscosa</i>	Înule visqueuse	Astéracées	1	1		
<i>Erigeron canadensis</i>	Erigeron du Canada	Astéracées	0	1	+	
<i>Foeniculum vulgare</i>	Fenouil commun	Apiacées	1	1		
<i>Heliotropium curassavicum</i>	Heliotrope de curaçao	Heliotropacées	7	+		
<i>Malva sylvestris</i>	Mauve sylvestre	Malvacées	0		+	
<i>Phragmites australis</i>	Roseau	Poacées	3	1		
<i>Picris echioides</i>	Picride fausse vipérine	Astéracées	0	2		
<i>Plantago lanceolata</i>	Plantain lancéolé	Plantaginacées	0	1		
<i>Portulaca ortulacea</i>	Pourpier commun	Portulacacées	0		+	+
<i>Sonchus oleraceus</i>	Laiteron lisse	Astéracées	1	1	+	+
<i>Tibulus terrestris</i>	Croix de Malte	Zygophylacées	0		+	
<i>Trigonella alba</i>	Melilot blanc	Fabacées	pas d'infos	+		
<i>Xanthium strumarium</i>	Lampourde glouteron	Astéracées	1	+	+	3



coefficient	taux de recouvrement
1	espèce très rare et recouvrement très faible
+	espèce rare et recouvrement < 1%
1	1 - 5%
2	5 - 25%
3	25 - 50%
4	50 - 75%
5	> 75%

Illustration 22 - Relevés de végétations.

5. État des lieux hydrogéologique

5.1. RECENSEMENT DES OUVRAGES

Afin d'effectuer l'état des lieux, il a été nécessaire d'identifier les points d'eau (puits, forage, piézomètre) recoupant l'aquifère quaternaire. Dans le cadre du projet, il n'était pas initialement prévu de réaliser de nouveaux ouvrages. L'identification des ouvrages existants s'est faite à partir des données consignées dans la base de données de la Banque du Sous-Sol, également appelée BSS. Cette dernière gérée par le BRGM est accessible via le site Infoterre (www.infoterre.fr). La réglementation française oblige la déclaration des ouvrages de plus de 10 m de profondeur. Malgré l'obligation de déclaration, de nombreux ouvrages ne sont pas déclarés. Aussi, les puits peu profonds (inférieurs à 10 m) sont rarement déclarés en BSS.

Ainsi, à l'issue de cette phase de recensement 177 points d'eau ont été répertoriés en BSS. Une analyse des coupes géologiques et de la profondeur des ouvrages a été menée afin de rattacher le point à une formation géologique. Trois catégories ont ainsi été identifiées :

- points dans le Quaternaire ;
- points sans information et ne permettant donc pas le rattachement à un aquifère ;
- points hors Quaternaire.

Pour chaque ouvrage, une fiche a été créée. Ce dernier est identifié par son code BSS et les informations hydrogéologiques disponibles sont consignées : nature de l'ouvrage, profondeur, présence d'une coupe géologique, caractéristiques techniques de l'ouvrage (diamètre, matériaux), année de réalisation, coordonnées du point, etc....

Il y a ainsi 74 ouvrages dans le Quaternaire, 36 hors Quaternaire et 67 pour lequel il n'y a pas d'information permettant de rattacher l'ouvrage à une formation (profondeur inconnue et absence de coupe géologique). Ils sont localisés dans l'illustration 23.

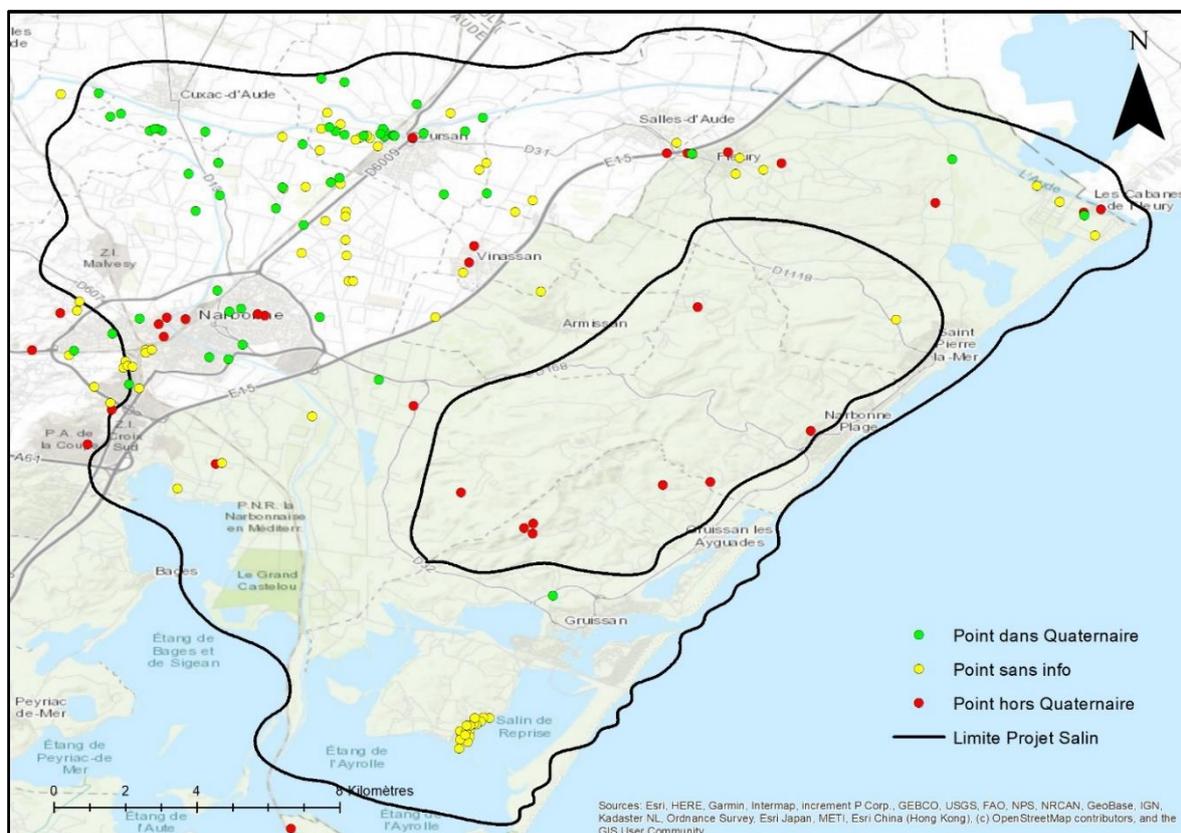


Illustration 23 - Localisation des ouvrages déclarés en BSS sur la zone d'étude.

Concernant les ouvrages sans information, ils ne peuvent pas être utilisés pour l'étude. Les ouvrages hors Quaternaire sont soit des forages profonds (généralement forages dans le Miocène), soit des forages sur les massifs karstiques bordiers. Les ouvrages quaternaires identifiés avec leur code BSS sont localisés sur l'illustration 24. La majorité des points dans le Quaternaire sont dans la partie nord-ouest du périmètre d'étude (entre Narbonne et Coursan).

