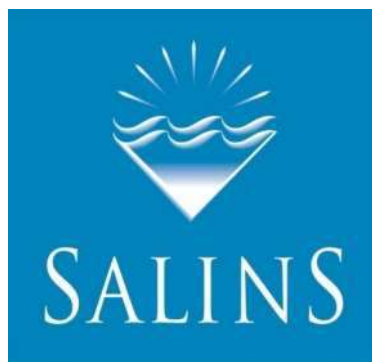


**Compagnie des Salins du
Midi et des Salines de l'Est**

Projet de sondages S-221 et S-321 sur la concession de SAINT PANDELON (40)

**Demande d'autorisation d'ouverture de
travaux miniers**

Pièce E : Etude d'impact environnemental



Décembre 2021



**Antea Group
Agence Grand-Ouest
Immeuble Tertio-pôle – Entrée A3
61 rue Jean Briaud – CS60054
33692 Mérignac Cedex**

Fiche Signalétique

Projet de sondages S-221 et S-321 sur la concession de SAINT PANDELON (40) Pièce E : Etude d'impact environnemental

CLIENT

Raison sociale	Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est
Coordonnées	92-98 Boulevard Victor Hugo 92115 Clichy
Contact / Destinataire	M. Dominique DUPUIS - 05 58 56 44 02 / 06 58 06 61 76 ddupuis@salins.com M. Emmanuel HERTZ – 03 83 18 73 57 / 06 80 07 96 31 ehertz@salins.com

SITE D'INTERVENTION

Raison sociale	Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est
Coordonnées	<u>Site de Dax :</u> 4, rue des salines 40102 DAX cedex
Famille d'activité	Sondage
Domaine Antea Group	Environnement

DOCUMENT

Date de remise	Aout 2021
Nombre d'exemplaire remis	1
Pièces jointes	-
Responsable Commercial	Marc Bazin

N° Rapport/ N°Projet	106513 / AQUP150388
Révision	VA

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	Gaëtan Chevalier-Lemire	Hydrogéologue Chef de Projets	Décembre 2021	
	Maud Parize	Ingénieur projets		
Vérification	Marc Bazin	Responsable d'activité Dossiers réglementaires, audit et conseil	Aout 2021	

Sommaire

1	Acteurs du projet	10
1.1	Maître d'ouvrage	10
1.2	Expertise environnementale	10
2	Préambule.....	11
2.1	Contexte du projet.....	11
2.2	Localisation du projet	11
2.3	Cadre réglementaire.....	12
3	Etat initial du site et de son environnement	15
3.1	Présentation des aires d'étude.....	15
3.2	Définition des sensibilités et des enjeux environnementaux	15
3.3	Hiérarchisation préliminaire des enjeux environnementaux vis-à-vis du projet.....	16
3.4	Milieu physique	18
3.4.1	Topographie	18
3.4.2	Contexte climatique	18
3.4.3	Contexte géologique	19
3.4.4	Eaux souterraines	30
3.4.5	Eaux superficielles	33
3.4.6	Zonages réglementaires et de planification liés à l'eau.....	39
3.4.7	Usage de l'eau	40
3.4.8	Conclusion sur la sensibilité vis-à-vis du contexte hydrogéologique et hydrographique	41
3.4.9	Qualité de l'air	42
3.5	Milieu naturel	42
3.5.1	Contexte réglementaire	42
3.5.2	Site du réseau Natura 2000 : Les Barthes de l'Adour (FR7200720).....	43
3.5.3	Zones d'intérêt écologique, floristique et faunistique.....	44
3.5.4	Caractérisation du milieu naturel sur le site	45
3.6	Patrimoine et paysages	54
3.6.1	Protections règlementaires.....	54
3.6.2	Paysage.....	54
3.7	Risques majeurs.....	58
3.7.1	Qu'est-ce qu'un risque majeur ?.....	58

3.7.2	Risques naturels	58
3.7.3	Risques technologiques.....	60
3.7.4	Synthèse des risques majeurs	61
3.8	Milieu humain.....	61
3.8.1	Démographie.....	61
3.8.2	Occupation du sol.....	61
3.8.3	Agriculture.....	62
3.8.4	Activités industrielles	63
3.8.5	Documents de planification et d'urbanisme.....	63
3.8.6	Servitudes.....	64
3.8.7	Réseaux	64
3.8.8	Infrastructures de transport.....	65
3.8.9	Ambiance sonore	65
3.9	Synthèse de l'état initial	66
4	Descriptif détaillé du projet	70
4.1	Principe d'exploitation.....	70
4.2	Raisons du choix du projet	71
4.2.1	Contexte	71
4.2.2	Raisons du choix du site d'implantation	71
4.2.3	Raisons du choix du projet	72
4.3	Projet retenu.....	76
4.3.1	Localisation des sondages	76
4.3.2	Phase 1 : travaux d'infrastructures	80
4.3.3	Phase 2 : travaux de forage et d'équipement du puits d'exploitation	86
4.3.4	Phase 3 : exploitation du puits	88
4.3.5	Phase 4 : fin d'exploitation du puits.....	89
4.3.6	Durée des travaux	90
5	Analyse des impacts sur l'environnement et proposition de mesures environnementales.....	90
5.1	Impacts et mesures sur le milieu physique	91
5.1.1	Impacts et mesures sur la consommation énergétique, le climat et la qualité de l'air.....	91
5.1.2	Impacts et mesures sur la topographie et les sols.....	92
5.1.3	Impacts et mesures sur la consommation de ressources naturelles.....	94
5.1.4	Impacts et mesures sur la ressource en eau et ses usages.....	94
5.2	Impacts et mesures sur le milieu naturel	96

5.2.1	Impacts	98
5.2.2	Mesures.....	103
5.2.3	Incidences résiduelles	106
5.2.4	Synthèse des incidences et mesures.....	107
5.2.5	Mesures compensatoires	107
5.2.6	Mesure d'accompagnement : suivi écologique après travaux	107
5.3	Impacts et mesures sur le patrimoine et le paysage.....	108
5.4	Impacts et mesures sur le milieu humain	108
5.4.1	Impacts et mesures sur les risques majeurs	108
5.4.2	Impacts et mesures sur l'occupation du sol et les activités.....	109
5.4.3	Impacts et mesures sur les réseaux	109
5.4.4	Impacts et mesures sur les infrastructures de transport.....	110
5.4.5	Impacts et mesures sur l'ambiance sonore	111
5.4.6	Fin d'exploitation.....	113
5.4.7	Synthèse des impacts et mesures	114
5.5	Compatibilité avec les documents de planification et d'urbanisme	118
5.6	Estimation du coût des mesures en faveur de l'environnement	118
5.7	Analyse des effets cumulés du projet avec d'autres projets connus.....	119
5.8	Evaluation (simplifiée) des incidences du projet sur les sites Natura 2000.....	120
5.8.1	Sites Natura 2000	120
5.8.2	Incidences sur les sites Natura 2000	121
5.9	Comparaison de scénario « avec projet » et du scénario « de référence » (sans projet).....	122
5.10	Méthodologie	122
5.11	Difficultés rencontrées pour élaborer cette étude d'impact	123

Table des illustrations

FIGURES

Figure 1 : Limite de la concession de Saint-Pandelon (source : CSME)	11
Figure 2 : Situation de la zone de production, du saumoduc et de l'usine de Dax (source : CSME)	12
Figure 3 : Localisation des aires d'étude immédiate et rapprochée du projet (source : Géoportail)	15
Figure 4 : Échelle d'évaluation de l'importance des enjeux environnementaux.....	16
Figure 5 : Normales climatiques période 2005-2015 – Station météorologique de Dax	19
Figure 6 : Extrait de la carte géologique de Dax n°977 au 1/50 000 (source : BRGM)	20
Figure 7 : coupe horizontale du Trias extraite du modèle géologique 3D passant par les sondages DACR3 et 6, BE2 et 3 (Wicquart et al., 2013).....	21
Figure 8 : coupe géologique extraite du modèle géologique 3D passant par les puits BE2, BE3, DACR3 et 6 (Wicquart et al 2013)	22
Figure 9 : emplacement des anciens travaux miniers (sous le lac actuel) et des cinq cavités	26
Figure 10 : vue vers l'Est des cinq cavités	26
Figure 11 : coupe à 165 m illustrant les épaisseurs des piliers entre cavités	26
Figure 12 : carte géologique de détail avec la limite des alluvions en vert (Infoterre – 2020)	30
Figure 13 : localisation des piézomètres P1 et P2.....	32
Figure 14 : Réseau hydrographique local.....	33
Figure 15 : Stations de mesures de la qualité de l'eau (source : SIEAG).....	34
Figure 16 : point de prélèvements réalisés en 2020	36
Figure 17 : implantation des points de surveillance des eaux (eau de surface et eau souterraine).....	39
Figure 18 : localisation des forages ou puits du secteur élargi (Infoterre)	41
Figure 19 : Moyennes des mesures de la station de Dax sur les 5 dernières années (Source : Atmo-nouvelle-Aquitaine).....	42
Figure 20 : Zone Natura 2000 à proximité du projet	43
Figure 21 : ZNIEFF à proximité du projet	44
Figure 22 : Cartographie des habitats naturels.....	47
Figure 23 : Cartographie des zones humides	48
Figure 24 : Cartographie de la flore	50
Figure 25 : Hiérarchisation des enjeux floristiques.....	51
Figure 26 : Hiérarchisation des enjeux faunistiques	53
Figure 27 : Unités paysagères à l'échelle du Grand Dax (source : PLUi-H de l'agglomération du Grand Dax).....	55
Figure 28 : vue aérienne oblique du secteur vers l'Ouest	56
Figure 29 : Localisation des prises de vue (Antea Group).....	56
Figure 30. Aléa retrait-gonflement des argiles dans le secteur d'étude (Source : Géorisques)	58
Figure 31 : Risque d'inondation par débordement de cours d'eau (source : Dossier d'information sur le risque inondation sur la commune de Saint-Pandelon, Direction Départementale de l'Équipement des Landes, 2009).....	59
Figure 32 : Sites BASIAS dans l'aire d'étude (source : Géorisques)	61
Figure 33. Occupation du sol et bâti dans le secteur d'étude (Source : Géoportail).....	62

Figure 34. Parcelles agricoles dans le secteur d'étude (Source : Géoportail – registre parcellaire graphique)	62
Figure 35 : Zoom sur le PLUi-H du Grand Dax au niveau de la zone du projet	64
Figure 36. Réseaux enterrés dans le secteur d'étude (Sources : extrait PLUi-H du Grand Dax pour la ligne 63 KV / repérage terrain Antea Group pour la ligne 20 KV et photos).....	65
Figure 37 : schéma de principe du fonctionnement d'un sondage isolé d'exploitation par dissolution du sel avec injection d'eau douce et formation d'une cavité	70
Figure 38. Schéma d'implantation du forage et des canalisations associées en V1.....	72
Figure 39. Schéma d'implantation du forage et des canalisations associées et techniques de travaux mises en œuvre en V1.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 40. Schéma d'implantation du forage et des réseaux et techniques de travaux mises en œuvre en V2	73
Figure 41 : vue en plan montrant l'emplacement des deux nouvelles cavités S-221 et S-231 par rapport aux cinq cavités existantes et à l'exploitation ancienne	74
Figure 42 : Coupes verticales montrant l'emplacement des deux nouvelles cavités S-221 et S-321 par rapport aux cinq cavités existantes (en haut) et par rapport à l'exploitation ancienne (en bas).....	75
Figure 43 : localisation des projets de sondages S-221 et S-321	77
Figure 44 : Plan général de localisation des forages et des réseaux de collecte	78
Figure 45 : Présentation des différents réseaux actuels et futurs.....	79
Figure 46 : Plan des accès, pistes et plates-formes.....	80
Figure 47 : Coupe transversale de l'enfouissement d'une conduite	82
Figure 48 : Schéma d'implantation de la canalisation, techniques de travaux mises en œuvre (fond : Google Maps).....	82
Figure 49 : Localisation des prises de vue, dans l'ordre d'apparition ci-après (fond : Géoportail)	83
Figure 50 : coupe géologique et technique type d'un puits	87
Figure 51 : Schéma de principe de distribution des différents réseaux	89
Figure 52 : plan du réseau de nivellement de la zone	93
Figure 53 : implantation des points de surveillance des eaux (eau de surface et eau souterraine).....	95
Figure 54 : Itinéraire de déviation	111
Figure 55 : Distance des forages aux habitations les plus proches (source : Géoportail)	112
Figure 56 : Zone Natura 2000 à proximité du projet (geoportail.biodiversite-nouvelle-aquitaine.fr).....	121

TABLEAUX

Tableau 1 : Hiérarchisation préliminaire des segments de l'environnement susceptibles de présenter le plus d'enjeux vis-à-vis du projet	17
Tableau 2 : caractéristiques des cavités (Armines – 2010)	25
Tableau 3 : Suivi qualitatif du Luy ; données 2018 (source : SIEAG).....	35
Tableau 4 : résultats des mesures et analyses de physico-chimie sur le Plan d'eau et le Hourn à l'amont	37
Tableau 5 : Dates de passage sur le terrain (Eliomys)	46
Tableau 6 : Synthèse des habitats naturels remarquables et enjeux associés (Eliomys)	46
Tableau 7 : Synthèse des plantes patrimoniales et enjeux associés (Eliomys).....	49
Tableau 8 : Synthèse de la faune remarquable et enjeux associés (Eliomys).....	52
Tableau 9 : Synthèse des enjeux environnementaux	66
Tableau 9 : Synthèse des impacts, mesures et incidences résiduelles sur le milieu naturel.	107

Liste des annexes

Annexe A : Etude ARMINES – étude de la stabilité à long terme des cavités de l'exploitation par dissolution de Saint-Pandelon – mars 2010

Annexe B : Etude ARMINES – Actualisation de l'étude de stabilité de la cavité F811 dans l'exploitation de sel par dissolution de Saint-Pandelon avril 2014

Annexe C : Rapport de la société ARMINES sur la stabilité des futures cavités de dissolution des sondages S-221 et S-321

Annexe D : Rapport d'analyse physico-chimique sur le plan d'eau et le Hourn à l'amont (Laboratoire LPL)

Annexe E : Rapport d'IBG-DCE du Hourn à l'amont du lac (Laboratoire LPL)

Annexe F : Rapport d'Indice Biologique Diatomée du Hourn à l'amont du lac (Laboratoire LPL)

Annexe G : Prélèvement et analyse de phytoplancton dans le plan d'eau de la CMSE à Saint Pandelon (Société AQUABIO)

Annexe H : Diagnostic Faune / Flore (Eliomys)

1 Acteurs du projet

1.1 Maître d'ouvrage



Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est (CSME)

92-98 Boulevard Victor Hugo
92115 Clichy

Site de Dax

4, rue des salines
40102 DAX cedex

Directeur de la Saline de Dax : Dominique DUPUIS

1.2 Expertise environnementale

CSME a fait appel au bureau d'études ANTEA GROUP pour l'accompagner comme expertise environnementale dans l'élaboration du projet et pour la réalisation de la présente étude d'impact.



Région Grand Ouest

Pôle Environnement
61, rue Jean Briaud – CS 60054
33 692 MERIGNAC CEDEX

Tél : 05.57.26.02.80

Responsable de projet : Gaëtan CHEVALIER-LEMIRE, Hydrogéologue Chef de Projets.

Rédacteur principal : Maud PARIZE, Ingénieur de Projets Environnement.

Pour la thématique « milieu naturel », Antea Group s'est adjoint les compétences d'un bureau d'études spécialisé : **ELIOMYS**, avec l'intervention d'un écologue spécialisé : **Yannig BERNARD, expert naturaliste faune et flore.**

2 Préambule

2.1 Contexte du projet

La Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est, communément appelée « les Salins du Midi » et dénommée CSME, est une société du groupe SALINS.

Fondée en 1856 par un groupe d'industriels de Montpellier pour exploiter les marais salants d'Aigues-Mortes, elle s'est développée continûment depuis lors par des acquisitions en France, Espagne, Italie, Slovénie, Portugal, Tunisie et Sénégal, jusqu'à devenir le producteur de sel solaire de référence dans le monde.

CSME produit aujourd'hui près de 2 millions de tonnes de sel de tous les types qu'elle commercialise sur tous les marchés.

L'origine de la saline de Dax remonte à la fin de 1862 et l'exploitation d'une mine puis le pompage de saumure dans les galeries sur le site de Saint Pandelon. Depuis 1962, la concession de SAINT PANDELON est exploitée par dissolution grâce à une méthode de sondage isolé.

Les réserves de sel exploitables dans les cavités actuelles selon les méthodes mises en œuvre, permettent d'assurer les besoins d'alimentation en saumure de la saline jusqu'à l'été 2023.

Pour assurer la continuité de l'activité de production, CSME envisage de forer et d'équiper un nouveau sondage d'exploitation nommés S-221 et à un terme prévisionnel de 10 ans une second forage S-321, à proximité des sondages existants. Ces nouvelles cavités d'exploitation devraient permettre d'extraire chacune 1 million de tonnes de sel et assurer ainsi l'alimentation en saumure de l'usine de Dax pendant une quarantaine d'années, avec un horizon estimé à 2060.

2.2 Localisation du projet

Le projet est situé sur la commune de Saint-Pandelon, dans le département des Landes (40), au lieu-dit Moulin de Campagne. Il est localisé sur la concession de SAINT PANDELON à 8 km au sud-est de Dax (voir Figure 1).

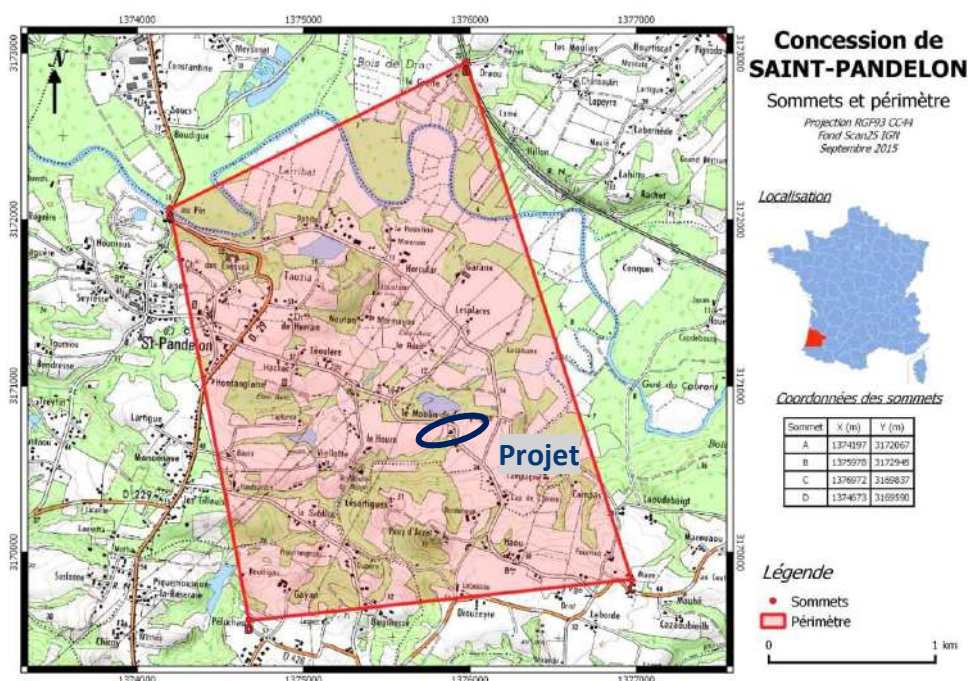


Figure 1 : Limite de la concession de Saint-Pandelon (source : CSME)

Un saumoduc amène la saumure produite à Dax où est implantée l'usine de production de sel.

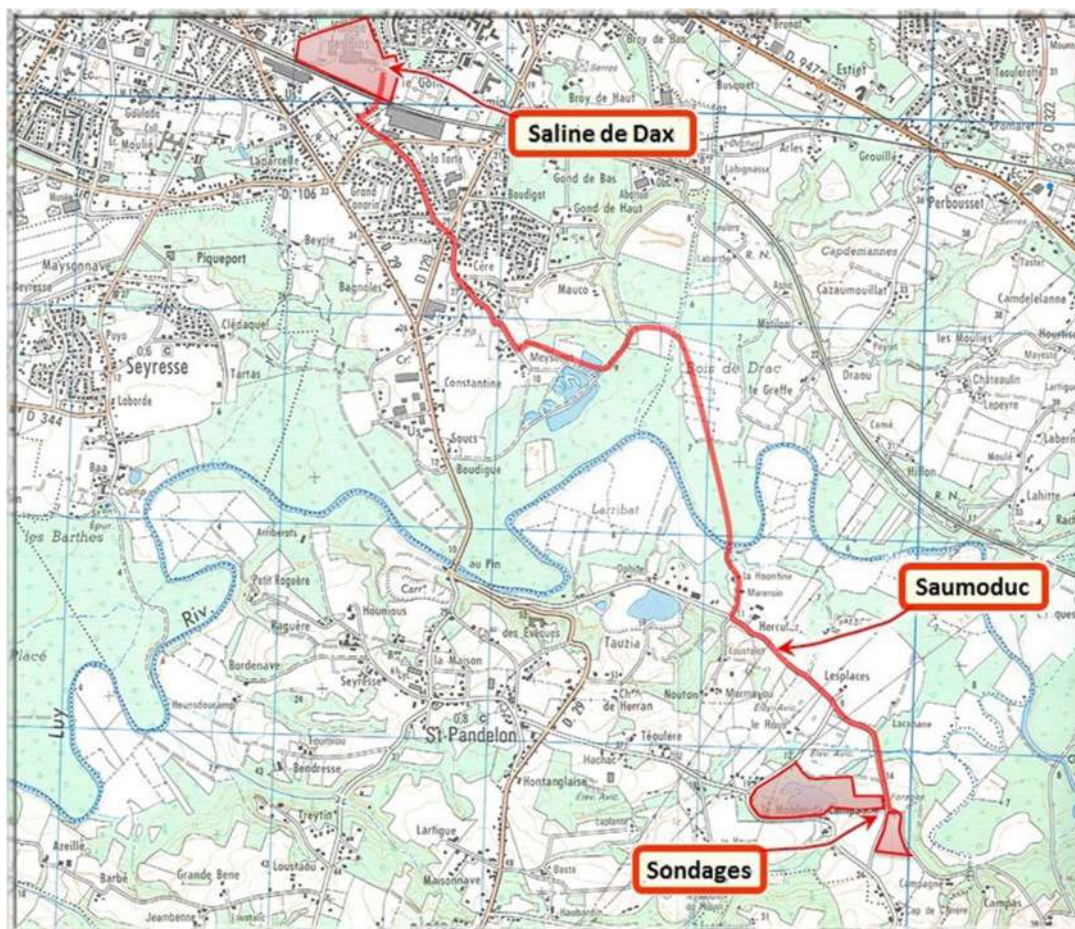


Figure 2 : Situation de la zone de production, du saumoduc et de l'usine de Dax (source : CSME)

2.3 Cadre réglementaire

Conformément au Code Minier et à l'article 6 du décret n°2006-649 modifié du 2 juin 2006, le dossier de Demande Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers, doit comporter une étude d'impact. Son contenu est défini à l'article R.122-5 du Code de l'environnement, modifié par décret n°2019-190 du 14 mars 2019.

L'étude d'impact du projet présente :

- Un résumé non technique [Document séparé] ;
- Une description du projet : localisation, caractéristiques physiques de l'ensemble du projet, principales caractéristiques de la phase opérationnelle du projet (procédé de fabrication, demande et utilisation d'énergie, nature et quantités des matériaux et des ressources naturelles utilisés), estimation des types et des quantités de résidus et d'émissions attendus, (pollution de l'eau, de l'air, du sol et du sous-sol, bruit, vibration, lumière, chaleur, radiation, et types et quantités de déchets produits durant les phases de construction et de fonctionnement,...) ;
- Une description des aspects pertinents de l'état actuel de l'environnement, dénommée "scénario de référence", et de leur évolution en cas de mise en œuvre du projet ainsi qu'un aperçu de l'évolution probable de l'environnement en l'absence de mise en œuvre du projet, dans la mesure où les changements naturels par rapport au scénario de référence peuvent

être évalués moyennant un effort raisonnable sur la base des informations environnementales et des connaissances scientifiques disponibles.

L'analyse de l'état initial porte notamment sur les facteurs mentionnés au III de l'article L. 122-1 susceptibles d'être affectés de manière notable par le projet : la population, la santé humaine, la biodiversité, les terres, le sol, l'eau, l'air, le climat, les biens matériels, le patrimoine culturel, y compris les aspects architecturaux et archéologiques, et le paysage ;

- Une description des incidences notables que le projet est susceptible d'avoir sur l'environnement résultant, entre autres :
 - De la construction et de l'existence du projet, y compris, le cas échéant, des travaux de démolition ;
 - De l'utilisation des ressources naturelles, en particulier les terres, le sol, l'eau et la biodiversité, en tenant compte, dans la mesure du possible, de la disponibilité durable de ces ressources ;
 - De l'émission de polluants, du bruit, de la vibration, de la lumière, la chaleur et la radiation, de la création de nuisances et de l'élimination et la valorisation des déchets ;
 - Des risques pour la santé humaine, pour le patrimoine culturel ou pour l'environnement ;
 - Du cumul des incidences avec d'autres projets existants ou approuvés, en tenant compte le cas échéant des problèmes environnementaux relatifs à l'utilisation des ressources naturelles et des zones revêtant une importance particulière pour l'environnement susceptibles d'être touchées. Ces projets sont ceux qui, lors du dépôt de l'étude d'impact :
 - Ont fait l'objet d'une étude d'incidence environnementale au titre de l'article R. 181-14 et d'une enquête publique ;
 - Ont fait l'objet d'une évaluation environnementale au titre du présent code et pour lesquels un avis de l'autorité environnementale a été rendu public.

Sont exclus les projets ayant fait l'objet d'un arrêté mentionnant un délai et devenu caduc, ceux dont la décision d'autorisation est devenue caduque, dont l'enquête publique n'est plus valable ainsi que ceux qui ont été officiellement abandonnés par le maître d'ouvrage ;

- Des incidences du projet sur le climat et de la vulnérabilité du projet au changement climatique ;
- Des technologies et des substances utilisées.

La description des éventuelles incidences notables sur les facteurs mentionnés au III de l'article L. 122-1 porte sur les effets directs et, le cas échéant, sur les effets indirects secondaires, cumulatifs, transfrontaliers, à court, moyen et long termes, permanents et temporaires, positifs et négatifs du projet ;

- Une description des incidences négatives notables attendues du projet sur l'environnement qui résultent de la vulnérabilité du projet à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs en rapport avec le projet concerné. Cette description comprend le cas échéant les mesures envisagées pour éviter ou réduire les incidences négatives notables de ces événements sur l'environnement et le détail de la préparation et de la réponse envisagée à ces situations d'urgence ;
- Une description des solutions de substitution raisonnables qui ont été examinées par le maître d'ouvrage, en fonction du projet proposé et de ses caractéristiques spécifiques, et

une indication des principales raisons du choix effectué, notamment une comparaison des incidences sur l'environnement et la santé humaine ;

- Les mesures prévues par le maître de l'ouvrage pour :
 - Eviter les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine et réduire les effets n'ayant pu être évités ;
 - Compenser, lorsque cela est possible, les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine qui n'ont pu être ni évités ni suffisamment réduits. S'il n'est pas possible de compenser ces effets, le maître d'ouvrage justifie cette impossibilité.

La description de ces mesures doit être accompagnée de l'estimation des dépenses correspondantes, de l'exposé des effets attendus de ces mesures à l'égard des impacts du projet, ainsi que, le cas échéant, des modalités de suivi de ces mesures ;

- Une description des méthodes de prévision ou des éléments probants utilisés pour identifier et évaluer les incidences notables sur l'environnement ;
- Les noms, qualités et qualifications du ou des experts qui ont préparé l'étude d'impact et les études ayant contribué à sa réalisation ;
- L'évaluation des incidences potentielles sur des sites Natura 2000 ;

3 Etat initial du site et de son environnement

3.1 Présentation des aires d'étude

L'analyse de l'état initial a été élaborée sur la base de plusieurs aires d'études, déterminées de manière à pouvoir tenir compte de l'ensemble des impacts envisageables selon les thématiques environnementales abordées.

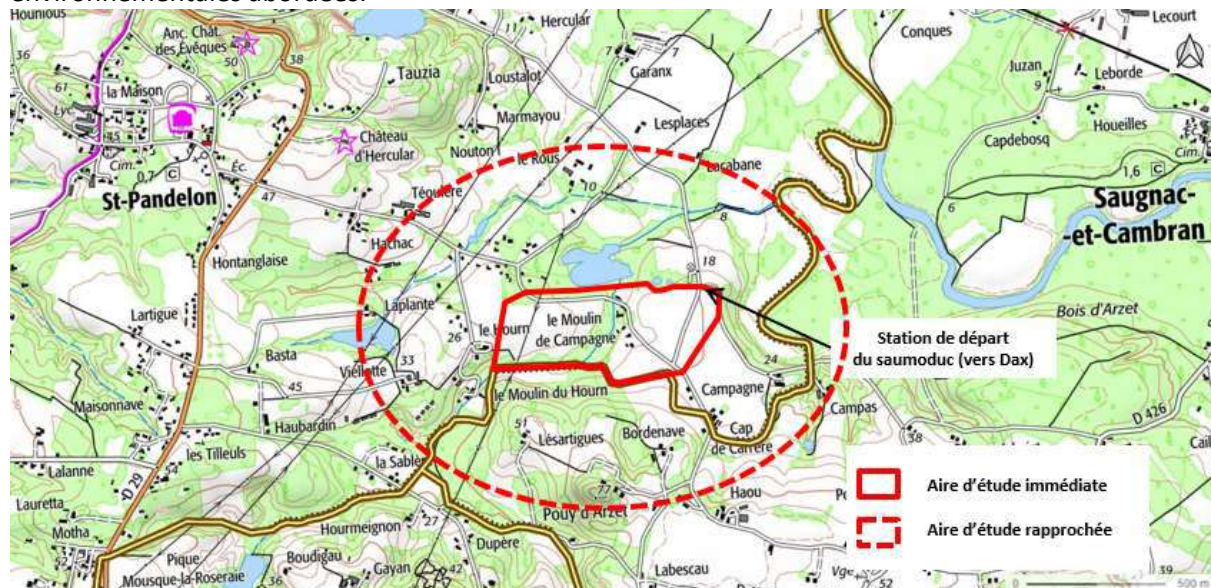


Figure 3 : Localisation des aires d'étude immédiate et rapprochée du projet (source : Géoportail)

L'**aire d'étude immédiate** correspond à la zone d'implantation du projet et à ses abords immédiats. Le projet comprend les nouveaux sondages projetés ainsi que la nouvelle canalisation, permettant de raccorder le sondage au saumoduc existant. Elle s'étend sur environ 25 ha (Figure 3). Elle intervient en vue d'une optimisation environnementale de l'implantation du projet. Les impacts potentiels du projet sur la topographie locale, la géologie, l'hydrogéologie, l'hydrologie, les espèces patrimoniales et/ou protégées, les zones humides et leurs fonctionnalités, les risques majeurs, les pollutions éventuelles des sols et des eaux, les servitudes, etc. doivent être appréciés au niveau de l'emprise du site du projet car ces thématiques sont intrinsèques aux terrains étudiés.

Certaines thématiques comme le voisinage humain (populations, activités...), la localisation des infrastructures et réseaux existants, les projets environnants, les captages d'eau, le contexte paysager, l'environnement naturel, les protections associées et les continuités écologiques, etc. peuvent nécessiter de considérer une aire d'étude plus étendue. Cette **aire d'étude, dite « rapprochée »**, s'étend sur environ 500 m autour de l'aire d'étude immédiate.

Enfin, certaines données publiques ou certains documents de planification ne sont disponibles que pour un périmètre relativement large (département, région, etc.) : climat, qualité de l'air, énergie, etc.

3.2 Définition des sensibilités et des enjeux environnementaux

L'analyse de l'état initial de l'environnement du projet présentée ci-après consiste à définir, pour chaque composante de l'environnement (le milieu physique, les milieux naturels, le paysage, etc.), les sensibilités du territoire qui pourront être affectées par le projet et les enjeux environnementaux qui en découlent.

L'analyse est basée à la fois sur des données bibliographiques (voir liste des sources consultées) et des investigations sur le terrain (voir études spécifiques).

La sensibilité d'un milieu correspond à sa capacité à accepter un changement. Ainsi, un milieu classé comme très sensible, n'acceptera que peu ou pas de changement. L'enjeu correspond au changement significatif d'un milieu sensible par un élément du projet. Ainsi un enjeu sera qualifié de fort si un élément du projet entraîne un changement qui ne peut être accepté par le milieu. L'échelle de hiérarchisation des enjeux utilisée dans la présente étude est synthétisée à la figure suivante.

De manière générale, l'étude des impacts d'un projet s'effectue en comparant l'état d'un site et de ses environs avant travaux (état initial) et l'état du site et ses environs après la mise en service du projet.

Importance de l'enjeu	Nulle / Négligeable	Faible	Modérée	Forte
Sensibilité du milieu	Nulle	Faible	Modérée	Forte
Changement induit par le projet	Nul	Peu important	Moyennement important	Très important

Figure 4 : Échelle d'évaluation de l'importance des enjeux environnementaux

3.3 Hiérarchisation préliminaire des enjeux environnementaux vis-à-vis du projet

La première étape de l'étude d'impact consiste à analyser les sensibilités de l'environnement.

Le développement de l'état initial doit être proportionné, plus ou moins détaillé, en fonction des impacts pressentis du projet.

En regard des principales caractéristiques du projet, une grille de hiérarchisation des segments de l'environnement susceptibles de présenter le plus d'enjeux a été établie. Cette analyse est présentée dans le tableau ci-après.

Segment	Sous-segment	Niveau d'enjeu <u>potentiel</u> en regard du projet	Précisions / Observations	Aire d'étude retenue
MILIEU PHYSIQUE	Topographie	Faible	Analyse de la topographie	Immédiate
	Sols	Fort	Modification de la structure de sol lors de la réalisation de la plateforme du futur sondage et de la voie d'accès (terrassements préalables). Risque de pollution lié aux engins de chantier lors de la réalisation du sondage et de la pose des canalisations. En phase d'exploitation, création d'une cavité souterraine. Risques de mouvements de subsidence liés ⇒ Contexte géologique à préciser	Immédiate
	Eaux souterraines	Fort	Présence, usage, qualité et vulnérabilité des eaux souterraines à déterminer pour appréhender la sensibilité vis-à-vis des consommations d'eaux envisagées. Risque de pollution des eaux en phase travaux En phase exploitation : risque de pollution des eaux en cas de fuite de la canalisation	Immédiate et rapprochée
	Eaux superficielles	Fort	Présence d'un cours d'eau sur le tracé de la future canalisation Risque de pollution des eaux en phase travaux Mesurer l'impact en cas de fuite de saumure en phase d'exploitation Prélèvement des eaux du lac pour dissolution du sel inchangée ⇒ Rappeler le contexte hydrographique ⇒ Vérifier les usages de l'eau de surface ⇒ Caractériser la qualité des eaux superficielles actuelles	Immédiate et rapprochée

Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est
Demande Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers –
Sondage S-221 et S-321 de la concession de SAINT PANDELON

	Climat, qualité de l'air et émissions de GES	Faible	Pas d'émission de GES en phase d'exploitation. Emissions ponctuelles de GES liées aux travaux ⇒ Exploiter les données disponibles du suivi Atmo Nouvelle Aquitaine	Rapprochée
MILIEU NATUREL	Zones d'intérêt écologiques continuités écologiques – trames vertes et bleues, milieu naturel sur le site du projet	Fort	Risque de détérioration ou destruction d'habitats ou d'espèces présentant un intérêt pour la biodiversité, ou d'incidence sur des zones protégées ou recensées ⇒ Zones d'intérêt écologique à recenser ⇒ Identifier les liens fonctionnels (via les eaux superficielles et souterraines, les axes de continuité écologiques et les habitats naturels) ⇒ Identifier les enjeux écologiques des terrains du projet	Immédiate et rapprochée
PATRIMOINE ET PAYSAGE	Paysage	Faible	Projet de faibles dimensions en surface (tête de forage et compresseur uniquement, canalisations enterrées) Phase travaux a priori peu impactante sur le paysage ⇒ Analyser le paysage ⇒ Évaluer la visibilité depuis les axes de circulation principaux et le voisinage	Rapprochée
	Vestiges archéologiques	Probablement faible	⇒ Absence de zone archéologique sensible à confirmer	Immédiate
	Patrimoine	Probablement faible	Patrimoine culturel absent dans la zone du projet ⇒ Confirmer les éloignements des sites et monuments historiques inscrits et classés	Rapprochée
RISQUES MAJEURS	Risques naturels	Probablement faible	⇒ Vulnérabilité du projet vis-à-vis des risques naturels à étudier	Immédiate
	Risques technologiques	Probablement faible	Projet éloigné de toute installation industrielle ⇒ Vérifier l'absence d'ICPE à proximité et de transport de matières dangereuses	Rapprochée
MILIEU HUMAIN	Environnement humain	Modéré	Projet prenant place en milieu rural, présence de quelques habitations au sein de la zone d'étude ⇒ Identifier les habitations et établissements sensibles à proximité	Rapprochée
	Environnement économique	Probablement faible	Projet prenant place sur une parcelle agricole exploitée ⇒ Compatibilité de la poursuite de l'exploitation agricole à confirmer	Rapprochée
	Gêne sonore du voisinage	Modéré	Enjeu lié à la maîtrise du bruit en phase travaux et en phase exploitation (présence de pompes et d'un compresseur + purge ponctuelle de l'air comprimé) ⇒ Réaliser une étude acoustique	Rapprochée
	Gêne du voisinage liée aux odeurs	Nul	Projet ne générant pas d'odeurs	Rapprochée
	Ambiance lumineuse	Négligeable	Travaux en période diurne Absence d'installation de système d'éclairage	Immédiate
	Réseaux	Modéré	Présence potentielle de lignes électriques enterrées. ⇒ Recenser les réseaux existant	Immédiate
	Voies de circulation	Modéré	Site du projet aisément accessible par la route Travaux à réaliser partiellement le long de la route pour enterrer la canalisation qui reliera le sondage au saumoduc. Nécessité de traverser la route en certains endroits. Interruption ponctuelle du trafic mais sur une voie communale à faible trafic (milieu rural). Possibilité de déviation Pas d'incidences en phase exploitation	Rapprochée
DOC. D'URBA	Documents d'urbanisme	Probablement faible	Projet localisé au sein de la concession de la CSME, sur des terrains propriété de CSME ⇒ Étudier la cohérence du projet vis-à-vis des documents d'urbanisme (PLU et SCOT)	Immédiate

Tableau 1 : Hiérarchisation préliminaire des segments de l'environnement susceptibles de présenter le plus d'enjeux vis-à-vis du projet

3.4 Milieu physique

3.4.1 Topographie

Le relief de la zone d'étude est relativement plat, avec une variation d'altitude comprise entre 10 et 25 m NGF environ.

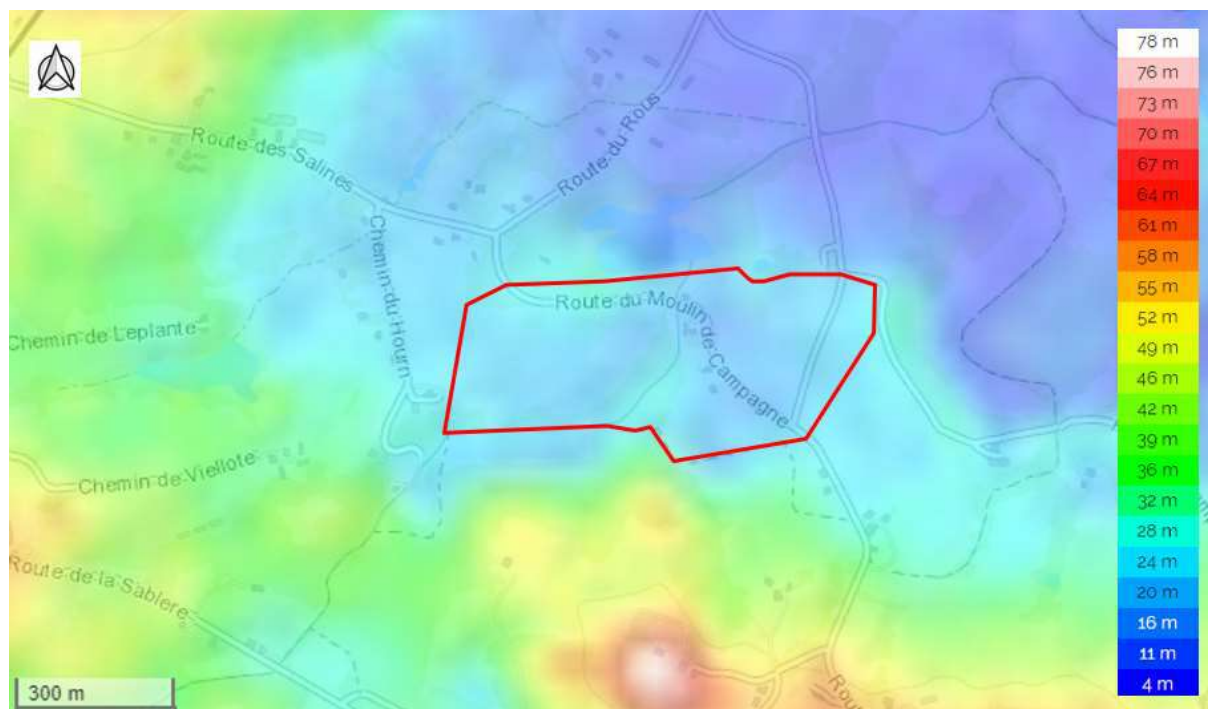


Figure 3 : Topographie générale (source : topographic-map.com)

La topographie naturelle au droit du site du projet ne présente pas de contrainte.

→ Sensibilité du territoire faible, enjeu négligeable.

3.4.2 Contexte climatique

Le climat océanique qui s'opère dans la région se caractérise par des températures douces toute l'année, avec une pluviométrie plutôt bien répartie sur l'ensemble des mois. Les normales de températures et de précipitations sont présentées sous forme graphique.

Les normales de température varient de 9,9°C à 24,9°C pour les maximales et de 3,8 à 20°C pour les minimales. La pluviométrie reste importante avec des normales oscillantes entre 50 mm en juillet et 160 mm en novembre.

La sensibilité climatique du territoire est considérée comme faible. L'enjeu pour le projet est négligeable puisque les activités sont compatibles avec les conditions climatiques.

→ Sensibilité du territoire faible, enjeu négligeable

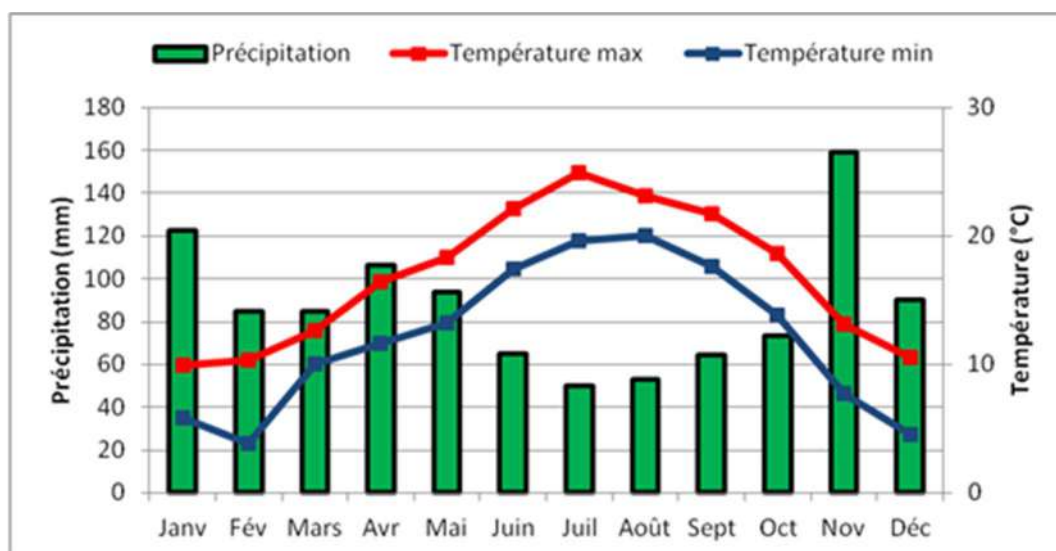


Figure 5 : Normales climatiques période 2005-2015 – Station météorologique de Dax

3.4.3 Contexte géologique

a. Contexte structural

La région de Saint-Pandelon est caractérisée par une structure géologique complexe liée à la poussée du Front Nord Pyrénéen.

Les formations secondaires, formées essentiellement de calcaires, dolomies et grès, ont été plissées lors de l'orogénèse pyrénéenne dont le paroxysme de déformation se situe à l'Eocène.

Les dépôts salifères originellement très profonds qui caractérisent le Trias apparaissent à proximité de la surface à la faveur de montées diapiriques ou en bordure de plis faillés. Le diapirisme est attribué à la faible densité du sel et à un phénomène de fluage lié à sa grande plasticité (hallocinèse).

Les séries du Tertiaire inférieur sont formées par la succession d'argiles, marnes et grès de l'Eocène et de calcaires et grès de l'Oligo-Miocène. Elles sont les dernières à avoir subi la poussée du Front Nord Pyrénéen, leur déformation est par conséquent moins marquée.

L'ensemble de ces structures est généralement masqué par les molasses du Miocène puis par les formations du Quaternaire récent. Les cours d'eaux ont en effet déposé des alluvions sous forme de terrasses étagées. Ces dernières sont constituées de matériaux graveleux et sableux recouverts de limons d'inondations.

La structure géologique de Saint-Pandelon est marquée par la formation d'un diapir qui s'étend au-delà des communes de Saint-Pandelon (dont il a pris le nom) et de Bénesse-lès-Dax selon une orientation NO-SE (voir Figure 6 et Figure 7).

Celui-ci a pris naissance à l'intersection de deux grandes failles de socle qui auraient joué lors de l'orogénèse pyrénéenne. En migrant vers la surface, le sel a entraîné des amas de roches éruptives (ophites).

Le gisement exploité correspond à une masse de sel gemme qui s'étend sur 1 km de largeur et 3 à 4 km de longueur. Un pointement d'ophites est exploité à Saint-Pandelon. Il constitue la bordure Nord du gisement salifère. Au Sud, le gisement salifère est limité par le massif ophitique du Pouy d'Arzet. Les différents sondages effectués dans le secteur ont rencontré le toit du sel entre 50 et 100 m de profondeur.

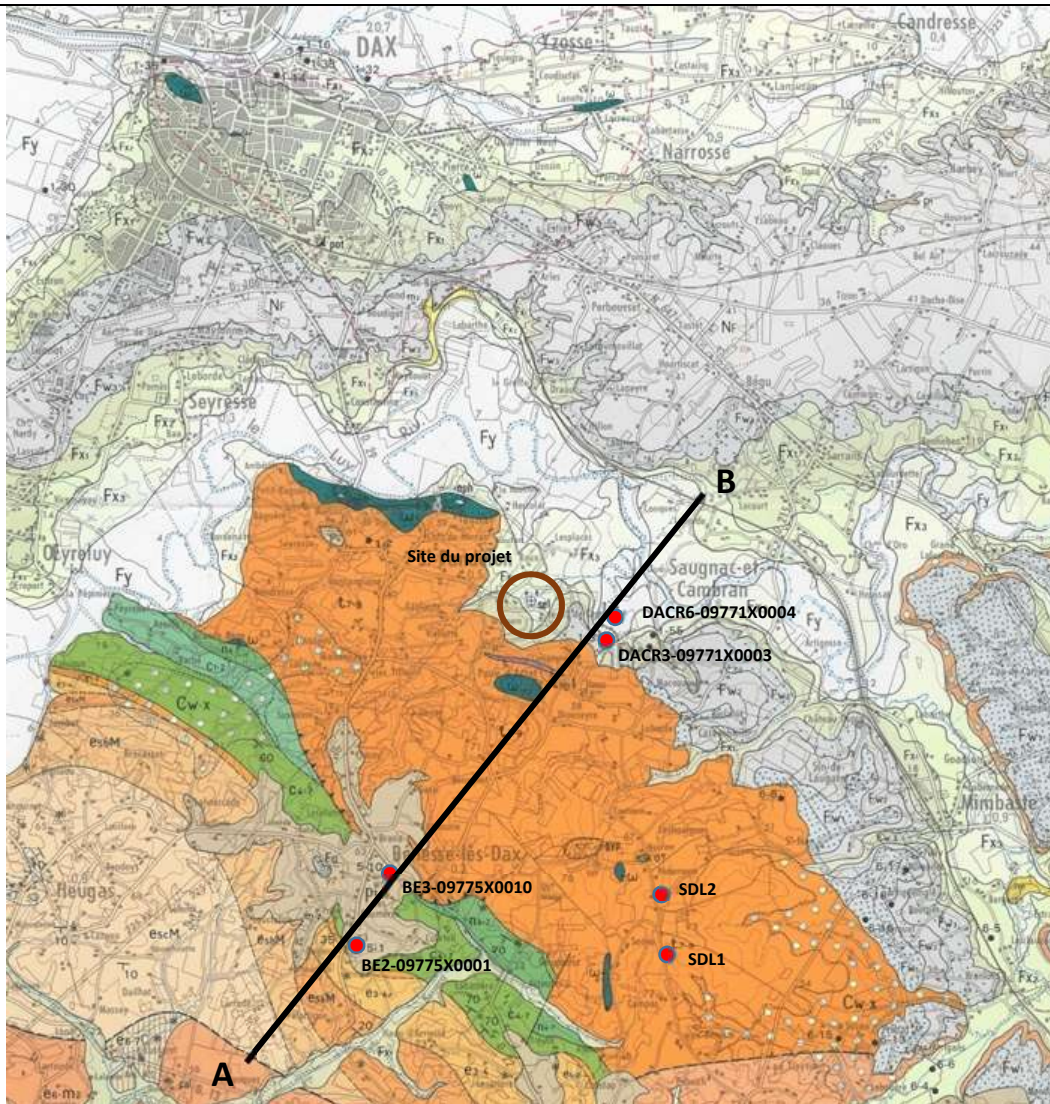


Figure 6 : Extrait de la carte géologique de Dax n°977 au 1/50 000 (source : BRGM)

TERRAINS SECONDAIRES

C ₀₋₁	Sénonien : calcaires à silex de « faciès jurien »
C ₁₋₂	Cénomannien : dolomies
Bl ₁₋₂	Crétacé inférieur : calcaires et dolomies
t ₁₀₋₁	« Infralias » : calcaires, dolomies et brèches
t ₂₋₃	Kimmer : argiles baroliotes, sel et gypse
t ₃₋₅	Muschelkalk : dolomies
o ₂	Paléozoïque : schistes satinés et quartzites

ROCHES ÉRUPTIVES



Ophites

TERRAINS QUATÉRNAIRES

Alluvions	
Pré-Boréal ou Boréal (Flandrien)	Fy : Graviers, sables, vases, tourbes
Wärm III	Fx ₃ : Graviers, sables, limons, argiles
Wärm II	Fx ₂ : Graviers, sables
Wärm I	Fx ₁₋₂ : Galets, graviers, argiles sableuses grises Fx ₁ : Vieux lit à indifférenciés
Riss III	Fw ₃ : Galets, graviers avec galettes sableuses brunes, argiles sableuses
Riss II	Fw ₂ : Galets (matériau altéré), galettes argilo-sableuses rougeâtres
Riss I	Fw ₁ : Galets, graviers (matériau altéré)
Pré-Riss	Fw ₀ : Sables argileux
Mindel	Fv ₁ : Galets (matériau altéré), galettes argileuses rougeâtres
Günz	Fu : Petits galets, graviers (matériau très altéré), galettes sableuses très colorées

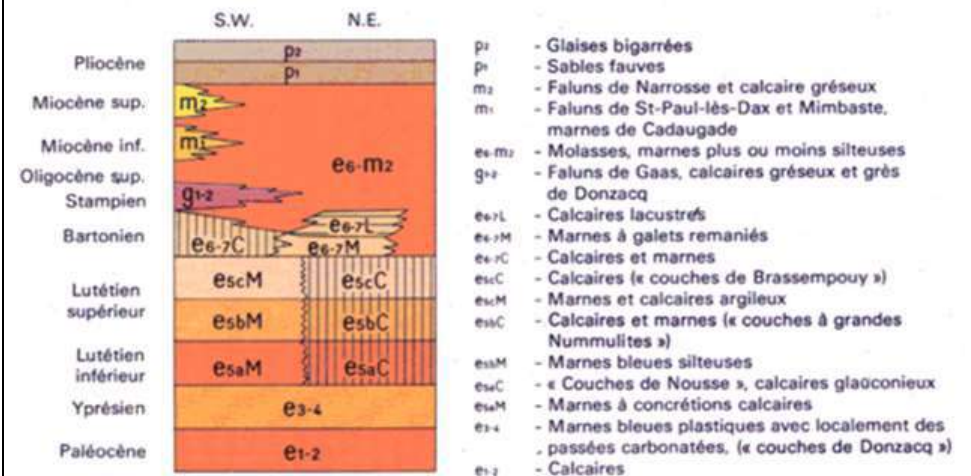
Colluvion (reposant sur une formation inconnue)

C _w x	Limons jaunes plus ou moins sableux ou argileux
C _w y	Limons ou sables limoneux argileux brun-jaune
C _w z	Sables limoneux argileux
C _w x	Sables argilo-limoneux
C _w x	Sables légèrement argileux

Dépôts éoliens

Nr	Formation du Sable des Landes
----	-------------------------------

TERRAINS TERTIAIRES



La structure profonde et les caractéristiques du diapir de Dax et de Benesse-St Pandelon sont mieux connues suite au projet d'EDF pour un projet de stockage souterrain de gaz en cavités salines (Projet Salins des Landes arrêtés début 2013).

Un nouveau modèle géologique 3D (WICQUART et al., 2013) a été défini à partir de données issues de profils sismiques 2D, d'un levé gravimétrique de deux levés de forage (SDL1 et SDL2) et des données disponibles dans la BSS du BRGM (voir localisation sur la Figure 6).

L'analyse montre qu'en profondeur les deux diapirs proviennent d'une même structure salifère.

Le forage SDL1 a été foré en 2010 dans la partie axiale du diapir de Benesse-St Pandelon. Il a atteint une profondeur finale de 1954 m, avec plus de 1200 m de carottes de forage. Le deuxième sondage (SDL2) a été foré en 2012, près du flanc oriental. Prévu pour être vertical jusqu'à 1500 m, il a été interrompu puis détourné vers l'axe du diapir Benesse-St Pandelon et a atteint une profondeur finale de 1750 mètres. Le modèle ainsi défini montre l'existence d'un diapir de forme ovale, d'environ 4 km de large dans la direction SO-NE et 15 km de long dans la direction NO-SE.



Figure 7 : coupe horizontale du Trias extraite du modèle géologique 3D passant par les sondages DACR3 et 6, BE2 et 3 (Wicquart et al., 2013)

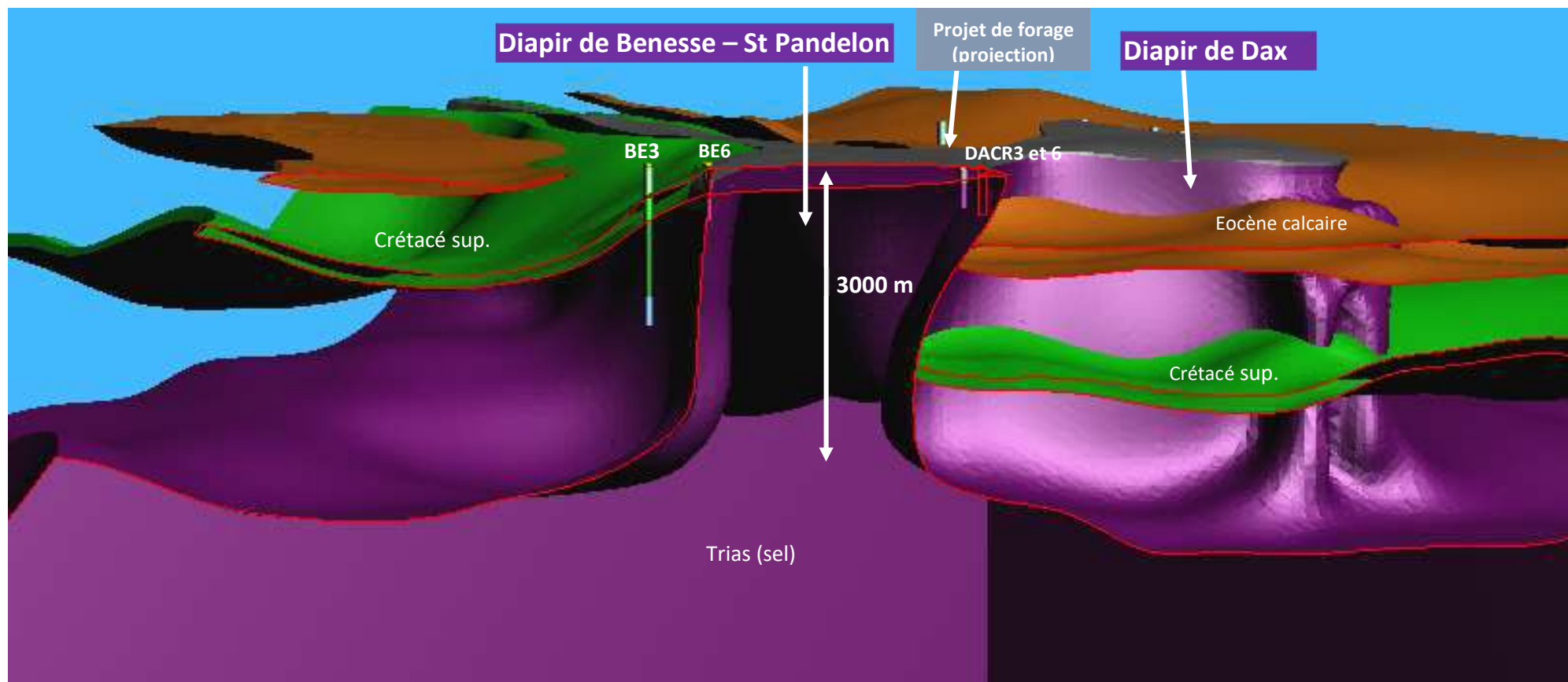


Figure 8 : coupe géologique extraite du modèle géologique 3D passant par les puits BE2, BE3, DACR3 et 6 (Wicquart et al 2013)

b. Lithologie

Le sous-sol a été reconnu par différents sondages réalisés dans le cadre de recherches d'hydrocarbures ou pour la prospection et l'exploitation de sel. Les différentes formations géologiques rencontrées au droit du site d'exploitation sont de haut en bas :

Les terrains quaternaires

Ils correspondent aux alluvions du Würm composées d'argiles, limons, sables, graviers et galets. On distingue dans la zone étudiée, deux périodes de dépôts qui ont marqué la glaciation : d'une part les argiles sableuses grises et bleutées, riches en graviers et gravillons appartenant au premier stade du Würm, et d'autre part, plus au Nord, les graviers, sables et petits galets siliceux ou ophitiques appartenant au second stade du Würm. La puissance de ces terrains varie entre 15 et 40 m.

Les terrains secondaires

Le trias est directement en contact avec les alluvions sus-jacentes par le phénomène de diapirisme. De manière générale, il est formé d'un toit d'argile brun rouge à lie de vin localement salifère, gypsifère et plastique contenant de fines passées d'anhydrite blanche et pulvérulente constituant le cap-rock du diapir. Ces terrains constituent une couverture imperméable protégeant les terrains sous-jacents des infiltrations d'eau. Leur puissance peut atteindre une centaine de mètres.

Le diapir proprement dit, qui correspond à la ressource exploitable, est principalement formé de sel rose à gris plus ou moins massif contenant des inclusions d'anhydrite, de polyhalite et d'autres sels de magnésium et de potassium qui s'intercalent parfois avec de fins bancs argileux.

Les roches éruptives

Les ophites, dolérites contenant pyroxènes et plagioclases, apparaissent en écailles dans les argiles salifères. On pense généralement que leur mise en place s'est faite par injection. Elles n'appartiennent donc pas à un niveau géologique particulier mais peuvent être rencontrées sous forme d'inclusions.

A environ 200 m au nord de la future implantation des sondage S-221 et S-321, un forage d'une profondeur de 140 m a été réalisé en 1946. Ce forage, à l'heure actuel rebouché, donne une bonne idée de la lithologie dans la zone du projet.

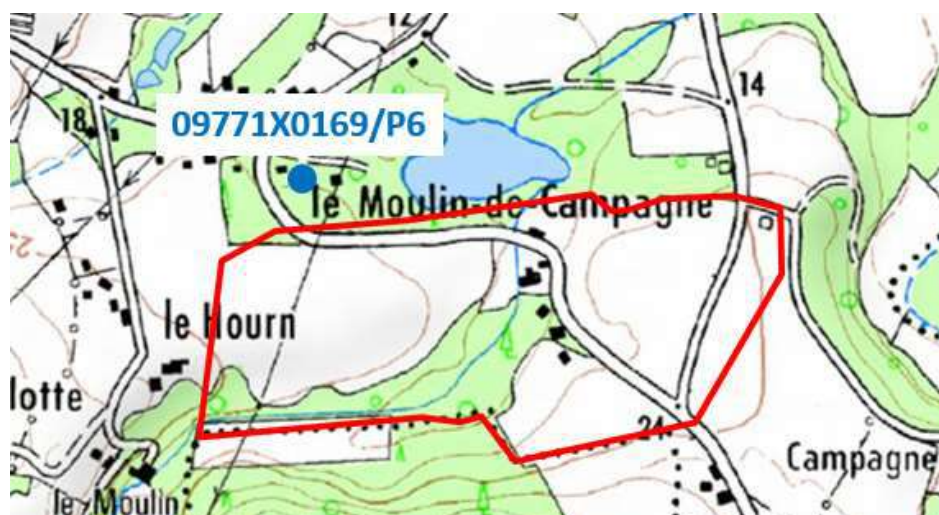


Figure 7 : Localisation du forage 09771X0169/P6

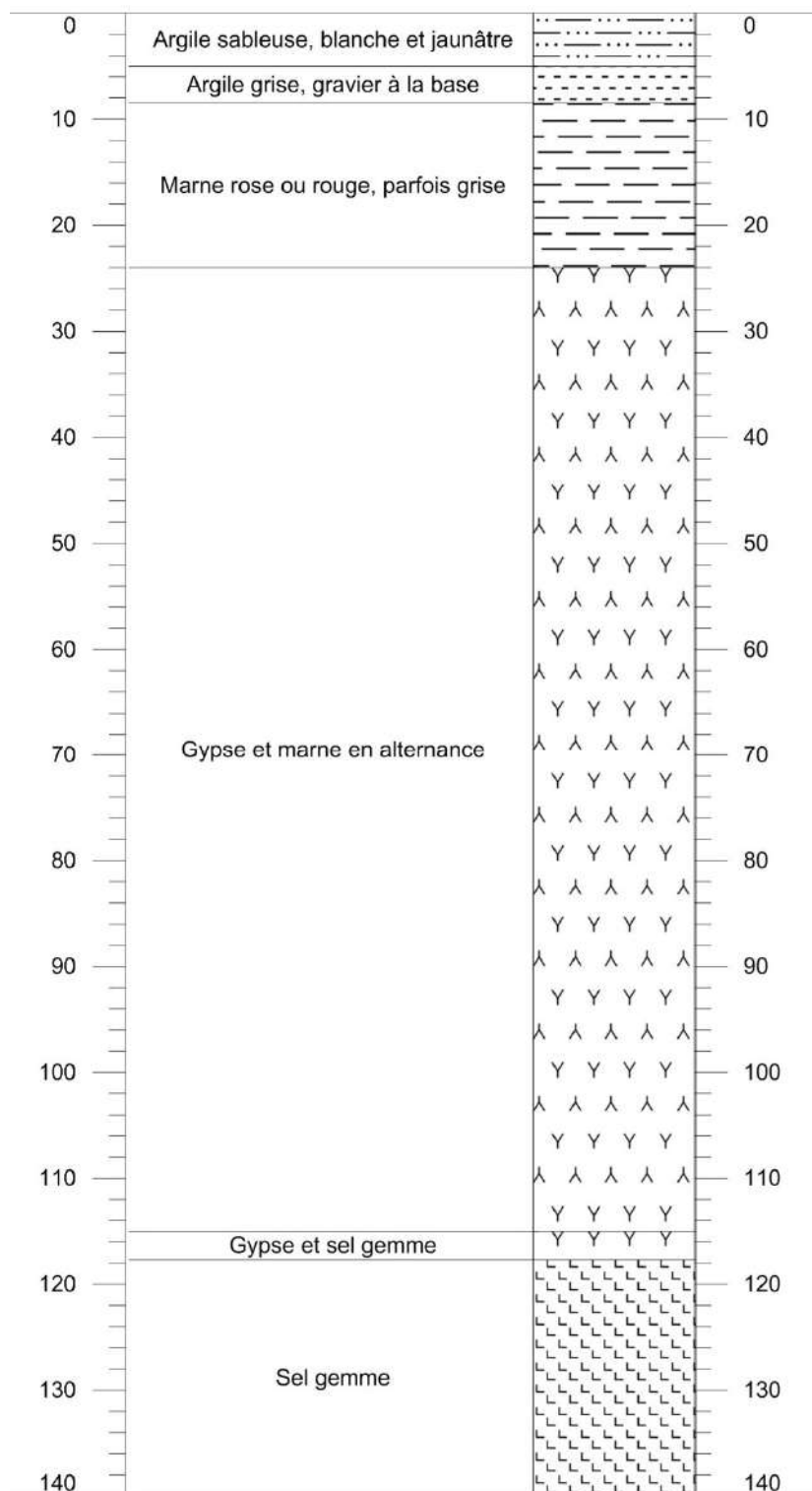


Figure 8 : Coupe lithologique du forage 09771X0169/P6

c. Stabilité à long terme des cavités existantes liées à l'exploitation du sel par dissolution

La stabilité à long terme des cavités existante a été étudié par ARMINES (Mines Paris Tech) en 2010 (étude présentée en Annexe A) et complété en 2014 par une étude concernant le forage S-811 actuellement en exploitation (étude présentée en Annexe B).

L'objectif principal de l'étude de 2010 était d'examiner la stabilité à long terme de l'exploitation par dissolution de Saint-Pandelon ainsi que les interactions possibles entre l'ancienne exploitation et les cinq cavités actuelles.

Les caractéristiques des cinq cavités sont résumées dans le Tableau 2.

Cavité	Historique d'exploitation	Volume total (m ³)	Commentaires
S-Nord	- 1965 au 04/1980 : sondage isolé - 04/1980 au 09/1984 : doublet S-S injecteur et S-N extracteur - 02/1989 au 08/2004 : remplissage de boues	85 545	- arrêt d'exploitation depuis 1984 - cavité entièrement remplie de boues
S-Sud	- 1965 au 04/1980 : sondage isolé - 04/1980 au 09/1984 : doublet S-S injecteur et S-N extracteur - 09/2004 : remplissage de boues	92 020	- arrêt d'exploitation depuis 1984 - cavité en cours de remplissage avec les boues
S-721	- 1973 à 1990 : exploitation par sondage isolé	175 321	- arrêt d'exploitation depuis 1990 - forte quantité d'insolubles
S-791	- 09/1980 au 12/1982 : exploitation partie basse -12/1982 au 06/1997 : exploitation partie haute	44 913	- arrêt d'exploitation depuis 1997 - présence d'insolubles
S-811	- depuis 1982 : exploitation par sondage isolé	757 000	- cavité en cours d'exploitation - géométrie finale calculée par le centre de Géosciences Armines en 2005 et 2014

Tableau 2 : caractéristiques des cavités (Armines – 2010)

La Figure 9 présente la position en plan des cinq cavités et des anciennes exploitations

La Figure 10 montre une vue tridimensionnelle de ces cavités et la Figure 11 illustre les épaisseurs des piliers entre cavités à la cote 165 m.

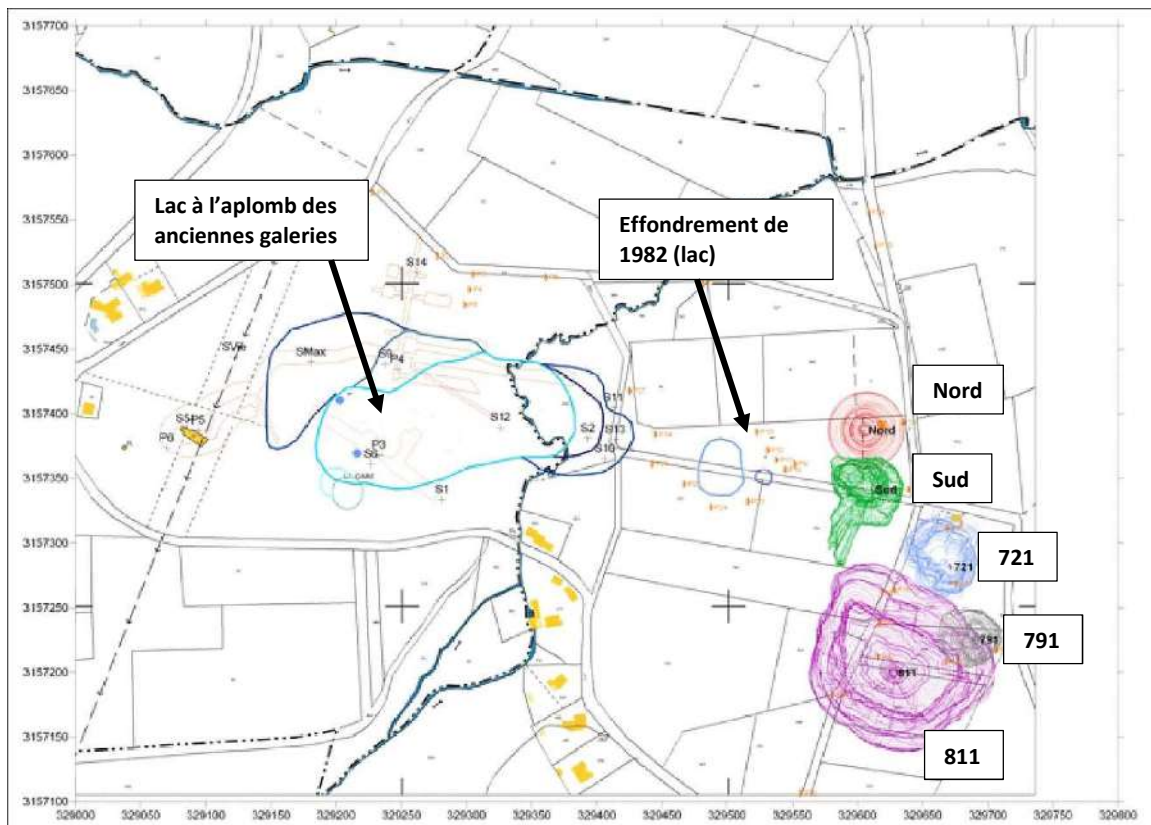


Figure 9 : emplacement des anciens travaux miniers (sous le lac actuel) et des cinq cavités

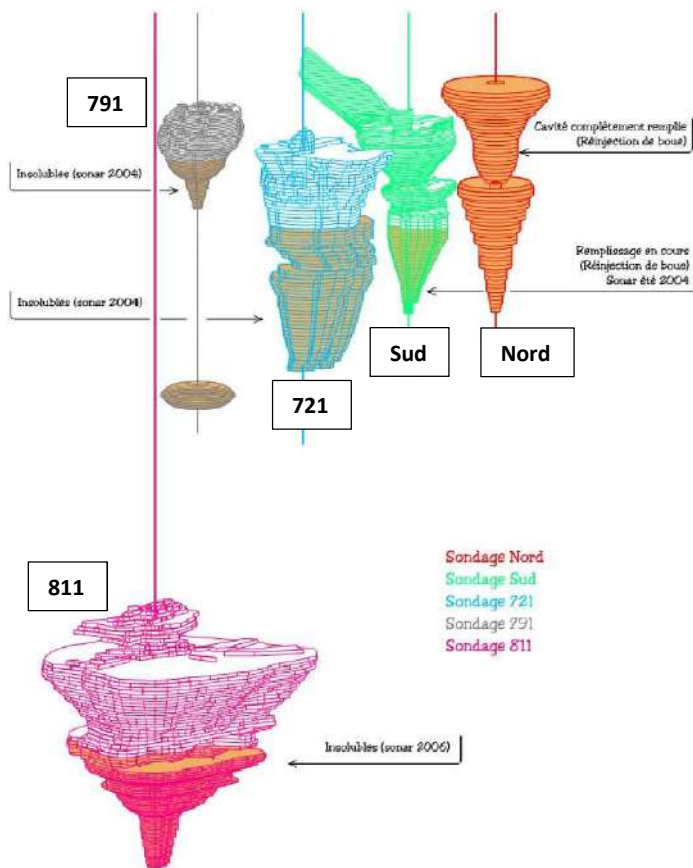


Figure 10 : vue vers l'Est des cinq cavités

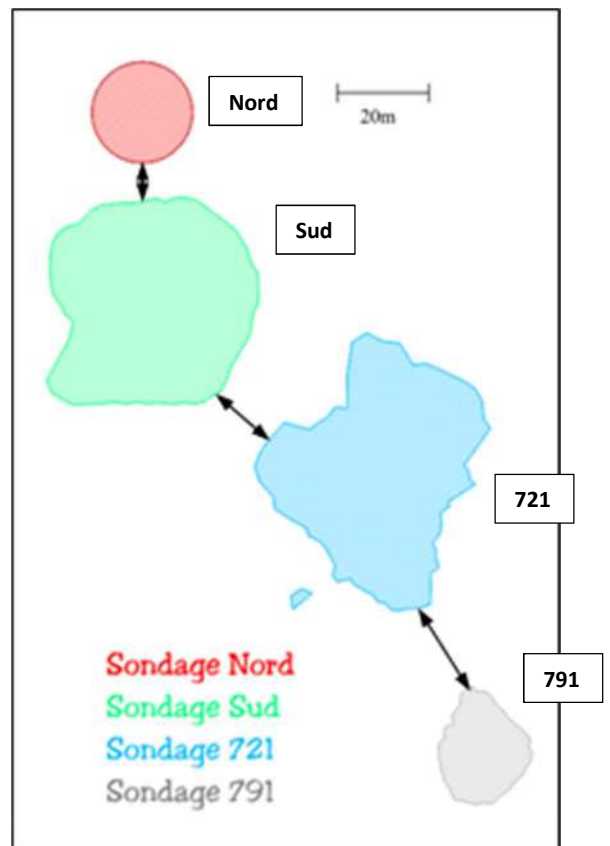


Figure 11 : coupe à 165 m illustrant les épaisseurs des piliers entre cavités

Pour l'analyse de la stabilité à long terme, ARMINES a commencé ❶ par analyser les mesures de nivellement dans le but de comprendre les mouvements de surface et les conditions de stabilité des ouvrages au fur et à mesure du développement de l'exploitation ainsi que les effets éventuels de l'ancienne exploitation puis ❷ a poursuivi par la modélisation des relations tridimensionnelles.

❶ Les principaux résultats à retenir de l'analyse des mesures de nivellement peuvent être résumés comme suit :

- Les têtes des sondages des cinq cavités n'indiquent aucun mouvement significatif en surface lié à l'exploitation par dissolution,
- Deux zones importantes font l'objet actuellement de mouvements significatifs : la première zone est située entre l'effondrement de 1982 et les deux cavités des sondages Nord et Sud (bornes 9, 10, 11 et 23), et la seconde zone est liée à l'ancienne exploitation et à l'effondrement important survenu en 1905 (bornes 2 à 6, 14 et 27),
- Les mouvements de la première zone sont induits par l'effondrement de 1982 et ont subi une accélération avec l'effondrement de 1986. L'amplitude maximale enregistrée depuis le début des mesures est égale à 40 cm et concerne la borne 10. L'accélération du mouvement s'est étalée jusqu'en 1997, puis la vitesse s'est stabilisée autour de 2.34 mm/an pour la borne 10, et 0.62 mm/an, pour la borne 9,
- La seconde zone est marquée par une première phase de subsidence qui s'est stabilisée vers la fin 1990, suivie d'une légère reprise à partir de 1996 (bornes 3 et 6). L'amplitude maximale du mouvement est de 8 cm et la vitesse, moins importante par rapport à la première zone, varie entre 1 et 0.55 mm/an.

Ces résultats ont permis à ARMINES de formuler les recommandations pratiques suivantes :

- S'assurer de la validité des mesures en justifiant et en éliminant les sauts observés au niveau de plusieurs bornes ainsi que les mouvements de surrection de la surface,
- Surveiller attentivement la première zone faisant l'objet de mouvements significatifs. C'est surtout l'effet de l'ancienne exploitation qui est à craindre et qui peut se manifester, comme par le passé, par le développement de zones de lessivage incontrôlé. ARMINES préconise le remplacement des bornes 12 et 13 qui couvraient en plus cette zone,
- Les mouvements de la première zone sont induits par l'effondrement de 1982 et ont subi une accélération avec l'effondrement de 1986. L'amplitude maximale enregistrée depuis le début des mesures est égale à 40 cm et concerne la borne 10. L'accélération du mouvement s'est étalée jusqu'en 1997, puis la vitesse s'est stabilisée autour de 2.34 mm/an pour la borne 10, et 0.62 mm/an, pour la borne 9.,
- Surveiller également la partie Nord de l'ancienne exploitation en particulier au niveau de la borne 3 qui indique une reprise du mouvement depuis 1996 avec une vitesse de l'ordre de 1 mm/an. De la même façon, ARMINES recommande le renouvellement des bornes 2, 4 et 5 dans cette zone.

② Modélisation des relations tridimensionnelles :

ARMINES a procédé avec une approche simple qui consiste à traiter chacune des cavités séparément, puis à examiner ses zones d'influence afin de déduire les possibilités d'interactions et de chevauchements entre les zones des cavités adjacentes ainsi que les risques d'endommagement des piliers les séparant. Il s'agit là d'une approche classique relativement assise.

Les nombreuses simulations effectuées ont conduit aux résultats suivants :

- **La cavité S811 se comporte comme une cavité isolée.** Elle n'a aucune incidence sur les quatre autres cavités, et réciproquement, ne subit pas leur influence. L'étude antérieure de 2005 a préconisé une extension de la cavité en hauteur avec un toit arrondi jusqu'à la côte -365 m. A la fin de la phase de lessivage, la subsidence maximale en surface serait de 2 cm et au bout de deux siècles, cette subsidence serait inférieure à 12 cm.

Ceci a été actualisé dans l'étude de 2014 réalisé à la suite de relevés sonar ayant montré que la dissolution de la partie supérieure de la cavité F811 avait conduit à des sections horizontales elliptiques au lieu des sections circulaires souhaitées. Ce résultat a eu deux conséquences importantes sur l'exploitation : le dépassement local de l'enveloppe de la cavité recommandée dans les études de stabilité de 2005, et la perte d'une quantité importante de sel.

D'après le modèle de dissolution, la poursuite de l'exploitation par injection d'eau douce au fond de la cavité conduirait à un élargissement pouvant atteindre les 5 m dans toutes les directions.

L'étude de 2014 a eu pour objectif d'analyser les conditions de stabilité de la cavité dans sa nouvelle configuration.

La réalisation de modélisations 3D et 2D axisymétrique a montré que l'évaluation de la stabilité avec un modèle bidimensionnel axisymétrique admettant les dimensions horizontales maximales de la cavité constitue une approche pessimiste intégrant de facto une marge de sécurité.

L'étude a été poursuivie avec le modèle 2D axisymétrique le plus pessimiste pour une cavité de volume 1.68 Mm³ dont l'exploitation se fait par lessivage pendant 33 ans et suivi du comportement des terrains sur une durée de 200 ans.

Les résultats obtenus ont montré qu'au bout de 2 siècles, la cavité ne perd qu'environ 6.9 % de son volume et que la surface ne subit qu'une subsidence maximale au centre de la cavité de l'ordre de 12 cm.

La répartition des contraintes reste admissible avec une absence de traction et un déviateur de contraintes inférieur au seuil minimal de 9 MPa, au moment le plus critique correspondant à la fin du lessivage.

L'extension de la zone des déformations viscoplastiques au bout de deux siècles reste aussi limitée et n'atteint pas le niveau -310 m avec une garde sécuritaire de 40 m permettant d'éviter toute interaction avec les cavités sus-jacentes.

Dans ces conditions, le projet de poursuite de l'exploitation de la cavité F811 offre les conditions nécessaires à la stabilité en souterrain et en surface.

- **Les deux cavités du sondage S791 se comportent aussi pratiquement comme des cavités isolées.** Seule la cavité supérieure interagit très localement avec la cavité S721 sans présenter des risques particuliers pour la stabilité et les mouvements de surface.
- De la même façon, la zone d'interférence entre les deux cavités S-Sud et S721 est extrêmement limitée en épaisseur et ne présente pas des risques significatifs.
- Les deux cavités S-Nord et S-Sud interagissent fortement notamment au niveau des horizons situés aux profondeurs 155 à 175 m et 195 à 220 m. L'épaisseur moyenne du pilier est plus faible par rapport à la valeur requise (17 m par rapport à 23 m).
- La présence d'insolubles et de boue saturée en saumure dans ces deux cavités ne modifie pas fondamentalement leurs conditions de stabilité. Les études effectuées par les Salins ont montré qu'il n'y aurait pas de réactions physico-chimiques particulières entre ces matériaux et les terrains encaissants qui conduiraient, soit à des phénomènes de dissolution ou de modification du fluage du sel, soit à une recristallisation et l'apparition d'une cohésion dans la boue. L'expérience d'ARMINES avec ces matériaux montre aussi que c'est surtout la saumure qui joue le rôle primordial et que les particules solides interviennent favorablement, mais d'une façon très limitée dans la répartition des contraintes, la convergence des parois, la subsidence en surface et les déformations viscoplastiques.
- La forte interaction entre les deux cavités S-Nord et S-Sud présente le risque important d'instabilité selon deux scénarii. Le premier consiste en une rupture brutale du pilier entre les deux cavités, suivie d'un affaissement rapide en surface. Le second, une rupture progressive de ce pilier accompagnée d'une subsidence croissante lentement.
- Le premier mode de rupture paraît très peu probable à ARMINES car la phase la plus critique, du point de vue de la répartition des contraintes, correspond à la fin du lessivage. Cette phase est terminée depuis 1984 et aucune évolution particulière n'a été mise en évidence par les mesures sonar et par les nivellements de surface. L'homogénéité des terrains exclut aussi tout phénomène singulier de type poinçonnement ou extrusion qui pourrait causer une telle instabilité.
- C'est donc le second mode de rupture qui serait le plus vraisemblable. L'instabilité pourrait être causée dans ce cas par une dissolution incontrôlée qui affaiblirait lentement le pilier jusqu'à sa disparition totale, ou un écaillage progressif qui conduirait à la même situation.
- Le modèle numérique mis en œuvre pour rendre compte des conséquences de la disparition totale du pilier entre les deux cavités a montré que les conditions globales de stabilité seraient assurées et que les mouvements de surface induits seraient toujours de faible amplitude.
- Etant donné que les deux cavités seront bientôt totalement pleines de boue d'épuration de saumure et qu'il ne sera plus possible d'effectuer des mesures sonar pour contrôler leur forme et l'épaisseur de leur pilier, ARMINES recommande la poursuite régulière des mesures de nivellement de surface et leur renforcement dans cette zone pour détecter tout changement dans l'allure de la subsidence qui serait le résultat de la dégradation de l'état du pilier.