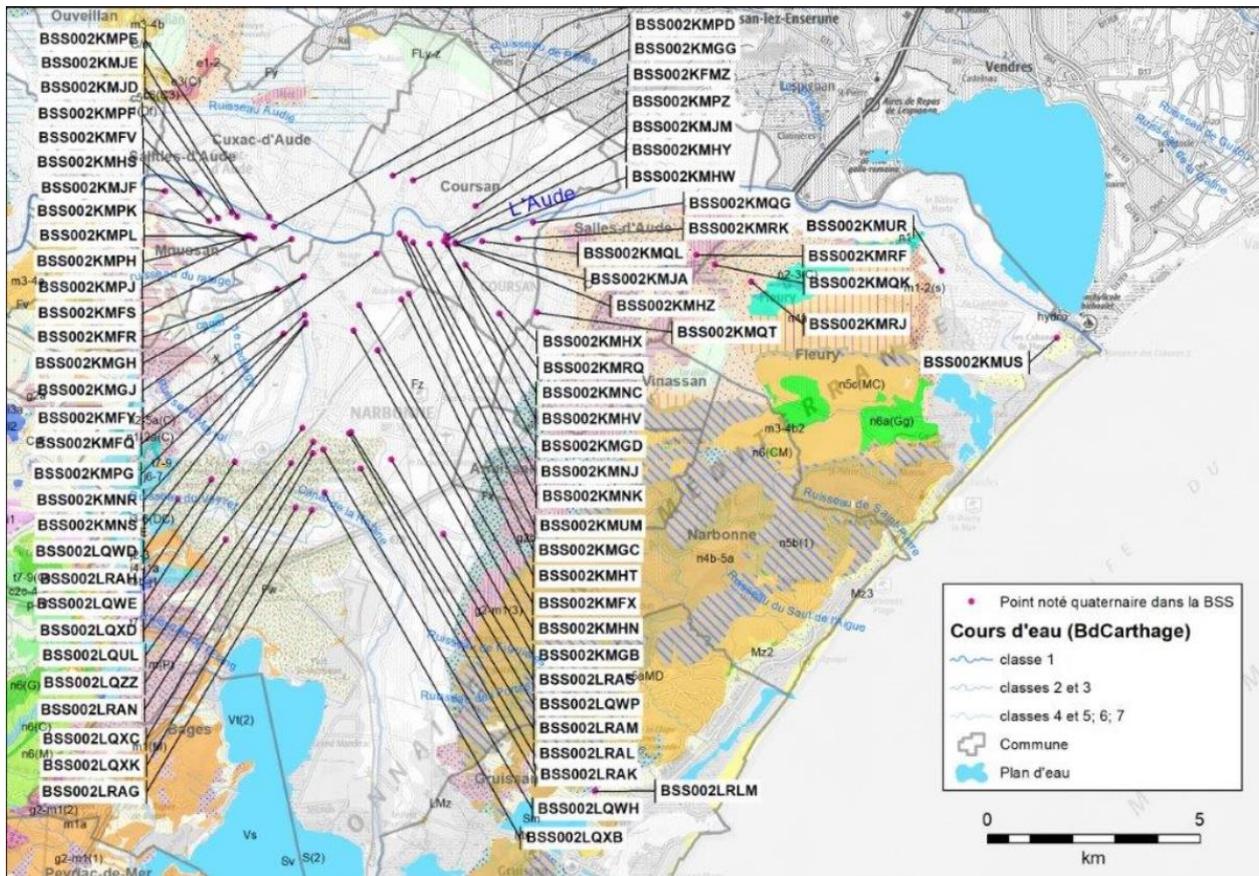


Illustration 24 - Localisation des ouvrages quaternaires déclarés en BSS sur la zone d'étude.

À l'issue de cette phase de recensement, une première mission terrain a été réalisée en mai 2019 pour identifier les 74 ouvrages quaternaires sur le terrain. Au final, moins d'une vingtaine d'ouvrages ont été retrouvés. Ceux qui n'ont pas été retrouvés peuvent être associés à des puits ou forages rebouchés ou des secteurs devenus inaccessibles (propriétés privées, végétation dense etc...). La carte présentée ci-dessous, localise les points déclarés en BSS et retrouvés sur le terrain.

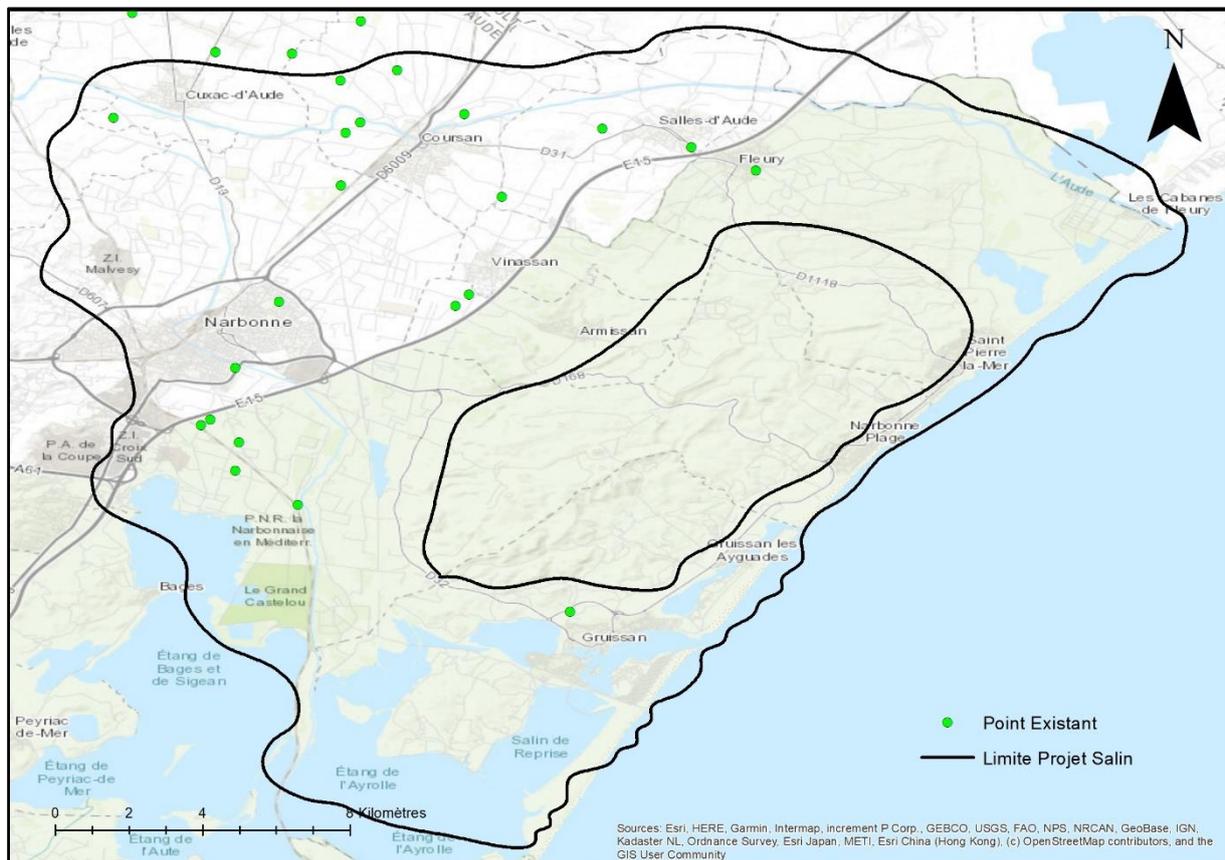


Illustration 25 - Localisation des points du Quaternaire déclarés en BSS et retrouvés sur le terrain.

Ensuite, au lancement du projet en mai 2019, une plaquette de présentation du projet (voir annexe 1) ayant également pour vocation d'associer au projet les habitants et professionnels sur le secteur, a été diffusée. Les acteurs du monde agricole ont ainsi été ciblés, notamment via la Chambre d'Agriculture, les ASA (Association des irrigants) du territoire et le service « Agriculture » de l'Agglomération du Grand Narbonne. Les élus locaux, également destinataires, ont relayé la plaquette auprès de leurs administrés. Les coordonnées du BRGM indiquées, devaient permettre aux personnes possédant un puits ou un forage, de prendre contact afin de participer à l'étude. Il n'y a eu aucun retour suite à la diffusion de la plaquette.

Afin, de trouver de « nouveaux » points (points existants non déclarés), une nouvelle campagne de terrain, basée sur la méthode « du porte à porte », essentiellement en milieu rural, a été menée. Elle a eu lieu au cours de l'été 2019 et a duré environ 1 mois (Illustration 26).



Illustration 26 - Campagne de terrain, été 2019.

Au final, une centaine de points ont ainsi été retrouvés dans le Quaternaire, il s'agit pour l'essentiel de puits peu profonds. Une demi-douzaine d'ouvrages ont également été identifiés sur le karst. Le niveau de l'Aude a été mesuré sur six points entre Cuxac d'Aude (amont de la zone d'étude) et Fleury d'Aude (Aval). Ces ouvrages sont repérés sur la carte, Illustration 27.

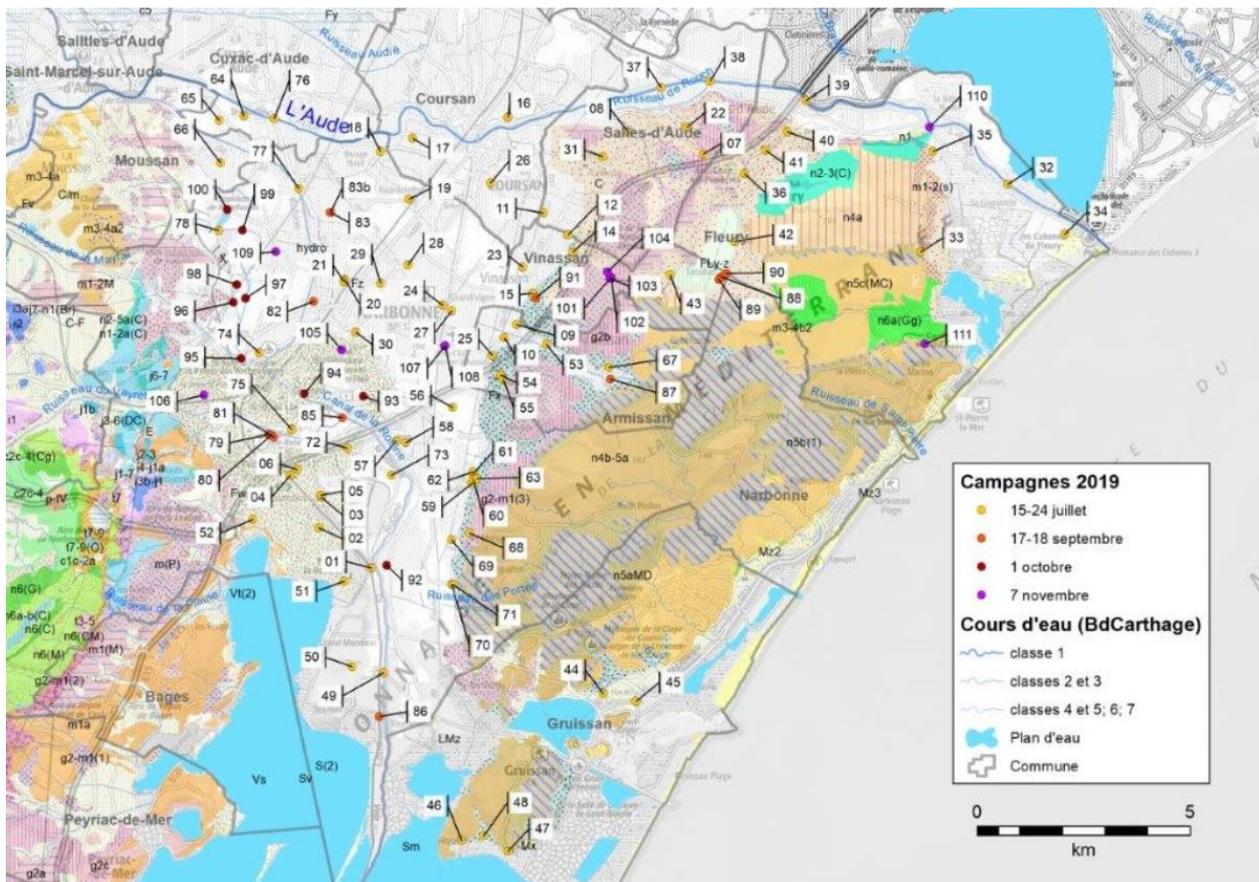


Illustration 27 - Localisation de l'ensemble des points identifiés.

Ces ouvrages sont identifiés dans l'illustration 28. La majorité de ces points ne sont pas déclarés à ce jour en BSS (environ 90). Nous les déclarerons prochainement.

NUM	NOM	NUM	NOM	NUM	NOM
01	Negret_01	39	Pont Fleury	77	Raonel
02	Negret_02	40	BouquetAv	78	Source Oeillale
03	Garcia	41	BouquetAm	79	Piscine Narbonne
04	Fabre_02	42	ULM1	80	St Crescent
05	Fabre_03 F	43	Marmoriere	81	St Crescent 2
06	Fabre_03 P	44	BSS002LRCM	82	Ribayrot
07	KMRF	45	Pompier	83	Courneau
08	Point Collins	46	Eveque1	83b	Courneau forage
09	Fuertes_02	47	Eveque2	84	Courneau 2
10	Fuertes_01	48	EvequeNoria	85	Fleisch
11	BSS002KMQT	49	EcluseMandirac	86	Tournebelle le neur
12	Candela	50	Castelou	87	Mayral
13	Candela F	51	Montfort	88	Taraillan A
14	Castillo	52	Furno	89	Taraillan B
15	Vinassan	53	Cazeneuve	90	Taraillan C
16	BSS002KMQW	54	Langel1	91	Ecole
17	BSS002KMNK	55	Langel2	92	Petit Craboulette
18	Petit Rivage	56	Mouton	93	Stade
19	BSS002KMHT	57	GrandRobert	94	Mosaïque
20	Keppler1	58	Azam	95	Castan
21	Keppler2	59	Ricardelette1	96	AE Ste Cécile
22	Lavoir Salles	60	RicardeletteArt	97	AE prairie
23	Chem. Vinassan	61	Ricardelette2	98	S71
24	Grande Vigne	62	Ricardelette3	99	S66
25	Long Champ	63	Ricardelette4	100	Opidum
26	Bennotti	64	Cuxac BRGM	101	Mader 1
27	Bayo	65	Grangette	102	Mader 2
28	Cathala	66	Moussan BRGM	103	Mader 3
29	Cazal	67	Cocquet	104	Mader forage
30	BSS002LRAL	68	Monges	105	Laglere
31	Puech	69	Monges2	106	INESS
32	Barrage antisel	70	Mongettes	107	Bellevue 1
33	Negly	71	Mongettes2	108	Bellevue 2
34	BSS002KMUS	72	Stcharles	109	Boutes
35	PAGEZE	73	Gleizes	110	puits Aude
36	Fleury Eglise	74	Garanciere	111	Œil Doux
37	Pont 11	75	Lune		
38	Pont 08	76	PontCuxac		

Illustration 28 - Ensemble des ouvrages identifiés pour l'étude comprenant une vingtaine de points déjà déclarés en BSS.

Lors de ces campagnes, les points identifiés ont été nivelés. Le niveau d'eau, la profondeur de l'ouvrage ainsi que la valeur de la conductivité électrique et la température ont été mesurés. Des informations plus qualitatives tels que le type d'usage de l'eau (arrosage du jardin, usage agricole, usage domestique etc...), la fréquence d'utilisation, les volumes pompés etc..., sont notées. L'adresse et les coordonnées du propriétaire sont renseignées. Ces éléments sont consignés sur une fiche terrain dont le modèle est fourni ci-dessous (Illustration 29).

Fiche terrain / Projet SALIN

Nom Commune Date Heure

Propriétaire

Tel1 Tel2

Adresse

Activité

Coord. XDD Coord. YDD Coord. XL93 Coord. YL93

BSS Num Nature

Forage :

Année de réalisation Tubage

Profondeur (m) Position crépines (m)

M.E. Entité

Usage :

AEP Domestique Agricole Industriel Jardins Autre usage iHS

Mode de prélèvement :

Pompage Robinet Autre

Niveau piezo (m) Repère Photos

Accès

Descriptif

Occupation des sols

Remarques

Accord de principe :

Illustration 29 - Modèle de fiche terrain.

5.2. CARTE PIÉZOMÉTRIQUE ESTIVALE PROVISOIRE

Les ouvrages ayant été nivelés et le niveau d'eau mesuré, il est possible d'obtenir le niveau piézométrique en m NGF. Aussi, la densité de point à l'échelle de la nappe alluviale (environ 100 points) semble suffisante pour établir une première carte piézométrique. Il s'agit, à ce stade de la première année du projet, de réaliser une carte piézométrique « provisoire » (Illustration 30), à partir des éléments observés sur le terrain. Elle a été établie par une méthode statistique. Elle devra permettre de définir dans les grands axes, les écoulements en place et également mettre en évidence les éventuels secteurs sur lesquels un manque d'information persiste. Ce travail servira de base à la suite de l'étude, notamment dans l'élaboration du réseau piézométrique. Deux cartes piézométriques (hautes eaux / basses eaux) plus complètes seront élaborées ultérieurement (année 2 ou 3).

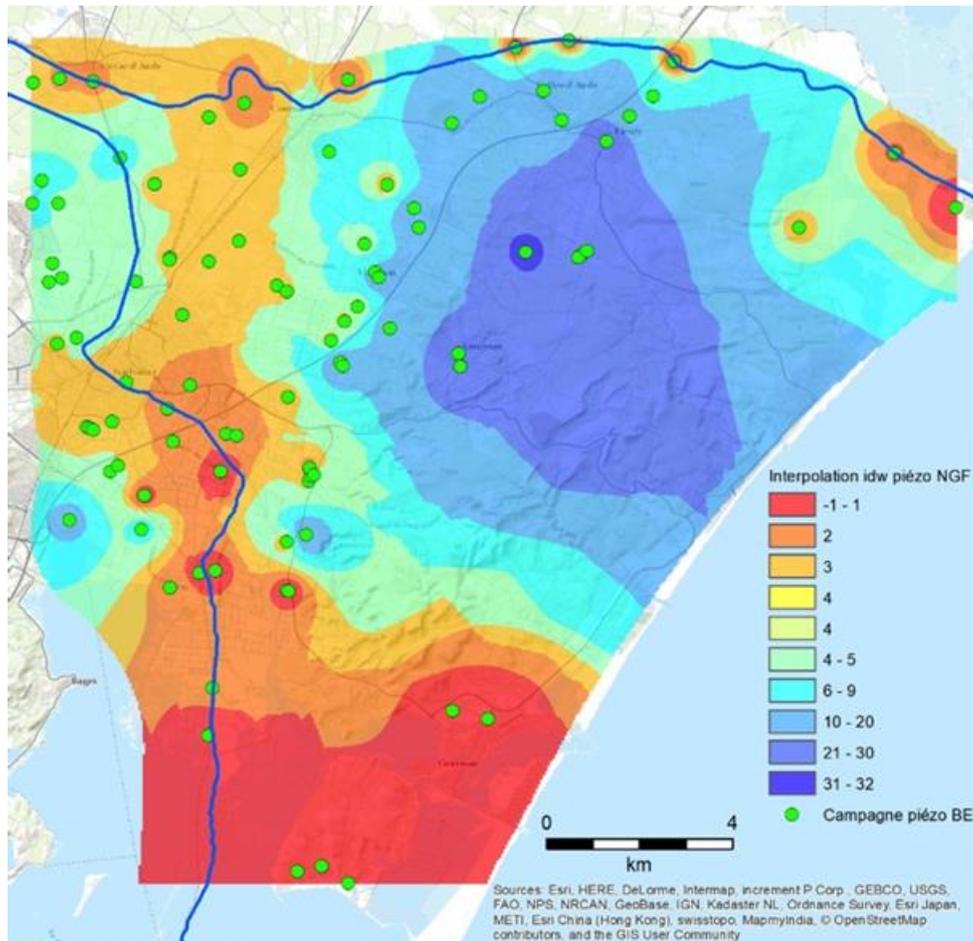


Illustration 30 - Carte piézométrique provisoire - été 2019.