La sensibilité géologique du secteur d'étude est considérée comme forte. L'enjeu pour le projet est fort puisque les activités vont conduire à la modification de la structure du sol et du sous-sol : en phase travaux, par la pose de la canalisation et la réalisation du sondage et en phase exploitation, par la création progressive d'une cavité souterraine. Celle-ci peut induire un risque de mouvements de subsidences.

→ Sensibilité du territoire forte, enjeu fort.

3.4.4 Eaux souterraines

a. Aquifères

Sur le secteur d'étude, les terrains du Trias sont directement en contact avec les alluvions sus-jacentes par le phénomène de diapirisme. De manière générale, il est formé d'un toit d'argile brun rouge à lie de vin localement salifère, gypsifère et plastique contenant de fines passées d'anhydrite blanche et pulvérulente constituant le cap-rock du diapir. **Ces terrains constituent une couverture imperméable protégeant les terrains sous-jacents des infiltrations d'eau. Leur puissance peut atteindre une centaine de mètres.**

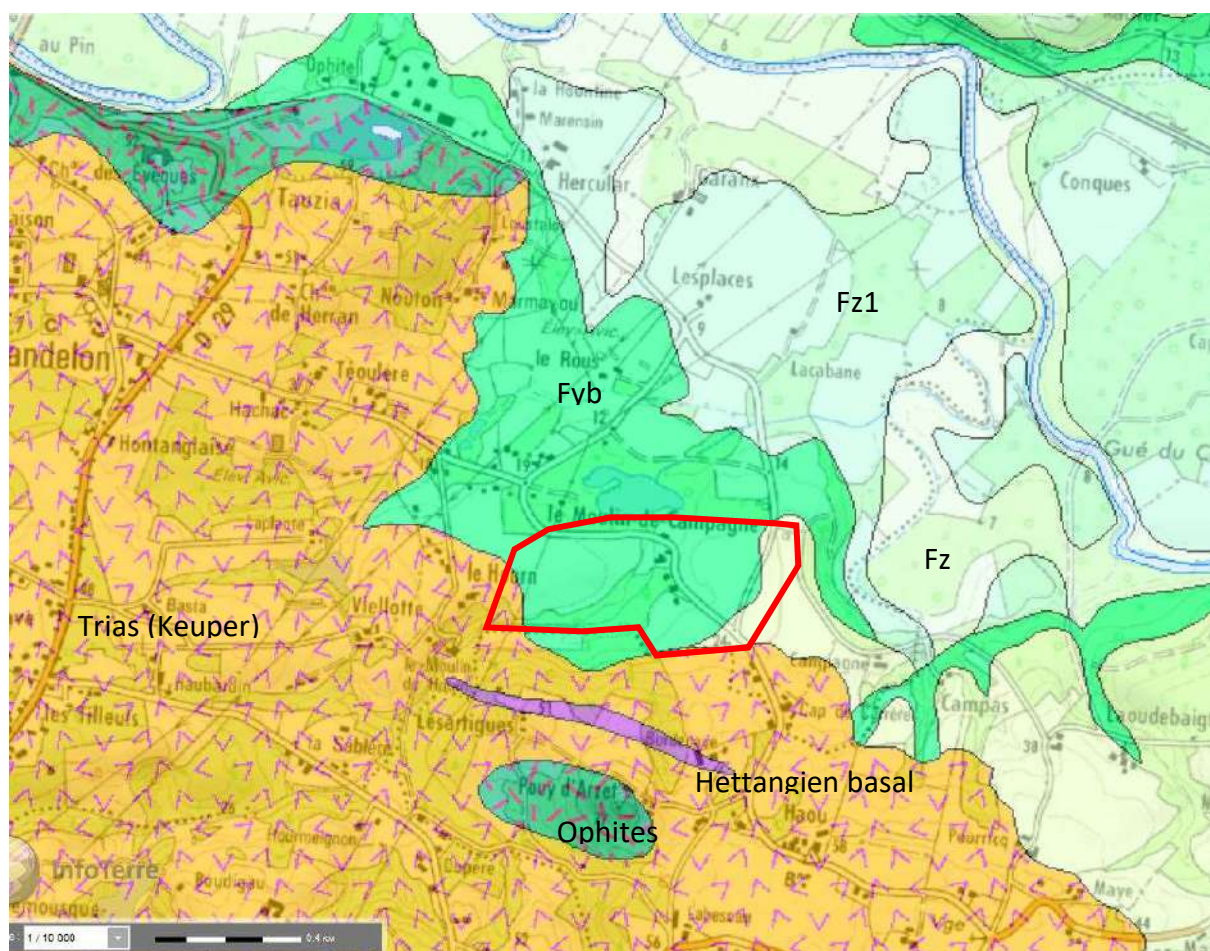


Figure 12 : carte géologique de détail avec la limite des alluvions en vert (Infoterre – 2020)

Au droit du secteur d'étude, il n'existe qu'une nappe phréatique de faible puissance dans les alluvions dont l'étendue est précisée sur la Figure 12 .

La nappe des terrasses pleistocènes (notée Fyb sur la carte) se développe au sein des terrains fluvioglaciers du Würm composés d'argiles à graviers, galets et sable. Cet aquifère peu perméable du fait de son argilosité est généralement drainé par les cours d'eau et alimenté par les pluies. Ces conditions d'alimentation jointes au caractère morphologique perché des terrains sont à l'origine d'une grande variation des réserves en eau. Dans ce contexte, l'eau ne peut être utilisée que pour des exploitations extrêmement modestes à des fins d'arrosage des jardins.

Au nord, dans la vallée du Luy, elle est relayée par la nappe des alluvions du Quaternaire (noté Fz ou Fz1) formées de sables, graviers et tourbes et recouvertes de limons d'inondation à l'ouest de Dax qui

les protègent considérablement des risques de pollution. Cet aquifère est également alimenté par les pluies.

Cette nappe des alluvions fait partie de la grande masse d'eau souterraine des « Alluvions des Luys » (référence FRFG029) d'une superficie totale de 117 km². L'état quantitatif et qualitatif 2015 de cette masse d'eau est bon et son objectif d'état dans le SDAGE 2016 – 2021 est bon également.

Aux alentours, **les différents forages captent généralement des aquifères plus profonds et captifs, d'importance régionale, qui n'existent pas au droit du site du fait de la présence d'un diapir :**

- L'aquifère du Miocène (molasses) est formé de calcaires légèrement argileux avec passages sableux. Le mur est généralement imperméable (calcaire argileux ou argile contenant des blocs calcaires). L'épaisseur de cet aquifère est variable car il dépend du contexte structural, il atteint localement 30 m. Il peut localement donner lieu à des phénomènes d'artésianisme d'après la notice de la carte géologique.
- L'aquifère de l'Oligocène est constitué d'une alternance de calcaires gréseux et marneux. Le toit est parfois constitué de marnes grises. La puissance de ce niveau oscille autour de 200 m.
- Des circulations hydrothermales affectent essentiellement les dolomies redressées du Cénomaniens. Elles ne sont pas exploitées dans un rayon de 3 km autour du site mais il existe dans la ville de Dax plusieurs sources et sondages captant ces eaux.

Les galeries des mines de sel en partie effondrées sont remplies de saumure saturée.

En surface, l'effondrement a constitué un lac dont les eaux présentent une conductivité élevée en surface (9550 µS/cm – cf. chapitre 3.4.5b).

Les terrains séparant les anciennes mines et le lac sont fracturés. Des communications existent donc depuis plus d'un siècle entre les deux niveaux, ainsi qu'entre les eaux salées de l'ancienne mine et les eaux souterraines des niveaux superficiels.

b. Piézométrie

La faible densité d'ouvrages dans le secteur ne permet pas de réaliser une carte piézométrique de la nappe phréatique. Il est probable que les écoulements souterrains suivent le réseau hydrographique du sud-ouest vers le nord-est en direction du Luy.

CSME a prévu de réaliser un réseau de piézomètres entre 6 et 14 m de profondeur aux abords de l'exploitation, dans les terrains alluvionnaires du Würm, siège de la nappe phréatique, **avant la mise en service du premier forage d'exploitation**. Il est détaillé dans le chapitre impacts et mesures.

c. Qualité des eaux souterraines

Les Salines ont réalisé des analyses d'eau souterraine de la nappe des alluvions en juin 1996 à environ 300 m au Nord des forages NORD et SUD au niveau des piézomètres P1 et P2 à proximité d'un projet de forage non réalisé in fine. Les piézomètres n'ont pas été conservés.

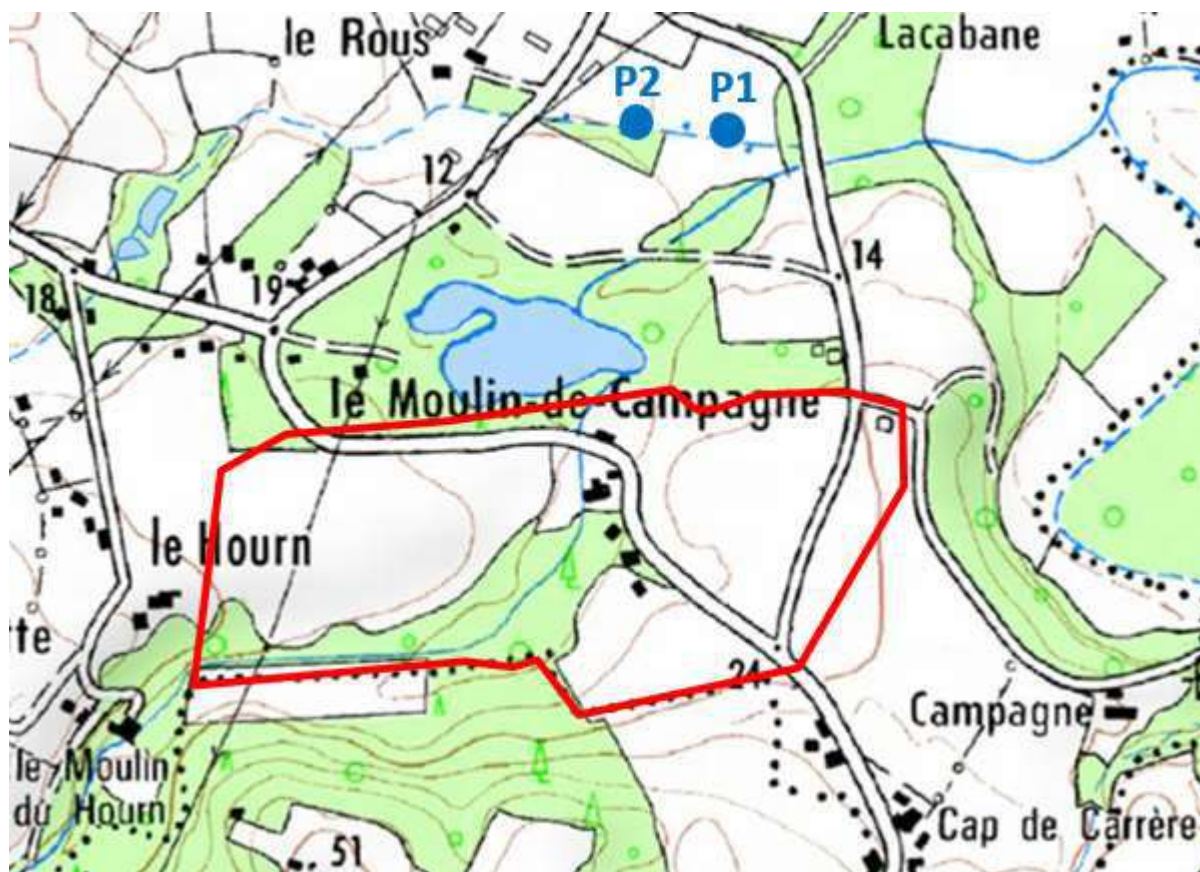


Figure 13 : localisation des piézomètres P1 et P2

Les résultats d'analyses montrent des **eaux légèrement bicarbonatées sans caractère dominant**. Leur pH est de l'ordre de 6,3. Elles ne présentent pas de traces significatives de nitrates ou de phosphates. Les teneurs moyennes suivantes sont relevées :

- Na⁺ : 45 mg/l,
- K⁺ : 3,4 mg/l,
- SO₄²⁻ : 60 mg/l,
- Cl⁻ : 72 mg/l,
- F⁻ : 0,22 mg/l,
- PO₄³⁻ : <0,01 mg/l.

Elles sont typiques d'eaux de nappe superficielle peu minéralisée.

Il n'a pas été réalisé de nouvelles analyses d'eau souterraine dans le secteur d'étude depuis 1996 du fait de l'absence de points de prélèvement possible (nappe non utilisée car trop peu perméable localement).

Aucun point d'eau ou ouvrage répertorié par la Banque du Sous-Sol (BSS – BRGM) et disposant de données piézométriques n'est localisé à proximité des terrains du projet.

Le réseau de piézomètre qui sera mis en place par CSME permettra également de suivi de la qualité des eaux souterraines (cf. chapitre impacts et mesures)

3.4.5 Eaux superficielles

a. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique du secteur est très développé du fait du caractère imperméable des terrains. Le secteur d'étude est inclus dans la zone hydrographique « Le Luy de France du confluent du Grand Arrigan au confluent du Braou (inclus) » (code Q346) d'après le SIEAG (Système d'information sur l'Eau du bassin Adour Garonne).

Le secteur d'étude est recoupé par le Hourn, qui traverse le lac de Saint-Pandelon au niveau de Moulin-de-Campagne. En aval du secteur d'étude, il est rejoint par le Rous puis le ruisseau de Campagne et termine son cours dans le Luy, affluent de l'Adour.

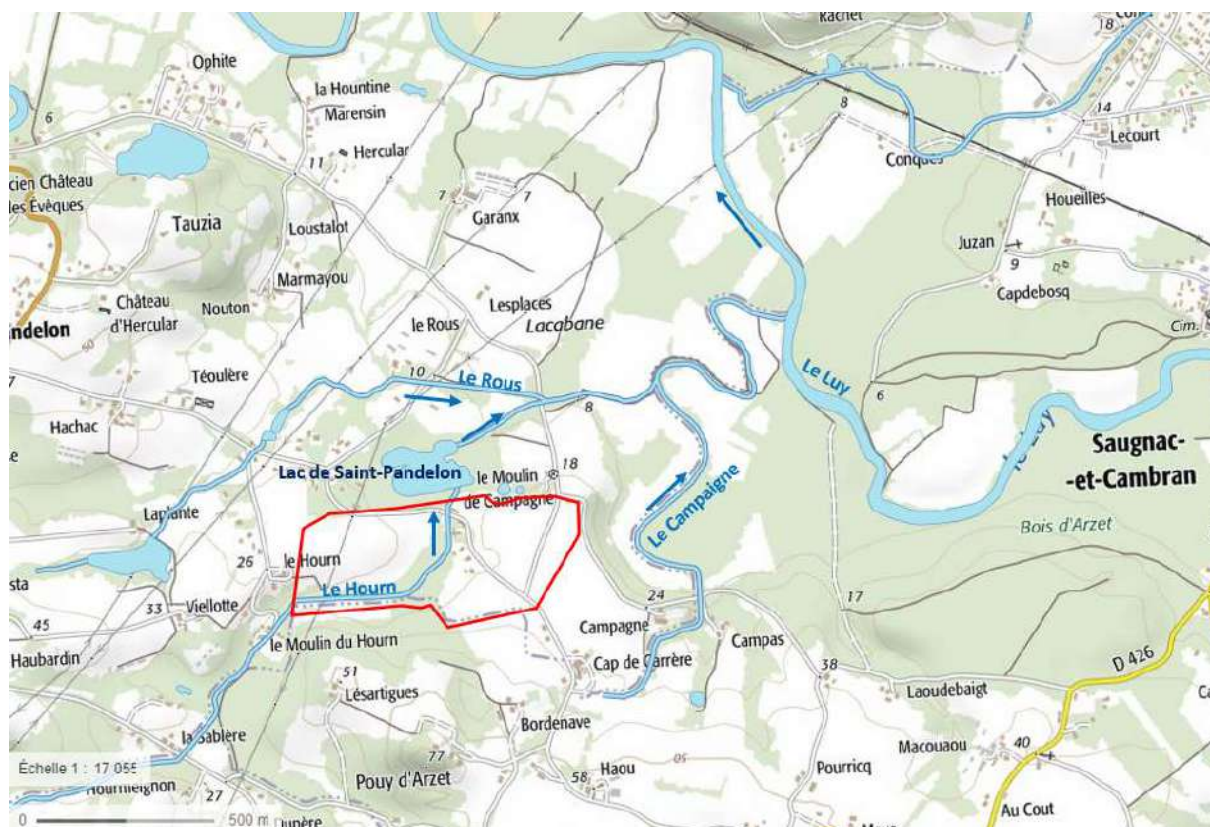


Figure 14 : Réseau hydrographique local

Le Luy

Cette rivière est le seul cours d'eau du secteur d'étude nommé par le SIEAG. Elle est née de la confluence du Luy de France et du Luy de Béarn, rejoint l'Adour au Sud de Tercis-les-Bains en empruntant une zone frontière entre l'avant-pays et les étendues planes des Landes. Elle draine un bassin versant de 1 150 km². A proximité du site, le Luy forme des méandres très resserrés.

A Saint-Pandelon, les débits relevés entre 1968 et 2012 par la DIREN (données estimatives) s'échelonnent entre 3,46 m³/s en période d'étiage (Août) et 33,5 m³/s en période de hautes eaux (Février).

La lame d'eau annuelle ruisselée sur le bassin versant du Luy est de 485 mm (source Banque Hydro, EauFrance, statistiques sur la période 1967 – 2020).

Selon les données fournies par l'Agence de l'eau Adour Garonne (Tableau 3) :

Le Luy est classé en objectif écologique « bon état 2027 », selon le SDAGE 2016-2021.

Deux stations de suivi de la qualité des eaux existent « le Luy au niveau de Saint-Pandelon » (à l'est, amont site) et « le Luy à Saint-Pandelon » (à l'ouest, aval site). Les mesures de qualités des eaux établies par l'Agence de l'Eau Adour Garonne pour ces 2 stations sont les suivantes :

L'état écologique du Luy est qualifié de « moyen » et son état chimique de « bon ».

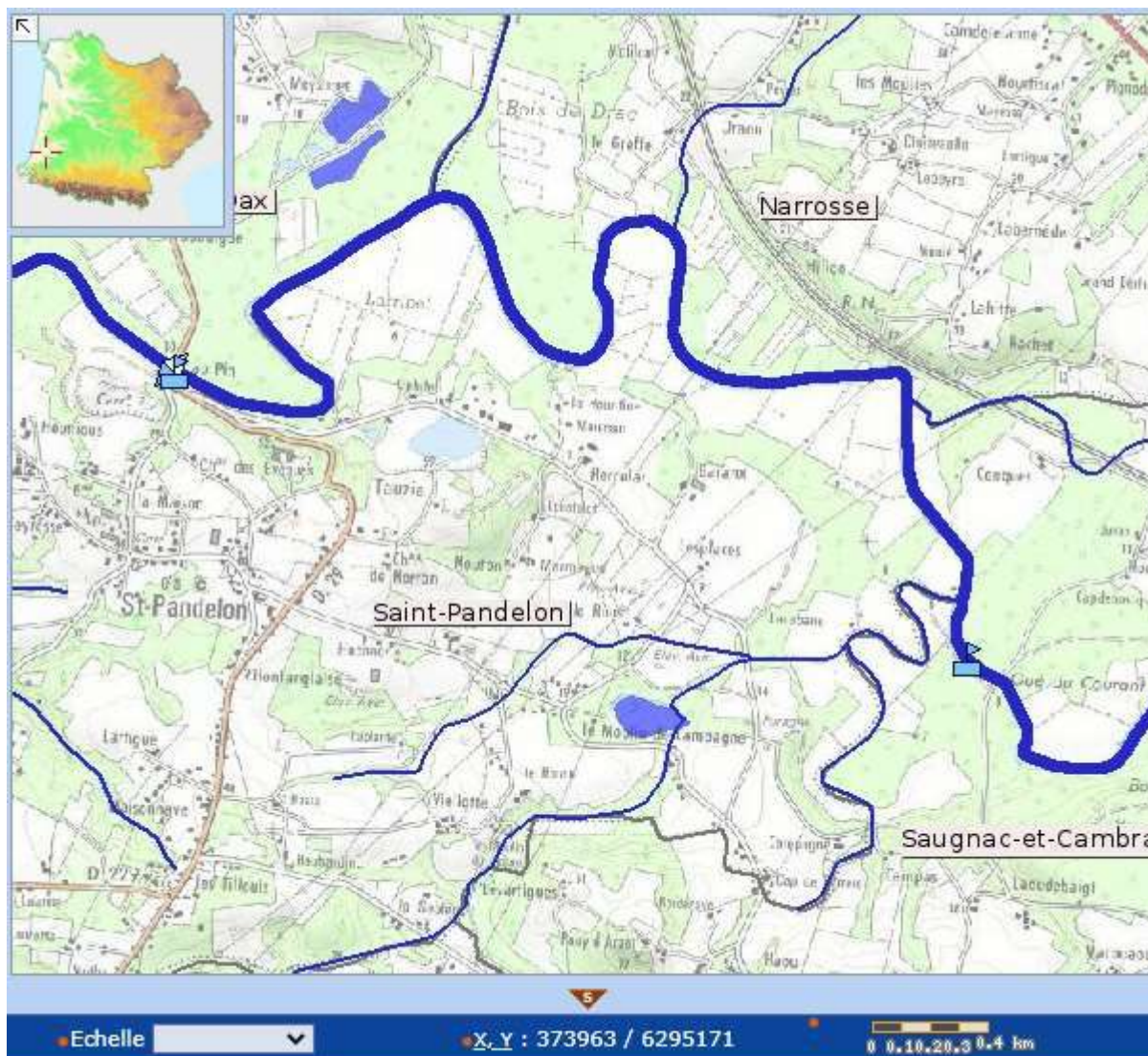


Figure 15 : Stations de mesures de la qualité de l'eau (source : SIEAG)

Tableau 3 : Suivi qualitatif du Luy ; données 2018 (source : SIEAG)

	Altérations	Le Luy à Saint-Pandélon (05219000)	Le Luy au niveau de Saint-Pandélon (05219001)
ÉCOLOGIE		MOYEN	MOYEN
Physico chimie		Bon	Moyen
Oxygène	Carbone Organique	Bon	Bon
	DBO5	Très bon	Très bon
	O2 dissous	Bon	Bon
	Taux de saturation en O2	Bon	Bon
Nutriments	Ammonium	Bon	Bon
	Nitrites	Bon	Bon
	Nitrates	Bon	Bon
	Phosphore total	Bon	Moyen
	Orthophosphates	Bon	Bon
Acidification	pH min	Très bon	Très bon
	pH max	Très bon	Très bon
Température de l'eau		Très bon	Très bon
Biologie		Moyen	Inconnu
Polluants spécifiques		Mauvais	Mauvais
CHIMIE		BON	BON
Métaux lourds		Bon	Bon
Pesticides		Mauvais	Bon
Polluants industriels		Bon	Bon
Autres polluants		Bon	Bon

Classes de qualité de l'état écologique : ■ Très bon ■ Bon ■ Moyen ■ Médiocre ■ Mauvais

Classes de qualité de l'état chimique : ■ Bon ■ Mauvais ■ Inconnu

Le Hourn

Ce ruisseau est alimenté par les eaux de ruissellement et par la nappe d'eau superficielle. Il draine un bassin versant de 2,8 km² en amont du lac de Saint Pandélon, dans le secteur de Chicoy. Il est rejoint en aval du lac par le Rous ou Roux. Ce ruisseau est réputé pour être légèrement salé. Il rejoint plus au Nord le ruisseau de Campaigne, petit affluent du Luy.

Le Hourn traverse un lac de 2 ha environ et d'une profondeur de 20 m dans sa partie centrale.

Ce lac, situé sur le terrain de la concession, s'est formé au début du 20^{ème} siècle par effondrement des anciennes galeries de mine. Dès le début de l'exploitation par dissolution, des effondrements soudains, caractérisés par une forte amplitude des variations de niveaux sont apparus. Des effondrements de 20 m de diamètre se sont formés et se sont réunis peu à peu en un vaste entonnoir. Cette dépression constitue aujourd'hui un lac de 300 m de long sur 100 m de large sur les plus grandes dimensions et 20 m de profondeur environ. Il s'est développé exactement à l'aplomb des anciennes galeries effondrées (étages 70, 105 et 135).

Il existe trois autres plans d'eau de moins grande superficie dont deux sont situés à l'Est du lac principal et non en communication avec les eaux de surface et formés également par des effondrements liés à d'anciennes exploitations du sel (entre 1885 et 1982).

Le Rous

Ce ruisseau draine un bassin versant d'environ 1,28 km². Il prend sa source au niveau des maisons Laplante et Vieillote, sur les terrains triasiques et traverse plus au Nord-Ouest les terrains fluvio-glaciaires du Würm. Il rejoint ensuite le ruisseau du Hourn.

b. Qualité des eaux superficielles

Une campagne de prélèvement pour analyse a été réalisée en 2020.

Les points de prélèvements sont présentés sur la Figure 16.



Figure 16 : point de prélèvements réalisés en 2020

Ces points sont les suivant :

- Sur le Hourn en amont du pont de Moulin de Campagne : analyses physico-chimiques, IBGN (Indice Biologique Global Normalisé), IBD (Indice Biologique Diatomées) et débit
- Sur le plan d'eau situé dans la concession (plan d'eau créé par effondrement des anciennes galeries de mine de sel et servant d'eau de dissolution) : analyses physico-chimiques et du phytoplancton

Physico-chimie du Hourn en amont du lac et des eaux du plan d'eau :

Les prélèvements ont eu lieu de 6 août 2020. Les résultats des mesures et analyses donnent un état initial de la qualité du cours d'eau et du plan d'eau et sont présentés au Tableau 4 : physico chimie (bordereau d'analyse en Annexe D)

Type de mesure	Paramètre	Le Hourn amont lac	Plan d'eau
Mesures in situ	Conductivité	609 µS/cm à 25°C	9550 µS/cm à 25°C
	pH	7.7	8.4
	Température	20 °C	25.4 °C
	Oxygène dissous	8.2 mg/L	12.01 mg/L
	Taux de saturation en oxygène (calcul)	92.4 %	146.1 %
Analyses Au laboratoire	Anions minéraux		
	Chlorure	107 mg/L	6300 mg/L
	Sulfate	32.7 mg/L	260 mg/L
	Cations minéraux		
	Calcium	28.9 mg/L	61.3 mg/L
	Potassium	2.2 mg/L	52.3 mg/L
	Magnésium	9.68 mg/L	26.9 mg/L
	Sodium	65.8 mg/L	1670 mg/L
	Métaux		
	Cadmium	<1 µg/L	<1 µg/L
	Chrome	<2 µg/L	<2 µg/L
	Cuivre	<2 µg/L	<2 µg/L
	Fer	588 µg/L	165 µg/L
	Mercurure	<0.015 µg/L	<0.015 µg/L
	Manganèse	24.2 µg/L	42.6 µg/L
	Nickel	<5 µg/L	<5 µg/L
	Plomb	<5 µg/L	<5 µg/L
	Zinc	<5 µg/L	<5 µg/L
	Produits minéraux		
Arsenic	<5 µg/L	6.94 µg/L	

Tableau 4 : résultats des mesures et analyses de physico-chimie sur le Plan d'eau et le Hourn à l'amont

L'eau du cours d'eau du Hourn en amont du lac est caractérisée par une minéralisation assez faible (conductivité de 609 µS/cm)

L'eau du plan d'eau montre des teneurs importantes en sodium, potassium, sulfates et chlorures. La conductivité est de ce fait élevée (9550 µS/cm).

Indices biologiques du Hourn en amont du lac :

IBG-DCE :

Le rapport LPL est présenté en Annexe F.

La note équivalent IBGN (15/20) classe la station d'étude en BON état écologique alors que la note IBG-EQR (0,9333) permet d'attribuer un état écologique TRES BON à la station étudiée.

La diversité taxonomique est bonne et cela confère au milieu un caractère oligo-mésotrophe indiquant une bonne qualité du milieu avec une charge organique faible et indicateur d'une absence de pollution toxique.

IBD :

Le rapport LPL est présenté en Annexe F.

Le Ruisseau du Hourn est classé en bon état biologique en amont du lac de Saint-Pandelon d'après le peuplement diatomées.

L'analyse met en évidence un peuplement stable, diversifié et équilibré. On observe un écart significatif entre les notes IBD et IPS, ce dernier indice présentant une plus grande sensibilité aux pollutions physico-chimiques.

Le cortège floristique est dominé par *Platessa oblongella*, complexe taxonomique présentant une importante amplitude écologique et pouvant induire une surestimation de l'IBD. On observe aussi des taxons présentant une affinité avec les milieux eutrophes, comme *Cocconeis euglypta* et *Sellaphora nigri*, confirmant les perturbations mises en évidence par l'écart avec l'IPS.

Malgré son classement en bon état, le milieu semble subir une eutrophisation.

Analyse de phytoplancton dans le lac de Saint Pandelon

Le rapport AQUABIO est présenté en Annexe G.

Le profil de mesures physico-chimiques réalisé dans la zone euphotique (jusqu'à 1,5 m de profondeur) montre une eau très minéralisée proche des conditions marines (9 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en surface à 31 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) due au contact en fond de lac avec le sel.

L'oxygénation de la colonne d'eau est très importante (plus de 170 % de saturation en oxygène) ainsi que sa température (de 26 à 32°C suivant la profondeur).

Le peuplement phytoplanctonique présente une stabilité très faible (Shannon=0,68). La variété taxonomique est très faible (9 taxons). La production algale, représentée par le biovolume, est cependant très élevée (72,45 mm^3/L).

Le peuplement est dominé à plus de 90 % par la diatomée planctonique *Chaetoceros cf muelleri* (64,26 mm^3/L). Ce taxon est typiquement d'origine marine. De ce fait, le calcul de l'IPLAC n'est pas réalisable (aucune cote spécifique pour ce taxon dans le logiciel Phytobs).

Les caractéristiques de ce peuplement, forte productivité et faible diversité, sont typiques d'un peuplement marin, ce qui est confirmé par la dominance de taxon provenant de ce type de milieu.

c. Réseau de surveillance de la qualité des eaux superficielles

Un réseau de surveillance de la qualité des eaux superficielles est prévu d'être mis en place par CSME aux abords de l'exploitation.

Les implantations prévisionnelles des 12 points de prélèvement (A à L) sont présentées sur la Figure 17 ci-après.

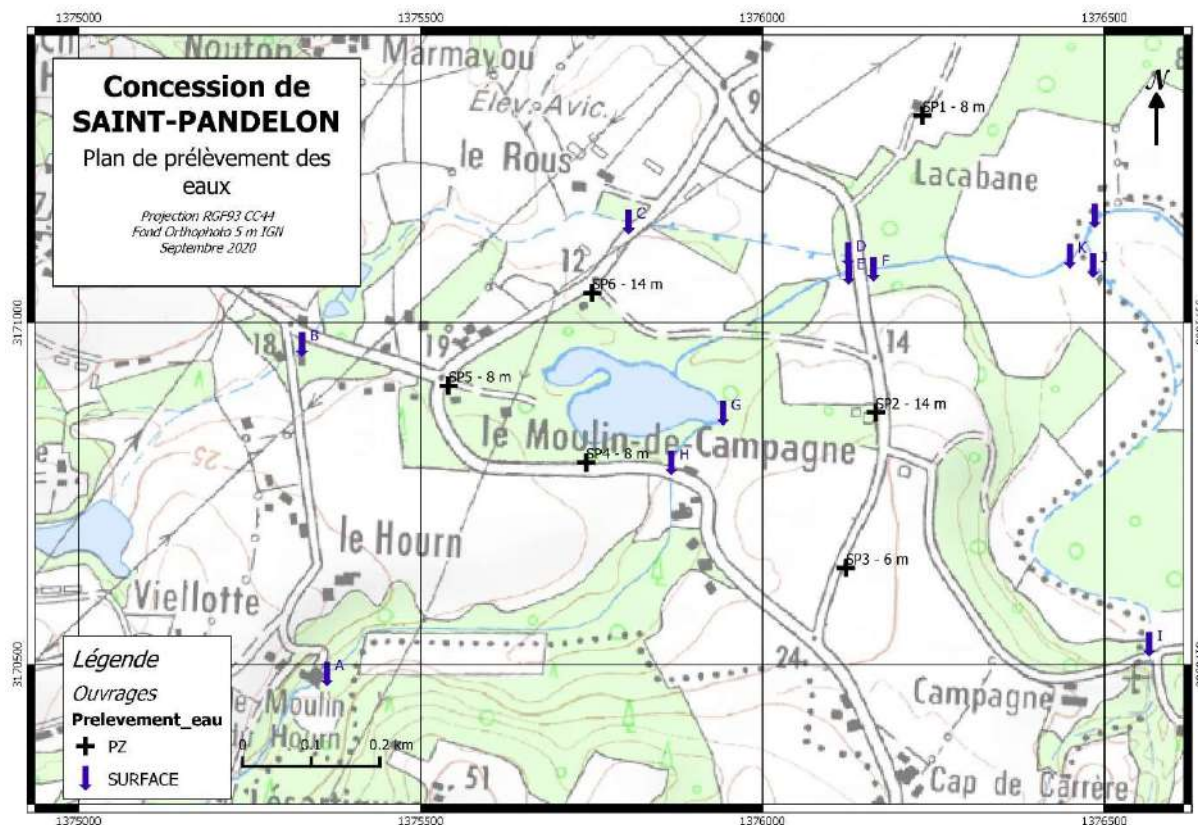


Figure 17 : implantation des points de surveillance des eaux (eau de surface et eau souterraine)

Les points concernent :

- Le Hourn : 6 points (d'amont en aval : A, H, G lac, E, F et K),
- Le Rous : 3 points (d'amont en aval : B, C et D),
- Le Campagne : 3 points (d'amont en aval : I, J et L).

Les mesures de suivi prévus à fréquence semestrielle sont les suivantes : prélèvement et analyse Cl-, SO4--, pH et conductivité électrique de l'eau. Des premières campagnes de mesures auront lieu avant le démarrage des travaux.

3.4.6 Zonages réglementaires et de planification liés à l'eau

a. Zonages réglementaires

La commune de Saint-Pandelon est classée en :

- **Zone sensible à l'eutrophisation** sur 100 % de sa surface ;
- **Zone vulnérable à la pollution par les nitrates d'origine agricole** ;
- **Zone de répartition des eaux (ZRE)**. Les zones de répartition des eaux sont caractérisées par une insuffisance, autre qu'exceptionnelle, des ressources par rapport aux besoins. Dans une ZRE, les seuils d'autorisation et de déclarations des prélèvements dans les eaux superficielles comme dans les eaux souterraines sont abaissés. Ces dispositions sont destinées à permettre une meilleure maîtrise de la demande en eau, afin d'assurer au mieux la préservation des écosystèmes aquatiques et la conciliation des usages économiques de l'eau. Dans une ZRE, les prélèvements d'eau supérieurs à 8m³/h sont soumis à autorisation et tous les autres sont soumis à déclaration.

b. Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) Adour-Garonne

Le site d'étude se situe dans le périmètre du SDAGE Adour-Garonne, qui a été approuvé le 2 décembre 2015, pour la période 2016 – 2021.

Une consultation du public portant sur le projet SDAGE 2022-2027 et son Programme De Mesures (PDM) associé est en cours jusqu'au 1er septembre 2021. Dans l'attente de l'adoption du SDAGE 2022-2027, le SDAGE 2016-2021 constitue le document opposable.

Le SDAGE est un document d'orientation stratégique pour la gestion des eaux et des milieux aquatiques qui.

D'après le programme de mesures du SDAGE, le projet prend place au sein de l'UHR Adour. Les principaux enjeux de cette UHR sont les suivants :

- Qualité des eaux souterraines en tête de bassin pour les besoins AEP ;
- Réduction des rejets domestiques et industriels ;
- Réduction des pollutions diffuses ;
- Conciliation de l'ensemble des usages à l'étiage ;
- Protection et restauration des cours d'eau et milieux remarquables.

D'après le SIGES Aquitaine, le territoire de la commune de Saint-Pandelon n'est couvert par aucun SAGE.

La sensibilité hydrogéologique du secteur d'étude est considérée comme modérée. L'enjeu pour le projet est fort puisque les activités vont conduire à la modification de la structure du sol et du sous-sol : en phase travaux, par la pose des canalisations et la réalisation de la plate-forme et du forage et en phase exploitation, par la création progressive d'une cavité souterraine. Celle-ci peut induire un risque de fuite accidentelle (essentiellement de la canalisation de saumure qui pourrait engendrer une pollution des sols - parcelles agricoles essentiellement).

3.4.7 Usage de l'eau

D'après l'Agence Régionale de Santé Nouvelle-Aquitaine, il n'existe aucun forage utilisé pour l'alimentation en eau potable sur la commune de Saint-Pandelon

Sur la commune de Saint-Pandelon, d'après le SIEAG, les prélèvements d'eaux sont essentiellement liés à l'arrosage et au pompage d'eau de dissolution pour l'extraction de sel.

Seuls sont répertoriés dans ce secteur, en plus des ouvrages d'exploitation des Salines :

- Un forage, d'indice national 09771X0164/F15, correspondant au forage F15 de la concession de Saint-Pandelon, forage d'exploitation situé à environ 100 m au nord du lac,
- Une source, d'indice national 09771X0194/S, anciennement utilisée pour le thermalisme,
- Deux forages de recherche d'hydrocarbures : 09771X0003/FDACR3 et 09771X0004/FDACR6 ;
- Un forage rebouché, d'indice national 09771X0169/P6.

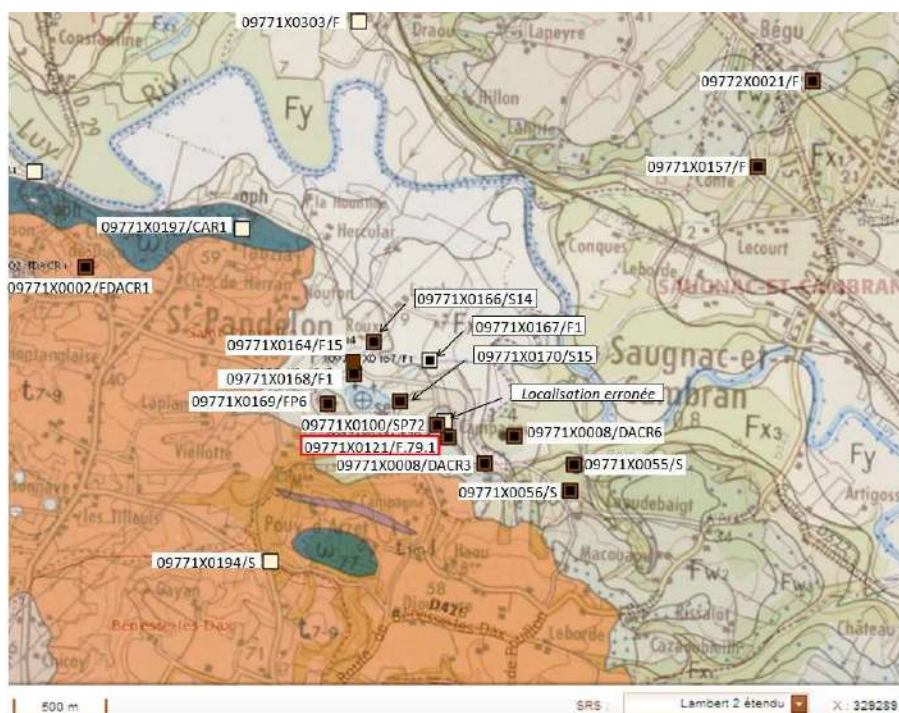


Figure 18 : localisation des forages ou puits du secteur élargi (Infoterre)

L'exploitation nécessite le pompage annuel de 110 000 à 180 000 m³ d'eau maximum dans le lac appartenant à la compagnie, avec un débit de pointe de 30 m³/h. Ce lac est alimenté essentiellement par le ruisseau du Hourn.

Cette eau est pompée et injectée dans le réseau d'eau industrielle qui alimente les sondages.

A l'aval de la surverse du lac, l'eau du Hourn sert en partie à alimenter les besoins d'arrosage d'un exploitant agricole.

3.4.8 Conclusion sur la sensibilité vis-à-vis du contexte hydrogéologique et hydrographique

La sensibilité du territoire est considérée comme forte concernant les eaux superficielles et souterraines, avec en particulier :

- Un cours d'eau identifié dans la zone d'étude et d'un plan d'eau en limite ;
- La présence d'une nappe superficielle de faible puissance ;
- Commune en ZRE, zone sensible et zone vulnérable.

Toutefois, on note :

- L'absence d'aquifère profond du fait de la présence du diapir ;
- La faible perméabilité de l'aquifère superficiel qui en limite les usages ;
- L'absence d'usage des eaux pour l'alimentation en eau potable.

Des prélèvements d'eau ont été réalisés afin de disposer d'un état initial de la qualité des eaux de surface avant travaux.

En phase travaux, l'enjeu réside dans la non-pollution des nappes et des cours d'eau lors des travaux de réalisation du sondage et de pose des canalisations.

En phase exploitation :

- **Le fonctionnement du forage nécessite des prélèvements d'eau du lac comme c'est le cas actuellement. La mise en fonction du nouveau forage ne nécessitera aucun prélèvement d'eau supplémentaire par rapport à la situation existante (aussi bien en phase transitoire où l'ancien forage et le nouveau fonctionneront simultanément et en série, que lors de la phase finale) ;**
- **N'engendre pas de rejet d'eaux injectées (acheminement des eaux vers le saumoduc) ;**
- **Le risque réside dans l'apparition d'une fuite de saumure qui pourrait polluer les eaux.**

→ **Sensibilité du territoire forte, enjeu fort.**

3.4.9 Qualité de l'air

La qualité de l'air du secteur est surveillée par l'association Atmo Nouvelle-Aquitaine. La station de mesure la plus proche et la plus similaire du site d'étude est celle du Temple (33), station rurale de fond, située à une quarantaine de kilomètres au nord-ouest de Saucats. Les paramètres mesurés sur cette station sont le dioxyde d'azote (NO₂) et l'ozone (O₃). La figure suivante présente les résultats des mesures réalisées sur l'année 2019-2020 (moyennes mensuelles) et les moyennes annuelles sur les 5 dernières années.

La station de surveillance de la qualité de l'air la plus proche du secteur de projet est la station de Dax, située à moins de 10 km au nord-ouest du site d'étude. Il s'agit d'une station de fond urbaine. Bien que l'environnement de la station ne soit pas représentatif du site d'étude, rural, les mesures donnent une indication de la qualité de l'air.

La moyenne des mesures réalisées à Dax sur les 5 dernières années est présentée ci-dessous et montre une bonne qualité de l'air sur le secteur.

D'après la carte régionale de synthèse annuelle de la qualité de l'air réalisée par Atmo Nouvelle-Aquitaine, la qualité de l'air à Saint-Pandelon est qualifiée de bonne en 2017 et 2018.

Polluant / Année	2015	2016	2017	2018	2019
dioxyde d'azote (NO ₂) (µg/m ³)	12	12	13	12	12
ozone (O ₃) (µg/m ³)	46	45	45	48	52
particules en suspension PM10 (µg/m ³)	22	17	18	15	18
particules fines PM2,5 (µg/m ³)	-	9	9	9	9

Figure 19 : Moyennes des mesures de la station de Dax sur les 5 dernières années (Source : Atmo-nouvelle-Aquitaine)

La sensibilité du territoire en matière de qualité de l'air est faible. Le projet ne sera pas significativement générateur de gaz à effets de serre (alimentation du compresseur et de la pompe).

→ **Sensibilité du territoire faible, enjeu négligeable**

3.5 Milieu naturel

3.5.1 Contexte réglementaire

La zone d'étude est située **hors de tout périmètre de protection écologiques ou d'inventaire**. Elle n'est concernée par aucune zone naturelle réglementaire (Natura 2000, RAMSAR), aucun espace naturel protégé (réserve ou parc naturel, aire de protection de biotope...), aucune zone naturelle inventoriée (ZNIEFF, ZICO...), ni aucun espace naturel sensible (ENS).

Toutefois, on recense à proximité :

- La zone Natura 2000 « Barthes de l'Adour » (SIC FR7200720), à 60 m environ à l'est des limites de la zone d'étude ;
- La ZNIEFF de type 1 le « Lit mineur et berges de l'Adour, des gaves réunis et du Luy » (n°720030088), à 60 m environ à l'est des limites de la zone d'étude ;
- La ZNIEFF de type 2 « L'Adour de la confluence avec la Midouze à la confluence avec la Nive, tronçon des Barthes » (n°720030087), à un peu plus de 600 m à l'est de la zone d'étude.

3.5.2 Site du réseau Natura 2000 : Les Barthes de l'Adour (FR7200720)

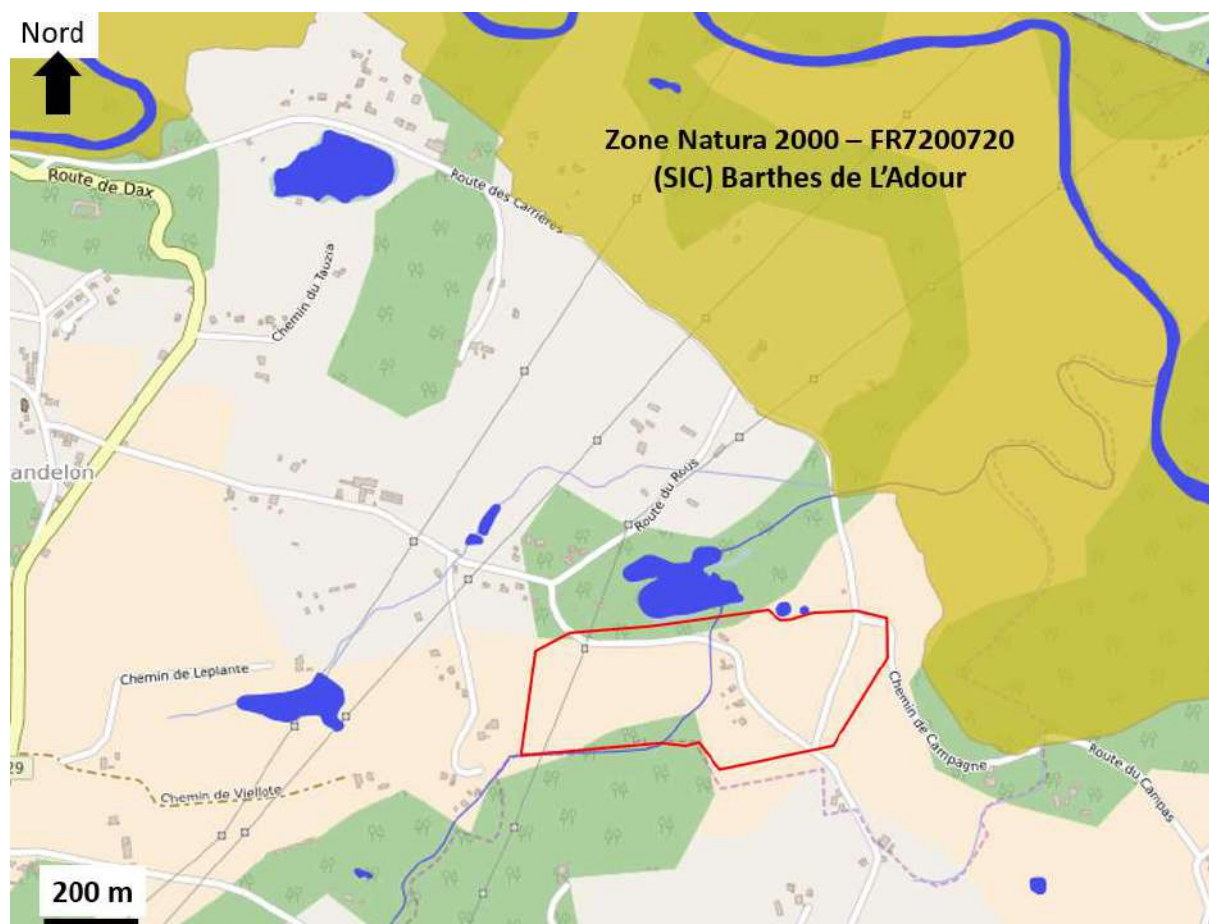


Figure 20 : Zone Natura 2000 à proximité du projet

Selon l'INPN, ce site Natura 2000 est couvert à :

- 35% de forêts caducifoliées ;
- 26% de prairies semi-naturelles humides et prairies mésophiles améliorées ;
- 17 % de cultures céréalières extensives) ;
- 12% de forêt artificielle en monoculture.

Le site concerne les plaines alluviales situées de part et d'autre de l'Adour sur les 80 km reliant Pontonx-sur-Adour à Tarnos. La plaine alluviale de son affluent, le Luy, est également comprise dans le site jusqu'à Sort en Chalosse. Ces zones inondables sont localement appelées « barthes ». D'une superficie totale de 12 000 hectares, la délimitation du site correspond au territoire couvert par la crue centenaire de 1952 sur les 40 communes concernées.

Cette zone humide maillée de fossés et canaux présente des milieux naturels riches et variés allant des prairies pâturées ou fauchées aux grandes chênaies de l'Adour. Cette mosaïque de milieux abrite une faune et une flore remarquables typiques des zones humides.

Ce site Natura 2000 est notamment constitué de 16 habitats d'intérêt communautaire.

Ce site Natura 2000 offre des conditions favorables au cycle de vie de 20 espèces d'intérêt communautaire : 7 mammifères (dont 4 chiroptères), 1 reptile, 3 poissons, 6 invertébrés et 3 plantes.

Les Barthes sont menacées par les modifications du contexte hydraulique et hydro dynamique, et celles des pratiques agricoles et forestières ainsi que par l'expansion des espèces invasives.

3.5.3 Zones d'intérêt écologique, floristique et faunistique

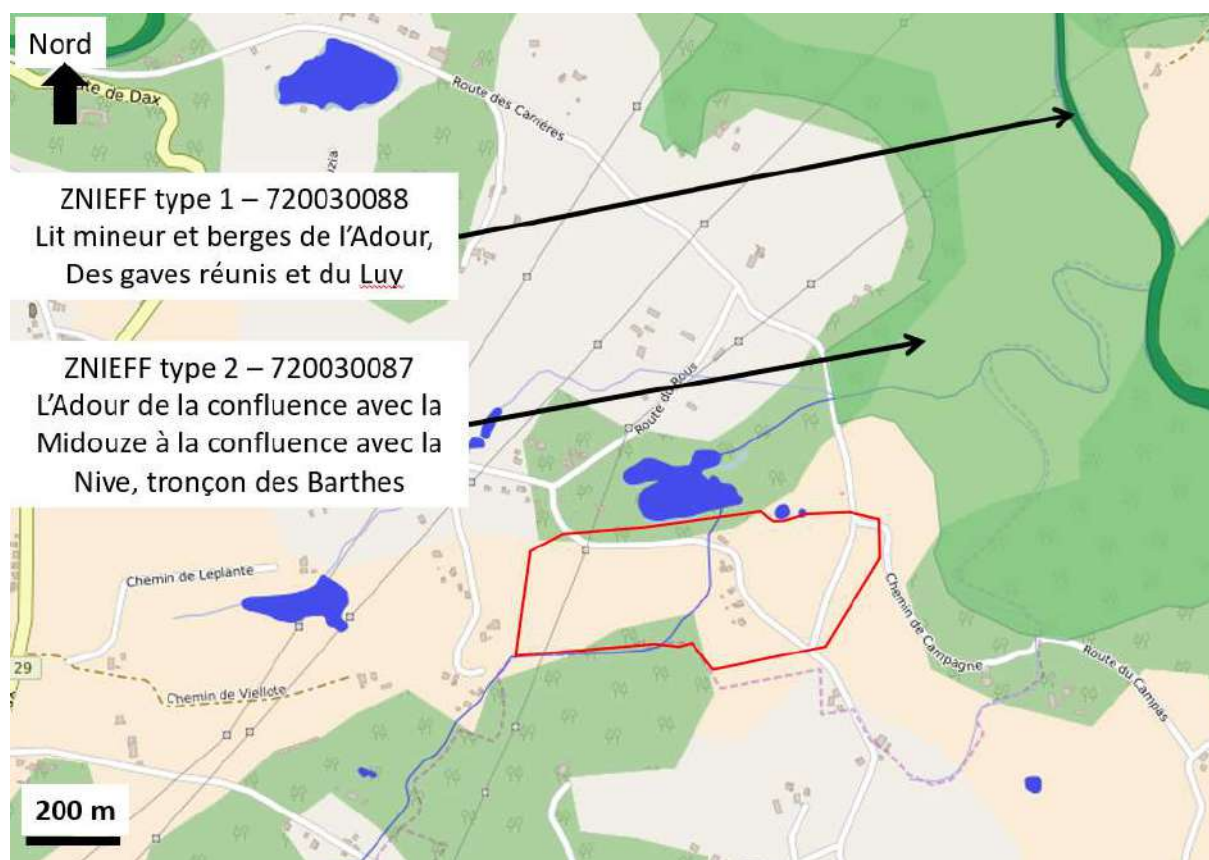


Figure 21 : ZNIEFF à proximité du projet

a. ZNIEFF 1 « Lit mineur et berges de l'Adour, des gaves réunis et du Luy » (n°720030088)

Cette ZNIEFF a été créée en priorité pour identifier le secteur de développement et de conservation de la mégaphorbiaie à angélique des estuaires, cette plante étant une endémique des estuaires de la façade atlantique (estuaires de la Loire, de la Charente, de la Gironde, de l'Adour et de la Nivelle). Sa présence et son maintien sont liés au balancement des marées d'où sa répartition limitée à la zone de marée dynamique sur les cours d'eau, dont l'Adour.

L'Adour constitue également un corridor écologique, notamment pour les poissons amphihalins, mais peu d'entre eux s'y reproduisent.

En revanche, la lamproie marine se reproduit sur le Luy, de même que la grande mulette, moule d'eau douce devenue très rare et considérée comme en danger critique d'extinction par l'UICN. C'est pourquoi ce tronçon du Luy, affluent de l'Adour, a été intégré à cette ZNIEFF qui comprend des tronçons de cours d'eau présentant des enjeux patrimoniaux majeurs.

Cette ZNIEFF est incluse dans la ZNIEFF 2 « L'Adour de la confluence avec la Midouze à la confluence avec la Nive, tronçon des Barthes ».

b. ZNIEFF 2 « L'Adour de la confluence avec la Midouze à la confluence avec la Nive, tronçon des Barthes » (n°720030087)

Les limites de cette ZNIEFF sont incluses dans le périmètre du site Natura 2000 des barthes de l'Adour.

Les barthes de l'Adour sont des plaines alluviales associées au fleuve Adour et à son affluent le Luy.

Elles présentent une morphologie particulière et originale avec la présence au pied du coteau d'une dépression latérale appelée « barthe basse », elle-même séparée du lit mineur par des terres exhausées appelées « barthe haute ».

Les Barthes sont caractéristiques du paysage du Bas Adour maritime. La barthe basse est dominée par les boisements marécageux dans lesquels s'insèrent de multiples plans d'eau associés à différents types de végétations de ceinture. Des surfaces ponctuelles sont occupées par des prairies humides et des peupleraies. Cette barthe basse est inondée régulièrement par l'accumulation des eaux en provenance des coteaux. La barthe haute est dominée par la culture de maïs, associée à quelques prairies et des boisements (surtout peupliers et quelques chênaies).

Cette zone du Bas Adour est également caractérisée par une ripisylve absente ou très étroite (souvent remplacée par des invasives), la présence de nombreux aménagements hydrauliques et d'une urbanisation linéaire le long de la route des Barthes (D74).

Les Barthes ont par ailleurs un rôle majeur dans la prévention des inondations du territoire. Elles interviennent de façon primordiale dans l'écoulement des cours d'eau en jouant notamment le rôle de vase d'expansion lors des crues mais aussi en stockant les eaux de ruissellement des bassins versants (désynchronisation des crues).

Le Hourn, qui traverse la zone d'étude, et le lac de Saint-Pandelon sont en lien hydraulique avec le site Natura 2000 « Les Barthes de l'Adour » puisque le Luy est un affluent de l'Adour.

Toutefois, le projet n'engendre aucun rejet d'effluents vers le milieu naturel et n'augmente pas les prélèvements d'eau actuels. Les éventuelles pollutions accidentelles qui pourraient survenir n'auraient que des conséquences très locales et peu graves. Ainsi, l'incidence du projet sur les sites Natura 2000 et les ZNIEFF est considérée comme faible.

→ Sensibilité du territoire modérée, enjeu faible

3.5.4 Caractérisation du milieu naturel sur le site

Un diagnostic écologique du site a été réalisée par le bureau d'étude spécialisé Eliomys entre juillet 2018 et juillet 2019.

Le rapport complet est présenté en annexe I.

Les dates de passage sur le terrain sont synthétisées dans le tableau ci-après :

Date	24/07/2018	02/10/2018	12/01/2019	27/03/2019	24/05/2019	20/06/2019	12/07/2019	29/07/2019
Conditions météorologiques	Chaud, orageux 28°C	Doux, sec, 19°C	Frais, sec 11°C	Beau, frais 15°C	Humide, 20°C	Beau, chaud 26°C	Chaud, sec 29°C	Chaud, sec 28°C
Flore	x				x		x	
Amphibiens	x	x	x	x	x			
Reptiles	x	x		x	x	x		x
Oiseaux	x	x	x	x	x	x		x
Mammifères	x	x	x	x	x	x		x
Insectes	x			x	x	x		x

Tableau 5 : Dates de passage sur le terrain (Eliomys)

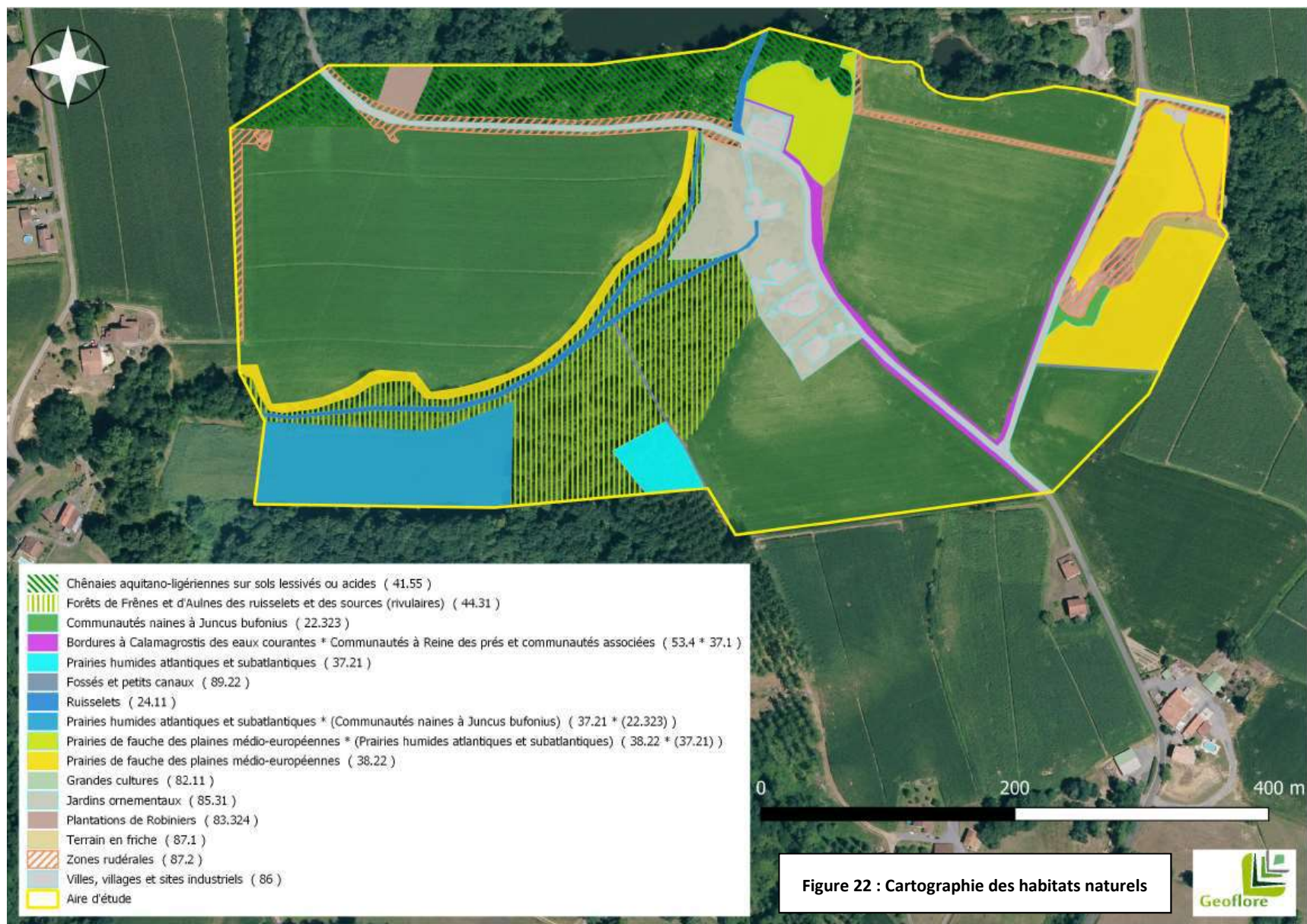
a. Synthèse des enjeux pour les habitats

Une grande partie de la zone d'étude est occupée par des parcelles cultivées de Maïs, gérées de manière intensive laissant peu de place à la flore spontanée pour s'exprimer. Au centre de la zone, sur les pourtours de petits ruisseaux se trouvent des boisements rivulaires dominés par l'Aulne (*Alnus glutinosus*) et ponctuellement colonisés par le Robinier faux-Acacia. La partie topographiquement la plus haute est caractérisée par des boisements mésophiles composés par le Châtaigner (*Castanea sativa*) et le Chêne pédonculé (*Quercus robur*), ici encore, marqués par la présence du Robinier. Quelques prairies de fauche à caractère plus ou moins humide et dégradé ponctuent l'aire d'étude.

Les habitats naturels présentant un enjeu important sont les zones humides, avec les Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources et les communautés à Reine des prés et communautés associées (cf. le Tableau 6 ci-après).

CCB	Habitats naturels	Niveau d'enjeu	Zone humide	Contrainte réglementaire
37.21	Prairies humides atlantiques et subatlantiques	Fort	oui	oui
37.21 * (22.323)	Prairies humides atlantiques et subatlantiques * (Communautés naines à <i>Juncus bufonius</i>)	moyen	oui	oui
38.22 * (37.21)	Prairies de fauche des plaines médio-européennes * (Prairies humides atlantiques et subatlantiques)	moyen	En mosaïque	oui
44.31	Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources (rivulaires)	Fort	oui	oui
53.4 * 37.1	Bordures à <i>Calamagrostis</i> des eaux courantes * Communautés à Reine des prés et communautés associées	Fort	oui	oui

Tableau 6 : Synthèse des habitats naturels remarquables et enjeux associés (Eliomys)





b. Synthèse des enjeux pour la flore

Trois espèces protégées au niveau régional ont été recensées sur l'aire d'étude, **l'espèce principale présentant des enjeux forts est l'Oenanthe à feuilles de silaüs**. Les Lotiers velu et grêle et les espèces à caractère remarquable mais non protégées présentent des enjeux moindres.

Nom Français	Nom scientifique	Statut	Statut sur le site	Enjeu
Oenanthe à feuilles de Silaus	<i>Oenanthe silaifolia</i>	Protection régionale	Présence ponctuelle dans une ancienne peupleraie	Fort / contrainte réglementaire
Lotier grêle/Lotier velu	<i>Lotus angustissimus/hispidus</i>	Protection régionale	Répartition large dans des espaces écorchées de prairie et des zones rudérales	Faible / contrainte réglementaire
<i>Alisma lanceolatum, Bromus secalinus, Callitriche hamulata, Campanula patula, Cyperus longus, Euphorbia illirica, Euphorbia platyphyllos, Lonicera xylosteum, Polypogon monspeliensis</i>		Déterminantes ZNIEFF en Aquitaine	Présence ponctuelle	Faible à négligeable

Tableau 7 : Synthèse des plantes patrimoniales et enjeux associés (Eliomys)

Figure 24 : Cartographie de la flore

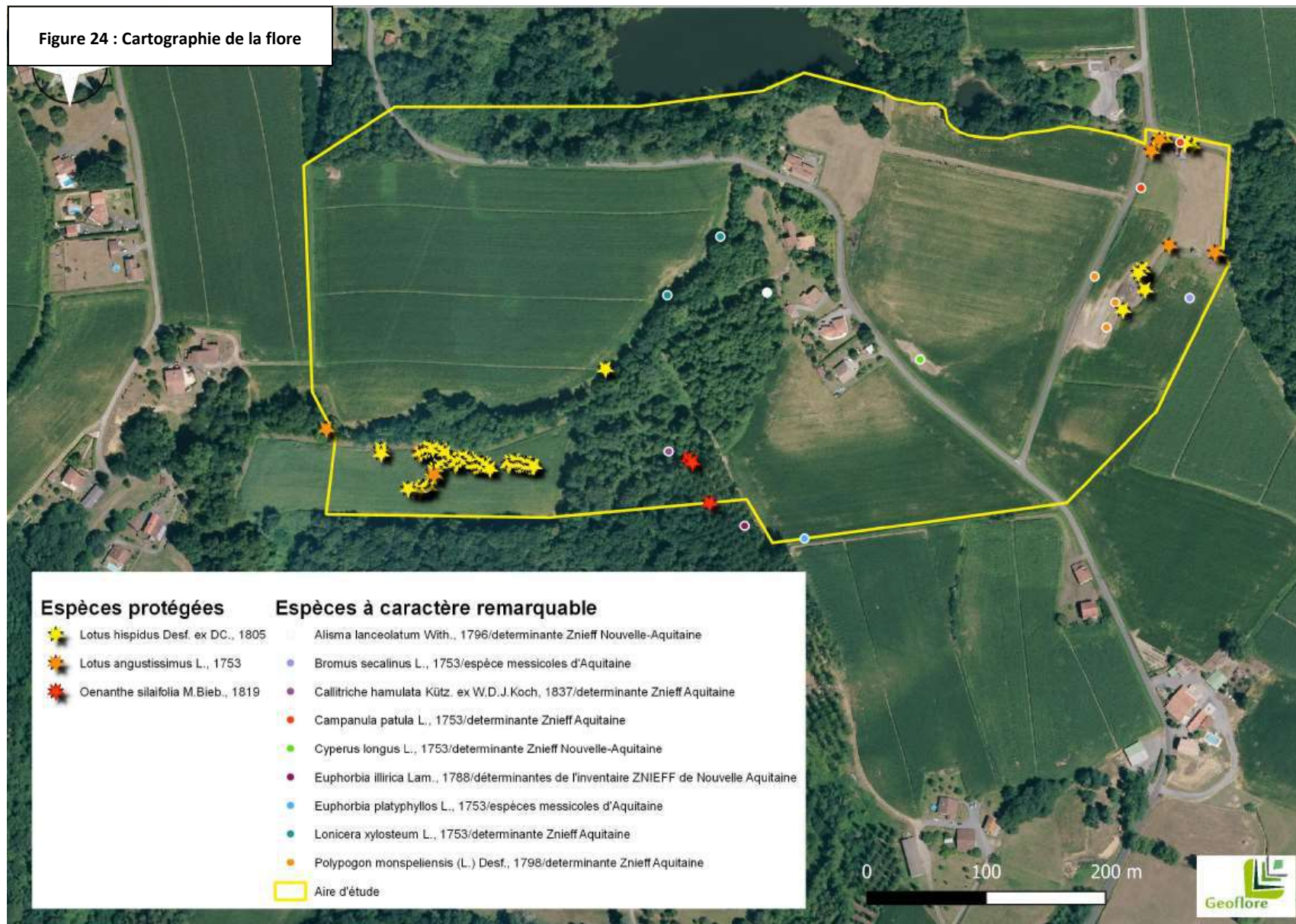
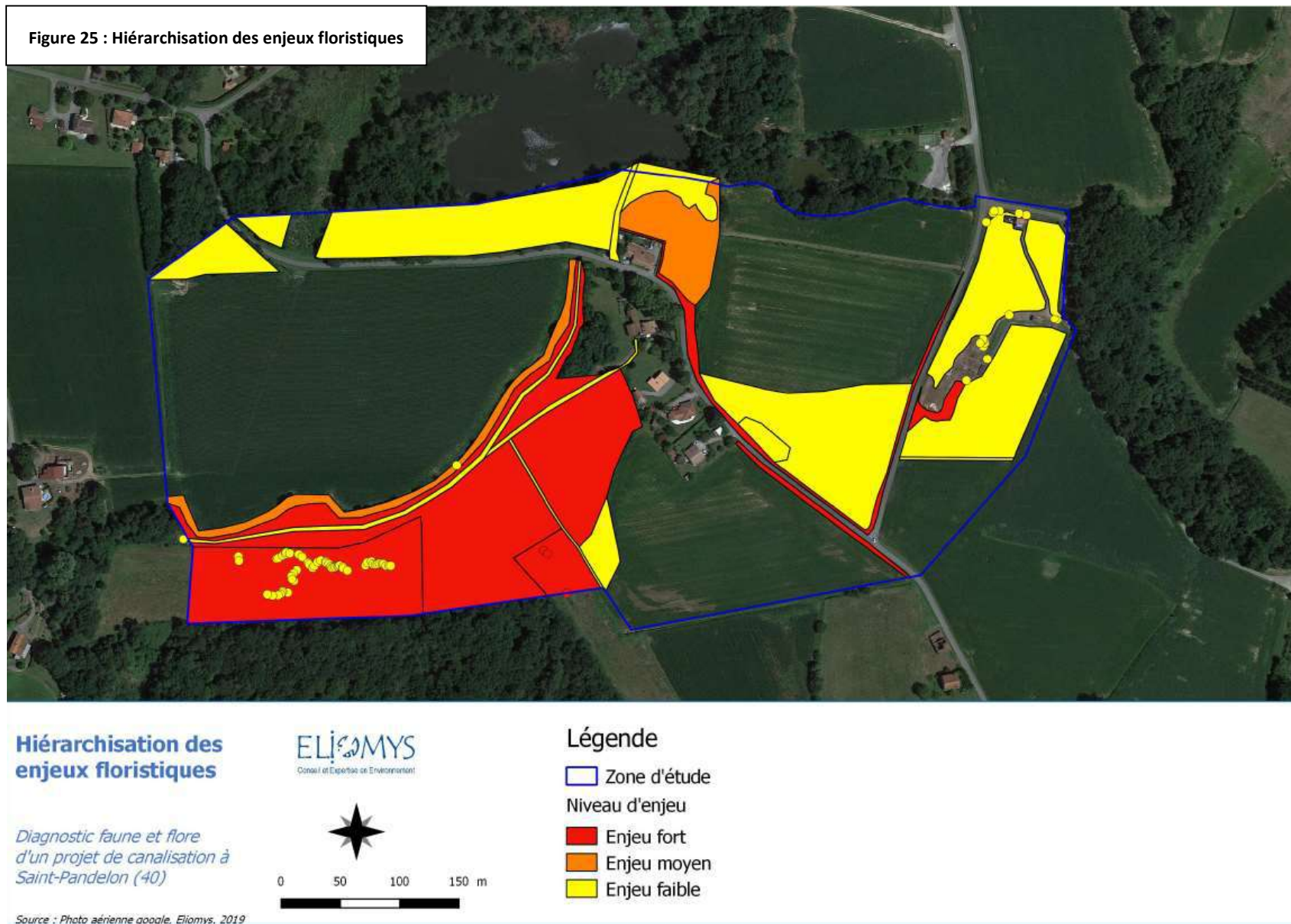


Figure 25 : Hiérarchisation des enjeux floristiques



c. Synthèse des enjeux pour la faune

Tous les cortèges faunistiques terrestres étudiés se révèlent diversifiés, avec la présence avérée d'espèces remarquables et protégées. Les enjeux se concentrent principalement sur les espaces boisés et les zones humides.

Nom Français	Nom scientifique	Protection nationale	Statut européen	Statut sur le site	Enjeu
MAMMIFERES					
8 espèces de chauves-souris		X	Annexe II/IV de la directive «Habitats »	Alimentation, transit, gîte probable dans les boisements	Fort / contrainte réglementaire
Ecureuil roux	<i>Sciurus vulgaris</i>	X		Sédentaire potentiel	Faible / contrainte réglementaire
Hérisson d'Europe	<i>Erinaceus europaeus</i>	X		Sédentaire potentiel	Faible / contrainte réglementaire
REPTILES					
4 espèces de reptiles		X	Annexe IV de la directive «Habitats » (2 espèces)	Alimentation, déplacement, reproduction	Moyen / contrainte réglementaire
Couleuvre d'Esculape	<i>Zamenis longissima</i>	X		Alimentation, déplacement, reproduction	Moyen / contrainte réglementaire
AMPHIBIENS					
6 espèces d'amphibiens		X	Annexe IV de la directive «Habitats » (2 espèces)	Alimentation, déplacement, reproduction – population importante	Fort sur les sites de reproduction / contrainte réglementaire
INSECTES					
Grand Capricorne	<i>Cerambyx cerdo</i>	X	Annexe II de la Directive Habitats	Présence avérée dans les boisements de chêne	Moyen / contrainte réglementaire
Agnon de Mercure	<i>Coenagrion mercuriale</i>	X	Annexe II de la Directive Habitats	Présence avérée d'une petite population sur les ruisseaux	Moyen / contrainte réglementaire
AVIFAUNE					
Bouscarle de Cetti	<i>Cettia cetti</i>	X		Reproduction dans les fourrés en contexte forestiers et frais	Faible / contrainte réglementaire
Chardonneret élégant	<i>Carduelis carduelis</i>	X		Reproduction probable dans les friches ou les haies relictuelles	Moyen / contrainte réglementaire
Cigogne blanche	<i>Ciconia ciconia</i>	X	Annexe I de la Directive Oiseaux	Transit	Très faible / contrainte réglementaire
Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	X		Alimentation et transit	Très faible / contrainte réglementaire
Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	X		Alimentation et transit	Très faible / contrainte réglementaire
Milan noir	<i>Milvus migrans</i>	X	Annexe I de la Directive Oiseaux	Alimentation et transit	Très faible / contrainte réglementaire
Pic noir	<i>Dryocopus martius</i>	X	Annexe I de la Directive Oiseaux	Reproduction et alimentation dans les boisements	Moyen / contrainte réglementaire

Tableau 8 : Synthèse de la faune remarquable et enjeux associés (Eliomys)

Figure 26 : Hiérarchisation des enjeux faunistiques



d. Synthèse des enjeux et conclusion

Les enjeux écologiques présents sur l'aire d'étude et dans son voisinage immédiat sont globalement moyens à forts. Ils concernent plusieurs groupes taxonomiques et différents types de biotope.

- Des enjeux forts au niveau des zones humides relatifs aux habitats naturels, à une plante protégée et aux amphibiens et moyen pour l'Agrion de Mercure.
- Des enjeux forts au niveau des boisements relatifs aux chauves-souris, à l'avifaune et aux amphibiens et moyen pour le Grand capricorne et les reptiles,
- Des enjeux moyens au niveau des haies relictuelles et des friches ciblant le Chardonneret élégant et les reptiles
- Des enjeux faibles locaux au niveau de tous les habitats non agricoles relatifs à une importante diversité faunistique et à plusieurs plantes remarquables,
- Un enjeu ponctuel au niveau des cultures abritant des zones humides.

Globalement, la zone étudiée présente, en dehors des espaces agricoles, un bon état de conservation et une importante diversité faunistique et floristique.

L'enjeu du projet réside dans l'évitement des secteurs à enjeux faunistiques et floristiques à travers l'adaptation du tracé et de la période des travaux.

→ Sensibilité écologique modérée à forte, enjeu modéré

3.6 Patrimoine et paysages

3.6.1 Protections règlementaires

D'après les données de la Plateforme de l'Information Géographique Mutualisée en Aquitaine (PIGMA, DRAC), l'emprise de l'aire d'étude n'est concernée par aucun périmètre de protection de monument historique classé ou inscrit, zone de protection archéologique, secteur sauvegardé ni ZPPAUP.

D'après la DREAL Nouvelle-Aquitaine, l'emprise de l'aire d'étude n'est concernée par aucun site classé ou inscrit.

Aucune protection règlementaire n'est recensée. Le projet engendre peu d'aménagements en surface.

→ Sensibilité patrimoine et archéologique faible, enjeu négligeable

3.6.2 Paysage

a. Grand paysage

Au sein du territoire du Grand Dax, Saint-Pandelon appartient à l'unité paysagère « Collines de Chalosse », décrites comme suit dans le rapport de présentation du PLUi-H de l'agglomération du Grand Dax approuvé le 20 janvier 2020 :

Le sud du Grand Dax marque l'entrée dans le pays de Chalosse de Pouillon. Les paysages se composent de coteaux présentant une mosaïque de champs cultivés et de prairies, et des vallons boisés. Le relief est de plus en plus marqué en allant vers le sud du territoire. Quelques points hauts offrent des panoramas sur les Pyrénées (En particulier à Bénesse-les Dax et Heugas).

L'habitat était historiquement à la fois concentré dans des bourgs, centres de vie importants pour les échanges, la vie sociale et les fêtes ; et à la fois, dispersé, lié à l'agriculture et l'élevage.

« La transformation majeure du paysage a eu lieu avec le changement des pratiques culturelles : intensification, généralisation du maïs. Certaines haies ont disparu, des élevages de canard sont omniprésents, les boisements de peupliers ont remplacé le chêne. Dans ce paysage aux vues lointaines, l'urbanisation récente autour des bourgs est très visible. Son impact pourrait s'atténuer avec la récente prise de conscience des habitants pour ces paysages de qualité, à fort potentiel attractif, véhiculant des images de tradition et savoir vivre. » (Source : Cahier d'identité patrimoniale et paysagère Pays Adour landes Océanes - Conseil Régional et l'URCAUE d'Aquitaine)

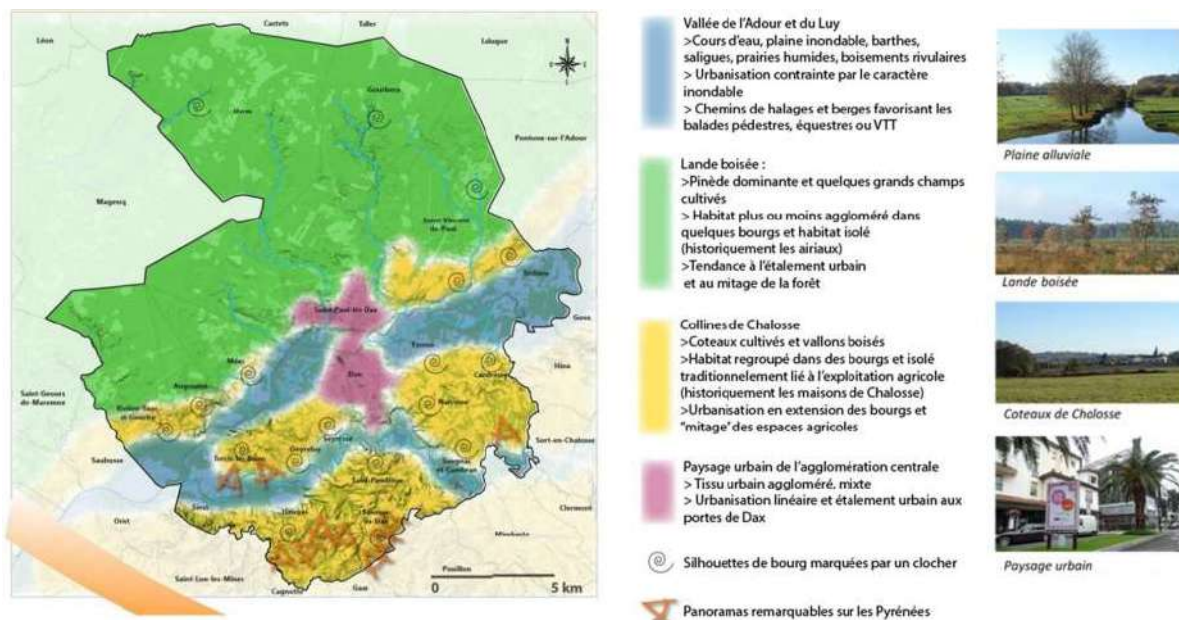


Figure 27 : Unités paysagères à l'échelle du Grand Dax (source : PLUi-H de l'agglomération du Grand Dax)

b. Paysage rapproché

Le projet s'insère dans un paysage rural où alternent cultures et boisements (voir la photographie aérienne oblique en Figure 28 ci-après).

Le paysage est régulièrement ponctué de hameaux (Le Hourn et Le Moulin de Campagne pour le plus proches). Cet habitat dispersé s'est développé le long des axes de communication.