Les éléments suivants, en condition estivale, ont pu être interprétés à partir de la carte piézométrique (Illustration 31) :

- le massif karstique de la Clape est caractérisé par des niveaux hauts. Il alimente la plaine quaternaire et constitue une barrière à l'écoulement de la nappe quaternaire vers la mer ;
- le karst de Montredon-Corbières (bordant la plaine Quaternaire à l'Ouest) alimente la nappe ;
- le Nord de la plaine est drainé par l'Aude ;
- la Roubine située en position haute alimente la plaine ;
- il existe un secteur caractérisé par des niveaux piézométriques très bas (inférieurs à 2 m NGF) où les écoulements sont limités ;
- sur ce secteur, il existe des échanges potentiels avec les eaux des étangs caractérisés par des niveaux proches de 0 m NGF.

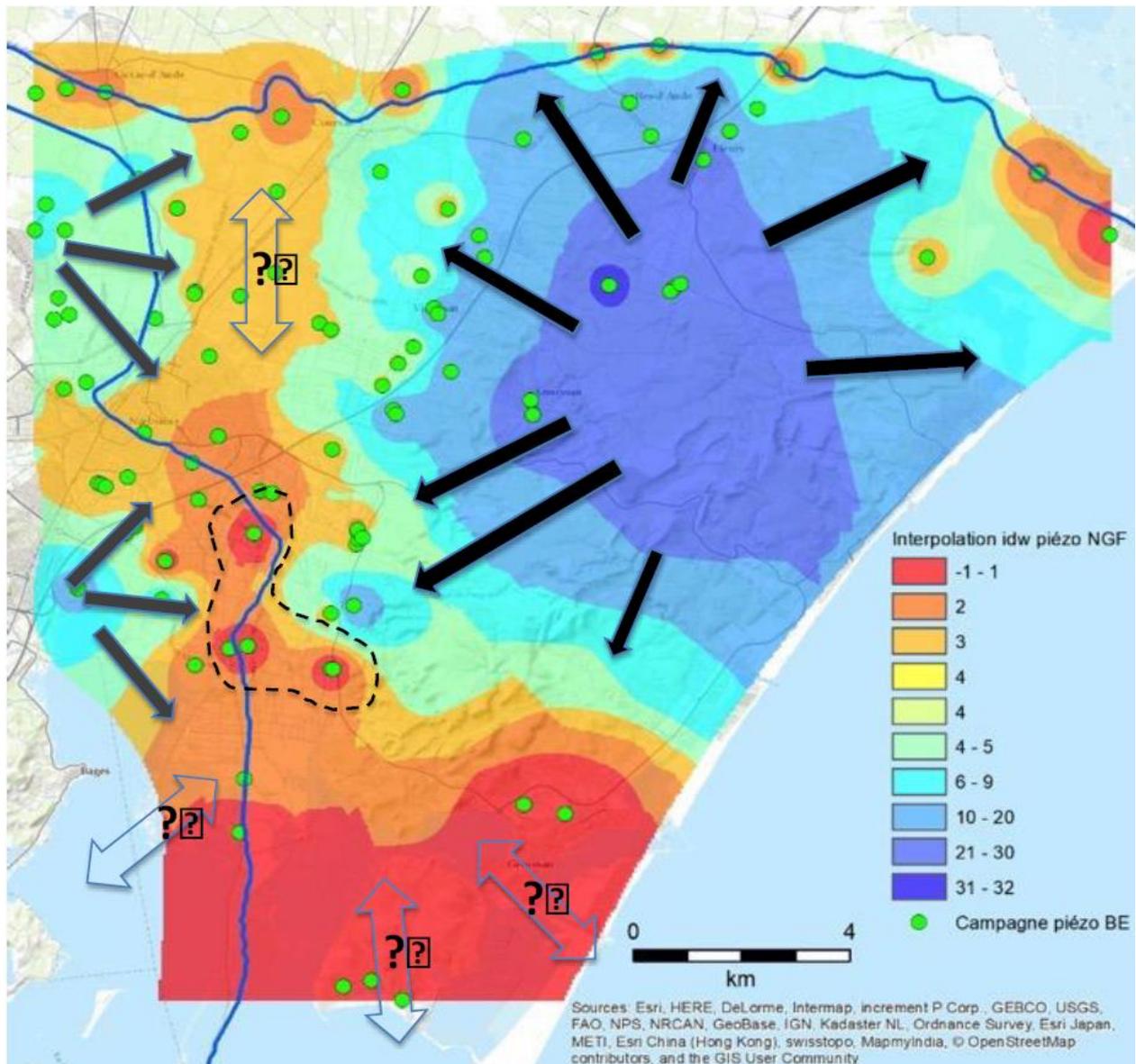


Illustration 31 - Analyse de la carte piézométrique.

5.3. CARTE CONDUCTIVITE ÉLECTRIQUE ESTIVALE PROVISOIRE

En complément de la carte piézométrique réalisée, une carte présentant les valeurs de la conductivité électrique des eaux souterraines relevée sur les ouvrages, a été élaborée (Illustration 32). Tout comme la carte piézométrique, il s'agit à ce stade d'une carte provisoire qui permet d'identifier les secteurs plus minéralisés. Elle sert donc de base à l'élaboration de l'étude à venir, en particulier la mise en place du réseau piézométrique / conductivité électrique. Deux cartes plus complètes, seront réalisées en hautes eaux et basses eaux durant les années 2 ou 3 du projet.

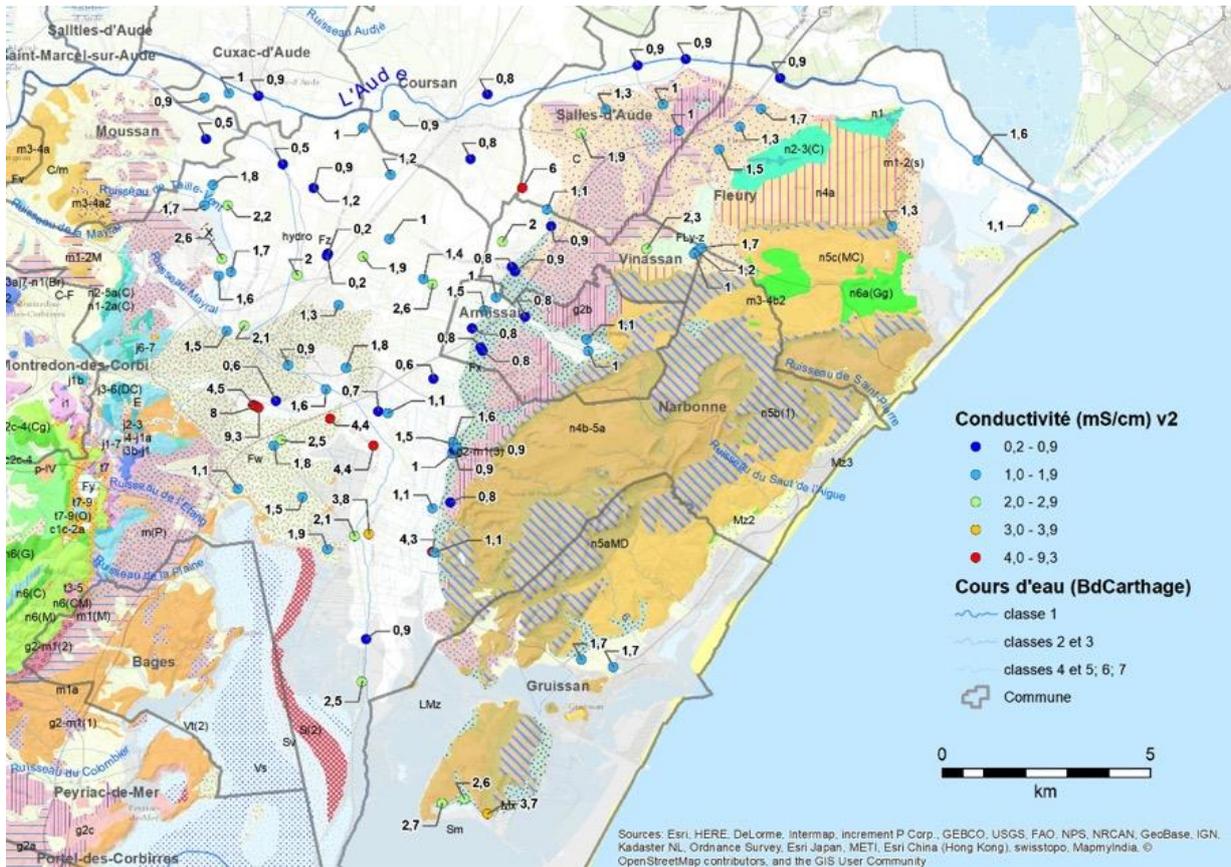


Illustration 32 - Conductivité électrique des eaux souterraines des ouvrages identifiés présentée sur la carte géologique.