La trame bleue (lac et cours d'eau), le plus souvent bordée d'arbres, se fait très discrète dans le paysage. Un ruisseau est visible à l'entrée du hameau Moulin de Campagne (photo 7).

La topographie relativement plane et les boisements limitent les perceptions lointaines. Les voies communales de la zone d'études permettent un point de vue rapproché sur le site en projet.

Aucune vue lointaine depuis ou vers le projet n'est identifiée.

Les canalisations seront enterrées et donc invisibles en phase exploitation. Le forage et le compresseur seront les seuls aménagements de surface en phase exploitation. Leurs volumes sont limités.

→ Sensibilité paysagère modérée, enjeu faible

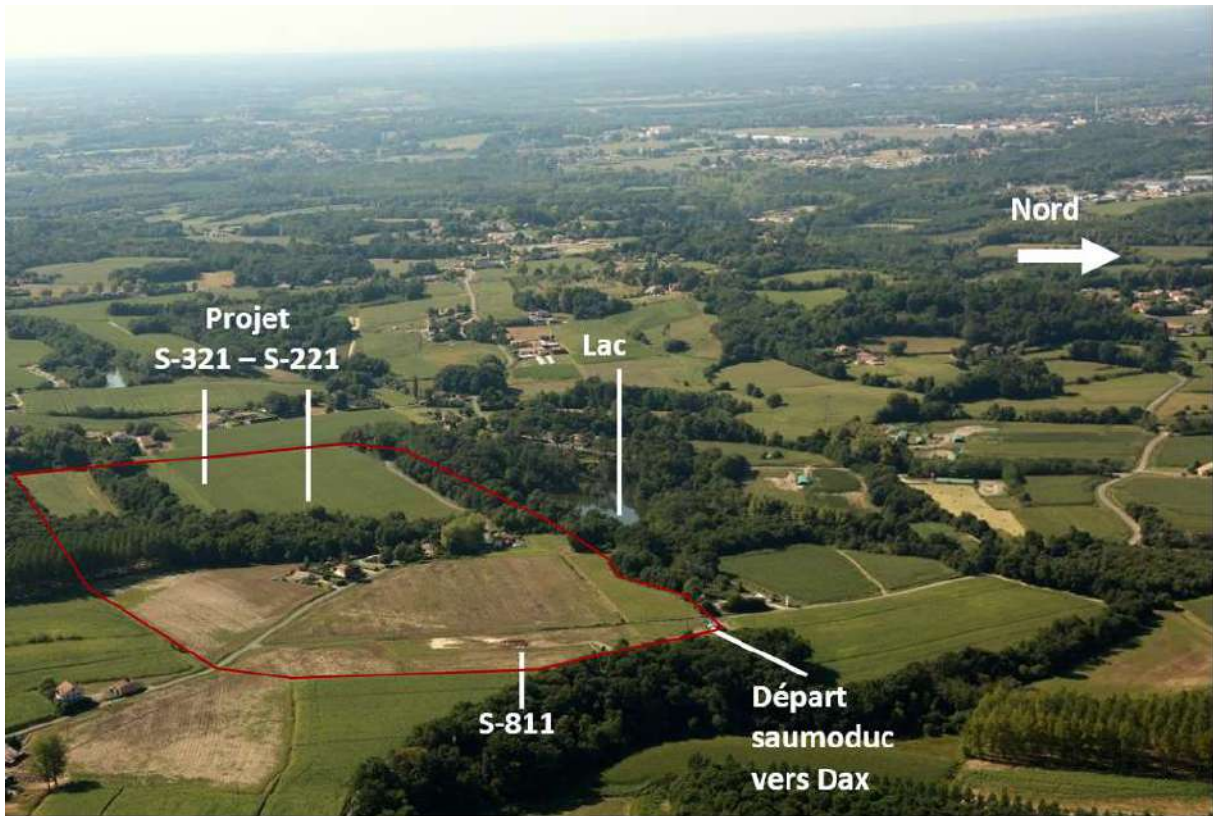


Figure 28 : vue aérienne oblique du secteur vers l'Ouest

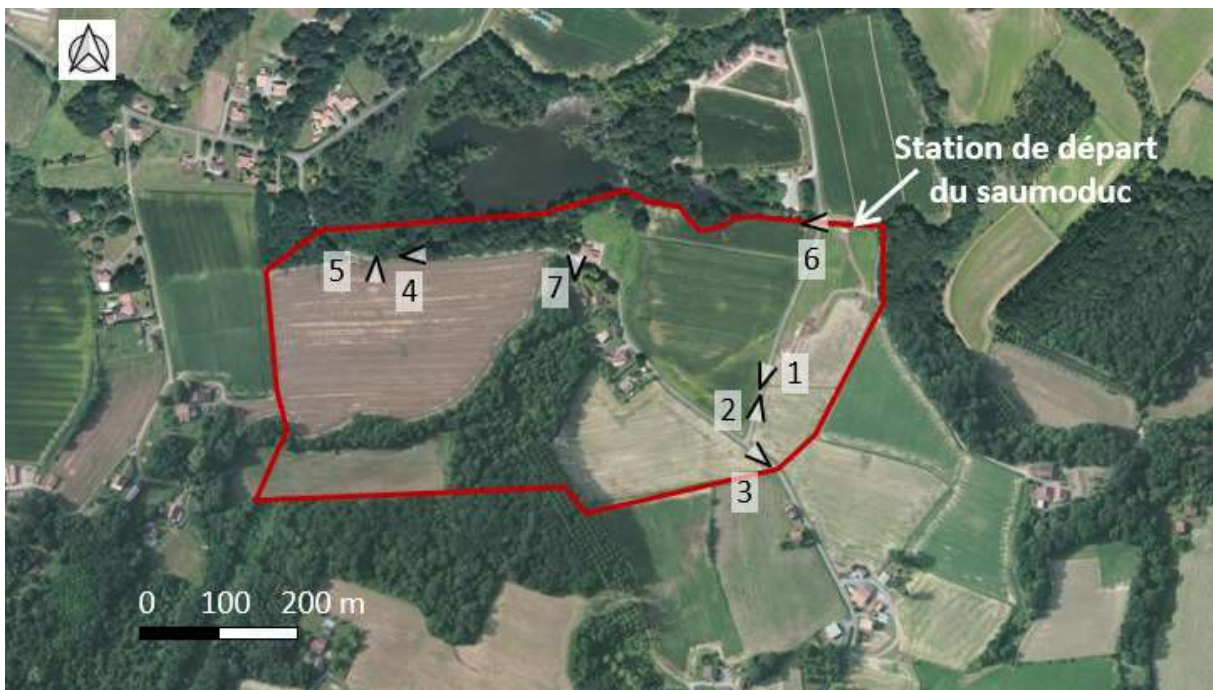


Figure 29 : Localisation des prises de vue (Antea Group)



Photo 1



Photo 2



Photo 3



Photo 4



Photo 5



Photo 6



Photo 7



Photo 8

3.7 Risques majeurs

3.7.1 Qu'est-ce qu'un risque majeur ?

Le risque majeur naturel se caractérise par une catastrophe naturelle, comme les mouvements de terrain ou les tempêtes, dont les effets peuvent occasionner des dommages importants sur les populations et les biens.

Le risque majeur technologique se caractérise par un accident, susceptible de se produire sur des installations humaines et d'entraîner des conséquences graves pour la population, les biens et le milieu naturel.

La commune de Saint-Pandelon n'est couverte par aucun Plan de Prévention des Risques Naturels ni Technologiques.

3.7.2 Risques naturels

a. Risque sismique

La commune de Saint-Pandelon est située en **zone de sismicité faible (zone 2)**. Compte-tenu de la nature du projet, **cet aléa ne constitue pas une contrainte notable.**

b. Retrait-gonflement des argiles

D'après les données du site ministériel Géorisques, la majorité de la zone d'étude est classée en **aléa faible** concernant les phénomènes de retrait-gonflement des argiles. Les limites sud et ouest de la zone d'étude sont classées en aléa moyen.

Cet aléa ne constitue pas une contrainte significative pour le projet.



Figure 30. Aléa retrait-gonflement des argiles dans le secteur d'étude (Source : Géorisques)

c. Mouvement de terrain

Aucun risque de mouvement de terrain type glissement, éboulement, ... n'est recensé par Géorisques sur l'aire d'étude.

d. Cavités

L'exploitation de sel depuis la fin du 19^{ème} siècle a conduit à plusieurs effondrements successifs de cavités. Une étude de la stabilité à long terme des cavités de l'exploitation par dissolution de Saint Pandelon a été réalisée en 2010. Les résultats sont synthétisés dans le chapitre 3.4.3c Stabilité à long terme des cavités existantes liées à l'exploitation du sel par dissolution p.25 et suivantes

Ce risque constitue une contrainte importante à prendre en compte dans le projet. Il est traité dans le chapitre 3.4.3c.

e. Risque inondation

❖ Inondation par débordement de cours d'eau

La commune de Saint-Pandelon est concernée par le risque inondation par débordement de cours d'eau. D'après le dossier d'information sur le risque inondation sur la commune de Saint-Pandelon (Direction Départementale de l'Équipement des Landes, 2009), **le secteur d'étude est situé à l'écart des zones inondables.**

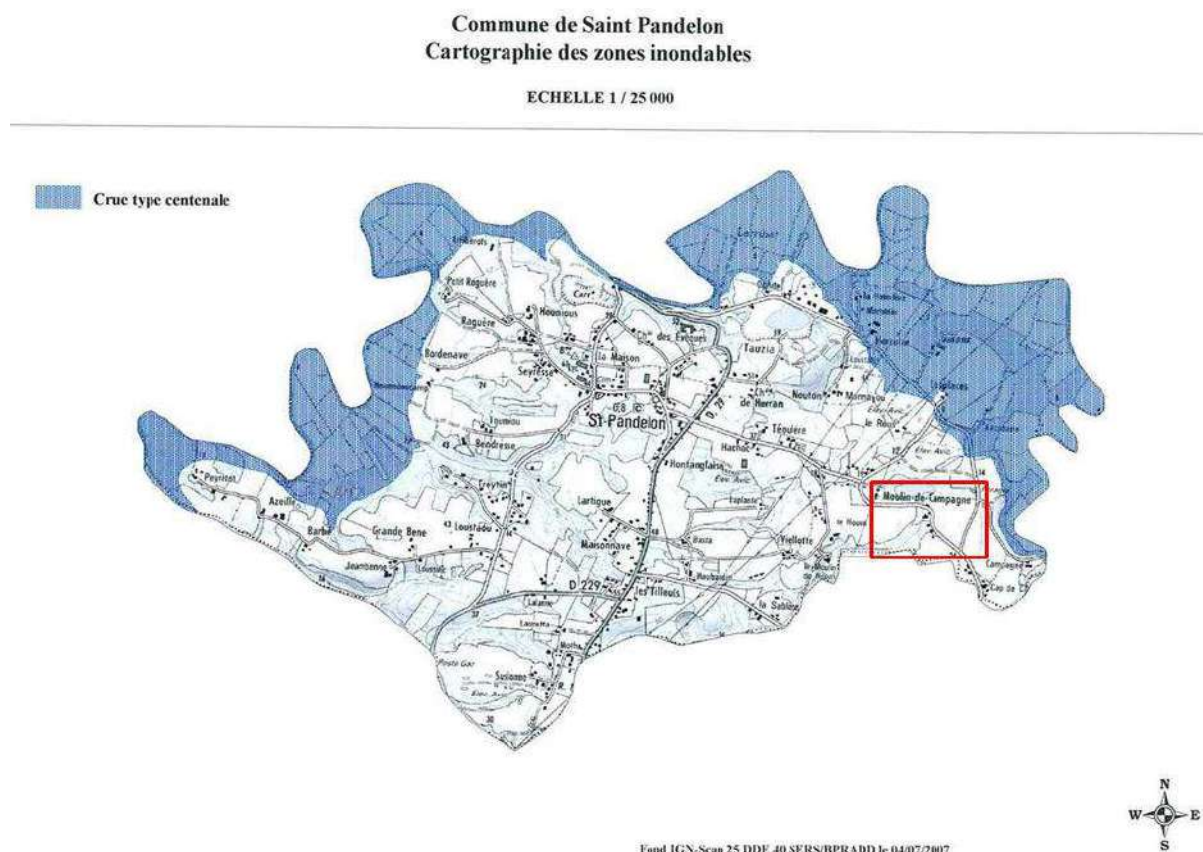


Figure 31 : Risque d'inondation par débordement de cours d'eau (source : Dossier d'information sur le risque inondation sur la commune de Saint-Pandelon, Direction Départementale de l'Équipement des Landes, 2009)

❖ **Inondation par remontée de nappe**

Le projet se situe dans une zone potentiellement sujette aux inondations de caves avec une fiabilité faible.

Ce risque ne constitue pas une contrainte pour le projet.

f. Feu de forêt

D'après Géorisques et la Préfecture des Landes, la commune de Saint-Pandelon **n'est pas exposée au risque incendie de forêt.**

g. Phénomènes météorologiques

La commune de Saint-Pandelon est concernée par le risque de tempête.

Les conditions climatiques n'entraînent pas de contrainte significative particulière pour le projet

3.7.3 Risques technologiques

a. Risque TMD

Le risque de Transport de Marchandises Dangereuses (TMD) est consécutif à un accident qui se produit lors du transport de produits dangereux par route, voie ferrée, voies fluviales et maritimes.

D'après Géorisques, **aucune canalisation de transport de gaz naturel, de produits chimiques ou d'hydrocarbures n'est identifiée dans un rayon de 1 km autour du site d'étude.**

Aucune voie routière n'est à l'abri d'un accident impliquant un véhicule transportant des produits toxiques ou polluants. Toutefois, seules des voies de desserte locale sont identifiées dans le secteur d'étude. Le trafic y est limité et le risque TMD peut donc y être considéré comme négligeable.

b. Environnement industriel – sites et sols pollués

Le risque industriel se caractérise par un accident se produisant sur un site industriel et pouvant entraîner des conséquences graves pour le personnel, les populations, les biens, l'environnement ou le milieu naturel.

Aucun établissement industriel classé au titre des **Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)** n'est recensé dans un rayon de 1 km autour du site d'étude.

La base de données BASOL regroupe les sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif. **Aucun site BASOL** n'est répertorié sur cette base de données du BRGM dans l'aire d'étude.

La base de données **BASIAS** répertorie les sites et anciens sites industriels et activités de service. Dans l'aire d'étude ou en limite, **seuls deux sites sont identifiés : il s'agit de 2 sondages CSME** destinés à la production de sel (un en activité et un terminé, comme précisé sur la figure suivante).



Figure 32 : Sites BASIAS dans l'aire d'étude (source : Géorisques)

3.7.4 Synthèse des risques majeurs

Le risque lié à la présence de cavités constitue une contrainte importante à prendre en compte dans le projet. Il est traité dans le chapitre 3.4.3c Stabilité à long terme des cavités existantes liées à l'exploitation du sel par dissolution.

Concernant les autres risques :

→ Sensibilité du territoire faible, enjeu négligeable

3.8 Milieu humain

3.8.1 Démographie

En 2017, la population légale de Saint-Pandelon était de 715 habitants (donnée INSEE, 2020) pour une superficie de 9,2 km², soit une densité de 77,9 hab./km².

Le bourg, situé dans la partie centrale du territoire communal, concentre l'essentiel de la population. Le reste se répartit en petits hameaux.

3.8.2 Occupation du sol

La zone d'étude se situe dans un milieu rural, à 1 km au sud-est du bourg de Saint-Pandelon. Seules quelques habitations isolées sont identifiées dans l'aire d'étude et à proximité immédiate. La zone d'étude est majoritairement occupée par des cultures. Un boisement est également identifié.

La zone est desservie par un réseau routier communal.

La sensibilité des populations est considérée comme modérée étant donnée la proximité des premières habitations (en densité faible).

→ Sensibilité du milieu humain modérée, enjeu acoustique modéré

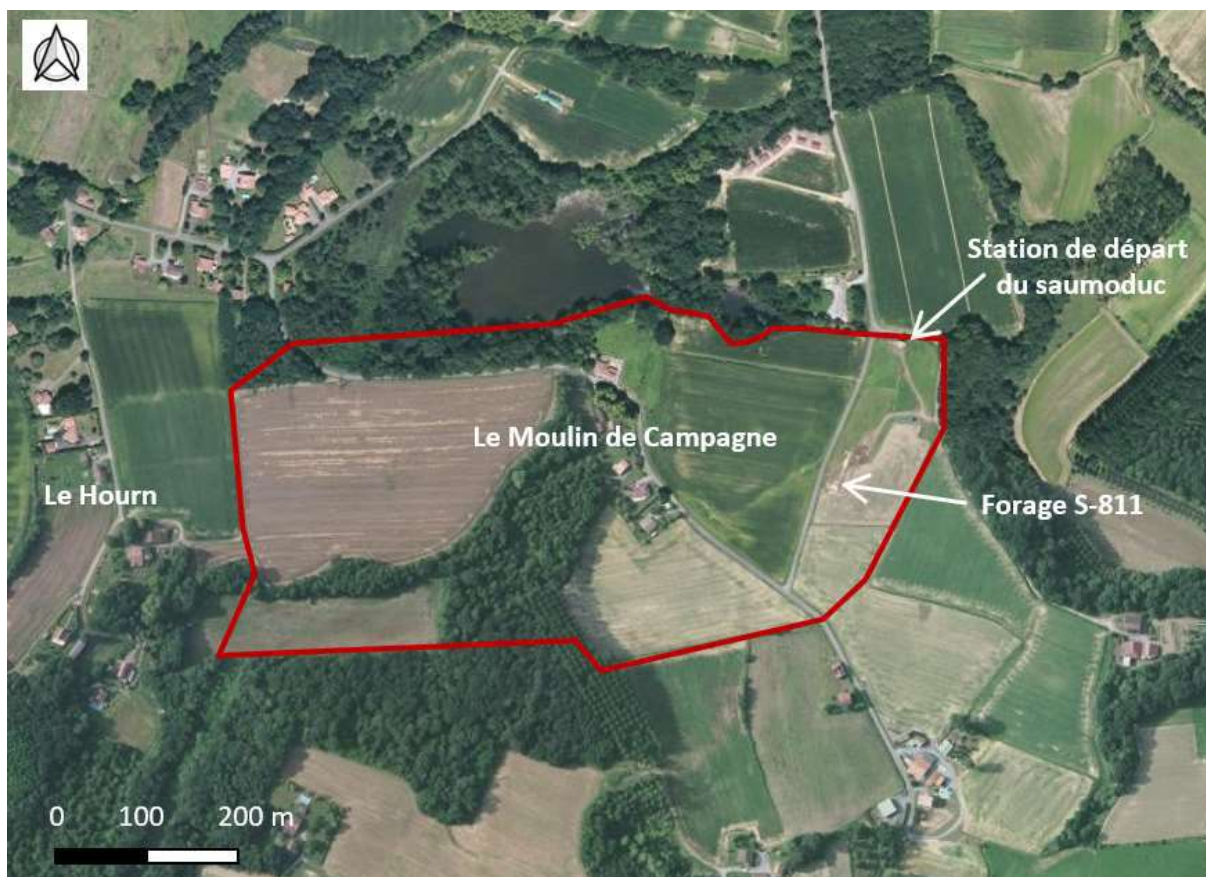


Figure 33. Occupation du sol et bâti dans le secteur d'étude (Source : Géoportail)

3.8.3 Agriculture

La zone d'étude compte est majoritairement occupée par des parcelles cultivées, propriété de la CSME. Le Registre Parcellaire Graphique (RPG) 2016 à 2018 précise la destination des terrains cultivés de l'aire d'étude : alternance de blé et maïs suivant les années, voire de jachère pour la parcelle la plus à l'Est.

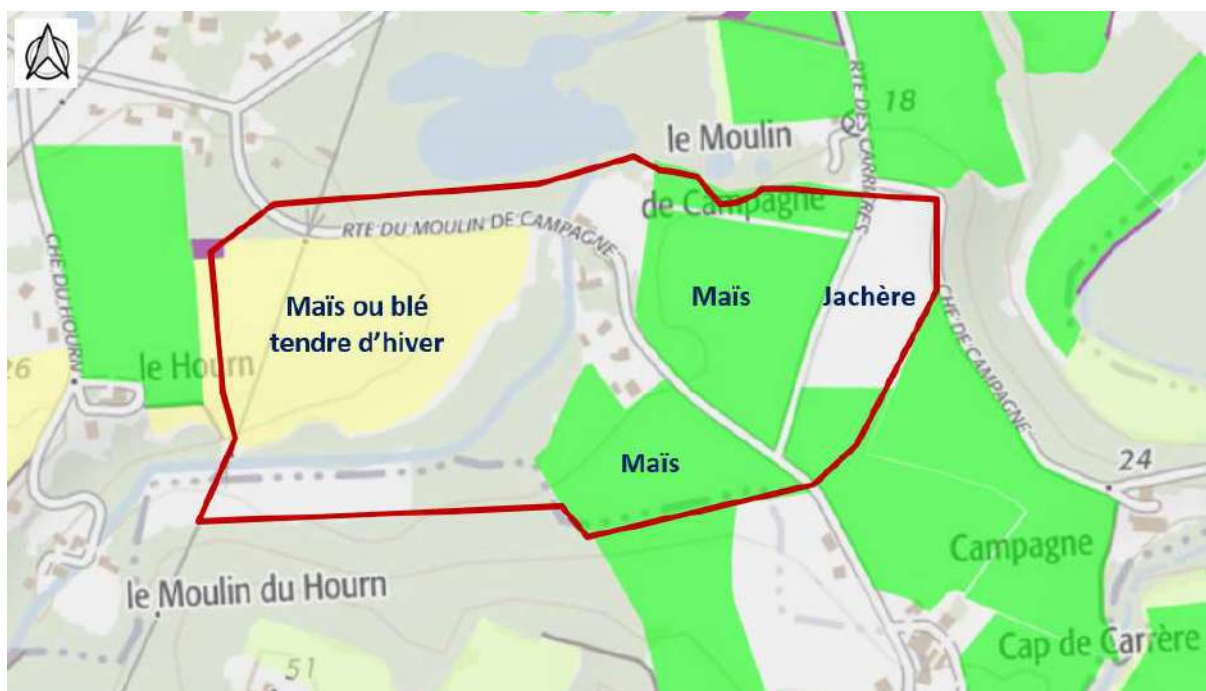


Figure 34. Parcelles agricoles dans le secteur d'étude (Source : Géoportail – registre parcellaire graphique)

D'après l'INAO, le territoire de Saint-Pandelon est concerné par 10 appellations IGP :

- Asperge des Sables des Landes
- Bœuf de Chalosse
- Canard à foie gras du Sud-Ouest
- Comté Tolosan
- Jambon de Bayonne
- Kiwi de l'Adour
- Landes (vin)
- Porc du Sud-Ouest
- Volailles de Gascogne
- Volailles des Landes.

Les cultures identifiées dans la zone d'étude ne sont concernées par aucune IGP.

Les canalisations seront enterrées à une profondeur suffisante pour permettre la continuité agricole. La surface agricole ne sera réduite que de la surface de la plateforme et des pistes d'accès. Le tracé retenu devra éviter le morcellement de la parcelle d'implantation.

→ Sensibilité du territoire faible, enjeu faible

3.8.4 Activités industrielles

L'aire d'étude ne comporte aucune activité industrielle hormis le forage S-811 de la CSME.

Aucun établissement industriel classé au titre des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) n'est recensé dans un rayon de 1 km autour du site d'étude.

→ Sensibilité du territoire faible, enjeu négligeable

3.8.5 Documents de planification et d'urbanisme

a. Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT)

La commune de Saint-Pandelon est incluse dans le périmètre du Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT) du Grand Dax, approuvé le 12 mars 2014.

Le SCoT propose un projet de développement pour le territoire à l'horizon 2030. Il fixe les grandes orientations des politiques publiques en matière d'aménagement de l'espace, d'habitat, de transport, d'économie, de commerce, d'environnement, de paysages et de gestion de l'eau.

La Direction de l'aménagement de la Communauté d'agglomération du Grand-Dax assure que le projet est compatible avec le SCoT.

b. Plan Local d'Urbanisme

Le PLUi-H, Plan local d'urbanisme intercommunal, du Grand Dax est un document d'urbanisme établi à l'échelle des 20 communes du territoire, dont Saint-Pandelon. Il a été approuvé au conseil communautaire le 18 décembre 2019.

D'après le PLUi-H, la zone des travaux est située en zone A (agricole). D'après le règlement écrit de la zone A, les changements de destination sont autorisés sous réserve de ne pas compromettre l'activité agricole ou la qualité paysagère du site.

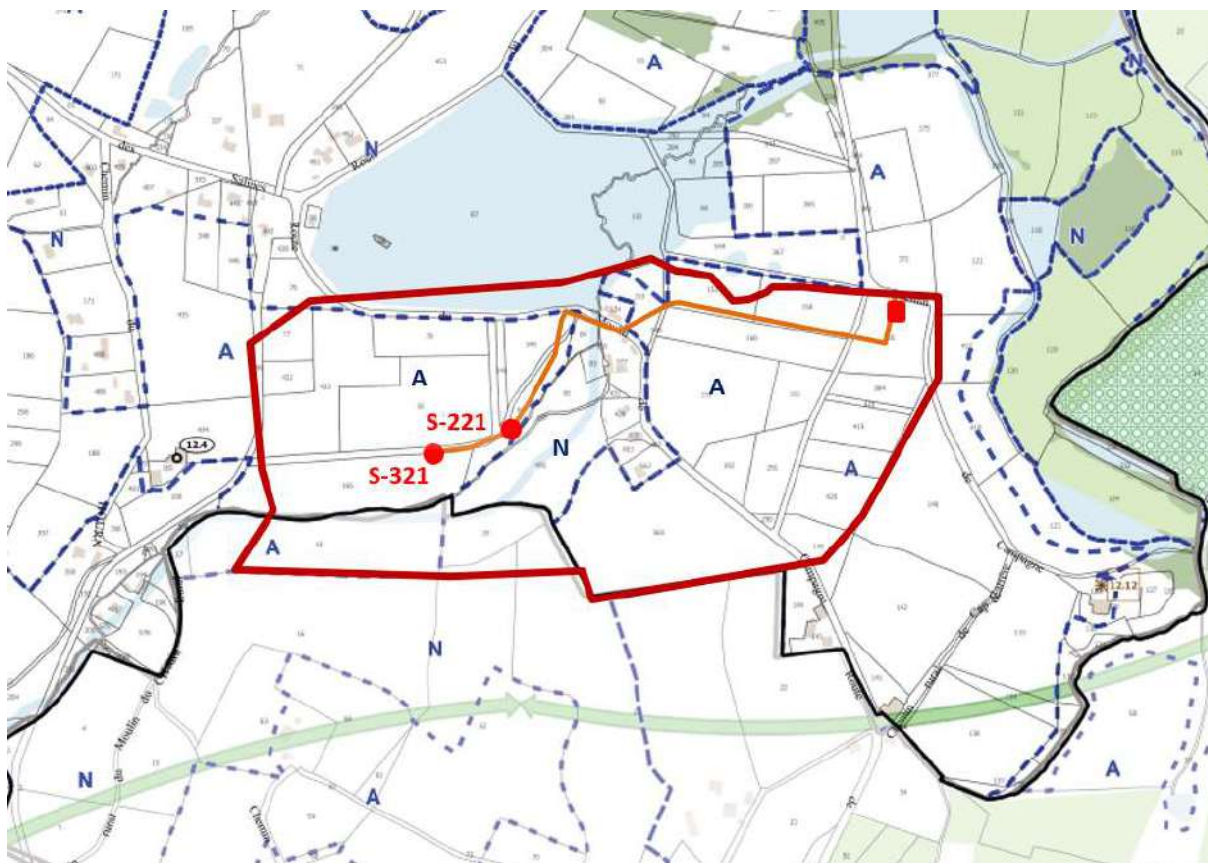


Figure 35 : Zoom sur le PLUi-H du Grand Dax au niveau de la zone du projet

La destination des terrains fixée au plan d'urbanisme est compatible avec le projet.

→ Sensibilité du territoire faible, enjeu négligeable

3.8.6 Servitudes

L'ouest du secteur d'étude est concerné par une servitude I4 relative aux canalisations électriques (ligne aérienne haute tension 63 000 volts, représentée au chapitre suivant 3.8.7 Réseaux).

3.8.7 Réseaux

Selon les données fournies par le PLUi-H du Grand Dax, les demandes d'informations et les repérages réalisés sur le terrain :

- Une ligne électrique **aérienne** haute tension 63 000 volts traverse l'ouest de la zone d'étude ;
- Une ligne électrique souterraine moyenne tension 20 000 volts est identifiée sous la chaussée, en rive nord, au niveau du hameau Moulin de Campagne ;
- Une canalisation d'eau potable souterraine est identifiée sous la chaussée, en rive sud, au niveau du hameau Moulin de Campagne ;
- Des lignes aériennes électriques basse tension et téléphoniques longent les voies communales de la zone d'étude (route du Moulin de Campagne et route des Carrières).



Figure 36. Réseaux électriques dans le secteur d'étude (Sources : extrait PLUi-H du Grand Dax pour la ligne 63 KV / repérage terrain Antea Group pour la ligne 20 KV et photos)

La présence de réseaux aériens et enterrés est à prendre en compte pour la conception du projet, ainsi que pour la phase de travaux afin d'éviter toute altération.

→ Sensibilité du territoire modérée, enjeu modéré

3.8.8 Infrastructures de transport

L'aire d'étude ne comporte que des voies de desserte locale. Le trafic y est donc faible.

La route départementale la plus proche (RD29) est distante d'environ 1 km des limites ouest de l'aire d'étude.

La RD29 et les voies de desserte locale permettront l'acheminement des équipements jusqu'au site et de mettre en place des déviations locales ponctuelles pendant la phase de travaux.

La voie ferrée la plus proche du site de projet est localisée à 1,5 km au nord-est des limites de l'aire d'étude (source : Géoportail). **Le transport ferroviaire ne constitue pas un enjeu pour le projet.**

L'aérodrome le plus proche est celui de Dax-Seyresse, à 4 km au nord-ouest des limites de l'aire d'étude (source : Géoportail). **Les infrastructures aéroportuaires ne constituent pas un enjeu pour le projet.**

→ Sensibilité du territoire faible, enjeu faible

3.8.9 Ambiance sonore

L'aire d'étude est située au sein d'un milieu rural, éloigné de grands axes de circulation. L'ambiance sonore y est très calme, ponctuellement troublé par les travaux d'exploitation agricole.

→ Sensibilité du territoire modérée, enjeu modéré

3.9 Synthèse de l'état initial

Le tableau suivant présente une hiérarchisation des sensibilités et des enjeux environnementaux du site à l'issue de l'état initial de l'environnement, au regard de la nature du projet étudié.

La sensibilité du milieu et les enjeux pour le projet sont cotés de la manière suivante :

Niveau d'enjeu potentiel	Commentaires
Fort	Le milieu existant est particulièrement sensible à toute modification et le risque d'altération de ces composantes environnementales est fort. Ce milieu est dans la mesure du possible à éviter pour tout aménagement.
Modéré	Le milieu est sensible et exige des mesures de protections pour un aménagement du site.
Faible	Le milieu peut accepter d'être modifié par un aménagement sans qu'il y ait de répercussions notables sur ces composantes environnementales.
Négligeable	Le milieu est peu sensible et peut accepter un aménagement sans qu'il y ait de répercussions significatives sur le milieu.
Nul	Le milieu ne présente aucune sensibilité face à l'aménagement envisagé pour le projet.

Tableau 9 : Échelle de hiérarchisation de la sensibilité du milieu et de l'importance des enjeux environnementaux

Thème	Sensibilité du territoire	Enjeu vis-à-vis du projet
Topographie	Faible Le terrain accueillant le sondage est plat. Le tracé de la future canalisation est légèrement vallonné.	Négligeable La topographie ne représente pas une contrainte pour la réalisation du projet
Sols et géologie	Forte Nombreuses cavités à proximité, en lien avec l'activité d'extraction de sel. Leur stabilité fait l'objet d'un suivi rigoureux.	Fort Modification de la structure de sol lors des travaux et surtout en phase exploitation. Risque de pollution lié aux engins de chantier lors des travaux. En phase d'exploitation risque de mouvements de subsidences liés à la création de la cavité souterraine. Risque de pollution par fuite de saumure.
Eaux souterraines	Forte Nappe superficielle de faible puissance. Faible perméabilité de l'aquifère superficiel qui en limite les usages. Absence d'aquifère profond. Absence d'usage pour l'alimentation en eau potable. Commune en ZRE, zone sensible et zone vulnérable.	Fort Risque de pollution en phase travaux Risque de pollution via une fuite de saumure en phase exploitation Absence de prélèvements et de rejets d'eaux souterraines
Eaux superficielles	Forte Un cours d'eau identifié dans la zone d'étude et d'un plan d'eau en limite Eaux de bonne qualité Pompage de 110 000 à 180 000 m ³ d'eau maximum dans le lac Absence d'usage pour l'alimentation en eau potable. Commune en ZRE, zone sensible et zone vulnérable.	Fort <u>Phase travaux :</u> Risque de pollution Lit du cours d'eau non impacté car franchissement par fonçage <u>Phase exploitation :</u> Absence de prélèvement d'eau supplémentaire au regard de la situation actuelle Absence de rejets d'eau Risque de pollution via une fuite de saumure
Climat, qualité de l'air, émissions de GES	Faible Implantation dans un contexte rural	Négligeable Projet compatible avec le climat Emissions ponctuelles de GES en phase travaux. Pas d'émissions significatives de GES en phase d'exploitation (compresseur et pompe)

Thème	Sensibilité du territoire	Enjeu vis-à-vis du projet
Milieu naturel : Périmètre de protection ou d'inventaire	Modéré Zone d'étude hors de tout périmètre de protection écologiques ou d'inventaire mais : - Zone Natura 2000 « Barthes de l'Adour » (SIC FR7200720), à 100 m à l'est - ZNIEFF 1 le « Lit mineur et berges de l'Adour, des gaves réunis et du Luy » à 100 m à l'est - ZNIEFF 2 « L'Adour de la confluence avec la Midouze à la confluence avec la Nive, tronçon des Barthes » à 600 m à l'est	Faible Aucun rejet d'effluents vers le milieu naturel. Pas d'augmentation des prélèvements d'eau actuels. Les éventuelles pollutions accidentelles pourraient survenir n'auraient que des conséquences très locales et peu graves Protection contre la pollution des eaux en phases travaux et exploitation (pollution sans effet sur les ZNIEFF et Natura proches aux vues des caractéristiques du projet)
Milieu naturel sur le site du projet	Faible à forte Zones humides, boisements, haies relictuelles et friches abritant des habitats en bon état de conservation et des espèces d'intérêt	Modéré Evitement des habitats d'espèces protégées et des habitats remarquables (adaptation du tracé) Adaptation de la période des travaux pour éviter l'impact sur les espèces protégées
Patrimoine et archéologie	Faible Aucune protection règlementaire	Négligeable
Paysage	Modérée Paysage rural où alternent cultures et boisements, ponctué de hameaux. Topographie relativement plane et boisements limitent les perceptions lointaines.	Faible Faible emprise visuelle des installations finales (forages, pompes et compresseur uniquement ; canalisations enterrées, sans défrichage ni abattage d'arbres) Aucune vue lointaine depuis ou vers le projet
Risques majeurs	Faible Pour tous les risques naturels et technologiques. Sauf pour le risque lié aux cavités, traité dans le thème « géologie »	Négligeable Aucun risque n'est susceptible de concerner l'activité.
Occupation du sol et gêne du voisinage	Modérée Habitations isolées dans l'aire d'étude. Ambiance sonore calme (hors travaux agricoles)	Modéré Eviter toute nuisance acoustique

Thème	Sensibilité du territoire	Enjeu vis-à-vis du projet
Activités	Faible Activité agricole (cultures)	Faible Projet compatible avec la poursuite de l'activité agricole. Eviter le morcellement de la parcelle d'implantation.
Documents d'urbanisme	Faible En zone A du PLUi-H du Grand Dax	Négligeable Projet compatible avec la zone A car ne remet pas en cause l'activité agricole de la parcelle.
Réseaux	Modérée Lignes électriques souterraine et aérienne Canalisation d'eau potable	Modérée Présence de réseaux aériens et enterrés à prendre en compte pour d'éviter toute altération en phase travaux
Infrastructures de transport	Faible Absence de voies ferrées et d'aéroports. Voies de desserte locale	Faible Mise en place de déviations locale pendant les travaux sur voirie. Absence d'impact en phase exploitation (pas de trafic induit par le projet)

4 Descriptif détaillé du projet

Le projet est présenté aux pièces C « Méthode d'exploitation » et pièce D « Caractéristiques des travaux ».

Le dossier est déposé pour la réalisation, l'aménagement et la mise en service des sondages S-221 et S-321.

4.1 Principe d'exploitation

Le principe d'exploitation est décrit à la pièce C « Méthode d'exploitation ». Il en est repris ci-après les principaux éléments

Ce nouveau sondage va permettre de poursuivre l'exploitation du sel par dissolution selon la méthode dite « des cavités isolées stables ». Cette méthode consiste à forer un sondage d'exploitation étanche jusqu'au gisement de sel, puis à injecter de l'eau douce pour dissoudre le sel dans le sous-sol et à extraire la saumure (Figure 37).

La dissolution dans la cavité est maîtrisée en ajustant les paramètres d'exploitation (débit d'exploitation, profondeur de l'injection d'eau douce et profondeur d'extraction de la saumure) en fonction d'un modèle de calcul. La dissolution vers le haut est maîtrisée en maintenant au sommet de la cavité une couche de fluide inerte moins dense que la saumure (dans le cas présent de l'air comprimé).

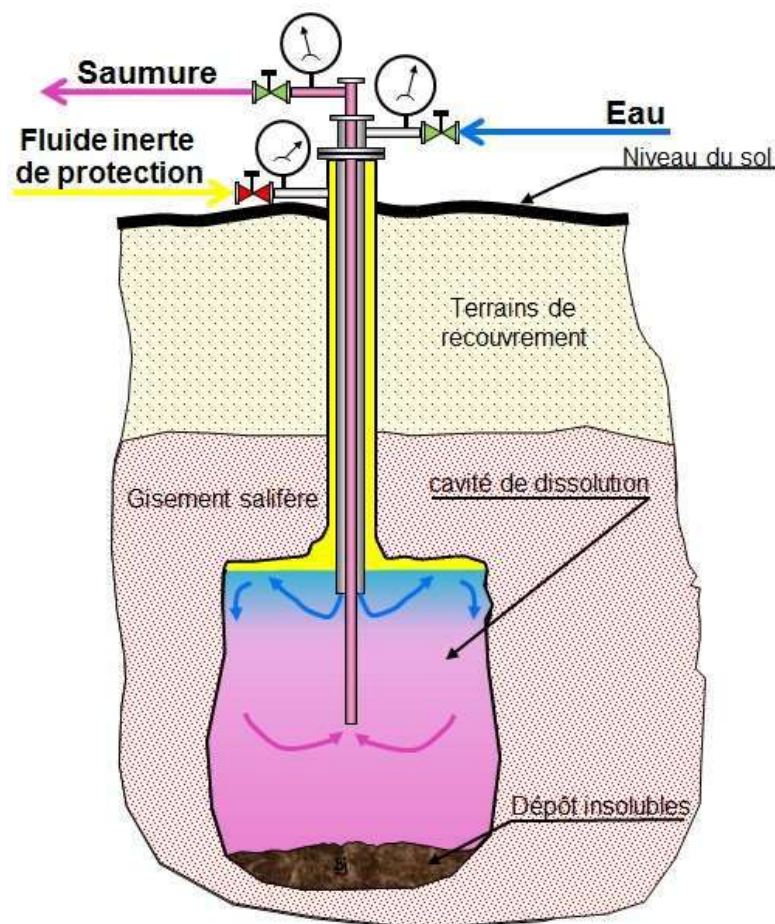


Figure 37 : schéma de principe du fonctionnement d'un sondage isolé d'exploitation par dissolution du sel avec injection d'eau douce et formation d'une cavité

4.2 Raisons du choix du projet

4.2.1 Contexte

La justification du choix du projet est présentée à la pièce A « Note de présentation ».

Le projet a pour objectif d'assurer l'alimentation de la saline de Dax en saumure saturée pour garantir la pérennité de son activité au-delà de 2024, dans des conditions économiques compatibles avec le marché des produits élaborés à partir du sel cristallisé.

Les unités d'évaporation/cristallisation de la saline doivent être alimentées en saumure saturée en sel (eau contenant 310 g. de sel/litre). Pour assurer une production de 45 000 tonnes de sel cristallisé par an, il faut un volume de 180 000 mètres cubes de saumure saturée, au débit de 25 à 30 m³/h.

Les réserves de sel exploitables dans la seule cavité actuelle (S-811), selon les méthodes mises en œuvre, permettent d'assurer les besoins d'alimentation en saumure de la saline jusqu'en 2024.

Pour assurer la continuité de l'activité de production, CSME va créer et mettre en exploitation successivement deux nouveaux sondages d'extraction de saumure par cavités isolées stables, objet de ce dossier. Le second étant foré et mis en service pour prendre le relai du premier en cas de défaillance, d'insuffisance ou de fin d'exploitation.

La mise en exploitation de ces nouveaux sondages permettra d'assurer une alimentation autonome et fiable de la saline pour une durée d'une quarantaine d'années.

4.2.2 Raisons du choix du site d'implantation

Les critères qui ont guidé le choix de l'emplacement des sondages d'exploitation S-221 et S-321 sont les suivants :

1. Environnement géologique : présence de sel dans le sous-sol, maintien à distance des cavités de dissolution existante pour assurer la stabilité des terrains ;
2. Environnement géotechnique : absence d'effondrements ou de mouvements de terrains visibles ;
3. Environnement hydrogéologique : absence de dissolution naturelle du sel (pas de nappe d'eau salée naturelle au toit du sel) ;
4. Environnement industriel : absence d'exploitations antérieures pouvant interférer avec le sondage, proximité (500 m) des infrastructures d'exploitation avec la station de pompage du lac de Saint-Pandelon permettant l'approvisionnement en eau de dissolution et avec le départ du saumoduc acheminant la saumure jusqu'à la saline de Dax (minimisation des travaux et des réseaux à créer) ;
5. Environnement naturel : à distance des sites protégés et des enjeux vulnérables ;
6. Environnement humain : à distance des habitations (plus de 100 m) et des infrastructures de surface (réseaux et transports), et compatible avec l'occupation du terrain (terre agricole) ;
7. Environnement foncier : terrain et accès propriété de CSME.

4.2.3 Raisons du choix du projet

a. Variantes étudiées et mesures d'évitement en phase conception

Variante 1 :

La position initiale du projet consistait en la réalisation d'un forage sur une plateforme située au milieu du champ avec un cheminement de la canalisation l'amenant au plus court en bordure de route. Ensuite le reste du cheminement de la canalisation se faisait en bordure de la route.

Cette position correspondait à un forage unique et permettait de s'éloigner au maximum de tous les enjeux naturels et humains (habitations notamment).

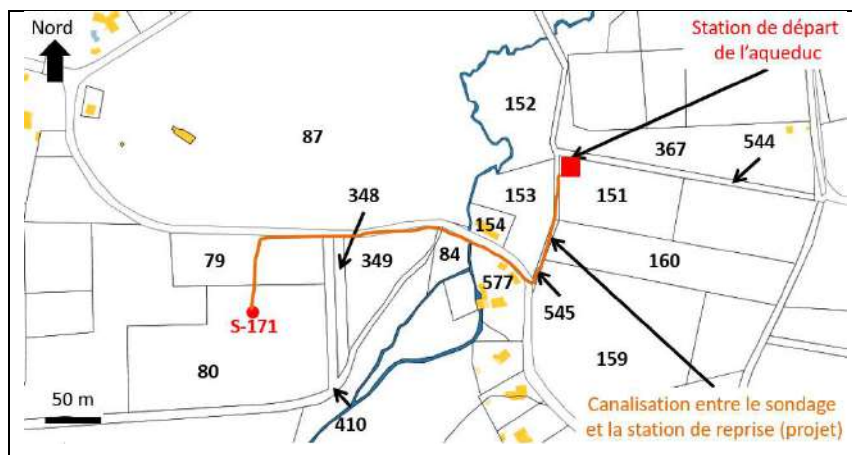


Figure 38. Schéma d'implantation du forage et des canalisations associées en V1

Il a été jugé que ce projet présentait trois inconvénients :

- Le premier était de ne permettre d'implanter qu'un seul forage dans la parcelle alors que le code minier impose d'optimiser la valorisation des gisements
- Le second était de morceler la parcelle agricole ;
- Le troisième était de cheminer longuement en domaine public sur le bord de chaussée ce qui provoquerait des difficultés de réalisation notamment sur le trafic.

Variante 2 (projet retenu) :

Une seconde variante a donc été étudiée, visant à supprimer ces trois inconvénients. Elle constitue le projet retenu, objet du présent dossier.

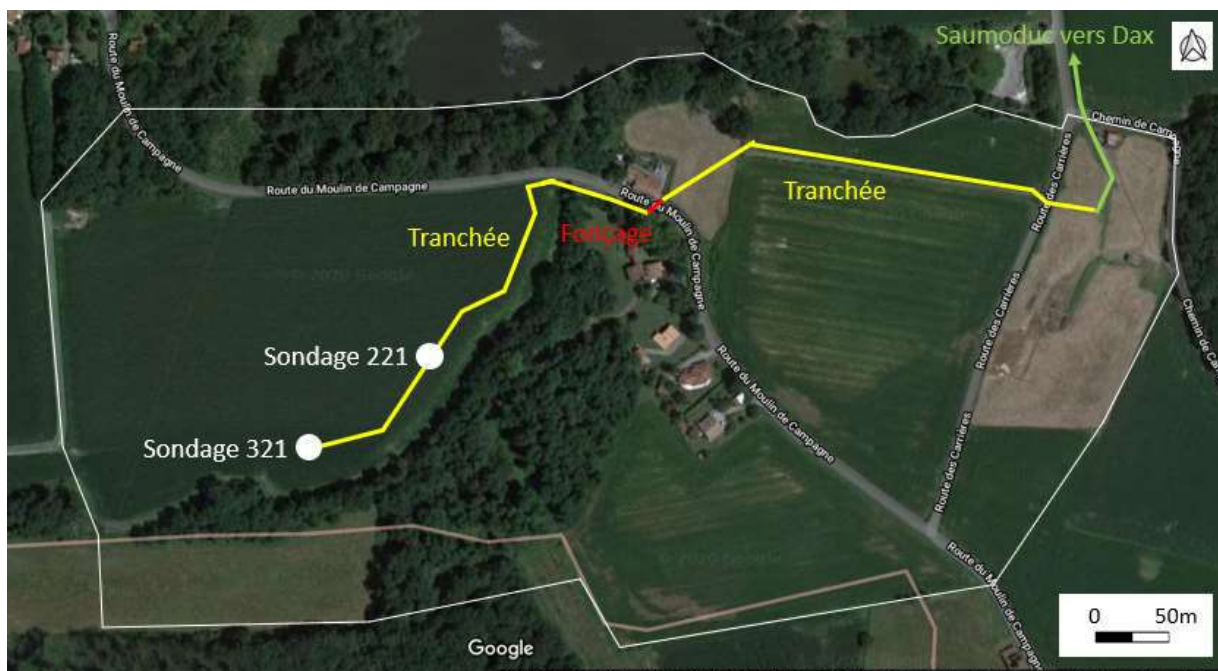


Figure 39. Schéma d'implantation du forage et des réseaux et techniques de travaux mises en œuvre en V2

Cette variante permet :

- D'éviter le morcellement de la parcelle, tout en conservant une distance suffisante au cours d'eau et à sa ripisylve à l'Est pour ne pas l'impacter ;
- De limiter la longueur de cheminement en bordure de route au franchissement du Hourn et de privilégier le passage dans les terrains en pleine propriété de CSME.
- D'optimiser l'exploitation du gisement de sel, via deux forages successifs.

Enfin, ce projet intègre des mesures d'évitement des zones à enjeux écologiques :

- Positionnement des installations dans un champ cultivé, sans enjeu faunistique et floristique ;
- Positionnement des réseaux en dehors des zones à enjeux écologiques majeurs, y compris :
 - Optimisation du positionnement des canalisations le long de la route de Moulin de Campagne de façon à s'éloigner au maximum des fossés abritant l'Agrion de Mercure ;
 - Franchissement du Hourn en canalisation aérienne le long du pont. Cette solution a été retenue par rapport au franchissement en forage dirigé. Les raisons sont :
 - Le franchissement en aérien permet un meilleur contrôle des canalisations et notamment celle de saumure ;
 - Le franchissement de la zone naturelle autour du Hourn peut se faire en respectant les contraintes écologiques ;
 - Le coût du forage dirigé de grande longueur.
 - Franchissement du fossé nord de la route de Moulin de Campagne en forage dirigé afin d'éviter l'habitat de l'Agrion de Mercure.
- Adaptation de la période des travaux aux enjeux écologiques.

b. Justification de l'implantation au regard des risques de stabilité

Les sondages ont été implantés en tenant compte des résultats de l'étude de stabilité réalisée en octobre 2020 par le Centre de Géosciences Armines (étude présentée en Annexe C).

Cette étude s'est appuyée sur les données acquises sur l'exploitation, notamment lors de l'étude de 2010 qui portait sur la stabilité à long terme des cavités de dissolution. Les données géologiques et géotechniques des terrains ont été prises en compte ainsi que des caractéristiques des cinq cavités actuelles et de l'ancienne exploitation. La forme théorique des nouvelles cavités a été décrite et une modélisation numérique de leur comportement réalisée dans le but d'étudier ses conditions de stabilité ainsi que sa zone d'influence.

La modélisation numérique effectuée dans cette étude a confirmé les conditions de stabilité à long terme d'une nouvelle cavité isolée dans le champ de Saint-Pandelon présentant les dimensions et la forme géométriques suivantes : diamètre maximale de 80 m, toit semisphérique de rayon 40 m, garde de sel au toit de 20 m, forme conique à la base et hauteur de la partie cylindrique de 140 m.

La réalisation d'une seconde cavité de mêmes caractéristiques nécessite la conservation d'un pilier de 50 m de largeur minimum au niveau de la partie cylindrique.

Concernant l'emplacement de ces nouvelles cavités par rapport aux cinq cavités existantes, elles ont été positionnées selon les recommandations de Armines à une distance plus importante que la simple largeur de pilier de 50 m pour les isoler totalement de toute incidence possible.

Les Figure 40 et Figure 41 montrent l'emplacement prévu pour ces deux nouvelles cavités. Leur pilier est de 70 m et dépasse la largeur préconisée de 50 m. De la même façon, la distance les séparant des cavités existantes est bien plus importante : elle est de l'ordre de 300 m par rapport à la cavité la plus proche S811, et de 110 m par rapport aux anciens travaux miniers les plus proches du niveau 105 m.

L'étude de stabilité Armines a également montré que la subsidence liée à l'exploitation d'une telle cavité était de l'ordre de 17 millimètres au bout de 100 ans, ce qui n'est pas perceptible à l'échelle de l'exploitation.

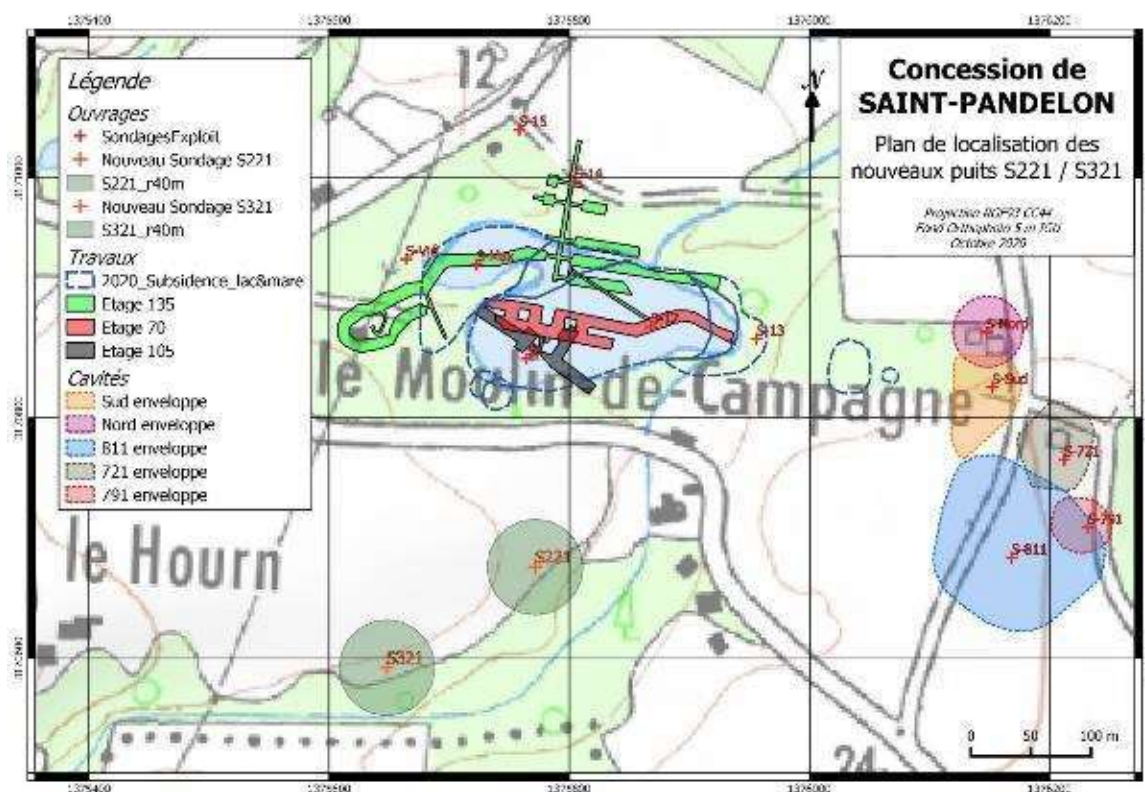


Figure 40 : vue en plan montrant l'emplacement des deux nouvelles cavités S-221 et S-231 par rapport aux cinq cavités existantes et à l'exploitation ancienne

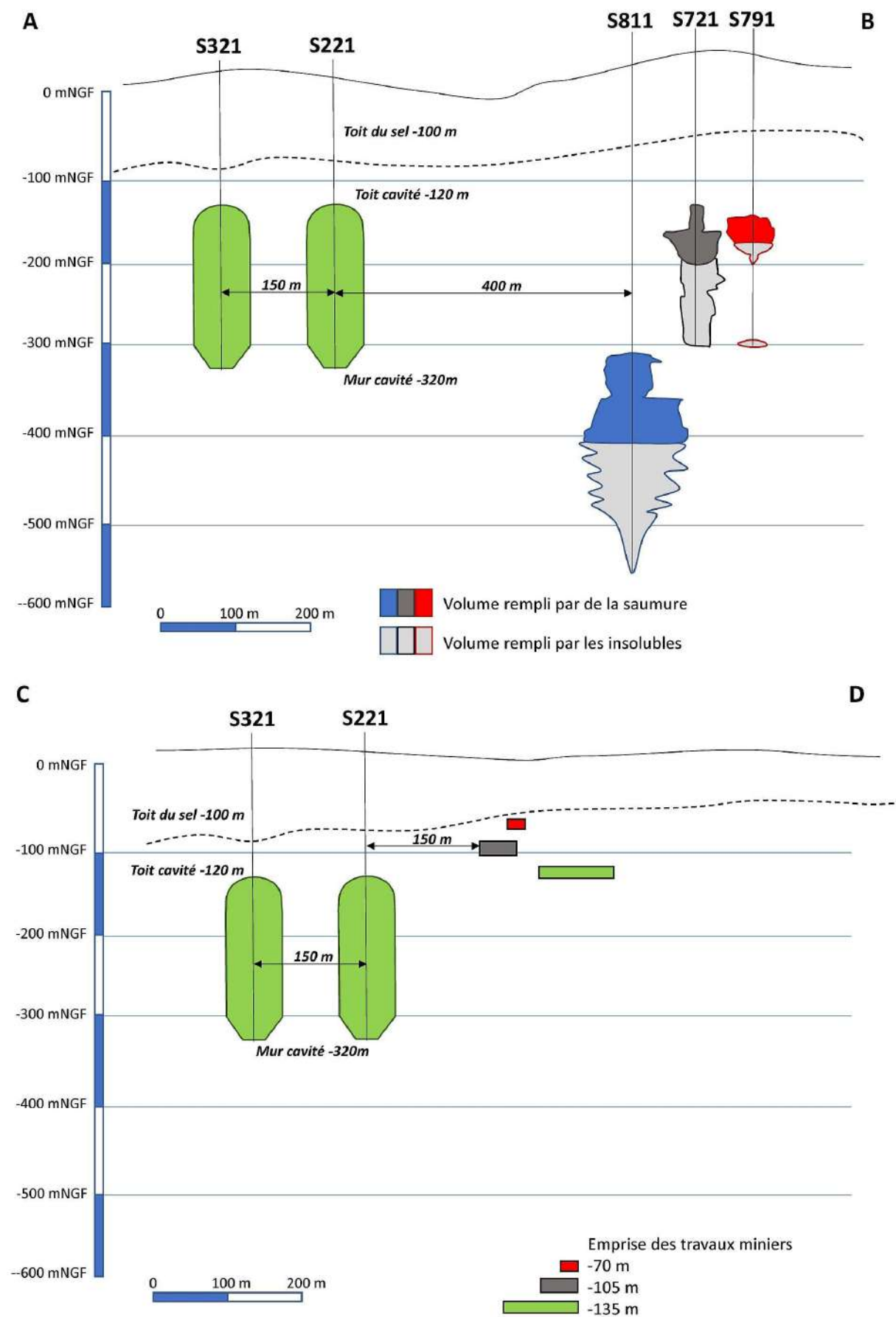


Figure 41 : Coupes verticales montrant l'emplacement des deux nouvelles cavités S-221 et S-321 par rapport aux cinq cavités existantes (en haut) et par rapport à l'exploitation ancienne (en bas)

4.3 Projet retenu

Le projet consiste à forer successivement deux puits distants d'environ 150 m, de 320 m de profondeur pour atteindre la formation de sel située à environ -100 m de profondeur et la pénétrer sur environ 220 m. L'eau douce injectée dans les puits proviendra du plan d'eau voisin comme actuellement pour le puits en exploitation, et dissoudra sur place le diapir de sel. La saumure produite rejoindra par un réseau de canalisation de collecte le réseau de canalisations de transport de saumure existant et alimentera la saline de Dax pour produire du sel cristallisé.

La dissolution du sel conduira à terme à la formation d'une cavité à la base de chaque puits, les cavités restant isolées les unes des autres. La géométrie de ces cavités est contrôlée au fur et à mesure de l'exploitation pour que leurs dimensions en garantissent la stabilité à long terme après exploitation.

Le forage des puits et la production de saumure nécessitent de construire une piste d'accès et deux plateformes, au sud-ouest de l'actuelle exploitation de Saint-Pandelon, et de raccorder les puits aux réseaux d'eau et de saumure existants.

Le projet s'inscrit en totalité dans le périmètre de la concession.

Le projet est décomposé en plusieurs phases :

- Phase 1 : Travaux d'infrastructures de surface (piste d'accès et plateforme, réalisation de tranchées et pose des réseaux électrique, hydraulique et fibre), raccordements électriques et construction des locaux techniques,
- Phase 2 : Travaux de forage et d'équipement du puits d'exploitation, mise en place des équipements de surface,
- Phase 3 : Mise en exploitation du forage par dissolution contrôlée du sel pendant 20 ans environ avec une première étape transitoire de 18 mois environ de développement de la cavité nécessitant la réinjection de la saumure dans le puits actuellement exploité pour la saturer et produire une saumure exploitable en usine,
- Phase 4 : Fin d'exploitation échelonnée sur 5 ans, puis suivi.

4.3.1 Localisation des sondages

Les sondages sont localisés sur la Figure 42 ci-après.

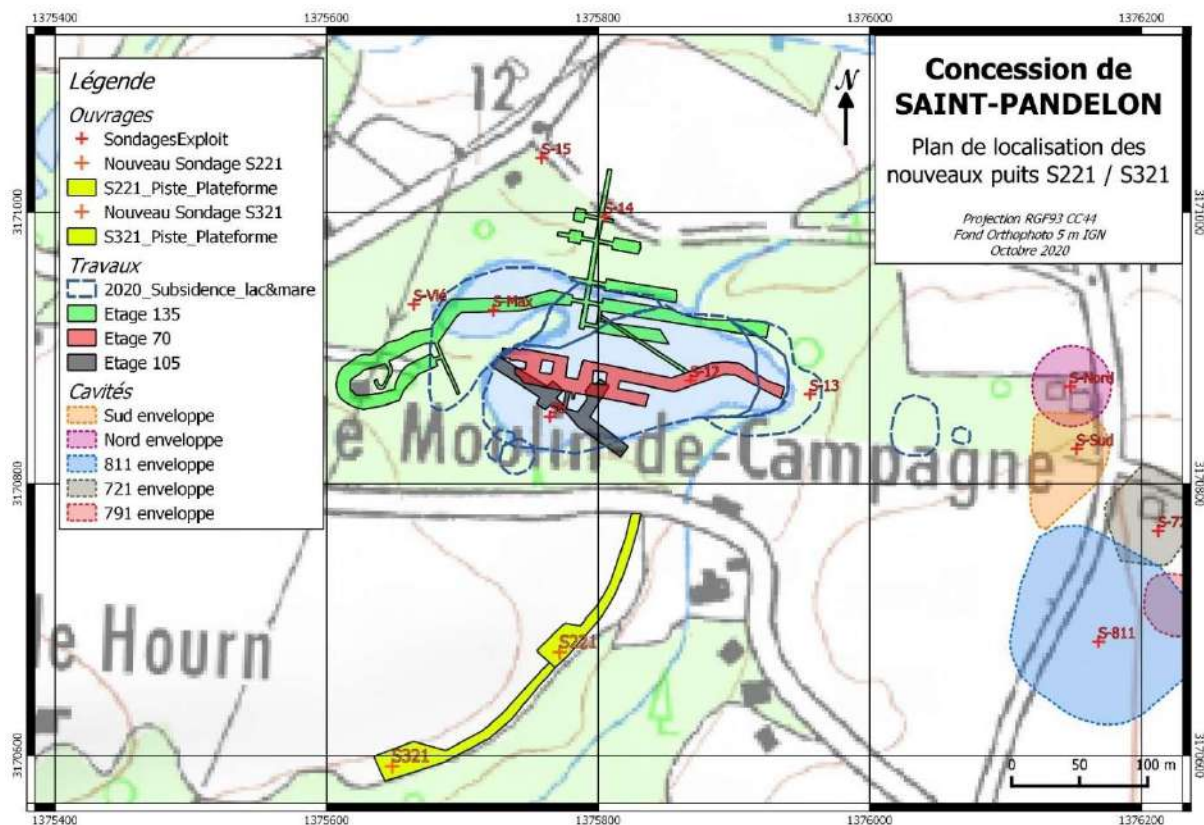


Figure 42 : localisation des projets de sondages S-221 et S-321

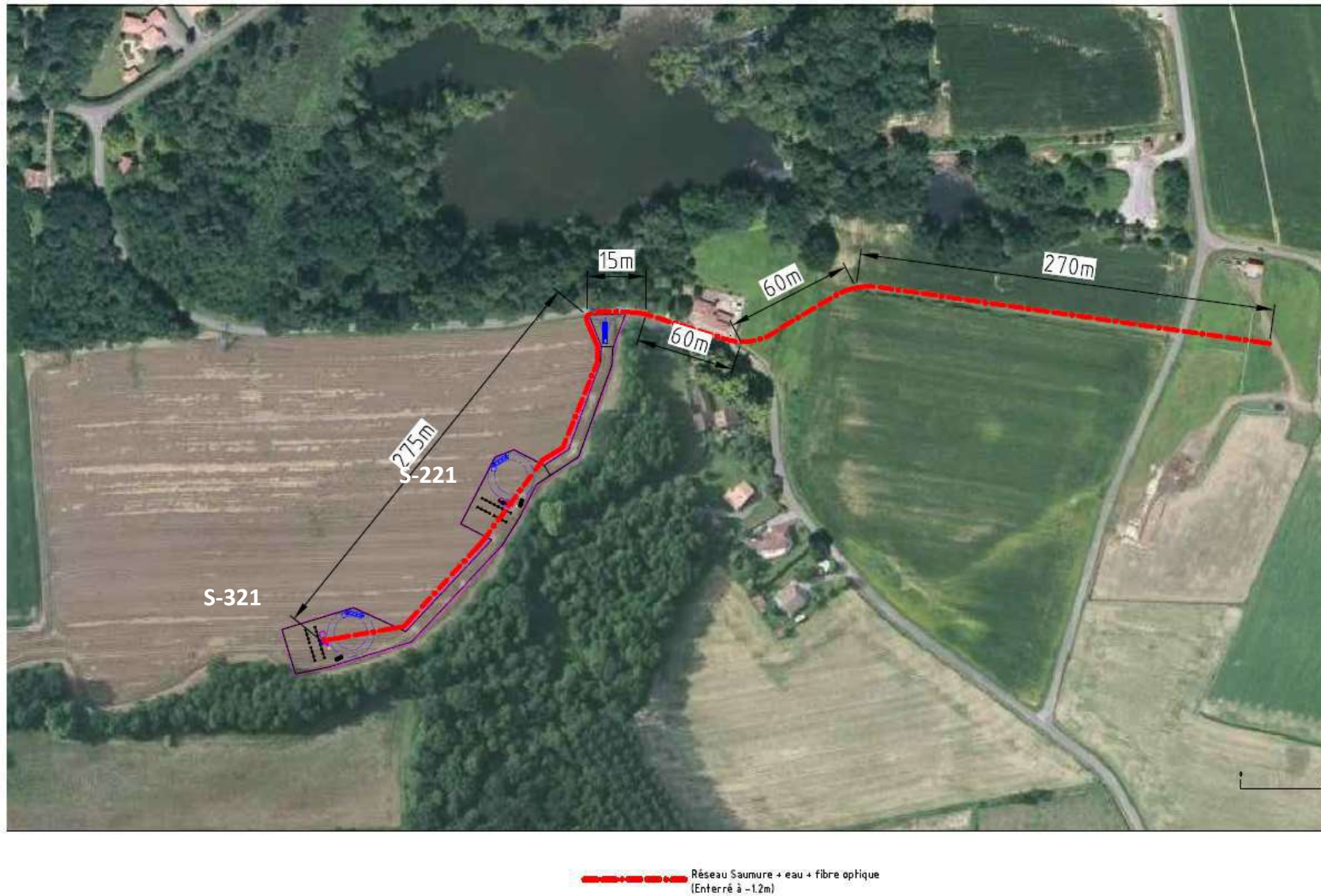


Figure 43 : Plan général de localisation des forages et des réseaux de collecte

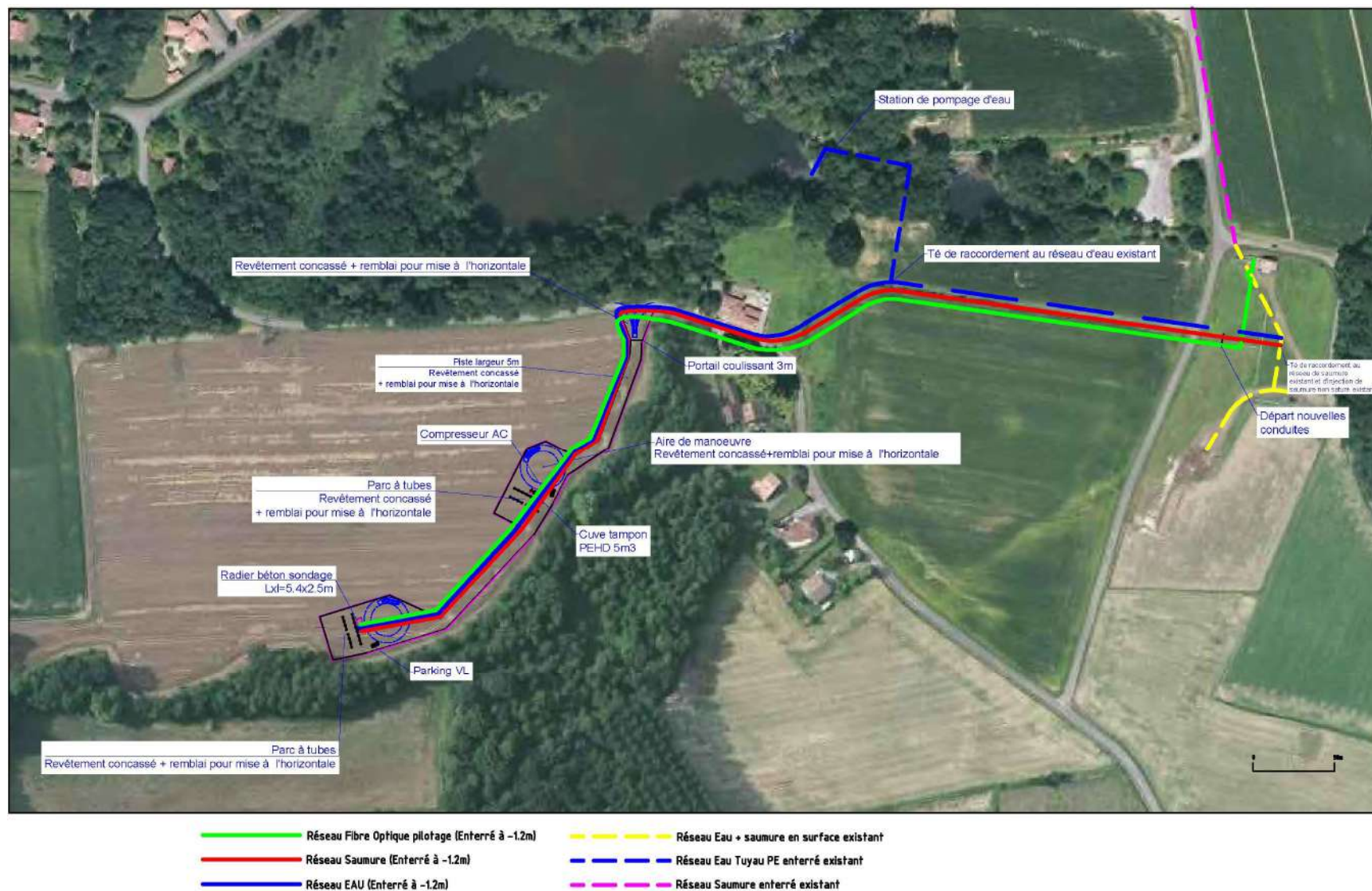


Figure 44 : Présentation des différents réseaux actuels et futurs

4.3.2 Phase 1 : travaux d'infrastructures

Les travaux d'infrastructures se décomposent comme suit :

- Installation des **barrières** sur les chemins d'accès,
- Réalisation de **clôtures** : un portail coulissant sera créé côté nord ; d'une largeur d'au moins 4m, il sera reculé de quelques dizaines de mètres afin de permettre la manœuvre des véhicules entrant et sortant sans gêner la circulation sur la route du Moulin de Campagne ; une clôture de type autoroute de 2 m de hauteur ceinturera la zone d'exploitation,
- Réalisation de **pistes de liaison** pour permettre l'accès aux plateformes de sondages :
 - Une piste de largeur minimum 4m et de 275 m de long environ sera réalisée en revêtement concassé compacté, assurant le drainage et le passage des poids lourds.
 - Une aire de manœuvre pour rayon de braquage de 10-14m pour Poids Lourds sera réalisée en revêtement concassé compacté (surface : 845 m²).
- Aménagement de **locaux techniques** de manière similaire aux locaux de l'exploitation du sondage S-811, pour accueillir de nouveaux équipements : compresseur d'air, débitmètres, capteurs de pression, de niveau, de température, organes de commande, armoires électriques, pompes de reprise ; ils seront construits en moellons ou à partir de containers maritimes aménagés, en portant une attention particulière à l'intégration paysagère des bâtiments et des équipements.
- Pose et raccordement et extension des **réseaux d'injection d'eau et de collecte de la saumure**,
- Pose et raccordement et extension des **réseaux électriques et optiques**.

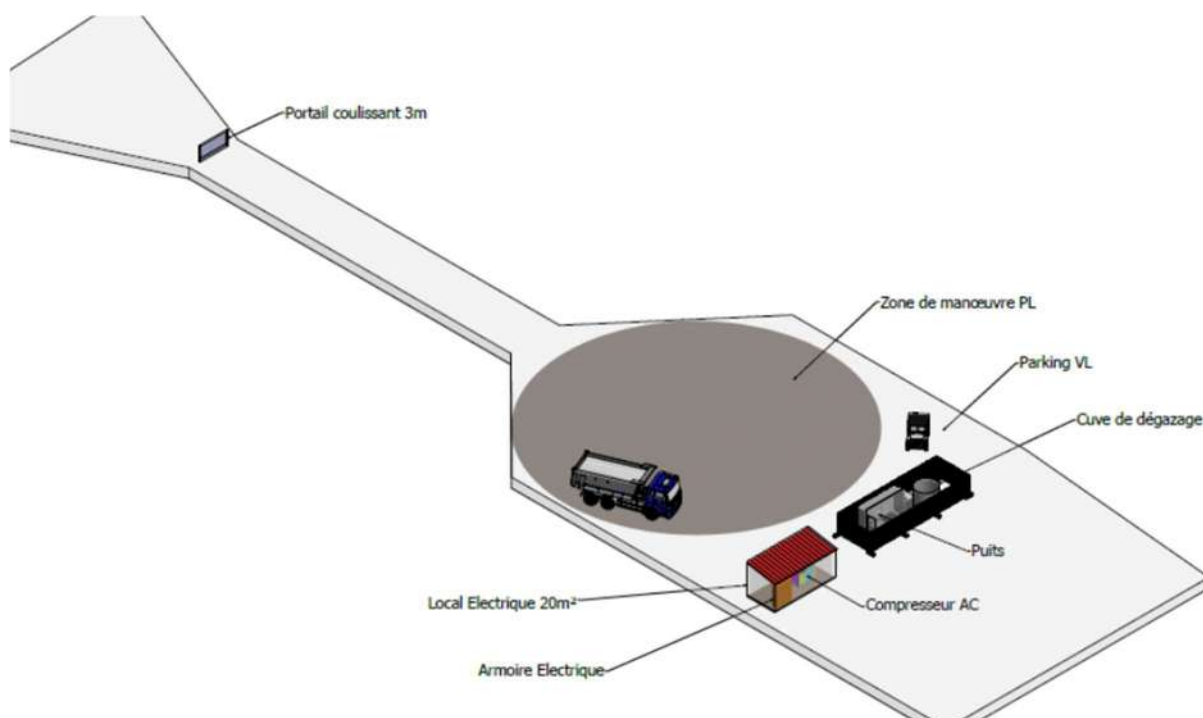


Figure 45 : Plan des accès, pistes et plates-formes

a. Le réseau d'injection d'eau

Le réseau projeté d'injection d'eau aura un **diamètre extérieur de l'ordre de 125 mm** pour une **longueur proche de 400 m**. Il sera raccordé au réseau d'eau existant acheminant l'eau depuis la station de pompage du lac.

L'eau d'injection circule avec un **débit moyen de l'ordre de 30m³/h** (maxi = 40m³/h - mini = 15m³/h).

La température de cette eau d'injection est de 15-16°C en période hivernale et peut atteindre un maximum de 30°C en période estivale.

Un piquage sera réalisé sur la canalisation d'eau alimentant le sondage S-811, pour amener l'eau jusqu'aux puits S-221 et S-321. Cette nouvelle canalisation aura une longueur de l'ordre de 400 mètres, elle sera en PEHD PN16 ou équivalent et enterrée, sauf à la traversée aérienne du ruisseau du Hourn.

L'ensemble des canalisations hydrauliques (injection d'eau et collecte de saumure) sera **enterré entre 0,8 et 1,2 m dans le sol le long des limites de parcelles ou des pistes, sauf pour le franchissement du ruisseau du Hourn qui sera réalisée par passage aérien.**

b. Le réseau de collecte de saumure

Réseau existant - canalisation de transport :

Le sondage S-811 alimente les deux bassins de stockage de saumure de l'usine (capacités : 600 m³ chacun) via et un bassin de dégazage (à proximité du S-811) puis un saumoduc.

Ce saumoduc est une canalisation en Polyéthylène haute densité (PEHD) pour la majeure partie du tracé, et en fonte sur deux derniers tronçons, a un diamètre extérieur de 125 mm (96 mm diamètre intérieur) et une longueur de 5000 mètres environ. Elle est enterrée sur l'ensemble du tracé à une profondeur variant de 0,4 à 1 mètre en recoupant la vallée du Luy. La dénivelée est de -2 mètres.

Cette canalisation permet d'assurer la descente de la station de pompage de Saint-Pandelon à la saline de Dax au débit maximal de 34 m³/h et au débit moyen de 29 m³/h de la saumure saturée produite par la dissolution du gisement salifère.

Réseau projeté – canalisation de collecte :

La conduite de saumure entre la sortie des sondages S-221 ou S-321 et le bac de dégazage sera en **PEHD PN16 ou équivalent avec un diamètre extérieur de l'ordre de 125 mm**. Cette conduite sera enterrée à 1,20 m de profondeur, sauf à la traversée aérienne du ruisseau du Hourn. Elle aura une **longueur de 700 m environ**.

La saumure non saturée pendant la phase de maturation sera réinjectée dans le sondage S-811 qui servira de saturateur.

c. Le réseau électrique

L'ensemble des **réseaux électriques cheminera le long des canalisations hydrauliques enterrées** ; ils seront posés sous fourreau pour des câbles non armés ou nu pour des câbles armés.

d. Le réseau d'air comprimé

L'air comprimé nécessaire au développement des cavités avec matelas de protection sera fourni par un **compresseur mobile** installé sur la plateforme du sondage en cours d'exploitation. Le projet ne comprend donc pas de pose de réseau enterré d'air comprimé. Le **réseau d'air comprimé cheminera au sol** ou sur des montants adaptés, avec fixation sur les modules en béton, uniquement dans l'emprise des plateformes.

e. Tracé des réseaux d'eau, de saumure et d'électricité

L'ensemble des canalisations hydrauliques sera enterré entre 0.8 et 1,2 m de profondeur dans le sol le long des limites de parcelles ou des pistes, sauf pour le franchissement du ruisseau du Hourn, qui sera réalisée par passage aérien le long l'ouvrage existant dans un tube métallique dont la génératrice supérieure sera au niveau du sol.

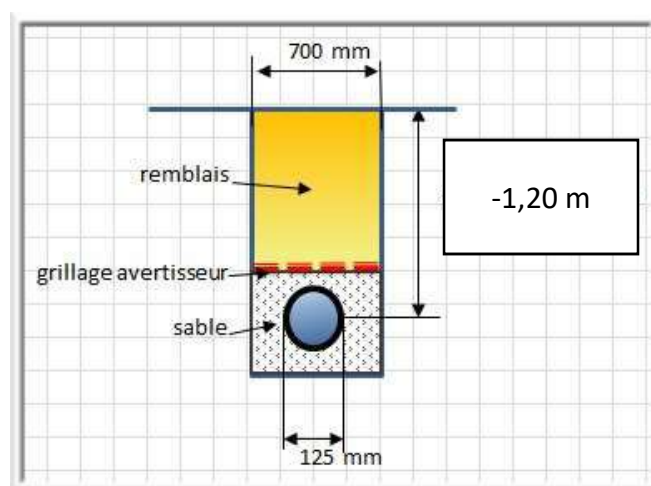


Figure 46 : Coupe transversale de l'enfouissement d'une conduite

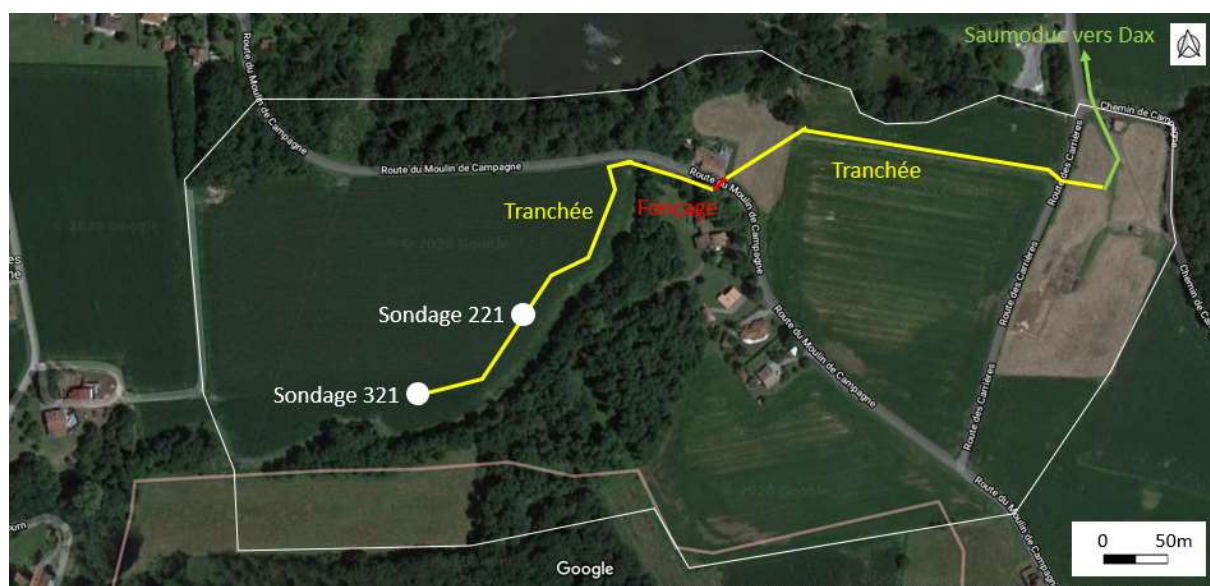


Figure 47 : Schéma d'implantation de la canalisation, techniques de travaux mises en œuvre (fond : Google Maps)

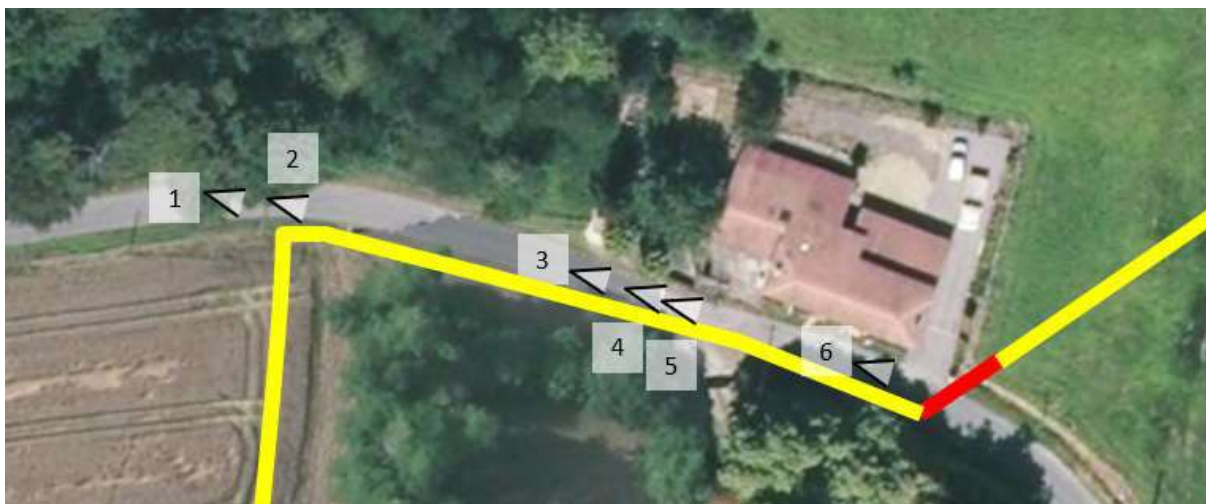
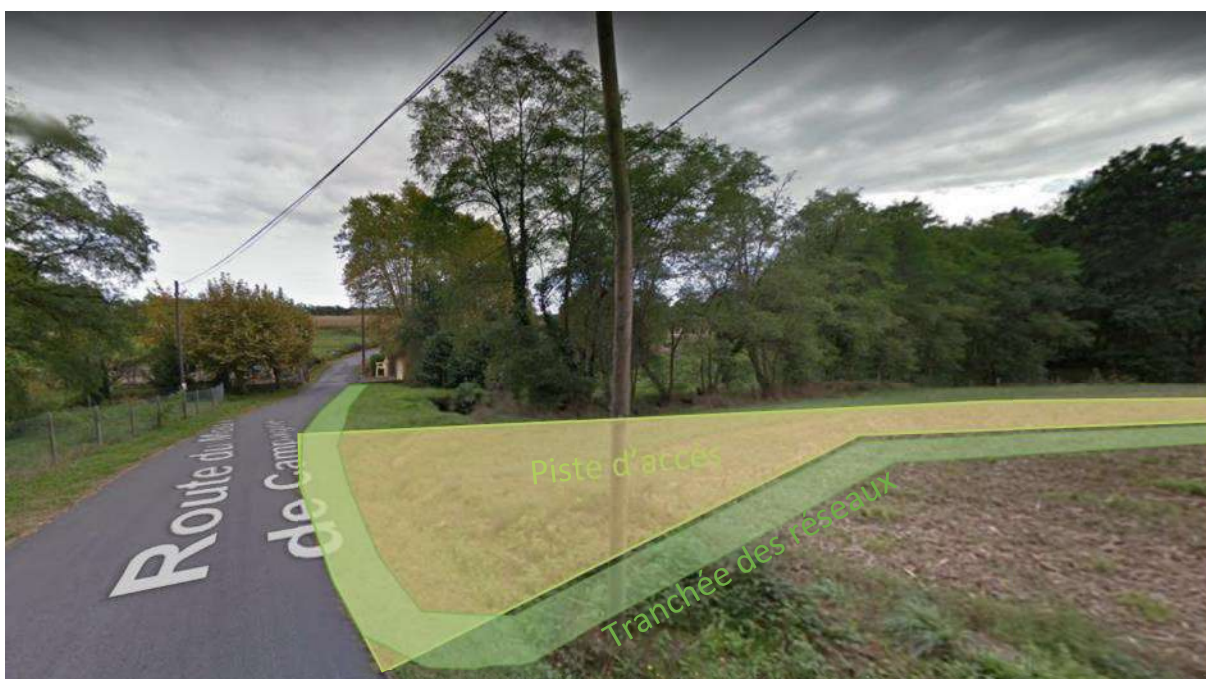


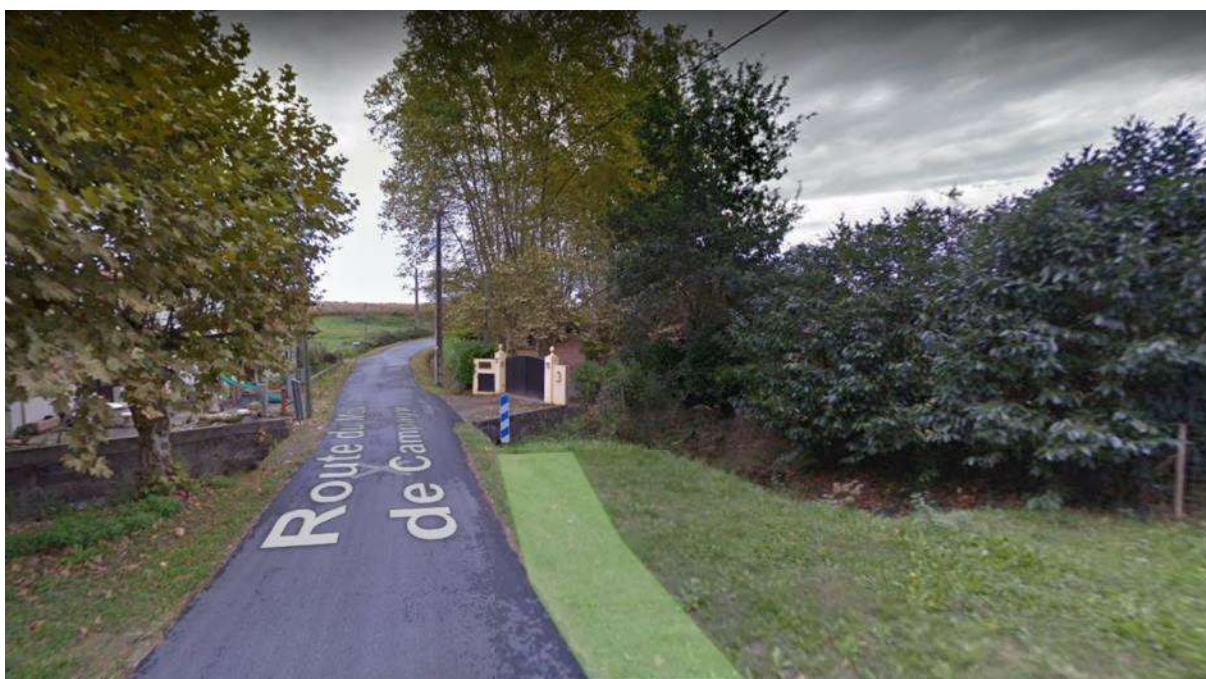
Figure 48 : Localisation des prises de vue, dans l'ordre d'apparition ci-après (fond : Géoportail)



Dans le champ : tracé de la piste de 3,5 mètres de largeur longeant le ruisseau du Hourn, à une distance de 3 mètres de la lisière du bois. Liaison de la piste avec la Route du Moulin de Campagne élargie pour permettre l'entrée et la sortie des véhicules.
Passage des réseaux enterrés dans une tranchée longeant la piste puis la Route du Moulin de Campagne. La tranchée mesurera ~1 mètre de largeur et 1,20 mètre de profondeur.



Le long de la Route du Moulin de Campagne (chaussée de largeur 4m), entre la piste à créer et la traversée du ruisseau du Hourn, la tranchée sera faite dans l'accotement entre la route et le fossé si la largeur le permet, à cheval sur la route et l'accotement dans le cas contraire.





La traversée du ruisseau du Hourn sera faite dans une buse de diamètre 600 millimètres appuyée sur les deux berges, sans aucun travaux dans le lit du ruisseau.



Le long de la Route du Moulin de Campagne, entre la traversée du ruisseau du Hourn et le fonçage sous la route, la tranchée sera faite à cheval sur la route et l'accotement.



La traversée de la Route du Moulin de Campagne sera faite par fonçage depuis le champ situé à l'est (côté gauche de la vue) en direction de l'ouest (côté droit de la vue) pour rejoindre la tranchée le long de la route.

4.3.3 Phase 2 : travaux de forage et d'équipement du puits d'exploitation

Le descriptif détaillé de ces travaux de sondages est fourni dans la pièce D du dossier de demande d'autorisation. Les principaux éléments sont repris ci-après :

Réalisation du forage à la profondeur de 320 m, le toit du sel étant rencontré à la profondeur de 100 m sous un recouvrement de marnes et d'argiles, avec isolement par tubage et cimentation de trois tubes aciers emboîtés :

- Tube 20'' du sol à 6 à 10 m cimenté au terrain et isolant des terrains de surface et la nappe d'eau superficielle éventuelle ;
- Tube 13''3/8 du sol à 120 m cimenté au terrain et isolant le massif de sel du recouvrement ;
- Tube 9''5/8 du sol à 220 m cimenté au tube 13''3/8 sur les 120 premiers mètres puis au massif de sel sur les 100 derniers mètres.

Cette architecture prévisionnelle sera adaptée à la profondeur des terrains réellement rencontrés lors du forage.

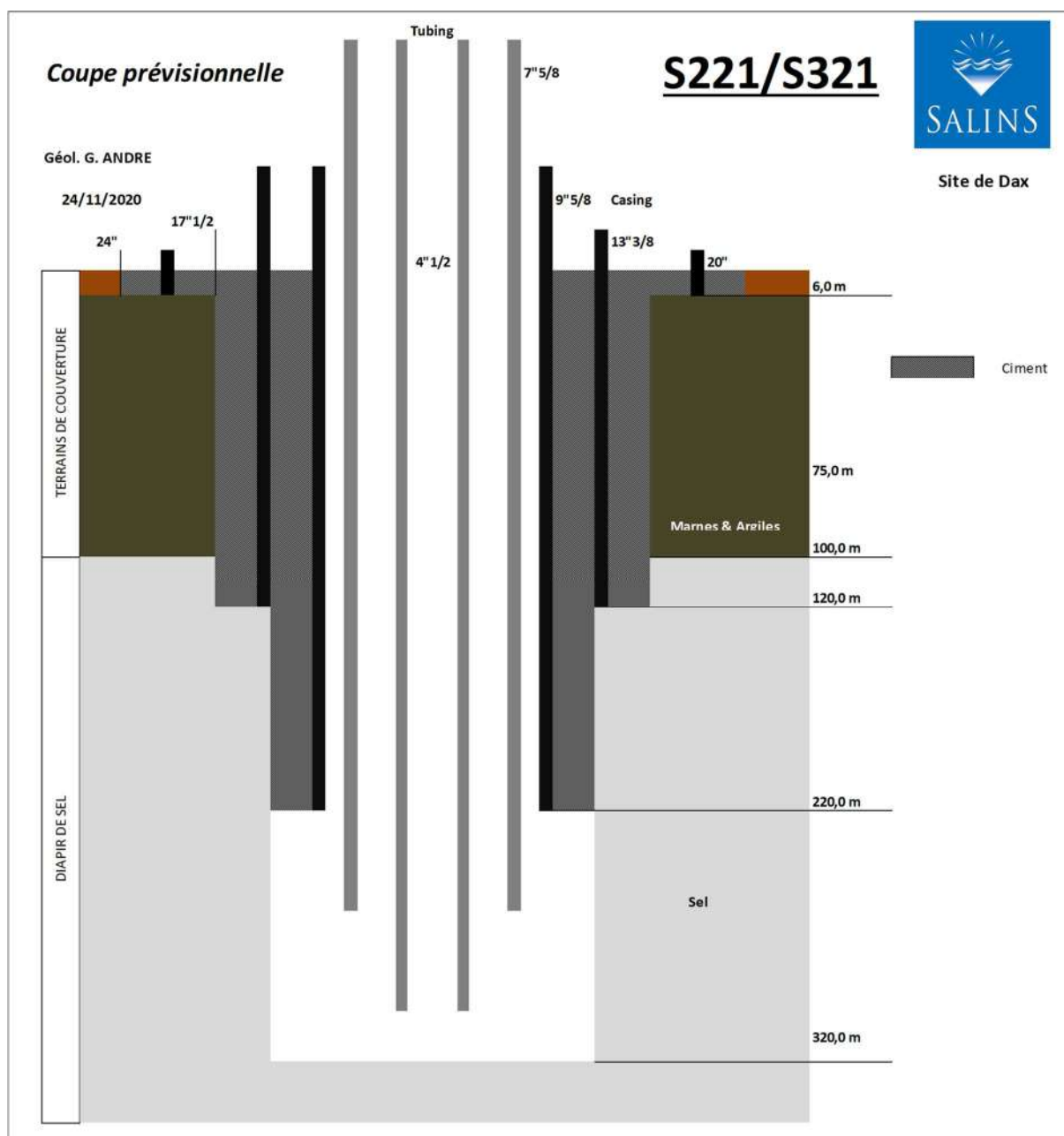


Figure 49 : coupe géologique et technique type d'un puits

Installation des équipements de production du forage avec

- Mise en place de deux colonnes concentriques acier de diamètre 7''5/8 et 4''1/2 pouvant être montées ou descendues en fonction des phases du programme de lessivage de la cavité ;
- Mise en place d'une tête de puits étanche permettant la tenue des colonnes et leurs manœuvres et disposant des piquages nécessaires à l'injection d'air, d'eau et à l'extraction des saumures.

Raccordements en tête aux éléments suivants

- Canalisation d'amenée d'eau de dissolution venant du lac de Saint Pandelon ;
- Canalisation de collecte de la saumure produite au départ du saumoduc vers l'usine de Dax ;
- Canalisation d'air comprimée (venant du compresseur mobile amené près de la tête du puits).

4.3.4 Phase 3 : exploitation du puits

CSME a choisi d'utiliser la méthode d'exploitation par cavités isolées stables. Dans le contexte spécifique du projet, seul ce choix permet de concilier les exigences en matière d'exploitation et les exigences en matière de protection des différents intérêts avec l'objectif de mise en valeur optimale du gisement imposée par le Code Minier.

Le principe d'exploitation consiste à injecter de l'eau dans le gisement de sel et d'extraire la saumure générée par la dissolution du sel. Pendant l'injection et l'extraction de saumure, un matelas d'air est maintenu au toit de la cavité afin de conserver une planche de sel intacte.

La mise en exploitation du puits comprend deux étapes :

- Etape 1 : formation de la cavité initiale : phase de développement-maturation en liaison avec le puits S – 811 ou S-221 (18 mois),
- Etape 2 : exploitation de la cavité et production de saumure saturée des sondage S – 221 et S-321 seuls (environ 20 ans pour chaque).

L'opération dite de formation de la cavité consiste à créer une chambre préliminaire dans la partie la plus basse du puits. Cette chambre de hauteur réduite mais de diamètre assez important permet de disposer d'un volume suffisant pour stocker les insolubles décantés et d'une surface de contact suffisamment grande pour produire de la saumure saturée. Pendant cette étape qui dure entre un à deux ans, les eaux salées produites ne sont pas saturées et seront injectées dans une cavité existante (cavité S811 pour S-221 et S-221 pour S-321 par exemple) afin d'obtenir une saumure saturée exploitable.

Un fluide inerte non miscible à l'eau et d'une densité inférieure à celle de l'eau est utilisé pour contrôler le développement de la cavité vers le haut en empêchant la dissolution du sel vers le haut et en permettant de contrôler la remontée du toit de la cavité.

Le fluide inerte sera de l'air comprimé, la substitution éventuelle par un autre gaz n'induisant aucune modification substantielle à la méthode d'exploitation est possible.

Dans cette première phase, la position du plan d'air permet le développement latéral de la cavité.

Une fois que la cavité a atteint le diamètre maximal (80 mètres), les opérations de mouvement de tubes et d'ajustement du matelas d'air permettent de produire une saumure saturée (310 g/l) et une évolution optimale des cavités selon la direction verticale. Le débit d'injection peut alors être augmenté jusqu'à 40 m³/h. La saumure est extraite à un débit moyen de pompage de 30 m³/h.

Supervision

Le schéma de principe des différents réseaux permettra de suivre le plan d'exploitation des nouveaux sondages S – 221 et S-321 pendant les 2 phases (développement et exploitation).

Les différentes pompes de transfert, vannes automatiques et débitmètres sont prévus pour pouvoir alimenter et contrôler à distance les débits des flux (eau, eau salée, saumure) entre l'entrée et la sortie de chaque conduite.

L'ensemble de ces données sera transmis à la supervision qui permettra d'intervenir à distance pour régler les débits, les pressions de chaque secteur de dissolution.

Et ceci pour chaque puits pendant la phase de maturation et dans la phase d'exploitation on pourra :

- Mesurer le débit et la pression d'injection de l'eau.

- Mesurer le débit et la pression de saumure si nécessaire.
- Mesurer la pression d'air de gonflage si nécessaire.
- Détecter les fuites de chaque conduite (air, eau, saumure).
- Isoler et purger chaque puits (air, eau et saumure).

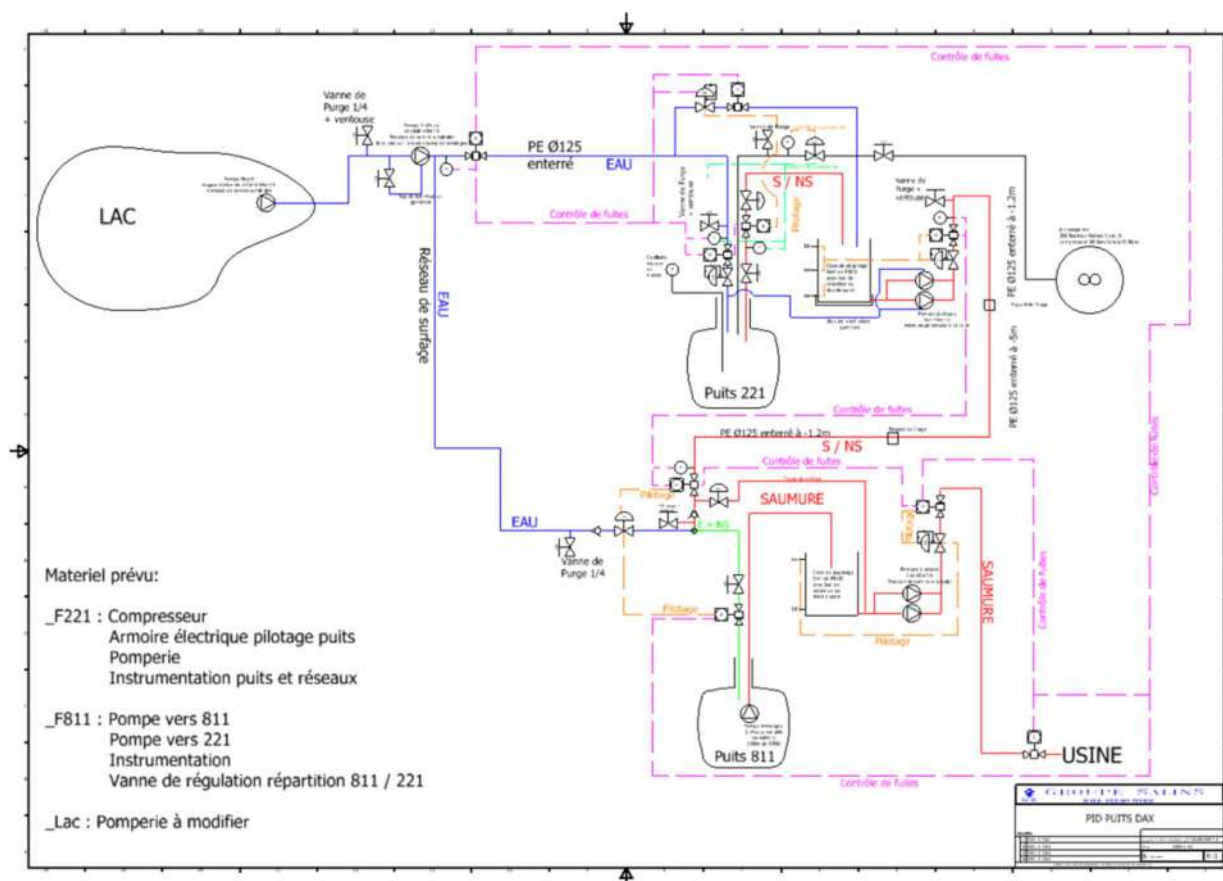


Figure 50 : Schéma de principe de distribution des différents réseaux

La géométrie de la cavité est mesurée par ultrasons, sur le principe du sonar. Habituellement les coupes horizontales sont réalisées tous les 2 mètres, et les coupes verticales tous les 15 degrés. Cette opération sera effectuée tous les deux ans, suivant l'évolution de l'exploitation. En fonction du résultat de ce contrôle, la position des tubes et du matelas d'air dans la cavité est ajustée.

Le nivellement du champ d'exploitation, à partir d'un réseau de bornes et repères rattachés à un point fixe, permet de mesurer annuellement l'amplitude des mouvements de terrain s'il y en a ou de vérifier l'absence de mouvements.

4.3.5 Phase 4 : fin d'exploitation du puits

Les conditions de fin d'exploitation sont présentées en Pièce L « Document indiquant à titre prévisionnel les conditions de l'arrêt des travaux ainsi que l'estimation de son coût ».

En fin d'exploitation, après une période d'équilibrage d'une durée de l'ordre de 5 ans, il est prévu d'abandonner les cavités remplies de saumure, de cimenter les puits de façon étanche, de démonter les équipements et installations de surface et d'inertiser les canalisations enterrées.

Le bouchage définitif des puits sera réalisé après une période suffisante pour que la cavité remplie de saumure saturée ait atteint son équilibre thermique avec l'encaissant. Cette période a une durée estimée de 5 ans comprenant le temps de mise en équilibre thermique d'une durée de 2 ans selon les simulations des experts du SMRI (Solution Mining Research Institute) ainsi qu'une marge de sécurité supplémentaire de 3 ans.

4.3.6 Durée des travaux

Les travaux seront conduits en plusieurs étapes successives :

- Mise en place des infrastructures : 5 mois ;
- Forage : 2 mois ;
- Essai et mise en service : 1 mois ;
- Développement de la cavité pour obtenir une saumure saturée : 18 à 24 mois environ.

Le planning prévisionnel de mise en place des infrastructures est détaillé dans le tableau suivant :

Tâches	Mois M	Mois M+1	Mois M+2	Mois M+3	Mois M+4
Piste et plateforme	→				
Clôture et Portail		→			
Canalisation et réseaux		→			
Locaux et Equipements				→	
Contrôle et test					→

Tableau 2 : Planning des travaux pour infrastructures

Le planning prévisionnel de l'étape forage et d'exploitation est détaillé dans le tableau suivant :

Tâches	Trimestre T	Trimestre T+1	Trimestre T+2	Trimestre T+3	Trimestre T+4	Trimestre T+5	Trimestre T+6	Trimestre T+7	Trimestre T+8
Réalisation du sondage vertical	→								
Raccordements au circuit existants	→								
Connexion des 2 sondages		→							
Poursuite développement Sondage-811		→							
Développement du nouveau puits S-221		→							
Contrôles Sonars			→					→	

Tableau 3 : Planning prévisionnel de la création d'une nouvelle cavité

5 Analyse des impacts sur l'environnement et proposition de mesures environnementales

L'évaluation des effets prévisibles d'un projet sur l'environnement préfigure quels pourraient être les effets d'un projet en l'absence de mesures d'évitement et de réduction. Ces effets prévisibles sont définis à partir de la superposition de l'aire d'implantation du projet avec les enjeux environnementaux identifiés dans le cadre de l'état initial de l'environnement réalisé.

Les effets prévisibles sont déclinés selon une typologie incluant plusieurs catégories d'impacts. Ainsi, les effets peuvent être négatifs ou positifs.

Les effets temporaires, limités dans le temps et réversibles (une fois les travaux terminés par exemple) sont à distinguer des effets permanents persistants dans le temps et sont irréversibles (phase exploitation notamment).

L'évaluation de « l'intensité » de l'impact, fort, moyen et faible, repose sur le type d'impact relevé et les caractéristiques de l'environnement.

Les différents enjeux identifiés dans l'état initial de l'environnement ont été pris en compte lors de l'élaboration du projet d'implantation. Ils ont été confrontés aux contraintes techniques et ont ainsi permis de proposer une implantation de moindre impact.

L'ensemble de la démarche d'analyse des impacts suit la séquence « Eviter, Réduire et Compenser » en cohérence avec les préconisations de l'autorité environnementale.

5.1 Impacts et mesures sur le milieu physique

5.1.1 Impacts et mesures sur la consommation énergétique, le climat et la qualité de l'air

❖ En phase chantier

Impacts :

Les consommations énergétiques sont liées au fonctionnement des engins et de la foreuse, qui peuvent altérer temporairement la qualité de l'air pendant la phase de travaux. Le trafic étant faible, il n'est pas de nature à impacter significativement la qualité de l'air ni le climat.

Mesures :

L'émission dans l'air de polluants et de gaz à effet de serre liée aux engins de travaux sera limitée, grâce à l'utilisation d'engins en bon état de fonctionnement et répondant aux exigences réglementaires en vigueur.

Le contact des engins n'évoluant pas sera coupé, pour économiser le carburant et réduire les émissions de polluants atmosphériques.

Le chantier et les voies d'accès seront régulièrement nettoyés.

❖ **En phase d'exploitation**

Impacts :

Les consommations d'énergie sont liées au fonctionnement des pompes, du compresseur et des instrumentations.

Le trafic sera très ponctuel, en lien avec les visites de surveillance et d'entretien.

Les consommations d'énergie seront faibles et sans incidence significative sur le climat et la qualité de l'air.

Mesures :

Les engins et les équipements seront régulièrement entretenus afin de garantir leur bon fonctionnement.

- ➔ **Effets temporaires et permanents négligeables.**
Le projet ne présente pas de vulnérabilité au changement climatique.

5.1.2 **Impacts et mesures sur la topographie et les sols**

❖ **En phase chantier**

Impacts :

Pendant la phase chantier, une imperméabilisation partielle du sol sera nécessaire, notamment au niveau de la base de vie, située à proximité du sondage S-811.

Un tassement du sol localisé sera engendré par la construction de la piste d'accès et des plateformes.

Mesures :

Afin de limiter le tassement du sol, la piste d'accès et les plateformes seront aménagées dès le début du chantier et constitueront les zones de circulation sur le chantier. Elles constitueront également des voiries définitives. La topographie existante sera conservée. Les apports de matériaux de terrassement légers seront minimisés.

La piste et les plateformes seront réalisées en revêtement concassé compacté, assurant ainsi le drainage des sols.

L'étendue de la zone de chantier sera limitée au strict nécessaire et balisée (afin de limiter le tassement du sol, la création d'ornière, ...).

Les matériaux de déblais issus de la tranchée seront stockés à proximité immédiate (à distance des fossés et cours d'eau) en vue de leur réemploi sur place.

Lors du creusement de la tranchée au niveau de la zone humide, le protocole consistera à retirer les différents horizons séparément, déposés sur un géotextile le long de la tranchée lors de l'extraction, afin de les remettre en place dans l'ordre, sans apport de matériaux potentiellement drainant à l'exception du lit de sable destiné à protéger les canalisations en fond de fouille. Ce lit de sable sera limité au strict nécessaire. Cette mesure permettra de retrouver la fonctionnalité écologique de la zone humide la plus proche possible de l'état initial.

❖ En phase d'exploitation

Impacts :

Le projet, par sa nature, consiste à créer successivement 2 cavités isolées et à modifier la structure du sol.

Mesures :

L'exploitant a pris de nombreuses mesures afin de s'assurer du contrôle de la dissolution dans la cavité saline pendant exploitation. L'application stricte des recommandations contenues dans les études de dimensionnement garantit la création et l'exploitation de cavités autostables et ainsi d'éviter tout risque d'effondrement brutal ou d'affaissement lent et progressif au droit de la cavité saline exploitée.

La topographie ne sera pas donc pas modifiée en surface.

Le suivi de l'altitude de certains points particuliers en surface permet de mesurer la subsidence des terrains. Le réseau des points de repère est constitué de repères disposés selon un maillage couvrant l'ensemble du périmètre d'exploitation.

La carte ci-après montre le plan du réseau de nivellement envisagé. Il comprend la mise en place de 45 nouveaux repères sur support existant et de 16 nouvelles bornes (soient 61 points de nivellement en tout). Ce relevé topographique sera réalisé au moins une fois par an.

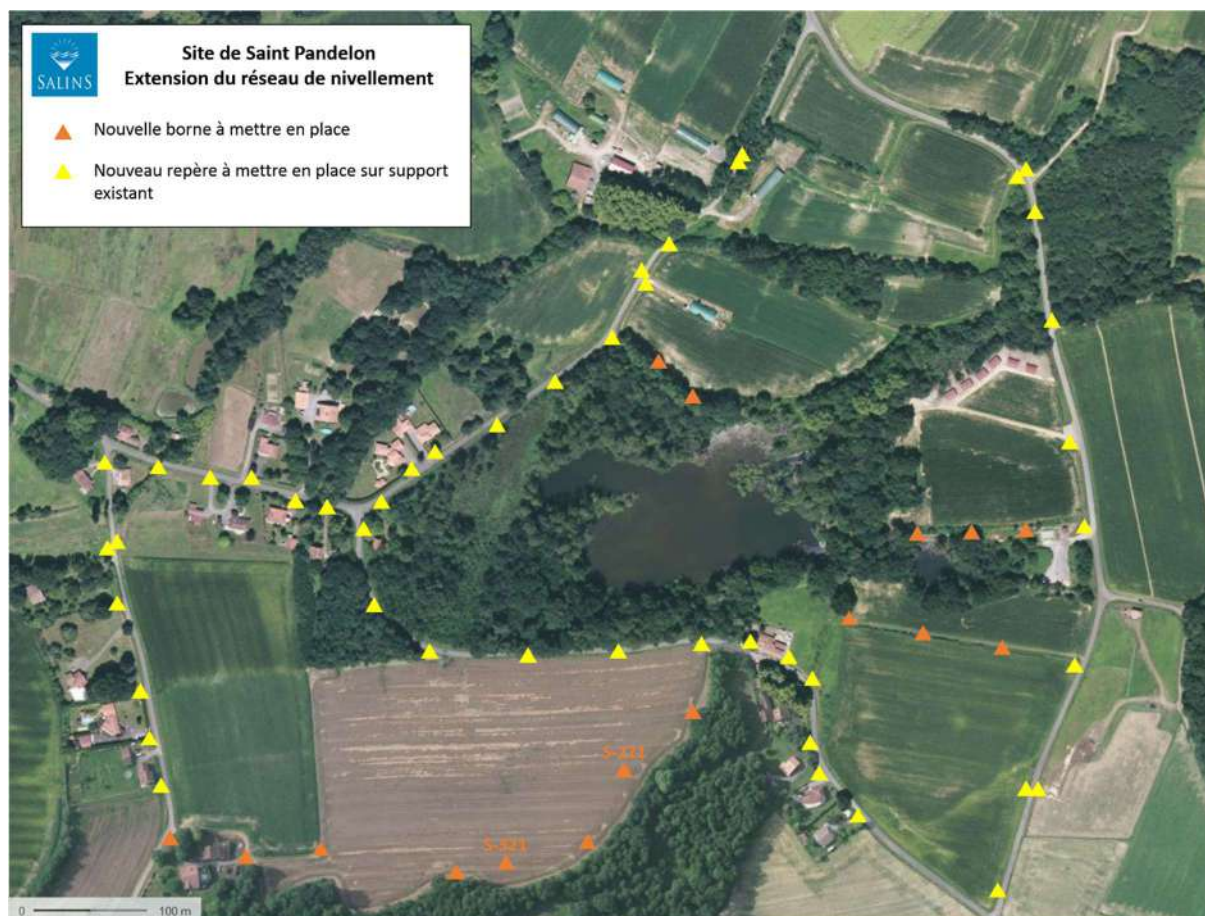


Figure 51 : plan du réseau de nivellement de la zone

Le risque de pollution des sols par de la saumure, des huiles ou des hydrocarbures est étudié dans la Pièce H, étude de dangers.

➔ Effets négatifs faibles à forts, temporaires à permanents

5.1.3 Impacts et mesures sur la consommation de ressources naturelles

❖ En phase chantier

Impacts :

Les principales matières premières nécessaires concernent l'aménagement de la piste d'accès et des locaux techniques.

Mesures :

La piste d'accès sera créée dans un champ, en conservant la topographie existante.

Les ressources naturelles nécessaires au chantier (eau, électricité, concassé, fuel, ...) seront utilisées de façon rationnelle et économe.

La terre déblayée pour la création des tranchées sera réemployée au maximum pour le recouvrement.

❖ En phase d'exploitation

Impacts :

Par sa nature, le projet prélève des ressources dans le gisement de sel.

Mesures :

Conformément au Code Minier, la valorisation du gisement de sel a été optimisée, tant par les dimensions prévisionnelles des cavités à créer que par leur localisation.

➔ **Effets négatifs temporaires faibles, permanents modérés.**

5.1.4 Impacts et mesures sur la ressource en eau et ses usages

L'incidence sur la ressource en eau est décrite en détail à la pièce G « Incidence des travaux sur la ressource en eaux ». Est présentée ci-après une rapide synthèse.

Les cibles qui pourraient être potentiellement impacté sont :

- La petite nappe alluviale de faible épaisseur et très faible perméabilité,
- Le ruisseau du Hourn et les fossés.

Il n'y a pas de captage AEP au voisinage du projet, ni d'usage des ressources (nappe peu productive, ruisseau du Hourn non exploité).

Les sources potentielles de nuisance seraient :

- Pendant les travaux d'infrastructure de surface, les matières en suspension lors de mouvements de terre en cas de ruissellement ou d'éventuelles fuite de produit polluant venant des engins (hydrocarbures notamment).
- Pendant les travaux de forage, la mise en contact de la nappe alluviale avec formations salifères ou des engins de la plateforme de forage (hydrocarbures notamment)
- Pendant l'exploitation, le déversement de saumure au niveau du forage en production ou de la canalisation de collecte.

Les niveaux d'incidence sont généralement faibles et exceptionnellement modérés compte tenu de l'absence d'usage.

Un réseau de surveillance est prévu avant le début des travaux et pendant toute la durée de l'exploitation :

- Qualité des eaux superficielles : 12 points de prélèvement : analyse semestrielle des Cl-, SO4--, ph et conductivité électrique de l'eau ;
- Niveaux piézométriques et qualité des eaux souterraines : 6 piézomètres entre 6 et 14 m de profondeur, mesure du niveau piézométrique et analyse des même paramètre physico-chimiques.

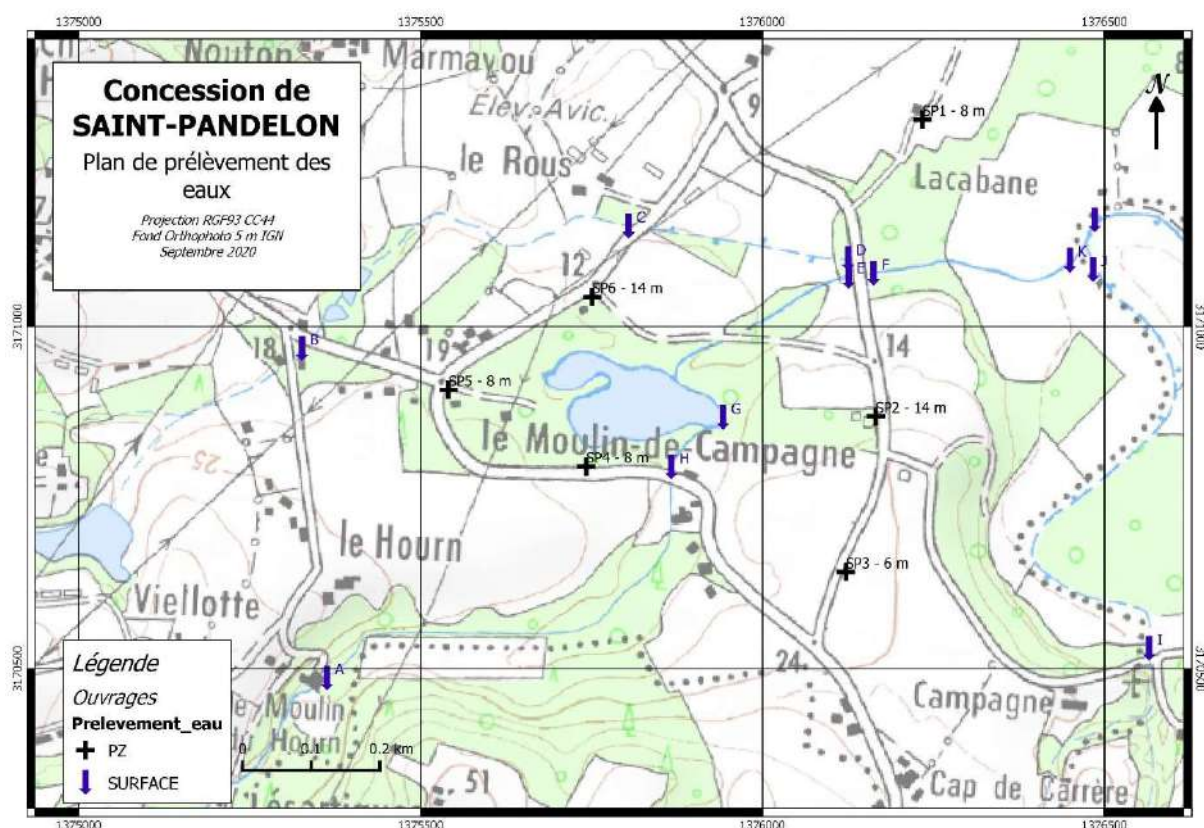
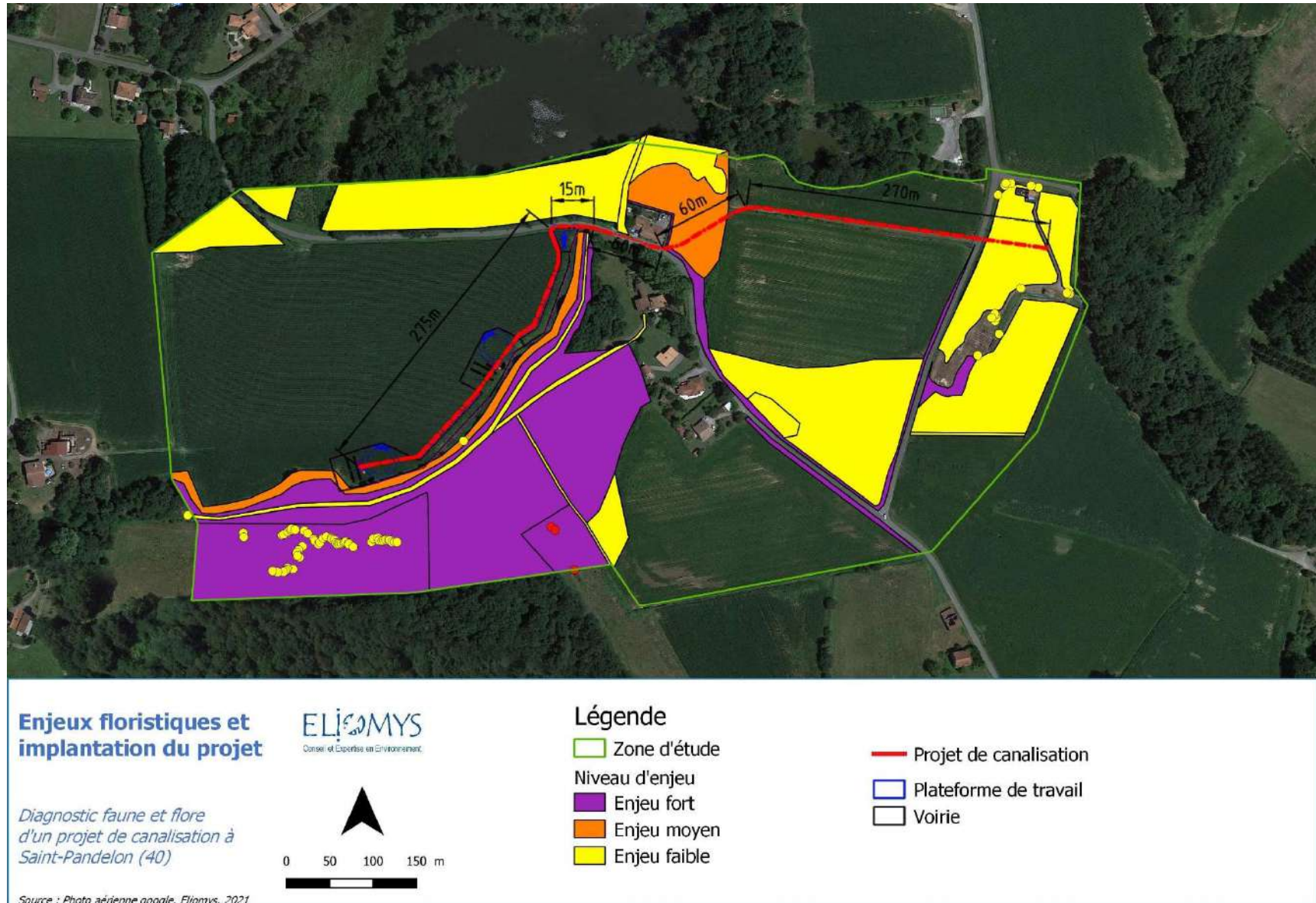


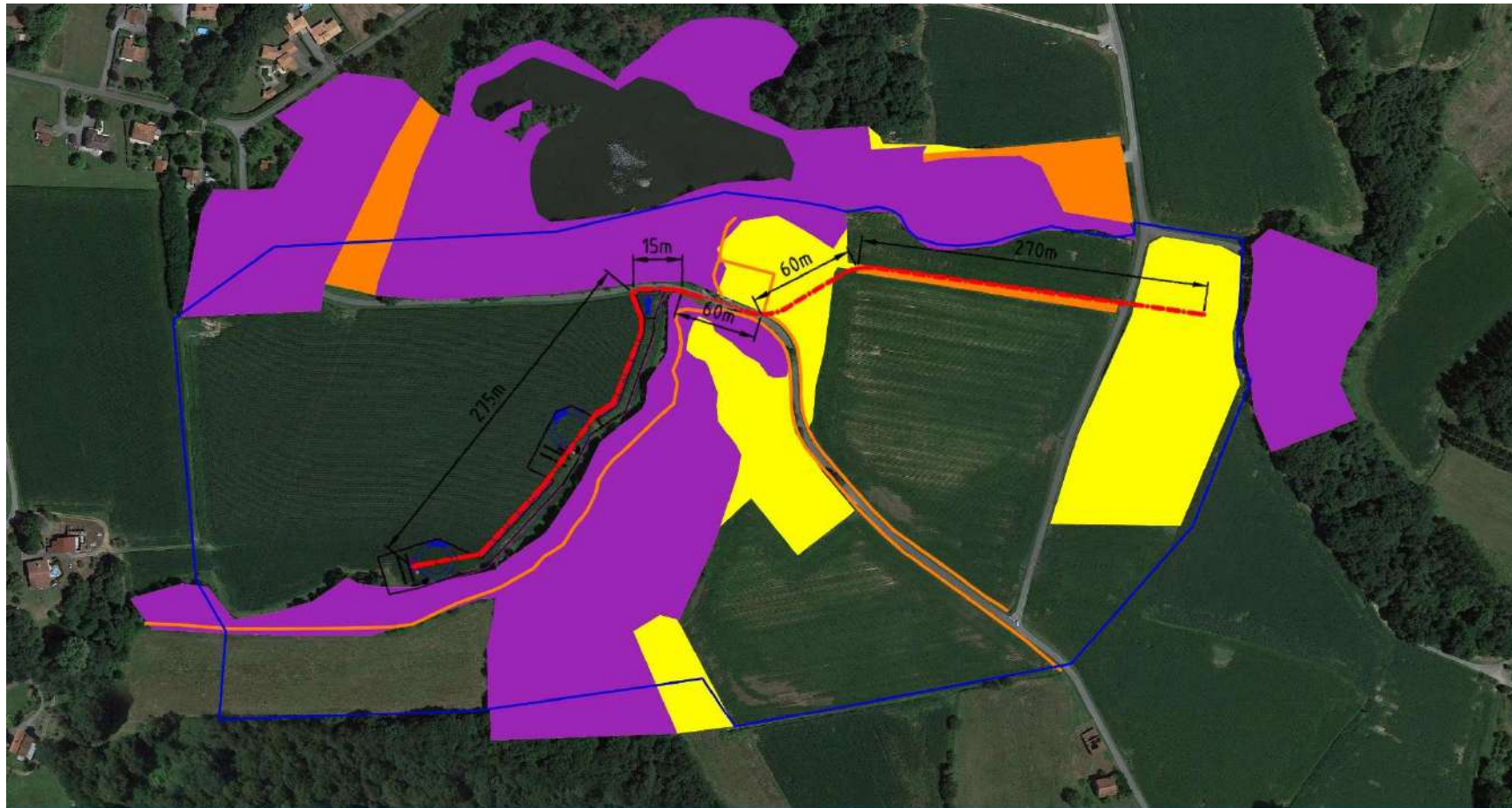
Figure 52 : implantation des points de surveillance des eaux (eau de surface et eau souterraine)

Compte tenu des mesures de prévention, de contrôle et de surveillance prévues, les niveaux d'incidences résiduelles sont nuls à négligeables.

5.2 Impacts et mesures sur le milieu naturel

Les 2 cartes suivantes présentent les enjeux écologiques avec le projet d'implantation.



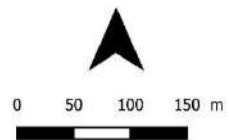


Enjeux faunistiques et localisation du projet

Diagnostic faune et flore
d'un projet de canalisation à
Saint-Pandelon (40)

Source : Photo aérienne google, Elomys, 2021

ELIOMYS
Cabinet d'Expertise en Environnement



Légende

Zone d'étude

Niveau d'enjeu

Enjeu fort

Enjeu moyen

Enjeu faible

Projet de canalisation

Plateforme de travail

Voirie

L'évaluation de « l'intensité » de l'impact, fort, moyen et faible, repose sur le type d'impact relevé et les espèces concernées et leurs caractéristiques propres à savoir le statut de protection, statut de conservation (listes rouges), son statut sur l'aire d'étude et sa périphérie immédiate, les dynamiques de populations.

Une fois finalisé, les réseaux seront enterrés et ne nécessiteront pas d'action extérieure pour leur entretien. De fait, la phase d'exploitation du projet n'aura aucun impact.
Par conséquent, l'analyse des impacts va porter seulement sur la phase de construction (phase travaux).

L'implantation définitive des futures canalisations a été fixée afin d'éviter les espèces protégées et habitats d'espèces protégées.

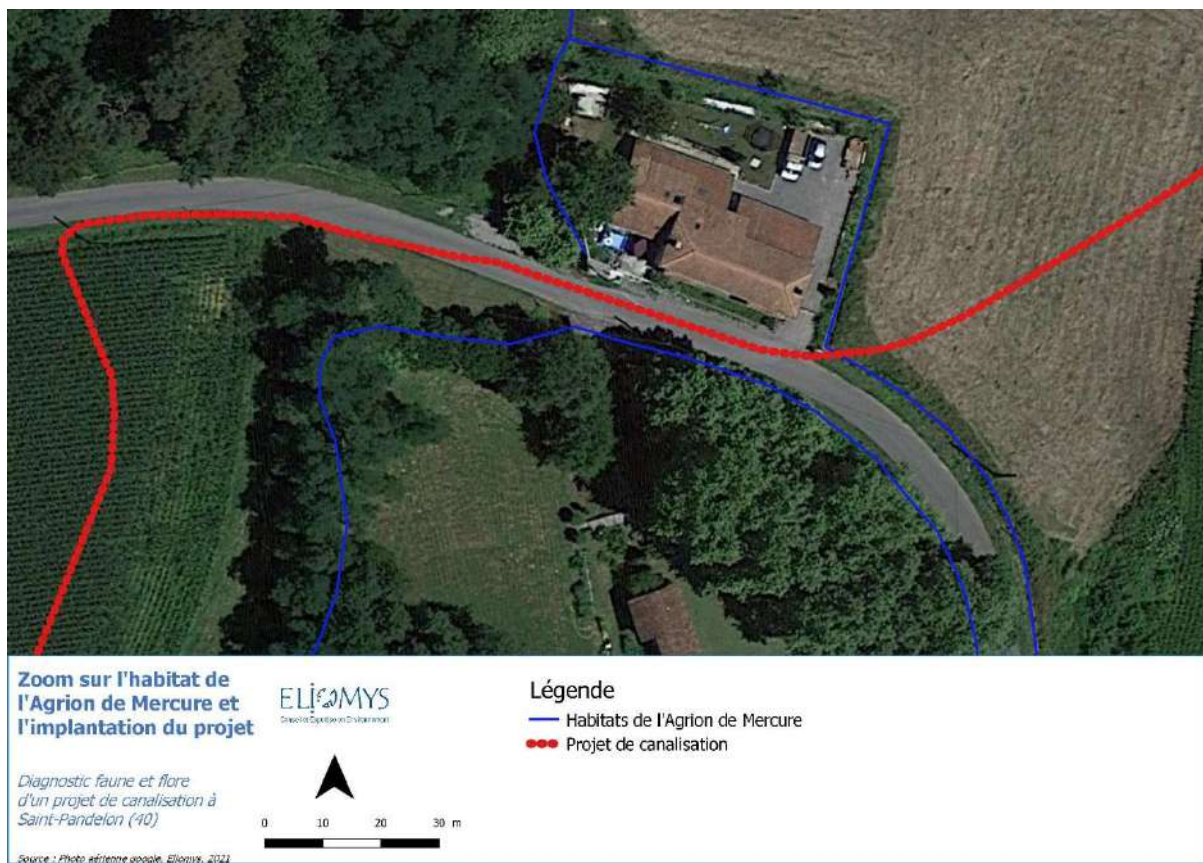
Les impacts sont évalués sur l'Agrion de Mercure, la faune des haies (Chardonneret élégant, Hérisson d'Europe, Léopard des murailles, Hypolaïs polyglotte et Fauvette à tête noire) et les zones humides. **Pour les autres cortèges à savoir la flore, les amphibiens, les autres reptiles, oiseaux, mammifères et insectes, le projet n'aura aucune incidence.**

Par ailleurs, aucun boisement n'est impacté par le projet, y compris la voirie d'accès (aucune coupe ni défrichement n'est nécessaire).

Enfin, **la voirie et les sondages** construits sur la partie ouest ne concernent que des espaces de grandes cultures et **n'auront donc aucun impact sur les milieux naturels et les espèces.**

5.2.1 Impacts

a. Impacts sur l'Agrion de Mercure



Pour rappel, les effectifs observés sont faibles, du fait probablement d'un habitat en moyen état de conservation.

L'habitat de l'Agriion de Mercure potentiellement impacté par le projet concerne les fossés localisés le long de la route du Moulin de Campagne uniquement au niveau du tronçon situé à l'est du pont du ruisseau du Hourn rejoignant le lac du nord. Les travaux vont à ce niveau longer le fossé sur une longueur d'environ 30 m.

❖ En phase chantier

L'emprise des travaux à ce niveau étant localisée proche du fossé, en l'absence de mesures d'évitement, le projet pourrait impacter l'habitat de reproduction de l'Agriion de Mercure, détruire des individus (adulte et larves) ou des œufs, par une intervention directe des engins, ou une ouverture de fouille, dans le fossé, ou par une perte de matériaux (terre végétale, matériau de remblaiement comme le sable) lors des opérations de terrassement / pose de la canalisation ou réseaux / remblaiement de la tranchée, ou encore en cas de fortes pluies susceptibles de générer un écoulement ponctuel de matières en suspension dans le fossé.

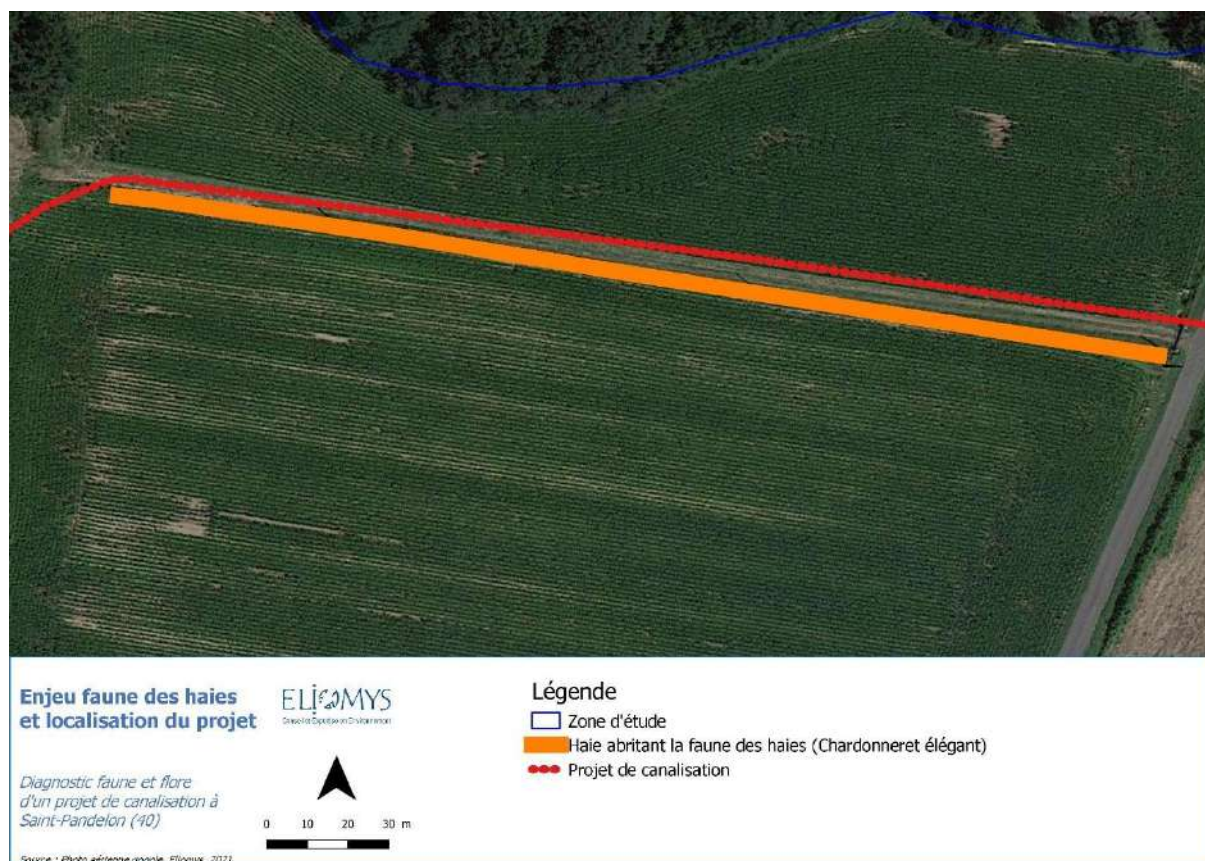
Les effets seraient les mêmes en cas de dépose des réseaux une fois l'activité minière terminée.

L'impact resterait limité au regard du linéaire d'habitat de l'espèce identifiée (60 m concernés sur 1670 m identifiés sur le secteur).

❖ En phase d'exploitation

Durant l'activité minière, le projet n'aura pas d'effet permanent sur l'Agriion de Mercure et son habitat de reproduction.

b. Impacts sur le Chardonneret élégant



La haie au nord, implantée au droit d'une parcelle agricole et longée par les futurs réseaux constitue un habitat de reproduction pour le Chardonneret élégant ainsi que d'autres espèces communes des haies comme l'Hypolaïs polyglotte, la Fauvette à tête noire, le Lézard des murailles et le Hérisson d'Europe.

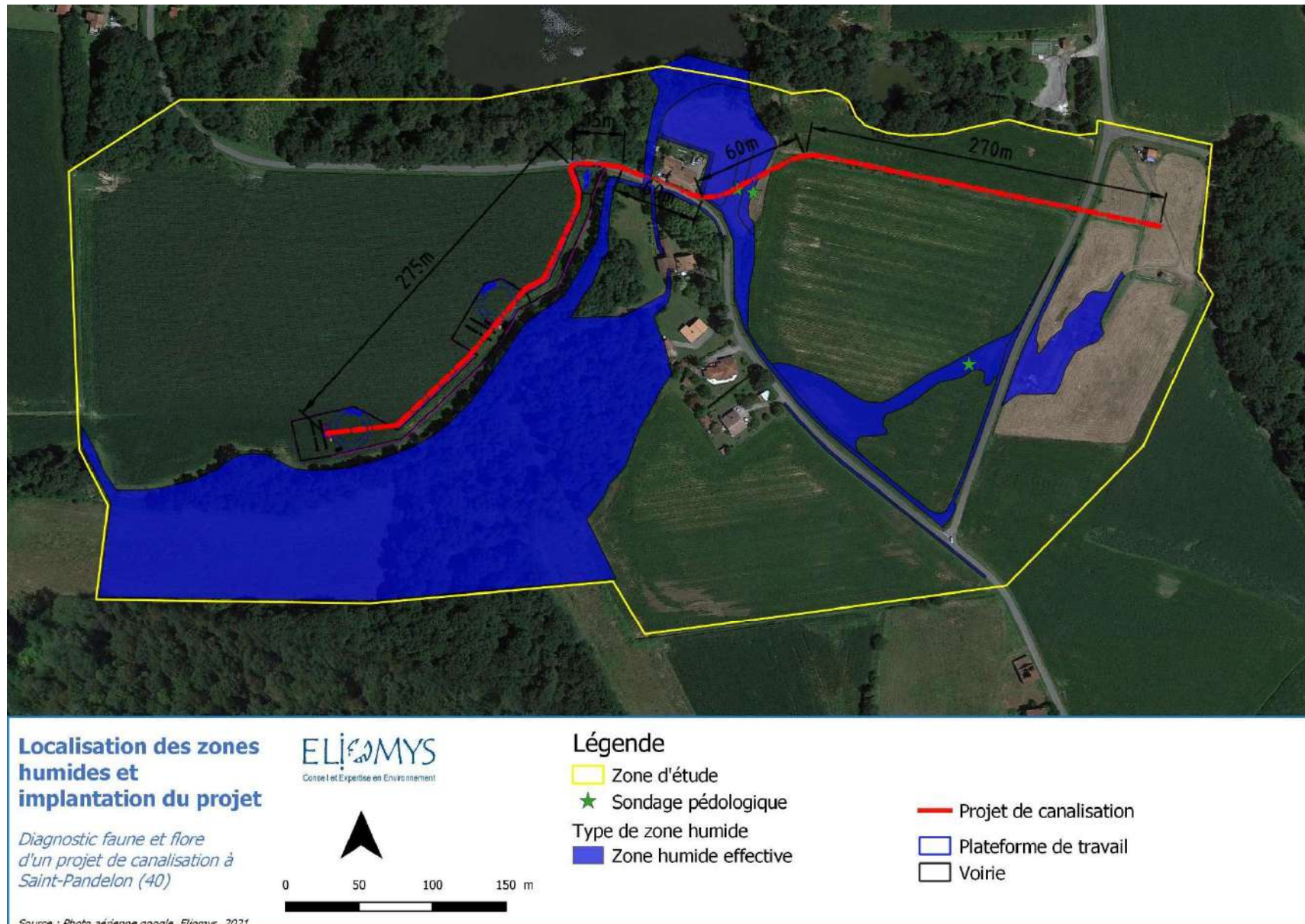
❖ **En phase chantier**

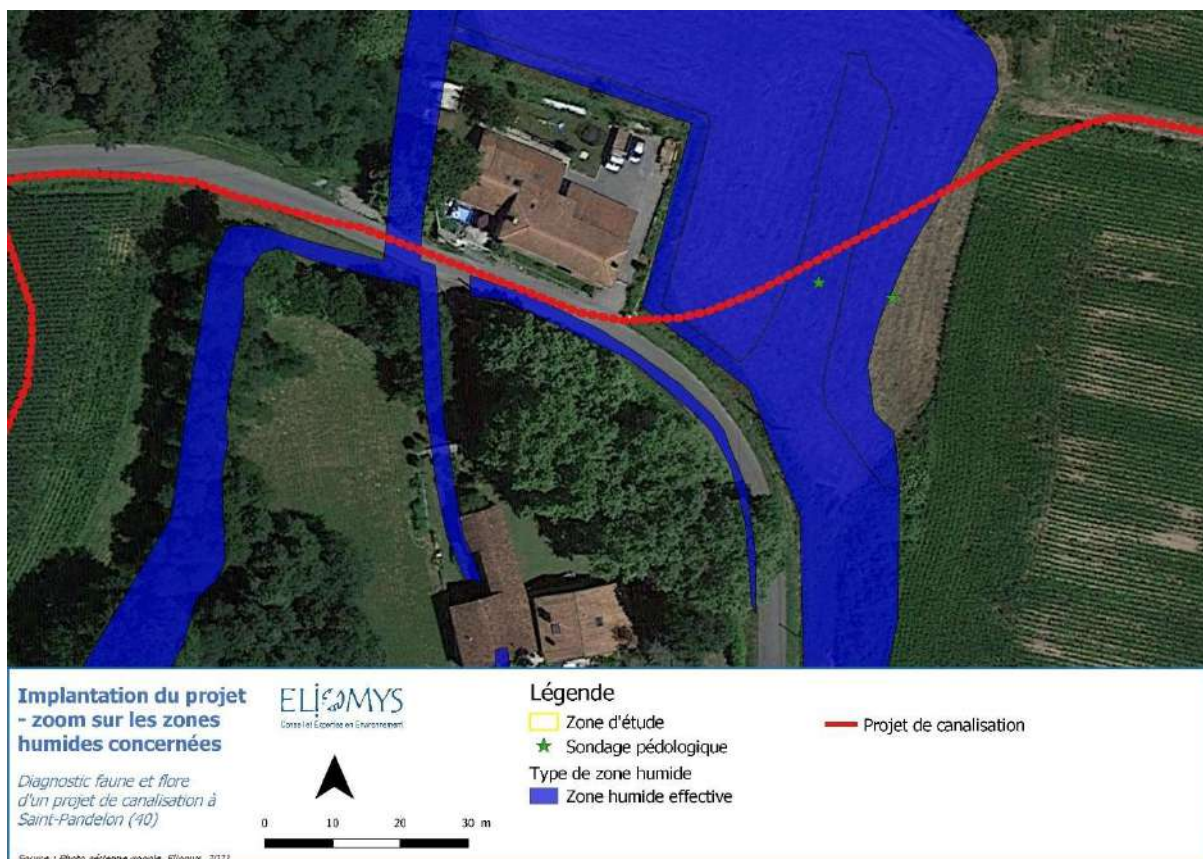
Aucun impact du projet (travaux de mise en place des réseaux) sur les individus n'est attendu à ce niveau. Seul le dérangement durant la phase travaux peut être envisagé. Cet impact est évalué comme faible.

❖ **En phase d'exploitation**

Le projet ne prévoit aucune emprise sur la haie. Le projet n'aura donc pas d'effet permanent sur le Chardonneret et la faune des haies et leurs habitats de reproduction.

c. Impacts sur les zones humides





Les zones humides constituées par les fossés bordant la route du Moulin de Campagne sont totalement évitées par le projet (cf. chapitres 4.3.2e et 4.3.2).

Par ailleurs les berges du ruisseau du Hourn sont classées zone humide. Les réseaux du projet seront à ce niveau inclus dans la chaussée qui surplombe le cours d'eau. Il n'y aura de ce fait aucun impact du projet sur les zones humides des berges du cours d'eau à ce niveau.

Les points de forage et le saumoduc de transport de la saumure à l'usine de traitement étant localisés de part et d'autre du ruisseau du Hourn dont les berges et les plaines basses constituent des zones humides, l'évitement de l'impact du projet sur les zones humides n'est pas envisageable pour les canalisations de collecte et autres réseaux mis en œuvre en tranchée.

L'impact résiduel du projet sur les zones humides concerne les travaux de mise en œuvre de la canalisation sur un linéaire de 50 m localisé au niveau de la prairie à l'est du Moulin de Campagne.

❖ **En phase chantier**

La réalisation du chantier de pose de canalisation et réseaux peut conduire à tasser localement le sol et impacter la flore présente (roulage des engins, terrassements), et contribuer ainsi à dégrader la zone humide traversée. À la vue de la surface de zone humide identifiée sur le secteur (4,5 ha), la surface impactée resterait toutefois très limitée (estimation < 100 m²). Cet impact brut est évalué comme faible.

❖ **En phase d'exploitation**

Les réseaux enterrés peuvent perturber le fonctionnement hydraulique de la zone humide en favorisant les écoulements et en jouant un rôle de drainage localisé.

Le positionnement de la tranchée globalement localisée sur une courbe de niveau réduit fortement le risque de drainage et l'impact associé est alors évalué comme faible.

5.2.2 Mesures

a. Période d'intervention

Pour limiter le dérangement de la faune, en particulier des oiseaux, les travaux de pose des réseaux enterrés éviteront la période de nidification (mars à juillet). Par ailleurs, pour limiter les effets des travaux sur l'Agrion de Mercure et les zones humides, la période d'intervention privilégiée s'étalera à l'automne de septembre à décembre, en période de basses eaux et hors période de vol et de ponte des imagos d'Agrion de Mercure.

Calendrier favorable aux travaux de pose des réseaux enterrés

Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Orange	Orange	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge	Orange	Vert	Vert	Vert	Vert

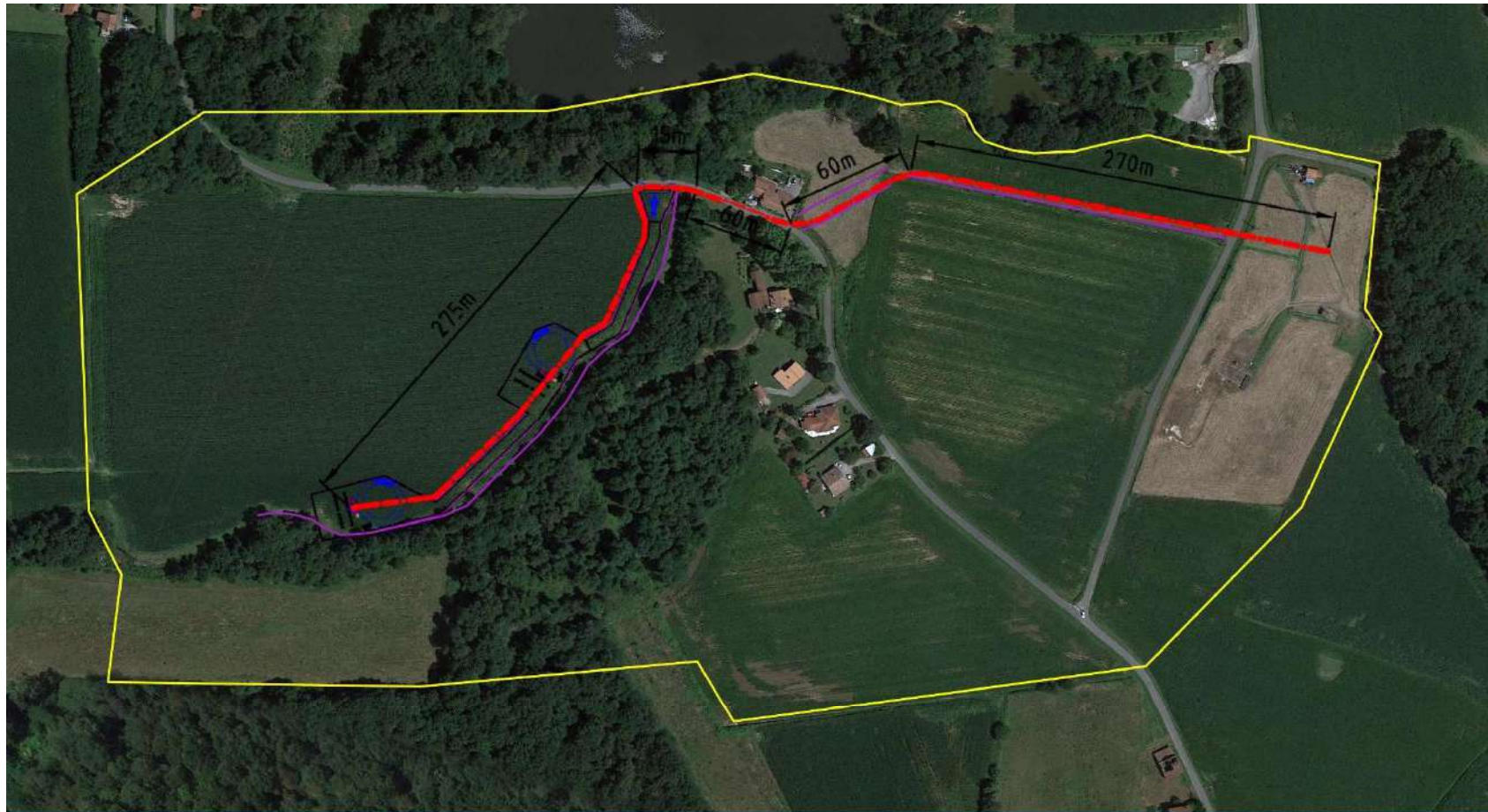
Vert : période favorable pour effectuer les travaux

Orange : période peu favorable pour effectuer les travaux

Rouge : période non favorable pour effectuer les travaux

b. Balisage des zones sensibles

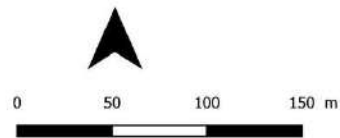
Afin d'éviter toute emprise accidentelle sur les secteurs à enjeux écologiques bordant la canalisation, un balisage de ces secteurs sera réalisé en amont des travaux par de la rubalise et des barrières temporaires. Ce balisage sera réalisé au niveau des zones humides, du fossé, de la haie et de la lisière du boisement riverain du ruisseau du Hourn (partie ouest de la canalisation).








Localisation des balisages en phase travaux

Diagnostic faune et flore d'un projet de canalisation à Saint-Pandelon (40)

Source : Photo aérienne google, Eliomys, 2021



Légende

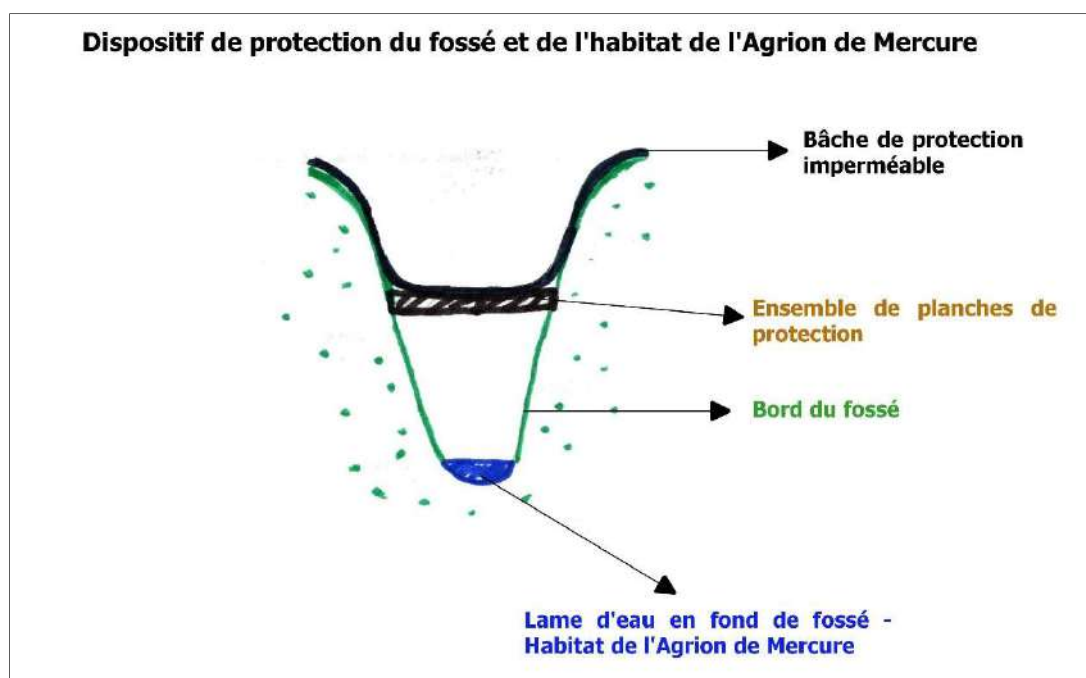
-  Zone d'étude
-  Balisage (rubalise et barrière orange temporaire)
-  Projet de canalisation
-  Plateforme de travail
-  Voirie

c. Mesures spécifiques en faveur de l'Agrion de Mercure

❖ En phase chantier

En plus de la mesure d'évitement de la période de vol de l'adulte écartant tout risque de destruction d'individus adulte et de perturbation de l'espèce lors de la ponte, plusieurs mesures organisationnelles seront mises en place pour éviter tout impact sur les larves et œufs éventuels susceptibles d'être présents dans le fossé habitat de reproduction de l'Agrion de Mercure durant les travaux :

- Implantation de la localisation de la tranchée au droit de la voirie enrobée ou localement sur le bas-côté, et limitation localement de la largeur de la tranchée (jusqu'à 40 cm) pour éviter totalement le fossé lui-même localisé au sud de la voirie
- Balisage du fossé concerné avant travaux et durant toute la période de travaux
- Protection du fossé concerné avant travaux et durant toute la période de travaux par recouvrement du fossé par planches de bois posées reposant sur les flancs supérieurs du fossé, supportant une bâche imperméable (selon le schéma suivant), ou équivalent, évitant toute chute de matières dans le fossé
- En cas de pluie, l'eau présente sur la bâche sera soit, si elle était chargée en matières en suspension, pompée et rejetée dans les terrains herbeux voisins à plusieurs mètres de distance des fossés pour favoriser son infiltration, soit si elle était claire, directement restituée à l'aval du fossé couvert
- Evitement total du fossé localisé au nord de la voirie par une traversée par fonçage depuis le champ situé au nord du fossé en direction de la voirie
- Durée des travaux de pose de la canalisation limitée à quelques jours (2 semaines maximum) pour éviter la perturbation de l'écosystème
- Gestion des déblais / remblais (stockage côté chaussée ou enlèvement)



❖ En phase d'exploitation

Sans objet.

d. Mesures spécifiques en faveur du Chardonneret et de la faune des haies

❖ **En phase chantier**

Le choix de la période automnale pour les travaux permettra d'éviter toute incidence sur les individus de la faune des haies qui à cette saison sont mobiles (les œufs et juvéniles n'étant alors pas présents). Cette mesure permettra d'éviter tout impact sur ces groupes.

❖ **En phase d'exploitation**

Sans objet.

e. Mesures spécifiques en faveur des zones humides

❖ **En phase chantier**

A défaut d'être en mesure de proposer un évitement total des zones humides identifiées pour des raisons techniques et économiques (transport de la saumure par camion, canalisation et réseaux aériens, etc.), les mesures suivantes sont proposées pour limiter l'impact du projet sur les zones humides présentes susceptibles d'être impactées.

La réalisation des travaux à l'automne de septembre à décembre réduira les risques de présence de sols engorgés d'eau sensibles aux tassements.

Lors du creusement de la tranchée à ce niveau, le protocole consistera à retirer les différents horizons séparément, déposés sur un géotextile le long de la tranchée lors de l'extraction, afin de les mettre en place dans l'ordre, sans apport de matériaux potentiellement drainant à l'exception du lit de sable de protection des canalisations qui sera réduit au strict minimum. Cette mesure permettra de favoriser la recolonisation rapide par la banque de graines existante et de retrouver la fonctionnalité écologique de la zone humide la plus proche possible de l'état initial.

❖ **En phase d'exploitation**

Sans objet.

5.2.3 Incidences résiduelles

➔ **Les différentes mesures mises en place devraient assurer une incidence résiduelles très faible (zone humide) à nul (Agrion de Mercure et faune des haies).**

5.2.4 Synthèse des incidences et mesures

CORTEGE/ESPECE concerné	Impacts	Niveau d'impact	Mesure	Impact résiduel
Agrion de Mercure	Dégradation de l'habitat de reproduction	Faible	Protection du fossé / période d'intervention automnale	Nul
Chardonneret et faune des haies	Dérangement en période d'activité (nidification notamment)	Faible	Période d'intervention automnale	Nul
Zone humide	Dégradation de la fonctionnalité écologique et hydrologique	Faible	Respect des horizons lors du creusement et du rebouchage de la tranchée / période d'intervention automnale	Très faible

Tableau 10 : Synthèse des impacts, mesures et incidences résiduelles sur le milieu naturel

5.2.5 Mesures compensatoires

Aucune mesure compensatoire n'est proposée du fait de l'incidence résiduelle très faible du projet.

5.2.6 Mesure d'accompagnement : suivi écologique après travaux

Pour confirmer l'efficacité des mesures mises en place lors de la phase travaux, un suivi écologique sera réalisé sur l'Agrion de Mercure, la faune des haies et les zones humides. Trois objectifs seront recherchés :

- Vérifier le maintien de l'Agrion de Mercure sur son habitat (réseau de fossés) par un protocole simple de recherche d'adultes en période d'émergence (mai-juin) reprenant la méthode mise en place lors du volet écologique du diagnostic ;
- Vérifier le maintien des espèces faunistiques et de la fonctionnalité écologique de la haie par un protocole de points d'écoute (avifaune) et de transect visuel le long de la haie (avifaune, Lézard des murailles).
- Vérifier la résilience des secteurs de zones humides impactées par la réalisation d'un suivi floristique des zones perturbées. Ce suivi consistera en la réalisation de relevés phytosociologiques simplifiés au niveau des secteurs impactés, ainsi qu'en amont et en aval du sens de l'écoulement. Une analyse des cortèges relevés et de leur évolution sur plusieurs années et une comparaison avec l'état initial avant travaux permettra d'évaluer le niveau de résilience de ces habitats.

Ces 3 suivis seront réalisés à partir de l'année n+1 suivant les travaux et sur une période de 3 ans. Ils seront validés par une note de synthèse annuelle.

5.3 Impacts et mesures sur le patrimoine et le paysage

❖ En phase chantier

Impacts :

La phase chantier constitue une période transitoire et temporaire, aux effets limités dans le temps. Du fait de sa hauteur, la foreuse constitue un élément vertical visible.

Mesures :

Pendant tout le déroulement des travaux, le chantier devra être organisé et maintenu propre de façon à ne pas constituer une nuisance pour les exploitations et le hameau riverains. Les déchets seront régulièrement enlevés et acheminés vers des installations habilitées. Les matériaux et matériels stockés devront être isolés sur des aires réservées à cet effet, à l'intérieur du périmètre de projet.

Le chantier n'affecte aucun site archéologique inventorié. Il convient toutefois de rester prudent, quant à la découverte de sites archéologiques non inventoriés, intervenant de manière fortuite au cours des travaux autorisés. Dans ce cas, le Service Régional de l'Archéologie (DRAC Aquitaine-Limousin-Poitou-Charente) devra être immédiatement contacté et les travaux suspendus.

❖ En phase d'exploitation

Impacts :

Le projet n'est concerné par aucune protection réglementaire concernant le paysage ou le patrimoine. Les canalisations seront enterrées et donc invisibles en phase exploitation.

Les aménagements de surface sont la piste et les plateformes, les clôtures, la tête de puits et les locaux techniques abritant les nouveaux équipements (une sur chaque plateforme). Leurs dimensions et volumes sont limités. Ils ne constituent qu'une faible modification locale du paysage dans ce contexte rural.

Mesures :

Une attention particulière sera portée à l'intégration paysagère des bâtiments et des équipements.

➔ **Effets négatifs temporaires modérés, permanents faibles**

5.4 Impacts et mesures sur le milieu humain

5.4.1 Impacts et mesures sur les risques majeurs

Impacts :

Le projet n'est concerné par aucun risque majeur.

Mesures :

Sans objet.

➔ **Effets négligeables**

5.4.2 Impacts et mesures sur l'occupation du sol et les activités

❖ En phase chantier

Impacts :

Le projet s'implante sur une parcelle agricole.

Mesures :

Un ensemble de mesures étant pris pour prévenir tout risque de pollution des sols et des eaux et réduire l'emprise des travaux ; les travaux ne devraient pas perturber l'activité agricole adjacente.

❖ En phase d'exploitation

Impacts :

L'implantation du projet sur une parcelle agricole propriété de CSME constitue une perte d'exploitation pour l'agriculteur exploitant. Toutefois, la faible superficie prélevée ne remet pas en cause la pérennité de l'exploitation.

La mise en exploitation de ces nouveaux sondages permettra d'assurer une alimentation autonome et fiable de la saline pour une durée d'une quarantaine d'années et donc le maintien de cette activité économique industrielle dans le secteur.

Mesures :

La piste et les forages ont été implantés au plus près des limites de parcelles, afin de limiter la perte de surface agricole et le morcellement, et de maximiser la valorisation du gisement de sel.

Un ensemble de mesures étant pris pour prévenir tout risque de pollution des sols et des eaux

Les conditions de mise à disposition des terrains agricoles seront révisées avant le début des travaux.

➔ **Effets négatifs négligeables, temporaires à permanents**

5.4.3 Impacts et mesures sur les réseaux

❖ En phase chantier

Impacts :

Sont recensés sous la chaussée de la route de Moulin de Campagne :

- Un réseau électrique haute tension souterrain est identifié, en partie Nord ;
- Une canalisation d'eau potable est signalée sous la portion sud.

Mesures :

Aucune tranchée ne sera réalisée en partie nord de la route, afin d'éviter tout impact sur la ligne électrique haute tension.

La tranchée sera réalisée sous la route, en longeant le grillage avertisseur de la canalisation d'eau potable.

❖ **En phase d'exploitation**

Impacts :

Aucun impact n'est à attendre en phase exploitation.

Mesures :

Sans objet.

➔ **Effets négatifs négligeables, temporaires à permanents**

5.4.4 **Impacts et mesures sur les infrastructures de transport**

❖ **En phase chantier**

Impacts :

Durant la pose de la canalisation sous la chaussée de la route de Moulin de Campagne, la circulation sera coupée pendant quelques jours (deux semaines maximum) sur un tronçon de 750 m.