Les éléments suivants peuvent être déduits de la carte suivante (Illustration 33) :

- les mesures sont comprises en 0,5 mS/cm (eau peu minéralisée) et 8 mS/cm (eau très minéralisée) ;
- le secteur le plus minéralisé est situé sur la zone caractérisée par les niveaux piézométriques bas (secteur noté « piscine Narbonne » sur la carte) ;
- sur ce secteur fortement minéralisé (Conductivité > 4 mS/cm), à proximité de la Robine, l'eau de la nappe est faiblement minéralisée (Conductivité < 1 mS/cm) attestant d'une alimentation de la Robine vers la nappe (voir carte piézo, Illustration 30) ;
- sur Ricardelle et les puits proches, plusieurs ouvrages situés à faible distance les uns des autres (< 50 m) présentent des valeurs de conductivité différentes (0,9 à 1,6 mS/cm, voir Illustration 33), alors qu'ils sont situés à des profondeurs voisines. Des investigations complémentaires seront réalisées afin de pouvoir expliquer cette différence de minéralisation ;
- la déchèterie (voir localisation Illustration 33) est caractérisée par une forte conductivité (6 mS/cm). Cette valeur est bien supérieure à celles des eaux mesurées sur le secteur. Les niveaux d'eau sont également plus bas qu'aux alentours. L'origine de la minéralisation n'est pas connue.

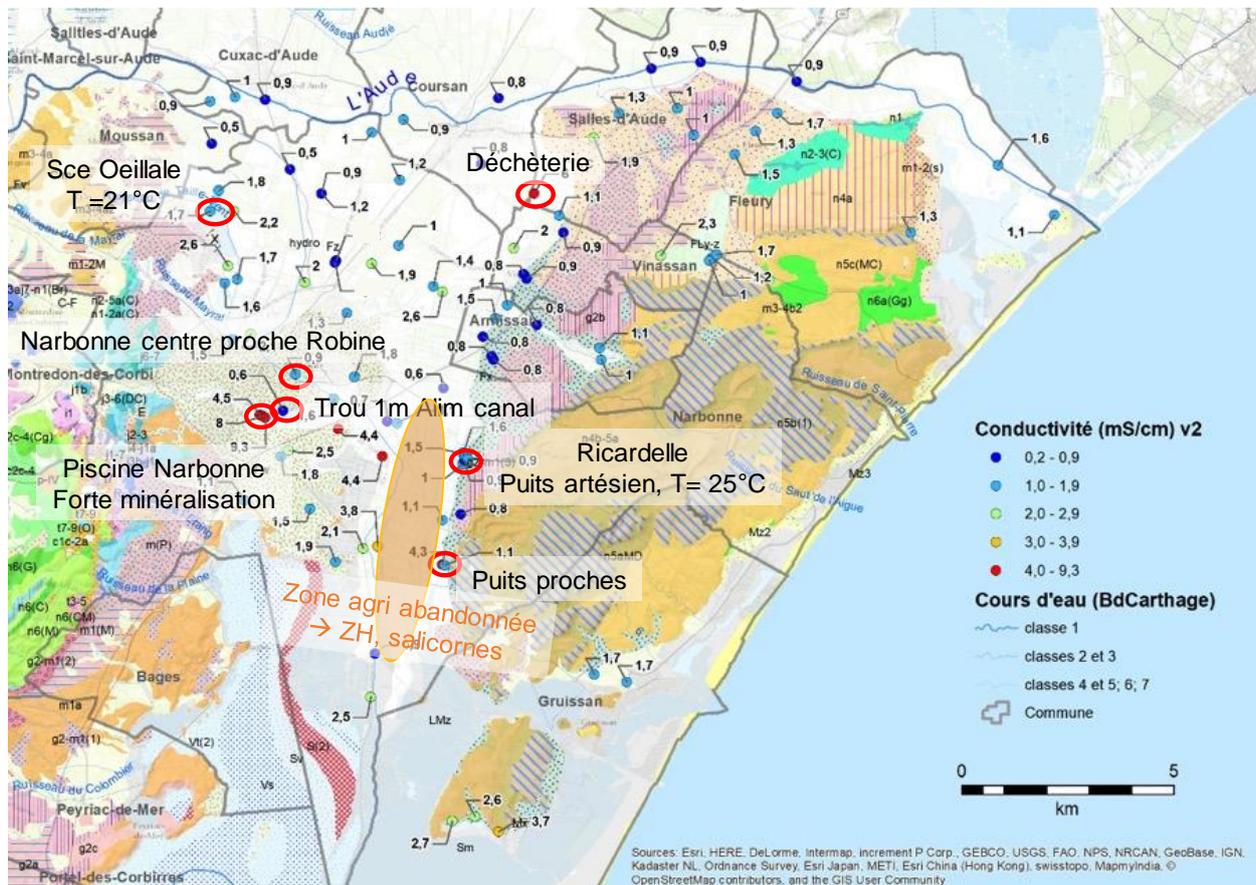


Illustration 33 - Analyse des données de conductivité électrique.

La confrontation des deux cartes (piézométrique et de conductivité électrique) montre que le secteur le plus minéralisé correspond au secteur caractérisé par les niveaux piézométriques bas. Il apparaît aussi qu'il existe une forte variabilité de la minéralisation à l'échelle du bassin de Narbonne-Signan.

Aussi, SupAgro a réalisé des sondages à la tarière. Lorsque le toit de la nappe a été recoupé la conductivité électrique de l'eau a été mesurée. Ainsi, 2 des sites présentent de très fortes minéralisations, comprises entre 30 et 50 mS/cm. Ces valeurs attestent de la présence d'une eau très salée (type eau de mer ?) localisée, visiblement localisés au sein d'horizons d'extension limités.

L'ensemble des éléments observés tend à poser l'hypothèse (que nous chercherons à vérifier par la suite grâce à des mesures complémentaires) que cette plaine alluviale est constituée d'un multicouche (que l'on peut imaginer comme un « mille-feuille ») caractérisé par plusieurs petites nappes partiellement isolées les unes des autres par des niveaux moins perméables. La qualité des eaux de ces différentes nappes diffère, avec des eaux peu minéralisées et des eaux très minéralisées. Les puits présents de par leur structure capteraient au final un mélange des eaux issues de ces différents aquifères. Pour les eaux très minéralisées, une hypothèse concerne le piégeage d'une eau de mer (ancienne ?). Les études à venir, notamment la campagne géochimique, devraient permettre d'étayer ou non cette hypothèse.

6. Mise en place du réseau de suivi piézométrique

Au vu des éléments déduits des cartes piézométriques et de conductivité électrique, le déploiement du réseau piézométrique est prévu selon les éléments présentés ci-dessous. Aussi, la réunion intermédiaire du projet était prévue en mars 2020. Un des objectifs était de valider avec les membres du CoPil, le projet de mise en place du réseau piézométrique. Compte tenu des conditions sanitaires liées au Covid 19, cette réunion a été annulée. Une note de synthèse reprenant les éléments précédemment exposés dans le rapport (partie 5), ainsi que le projet d'équipement envisagé ont été soumis par mail aux membres du CoPil. Une validation par retour de mail a été demandée. Seule la DREAL et le PNR y ont répondu, fournissant un avis favorable au déploiement envisagé. La commande du matériel a ainsi été lancée en mars, le matériel devrait être mis en place au cours de l'été 2020 si les conditions sanitaires le permettent.

6.1. CARACTÉRISTIQUES DU RÉSEAU PIÉZOMÉTRIQUE

Le réseau piézométrique permettra de suivre :

- l'alimentation par les massifs bordiers ;
- le fonctionnement à proximité de l'Aude ;
- les relations de la nappe avec les canaux d'irrigations (en particulier le canal de la Robine) ;
- les transferts verticaux à l'échelle d'une parcelle expérimentale.

Compte tenu de la structure « multicouches » de l'aquifère, le suivi de puits ne semble pas adapté, du fait du mélange des eaux des différents horizons dans le puits, pour le suivi en continu. Pour le réseau, les forages ou piézomètres sont donc privilégiés. Ils sont toutefois peu nombreux, impliquant la réalisation de nouveaux piézomètres (initialement non prévus).

Dans le cadre de la réalisation de cartes piézométriques à l'échelle de la nappe, l'utilisation des puits est recevable. En effet, les niveaux perméables doivent assurer à grande distance la connexion des nappes quaternaires et donc l'obtention d'un niveau piézométrique représentatif.

SupAgro Montpellier et le BRGM souhaitent donc réaliser le suivi selon 2 transects d'orientation globalement WE et NS. Ces transects recoupent ainsi le bassin. L'objectif est donc de caractériser les flux, notamment verticaux. C'est pourquoi une parcelle expérimentale a été identifiée à proximité du canal de la Robine. Un dispositif en flûte de pan (piézomètres étagés à plusieurs profondeurs) sera réalisé, avec 3 profondeurs suivies : inférieure à 2 m, 4 m et 10 m. Des essais d'injection type « slug tests » seront réalisés sur ces ouvrages afin de caractériser leur perméabilité ainsi que les relations avec le canal (essai de pompage si les conditions techniques le permettent).

Les sites envisagés sont localisés dans l'illustration 34.

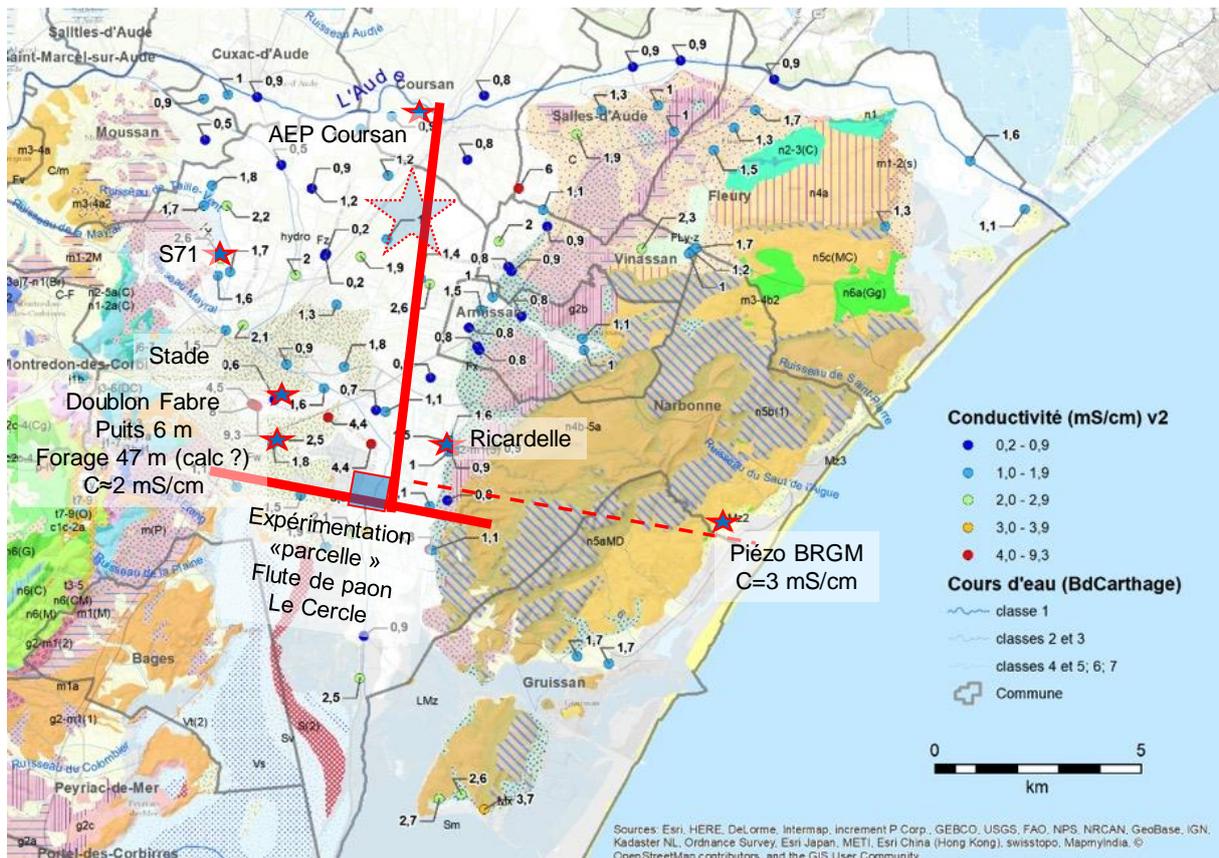


Illustration 34 - Proposition de suivi piézométrique / conductivité.

6.2. PRÉSENTATION DU TRANSEC W-E

Ainsi pour le transect W-E il est prévu de suivre en niveau et conductivité de l'Ouest vers l'Est :

- 1.a- Le forage profond chez Mr Fabre (47 m) ;
- 1.b- Le puits de 6 m chez Mr Fabre dans le Quaternaire ;
- 2- Le piézomètre du stade profond de 7 m situé à proximité du forage utilisé pour l'arrosage du stade ;
- 3- 3 piézomètres en flûte de pan. Les profondeurs envisagées sont comprises entre moins de 2 m pour le 1^{er} ouvrage (utile pour le suivi des phases de submersion) et une dizaine de m pour le plus profond. Cette parcelle expérimentale appartenant au Conservatoire du Littoral, est située sur le secteur du Cercle, en bordure de la Robine ;
- 4- Suivi de la conductivité électrique sur le puits artésien de Ricardelle, situé en bordure du karst de la Clape ;
- 5- Le piézomètre (10613X0036/INRA) profond de 95 m dans les formations du Crétacé inférieur sur le massif de la Clape ;

Des logs de conductivité électrique seront réalisés sur chacun des ouvrages avant la mise en place des centrales, afin de positionner les sondes au niveau des horizons les plus minéralisés.

6.3. PRÉSENTATION DU TRANSEC N-S

Pour le transect N-S, les sites du nord au sud sont :

- 1- Le puits AEP de Coursan (10396X0075/AEP-F2) de 10 m de profondeur situé à proximité de l'Aude ;
- 2- Le piézomètre S71 profond de 9 m localisé à proximité du massif de Montredon-Corbières ;
- 3- Un piézomètre de 5 à 10 m à réaliser sur le secteur de la grosse étoile bleue (Illustration 34), le site est en cours d'identification en lien avec le monde agricole. Il n'y a pas en effet de parcelles publiques appartenant aux partenaires du projet sur le secteur.

Ce qui représente au total 11 points de suivi, sur 8 sites.

6.4. ÉLÉMENTS GÉOLOGIQUES À PROXIMITÉ DES 8 SITES

À partir des informations issues de la BSS, et d'une inspection caméra des ouvrages lorsque cela était possible (mars 2020), une caractérisation de la géologie et des ouvrages sur les 8 sites est proposée, ci-après.

6.4.1. Site 1 - Fabre

Ce secteur est localisé au sud de Narbonne et de l'A9, à proximité de cet axe routier. Les ouvrages ne sont pas déclarés en BSS et le propriétaire ne possède pas d'information géologique sur le forage profond de 47 m (reconnaissance de la profondeur, mais la caméra bloquée à 35 m n'a pas pu descendre plus en profondeur pour filmer le forage.

Deux forages profonds de 65 m localisés au cœur de Narbonne (10612X0092 et 10602X0059) présentent les informations géologiques suivantes :

- 0 à 8 m : alluvial (mélange de graviers, sables et argile) ;
- 8 à 60/65 m : marnes bleues de l'Helvétien ;
- à partir de 60/65 m : grès gris aquifère.

Compte tenu du manque d'information, il est possible que l'aquifère recoupé sur le forage profond de Fabre corresponde à ces formations.

Pour le puits de 6 m, il est dans les formations alluviales du Quaternaire.

6.4.2. Site 2 - Stade de Narbonne

Il y a un forage de grand diamètre utilisé pour l'arrosage du stade et à côté un piézomètre de contrôle. Ces ouvrages ne sont pas déclarés en BSS. Le piézomètre de 7 m est localisé dans les formations alluviales quaternaires.

6.4.3. Site 3- Parcelle expérimentale secteur du Cercle

Une parcelle agricole en bordure du canal de la Robine et appartenant au Conservatoire du Littoral est envisagée (Illustration 35). Ce secteur est particulièrement intéressant car il existe une activité agricole importante, qui d'après les acteurs locaux perdure, grâce aux phases de submersions. L'eau souterraine est en effet de mauvaise qualité (salinité excessive), elle n'est pas utilisée pour l'agriculture.



Illustration 35 - Parcelles secteur du Cercle.

Localement l'aquifère quaternaire présente une épaisseur importante, supérieure à 20 m. Le forage 10612X0006 situé à proximité, sur le domaine de Craboules, atteste de la présence d'une alternance de sable et de vase, probablement en lien avec une sédimentation de type lagunaire.