Mesures :

Les accès au chantier et la voirie seront maintenus propres pendant toute la durée des travaux.

Un itinéraire de déviation (d'une longueur de 1,5 km) comprenant une signalisation spécifique sera mis en place pendant la période de pose des canalisations sous la chaussée. Les accès riverains seront maintenus. La route étant faiblement fréquenté, les impacts sont faibles.

La chaussée de la route de Moulin de Campagne sera remise en état après les travaux.

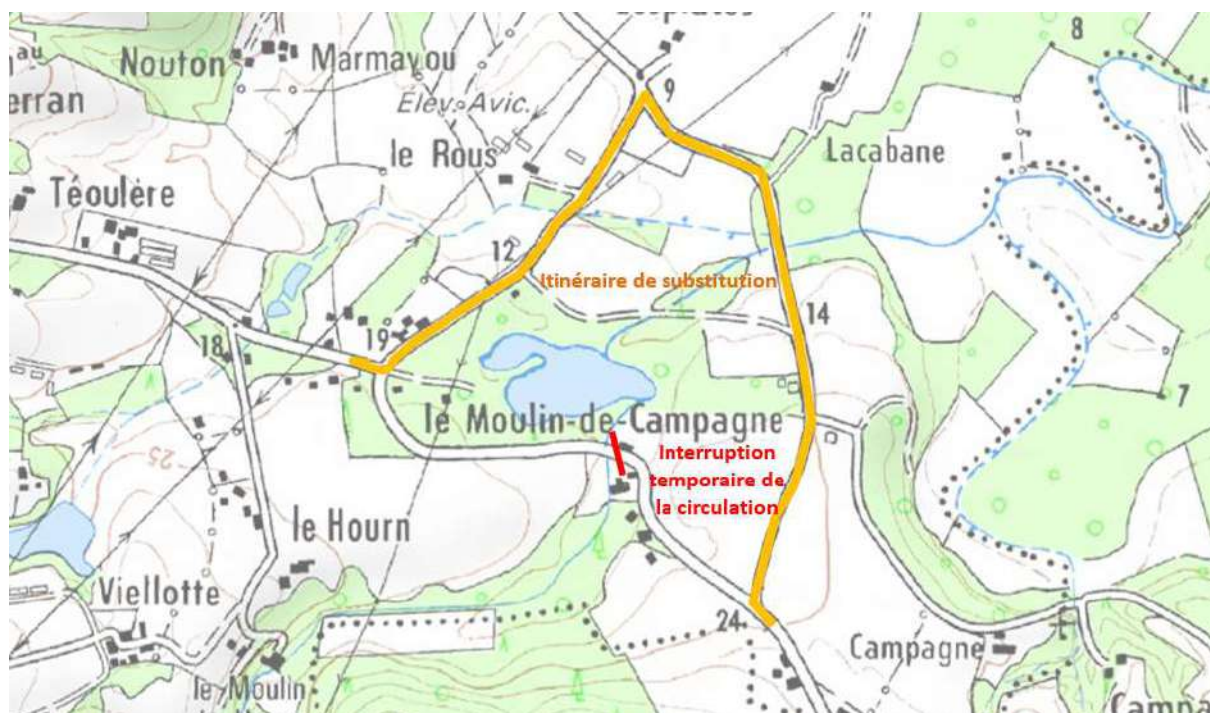


Figure 53 : Itinéraire de déviation

❖ **En phase d'exploitation**

Impacts :

Le projet ne génère pas de trafic significatifs

Mesures :

Sans objet.

➔ **Effets négatifs faibles à négligeables, temporaires à permanents**

5.4.5 **Impacts et mesures sur l'ambiance sonore**

❖ **En phase chantier**

Impacts :

Les habitations les plus proches sont situées dans le hameau Moulin de Campagne, à proximité immédiate de la zone de pose des réseaux et à 130m des nouveaux forages.



Figure 54 : Distance des forages aux habitations les plus proches (source : Géoportail)

La phase chantier de réalisation des forages mettra en œuvre une foreuse et le forage sera réalisé au rotary à la boue ou au marteau fond de trou à l'air.

Les nuisances sonores induites par ce type de machine sont limitées au :

- Bruit de la circulation routière liée aux approvisionnements (estimé à 1 ou 2 véhicules de type poids lourd chaque semaine) ;
- Bruit lié au fonctionnement des moteurs de la machine, pompes et groupe électrogène ;
- Bruits métalliques liés au choc des tiges et tubages.

Les nuisances sonores de ce type de travaux sont similaires à celles rencontrées sur un chantier de travaux en milieu urbain (travaux de voirie ou travaux de pose de réseaux par exemple).

Mesures :

Les machines seront insonorisées selon la réglementation en vigueur.

Afin de réduire les effets sonores temporaires du chantier, les travaux seront réalisés en période diurne, avec au maximum deux postes de travail (6h-21h) et durant les jours ouvrés (soit 5 jours sur 7). Il n'y aura pas, sauf situation exceptionnelle et d'urgence, de travaux en phase nocturne ou durant les jours non-ouvrés.

Si des gênes sont constatées pour le voisinage en phase forage, des mesures de contrôle sonore seront réalisés lors de la phase de forage et des dispositions particulières de réduction du bruit à la source pourront être prises comme le capotage des moteurs ou la mise en place d'écran antibruit provisoire

❖ **En phase d'exploitation**

Impacts :

Les sources de bruit en phase travaux sont liées au fonctionnement du compresseur d'air et des pompes.

Mesures :

Les pompes et le compresseur d'air seront placés dans les locaux techniques, garantissant leur insonorisation.

➔ **Effets négatifs temporaires faibles, permanents très faibles**

5.4.6 Fin d'exploitation

En fin d'exploitation compte tenu des dispositions structurelles (équipement des sondages) et de l'arrêt des injections d'eau douce, la stabilité de la cavité et des terrains est assurée.

Le puits sera obturé. Avant l'abandon complet du champ de sondages de cette zone, les câbles électriques et les câbles de transfert de données seront retirés. Les conduites d'injection d'eau douce et de collecte de saumure, seront inertées.

Les pistes seront décapées et recouvertes de terre végétale pour rendre le terrain à sa vocation agricole initiale

5.4.7 Synthèse des impacts et mesures

Thème	Sensibilité du territoire	Enjeu vis-à-vis du projet	Impacts et mesures
Topographie	Faible Le terrain accueillant le sondage est plat. Le tracé de la future canalisation est légèrement vallonné.	Négligeable La topographie ne représente pas une contrainte pour la réalisation du projet	Chantier : impact négligeable Chantier : impact négligeable
Sols et géologie	Forte Nombreuses cavités à proximité, en lien avec l'activité d'extraction de sel. Leur stabilité fait l'objet d'un suivi rigoureux.	Fort Modification de la structure de sol lors des travaux et surtout en phase exploitation. Risque de pollution lié aux engins de chantier lors des travaux. En phase d'exploitation risque de mouvements de subsidences liés à la création de la cavité souterraine. Risque de pollution par fuite de saumure.	Chantier : impacts négatifs faibles, temporaires Tassement local lors de la construction de la piste. Impact temporaire sur moins de 100m ² de zone humide. Exploitation : impacts négatifs forts, permanents Création de 2 cavités Mesures de surveillance du développement de la cavité et du nivellement
Eaux souterraines	Forte Nappe superficielle de faible puissance. Faible perméabilité de l'aquifère superficiel qui en limite les usages. Absence d'aquifère profond. Absence d'usage pour l'alimentation en eau potable. Commune en ZRE, zone sensible et zone vulnérable.	Fort Risque de pollution en phase travaux Risque de pollution via une fuite de saumure en phase exploitation Absence de prélèvements et de rejets d'eaux	Chantier : impacts nuls à négligeables après mesures Mesures de surveillance contre la pollution accidentelle Exploitation : impacts nuls à négligeables après mesures Pas de consommation ni de rejet d'eaux Mesures de surveillance d'exploitation et de la qualité et de la quantité des eaux
Eaux superficielles	Forte	Fort <u>Phase travaux</u> :	

Thème	Sensibilité du territoire	Enjeu vis-à-vis du projet	Impacts et mesures
	<p>Un cours d'eau identifié dans la zone d'étude et d'un plan d'eau en limite Eaux de bonne qualité</p> <p>Pompage de 110 000 à 180 000 m³ d'eau maximum dans le lac</p> <p>Absence d'usage pour l'alimentation en eau potable.</p> <p>Commune en ZRE, zone sensible et zone vulnérable.</p>	<p>Risque de pollution</p> <p>Lit du cours d'eau non impacté car franchissement par fonçage</p> <p><u>Phase exploitation :</u></p> <p>Absence de prélèvement d'eau supplémentaire au regard de la situation actuelle</p> <p>Absence de rejets d'eau</p> <p>Risque de pollution via une fuite de saumure</p>	
<p>Climat, qualité de l'air, émissions de GES</p>	<p>Faible</p> <p>Implantation dans un contexte rural</p>	<p>Négligeable</p> <p>Projet compatible avec le climat</p> <p>Emissions ponctuelles de GES en phase travaux.</p> <p>Pas d'émissions significatives de GES en phase d'exploitation (compresseur et pompe)</p>	<p>Chantier : impacts négligeables</p> <p>Exploitation : impacts négligeables</p>
<p>Milieu naturel : Périmètre de protection ou d'inventaire</p>	<p>Modéré</p> <p>Zone d'étude hors de tout périmètre de protection écologiques ou d'inventaire mais :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zone Natura 2000 « Barthes de l'Adour » (SIC FR7200720), à 100 m à l'est - ZNIEFF 1 le « Lit mineur et berges de l'Adour, des gaves réunis et du Luy » à 100 m à l'est - ZNIEFF 2 « L'Adour de la confluence avec la Midouze à la confluence avec 	<p>Faible</p> <p>Aucun rejet d'effluents vers le milieu naturel.</p> <p>Pas d'augmentation des prélèvements d'eau actuels.</p> <p>Les éventuelles pollutions accidentelles pourraient survenir n'auraient que des conséquences très locales et peu graves</p> <p>Protection contre la pollution des eaux en phases travaux et exploitation (pollution sans effet sur les ZNIEFF et</p>	<p>Chantier : absence d'impact sur les sites Natura 2000 et les ZNIEFF</p> <p>Exploitation : absence d'impact sur les sites Natura 2000 et les ZNIEFF</p>

Thème	Sensibilité du territoire	Enjeu vis-à-vis du projet	Impacts et mesures
	la Nive, tronçon des Barthes » à 600 m à l'est	Natura proches aux vues des caractéristiques du projet)	
Milieu naturel sur le site du projet	Faible à forte Zones humides, boisements, haies relictuelles et friches abritant des habitats en bon état de conservation et des espèces d'intérêt	Modéré Evitement des habitats d'espèces protégées et des habitats remarquables (adaptation du tracé) Adaptation de la période des travaux pour éviter l'impact sur les espèces protégées	Agrion de Mercure : impact nul après mesures (protection fossé et intervention automnale). Suivi écologique après travaux Chardonneret et faune des haies : impact nul après mesures (intervention automnale). Suivi écologique après travaux Zone humide : impact très faibles (< 100m ² remaniés) après mesures (respect des horizons lors du creusement et du rebouchage de la tranchée, intervention automnale). Suivi écologique après travaux
Patrimoine et archéologie	Faible Aucune protection réglementaire	Négligeable	Chantier : impacts nuls Exploitation : impacts nuls
Paysage	Modérée Paysage rural où alternent cultures et boisements, ponctué de hameaux. Topographie relativement plane et boisements limitent les perceptions lointaines.	Faible Faible emprise visuelle des installations finales (forages, pompes et compresseur uniquement ; canalisations enterrées, sans défrichement ni abattage d'arbres) Aucune vue lointaine depuis ou vers le projet	Chantier : impacts négatifs temporaires modérés Hauteur de la foreuse Exploitation : impacts négatifs permanents faibles
Risques majeurs	Faible Pour tous les risques naturels et technologiques. Sauf pour le risque lié aux cavités, traité dans le thème « géologie »	Négligeable Aucun risque n'est susceptible de concerner l'activité.	Chantier : impacts négligeables Exploitation : impacts négligeables

Thème	Sensibilité du territoire	Enjeu vis-à-vis du projet	Impacts et mesures
Occupation du sol et gêne du voisinage	Modérée Habitations isolées dans l'aire d'étude.	Modéré Eviter toute nuisance acoustique	Chantier : impacts négatifs temporaires faibles après mesures Mesures : travaux en période diurne ; mesures de contrôle sonore en cas de gêne constatée et dispositions de réduction du bruit à la source si nécessaire Exploitation : impacts négatifs permanents très faibles après mesures Mesures d'insonorisation des équipements bruyants
Activités	Faible Activité agricole (cultures)	Faible Projet compatible avec la poursuite de l'activité agricole. Eviter le morcellement de la parcelle d'implantation.	Chantier : impacts temporaires négligeables après mesures Mesures de prévention de la pollution et de réduction d'emprise Exploitation : impacts permanents négligeables après mesures Mesures de prévention de la pollution et de d'optimisation d'emprise Remise en état en fin d'exploitation
Documents d'urbanisme	Faible En zone A du PLUi-H du Grand Dax	Négligeable Projet compatible avec la zone A car ne remet pas en cause l'activité agricole de la parcelle.	Projet compatible avec le PLUi-H
Réseaux	Modérée Ligne électrique souterraine	Modérée Présence de réseaux aériens et enterrés à prendre en compte pour d'éviter toute altération en phase travaux	Chantier : impacts temporaires négligeables après mesures Mesures de préservation de l'intégrité des réseaux existants Exploitation : impacts permanents négligeables
Infrastructures de transport	Faible Absence de voies ferrées et d'aéroports. Voies de desserte locale	Faible Mise en place de déviations locale pendant les travaux sur voirie. Absence d'impact en phase exploitation (pas de trafic induit par le projet)	Chantier : impacts négatifs temporaires faibles après mesures Mesures de création d'un itinéraire de substitution pendant deux semaines de fermeture d'une portion de la route de Moulin de Campagne ; maintien des accès riverains Exploitation : impacts permanents négligeables

5.5 Compatibilité avec les documents de planification et d'urbanisme

a. Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT)

La Direction de l'aménagement de la Communauté d'agglomération du Grand-Dax assure que le projet est compatible avec le SCoT.

b. Plan Local d'Urbanisme

La zone d'implantation des sondages est située en zone A (agricole) du PLUi-H du Grand Dax. Le règlement écrit de cette zone, indique que les changements de destination sont autorisés sous réserve de ne pas compromettre l'activité agricole ou la qualité paysagère du site.

Le projet respecte les prescriptions du PLUi-H de la zone sur laquelle il s'implante. Il est donc compatible avec lui.

5.6 Estimation du coût des mesures en faveur de l'environnement

Les mesures d'évitement en phase conception sont intégrées au coût de la phase d'études préalables.

Les mesures relatives à la prévention des épanchements d'hydrocarbures lors des phases travaux sont des mesures tout à fait classiques dont le coût est intégré dans le coût des travaux.

De la même façon, les mesures constructives liées à l'équipement des puits et à la prévention des épanchements de saumure sont intégrées dans les standards de l'exploitation.

Les mesures de surveillance des équipements proposées sont également intégrées à la conduite de l'exploitation et ne génèrent pas de coûts supplémentaires.

Seules les mesures de surveillance et de suivi proposées par CSME génèrent des coûts particuliers. Leur coût total est le suivant :

- Forage des 6 piézomètres prévus : 30 000 € ;
- Suivi de l'évolution des niveaux piézométriques et de la qualité des eaux (réseau de 6 piézomètres prévus avec suivi semestriel du niveau piézométrique, du pH et la conductivité électrique de l'eau, des teneurs en Cl⁻ et SO₄⁻⁻) : 2 000 €/ an ;
- Suivi de la qualité des eaux superficielles (réseau de 12 points de prélèvement prévus avec suivi semestriel du pH et la conductivité électrique de l'eau, des teneurs en Cl⁻ et SO₄⁻⁻) : 4 000 €/ an.
- Mise en place de 61 nouveaux points de nivellement (45 nouveaux repères sur support existant + 16 nouvelles bornes) : 30 € par repères et 400 € par borne, soit 7750 € ;
- Suivi du réseau de nivellement : relevé topographique annuel de l'ensemble des repères et bornes (existants + nouveaux) : 1 800 €/ an ;

- Suivi écologique sur l'Agrion de Mercure, la faune des haies et les zones humides : à partir de l'année n+1 suivant les travaux et sur une période de 3 ans, dont note de synthèse annuelle : 4 500 €/an.

5.7 Analyse des effets cumulés du projet avec d'autres projets connus

La Doctrine relative à la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur le milieu naturel réalisée par le MEDDTL en 2012, définit les impacts cumulés comme étant ceux « générés avec les projets actuellement connus et non encore en service, quelle que soit la maîtrise d'ouvrage concernée. La zone considérée doit être celle concernée par les enjeux environnementaux liés au projet ».

Les recherches ont été effectuées sur la commune de Saint-Pandelon et ses communes limitrophes ainsi que les communes de Mimbaste et Pouillon.

Cette recherche des projets ou installations existantes se fait par consultations des différentes bases de données.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-après.

Nom du projet	Localisation	Date de l'avis	Distance avec le projet	Analyse
Avis émis par l'autorité environnementale (2020-2021)				
Néant				
Examen au cas par cas des projets (Formulaires complets et décisions de l'autorité environnementale) (2020-2021)				
Construction d'une hélisation pour hôpital	Centre hospitalier DAX	04/03/2021	5 km	Suffisamment éloigné Pas de lien avec l'activité du projet
Construction d'un poste de transformation 63/20 kV et de son raccordement	Quartier Bascat DAX	13/08/2020	5,6 km	Suffisamment éloigné Pas de lien avec l'activité du projet
Défrichement d'environ 0,8 ha pour construction de 38 maisons individuelles groupées	Impasse des Ormes NAROSSE	29/07/2020	3,2 km	Suffisamment éloigné Pas de lien avec l'activité du projet
Extension du parking de la gare ferroviaire	Gare DAX	08/07/2020	3,7 km	Suffisamment éloigné Pas de lien avec l'activité du projet
Construction d'un parking	Centre-ville DAX	03/02/2020	4,7 km	Suffisamment éloigné

modulaire rue Chanzy				Pas de lien avec l'activité du projet
Avis rendu par la MRAE (2020-2021)				
Néant				

Les projets recensés sont tous éloignés de plus de 3 km du projet. Aucun impact cumulé sur le sous-sol n'est à attendre.

Aucun autre projet d'aménagement n'a été identifié sur le bassin versant du ruisseau du Hourn, il n'y a donc pas d'effet cumulé sur les eaux.

A une échelle plus large, le projet ayant une incidence résiduelle très faible, il ne pourra en aucun cas avoir un effet cumulé significatif avec d'autres projets en cours sur le vaste bassin versant du Luy, concerné par le projet.

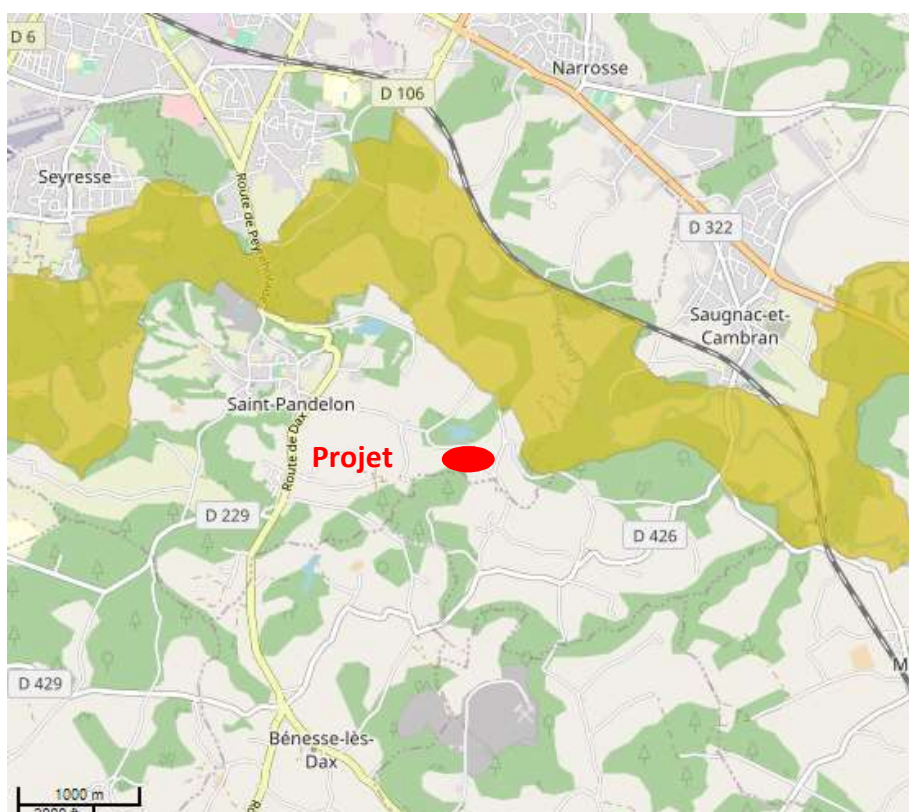
5.8 Evaluation (simplifiée) des incidences du projet sur les sites Natura 2000

5.8.1 Sites Natura 2000

La zone d'étude est située hors de tout périmètre Natura 2000.

Un seul site Natura 2000 est localisé dans un rayon de 3 km autour du projet :

- La zone Natura 2000 « Barthes de l'Adour » (SIC FR7200720), à 60 m environ à l'est des limites de la zone d'étude (cf. §3.5.2 p.43).



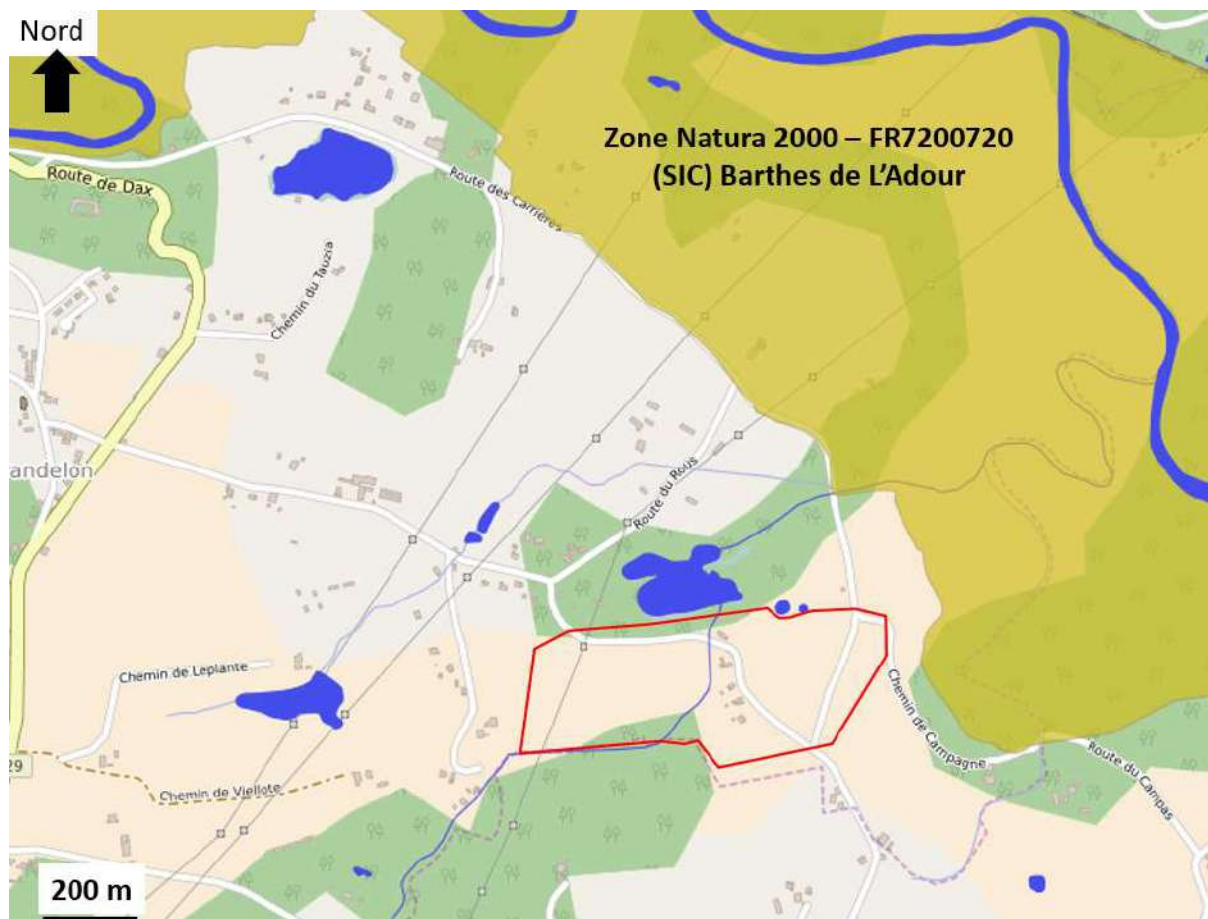


Figure 55 : Zone Natura 2000 à proximité du projet (geoportail.biodiversite-nouvelle-aquitaine.fr)

Le Hourn, qui traverse la zone d'étude, et le lac de Saint-Pandelon sont en lien hydraulique avec le site Natura 2000 « Les Barthes de l'Adour » via le Luy, affluent de l'Adour, à plus de 2km en aval.

5.8.2 Incidences sur les sites Natura 2000

Le projet n'est localisé dans l'emprise d'aucun site Natura 2000 et n'entraîne donc aucun impact surfacique direct.

Au regard du projet, ses seules incidences envisageables seraient dues à un éventuel transfert de pollution. **Toutefois, le projet n'engendre aucun rejet d'effluents vers le milieu naturel et n'augmente pas les prélèvements d'eau actuels. De plus, les éventuelles pollutions accidentelles pourraient survenir n'auraient que des conséquences très locales et peu graves.**

Au regard des risques de pollution associés au projet et des mesures de maîtrise des risques mises en place, aucun impact potentiel sur le site Natura 2000 n'est envisagé.

➔ **Le projet n'est pas susceptible d'avoir une incidence sur les sites Natura 2000.**

5.9 Comparaison de scénario « avec projet » et du scénario « de référence » (sans projet)

Le tableau suivant précise l'évolution probable de l'environnement en l'absence et avec de mise en œuvre du projet, dans la mesure où les changements peuvent être évalués au regard des informations environnementales collectées et des connaissances scientifiques disponibles.

SOUS-THEME	SCENARIO DE REFERENCE (SANS PROJET)	SCENARIO AVEC PROJET
Milieu physique	Le projet prend place majoritairement sur des parcelles agricoles et pour une petite partie sous une voie de desserte locale ou son accotement (trafic faible). La poursuite de l'activité en place ne modifierait pas davantage le milieu physique. Des prélèvements d'eau pour irrigation peuvent exister.	Le projet par sa nature modifie le la structure du sol en profondeur (création de cavités). Il ne modifie pas la topographie en exploitation normale. Il est sans incidence notable sur le climat. Aucun prélèvement ni rejet d'eau ne sont prévus.
Milieu naturel	Parcelle cultivée sans intérêt floristique ni faunistique.	Evitement des habitats d'espèces protégées et des habitats remarquables : pas d'impact significatif du projet. Incidence très faible moins de 100 m ² de zone humide.
Paysage et patrimoine	Maintien du paysage rural	Dimensions et volumes aériens du projet limités. Il ne constitue qu'une faible modification ponctuelle et locale du paysage.
Occupation du sol et gêne du voisinage	Poursuite de l'activité agricole. Ambiance sonore globalement calme.	Poursuite de l'activité agricole (faible réduction de la surface). Peu d'impact sonore en phase chantier, très peu en phase exploitation.
Documents d'urbanisme	En zone A du PLUi-H du Grand Dax	Projet compatible avec la zone A car ne remet pas en cause l'activité agricole de la parcelle.

5.10 Méthodologie

Préalablement à toute évaluation des effets d'un aménagement (quel qu'il soit) sur l'environnement, un examen très complet des caractéristiques du site devant l'accueillir et de l'activité est nécessaire, afin de pouvoir apprécier sa sensibilité vis-à-vis de l'aménagement. Pour ce faire, une analyse thématique de l'environnement est réalisée sur la base d'un recueil d'informations de différentes sources (administrations, mairie, rapports...) et d'investigations de terrain. Elle concerne aussi bien le milieu physique (eau, sol, ...), naturel (faune et flore), humain (présence d'habitat, activités économiques, ...), que le paysage.

Des données thématiques ont été recueillies auprès d'organismes compétents : IGN, BRGM, Météo France, DDTM, ARS, Agence de l'eau Adour-Garonne, DREAL, INSEE, Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN), ...

La ressource cartographique Géoportail a été largement sollicitée (photographies aériennes, cartes IGN, contexte topographique et hydrographique local, Couverture Corine Land Cover, réseaux routiers ...).

Les sensibilités majeures du contexte environnemental sont ainsi identifiées. Des cartographies sont alors élaborées, thème par thème (milieu naturel, occupation du sol, ...), à une échelle adaptée. Elles constituent un support décisionnel essentiel sur lequel s'appuie toute la démarche d'étude.

Un examen complet des caractéristiques générales du projet est également indispensable. Néanmoins, le projet est amené à évoluer dans le temps au fur et à mesure du déroulement de l'étude, par prise en considération de nouveaux facteurs environnementaux, humains ou techniques. Les données techniques sur le projet et les installations projetées ont été fournies par CSME, lors de multiples échanges.

Sur la base des sensibilités environnementales identifiées et des caractéristiques techniques du projet (adapté aux caractéristiques environnementales du site d'implantation), les impacts potentiels du projet sur l'environnement dans lequel il doit s'insérer sont déterminés. L'objectif final de la démarche est de proposer des mesures d'évitement, préventives et/ou compensatoires appropriées au regard des critères environnementaux, en accord avec le maître d'ouvrage et les différentes administrations.

Les visites de terrain ont porté sur l'identification des enjeux environnementaux et sur la validation du périmètre.

Les investigations de terrain mises en œuvre ont été les suivantes :

- Visite de site par des ingénieurs de la société Antea Group en mai 2016 ;
- Inventaires écologiques réalisés par Eliomys entre juillet 2018 et juillet 2019.

La méthodologie spécifique aux inventaires écologiques est précisée en annexe H.

5.11 Difficultés rencontrées pour élaborer cette étude d'impact

Afin de mener à bien le projet, de nombreux échanges ont eu lieu entre les bureaux d'études partenaire, le maître d'ouvrage, ainsi que les services de l'Etat. Aucune difficulté n'a été relevée pour recueillir des informations d'ordre environnemental ou des données « projet ».

On soulignera que l'ensemble des contacts ou documents ont été pris en compte à une date donnée et que la présente évaluation ne peut intégrer l'ensemble des évolutions qui auraient vu le jour ultérieurement.

La principale difficulté rencontrée lors de l'élaboration de cette étude d'impact est liée à la durée de l'étude et de la conception du projet, qui a amené à multiplier les mises à jour des données environnementales et des évolutions successives du projet.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.



ANNEXES

Annexe A :
**Etude ARMINES – étude de la stabilité à long terme des cavités de l'exploitation par dissolution de Saint-Pandelon – mars
2010**

Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est

**Etude de la stabilité à long terme des cavités
de l'exploitation par dissolution de Saint Pandelon**

**F. HADJ-HASSEN
M. TIJANI
Mars 2010**

Référence R100318FHAD

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	1
2. DONNEES GENERALES DU SITE.....	2
2.1 Historique de l'exploitation.....	2
2.2 Caractéristiques des cavités actuelles	4
2.3 Caractéristiques géotechniques des terrains	5
3. ANALYSE DES MOUVEMENTS DE SURFACE	6
4. ETUDE DE LA STABILITE DES CAVITES ACTUELLES.....	14
4.1 Méthodologie d'étude	14
4.2 Rappel des résultats de l'étude de la cavité S811.....	16
4.3 Analyse de la stabilité de la cavité S-Nord	19
4.4 Analyse de la stabilité de la cavité S-Sud.....	22
4.5 Interaction entre les cavités S-Nord et S-Sud	25
4.6 Analyse de la stabilité de la cavité S721	27
4.7 Interaction entre les cavités S-Sud et S721	30
4.8 Analyse de la stabilité de la cavité S791	31
4.9 Interaction entre les cavités S721 et S791	35
4.10 Synthèse sur les interactions entre cavités	37
5. CONCLUSIONS	42

ANNEXES

Annexe I : Données complémentaires sur les cavités actuelles

Annexe II : Profils des mouvements de surface

1. INTRODUCTION

La Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est exploite au sud de Dax à St Pandelon (Landes) depuis 1965 une série de 5 cavités de dissolution dans un dôme de sel pour l'extraction de sel gemme.

Les 5 cavités sont isolées, à l'exception des cavités Nord et Sud qui ont été en communication hydraulique jusqu'à ce que les boues d'épuration y soient injectées. Il est à noter aussi que l'exploitation par dissolution est située à proximité de la mine de St Pandelon qui a connu plusieurs effondrements depuis 1905 et dont les plus récents se sont produits en 1982 et 1986.

Suite à l'effondrement de 1982, une campagne de nivellement a été mise en place en 1983 pour mesurer les mouvements de surface induits par l'ancienne exploitation ainsi que par les cavités de dissolution. Pendant les premières années, les mesures ont été effectuées avec une fréquence mensuelle jusqu'au mois de juin 1988 où la fréquence est devenue trimestrielle. Les dernières mesures ont été faites au mois de juin 2009.

Le Centre de Géosciences de Mines-ParisTech a été impliqué à plusieurs reprises dans l'étude de la stabilité de la cavité 811 (rapports de 1981, 1982, 2000 et 2005). La dernière étude a montré que la cavité était parfaitement stable et n'avait pas d'influence sur les cavités voisines. Des recommandations ont été également formulées dans cette étude pour améliorer les conditions de stabilité de la cavité en optant pour une géométrie avec un toit en forme de voûte.

La société nous a sollicités pour conduire une nouvelle étude sur la stabilité à long terme des cinq cavités et des terrains de surface ainsi que sur les interactions possibles entre l'ancienne exploitation et les cavités actuelles.

Les mesures de nivellement couvrant à la fois des zones concernées par l'ancienne exploitation et par l'exploitation actuelle, fournissent des informations essentielles sur les mouvements de surface et sur les conditions de stabilité des ouvrages souterrains au fur et à mesure du développement de l'exploitation, en particulier les effets éventuels de l'ancienne exploitation. Il est donc tout à fait logique de commencer notre étude par une analyse détaillée de ces mesures .

La géométrie des cinq cavités constitue un problème tridimensionnel difficile à reproduire avec des modèles bidimensionnels . Face à la lourdeur de mise en œuvre d'un modèle tridimensionnel, nous avons procédé avec une approche simple qui consiste à traiter chacune des cavités comme si elle était isolée, puis à examiner ses zones d'influence afin de déduire les possibilités d'interactions et de chevauchements des zones d'influence des cavités et les risques d'endommagement des piliers les séparant. L'étude conduite en 2005 sur la cavité du sondage S811 constitue une parfaite illustration de cette démarche.

2. DONNEES GENERALES DU SITE

2.1 Historique de l'exploitation

L'exploitation ancienne dans la mine a débuté par le creusement de galeries au niveau -105 entre 1881 et 1885. Cet étage a été noyé à la fin de 1885 et l'ennoyage a été suivi par un effondrement à l'aplomb du point d'entrée d'eau de la mine. Entre 1885 et 1890, l'exploitation a repris dans l'étage -70 qui a été également noyé à la fin de cette période. Les travaux se sont poursuivis par la suite dans l'étage -135 jusqu'à 1905. Ce dernier étage a été partiellement noyé en 1890, puis complètement en 1905, date à laquelle l'exploitation a été abandonnée. La quantité de sel extraite avec l'exploitation ancienne entre 1881 et 1905 est évaluée à 180 000 tonnes soit un vide d'un volume global d'au moins 90 000 m³.

Le 16 décembre 1907, un effondrement important s'est produit en surface avec un contour qui correspond à l'extension de l'étage -70 (voir Fig. 1).

Onze sondages ont été forés entre 1905 et 1948 pour y pomper de la saumure ou y injecter de l'eau douce. Ces sondages étaient tous en communication avec les travaux miniers souterrains. Le lessivage incontrôlé a conduit à l'extension de l'effondrement au fur et à mesure du pompage de la saumure dans les sondages. Cette procédure d'exploitation s'est poursuivie jusqu'en 1962 et la quantité de sel extraite est estimée à 500 000 tonnes. Le sel dissout par l'injection d'eau douce et le pompage de saumure a été extrait des abords proches des galeries et au dessus des galeries avec une dissolution orientée vers le haut. La zone affectée par la dissolution est donc vraisemblablement inscrite dans le périmètre des sondages et située au toit du sel.

En 1982 et 1986 deux effondrements se sont produits à l'Est de l'ancienne mine. Ces effondrements résultent probablement de la dissolution non contrôlée du sel au toit du gisement consécutive des pompages. Une insuffisance des injections d'eau a entraîné un rabattement des nappes en contact avec l'effondrement et le drainage au contact du sel des eaux douces situées dans le recouvrement ou des eaux de surface, par des fractures verticales. Au point de contact entre les eaux douces et le sel, des cavités se sont formées par dissolution. La remontée de ces cavités sous forme de fontis a pu conduire aux deux effondrements observés.

Ainsi, la quantité totale de sel exploitée avec l'exploitation ancienne et le lessivage incontrôlé avec les sondages s'élève à 680 000 tonnes.

L'exploitation moderne a démarré en 1965 avec la réalisation de deux des cinq sondages pour une exploitation par dissolution avec des cavités isolées (S-Nord, S-Sud, S721, S791 et S811). Les sondages S-Nord et S-Sud sont entrés en communication en 1980 et ont été par conséquent exploités en doublet (S-Sud injecteur et S-Nord extracteur), les autres sondages sont restés isolés entre eux et isolés du doublet. Les sondages S-Sud, S-Nord, S721 et S791 sont épuisés et ne seront plus exploités. La cavité du sondage S-Nord a été complètement remplie de boues depuis 2004 et celle du sondage S-Sud est en cours de remplissage depuis cette date. Le sondage S791 est conservé en secours car il permettrait la reprise d'une exploitation temporaire en cas d'arrêt de courte durée du sondage S811.

La figure 1 donne la localisation des ouvrages souterrains ainsi que les zones d'effondrement liés à l'exploitation ancienne et au lessivage incontrôlé par sondages.

Saint Pandelon - Stabilité à long terme des cavités exploitées par dissolution

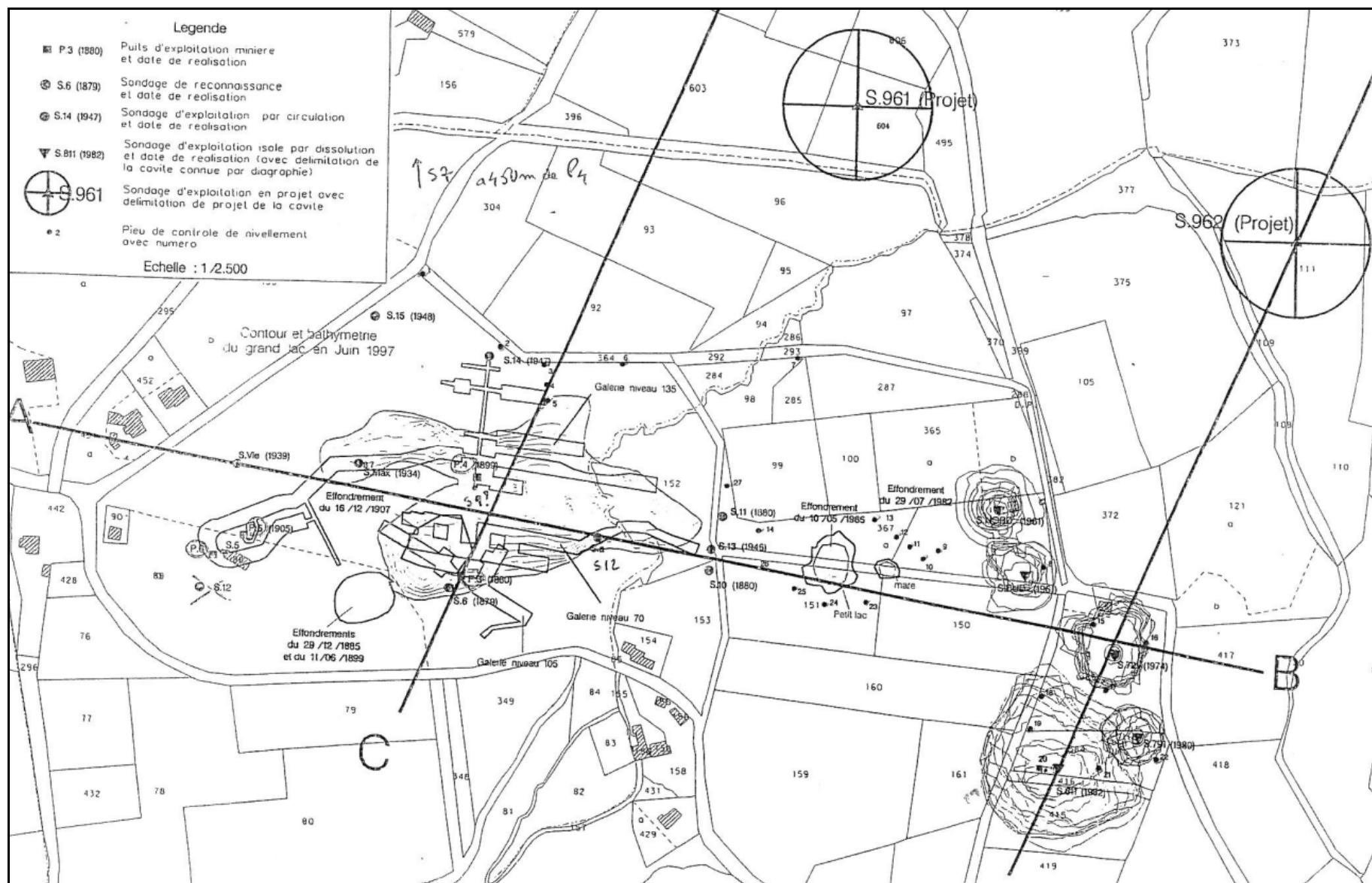


Figure 1 : Localisation des ouvrages souterrains et des effondrements survenus

2.2 Caractéristiques des cavités actuelles

Les caractéristiques des cinq cavités sont résumées dans le tableau 1. La figure 2 montre une vue tridimensionnelle de ces cavités et l'annexe I donne d'autres plans et d'autres coupes détaillant leur localisation et leur géométrie.

Tableau 1 : Caractéristiques des cavités

Cavité	Historique d'exploitation	Volume total (m ³)	Commentaires
S-Nord	- 1965 au 04/1980 : sondage isolé - 04/1980 au 09/1984 : doublet S-S injecteur et S-N extracteur - 02/1989 au 08/2004 : remplissage de boues	85 545	- arrêt d'exploitation depuis 1984 - cavité entièrement remplie de boues
S-Sud	- 1965 au 04/1980 : sondage isolé - 04/1980 au 09/1984 : doublet S-S injecteur et S-N extracteur - 09/2004 : remplissage de boues	92 020	- arrêt d'exploitation depuis 1984 - cavité en cours de remplissage avec les boues
S721	- 1973 à 1990 : exploitation par sondage isolé	175 321	- arrêt d'exploitation depuis 1990 - forte quantité d'insolubles
S791	- 09/1980 au 12/1982 : exploitation partie basse - 12/1982 au 06/1997 : exploitation partie Haute	44 913	- arrêt d'exploitation depuis 1997 - présence d'insolubles
S811	- depuis 1982 : exploitation par sondage isolé	757 000	- cavité en cours d'exploitation - géométrie finale calculée par le centre de Géosciences en 2005

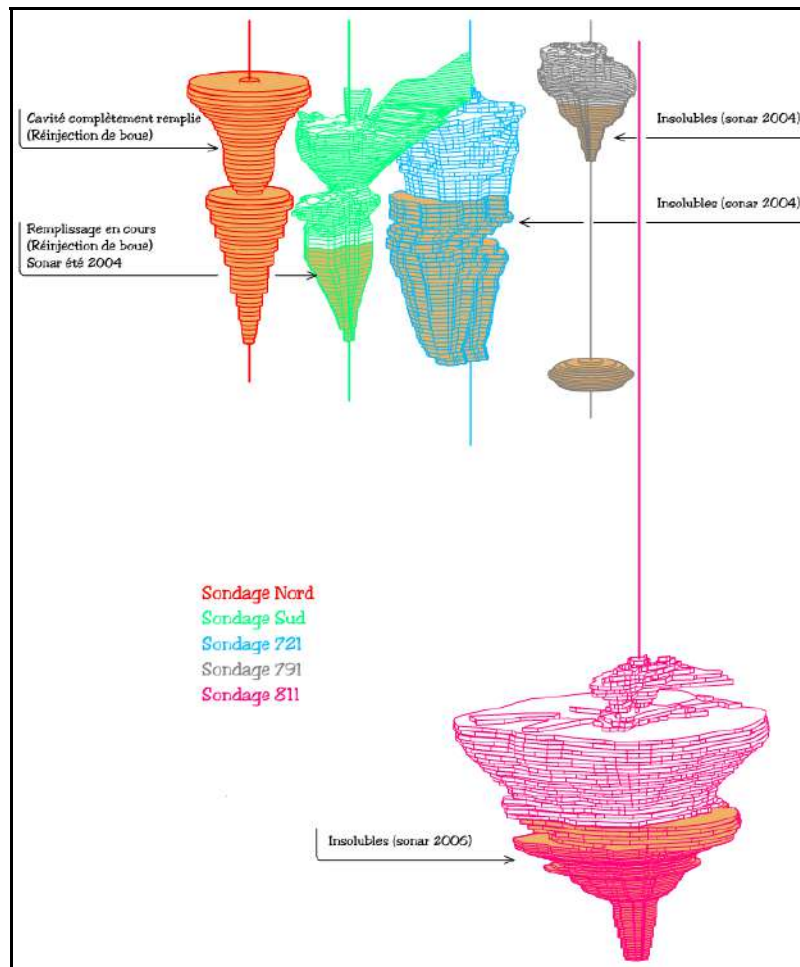


Figure 2 : Vue Ouest des cinq cavités

La figure 3 montre une illustration des épaisseurs des piliers entre cavités à 165 m de profondeur. On trouvera, sur la figure A1.9 de l'annexe I, des coupes équivalentes établies à des profondeurs différentes. Le tableau 2 donne l'épaisseur minimale du pilier entre deux cavités adjacentes estimée à partir de ces coupes.

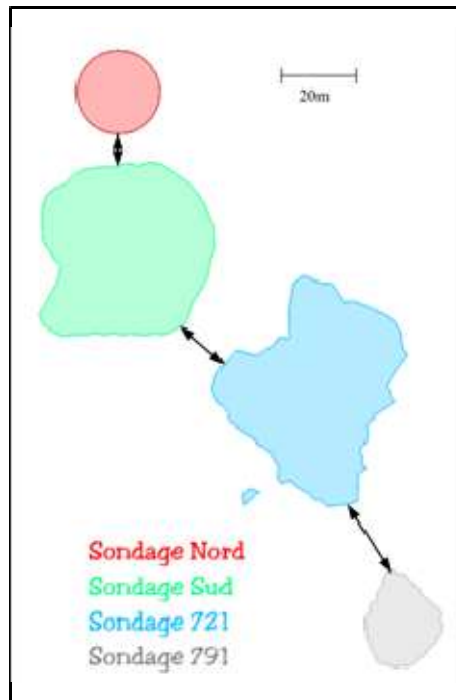


Figure 3 : Coupe à 165 m de profondeur illustrant les épaisseurs des piliers entre cavités

Tableau 2 : Epaisseurs en mètres des piliers entre cavités adjacentes

Coupe	Pilier entre les cavités SN-SS	Pilier entre les cavités SS-S721	Pilier entre les cavités S721-S791
220	16	40	-
210	11	32	-
195	5	40	-
180	21	37	-
175	16	31	33
165	9	16	22
155	7	45	27
140	32	71 (pilier entre les cavités SS-S791)	

2.3 Caractéristiques géotechniques des terrains

L'exploitation se fait dans un dôme de sel recouvert par des terrains argileux appelés "caprock". L'épaisseur moyenne de la couverture est de l'ordre de 100 m et l'extension en profondeur du sel semble être très importante (supérieure à 3000 m). Latéralement, l'extension semble être aussi très importante, mais elle reste encore mal connue.

Dans les études menées par le centre de Géosciences, des essais en laboratoires ont été effectués pour mesurer, dans un premier temps, les propriétés physiques et élastiques du sel (masse volumique, module de Young et coefficient de Poisson, R81/22) puis, dans un deuxième temps, les paramètres du modèle de Lemaitre décrivant le comportement viscoplastique du sel (R050511MTIJ). Rappelons que la loi de Lemaitre exprime le fluage du sel sous un déviateur de contraintes (σ) en fonction du temps (t) selon une loi en puissance définie par les trois paramètres α, β et K :

$$\varepsilon_{vp} = \left(\frac{\sigma}{K} \right)^{\beta} t^{\alpha}$$

En ce qui concerne les terrains argileux de couverture, nous considérons qu'ils ont un comportement élastique et nous admettons les mêmes propriétés que celles retenues dans l'étude de 2005. Le tableau 2 rappelle les caractéristiques géotechniques du sel et des terrains de couverture.

Tableau 3 : Caractéristiques mécaniques du sel et des terrains de couverture

Masse volumique (Kg/m ³)	Module de Young (MPa)	Coefficient de Poisson	α	β	K * (MPa, à T=30°C)	Indice de fluage (%)
Sel						
2140	11500	0.3	0.48	2.33	0.35	4.2
Dans la loi de Lemaitre telle qu'elle est présentée, le temps est en jour, les contraintes sont en MPa et les déformations sont en micron/mètre L'indice de fluage correspond à la déformation viscoplastique obtenue au bout d'une année sous un déviateur de 10 MPa. Cet indice montre que le sel étudié est relativement fluant ; les sels peu fluants ont des indices inférieurs à 1 % et ceux très fluants peuvent avoir des indices dépassant les 10 %.						
Couverture						
2600	15000	0.3			-	

Avant toute exploitation du dôme de sel, le champ de contraintes géostatiques est supposé isotrope et variant linéairement avec la profondeur (contraintes initiales horizontales égales à la composante initiale verticale).

3. ANALYSE DES MOUVEMENTS DE SURFACE

La figure 4 montre la localisation des 35 bornes de mesure (P1 à P35) ainsi que les têtes des 5 sondages exploités qui constituent également des points supplémentaires de mesure (PA à PD). Certaines bornes ont disparu et d'autres ont été nouvellement installées. L'annexe 2 donne les courbes de l'évolution du mouvement enregistré au niveau de chacune de ces stations de mesure.

Sur le tableau 3, nous avons résumé les analyses et les interprétations effectuées du mouvement de chaque station de mesure.

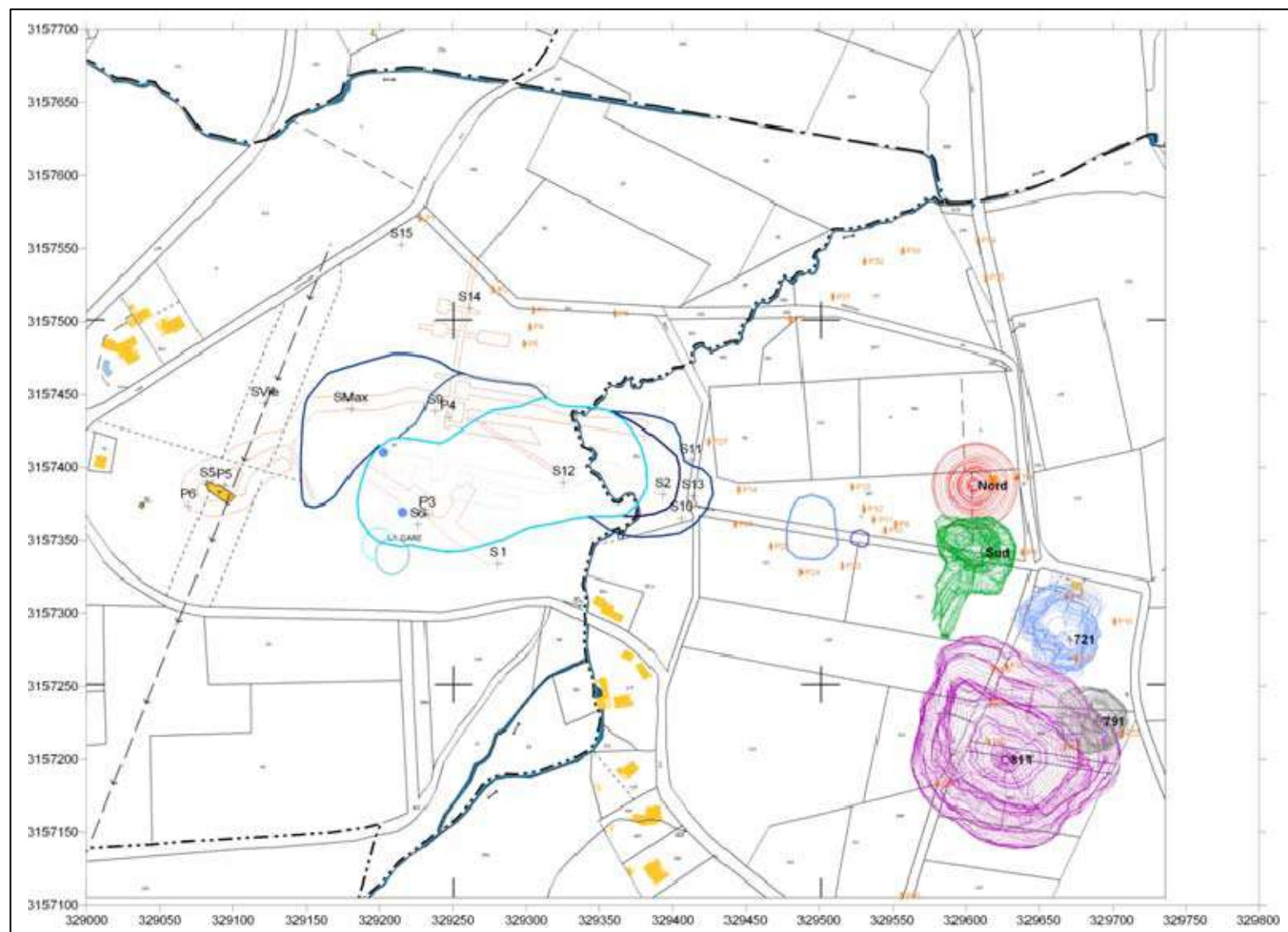


Figure 4 : Emplacement des bornes de mesure de nivellement par rapport à l'emprise des travaux miniers

Saint Padelon - Stabilité à long terme des cavités exploitées par dissolution

Tableau 4 : Analyse des mouvements indiqués par les bornes de mesure de nivellement

Borne	Mouvement indiqué
B1	- mouvement d'oscillation avec une amplitude de l'ordre d'un cm pouvant s'expliquer par des mouvements du sol liés à la variation de température et d'humidité (gonflement et retrait) - la légère subsidence générale est certainement liée à l'ancienne exploitation
B2	- légère subsidence de l'ordre de 4 cm qui s'étale jusqu'à 1990 puis stabilisation - disparition de la borne en 1994 - mouvement induit par l'ancienne exploitation
B3	- même interprétation que la borne 2 - l'amplitude du mouvement est plus important (7 cm) et s'explique par la proximité de la station des anciens travaux - légère reprise du mouvement à partir de 1996 après la première phase de stabilisation (2 cm) avec une vitesse de l'ordre de 1 mm/an
B4	- même comportement que la borne 2, mais amplitude plus important (7.5 cm) en raison de la proximité des anciens travaux - disparition de la borne en 1994
B5	- même comportement que la borne 4, amplitude de l'ordre de 9 cm - disparition de la borne en 1997
B6	- subsidence d'amplitude 4 cm qui se stabilise à partir de 1990 - légère reprise du mouvement à partir de 1996 après la première phase de stabilisation (1 cm) avec une vitesse de l'ordre de 0.55 mm/an - même comportement que la borne 3
B7	- mouvement irrégulier marqué par une légère subsidence d'amplitude 2.5 cm qui se produit jusqu'à 1990
B8	- mouvement non significatif marqué par une surrection difficile à interpréter - borne située au dessus de la cavité SS
B9	- subsidence bien marquée d'amplitude maximale 8.5 cm dont l'essentiel se fait jusqu'à fin 1997 - reprise du mouvement depuis cette date avec une vitesse de 0.62 mm/an - mouvement induit par les effondrements de 1982 et 1986
B10	- subsidence bien marquée (même tendance que la borne B9) - amplitude plus importante (40 cm) en raison de la proximité de l'effondrement - poursuite du mouvement à partir de 1998 avec une vitesse de l'ordre de 2.34 mm/an
B11	- même comportement que la borne B10 (subsidence bien marquée) - amplitude maximale de 32 cm - vitesse de l'ordre de 2.1 mm/an
B14	- subsidence d'amplitude maximale 6.2 cm - mouvement résultant des effondrements de 1982 et 1986 - poursuite de la subsidence avec une faible vitesse (de l'ordre de 0.47 mm/jan)
B15	- même comportement que la borne B8 (surrection de la surface) - même remarque : borne située au dessus de la cavité S721
B16	- même constatation : surrection de la surface difficile à interpréter - borne située au dessus de la cavité S721
B17	- même comportement marqué par une surrection de la surface - borne située également au dessus de la cavité S721
B18	- mouvement irrégulier et non significatif, pouvant s'expliquer par les mouvements du sol - borne située au dessus de la cavité S811
B19	- aucun mouvement significatif (variation irrégulière) - borne située au dessus de la cavité S811
B20	- mouvement irrégulier et non significatif - borne située au dessus de la cavité S811 - disparition de la borne en 1992
B21	- mouvement irrégulier et non significatif - légère surrection depuis 1996 qui reste difficile à interpréter - borne située au dessus de la cavité S811
B22	- même comportement que la borne B21 : surrection depuis 1995 - borne située en bordure de la cavité S791
B23	- même comportement que les bornes 9, 10, 11 et 14 - mouvement affecté par les effondrements de 1982 et 1986 - poursuite de la subsidence avec une vitesse de l'ordre de 0.84 mm/an
B24	- faible subsidence affectée par l'effondrement de 1986 - amplitude maximale de 2.5 cm et stabilisation du mouvement depuis 1991
B25	- légère subsidence après l'effondrement de 1982 (amplitude maximale de 1 cm) - aucune incidence de l'effondrement de 1986 - tendance de surrection difficile à expliquer
B26	- même comportement que la borne 25

Saint Padelon - Stabilité à long terme des cavités exploitées par dissolution

B27	- subsidence bien marquée d'amplitude maximale 4.3 cm - stabilisation du mouvement depuis 1994 - légère reprise en 1996 et de nouveau stabilisation (1cm) - mouvement induit par l'ancienne exploitation : même comportement que les bornes 2 à 6)
B28	- saut du mouvement non significatif, dû certainement à un changement de repère lors de la mesure du 18/12/1990 - le mouvement de subsidence après le saut (amplitude maximale de 2 cm, vitesse de 2.96 mm/an) n'est pas cohérent avec les bornes voisines (18 à 21) - disparition de la borne fin 2000
B29	- même comportement que la borne 28 : saut lors de la mesure du 18/12/1990 - subsidence à partir de 2002 avec une amplitude maximale de 2.7 cm et une vitesse de 2.23 mm/an
B30	- saut du mouvement lors de la mesure du 1/12/1997 - mouvement irrégulier et non significatif
B31	- mouvement irrégulier et non significatif
B32	- mouvement irrégulier et indiquant une surrection de la surface
B33	- même comportement que la borne 32 : surrection de la surface de 2 cm
B34	- mouvement irrégulier et non significatif
B35	- mouvement irrégulier et non significatif (tendance de surrection)
PA	- saut du mouvement lors de la mesure du 27/08/1986 - mouvement non significatif
PB	- saut du mouvement lors de la mesure du 20/09/2004 - mouvement non significatif
PC	- mouvement de surrection non significatif
PD	- saut du mouvement lors de la mesure du 19/12/2003 - mouvement non significatif
PE	- saut du mouvement lors de la mesure du 19/12/2000 - mouvement non significatif

La synthèse de l'ensemble des mesures fait ressortir les points importants suivants :

- Les têtes des sondages des 5 cavités n'indiquent aucun mouvement significatif. Les sauts observés sont dus à des changements de repères (Fig. 5).
- Les mouvements des bornes 28 et 29 situés au dessus de la cavité S811 indiquent une faible subsidence avec des vitesses respectives de 2.96 et 2.23 mm/an. Ces mouvements ne sont pas cohérents avec les bornes voisines (18 à 21) et doivent être vérifiés.
- Deux zones importantes font l'objet actuellement de mouvements significatifs : la première zone est située entre l'effondrement de 1982 et les deux cavités des sondages Nord et Sud (bornes 9, 10, 11 et 23), et la seconde zone est liée à l'ancienne exploitation et à l'effondrement important survenu en 1905 (bornes 2 à 6, 14 et 27).
- Les mouvements de la première zone sont induits par l'effondrement de 1982 et ont subi une accélération avec l'effondrement de 1986. L'amplitude maximale enregistrée depuis le début des mesures est égale à 40 cm et concerne la borne 10. L'accélération du mouvement s'est étalée jusqu'en 1997, puis la vitesse s'est stabilisée autour de valeurs de 2.34 mm/an pour la borne 10, et 0.62 mm/an, pour la borne 9. La figure 6 donne les profils des mouvements des bornes situées dans cette zone et illustre l'évolution de la subsidence. Il est important de noter à cet égard que les bornes 24, 25 et 26, situées au Sud de cette zone, n'indiquent aucun mouvement important.
- La figure 7 donne le profil de subsidence au niveau de la borne 3 et illustre le comportement de la deuxième zone. Après une première phase de mouvement qui s'est stabilisée vers la fin 1990, on constate une légère reprise de la subsidence à partir de 1996 (bornes 3 et 6). L'amplitude maximale du mouvement est de 8 cm et la vitesse, moins importante par rapport à la première zone, varie entre 1 et 0.55 mm/an.
- La borne 14 située à l'Est de la seconde zone indique le même comportement que les bornes 3 et 6 situées au Nord de cette zone. On constate effectivement (Fig. 8) une reprise de la subsidence depuis 1996 avec une vitesse moyenne de l'ordre de

0.47 mm/an. Il est à remarquer que les bornes voisines indiquent, soit une stabilisation du mouvement (B27), soit un mouvement non signification (B26). Il s'en suit que le mouvement de cette borne peut être très circonscrit ou tout simplement aberrant.

Les recommandations que l'on peut formuler à partir de l'analyse de ces mesures peuvent être résumées comme suit :

- S'assurer tout d'abord de la validité des mesures en justifiant et en éliminant les sauts observés au niveau de plusieurs bornes ainsi que les mouvements de surrection de la surface.
- Surveiller attentivement la première zone faisant l'objet de mouvements significatifs (zone entre l'effondrement de 1982 et les cavités des sondages Nord et Sud). C'est surtout l'effet de l'ancienne exploitation qui est à craindre et qui peut se manifester, comme par le passé, par le développement de zones de lessivage incontrôlé. Il est regrettable à cet égard de ne plus disposer des bornes 12 et 13 qui couvraient en plus cette zone.
- Surveiller également la partie Nord de l'ancienne exploitation en particulier au niveau de la borne 3 qui indique une reprise du mouvement depuis 1996 avec une vitesse de l'ordre de 1 mm/an. De la même façon, nous regrettons la disparition dans cette zone des bornes 2, 4 et 5.
- Vérifier le comportement au niveau de la borne 14 située à l'Est de l'exploitation ancienne qui indique aussi une reprise de la subsidence depuis 1996 avec une vitesse de 0.47 mm/an. Comme expliqué ci-dessus, ce mouvement peut être très localisé ou tout simplement incohérent.

Pour finir cette analyse des mouvements de surface, nous représentons sur les figures 9, 10 et 11 les contours du mouvement vertical total aux dates suivantes : février 1987, mars 1994 et mars 2009. Les sauts mentionnés de mouvement ont été enlevés de cette représentation.

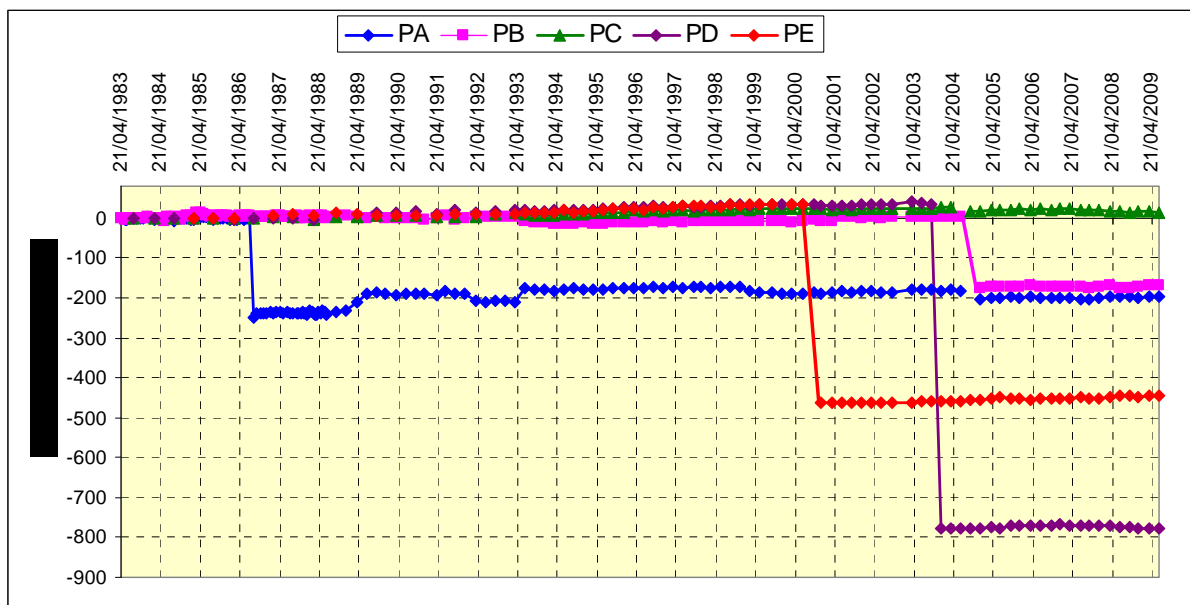


Figure 5 : Historique des mouvements au niveau des têtes des sondages des 5 cavités (sauts non significatifs dus certainement à des changements de repères)

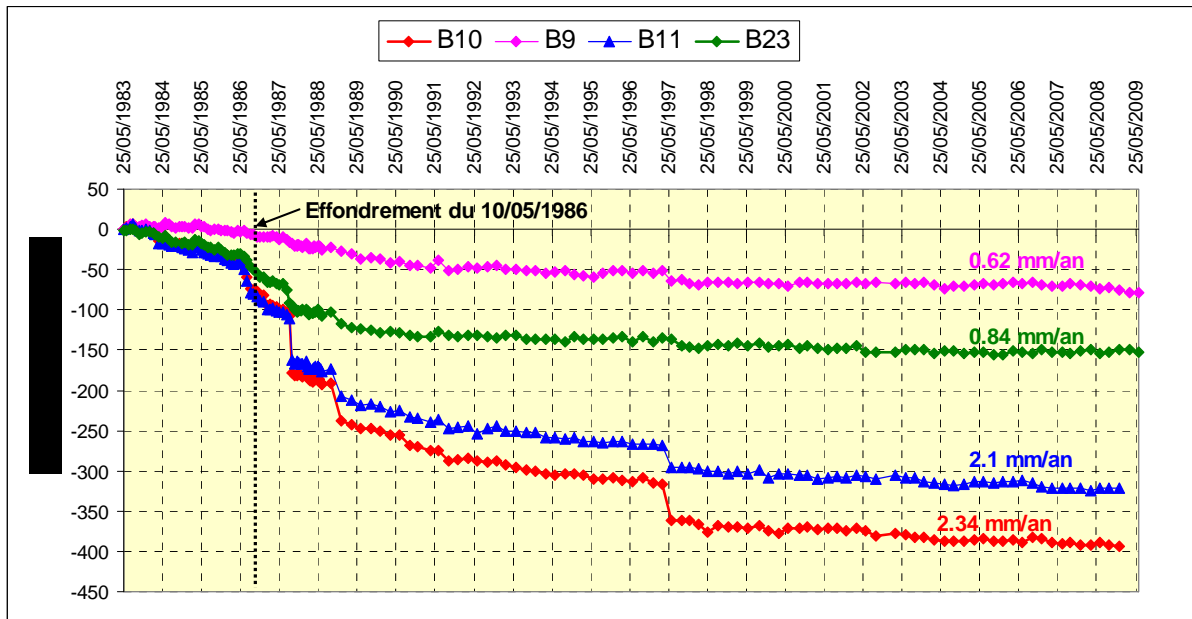


Figure 6 : Historique des mouvements dans la zone située entre les effondrements de 1982 et 1986 et les cavités SN et SS

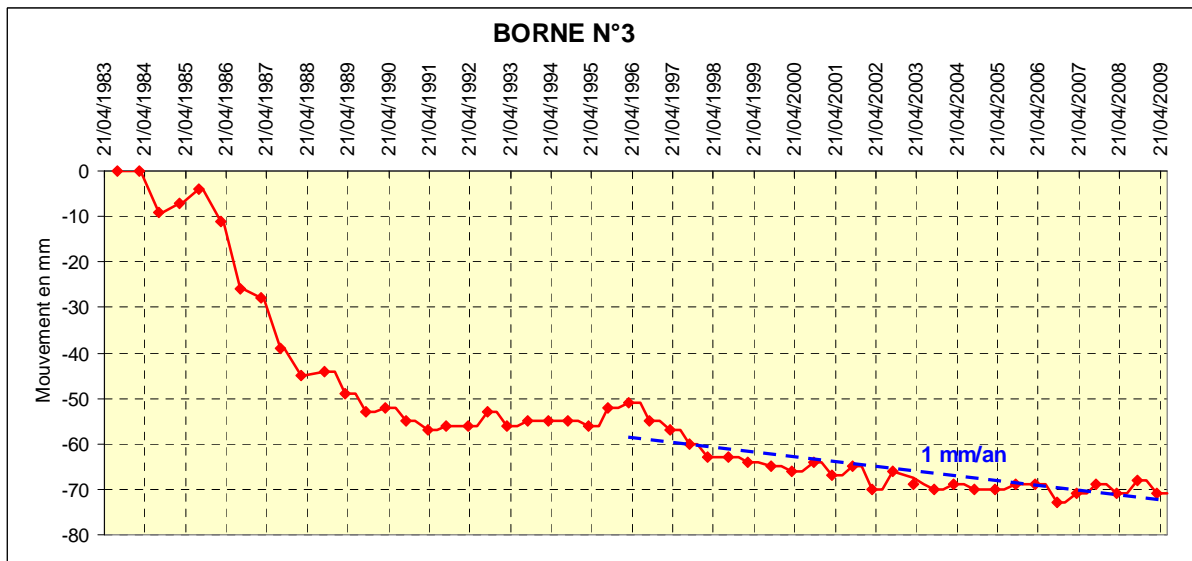


Figure 7 : Historique des mouvements dans la zone Nord de l'ancienne exploitation

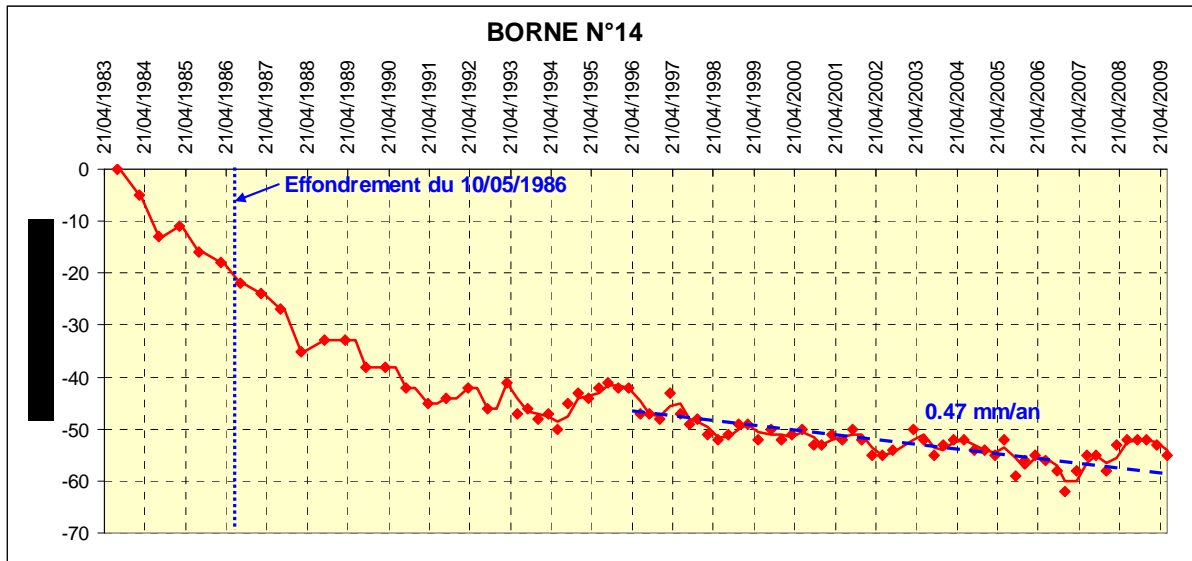


Figure 8 : Historique des mouvements dans la zone Est de l'ancienne exploitation

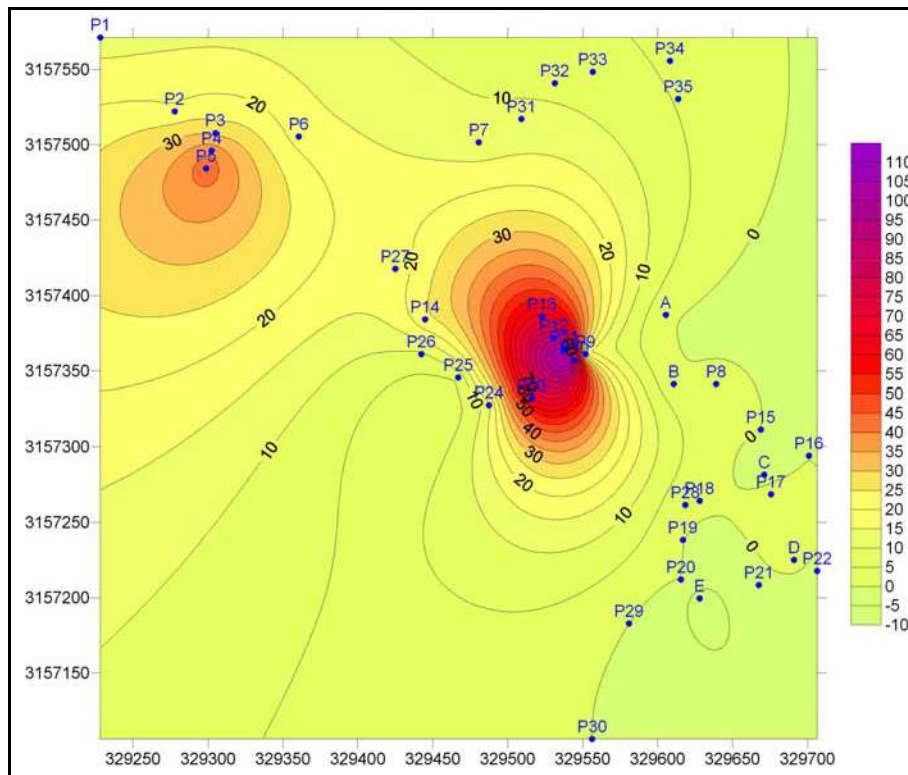


Figure 9 : Contour du mouvement total en mm à la date du 25 février 1987 (convention : la subsidence est positive et la surrection est négative)

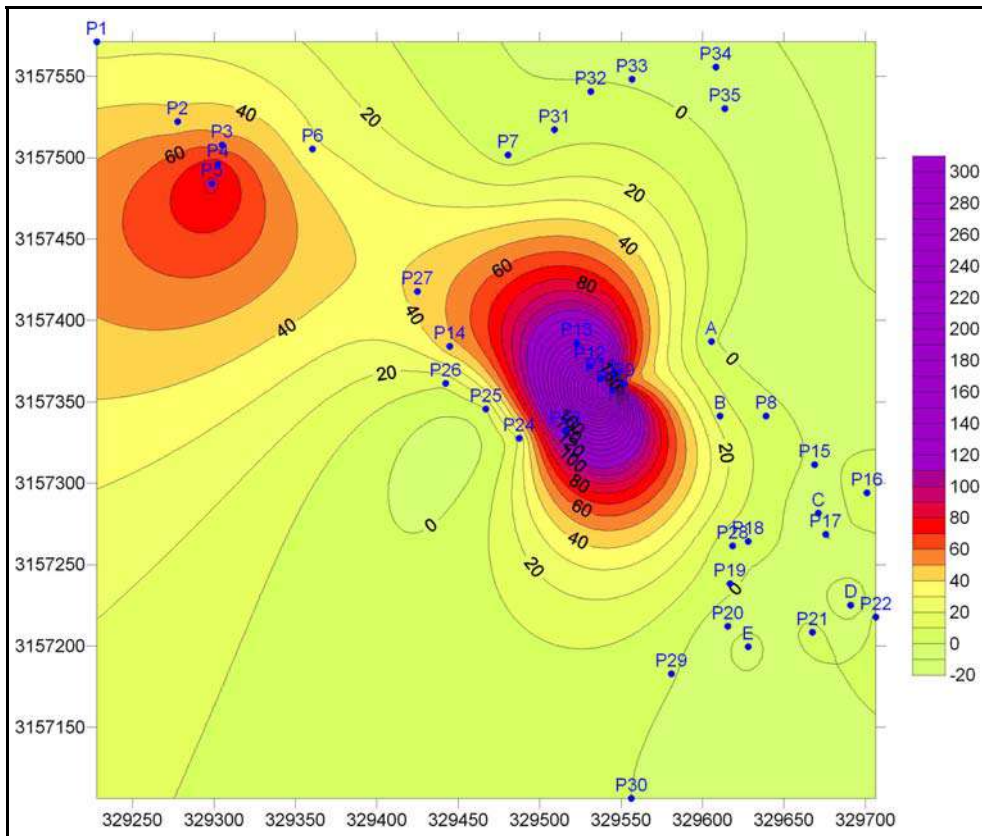


Figure 10 : Contour du mouvement total en mm à la date du 23 mars 1994

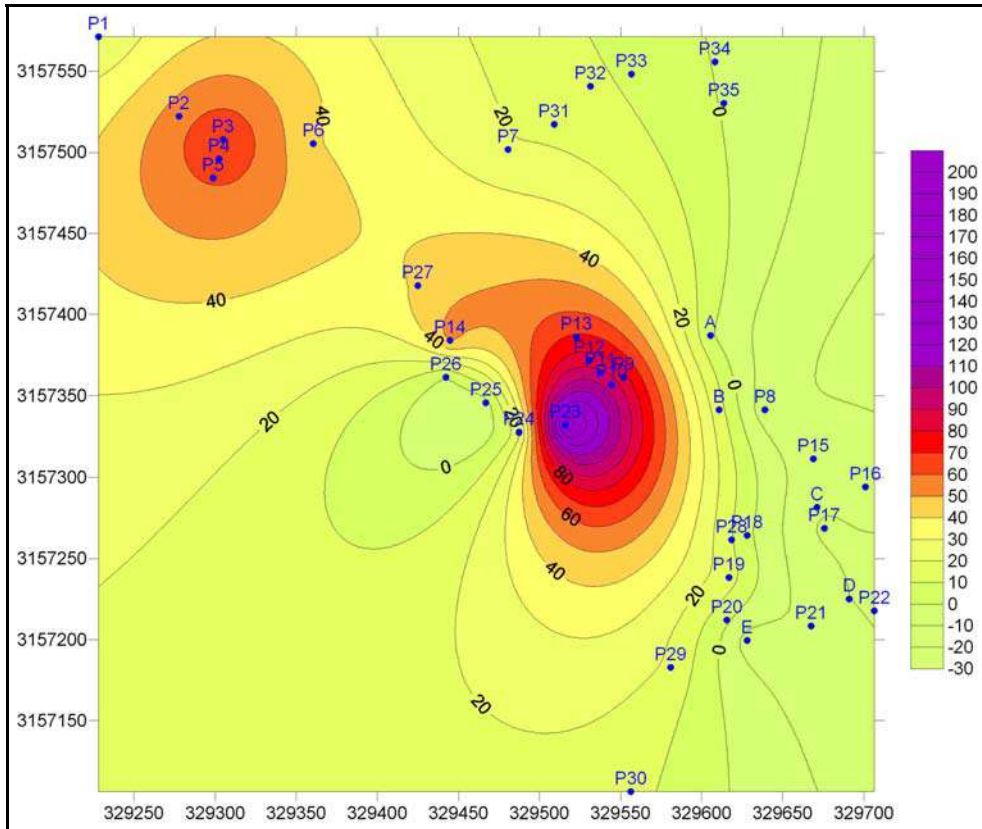


Figure 11 : Contour du mouvement total en mm à la date du 25 mars 2009 (à noter la disparition regrettable des mesures aux bornes 2, 4, 5, 10 et 11)

4. ETUDE DE LA STABILITE DES CAVITES ACTUELLES

4.1 Méthodologie d'étude

Comme l'illustrent les représentations tridimensionnelles et les coupes verticales et horizontales effectuées sur les cinq cavités, leur géométrie constitue un problème tridimensionnel difficile à reproduire avec des modèles bidimensionnels utilisant les hypothèses classiques de cavités isolées axisymétriques, cavités en déformations planes, ou cavités en réseau ou en tore. Face à la lourdeur de mise en œuvre d'un modèle tridimensionnel, nous avons décidé de procéder avec une approche simple qui consiste à traiter chacune des cavités comme si elle était isolée. L'examen de la zone d'influence de chaque cavité permettra de déduire les possibilités d'interactions et de chevauchements entre cavités et les risques d'endommagement des piliers les séparant.