N°		PROFONDEURS	NATURE DES TERRAINS.	INTERPRÉTATION	CÔTE.
DR		à			
1	0	3,75	Vase argileuse.	a ²⁻¹	
2	3,75	6,30	Vase sableux.		
3	6,30	8,90	Sable et mousses de vase.		
4	8,90	9,20	Sable graveleux et vaseux.		
5	9,20	9,70	Vase sableux.		
6	9,70	10,24	Sable fin, peu vaseux.		
7	10,24	10,54	Gravier peu vaseux.		
8	10,54	14,92	Sable vaseux.		
9	14,92	15,75	Sable vaseux.		
10	15,75	16,00	Sécher végétal noir.		
11	16,00	17,20	Sable vaseux.		
12	17,20	18,70	Sable légèrement argileux.		
13	18,70	20,25	Sable et gravier vaseux.		
14	20,25	20,70	Sable argileux vaseux.		
15	20,70	20,80	Sable vaseux.		
16	20,80	20,90	Sable fin, plus fin.		
17	20,90	21,20	Sable vaseux.		
18	au-dessous de 21,20		Masse bleue.	m ^{3a}	

Illustration 36 - Log géologique du piézomètre 10612X0006.

6.4.4. Site 4- Ricardelle

Un puits artésien peu profond (1 m) fournit une eau de bonne qualité (au vu de la mesure réalisée en juillet 2019). À proximité, 4 autres puits plus profonds sont présents, les minéralisations diffèrent les uns des autres (conductivité comprise entre 0,9 et 1,6 mS/cm). Sur les parcelles de vigne, de nombreux rond de sel sont observés.

Ce lieu-dit est à proximité du massif de la Clape. L'épaisseur du Quaternaire doit être limitée. Il n'y a malheureusement pas de points avec un log géologique situé à proximité.

6.4.5. Site 5- Piézomètre massif de la Clape 10613X0036/INRA

Il s'agit d'un piézomètre appartenant au réseau de suivi DCE/OFB. Le projet pourra ainsi bénéficier de l'historique des chroniques sur cet ouvrage (près de 20 ans). La mesure de la conductivité électrique viendra ainsi compléter ce suivi. La nouvelle sonde mesurera 95 m, l'ouvrage étant tubé plein jusqu'à cette profondeur puis en trou nu de 95 à 95,5 m (observé lors de l'inspection caméra).

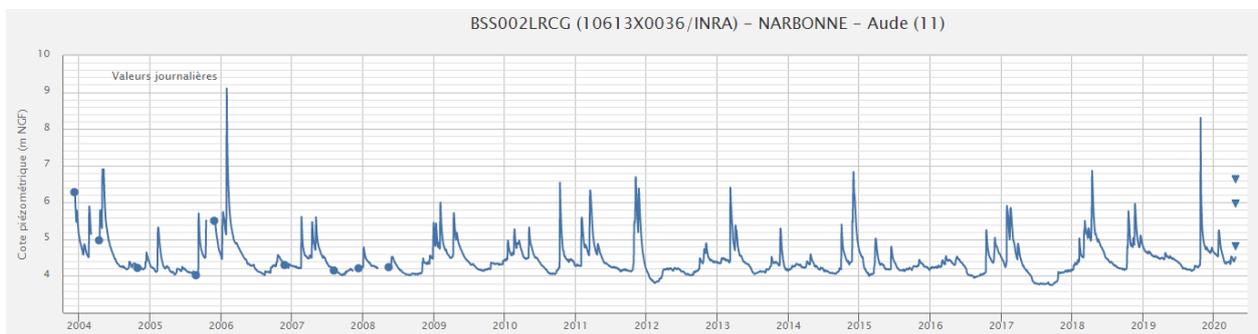


Illustration 37 - Chronique piézométrique du piézomètre 10613X0036/INRA.

6.4.6. Site 6- Captage AEP Coursan10396X0075/AEP-F2

Ce puits profond de 10,4 m est dans les alluvions quaternaires. Sur ce secteur le Quaternaire a une épaisseur supérieure à 10 m.



Illustration 38 - Captage AEP Courasan (10396X0075/AEP-F2).

6.4.7. Site 7- Piézomètre S71

Ce piézomètre situé à proximité du site de Comurhex appartient à la mairie de Narbonne. Il permettra de suivre ce secteur alimenté par le massif de Montredon. Il est crépiné de 3 à 9 m (résultats de l'inspection caméra). Nous n'avons pas d'informations géologiques, l'ouvrage n'est pas déclaré en BSS. Il existe 3 ouvrages à proximité (10396X0161, 10396X0049 et 10396X0006) permettant de caractériser la géologie du secteur. Ils sont localisés dans l'illustration 40. Les logs de ces forages sont fournis sur l'illustration 39.

0-7,5 m : limon argileux	0-10,5 m : alluvions/argile vert bleu	0-6,2 m : limon sableux argileux
7,5-9,6 m : sables, galets, graviers	10,5-55 m : marnes, conglomérats coquilliers	6,2-16 m : alluvions, sables et galets
9,6-13 m : argile rouge (Oligo-Miocène)	Miocène	16-18,1 m : bloc de roche cristalline
	55-69 m : grès et marnes grises à coquilles	18,1-18,6 m : marne bleue Helvétien

Illustration 39 - Log géologique des ouvrages 10396X0161, 10396X0049 et 10396X0006.

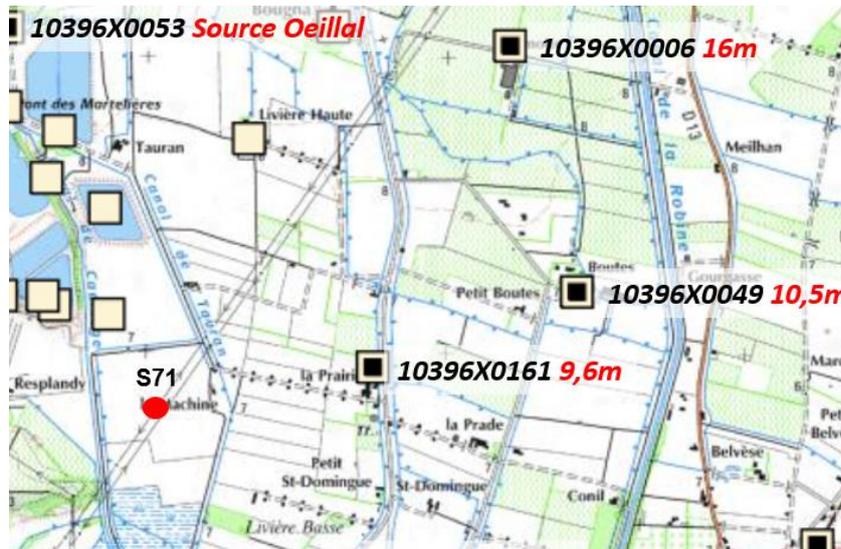


Illustration 40 - Localisation des ouvrages à proximité du piézomètre S71, avec l'épaisseur du Quaternaire.

6.4.8. Site 8- secteur à définir au Sud de Coursan

Ce site doit venir compléter le transect N-S. Le Sud de Coursan est envisagé. Le Quaternaire a une épaisseur comprise entre 10 et 15 m (voir carte épaisseur Quaternaire). Le site sera choisi prochainement.

6.5. MISE EN PLACE

Pour compléter les ouvrages actuellement présents et envisagés pour le suivi, 3 forages en flûte de pan seront réalisés sur la parcelle expérimentale. Les 2 premiers, peu profonds, seront réalisés à la tarière manuelle. La profondeur du 3^{ème} sera comprise entre 10 et 15 m, une entreprise de forage sera ainsi sollicitée.

Pour le dernier site qui n'est pas encore choisi, un piézomètre de 10 à 15 m de profondeur sera également réalisé par une entreprise de forage.

Ces piézomètres devraient être ainsi réalisés au cours de l'été 2020. Le matériel constitué de dipper PTEC de la marque SEBA (mesure de la pression, conductivité électrique et température) sera déployé également au cours de l'été 2020.

7. Conclusion et perspectives

Cette première année de projet a permis de récolter les premières données sur la salinité des sols et des eaux souterraines de la zone d'étude. Les niveaux de salinité relevés dans les sols montrent des valeurs élevées structurées par la proximité aux étangs et avec la profondeur. Toutefois au-delà de ces grandes tendances prévisibles, il existe une hétérogénéité qu'il conviendra d'expliquer dans le futur, tout comme les comparaisons saisonnières. Un traitement plus approfondi des données acquises est nécessaire. De nouvelles campagnes spatialisées sont prévues sur l'année 2020 pour enrichir le jeu de données existant.

Concernant la nappe quaternaire, la première campagne piézométrique et de conductivité électrique réalisée au cours de l'été 2019 a permis de définir les grands axes d'écoulements ainsi que les secteurs les plus minéralisés.