L'étude conduite en 2005 sur la cavité du sondage S811 (R050511MTIJ) constitue une parfaite illustration de la démarche que nous allons suivre pour analyser les conditions de stabilité des cavités et leurs interactions possibles. Les résultats de cette étude sont toujours valables puisque l'exploitation n'a fait que suivre les recommandations effectuées. Nous les reprenons donc dans cette nouvelle étude.

L'analyse de stabilité est conduite à partir d'une modélisation bidimensionnelle axisymétrique aux moyens de la méthode des éléments finis (logiciel VIPLEF) conduite en grandes déformations. Les principales hypothèses sur lesquelles sont fondées les simulations numériques sont les suivantes :

- Le sel est un matériau viscoplastique dont le comportement est décrit par la loi de Lemaitre. Les paramètres de cette loi ainsi que les paramètres élastiques ont été déterminés en laboratoire par des essais de fluage et des essais de compression. Les terrains argileux de couverture ont un comportement élastique et leurs paramètres ont été évalués à partir d'une description lithologique précise et de notre propre expérience avec ce type de terrains.
- Chaque cavité est traitée séparément et sa géométrie est établie à partir des dernières mesures sonar qui nous ont été communiquées. La création de la cavité est modélisée par un processus classique qui consiste à appliquer à la paroi de la cavité finale un chargement qui passe progressivement de l'état de contraintes géostatiques (celui qui régnait avant la création de la cavité) vers une pression de la colonne de saumure (chargement effectivement appliqué à la fin du lessivage de la cavité). L'expérience montre que l'état des contraintes et des déformations autour de la cavité juste après sa création dépend principalement de sa durée de creusement. Nous reproduisons donc l'historique de creusement de chaque cavité.
- La stabilité à long terme des cavités est considérée avec un abandon en saumure à puits ouverts car l'état de l'art actuel ne permet pas encore de décider des conditions optimales d'abandon et de fermeture des puits.
- En ce qui concerne la présence des insolubles et de la boue injectée dans les cavités, il est bien connu qu'en l'absence de réactions physico-chimiques entre ces matériaux et les terrains encaissants qui peuvent affecter le fluage du sel et sa dissolution, leur contribution ne peut être que bénéfique en terme de stabilité (légère amélioration du confortement des parois de la cavité donc une légère réduction de la subsidence). Dans un premier temps, nous admettons que seule la saumure intervient dans le confinement des parois des cavités. Si les résultats obtenus montraient qu'il existe un risque particulier d'instabilité, nous examinerions la contribution des insolubles et de la boue d'épuration de la saumure dans le comportement des ouvrages et leurs conditions de stabilité.

- Etant donné que l'abandon des cavités est considéré à puits ouverts, les problèmes thermiques (dilatations, effet de la variation de la température sur le fluage du sel), la diffusion de la saumure dans le sel (micro-perméabilité) et les phénomènes physico-chimiques de dissolution et de recristallisation ne sont pas pris en compte. Nous avons appliqué dans cette étude l'état des connaissances actuelles et les règles de l'art qui ont fait leurs preuves sur de nombreux exemples.

Lors de l'analyse des résultats des simulations numériques, nous nous intéresserons particulièrement aux grandeurs suivantes :

- La déformée des terrains et l'évolution des mouvements de surface en fonction du temps. Des comparaisons seront alors effectuées avec les mesures de nivellement pour la validation des modèles numériques et pour leur utilisation dans l'évaluation des conditions de stabilité.
- la perte de volume de la cavité en fonction du temps,
- le champ de la contrainte mineure,
- le déviateur de contraintes aux abords de la cavité,
- les déformations viscoplastiques aux abords de la cavité,

L'intérêt que présente l'étude temporelle des variations volumiques ou des déplacements dans des régions particulières est relativement évident. En revanche, l'intérêt que nous portons à des grandeurs physiques plus abstraites mérite d'être brièvement expliqué.

- *Contrainte mineure* : Le sel supporte mal d'être sollicité en traction : une contrainte de traction de 1 MPa suffit en général à le fracturer. Or l'éventualité d'une fracturation du sel à proximité de la cavité est à proscrire formellement puisqu'elle risquerait de provoquer une infiltration de la saumure dans les formations géologiques situées aux alentours de la cavité. Une zone dans laquelle la contrainte mineure est une contrainte de compression mais proche de zéro présente également des risques à long terme car les contraintes dans le massif se relâchent avec le temps (phénomène de relaxation), des zones en traction localisées peuvent alors apparaître à terme.
La deuxième raison pour laquelle la contrainte mineure doit être examinée réside dans le fait que le sel est un matériau ductile. Pourvu que la contrainte mineure de compression dépasse un certain seuil (généralement, entre 1 et 3 MPa), il est apte à encaisser des contraintes sans risquer la rupture en compression simple. Il faut donc rechercher les zones où la contrainte mineure est inférieure à ce seuil pour y examiner ce risque.
- *Déviateur de contraintes* : Le déviateur mesure l'écart de l'état de contraintes avec un état de pression géostatique moyen. Les zones dans lesquelles il dépasse un seuil critique sont susceptibles d'un endommagement diffus mais néanmoins préjudiciable à la stabilité et à l'imperméabilité du massif (notion de dilatance). Ce seuil critique dépend du sel envisagé et varie entre 9 et 15 MPa.
Compte tenu du phénomène de relaxation, le déviateur de contraintes baisse dans le temps et le critère de dépassement du seuil doit être contrôlé juste à la fin de la création de la cavité.
- *Déformations viscoplastiques* : Certains spécialistes considèrent que les seuils des critères précédemment évoqués dépendent de la manière dont on réalise les essais en laboratoire sur le sel, et donc ne suffisent pas à écarter totalement le risque d'un endommagement du massif salin. Ils suggèrent donc d'étudier les déformations viscoplastiques irréversibles du massif et d'identifier les zones à risque dans lesquelles la norme exprimée en % dépasse un certain seuil. Ce seuil varie généralement entre un dixième de pourcent et plusieurs pourcents selon la fluabilité du sel et la durée envisagée. Dans l'étude de 2005 portant sur la cavité S811, le critère utilisé consistait à ce que la zone entourant la cavité dans laquelle la norme du tenseur de déformation viscoplastique est supérieure à 0.1 % par

siècle ne doit pas toucher des interfaces avec d'autres couches géologiques ni rencontrer des zones exploitées (cavités).

4.2 Rappel des résultats de l'étude de la cavité S811

La figure 12 montre la géométrie de la cavité et les modèles établis à partir de cette géométrie. Le principe de la modélisation axisymétrique consiste à définir un axe de symétrie de révolution au centre de la cavité et à définir des limites situées suffisamment loin pour pouvoir s'affranchir des perturbations induites. Verticalement, le modèle est limité par la surface du sol (le jour) et par un plan horizontal situé à une profondeur de 1500 m où la composante verticale du déplacement est supposée nulle. Horizontalement, on trouve l'axe de symétrie de révolution puis un plan situé à 1000 m du centre de la cavité où la composante horizontale du déplacement est supposée nulle.

Trois configurations ont été étudiées. Elles correspondent respectivement à la situation de la cavité en 2005, à une extension verticale avec un toit plat et enfin à l'extension recommandée. Le lessivage de la cavité a été simulé en appliquant à la paroi un chargement qui passe progressivement de l'état initial (contraintes géostatiques correspondant à une pression hydrostatique qui augmente en fonction de la profondeur à raison de 0.0214 MPa/m) à l'état final correspondant à une pression de saumure fonction croissante de la profondeur avec un taux de 0.012 MPa/m. Une durée de 22 ans a été prise en compte pour la création de la cavité au moment de la réalisation de l'étude et son extension vers l'état final a été envisagée sur une durée supplémentaire de 11 ans. La stabilité à long terme après la fin du lessivage (abandon à puits ouvert) a été examinée sur une durée de 200 ans.

La figure 13 donne la diminution relative du volume de la cavité pour les trois géométries avec la phase de lessivage correspondant à un temps négatif. La forme arrondie recommandée pour le toit de la cavité conduit à la valeur la plus faible après deux siècles (6.5 par rapport à 6.9 pour une extension avec un toit plat).

En ce qui concerne la subsidence liée à cette cavité, le maximum obtenu au bout de la période étudiée serait de l'ordre de 12 cm avec une légère réduction du mouvement pour la forme arrondie préconisée (Fig. 14). A la fin du lessivage, la subsidence reste inférieure à 2 cm. Ce résultat est tout à fait cohérent avec les mesures de nivellement présentées ci-dessus et qui n'indiquent aucun mouvement significatif au voisinage de la cavité.

Aucune des simulations effectuées n'a montré une apparition de la traction dans le massif au cours de l'histoire de la cavité (Fig. 15). Le déviateur des contraintes reste également limité par rapport à la valeur la plus faible que l'on peut retenir pour le critère de dilatance (9 MPa).

Sachant que la déformation non élastique est une fonction croissante du temps, la règle utilisée dans l'étude de 2005 consistait à dire que la zone dans laquelle la norme du tenseur de déformation viscoplastique au bout de 200 ans dépasse le seuil de 0.2 % ne doit pas atteindre le niveau -210 m pour éviter toute interaction avec les cavités sus-jacentes. La figure 16 montre que l'extension de la zone viscoplastique n'atteint jamais le niveau fixé et qu'il existe une marge de sécurité de près de 50 m dans les trois configurations géométriques envisagées en particulier la forme arrondie du toit qui améliore sensiblement cette marge de sécurité.

Ainsi, l'étude de 2005 a conclu à la stabilité à long terme de la cavité S811 et a recommandé son extension en hauteur jusqu'à la côte -365 m avec un toit arrondi. Elle a montré aussi que la cavité dans son état ultime n'a aucune incidence sur les cavités supérieures.

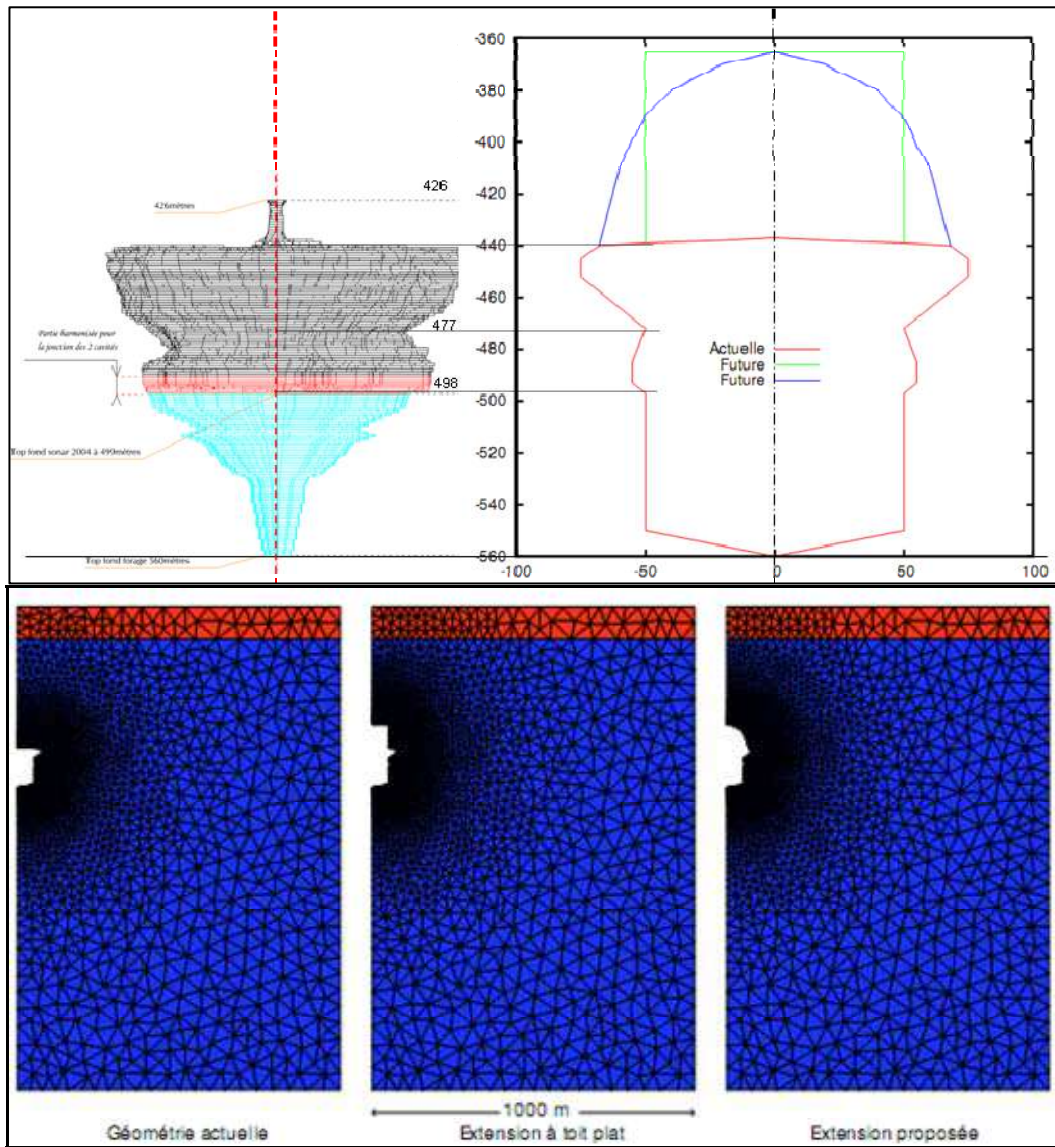


Figure 12 : Géométrie de la cavité S811 et modèles élaborés (étude 2005)

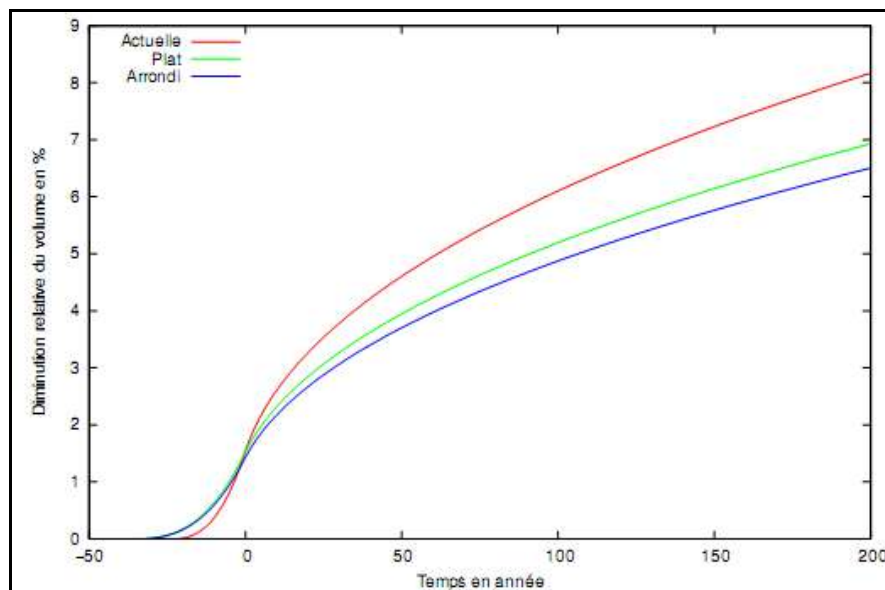


Figure 13 : Variation relative du volume de la cavité S811 dans les trois cas examinés (étude 2005)

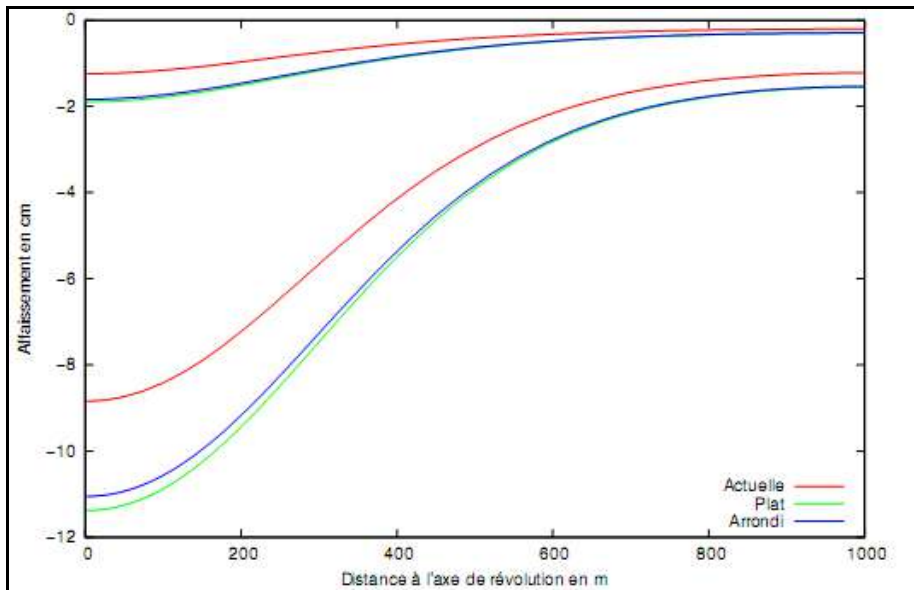


Figure 14 : Cuvette de subsidence liée à la cavité S811 à la fin du lessivage et deux siècles plus tard (étude 2005)

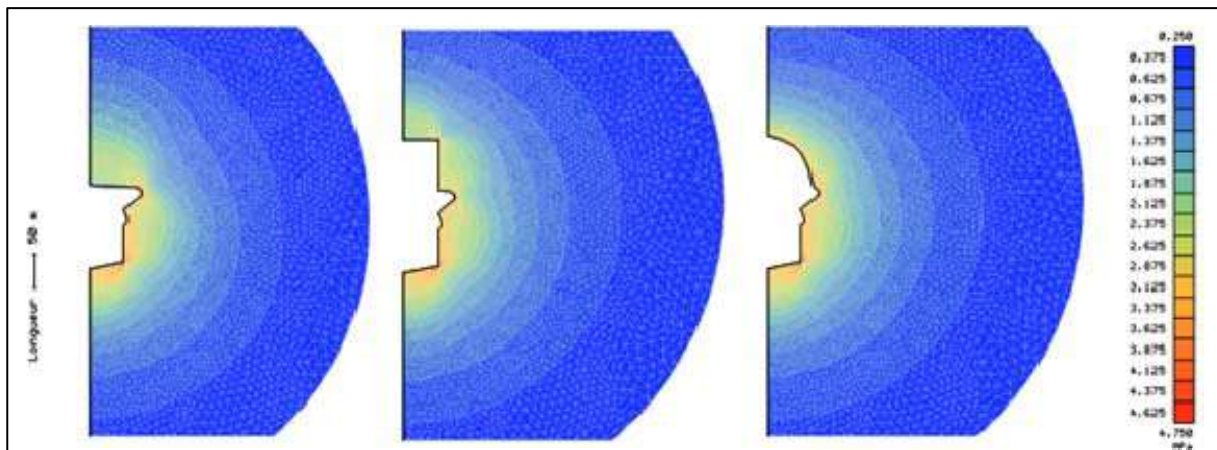


Figure 15 : Déviateur des contraintes au niveau des parois de la cavité S811 à la fin du lessivage (étude 2005)

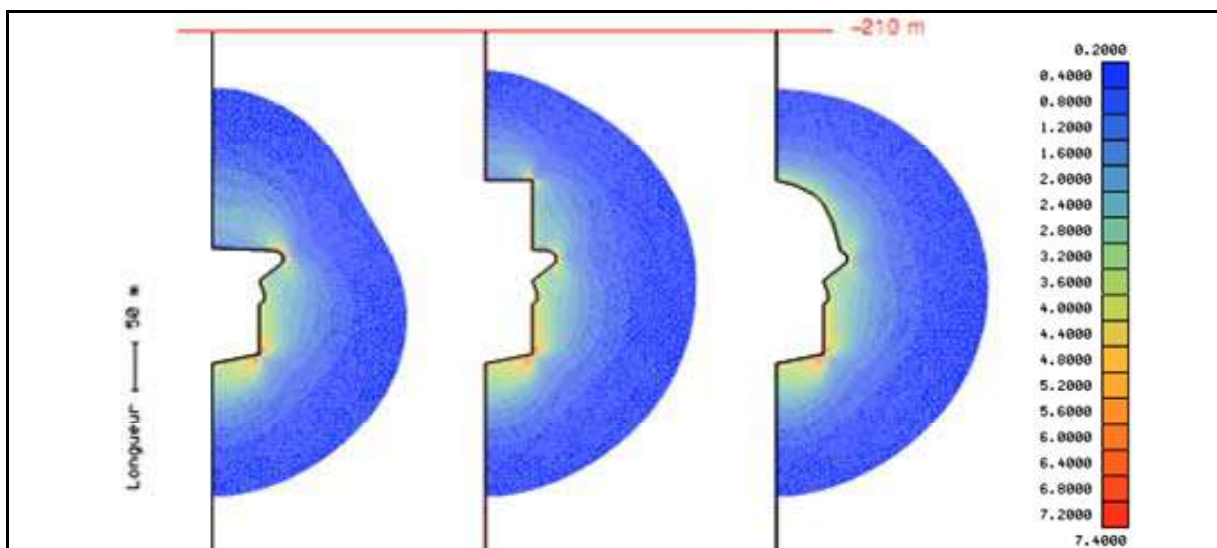


Figure 16 : Norme des déformations viscoplastiques au niveau des parois de la cavité S811 deux siècles après la fin du lessivage (étude 2005)

4.3 Analyse de la stabilité de la cavité S-Nord

Comme l'illustre la figure 17, la géométrie de la cavité S-Nord se prête bien à une représentation bidimensionnelle avec une symétrie de révolution. Le volume défini a été choisi légèrement supérieur au volume de la cavité mesuré par sonar et donné par le tableau 1 (94 000 par rapport à 85 545 m³).

Le modèle numérique élaboré repose sur les mêmes hypothèses et les mêmes conditions que le modèle établi pour la cavité S811 (mêmes limites horizontale et verticale malgré les dimensions et la profondeur réduites de la cavité). On appliquera d'ailleurs ces conditions pour toutes les autres cavités.

L'historique simulé de la cavité comprend une phase de lessivage étalée sur 19 ans (entre 1965 et 1984), suivie d'une phase de fluage jusqu'à 2010 (état actuel) et enfin la phase de comportement à long terme sur une durée de deux siècles. Les figures 18 à 22 donnent respectivement les résultats suivants :

- la variation relative du volume de la cavité sur toute la période simulée ;
- l'évolution de la subsidence verticale au centre de la cavité sur cette même période ;
- la forme de cuvette de subsidence en surface aux trois dates importantes correspondant à la fin du lessivage, la date actuelle et deux siècles après le lessivage ;
- la distribution du déviateur de contraintes dans les parois de la cavité à la fin du lessivage ;
- la distribution de la norme des déformations viscoplastiques aux trois dates étudiées.

On notera ici que l'échelle utilisée pour la cavité S811 a été appliquée dans les deux derniers graphiques pour pouvoir comparer les résultats entre eux. On continuera aussi à utiliser cette même échelle pour les autres cavités.

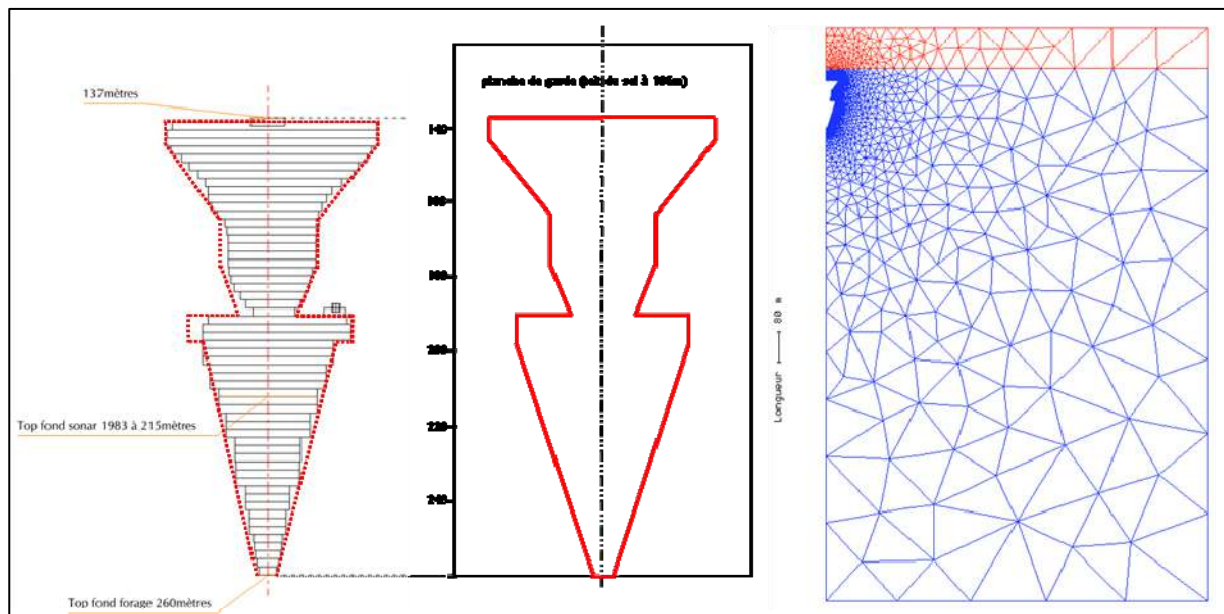


Figure 17 : Géométrie de la cavité S-Nord et modèle numérique associé

Le premier résultat qui ressort de cette simulation concerne les faibles valeurs de la variation relative du volume de la cavité et de la subsidence verticale à la fois à la fin de la phase de lessivage et deux siècles après. La réduction du volume est de l'ordre de 1 % et la subsidence reste inférieure au cm. Ce dernier point est tout à fait cohérent avec les mesures de nivellement qui n'ont pas mis en évidence un mouvement significatif à la surface de la cavité.

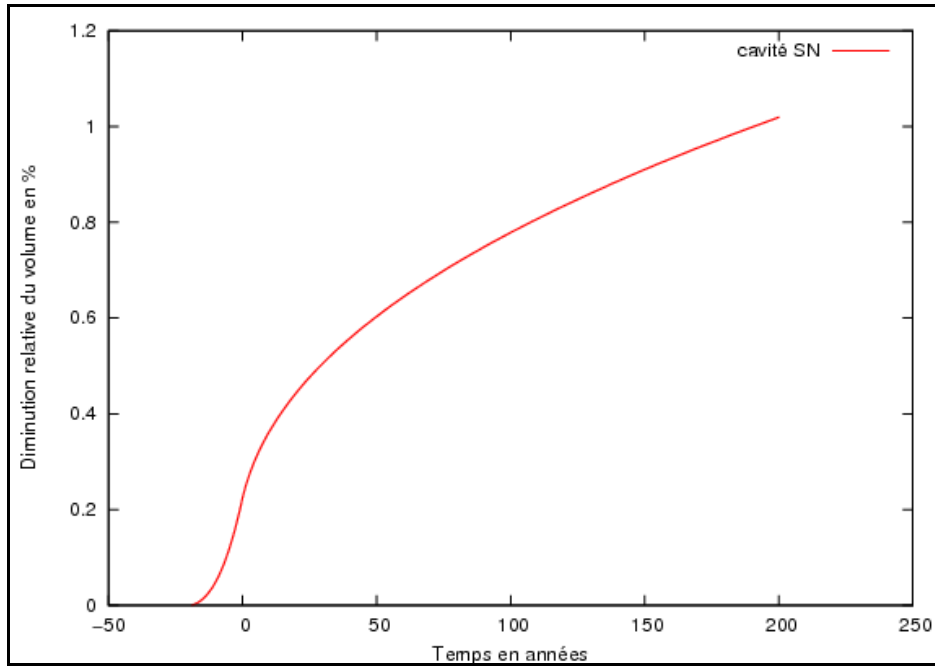


Figure 18 : Variation relative du volume de la cavité S-Nord (la date zéro correspond à la fin du lessivage)

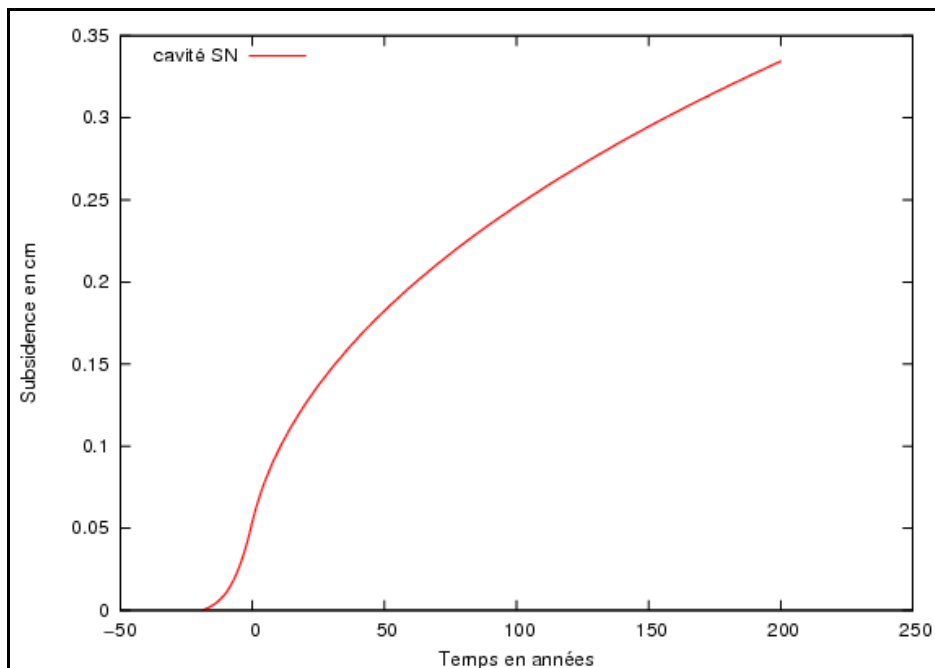


Figure 19 : Evolution de la subsidence verticale de la surface au centre de la cavité S-Nord (la date zéro correspond à la fin du lessivage)

Comme pour la cavité S811, aucune contrainte de traction n'apparait dans les parois de la cavité pendant la durée simulée et le déviateur de contraintes à la fin de la phase critique de lessivage reste très limité pour provoquer un endommagement particulier du sel.

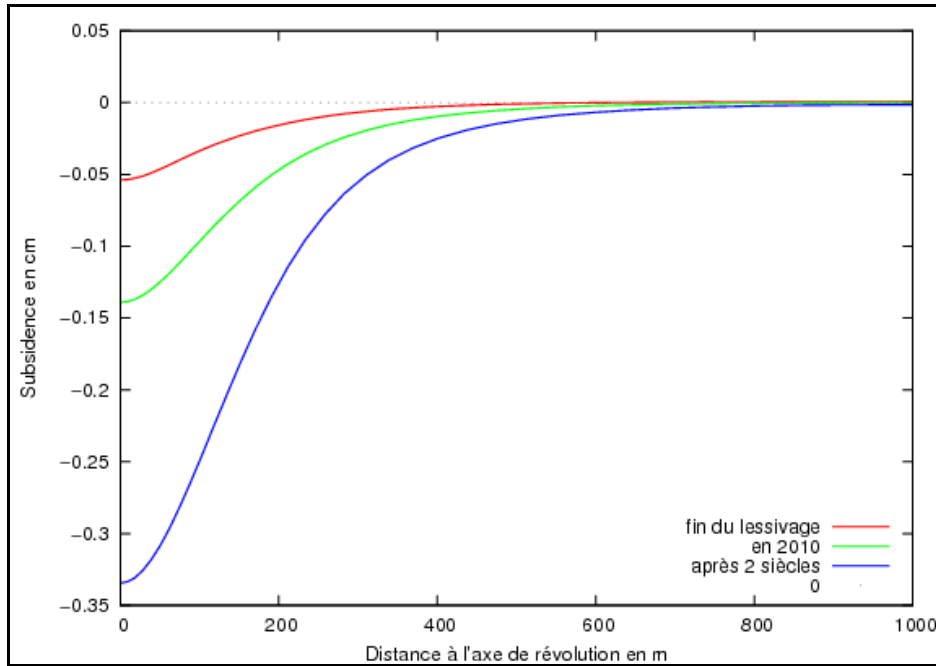


Figure 20 : Cuvette de subsidence liée à la cavité S-Nord à la fin du lessivage, à la date actuelle et deux siècles plus tard

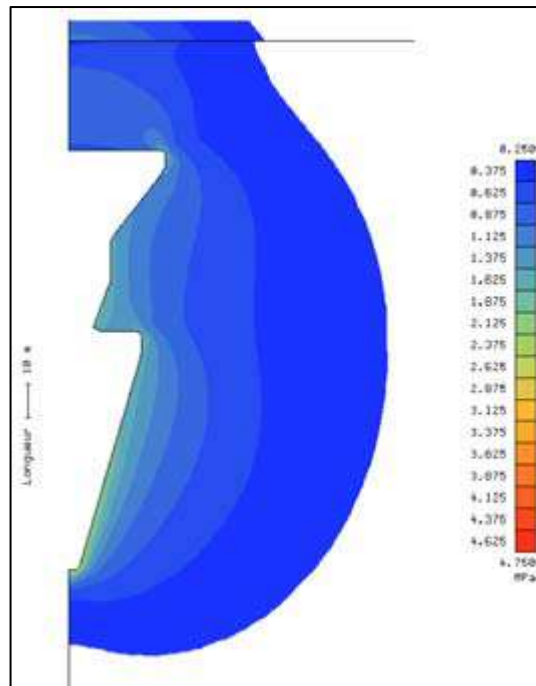


Figure 21 : Déviateur des contraintes au voisinage de la cavité S-Nord à la fin du lessivage

L'extension de la zone viscoplastique aux parois de la cavité évolue avec le temps. Elle est très faible à la fin du lessivage et progresse lentement en fonction du temps (Fig. 22). Deux siècles après le lessivage, l'épaisseur maximale de cette zone, moyennant le seuil retenu de 0.2 %, se trouve à environ 220 m de profondeur avec une valeur de l'ordre de 19 m.

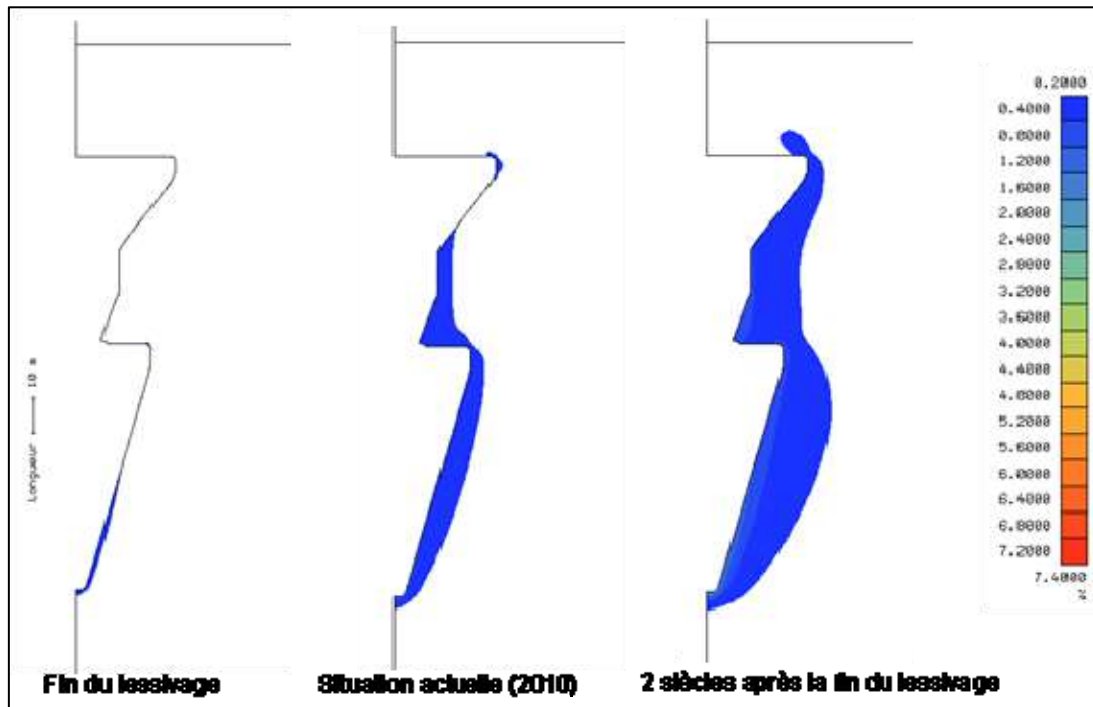


Figure 22 : Evolution dans le temps de la norme des déformations viscoplastiques dans les parois de la cavité S-Nord (seuil de 0.2 %)

4.4 Analyse de la stabilité de la cavité S-Sud

La cavité simulée a été définie avec un volume également légèrement supérieur au volume réel (100 000 par rapport à 92 020 m³). C'est là une démarche conservatrice (sécuritaire). Les figures 23 jusqu'à 28 donnent les mêmes résultats que ceux fournis pour la cavité S-Nord.

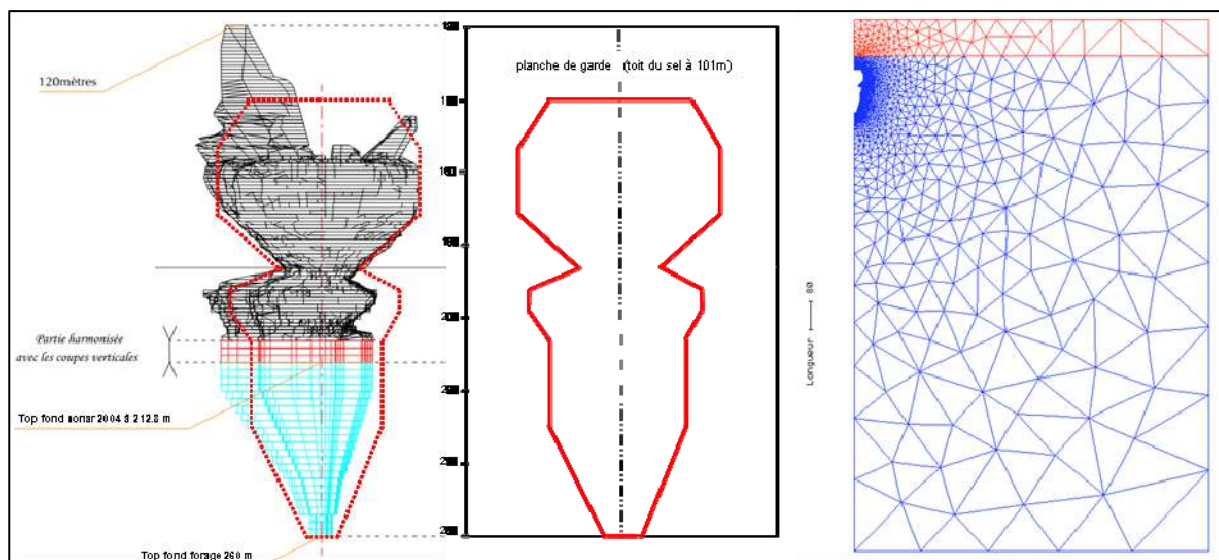


Figure 23 : Géométrie de la cavité S-Sud et modèle numérique associé

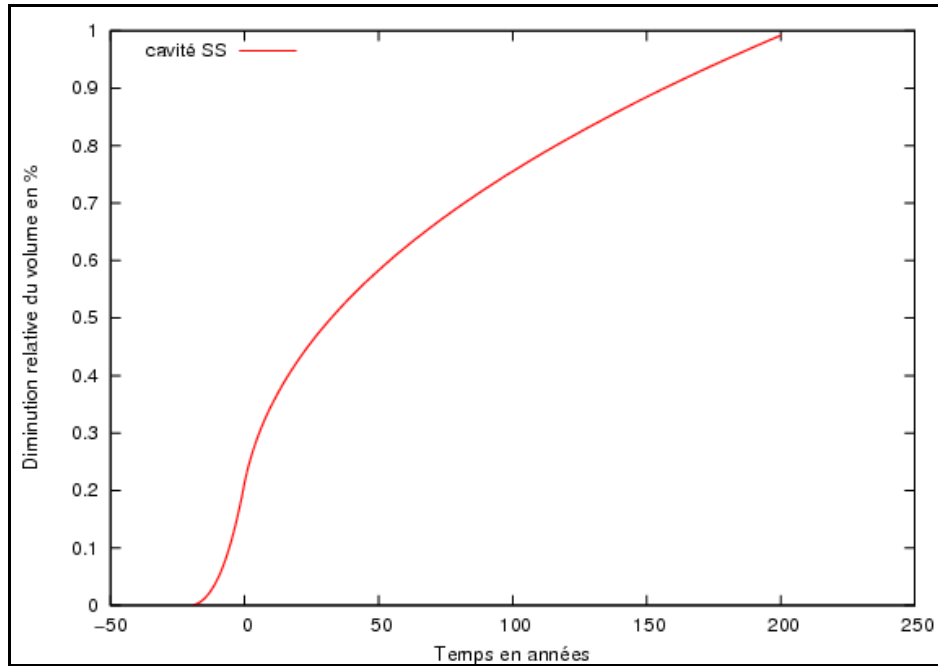


Figure 24 : Variation relative du volume de la cavité S-Sud (la date zéro correspond à la fin du lessivage)

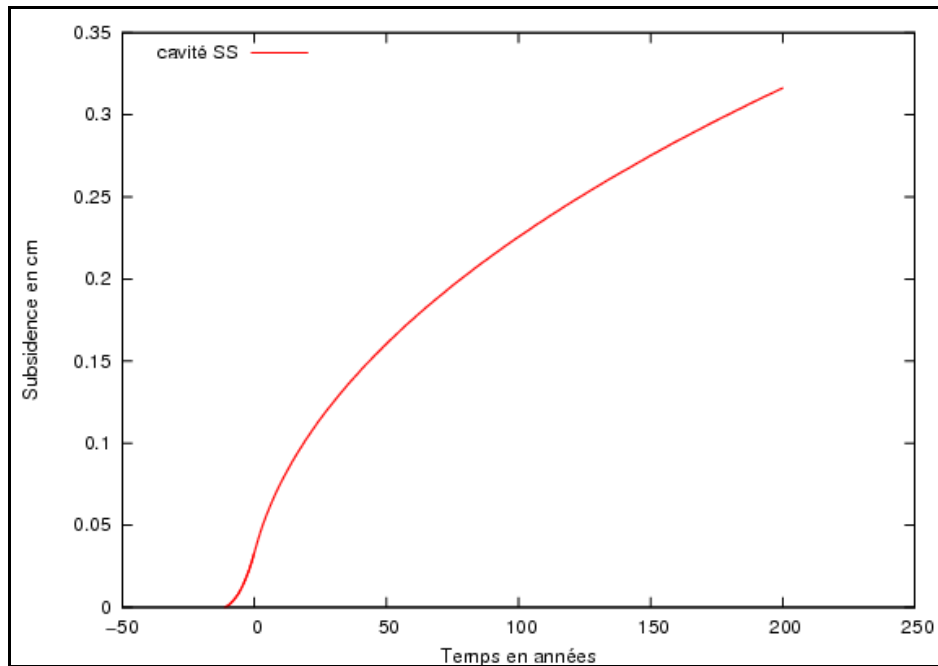


Figure 25 : Evolution de la subsidence verticale de la surface au centre de la cavité S-Sud (la date zéro correspond à la fin du lessivage)

La cavité S-Sud étant développée pratiquement à la même profondeur que la cavité S-Nord et son volume lui est aussi équivalent, il est tout à fait logique de trouver des résultats comparables : une diminution relative du volume et une subsidence faibles sur toute la période simulée (respectivement de l'ordre de 1 % et de 0.32 cm), l'absence de contraintes de traction, un faible déviateur des contraintes à la fin de la phase de lessivage et enfin une extension des zones viscoplastiques de même ordre de grandeur (épaisseur maximale de 18 m située à la même profondeur de 220 m).

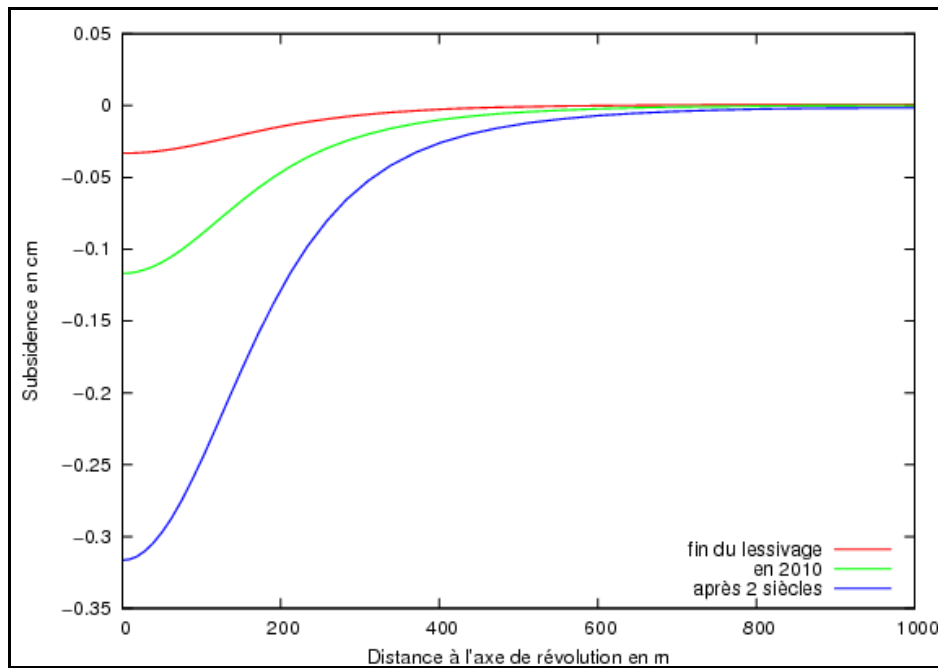


Figure 26 : Cuvette de subsidence liée à la cavité S-Sud à la fin du lessivage, à la date actuelle et deux siècles plus tard

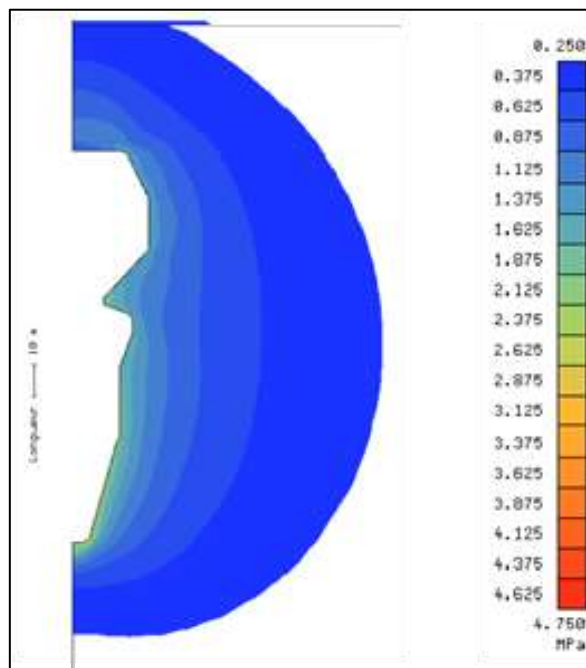


Figure 27 : Déviateur des contraintes dans les parois de la cavité S-Sud à fin du lessivage

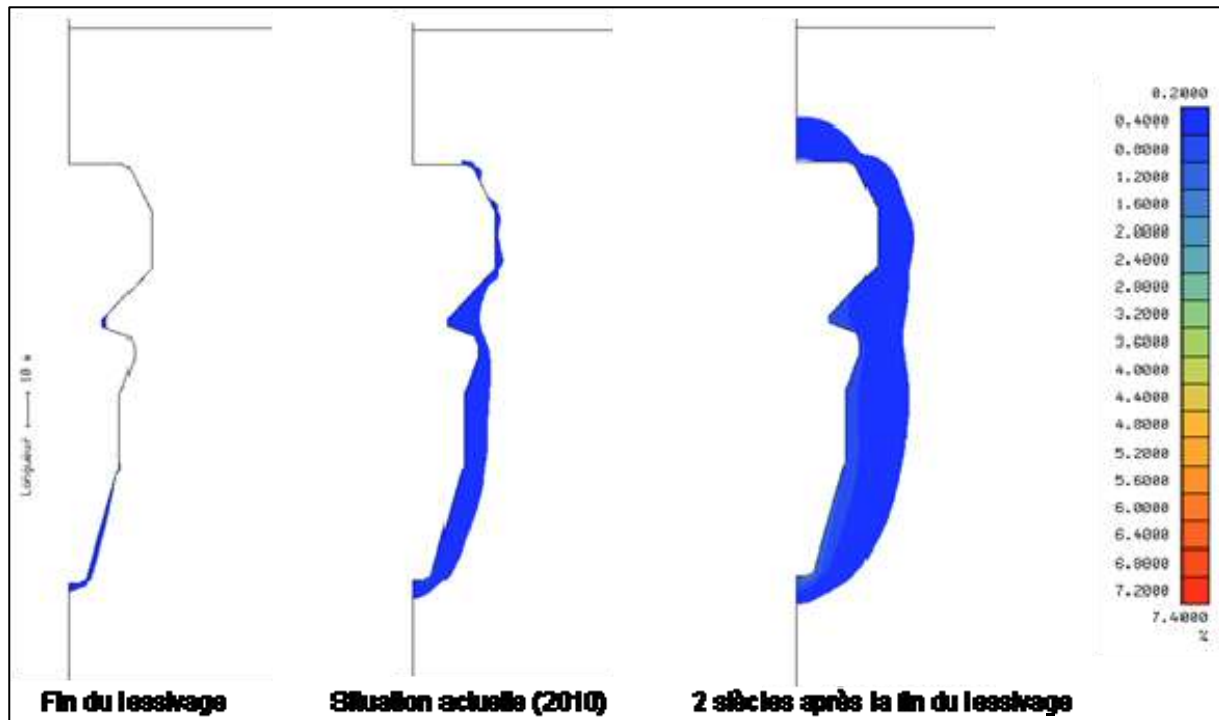


Figure 28 : Evolution dans le temps de la norme des déformations viscoplastiques dans les parois de la cavité S-Sud (seuil de 0.2 %)

4.5 Interaction entre les cavités S-Nord et S-Sud

Lorsque l'on examine les représentations tridimensionnelles des cavités et en particulier les coupes horizontales, on constate que l'écartement critique entre les cavités S-Nord et S-Sud se trouve à la profondeur 195 m (Fig. 29). Il est d'ailleurs vraisemblable qu'une connexion hydraulique entre les deux cavités se soit produite à cette profondeur.

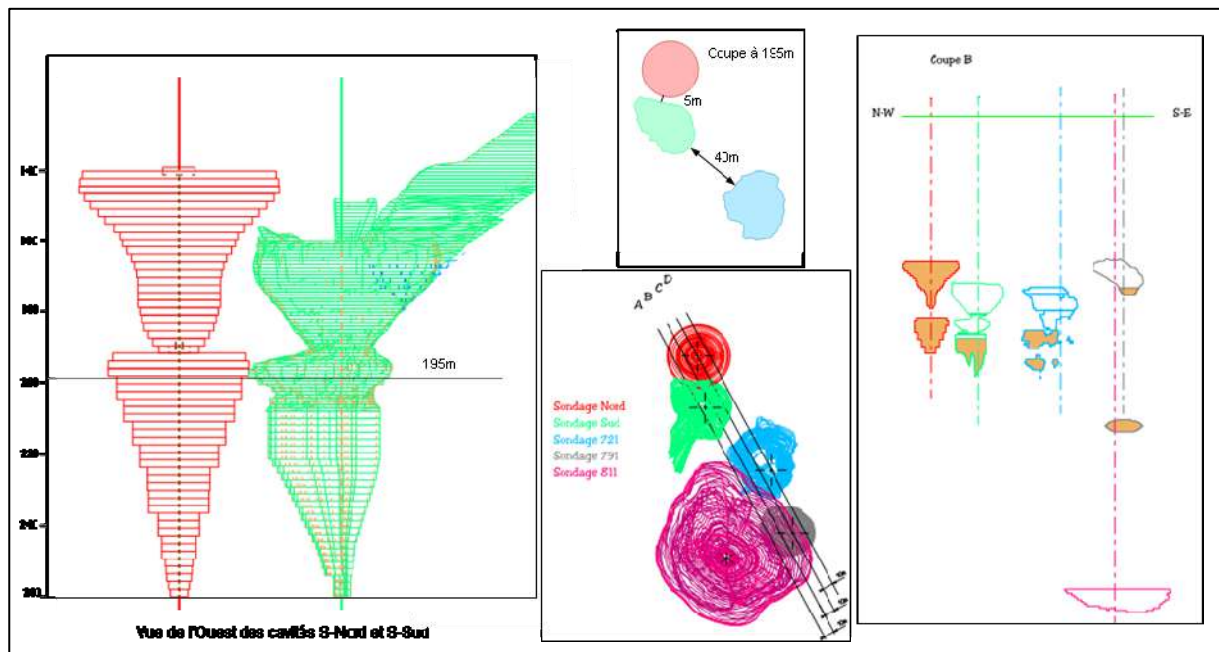


Figure 29 : Vue 3D et coupes horizontale et verticale montrant les écartements entre les cavités S-Nord et S-Sud

Deux siècles après le lessivage, les simulations montrent qu'à cette profondeur les distances minimales permettant d'éviter toute interaction possible entre les deux cavités sont respectivement de l'ordre de 11 m pour la cavité S-Nord et de 12 m pour la cavité S-Sud (Fig. 30), soit un pilier d'environ 23 m d'épaisseur.

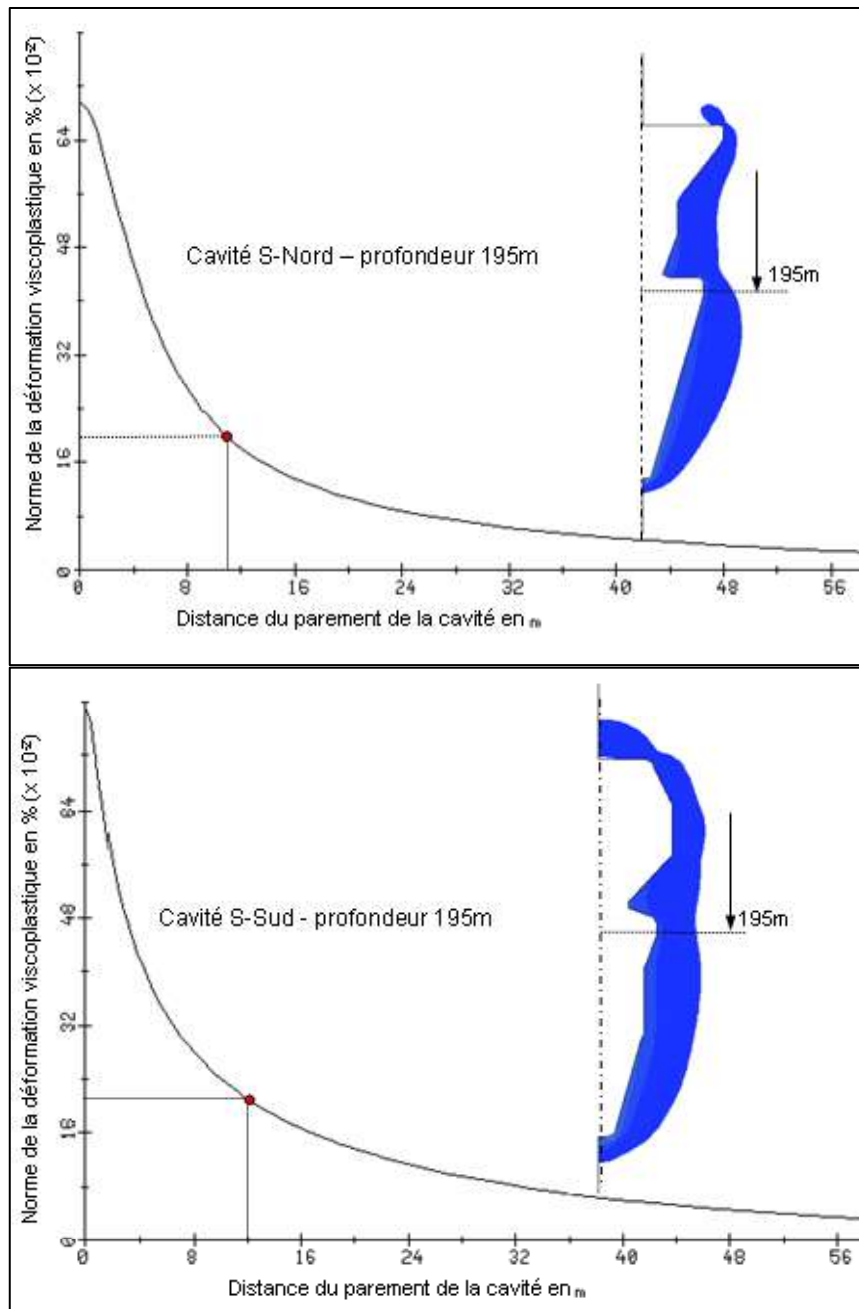


Figure 30 : Extension de la zone viscoplastique au niveau des parements des cavités S-Nord et S-Sud à la profondeur 195 m, deux siècles après la fin du lessivage

Les zones viscoplastiques les plus développées dans les parements de ces deux cavités sont situées à environ 220 m de profondeur, avec une extension de 18 m pour la cavité S-Nord et de 17 m, pour la cavité S-Sud. Le pilier nécessaire pour éviter toute interaction entre les cavités à cette profondeur aurait ainsi une épaisseur minimale de 35 m.

La figure 31 donne l'évolution de l'épaisseur du pilier séparant les deux cavités en fonction de la profondeur. Il en ressort que la zone où l'épaisseur est inférieure à la valeur moyenne requise de 23 m s'étend sur environ 70 m avec en particulier deux horizons situés entre les

profondeurs de 155 à 175 m et de 195 à 220 m. L'épaisseur moyenne du pilier sur la totalité de cette zone est de l'ordre de 17 m.

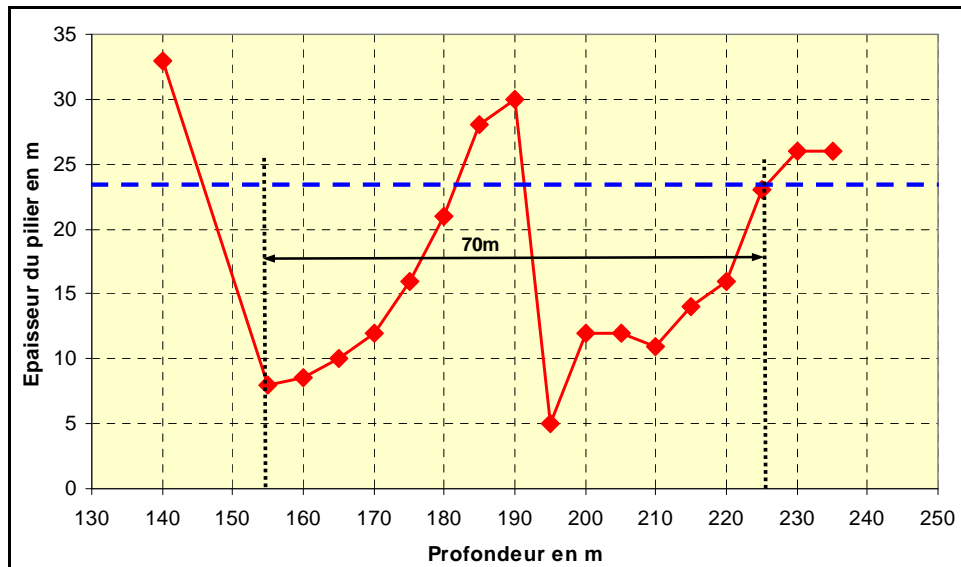


Figure 31 : Variation de l'épaisseur du pilier entre les cavités S-Nord et S-Sud en fonction de la profondeur

Nous retenons de cette analyse que les deux cavités S-Nord et S-Sud sont en interaction et que l'épaisseur du pilier les séparant n'est pas suffisante. Nous reviendrons plus loin sur l'évaluation des risques encourus et les recommandations préconisées pour traiter ces risques.

4.6 Analyse de la stabilité de la cavité S721

Le volume de la cavité simulée est aussi légèrement supérieur au volume réel mesuré par sonar (181 000 par rapport à 175 321 m³). On retrouvera de la même façon sur les figures 32 à 37 les illustrations correspondant aux résultats obtenus.

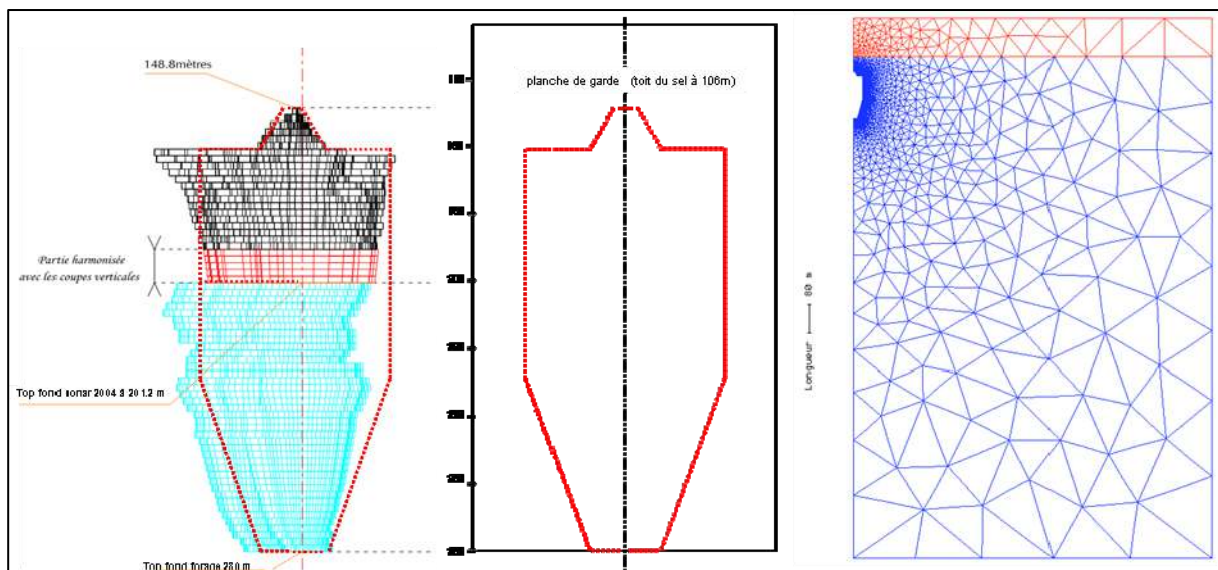


Figure 32 : Géométrie de la cavité S721 et modèle numérique associé

Le volume de cette cavité étant approximativement égal au double du volume des deux cavités précédentes, la variation du volume et la subsidence calculées sur la période simulée

sont supérieures aux valeurs précédentes : 1.26 % et 0.61 cm. A la date d'aujourd'hui, ces valeurs sont beaucoup plus faibles et la subsidence à la surface calculée est tout à fait cohérente avec les mesures de nivellement qui n'indiquent pas de mouvements significatifs.

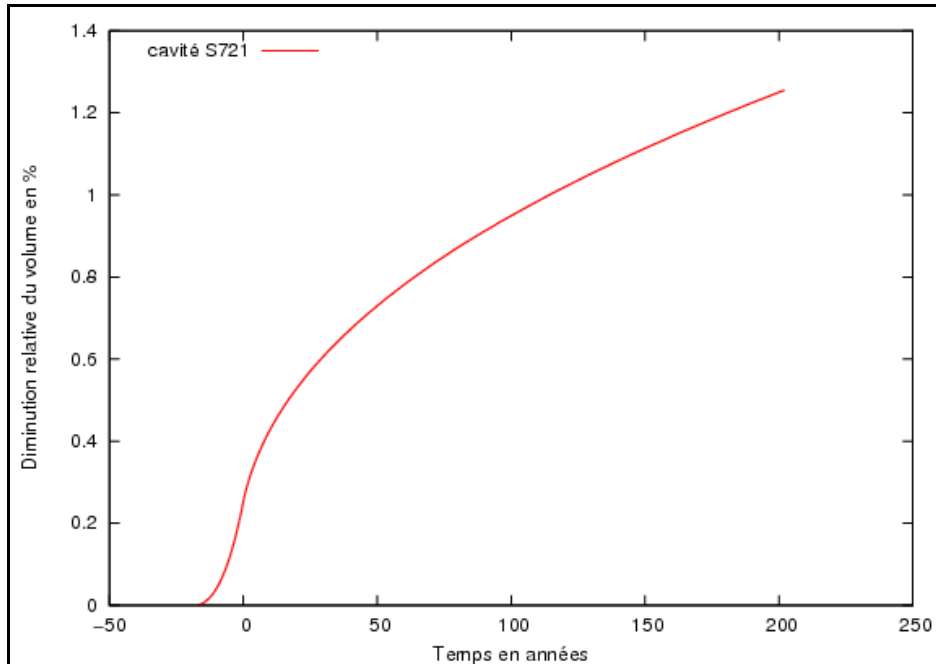


Figure 33 : Variation relative du volume de la cavité S721 (la date zéro correspond à la fin du lessivage)

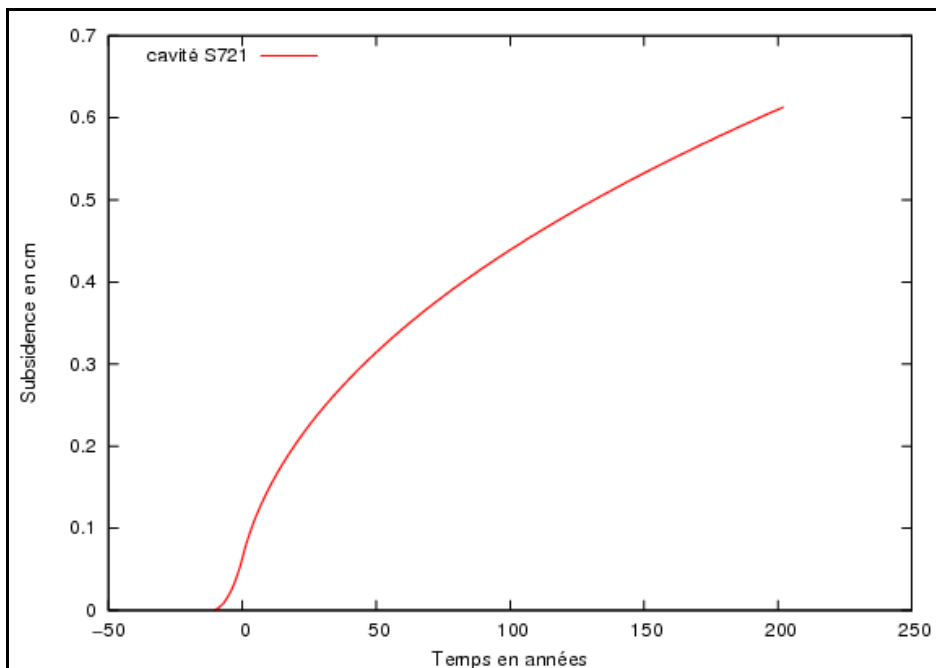


Figure 34 : Evolution de la subsidence verticale de la surface au centre de la cavité S721 (la date zéro correspond à la fin du lessivage)

Aucune traction n'a été décelée et l'amplitude du déviateur des contraintes reste aussi très limitée par rapport à la valeur seuil considérée. Le zone viscoplastique la plus développée se trouve autour de la profondeur de 250m et s'étend sur une épaisseur de l'ordre de 28 m.

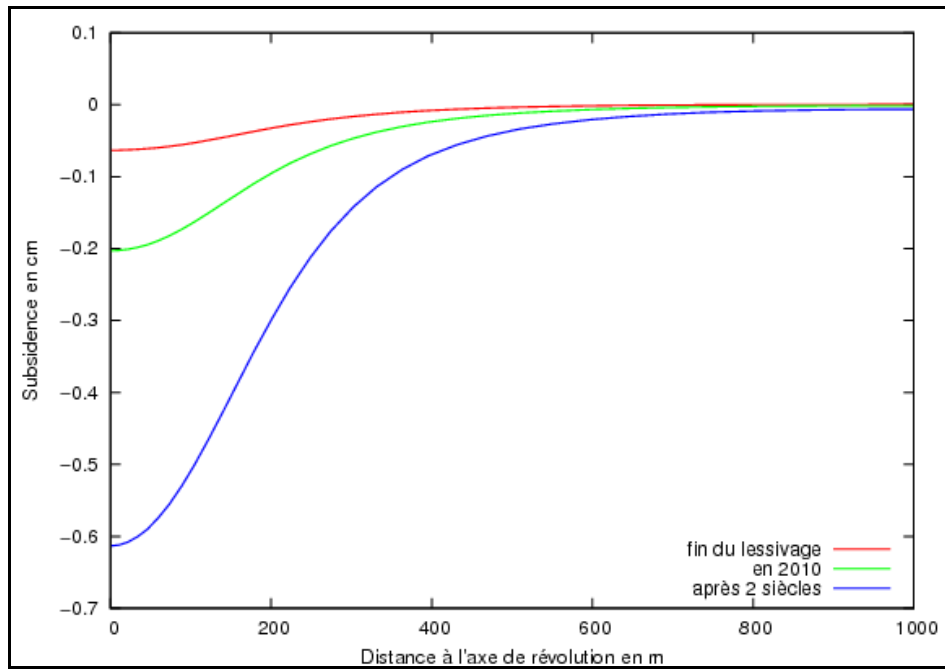


Figure 35 : Cuvette de subsidence liée à la cavité S721 à la fin du lessivage, à la date actuelle et deux siècles plus tard

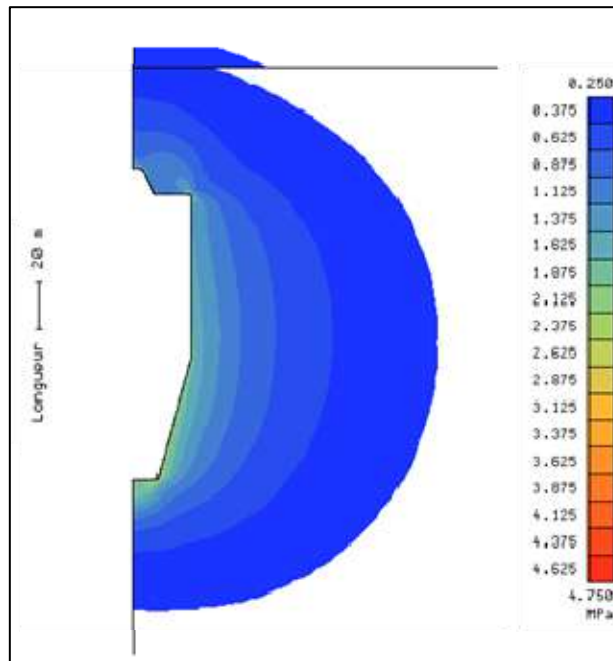


Figure 36 : Déviateur des contraintes dans les parois de la cavité S721 à la fin du lessivage

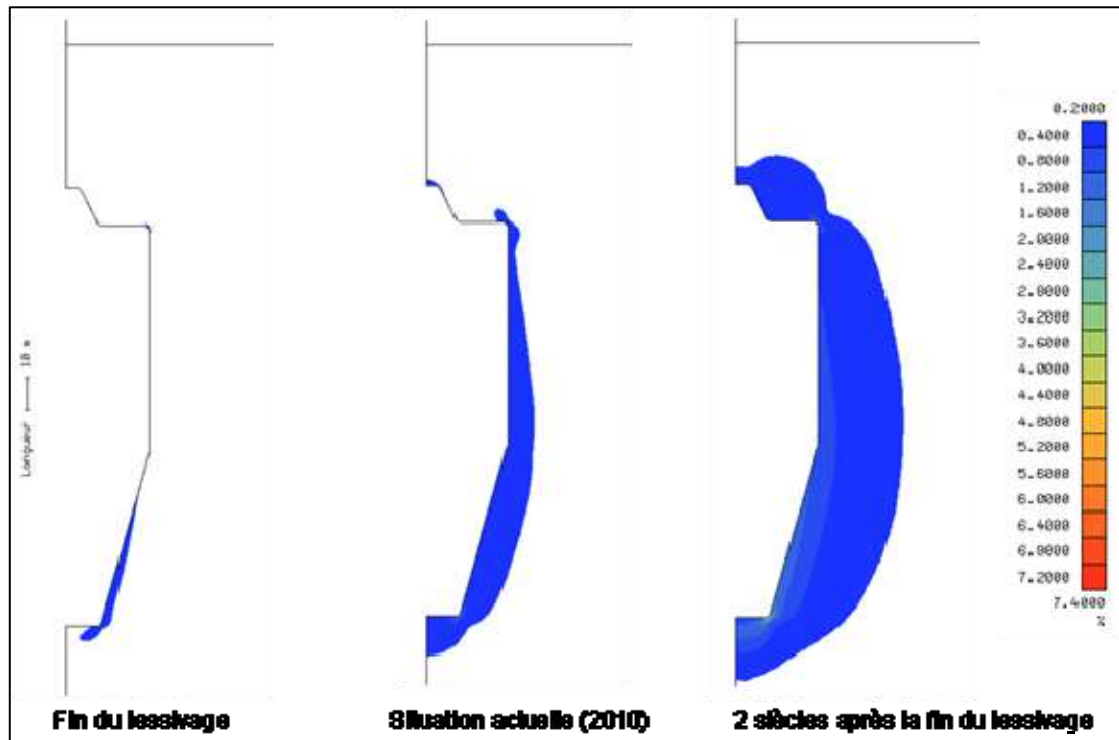


Figure 37 : Evolution dans le temps de la norme des déformations viscoplastiques dans les parois de la cavité S721 (seuil de 0.2 %)

4.7 Interaction entre les cavités S-Sud et S721

La figure 38 donne une représentation tridimensionnelle des cavités S-Sud et S721 ainsi que la coupe horizontale à la profondeur 165 m où l'écartement entre les deux cavités est minimum (16 m). L'évolution de cet écartement en fonction de la profondeur est indiquée par la figure 39 et sa valeur moyenne est de l'ordre de 41 m.

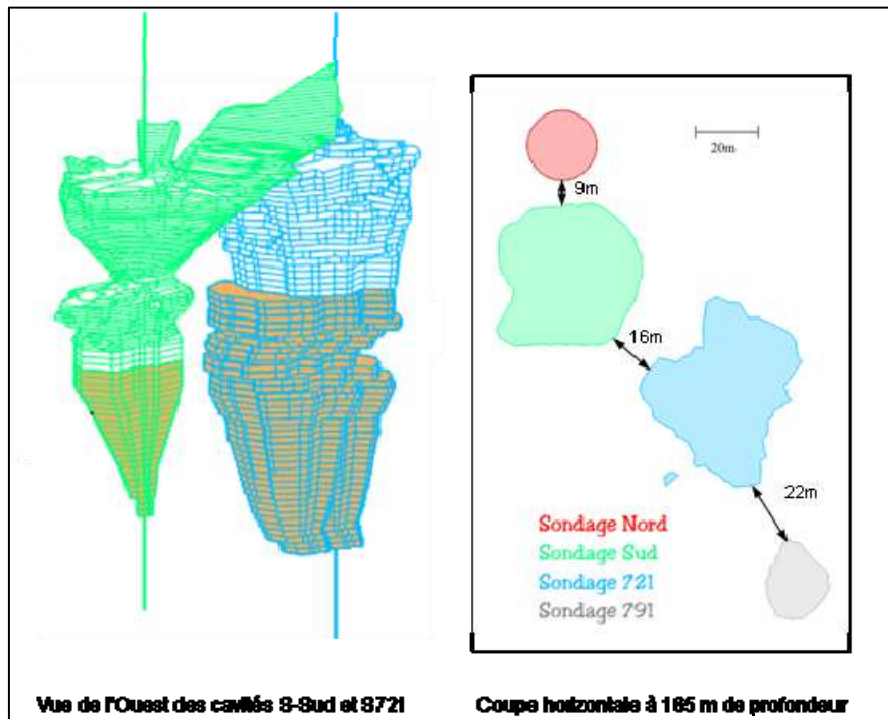


Figure 38 : Vue 3D et coupe horizontale à 165 m de profondeur montrant l'écartement entre les cavités S-Sud et S721

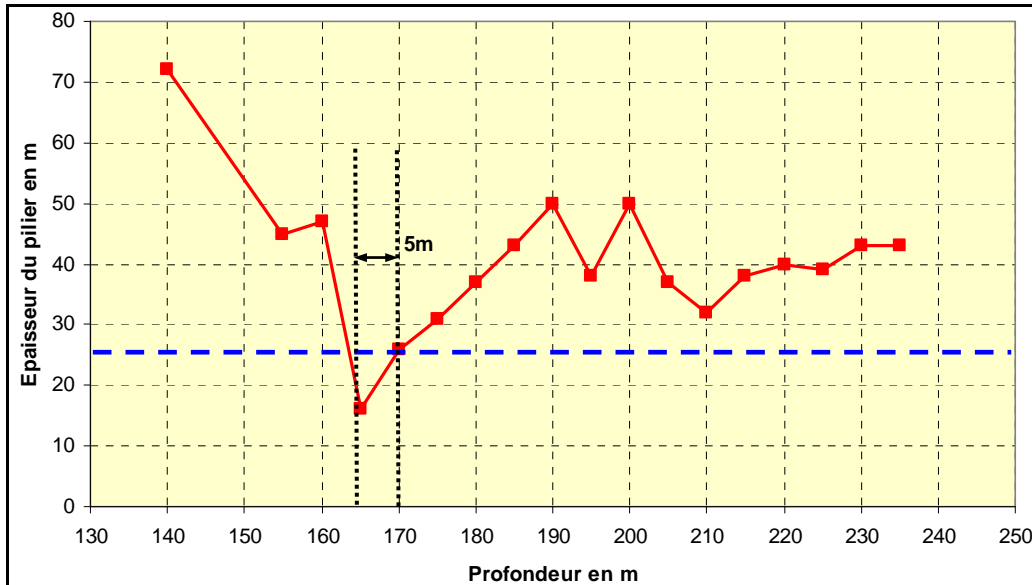


Figure 39 : Variation de l'épaisseur du pilier entre les cavités S-Sud et S721 en fonction de la profondeur

Les simulations effectuées montrent qu'au bout de deux siècles, la zone viscoplastique à la profondeur 220 m est la plus développée dans les parements de la cavité S-Sud (17 m), l'extension de cette zone dans la cavité S721 est de l'ordre de 25 m. L'épaisseur minimale du pilier nécessaire serait ainsi de 42 m

A la profondeur 165 m, la zone viscoplastique s'étend sur une épaisseur de l'ordre de 11 m pour la cavité S-Sud et de 14 m pour la cavité S721, soit un pilier minimal requis de 25 m pour éviter toute interaction entre les deux cavités (Fig. 40).

La confrontation de ces résultats avec les écartements réels donnés par la figure 39 montre que le seul risque d'interaction entre les deux cavités réside à la profondeur de 165 m, mais sur une hauteur seulement de l'ordre de 5 m. L'épaisseur du pilier à cette profondeur est de 16 m par rapport aux 25 m requis.

Nous considérons donc que cette zone d'interaction est très limitée pour affecter particulièrement les conditions de stabilité et les mouvements de surface au niveau des deux cavités S-Sud et S721.

4.8 Analyse de la stabilité de la cavité S791

Le sondage S791 comprend deux cavités situées à des profondeurs différentes. Le volume total des deux cavités simulées est légèrement supérieur au volume mesuré par sonar (46 000 par rapport à 44 913 m³). Comme précédemment, on trouvera sur les figures 41 à 46 les mêmes graphiques illustrant le modèle numérique mis en œuvre, la diminution relative du volume de la cavité supérieure, l'évolution de la subsidence verticale à la tête du sondage, l'évolution de la cuvette de subsidence en surface pour les trois dates importantes étudiées, le déviateur des contraintes à la paroi des deux cavités à la fin de la phase de lessivage et enfin l'évolution des zones viscoplastiques aux parois des deux cavités pour les trois dates envisagées.

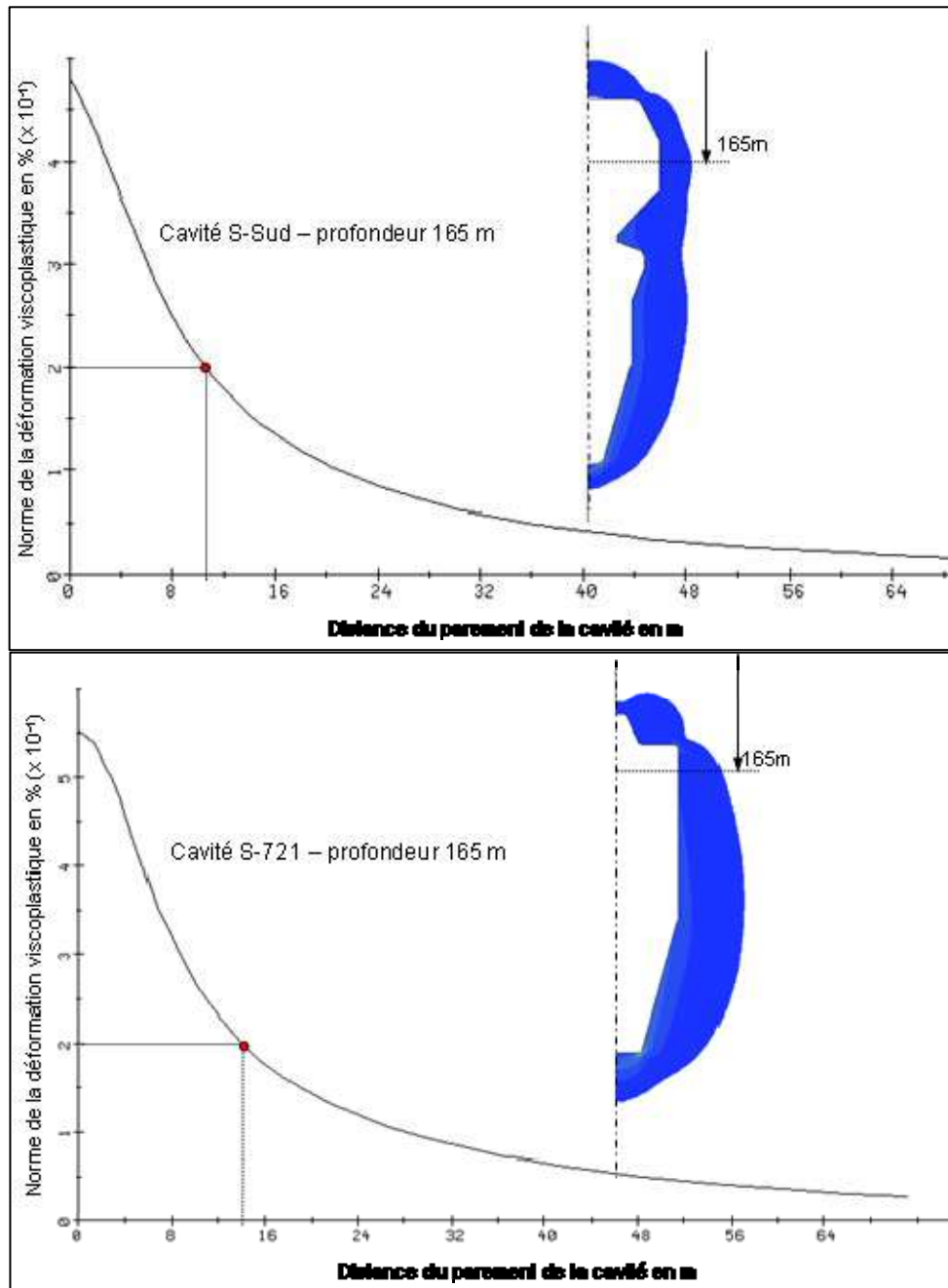


Figure 40 : Extension de la zone viscoplastique au niveau des parements des cavités S-Sud et S721 à la profondeur 165 m deux siècles après la fin du lessivage

Les résultats obtenus au bout deux siècles après la fin du lessivage mettent en évidence des déformations et des subsidences faibles. La diminution relative du volume de la cavité supérieure est de l'ordre de 0.6 % et la subsidence verticale à la tête du sondage est millimétrique (0.13 cm). Ces résultats sont une nouvelle fois en cohérence avec les mesures de nivellement de surface.

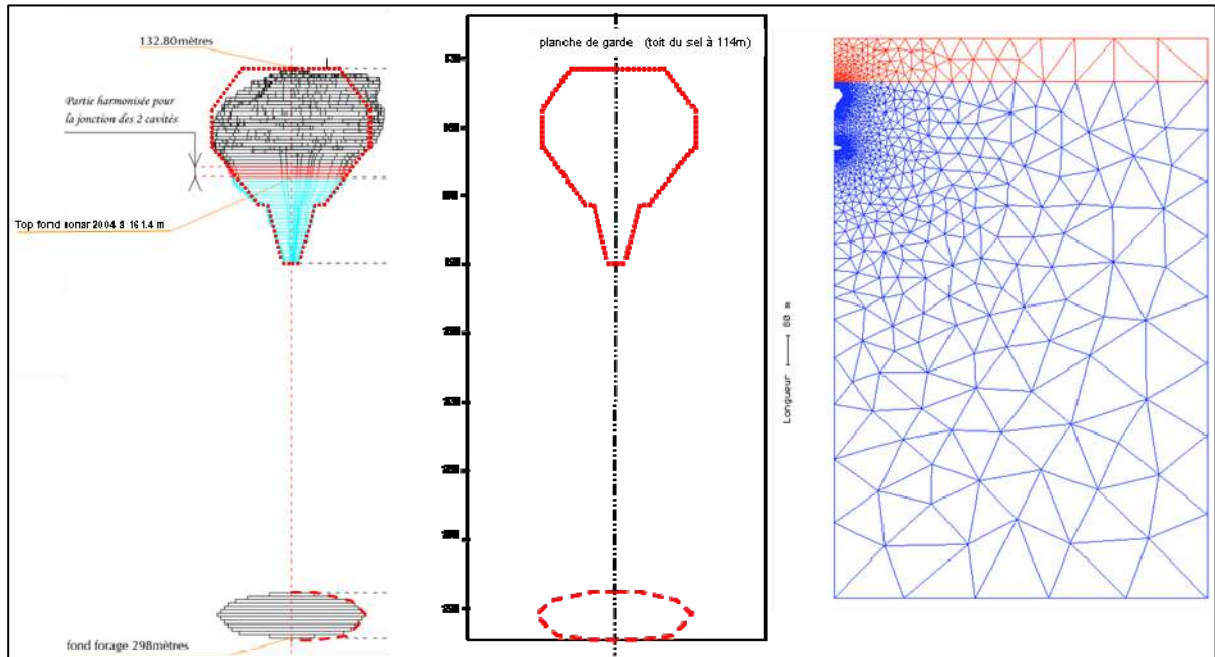


Figure 41 : Géométrie des deux cavités du sondage S791 et modèle numérique associé

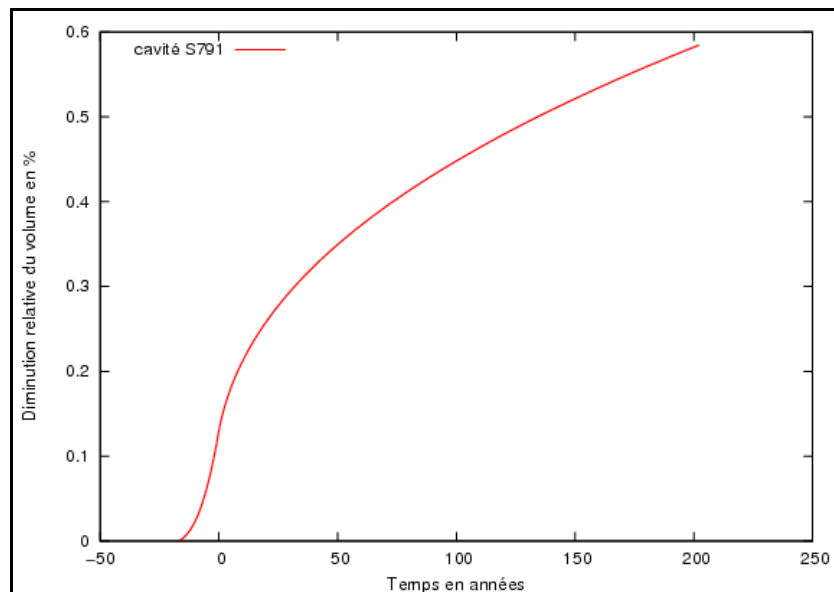


Figure 42 : Variation relative du volume de la cavité supérieure du sondage S791 (la date zéro correspond à la fin du lessivage)

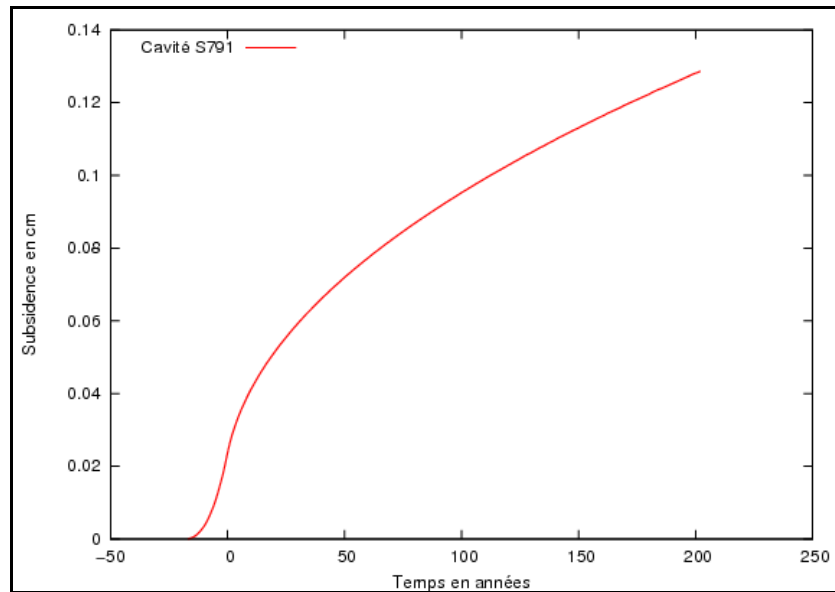


Figure 43 : Evolution de la subsidence verticale de la surface au centre de la cavité S791

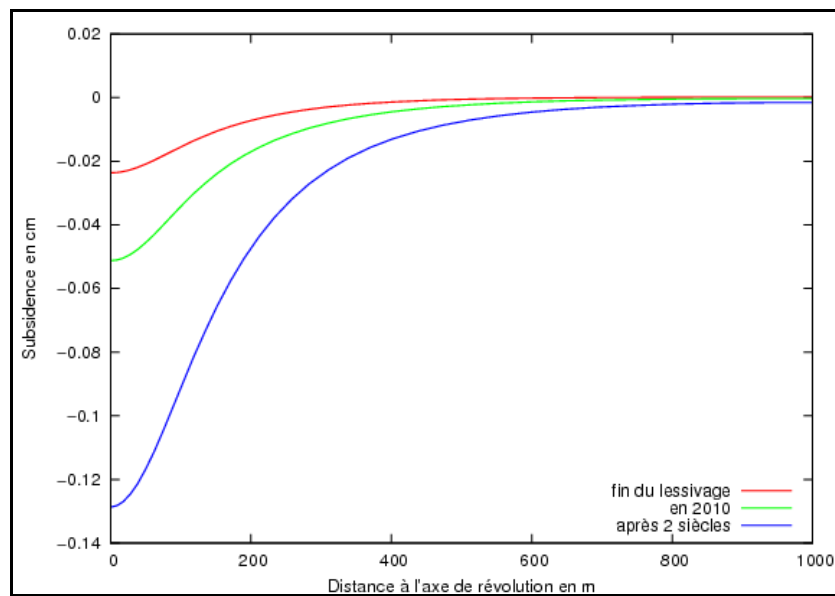


Figure 44 : Cuvette de subsidence liée à la cavité S791 à la fin du lessivage, à la date actuelle et deux siècles plus tard

La répartition des contraintes est aussi favorable avec l'absence de toute contrainte de traction et une amplitude très limitée du déviateur des contraintes. La zone viscoplastique est surtout localisée au niveau de la cavité inférieure (ce qui est logique) en particulier dans le sens de la hauteur en raison de sa forme très aplatie.

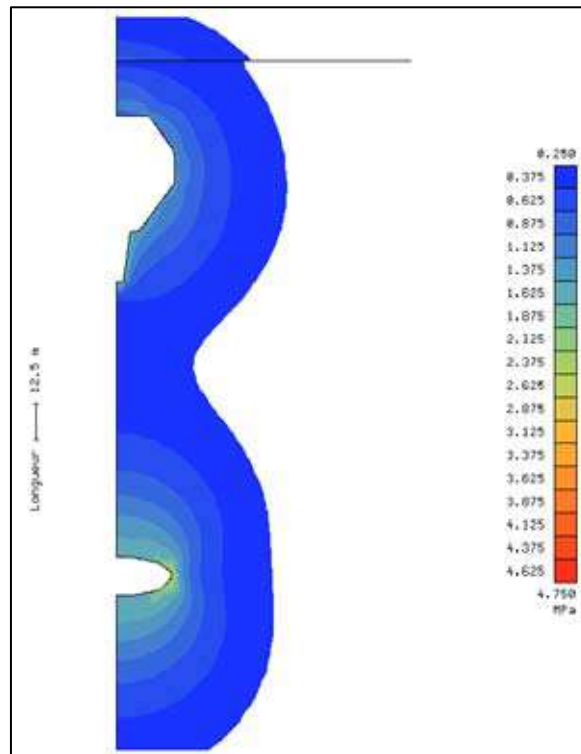


Figure 45 : Déviateur des contraintes dans les parois de la cavité S-791 à la fin du lessivage

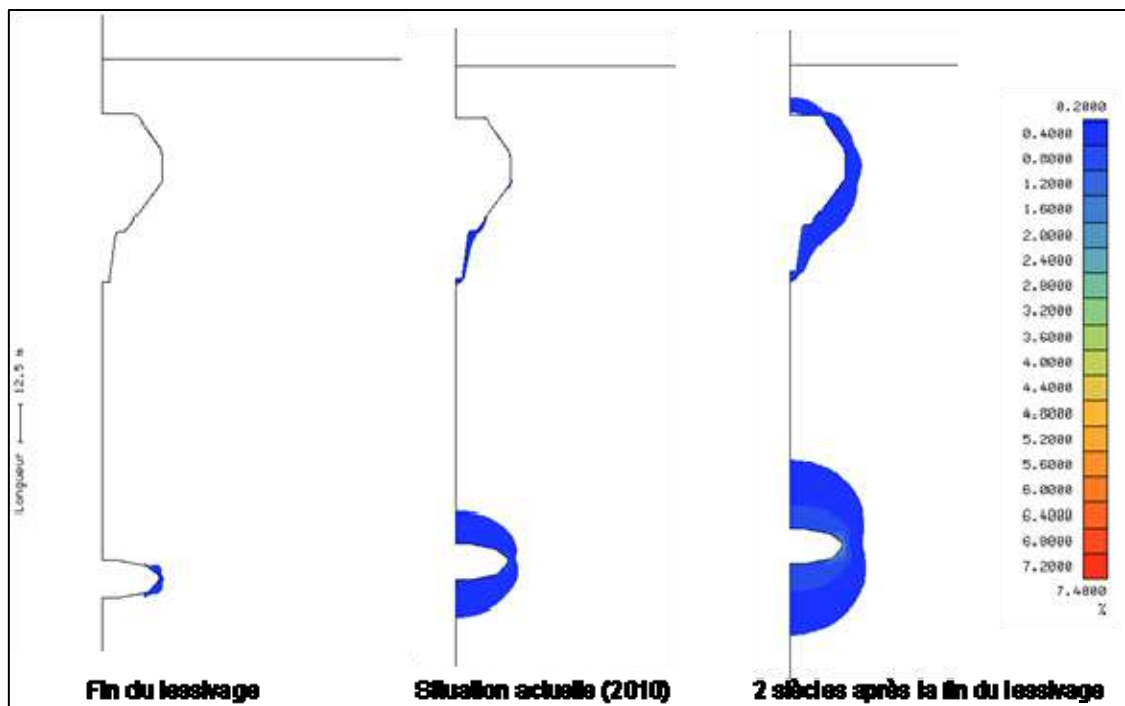


Figure 46 : Evolution dans le temps de la norme des déformations viscoplastiques dans les parois de la cavité S791 (seuil de 0.2 %)

4.9 Interaction entre les cavités S721 et S791

La cavité inférieure du sondage S791 se trouve suffisamment loin des autres cavités pour les affecter ou subir leur influence. C'est donc la cavité supérieure qui pourrait interagir avec la cavité S721 à la profondeur moyenne de 165 m comme le montre la figure 47.

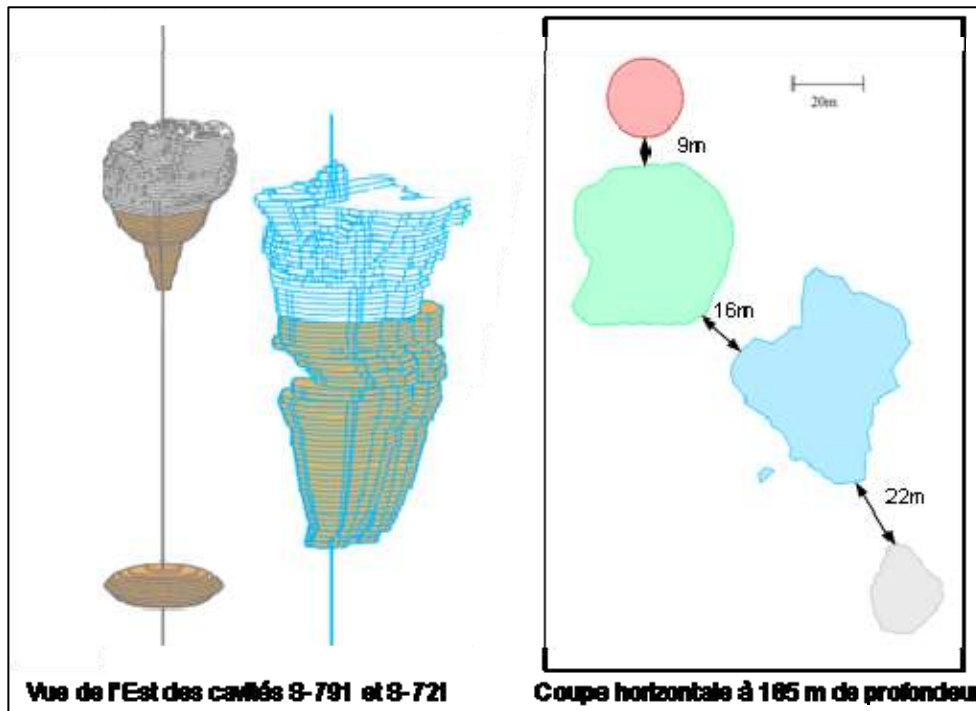


Figure 47 : Vue 3D et coupe horizontale à 165 m de profondeur montrant l'écartement entre les cavités S-721 et S791

La zone viscoplastique au niveau du parement de la cavité S721, à la profondeur 165 m, s'étend sur une épaisseur de l'ordre de 14 m comme on a pu le voir sur la figure 40. Au niveau de la cavité supérieure du sondage S791, cette zone a une extension de l'ordre de 11 m à cette même profondeur (Fig. 48). Le pilier nécessaire permettant d'éviter toute interaction à long terme entre ces deux cavités serait ainsi de l'ordre de 25 m.

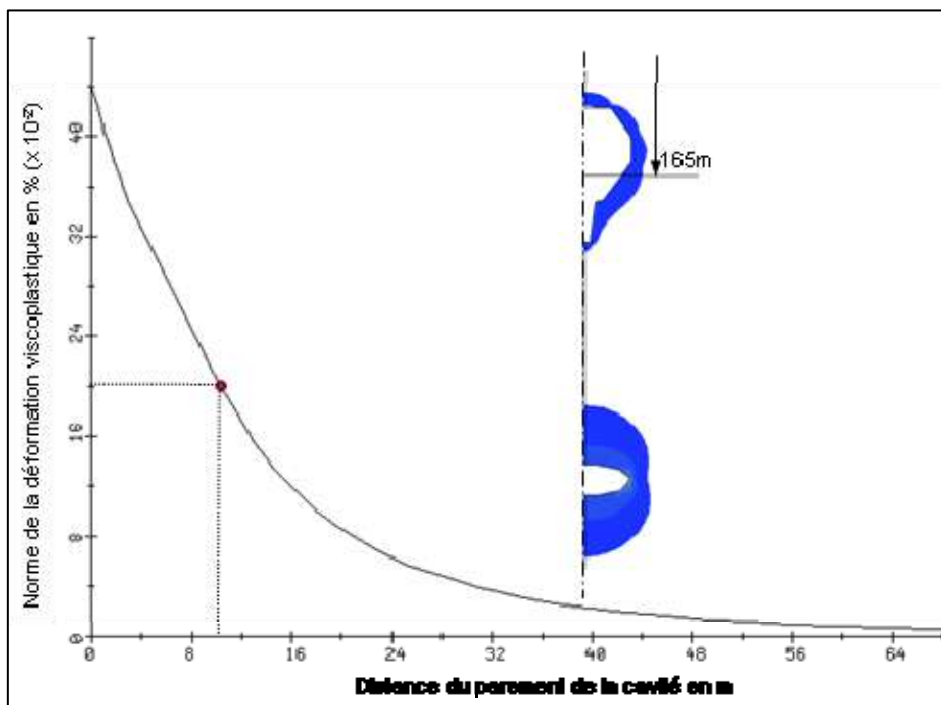


Figure 48 : Extension de la zone viscoplastique au niveau du parement de la cavités S-791 à la profondeur 165 m deux siècles après la fin du lessivage

Sur la figure 49, on a représenté à partir des coupes horizontales l'évolution de l'écartement entre ces deux cavités. Comme pour les cavités S-Sud et S-721, l'épaisseur minimale est très proche de la valeur requise (22 par rapport à 25 m) et l'extension de la hauteur où cette épaisseur est faible reste extrêmement limitée. C'est pour cette raison que nous considérons qu'il n'y a pas de risque particulier d'interaction entre les cavités S791 et S721.

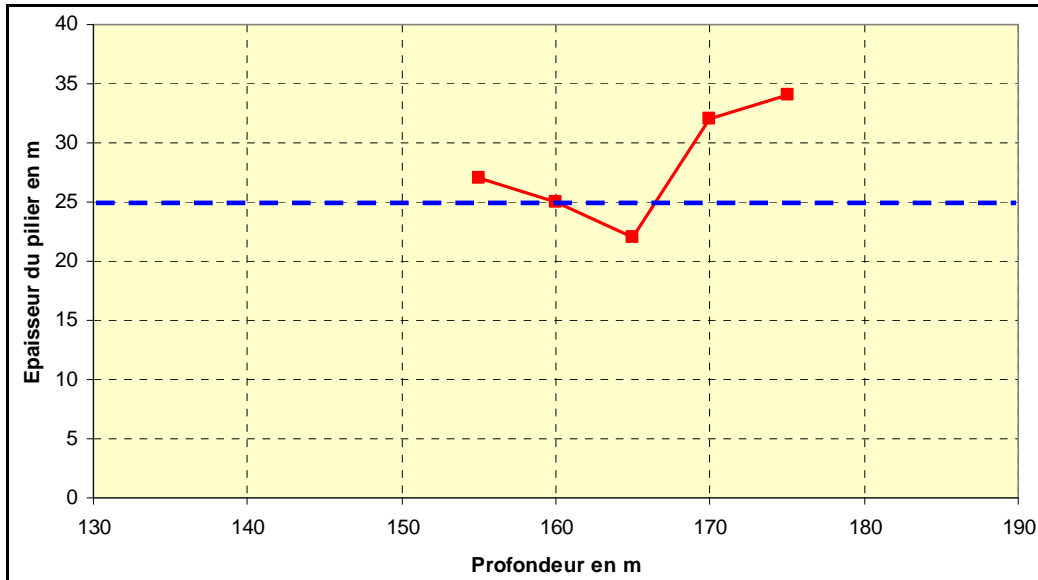


Figure 49 : Variation de l'épaisseur du pilier entre les cavités S-721 et S791 en fonction de la profondeur

4.10 Synthèse sur les interactions entre cavités

La simulation du comportement à long terme des cavités de St Pandelon, traitées chacune séparément comme un ouvrage isolé, a permis d'évaluer la zone à risque de chaque cavité, les possibilités de chevauchement de ces zones et enfin l'épaisseur minimale du pilier à conserver entre deux cavités adjacentes pour éviter toute interaction possible.

Le critère admis pour évaluer l'extension de la zone à risque de chaque cavité est purement empirique et repose sur l'utilisation d'un seuil sur la norme des déformations viscoplastiques irréversibles dans les terrains salifères. Comme souligné dans le paragraphe 4.1, ce seuil varie entre un dixième de pourcent et plusieurs pourcents selon la fluabilité du sel et la durée envisagée. En cohérence avec l'étude de 2005, nous avons considéré que la zone entourant la cavité dans laquelle la norme du tenseur de déformation viscoplastique est supérieure à 0.1 % par siècle ne doit pas toucher des interfaces avec d'autres couches géologiques ni rencontrer des zones équivalentes liées à d'autres cavités exploitées.

Sur la base de ce seuil, la principale conclusion à retenir sur les interactions possibles entre les différentes cavités concerne la forte interférence entre les cavités S-Nord et S-Sud notamment au niveau des horizons situés aux profondeurs 155 à 175 m et 195 à 220 m. L'épaisseur moyenne réelle du pilier est égale à environ 17 m par rapport à une valeur moyenne requise de l'ordre de 23 m. Pour ce qui est des interactions entre les cavités S-Sud et S721, d'une part, et S721 et S791, d'autre part, les zones d'interférence sont extrêmement limitées en épaisseur et ne présentent pas à nos yeux des risques notables.

Notons que la limite de 0.1 % par siècle constitue un seuil relativement sévère et intègre une marge de sécurité en particulier pour ce sel qui est relativement fluant (indice de fluage de 4.2 %). Lorsque l'on admet, par exemple, un seuil égal au double de cette valeur (0.2 % par siècle), l'épaisseur minimale du pilier à maintenir entre les cavités S-Nord et S-Sud, à la profondeur de 195 m, serait réduite presque de moitié (11 m par rapport à 23 m). C'est

d'ailleurs par ce que nous savons que nous avons opté pour un critère sécuritaire que nous n'avons pas accordé d'importance aux zones d'interférence très limitées identifiées entre les cavités S-Sud et S721 et entre S721 et S791.

Il est aussi important de préciser que la présence d'insolubles et de boue saturée en saumure ne modifie pas fondamentalement les conditions de stabilité des cavités salines. En effet, les études effectuées par la société ont montré que vu la température régnante à la profondeur des cavités, il n'y aurait pas de réactions physico-chimiques particulières entre ces matériaux et les terrains encaissants qui conduiraient, soit à des phénomènes de dissolution ou de modification du fluage du sel, soit à une recristallisation et l'apparition d'une cohésion dans la boue. Par ailleurs, notre expérience avec ce genre de matériaux montre que c'est surtout la saumure qui joue le rôle primordial et que les particules solides ne modifient quasiment pas la répartition des contraintes dans les parois des cavités. Elles contribuent faiblement au confortement des parois de la cavité et permettent par voie de conséquence de réduire légèrement la variation relative du volume, la subsidence en surface et les déformations viscoplastiques.

Cependant, même en réduisant la marge de sécurité au niveau du seuil de la norme des déformations viscoplastiques et même en tenant en compte de la présence favorable d'insolubles et de boue dans les cavités S-Nord et S-Sud, nous considérons que l'interaction entre ces deux cavités présente un risque à la fois pour leur stabilité et pour les mouvements de surface qu'il est nécessaire d'évaluer.

Ce risque peut se manifester sous l'une des deux formes suivantes :

- une rupture brutale (donc dynamique) du pilier entre les deux cavités suivie d'un affaissement rapide en surface,
- une rupture progressive de ce pilier accompagnée d'une subsidence qui augmente lentement.

La première forme nous paraît très peu probable car la phase la plus critique du point de vue répartition des contraintes correspond à la fin du lessivage. Cette phase est finie depuis 1984 et aucune évolution particulière n'a été mise en évidence ni par les mesures sonar ni par les nivellements de surface. Par ailleurs, l'homogénéité des terrains (dôme de sel) exclut tout phénomène singulier de type poinçonnement ou extrusion qui pourrait causer une telle instabilité (phénomène observé en présence de terrains argileux par exemple).

C'est donc la deuxième forme d'instabilité qui est la plus plausible. Elle peut être causée soit par une dissolution incontrôlée qui viendrait affaiblir lentement le pilier séparant les deux cavités jusqu'à sa disparition totale, ou un écaillage progressif qui aboutirait à la même situation. La surveillance de la géométrie des cavités par les mesures sonar constitue un outil très efficace pour suivre l'évolution de l'épaisseur de ce pilier (établissement des coupes horizontales et comparaison entre deux dates successives). De la même façon, les mesures de nivellement permettraient de déceler une telle évolution en mettant en évidence un changement significatif dans l'allure de la subsidence à la surface de ces deux cavités.

Pour rendre compte de la subsidence qui serait induite par une telle situation, nous avons élaboré un modèle extrême dans lequel nous avons simulé la disparition totale du pilier entre les deux cavités. La géométrie de la cavité équivalente a été définie manuellement en s'inspirant de la géométrie de chacune des deux cavités. Le toit de la cavité se trouve à la côte -137 m et celui du sel, à la côte -105 m (Fig. 50). Nous avons simulé la création de cette cavité dans les mêmes conditions que les cavités S-Nord et S-Sud avec les trois dates habituelles : fin de lessivage, date actuelle et deux siècles après la fin du lessivage. Les résultats sont aussi présentés de la même façon que dans les cas précédents (Fig. 51 à 55).

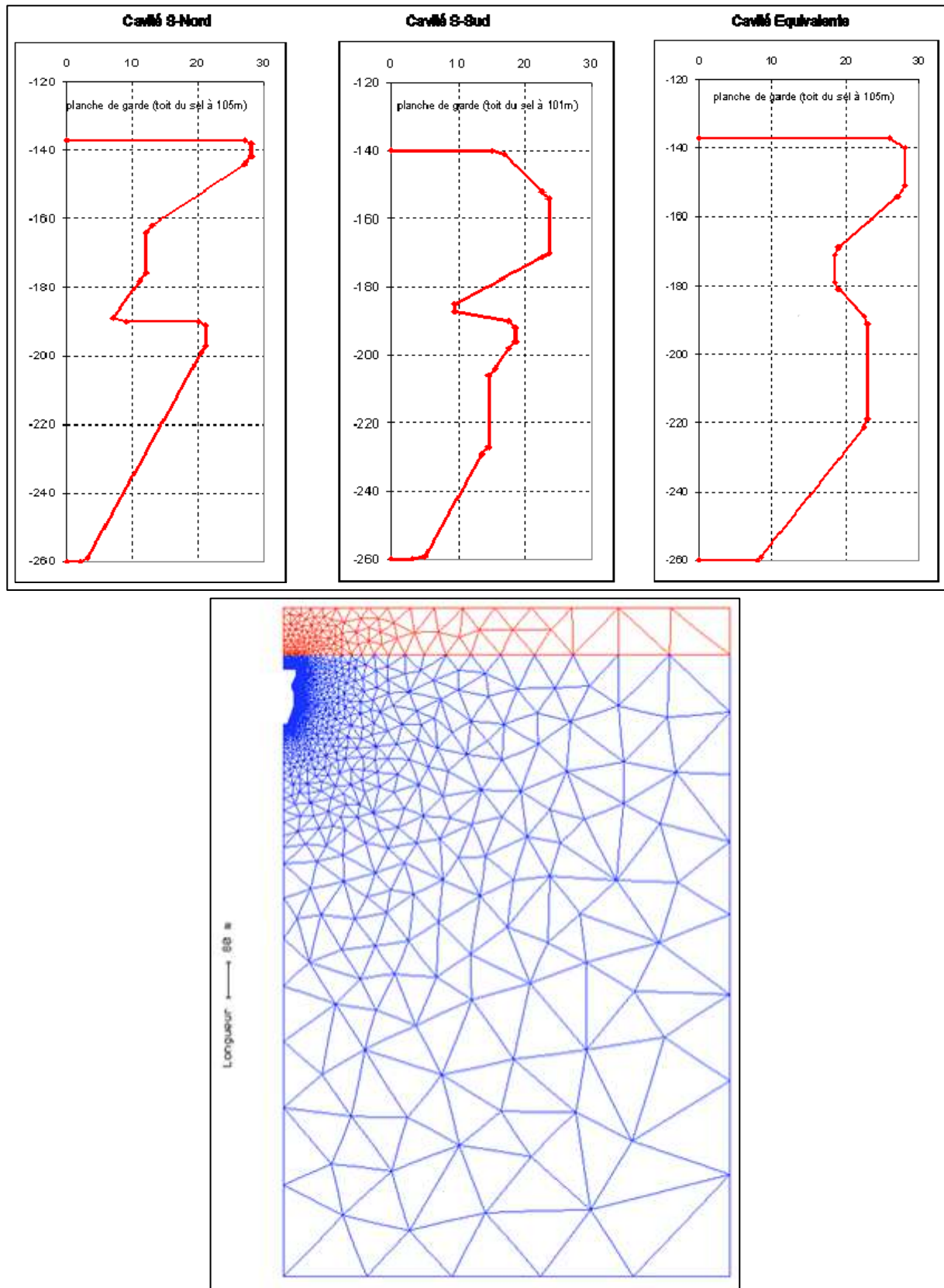


Figure 50 : Cavité équivalente pour rendre compte de la disparition du pilier entre les cavités S-Nord et S-Sud et maillage associé

La diminution relative du volume de la cavité équivalente reste relativement faible (de l'ordre de 1 %) et la subsidence verticale en surface à la fin de la phase simulée est aussi millimétrique (inférieure à 0.6 cm). La répartition des contraintes dans les terrains est aussi

favorable avec l'absence de contraintes de traction et des faibles valeurs du déviateur des contraintes.

Etant donné le choix d'une géométrie régulière pour la cavité équivalente, la zone viscoplastique la plus importante est surtout localisée à la base de la cavité. On note aussi le développement d'une zone viscoplastique au toit qui s'étend sur une hauteur de l'ordre de 15 m. Cette zone ne présente aucun risque pour la stabilité car l'épaisseur de la planche de sel reste suffisamment importante.

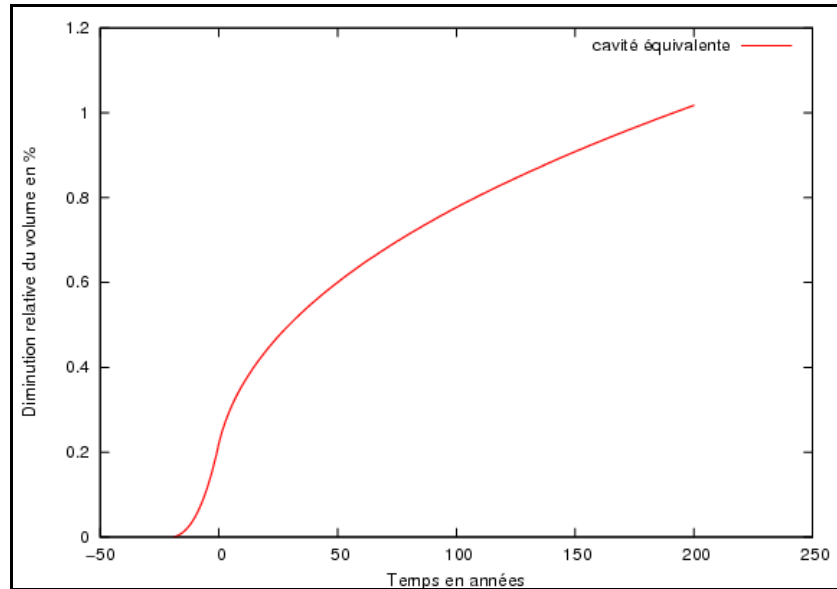


Figure 51 : Variation relative du volume de la cavité équivalente (la date zéro correspond à la fin du lessivage)

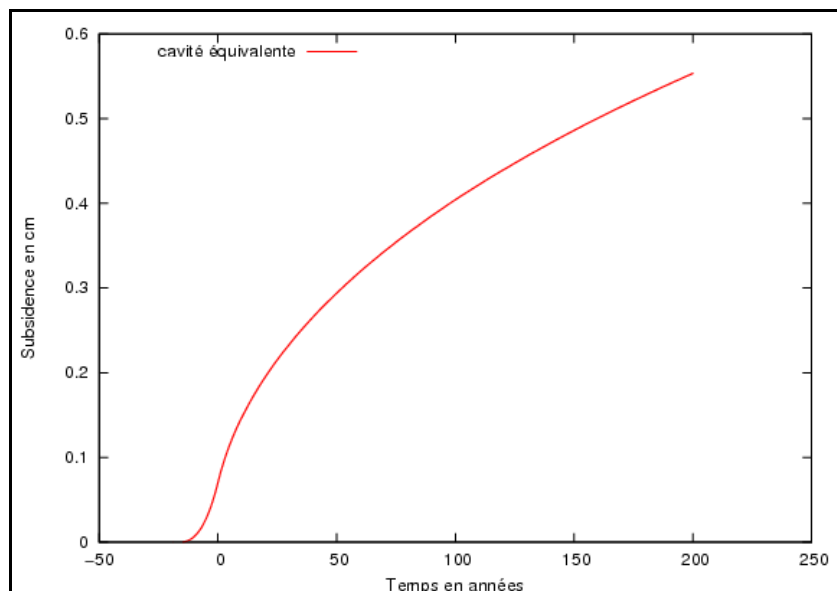


Figure 52 : Evolution de la subsidence verticale de la surface au centre de la cavité équivalente

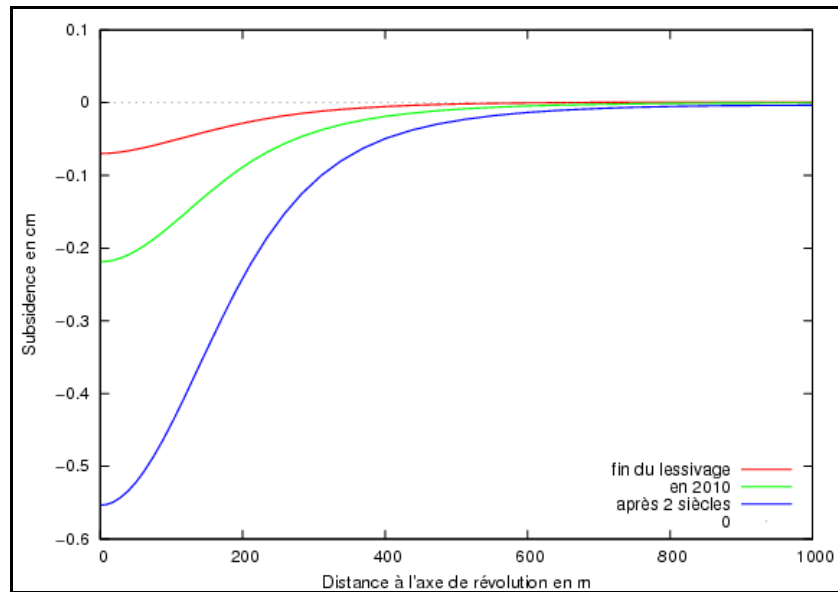


Figure 53 : Cuvette de subsidence liée à la cavité équivalente à la fin du lessivage, à la date actuelle et deux siècles plus tard

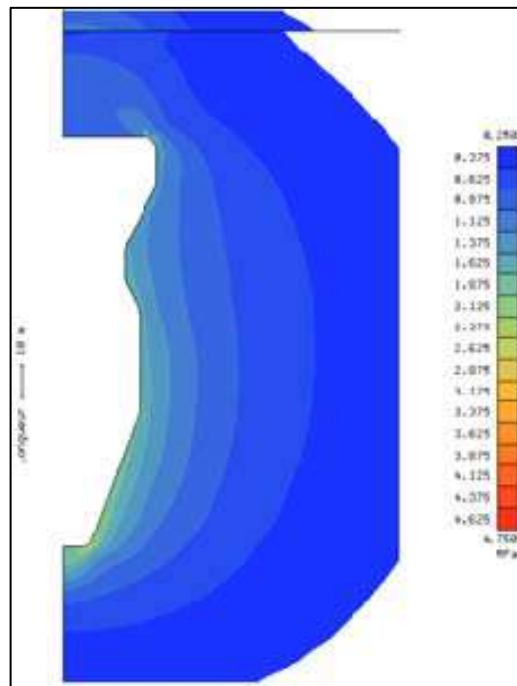


Figure 54 : Déviateur des contraintes dans les parois de la cavité équivalente à la fin de la phase de lessivage

En définitive, nous considérons que la disparition lente du pilier entre les cavités S-Nord et S-Sud ne modifie pas fondamentalement les conditions de stabilité et des mouvements de surface. Cependant, comme les cavités seront bientôt totalement pleines de boue d'épuration de saumure, il ne sera plus possible d'effectuer des mesures sonar pour contrôler leurs formes ni l'épaisseur du pilier qui les sépare, nous recommandons la poursuite régulière des mesures de nivellement de surface, voire leur renforcement dans cette zone, pour détecter tout changement dans l'allure de la subsidence qui serait le résultat de la dégradation de l'état du pilier.

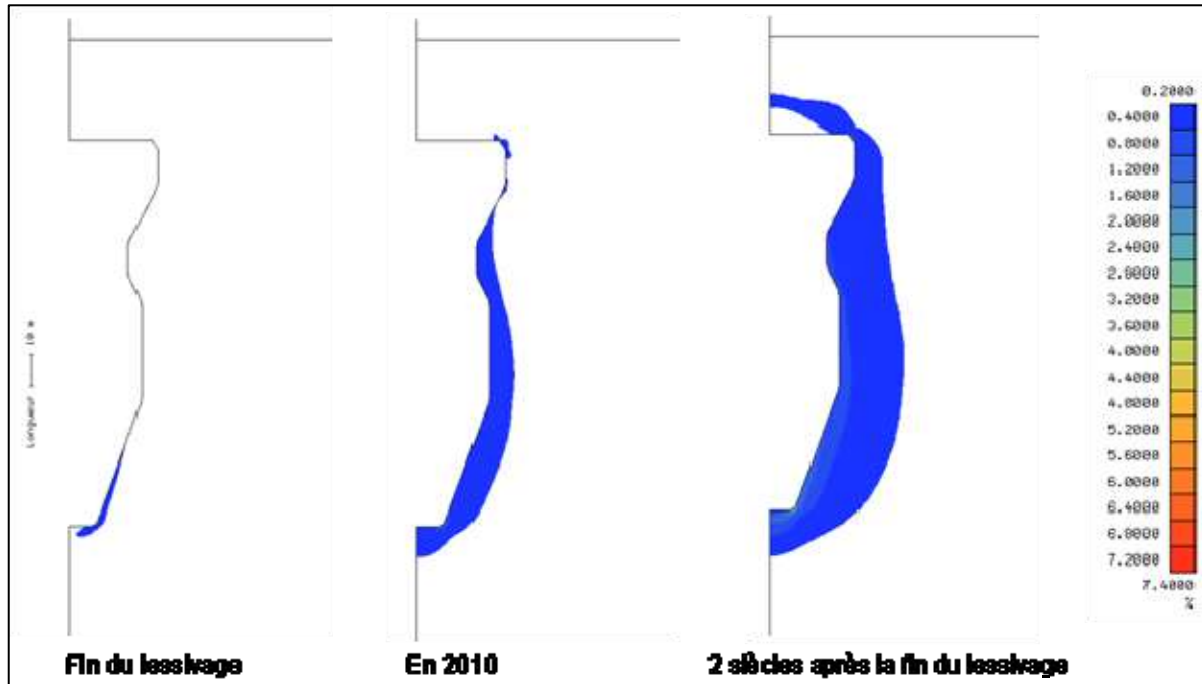


Figure 55 : Evolution dans le temps de la norme des déformations viscoplastiques dans les parois de la cavité équivalente (seuil de 0.2 %)

5. CONCLUSIONS

L'objectif principal de cette étude était d'examiner la stabilité à long terme de l'exploitation par dissolution de Saint Padelon ainsi que les interactions possibles entre l'ancienne exploitation et les cinq cavités actuelles.

Pour atteindre cet objectif, nous avons commencé par analyser les mesures de nivellement dans le but de comprendre les mouvements de surface et les conditions de stabilité des ouvrages au fur et à mesure du développement de l'exploitation ainsi que les effets éventuels de l'ancienne exploitation.

Les principaux résultats que l'on peut retenir de l'analyse des mesures de nivellement peuvent être résumés comme suit :

- Les têtes des sondages des cinq cavités n'indiquent aucun mouvement significatif en surface lié à l'exploitation par dissolution.
- Deux zones importantes font l'objet actuellement de mouvements significatifs : la première zone est située entre l'effondrement de 1982 et les deux cavités des sondages Nord et Sud (bornes 9, 10, 11 et 23), et la seconde zone est liée à l'ancienne exploitation et à l'effondrement important survenu en 1905 (bornes 2 à 6, 14 et 27).
- Les mouvements de la première zone sont induits par l'effondrement de 1982 et ont subi une accélération avec l'effondrement de 1986. L'amplitude maximale enregistrée depuis le début des mesures est égale à 40 cm et concerne la borne 10. L'accélération du mouvement s'est étalée jusqu'en 1997, puis la vitesse s'est stabilisée autour de 2.34 mm/an pour la borne 10, et 0.62 mm/an, pour la borne 9.
- La seconde zone est marquée par une première phase de subsidence qui s'est stabilisée vers la fin 1990, suivie d'une légère reprise à partir de 1996 (bornes 3 et 6). L'amplitude maximale du mouvement est de 8 cm et la vitesse, moins importante par rapport à la première zone, varie entre 1 et 0.55 mm/an.

Ces résultats ont permis de formuler les recommandations pratiques suivantes :

- S'assurer de la validité des mesures en justifiant et en éliminant les sauts observés au niveau de plusieurs bornes ainsi que les mouvements de surrection de la surface.
- Surveiller attentivement la première zone faisant l'objet de mouvements significatifs. C'est surtout l'effet de l'ancienne exploitation qui est à craindre et qui peut se manifester, comme par le passé, par le développement de zones de lessivage incontrôlé. Nous préconisons à cet égard le remplacement des bornes 12 et 13 qui couvraient en plus cette zone.
- Surveiller également la partie Nord de l'ancienne exploitation en particulier au niveau de la borne 3 qui indique une reprise du mouvement depuis 1996 avec une vitesse de l'ordre de 1 mm/an. De la même façon, nous recommandons le renouvellement des bornes 2, 4 et 5 dans cette zone.

La géométrie des cinq cavités actuelles constitue un problème tridimensionnel incontournable. Face à la lourdeur de mise en œuvre de ce genre de modèle, nous avons procédé avec une approche simple qui consiste à traiter chacune des cavités séparément, puis à examiner ses zones d'influence afin de déduire les possibilités d'interactions et de chevauchements entre les zones des cavités adjacentes ainsi que les risques d'endommagement des piliers les séparant. Il s'agit là d'une approche classique relativement assise. Cependant, pour en valider *a posteriori* les résultats, il serait intéressant d'envisager une étude avec un modèle tridimensionnel qui prendrait en compte la géométrie relativement complexe des piliers qui séparent certaines cavités.

Les nombreuses simulations effectuées ont conduit aux résultats suivants :

- La cavité S811 se comporte comme une cavité isolée. Elle n'a aucune incidence sur les quatre autres cavités, et réciproquement, ne subit pas leur influence. L'étude de 2005 a préconisé une extension de la cavité en hauteur avec un toit arrondi jusqu'à la côte -365 m. A la fin de la phase de lessivage, la subsidence maximale en surface serait de 2 cm et au bout de deux siècles, cette subsidence serait inférieure à 12 cm.
- Les deux cavités du sondage S791 se comportent aussi pratiquement comme des cavités isolées. Seule la cavité supérieure interagit très localement avec la cavité S721 sans présenter des risques particuliers pour la stabilité et les mouvements de surface.
- De la même façon, la zone d'interférence entre les deux cavités S-Sud et S721 est extrêmement limitée en épaisseur et ne présente pas à nos yeux des risques significatifs.
- Les deux cavités S-Nord et S-Sud interagissent fortement notamment au niveau des horizons situés aux profondeurs 155 à 175 m et 195 à 220 m. L'épaisseur moyenne du pilier est plus faible par rapport à la valeur requise (17 m par rapport à 23 m).
- La présence d'insolubles et de boue saturée en saumure dans ces deux cavités ne modifie pas fondamentalement leurs conditions de stabilité. Les études effectuées par la société ont montré qu'il n'y aurait pas de réactions physico-chimiques particulières entre ces matériaux et les terrains encaissants qui conduiraient, soit à des phénomènes de dissolution ou de modification du fluage du sel, soit à une recristallisation et l'apparition d'une cohésion dans la boue. Notre expérience avec ces matériaux montre aussi que c'est surtout la saumure qui joue le rôle primordial et que les particules solides interviennent favorablement, mais d'une façon très limitée dans la répartition des contraintes, la convergence des parois, la subsidence en surface et les déformations viscoplastiques.
- La forte interaction entre les deux cavités S-Nord et S-Sud présente le risque important d'instabilité selon deux scénarii. Le premier consiste en une rupture brutale du pilier entre les deux cavités suivie d'un affaissement rapide en surface. Le second, une rupture progressive de ce pilier accompagnée d'une subsidence croissante lentement.

- Le premier mode de rupture nous paraît très peu probable car la phase la plus critique, du point de vue de la répartition des contraintes, correspond à la fin du lessivage. Cette phase est terminée depuis 1984 et aucune évolution particulière n'a été mise en évidence par les mesures sonar et par les nivellements de surface. L'homogénéité des terrains exclut aussi tout phénomène singulier de type poinçonnement ou extrusion qui pourrait causer une telle instabilité.
- C'est donc le second mode de rupture qui est le plus plausible. L'instabilité pourrait être causée dans ce cas par une dissolution incontrôlée qui affaiblirait lentement le pilier jusqu'à sa disparition totale, ou un écaillage progressif qui conduirait à la même situation.
- Le modèle numérique mis en œuvre pour rendre compte des conséquences de la disparition totale du pilier entre les deux cavités a montré que les conditions globales de stabilité seraient assurées et que les mouvements de surface induits seraient toujours de faible amplitude.
- Etant donné que les deux cavités seront bientôt totalement pleines de boue d'épuration de saumure et qu'il ne sera plus possible d'effectuer des mesures sonar pour contrôler leur forme et l'épaisseur de leur pilier, nous recommandons la poursuite régulière des mesures de nivellement de surface et leur renforcement dans cette zone pour détecter tout changement dans l'allure de la subsidence qui serait le résultat de la dégradation de l'état du pilier.

Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est

**Etude de la stabilité à long terme des cavités
de l'exploitation par dissolution de Saint Pandelon**

Annexes

F. HADJ-HASSEN

Mars 2010

Référence R100318FHAD

Annexe I : Données complémentaires sur les cavités actuelles

Annexe II : Profils des mouvements de surface

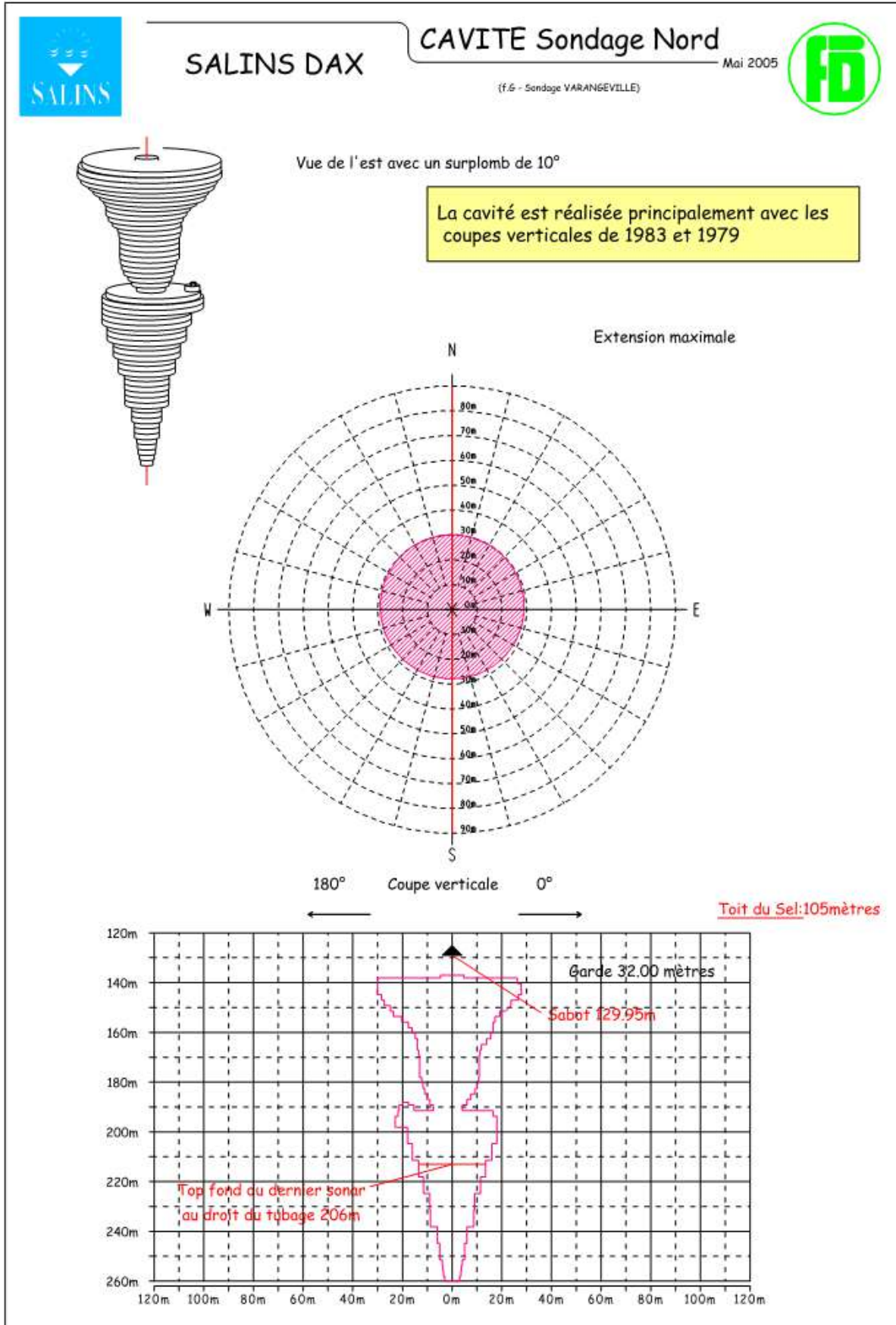


Figure AI.1 : Cavité du sondage S-Nord

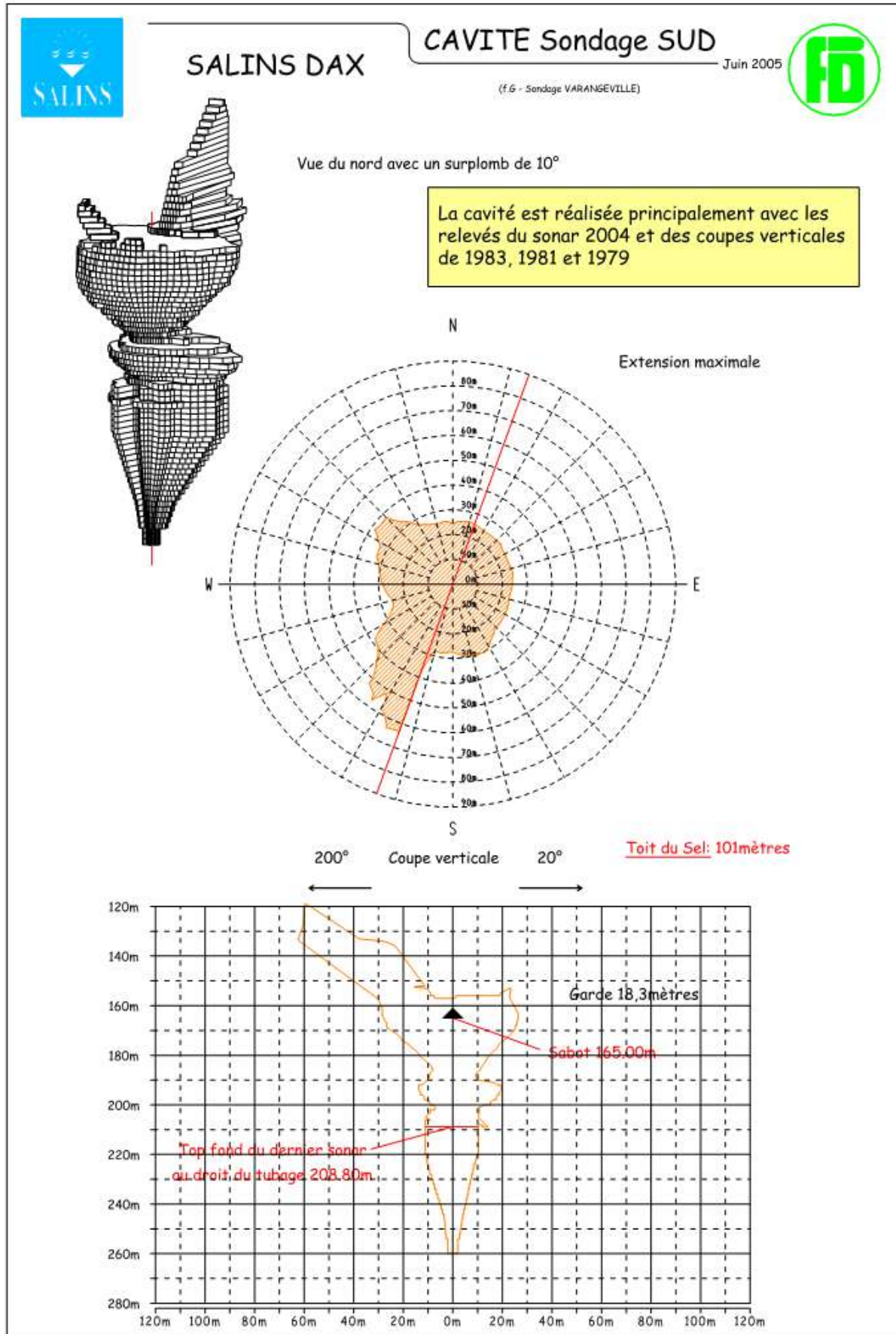


Figure A1.2 : Cavité du sondage S-Sud

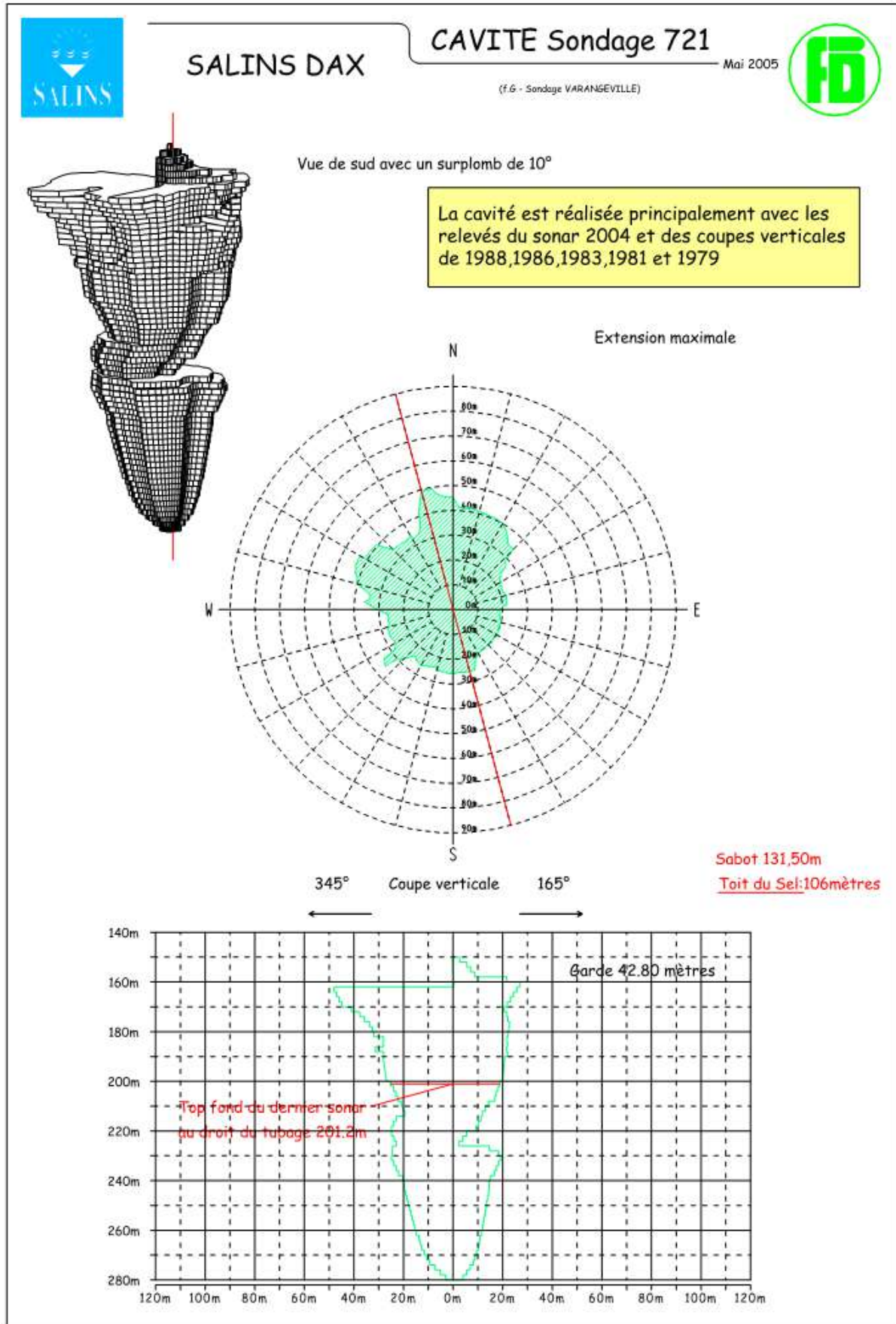


Figure AI.3 : Cavité du sondage S-791

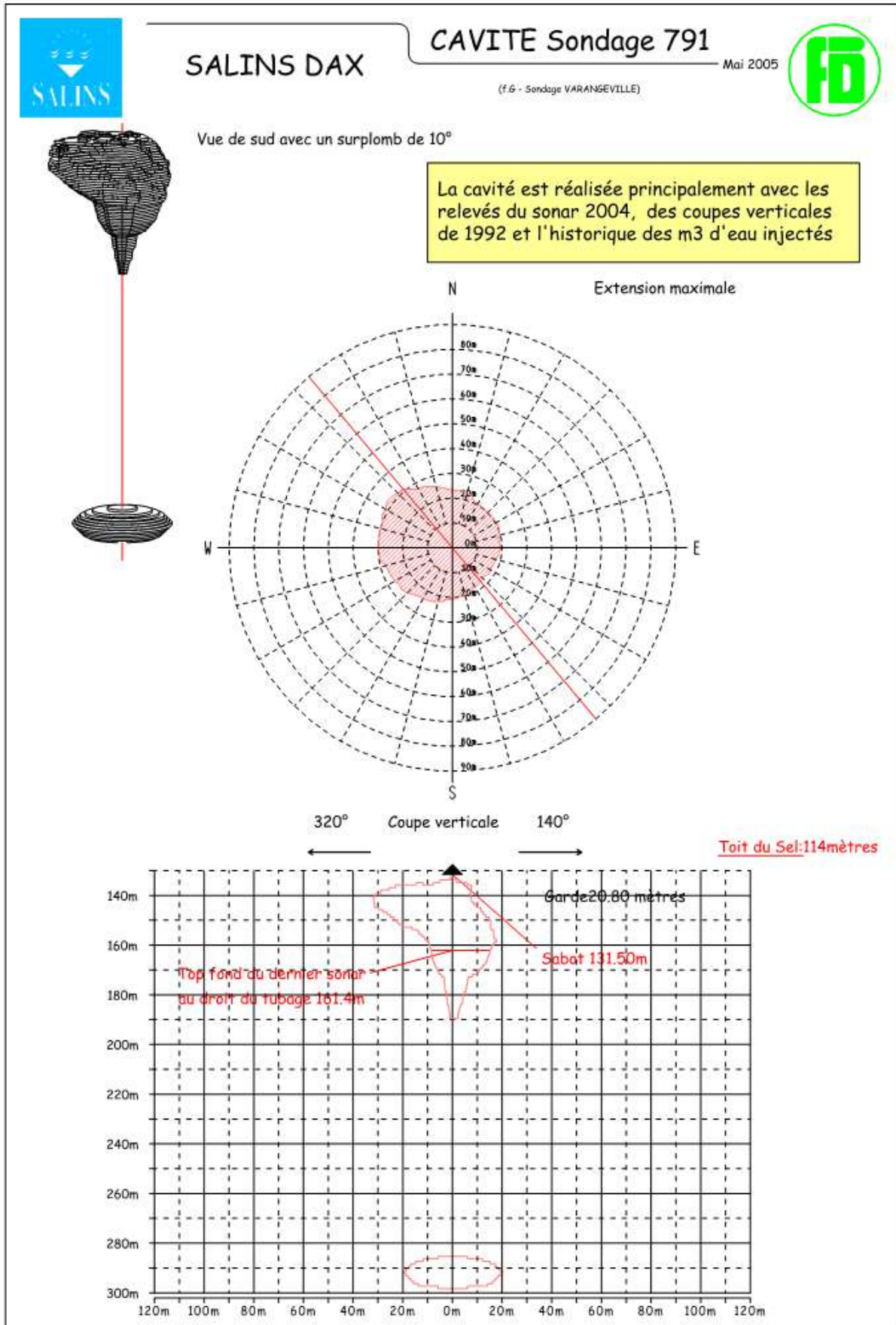


Figure A1.4 : Cavité du sondage S-791

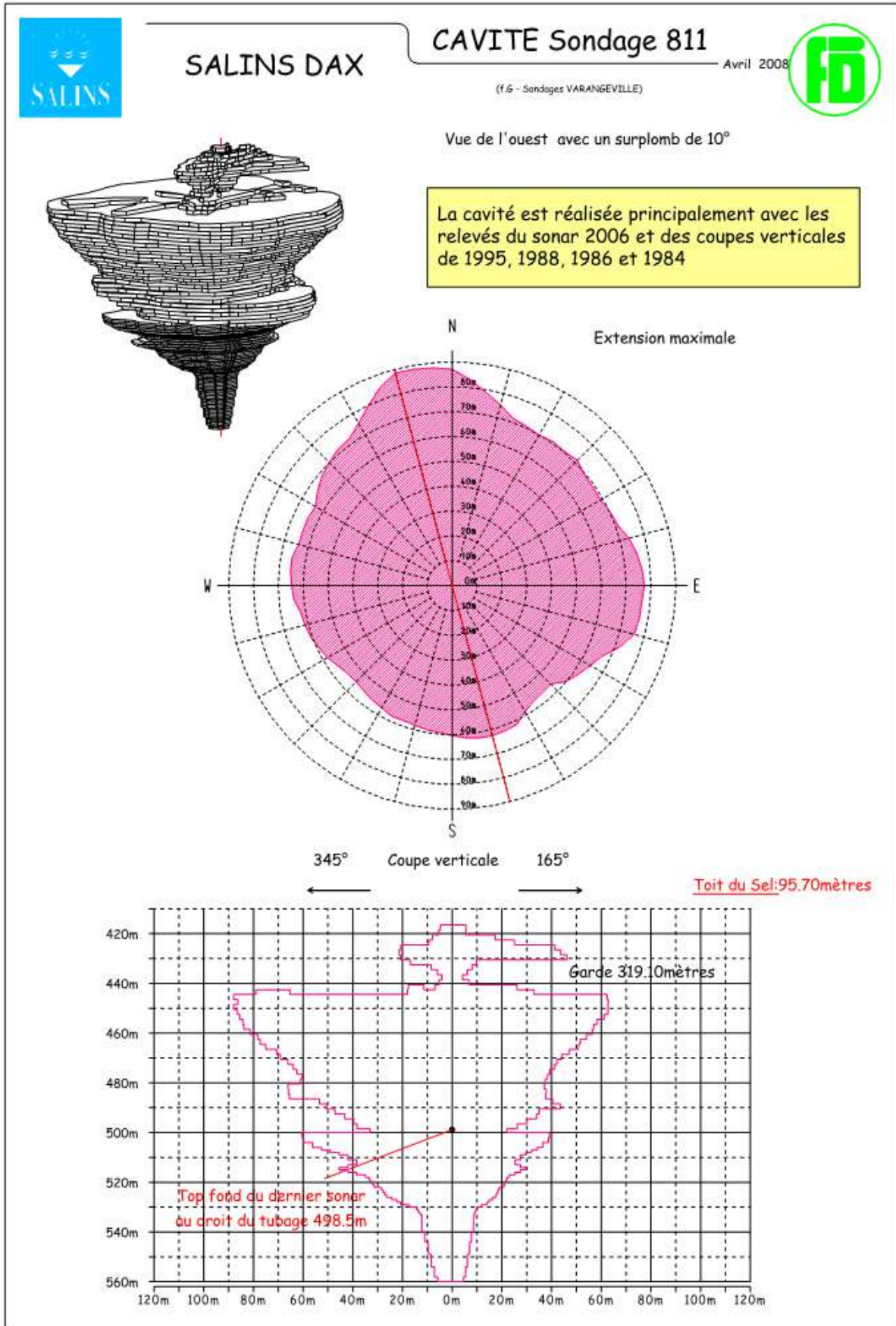


Figure A1.5 : Cavité du sondage S-811

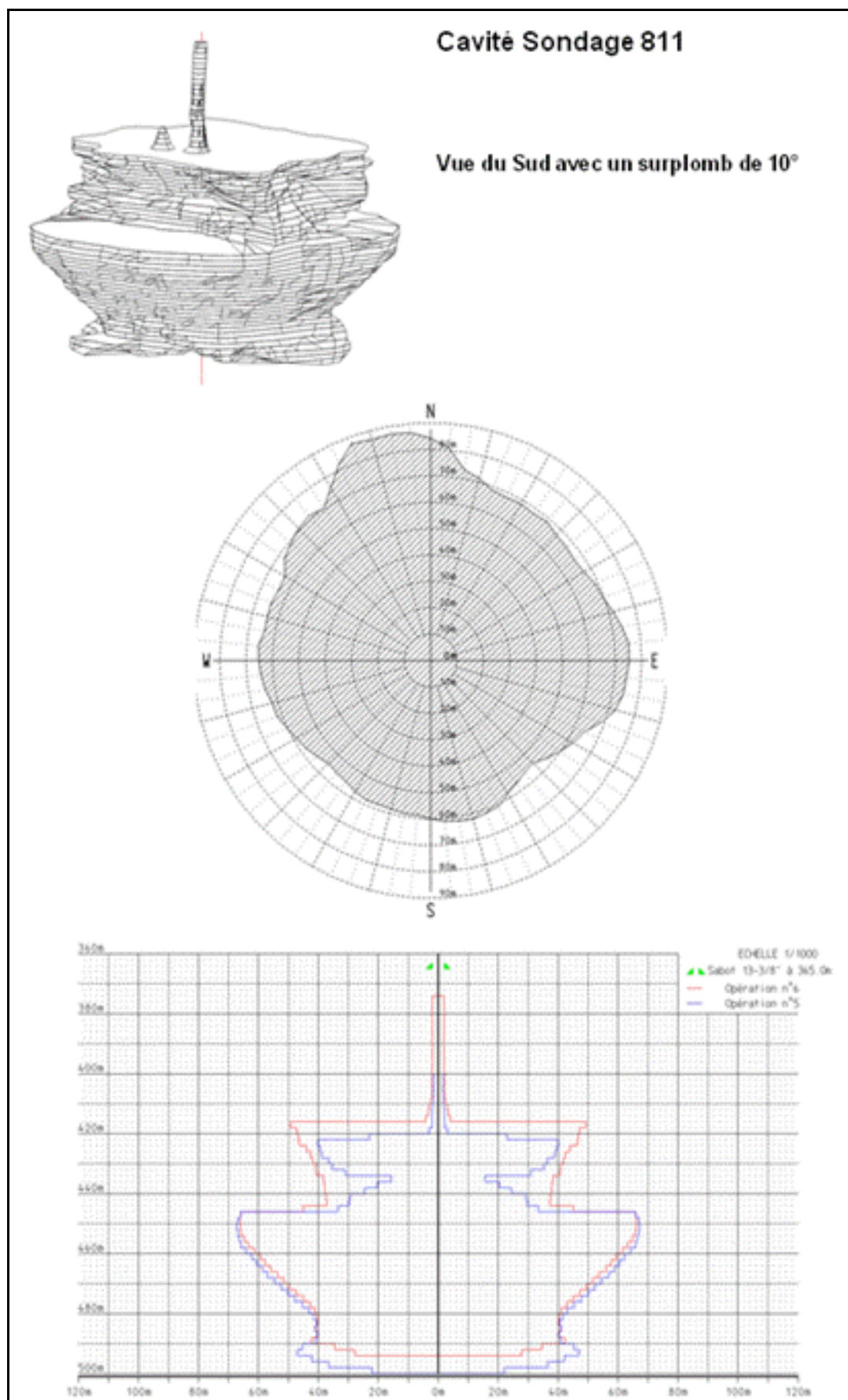


Figure Al.6 : Cavité du sondage S-811 (mise à jour avec les derniers relevés sonar du 13/08/2009)

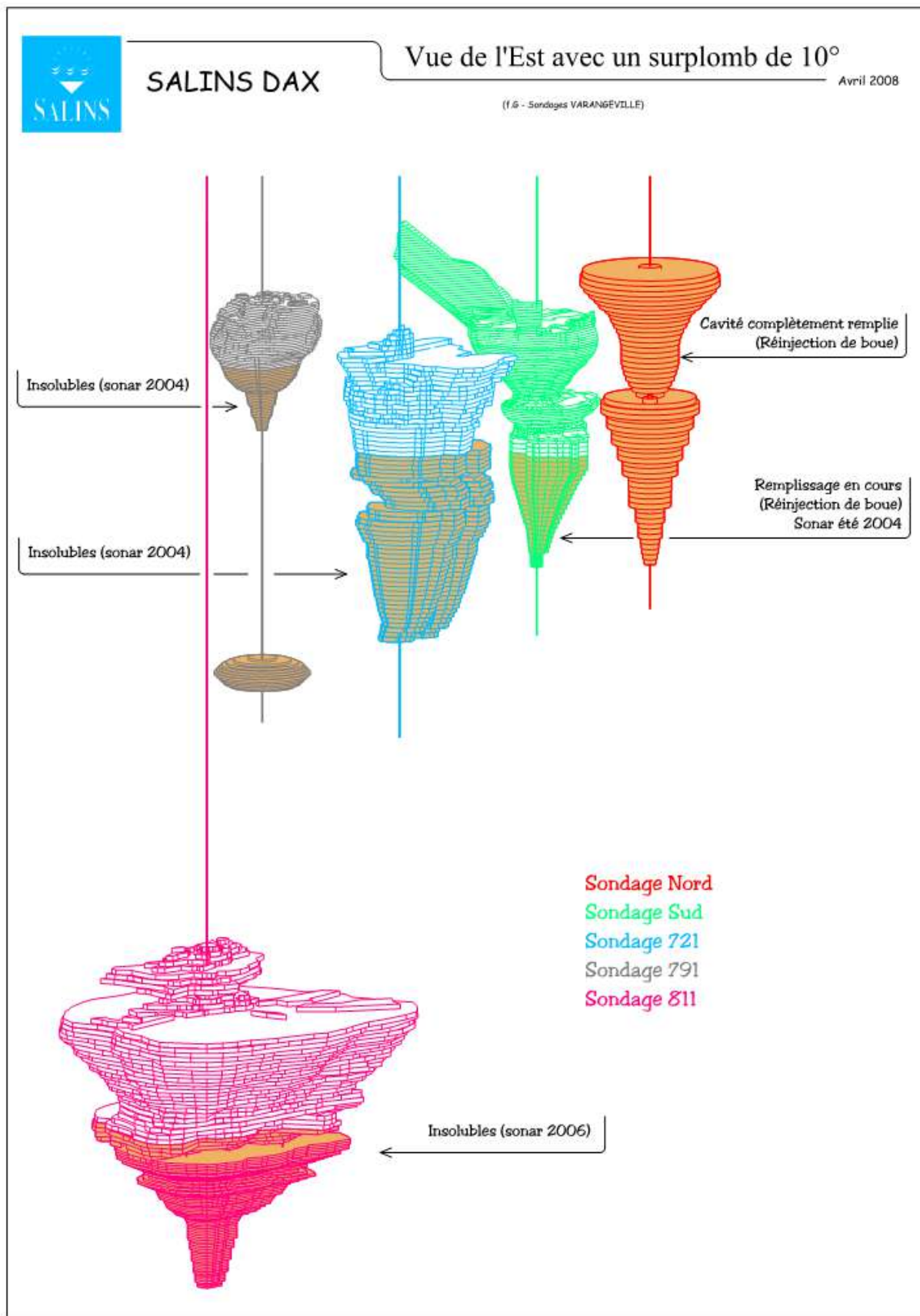


Figure A1.7 : Vue des 5 cavités

Saint Pandelon - Stabilité à long terme des cavités exploitées par dissolution
Annexe I

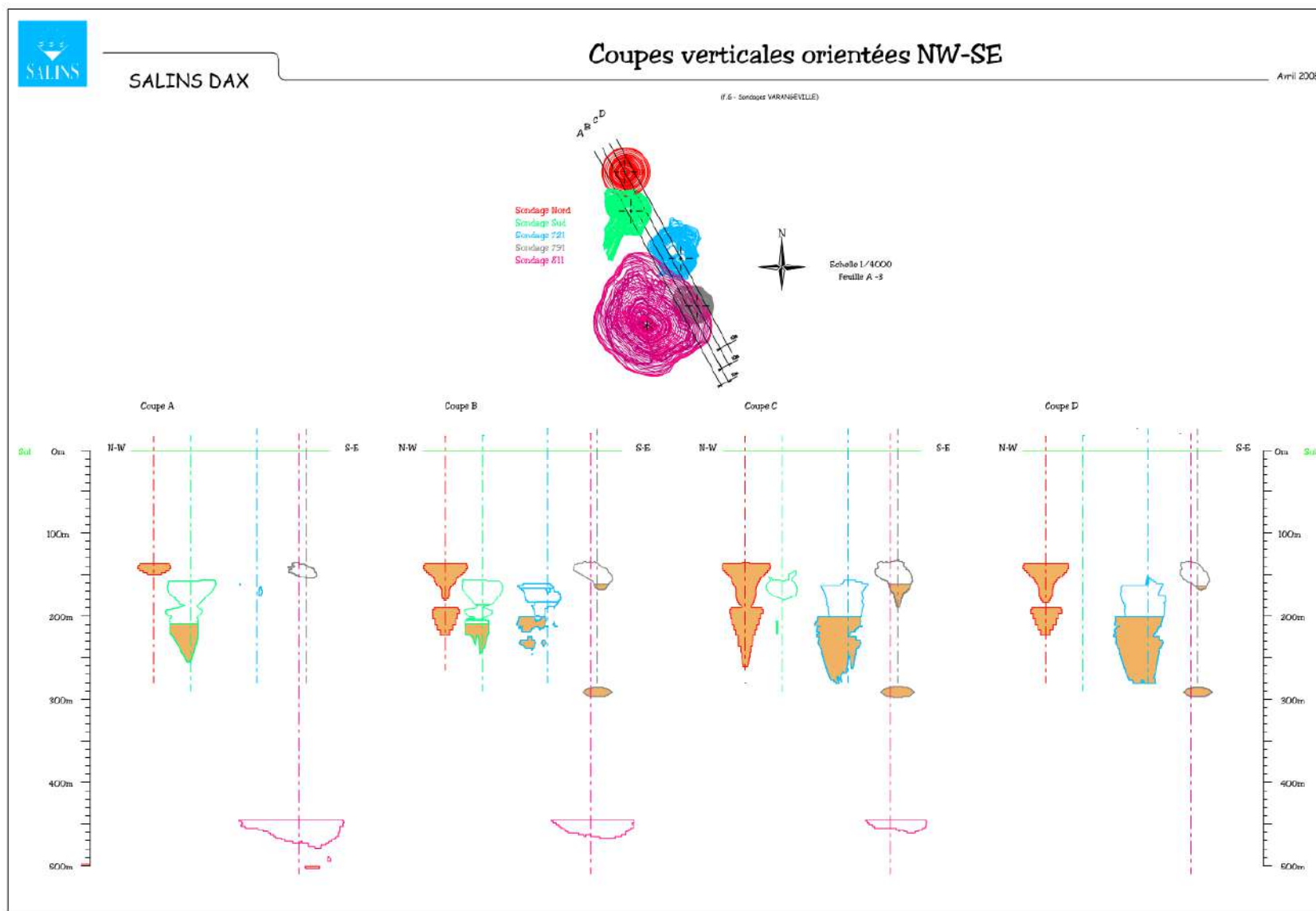


Figure A1.8 : Différentes coupes verticales montrant les écartements entre cavités

Saint Padelon - Stabilité à long terme des cavités exploitées par dissolution
Annexe I

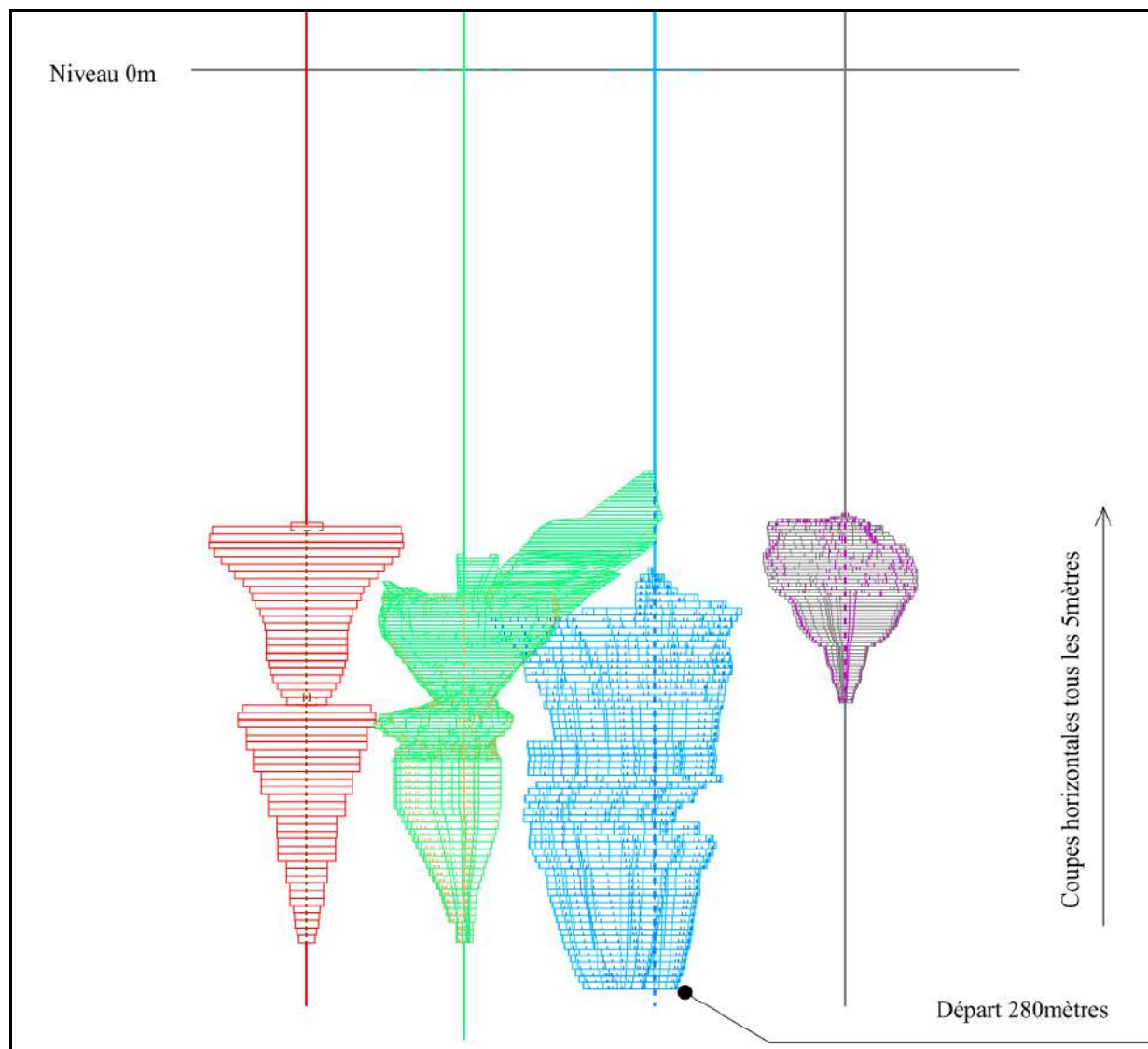


Figure Al.9 : Disposition des coupes horizontales

Saint Pandelon - Stabilité à long terme des cavités exploitées par dissolution
Annexe I