Ainsi, le massif karstique de la Clape alimente la plaine quaternaire et constitue une barrière à l'écoulement vers la mer, le Nord de la plaine est drainé par l'Aude et la zone au Sud de Narbonne est caractérisée par des niveaux piézométriques très bas (inférieurs à 2 m NGF). Les écoulements y sont limités, ce secteur est associé aux plus fortes minéralisations observées, des communications avec les étangs côtiers sont envisagées.

Les cartes réalisées (piézométrique et de conductivité électrique) ont permis (a) d'identifier des secteurs sur lesquels des investigations complémentaires étaient nécessaires et (b) de proposer un suivi piézométrique à mettre en place. Ce dernier sera ainsi déployé au cours de l'été 2020.

En complément de cette instrumentation, une campagne de mesure du réseau de surface sera réalisée également au cours de l'été à venir. L'échantillonnage des sols et des eaux de surface se poursuivra au cours de l'année 2 du projet et débutera avec la campagne estivale.

Enfin, la caractérisation du régime hydro-climatique de l'Aude et le bilan des grands prélèvements, initialement prévue lors de la première année du projet, est reportée à l'année 2.

8. Bibliographie

- Barthès, J.P. et al.** (1999) - Référentiel pédologique de la France. *Pédopaysages de l'Aude*. Échelle au 1/250 000. INRA-ENSA, Sciences du Sol Montpellier. 196 p.
- Bless, E.** (2019) - Agricultural land salinisation in coastal area : soil and water analysis from landscape to soil aggregate. Thèse de doctorat Montpellier SupAgro, 192 p.
- Couëffé, R., Badinier, G., Fleury, P.** (2013) - Site COMURHEX de Malvésii (Aude) : Synthèse géologique et hydrogéologique à partir des données existantes. Rapport BRGM confidentiel, 76 p., 40 fig.
- FAO** (1988) - Salt-Affected Soils and their Management. FAO Soil Bulletin 39.
<http://www.fao.org/3/x5871e/x5871e00.htm>
- Gorini, C.** (1989) - La tectonique oligo-miocène dans le fossé de Narbonne-Sigean (Aude, France). Mémoire de DEA, Université de Toulouse.
- Gorini, C., Viallard, P., Déramond, J.** (1991) - Modèle d'inversion structurale négative : la tectonique extensive post-nappe du fossé de Narbonne-Sigean (Corbières, Sud de la France). *Compte-Rendu de l'Académie des Sciences, Paris, Tome 312, Série II*, p. 1013-1019.
- Guennoc, P., Gorini, C., Mauffret, A.** (2000) - Histoire géologique du Golfe du Lion et cartographie du rift oligo-aquitainien et de la surface messinienne. *Géologie de la France*, n° 3, p. 67-97.
- Séranne, M., Benedicto, A., Labaum, P., Truffert, C., Pascal, G.** (1995) - Structural style and evolution of the Gulf of Lion Oligo-Miocene rifting: role of the Pyrenean orogeny. *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 12, p. 809-820.
- Séranne, M.** (1999) - The Gulf of Lion continental margin (NW Mediterranean) revisited by IBS: an overview. *In: Durand, B., Jolivet L., Horvath G.F. Seranne M. (Eds), The Mediterranean Basin: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geological Society, London, Special Publications*, Vol. 156, p. 15-36.

Annexe 1

Plaquette « présentation du projet SALIN »

Comment participer ?

Enquête sur la salinisation des sols :

Vous estimez que vous subissez un risque de salinité (faible, modéré, fort) et vous souhaitez le caractériser, la réalisation d'une analyse de sol est possible et gratuite :

- Effectuer un prélèvement de surface (300 à 400 cm³) dans un sachet
- Localiser votre prélèvement (avec votre smartphone : coordonnées GPS ou photo géolocalisée ou sur papier : croix sur un plan cadastral ou une carte topographique 1/25.000)
- Contactez-nous : Montpellier SupAgro (adresse ci-contre) et déposez votre échantillon à l'antenne de la Chambre d'Agriculture à Narbonne (04 68 41 20 87).

Enquête sur la salinisation des nappes :

Si vous possédez un forage ou un puits accessible, contactez le BRGM (adresse ci-contre), nous prendrons rdv pour venir mesurer le niveau d'eau et la conductivité électrique de l'eau.

Aussi, lors du second trimestre 2019 nous réaliserons une campagne de terrain. Nous nous rendrons chez les particuliers, les exploitants agricoles et industriels pour réaliser les mesures et échantillonnage en accord avec ces derniers.



Projet porté par :



Co-financeurs :



Partenaires :



CONTACTS SCIENTIFIQUES :

Perrine FLEURY (BRGM) : 04.67.15.79.68
p.fleury@brgm.fr

François COLIN (SupAgro) : 04.99.61.22.51
colinf@supagro.fr

ENQUÊTE DE TERRAIN

Avant Projet SALIN

Salinisation des Aquifères Littoraux de la Narbonnaise

Caractérisation des phénomènes de salinisation



Mise en place d'un suivi de la salinité sur la Basse Vallée de l'Aude

- Projet S.A.L.I.N. - (*Salinisation des Aquifères Littoraux de la Narbonnaise*)

Pourquoi ?

Actuellement, sur certains secteurs de la basse vallée de l'Aude, de fortes teneurs en salinité sont observées dans les sols et la nappe phréatique. Aussi, en contexte de changement climatique (hausse du niveau marin, augmentation des températures engendrant une réduction de la recharge des nappes), une extension des surfaces impactées est à craindre.

Cette salinisation occasionne d'importants dommages, tant dans le domaine de l'agriculture (déperissement de certaines cultures, telles que la vigne) que sur la ressource en eau potable (augmentation de la minéralisation, risquant à terme de détériorer la qualité de l'eau), sans oublier l'impact sur les espaces naturels littoraux (modification du milieu se répercutant sur les espèces animales et végétales).

Pour pouvoir agir sur cette salinisation, il est nécessaire de caractériser les secteurs impactés et comprendre le fonctionnement des sols et du système hydrogéologique de la basse Vallée de l'Aude.

Les deux organismes publics de recherche : le BRGM et Montpellier SupAgro se sont associés pour réaliser les études adaptées dans le cadre du projet SALIN. Ce dernier est porté par le Parc naturel régional de la Narbonnaise en Méditerranée (PNR) et la Communauté d'Agglomération du Grand Narbonne. Il débutera en mai 2019 pour une durée de 3 ans.

Comment ?

Le programme de recherche sera conduit en 4 phases :

- Réalisation d'un état des lieux sur l'état qualitatif des sols et de la nappe quaternaire sous-jacente.
- Caractérisation du fonctionnement hydrogéologique de la nappe, des relation sol/nappe, définition des différents termes du bilan hydrologique et de l'origine de la salinité.
- Evaluation des impacts du changement climatique sur l'état quantitatif et qualitatif du système (en particulier, évaluation de l'évolution de la salinité). Approche de l'impact des pratiques actuelles de gestion des espaces agricoles et non agricoles sur la salinité.
- Proposition de scénarios d'adaptation, pour concevoir notamment une agriculture durable, un maintien de la qualité de l'eau de la nappe et un bon état des espaces naturels.

Phase 1- Etat des lieux :

Un état des lieux sera réalisé, à la fois sur les sols et la nappe quaternaire.

- Sol

Echantillonnage de grande ampleur des sols afin de couvrir l'ensemble de la zone d'étude et de capter les éventuelles différences d'état de salinité à courte distance imputables à la gestion passée, aux aménagements et actions de lutte anti-sel.

Les sols seront appréhendés par des mesures en surface mais aussi en profondeur sur les premiers mètres.

Une ambition de ce projet est d'associer tous les acteurs de la zone d'étude au processus de diagnostic de salinité des sols. Dans ce but, nous souhaitons nous appuyer sur la force d'échantillonnage que représente les acteurs de terrain et sur les connaissances locales qui seront partagées en réunions publiques sur la base des résultats scientifiques.

Une part importante sera donnée à des suivis de végétation en concomitance des mesures de salinité. En effet, on peut penser qu'à terme ils pourront s'avérer précieux comme indicateurs de l'état et de l'évolution de la salinité des sols.

- Nappe Quaternaire

Réalisation d'une campagne de prospection visant à identifier un maximum de puits ou forages accessibles (>100) captant l'aquifère Quaternaire. Une première identification des ouvrages sera réalisée à partir de la base de donnée du sous-sol (BSS) disponible sur le site internet Infoterre (<http://infoterre.brgm.fr/>).

Une campagne de terrain permettra d'identifier les ouvrages référencés et d'en identifier de nouveaux. Les particuliers, exploitants agricoles et industriels volontaires seront sollicités. Des mesures de niveau d'eau et de conductivité électrique (permettant de caractériser la minéralisation de l'eau) seront réalisées dans les ouvrages. Ce travail permettra d'établir une cartographie de la salinisation de la nappe.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

Direction régionale OCCITANIE
1039 rue de Pinville
34 000 Montpellier
Tél. : 04 67 15 79 90