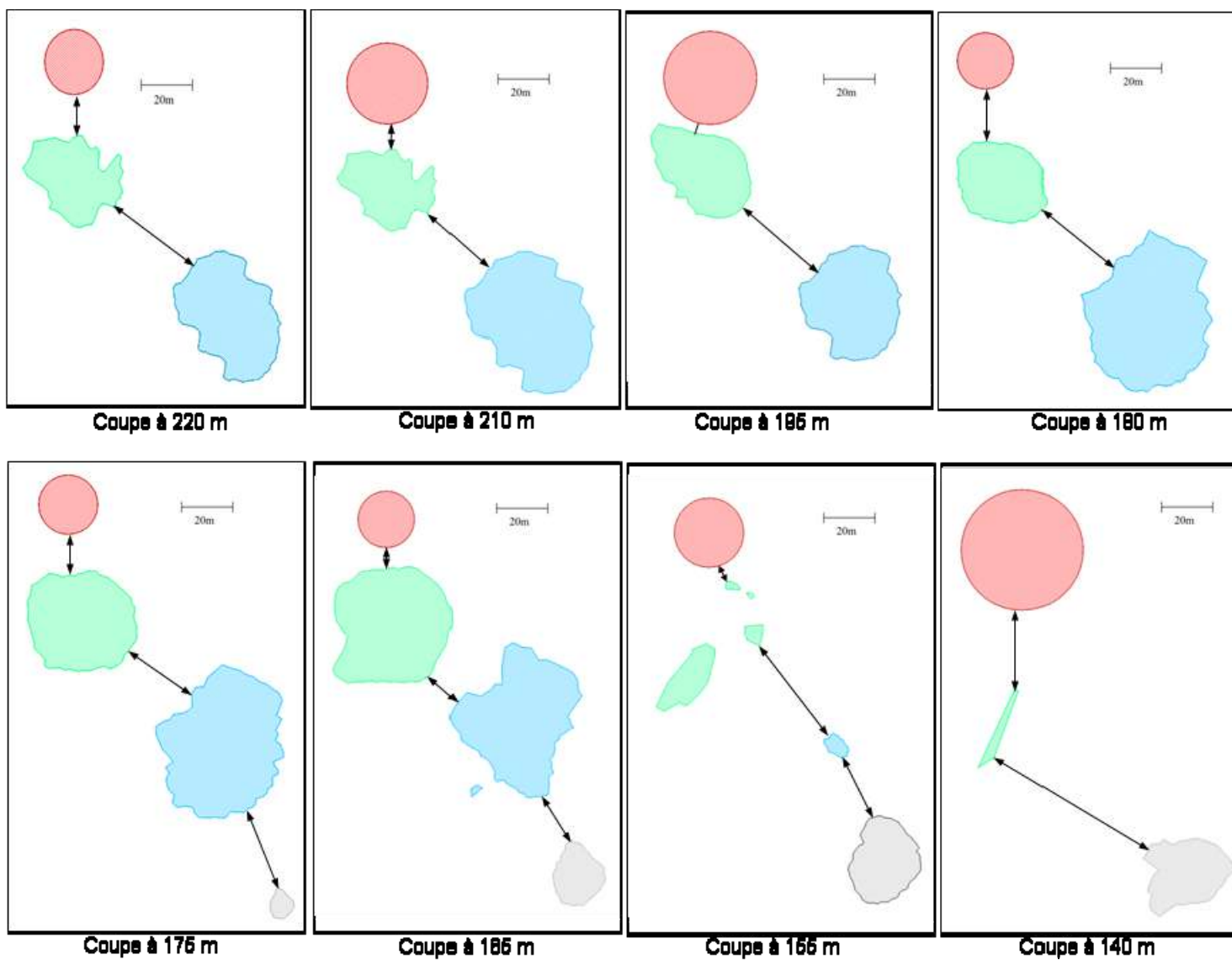
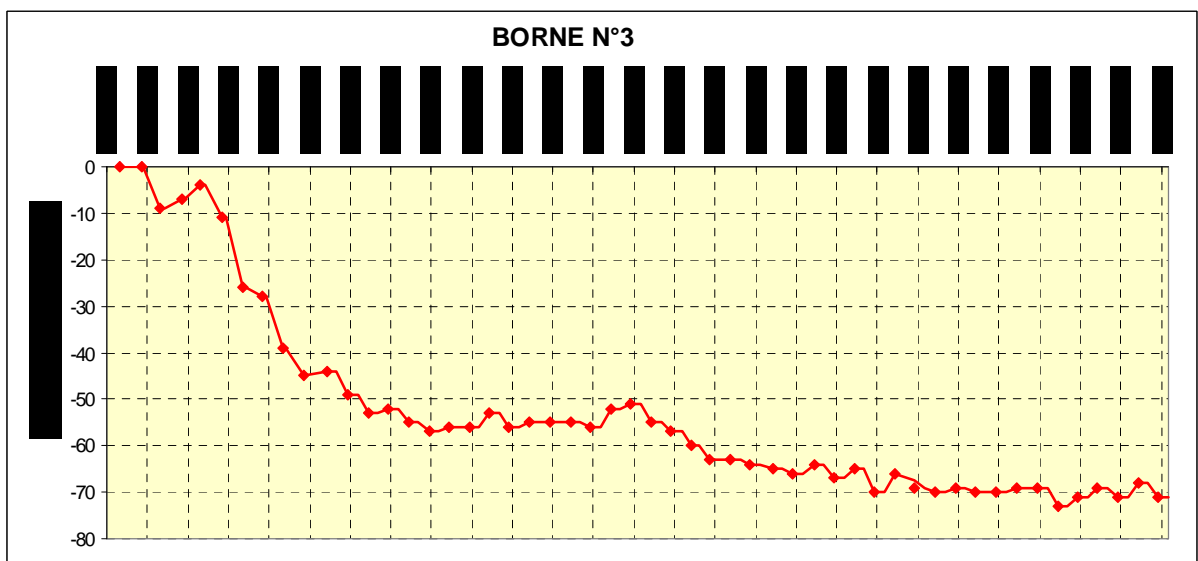
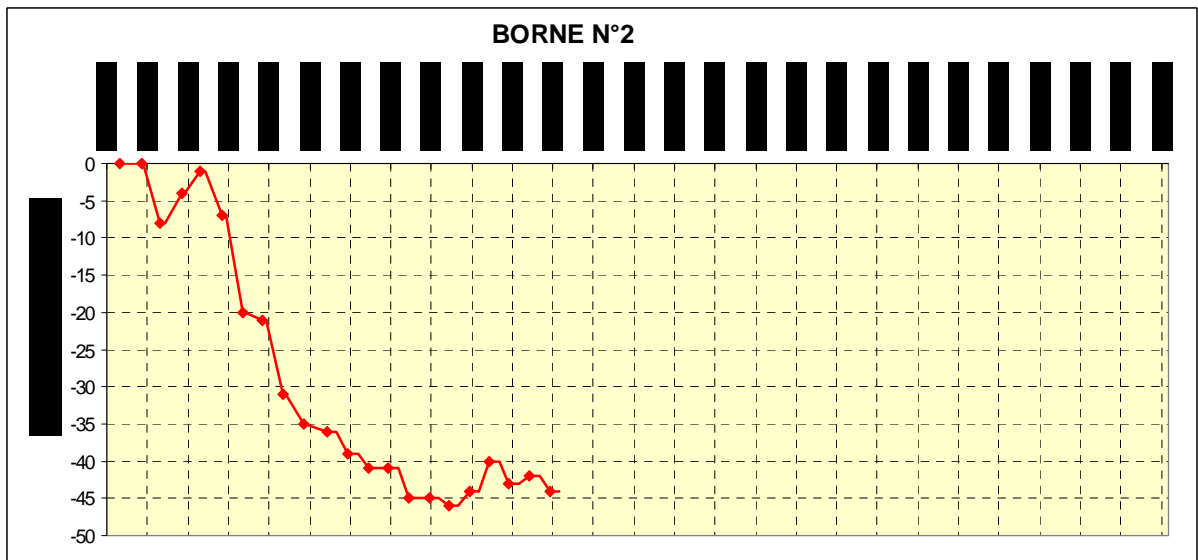
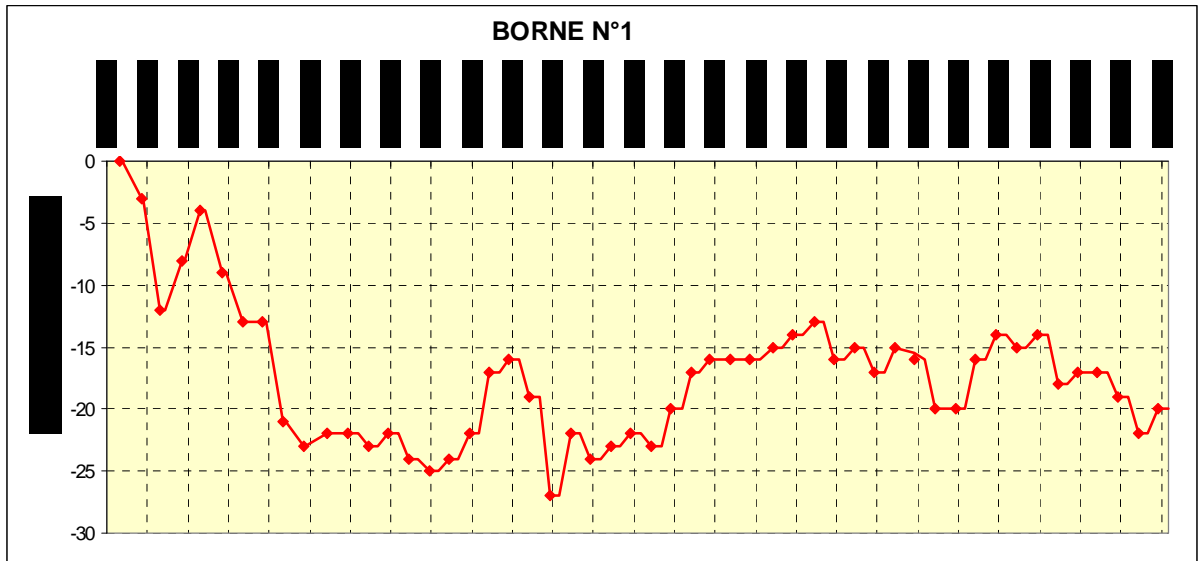
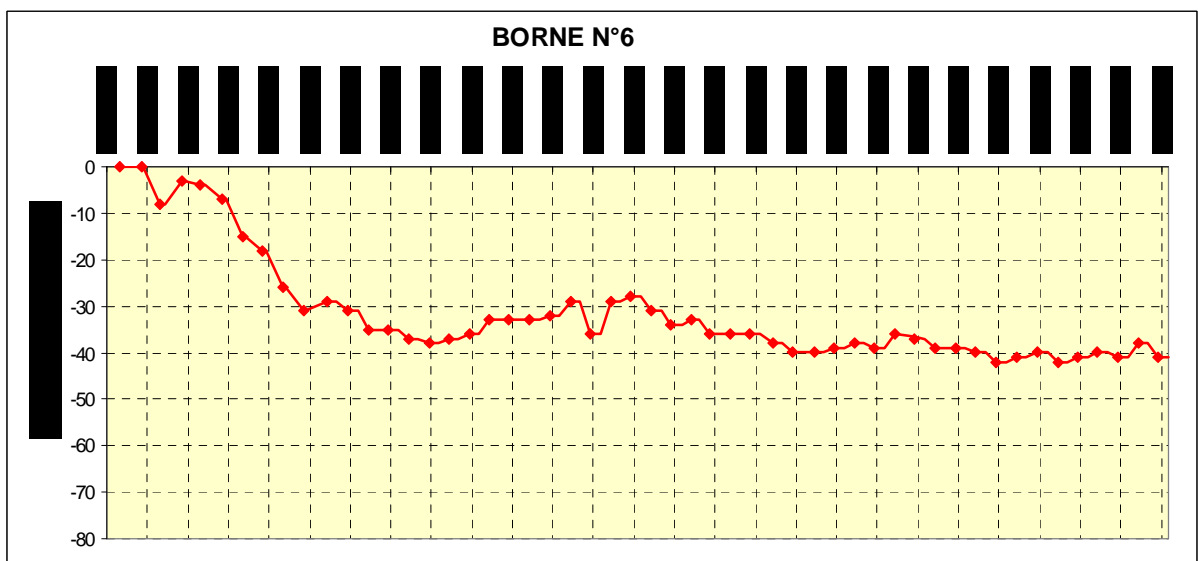
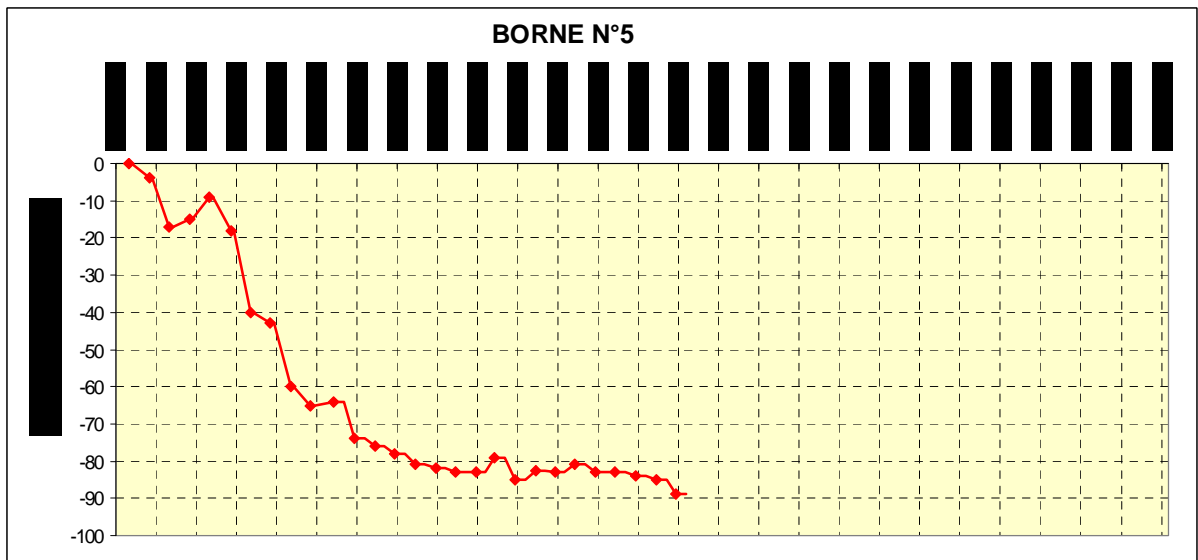
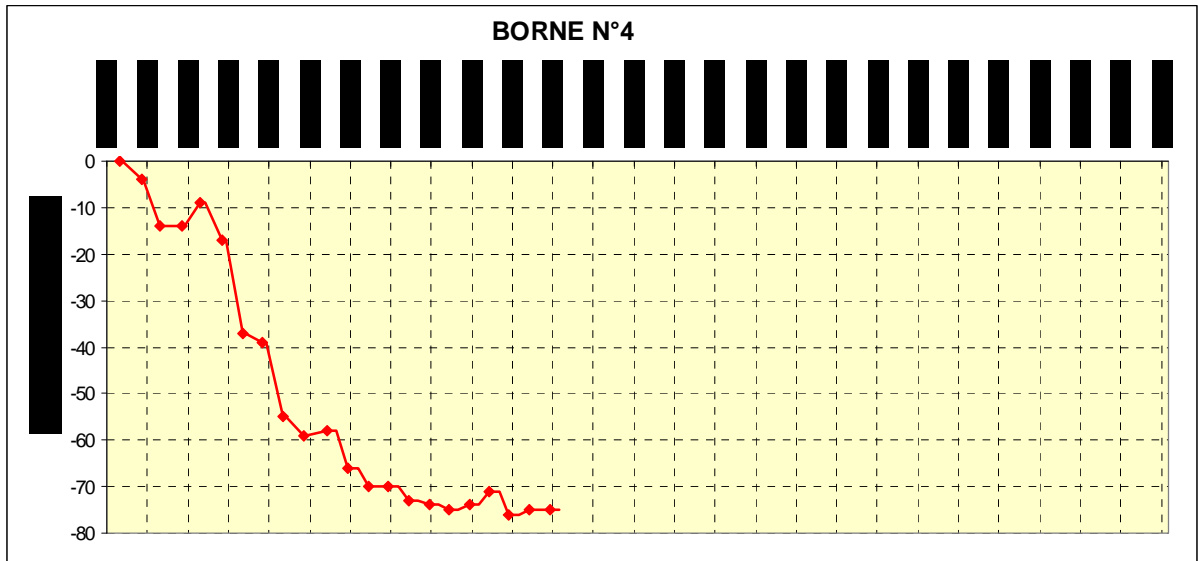
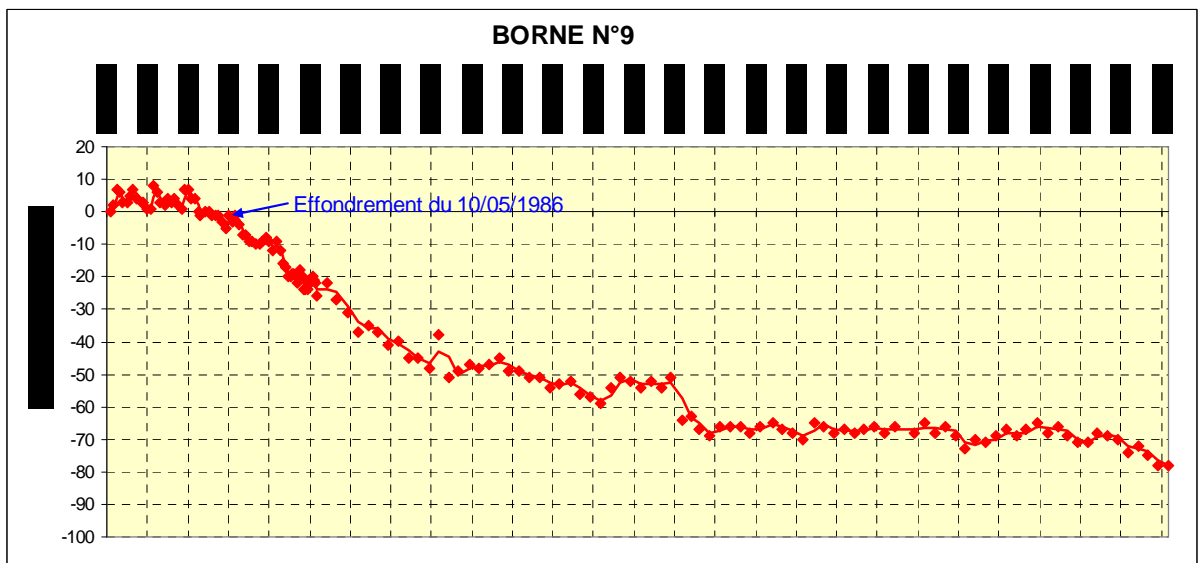
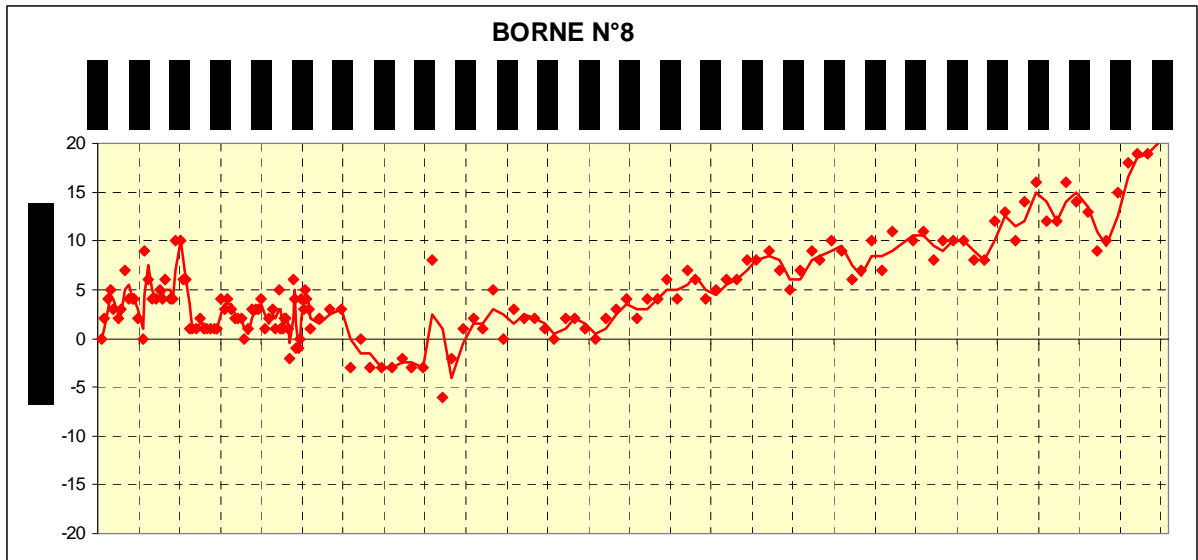
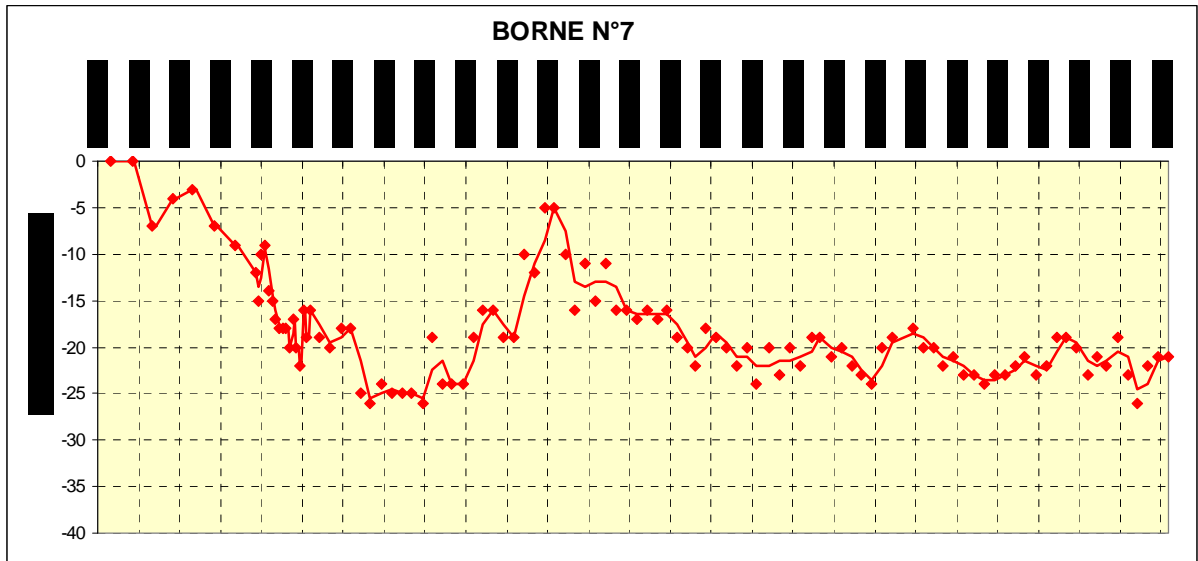
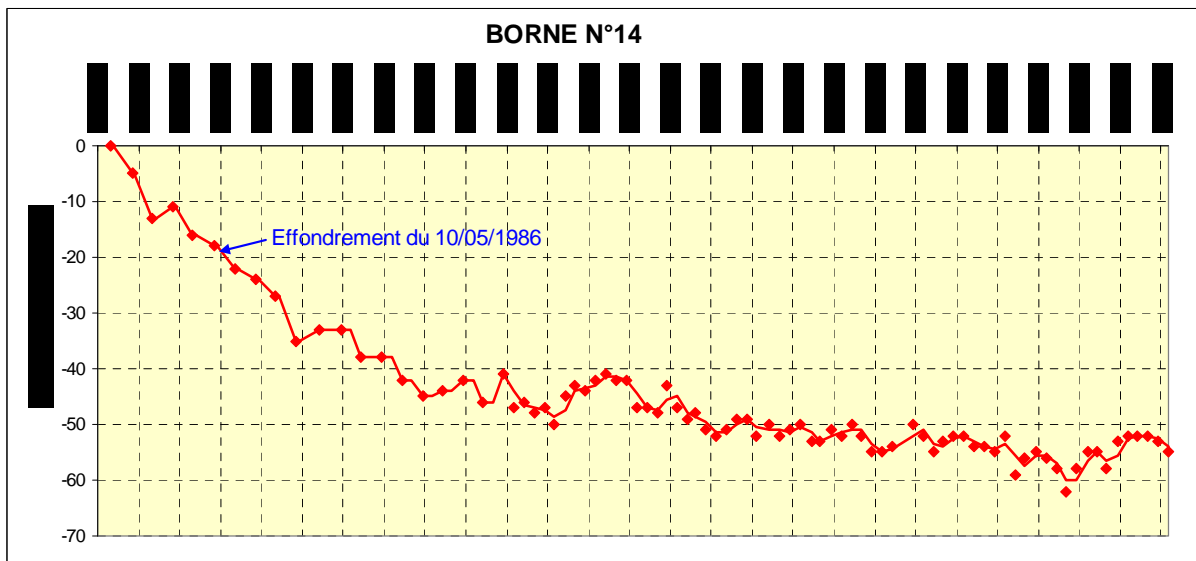
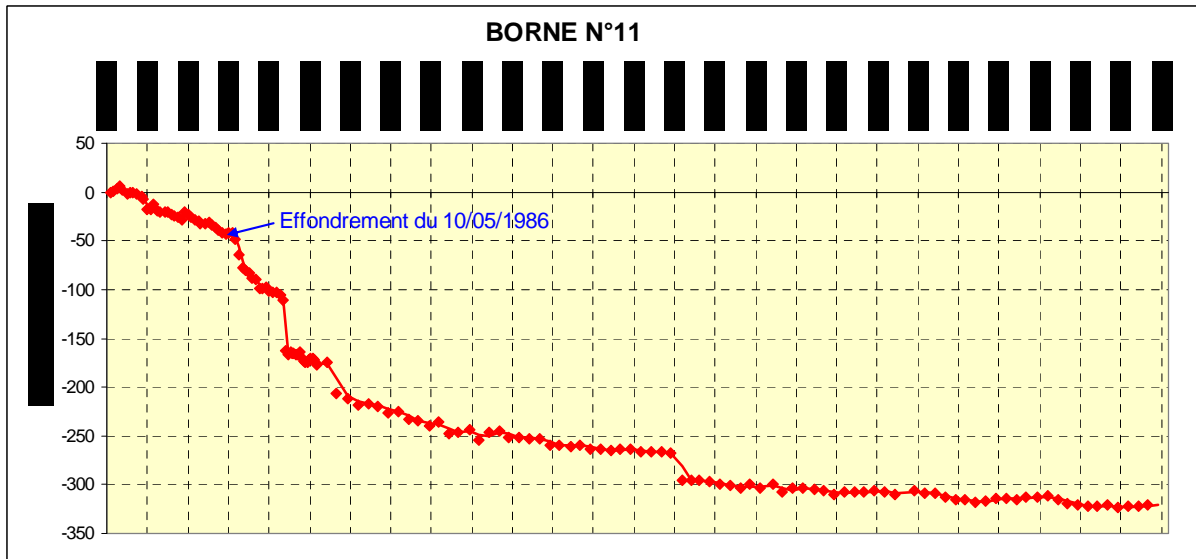
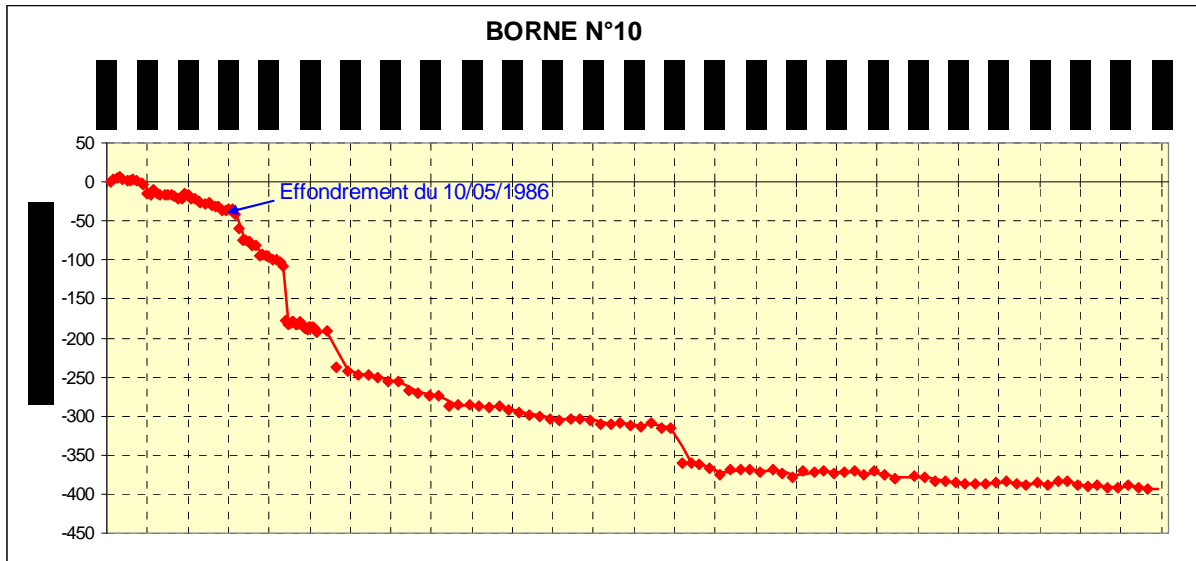


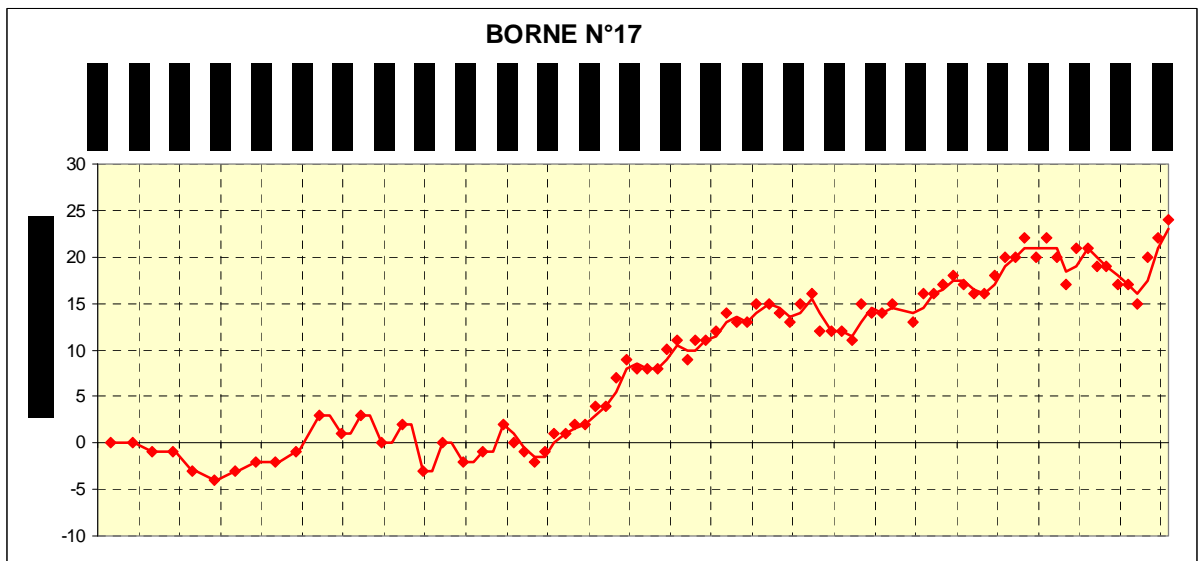
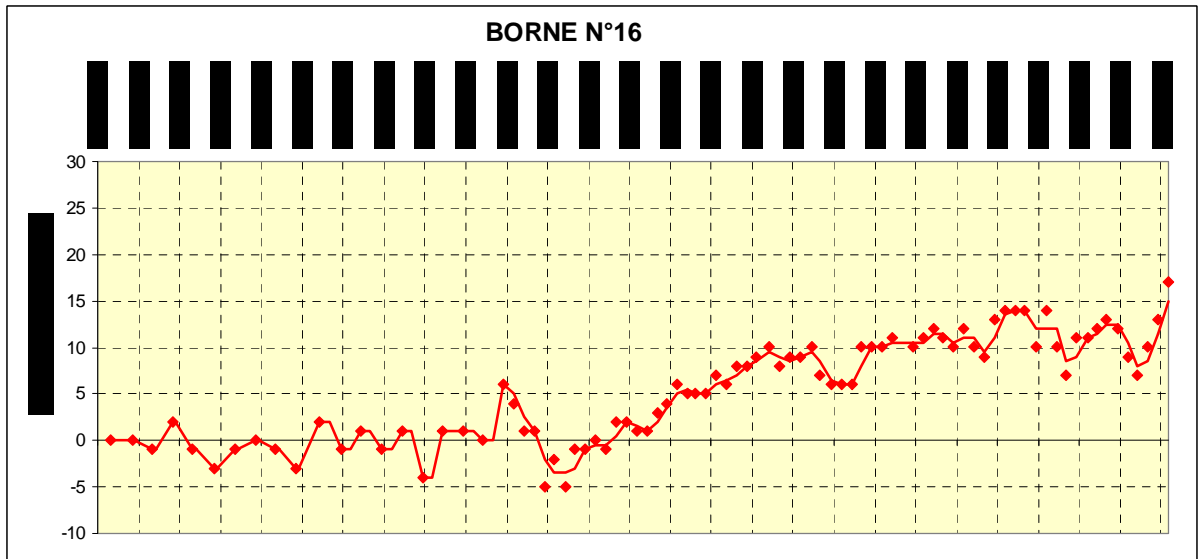
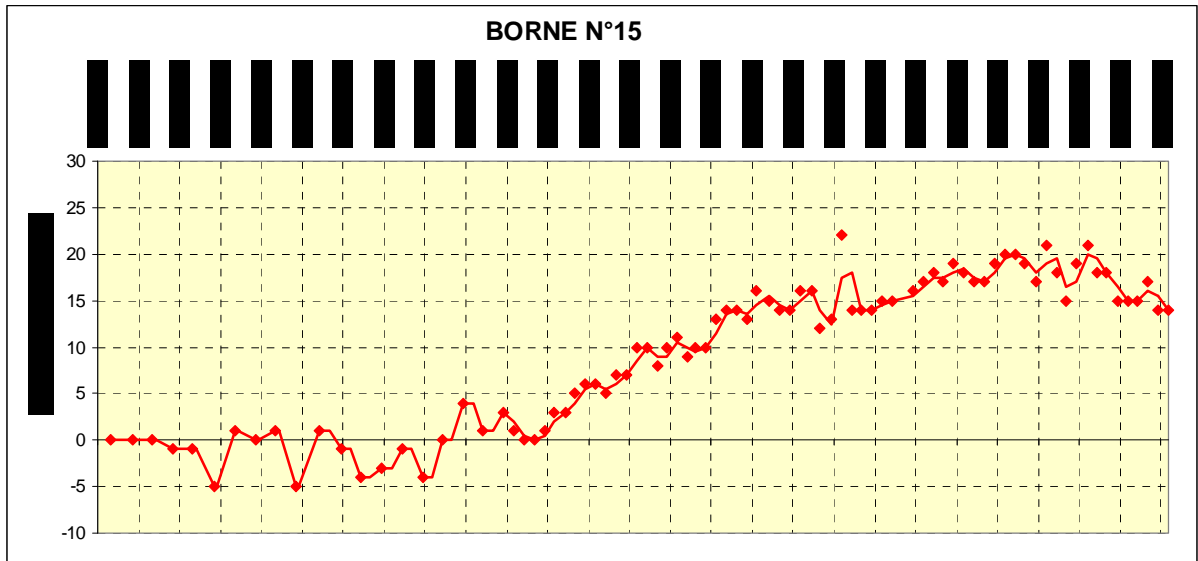
Figure Al.9 : Coupes horizontales indiquant la variation des épaisseurs des piliers entre cavités

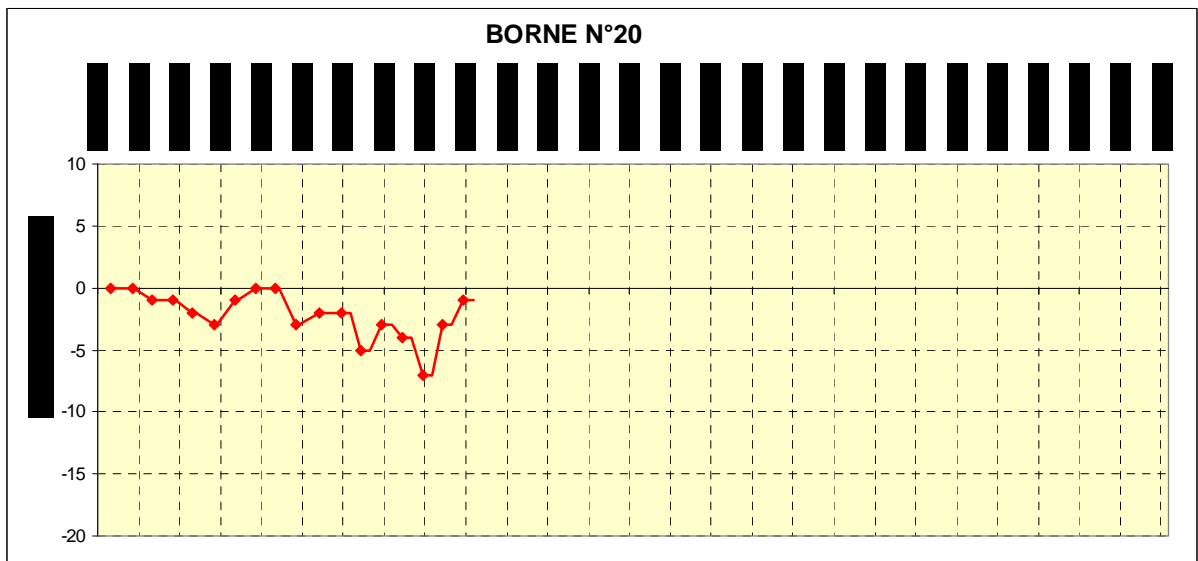
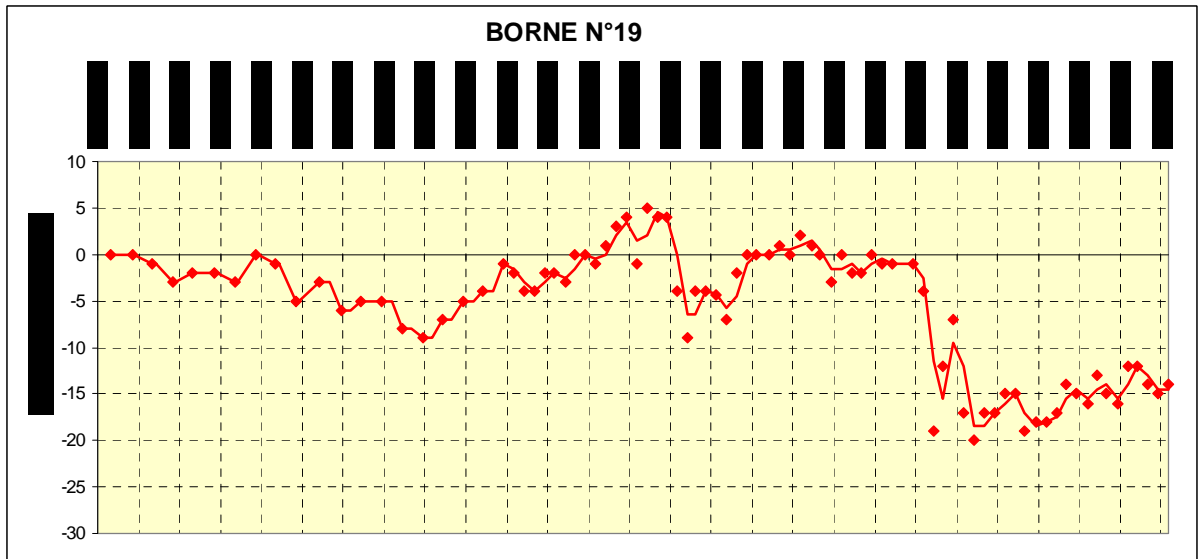
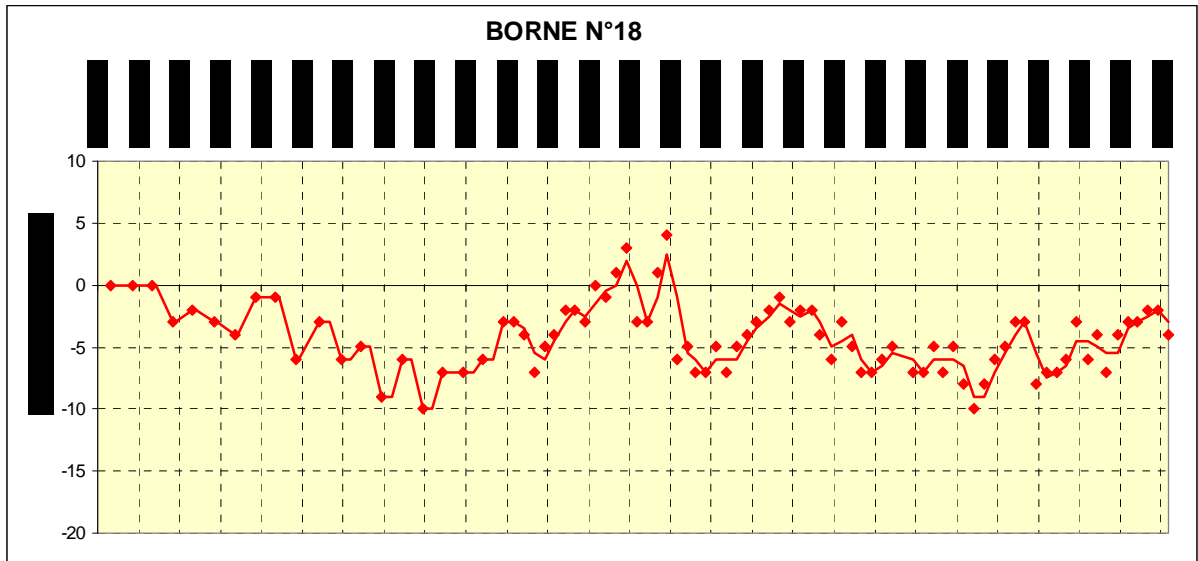


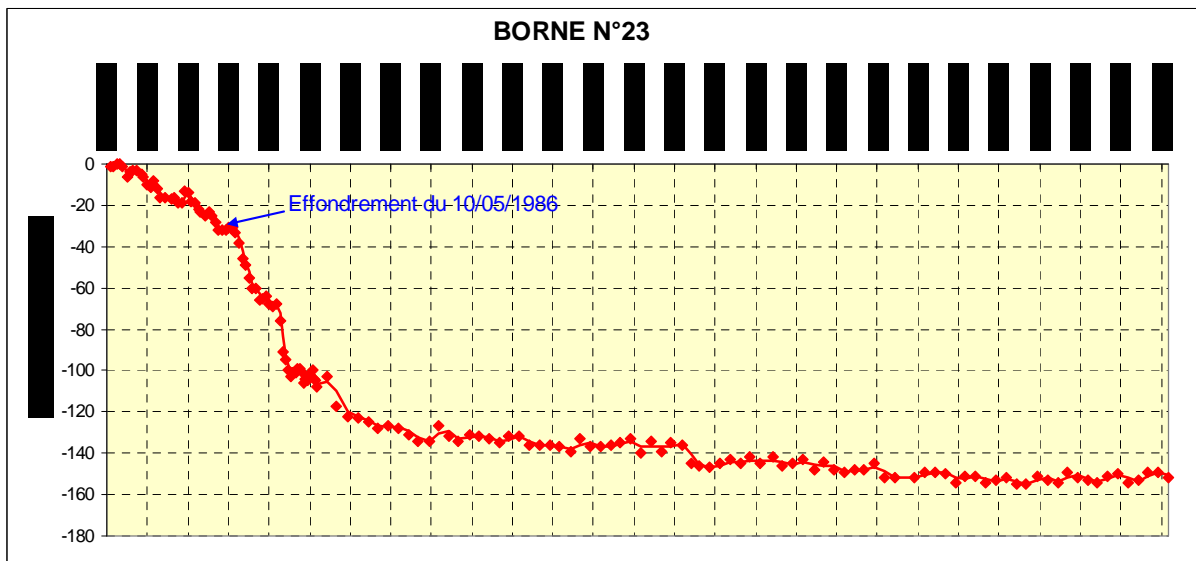
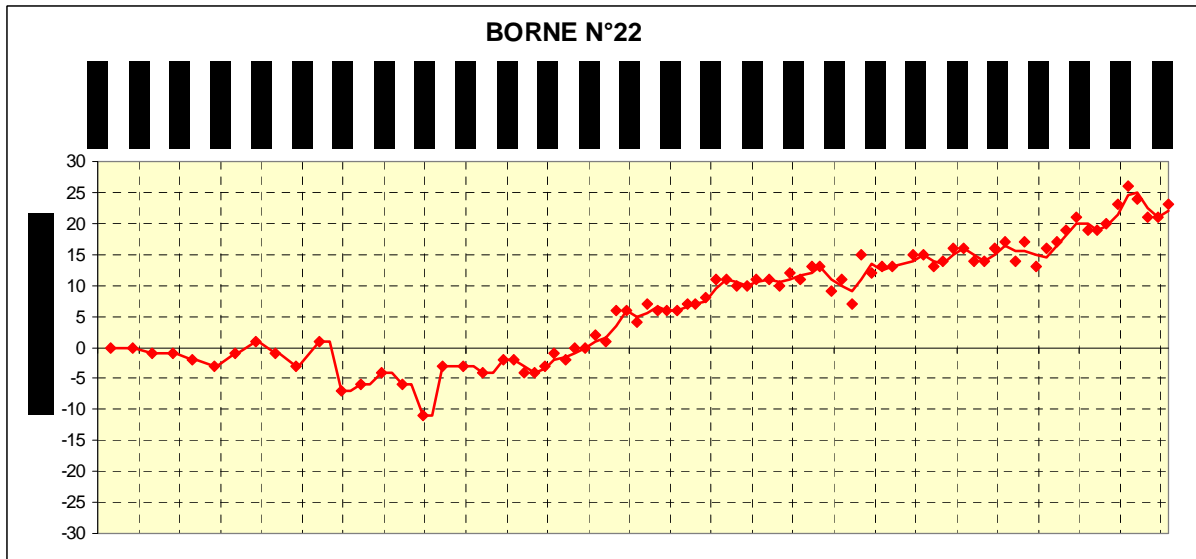
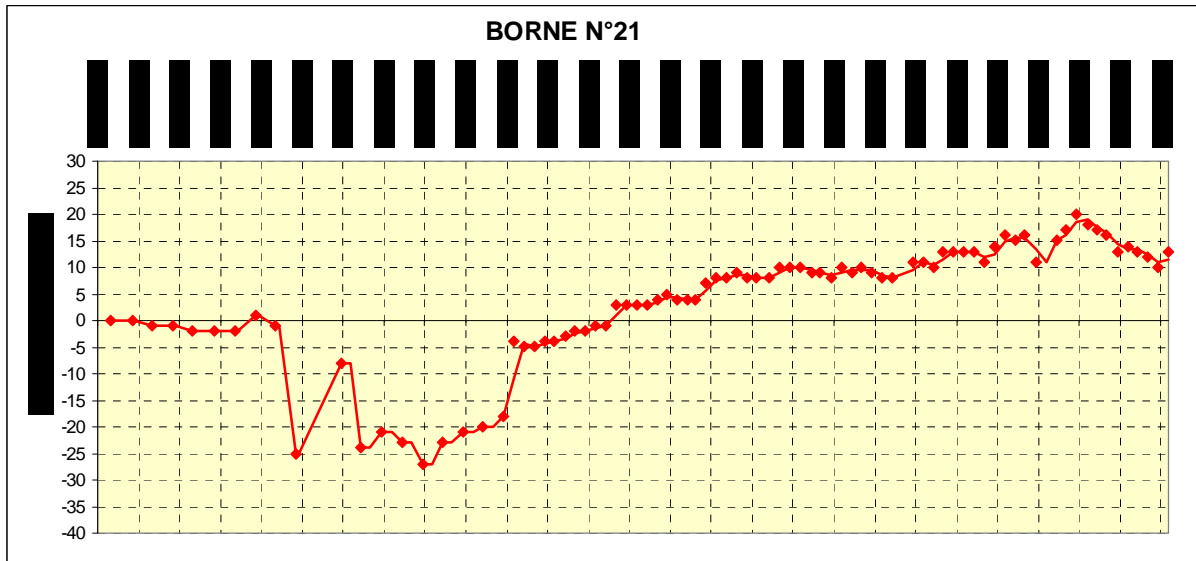


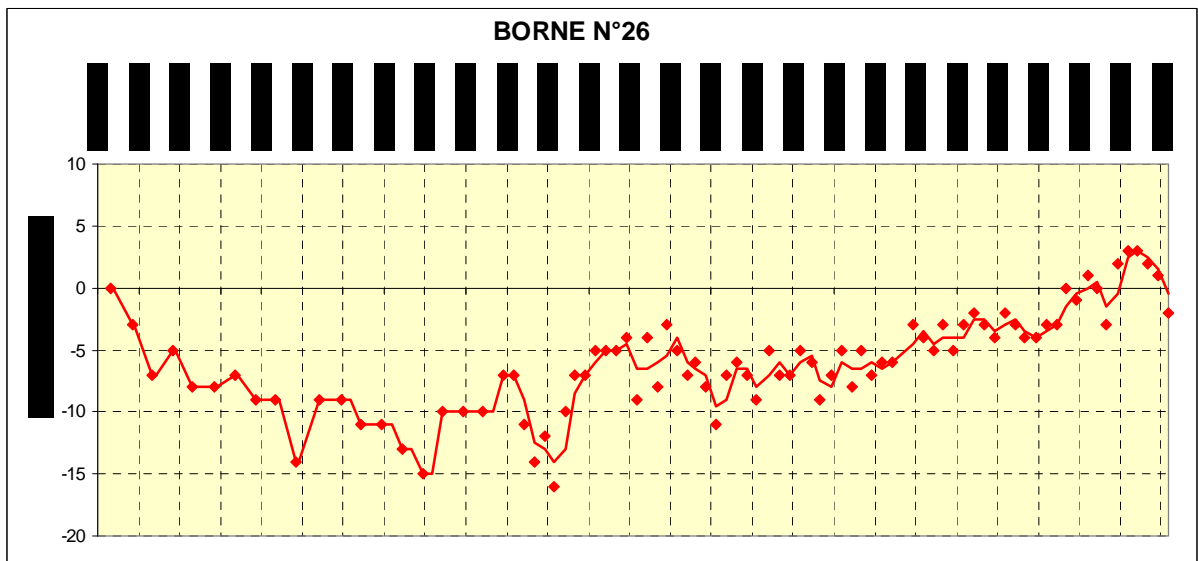
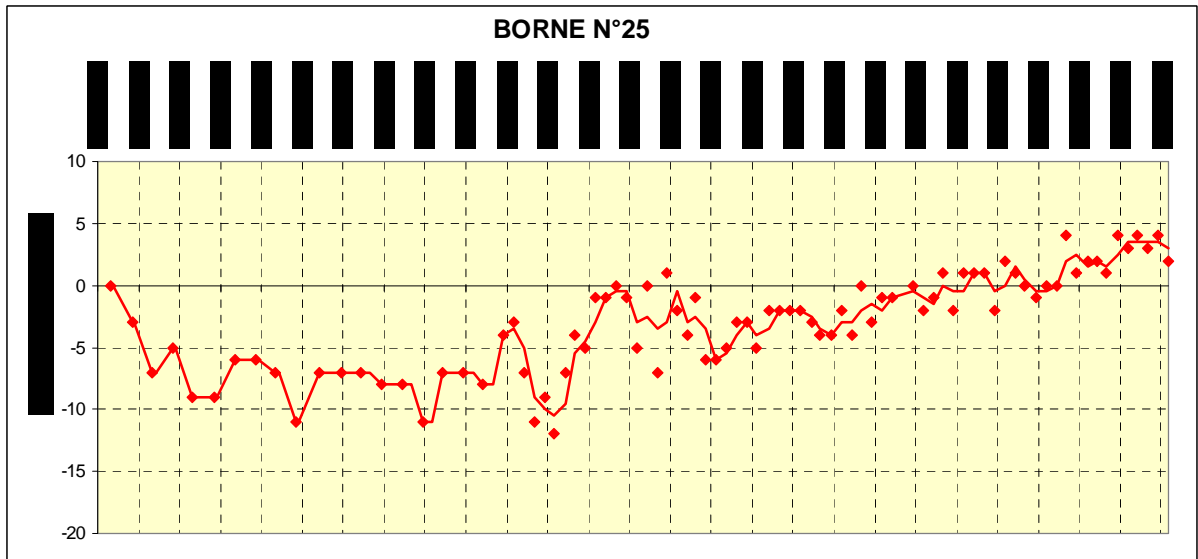
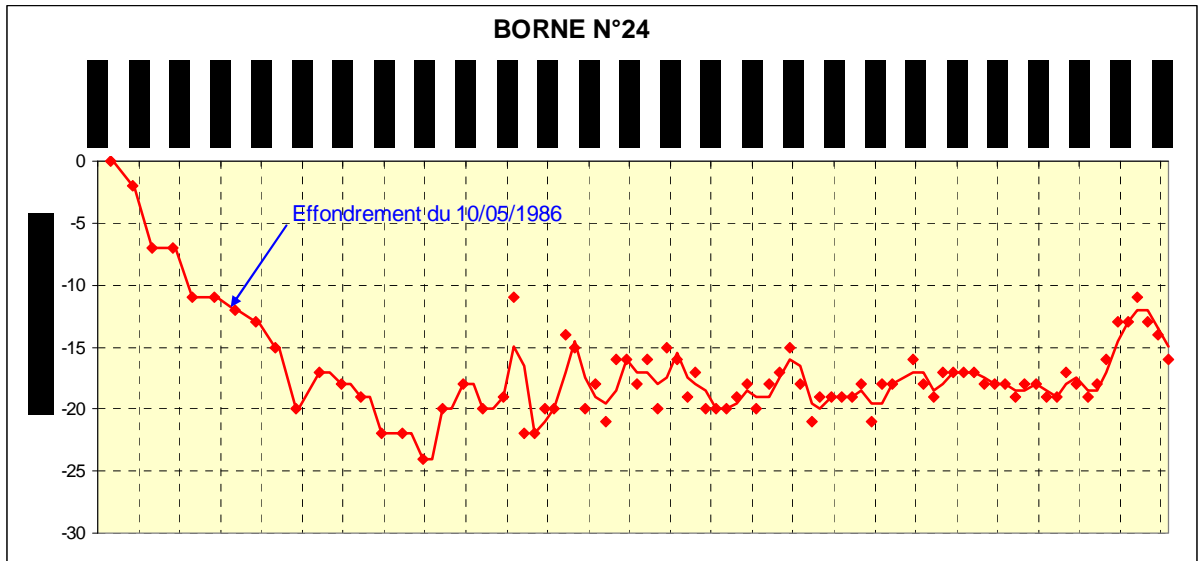


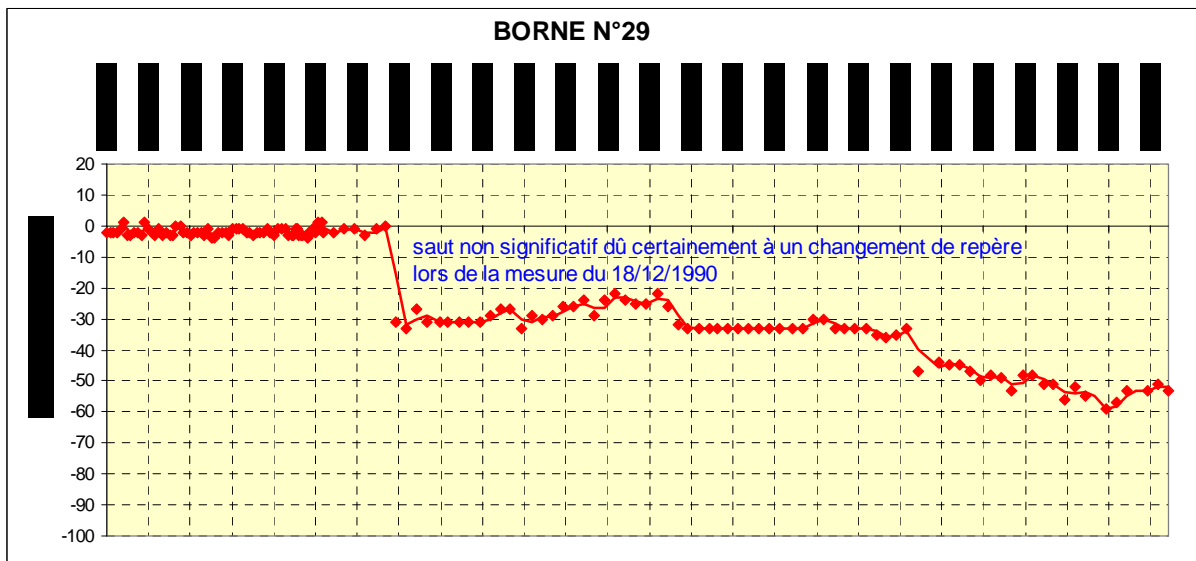
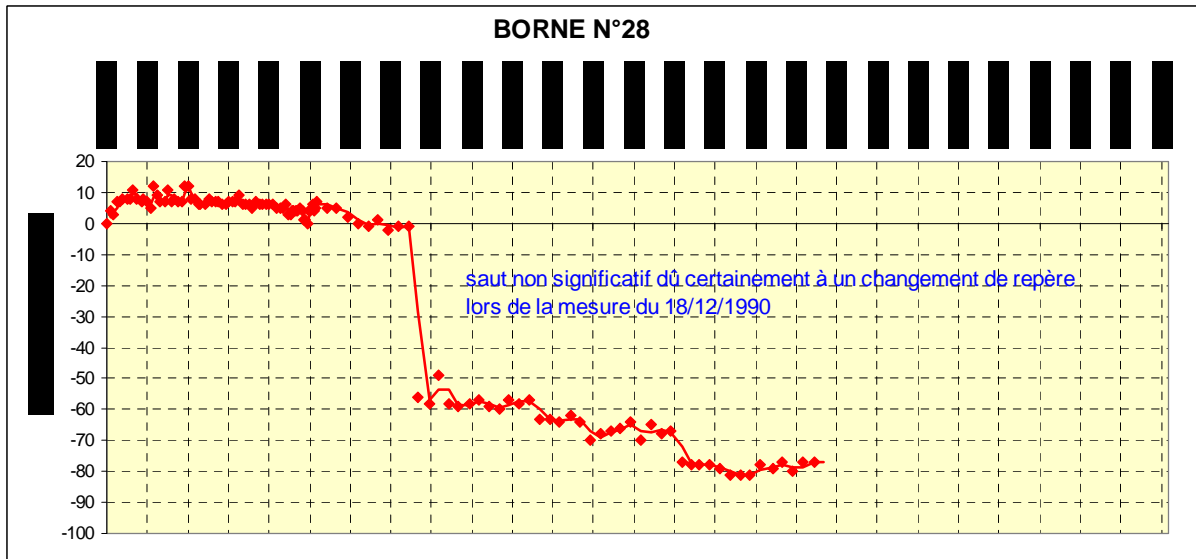
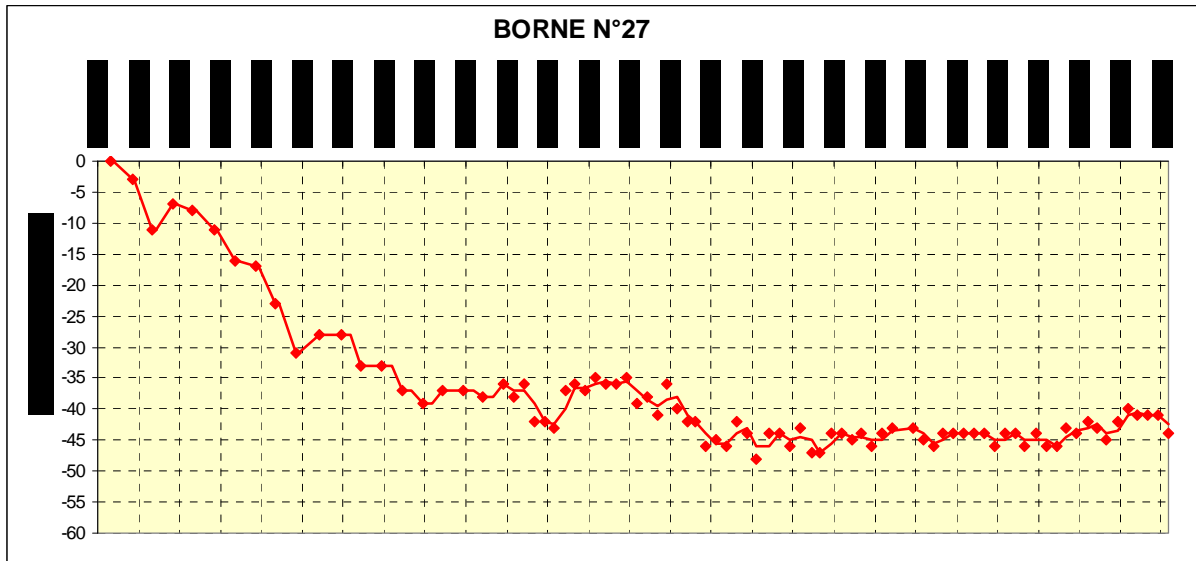


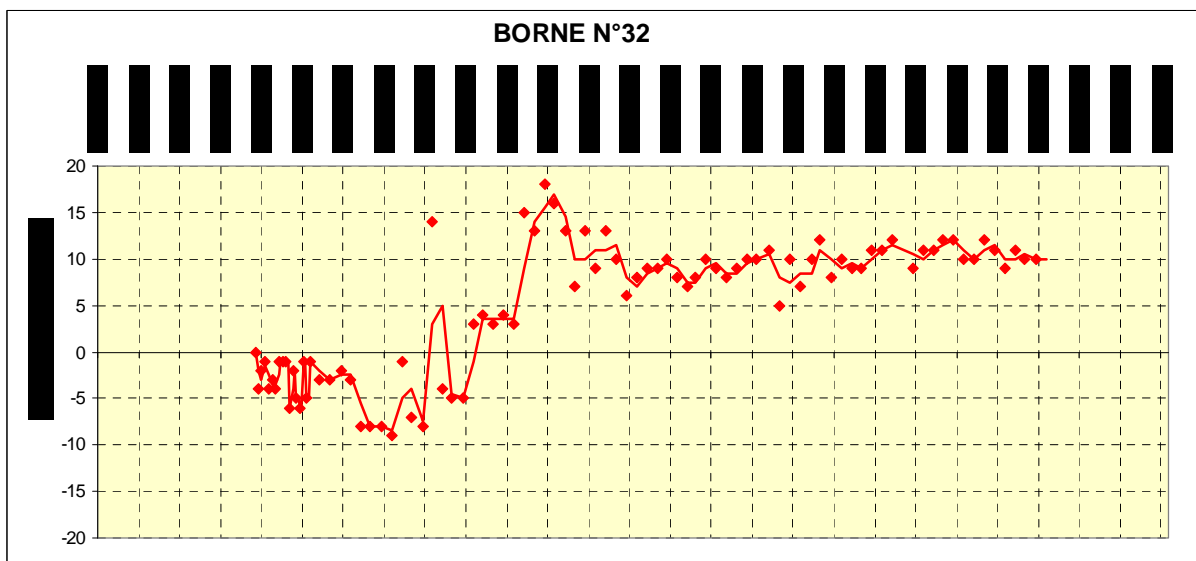
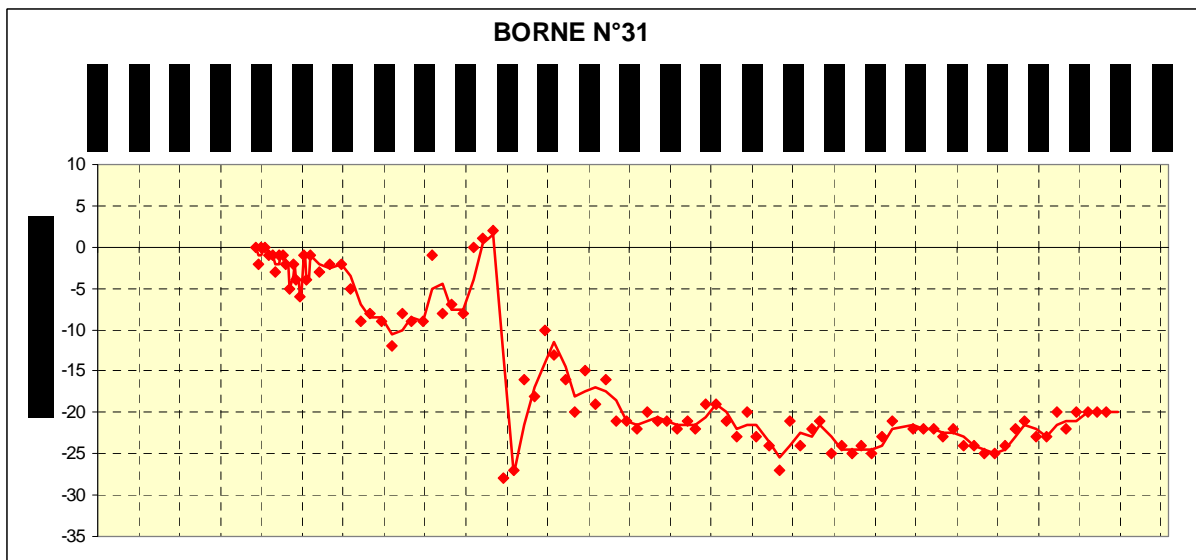
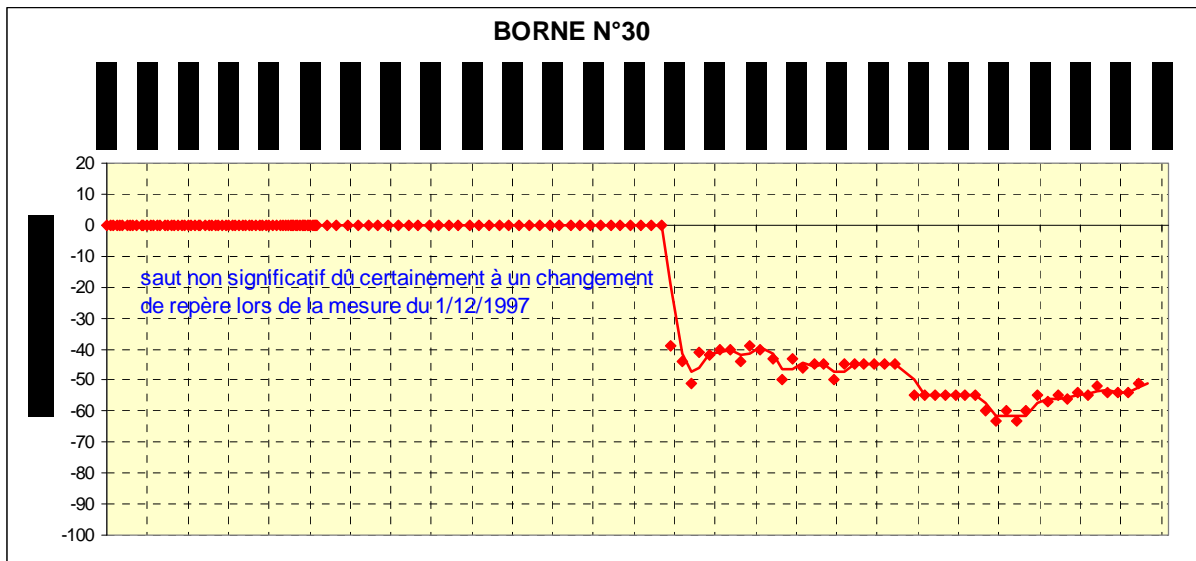


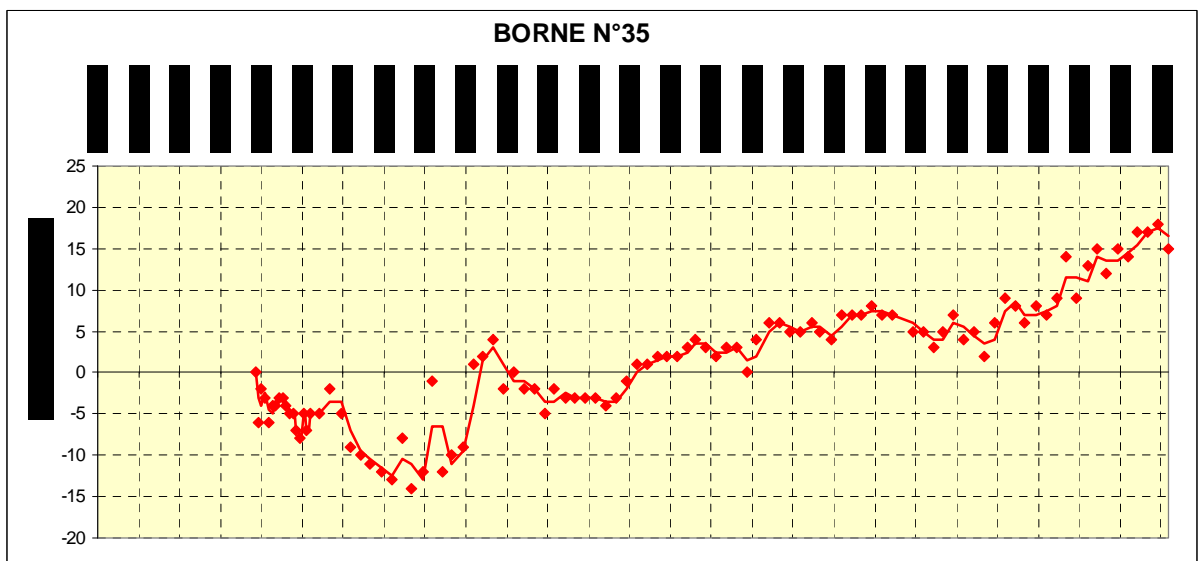
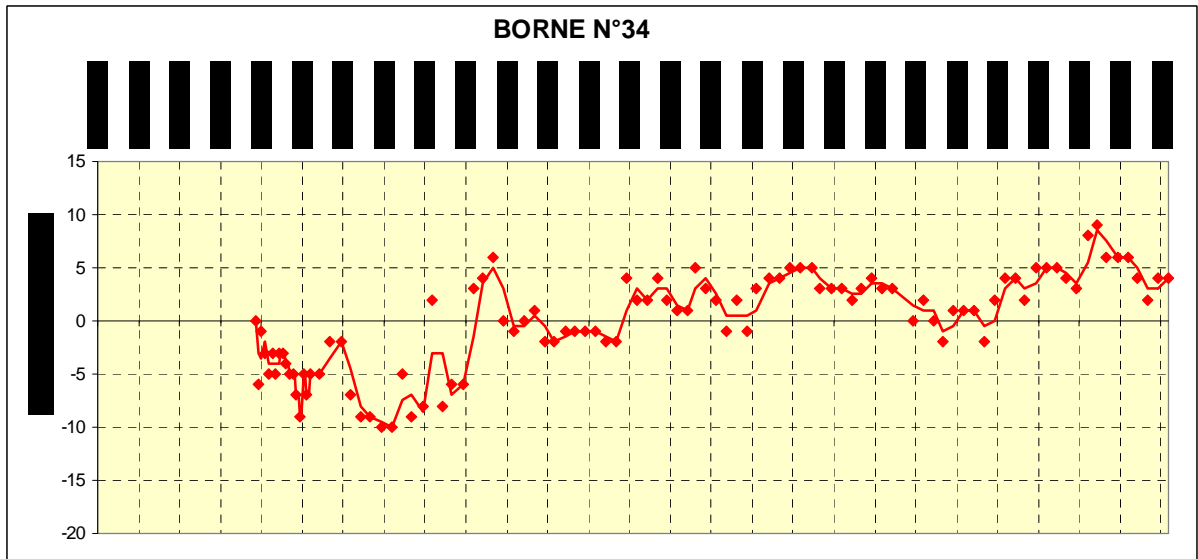
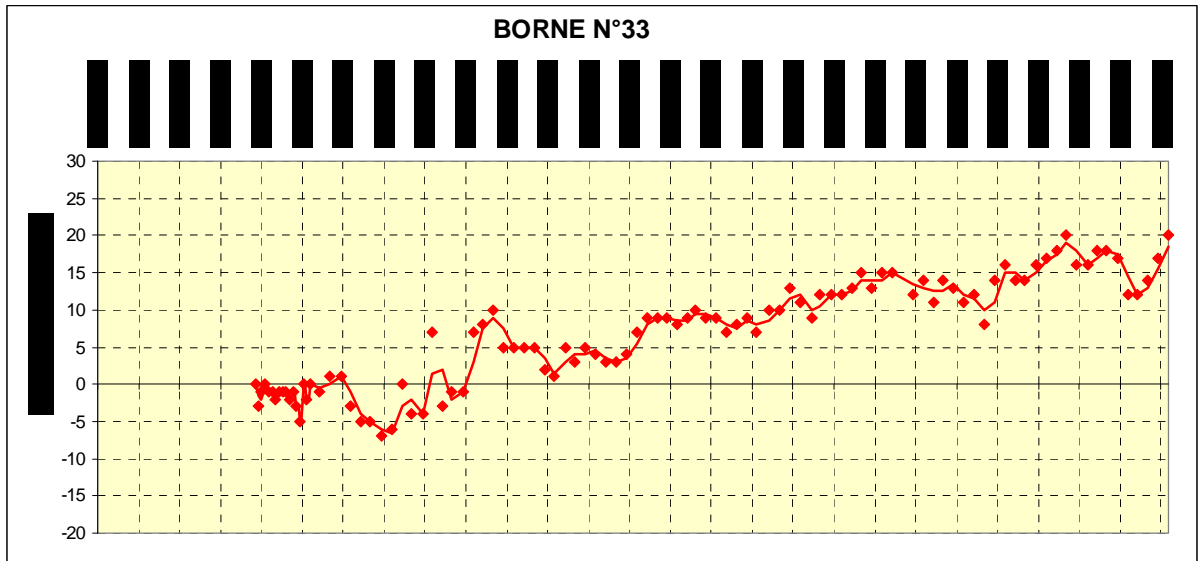


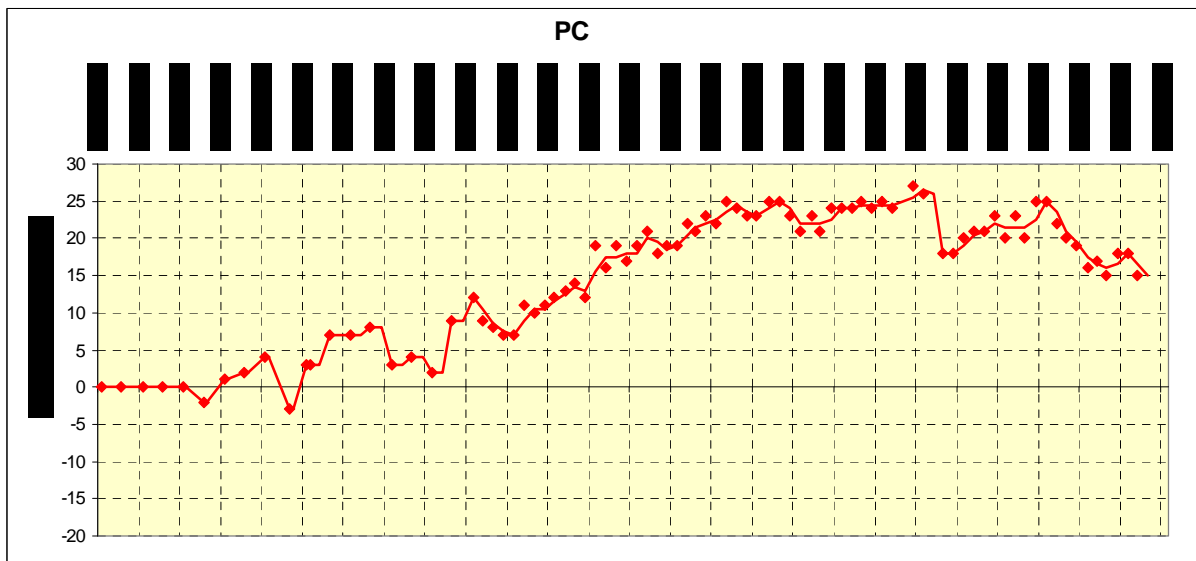
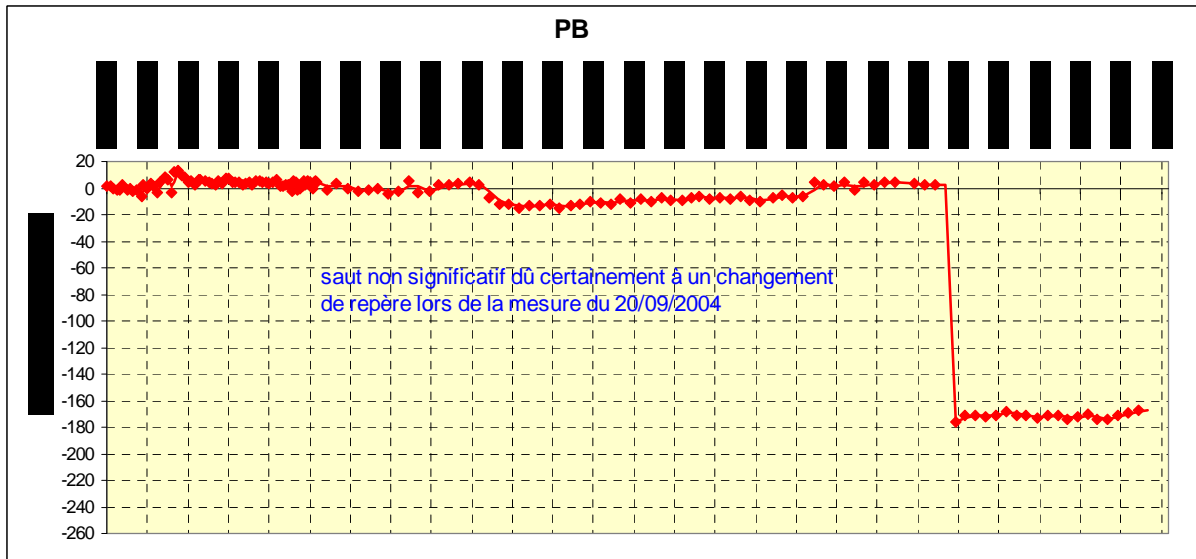
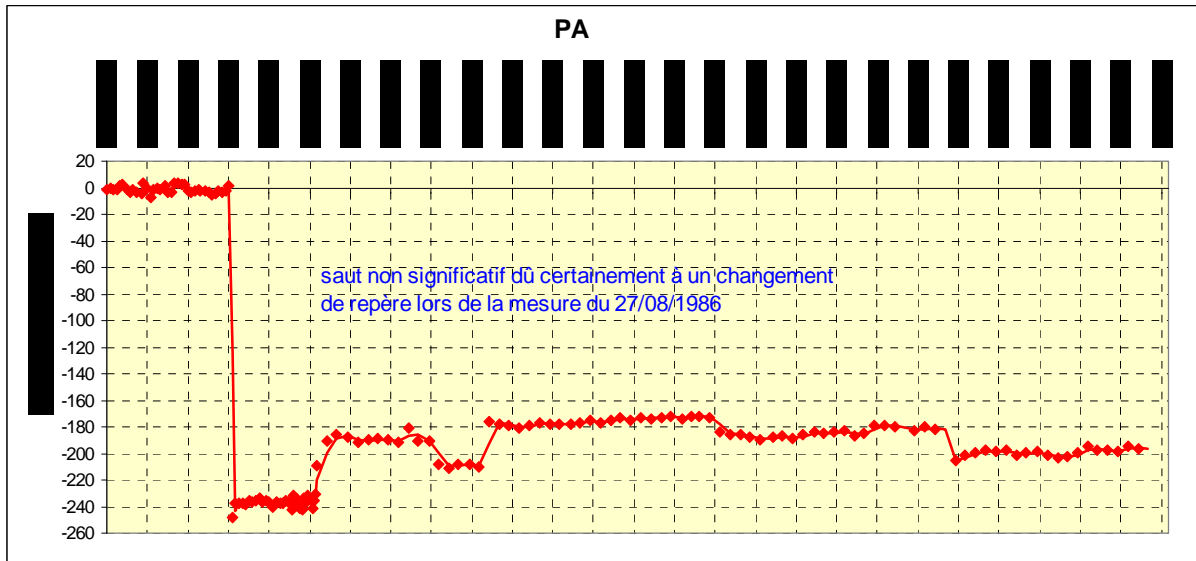




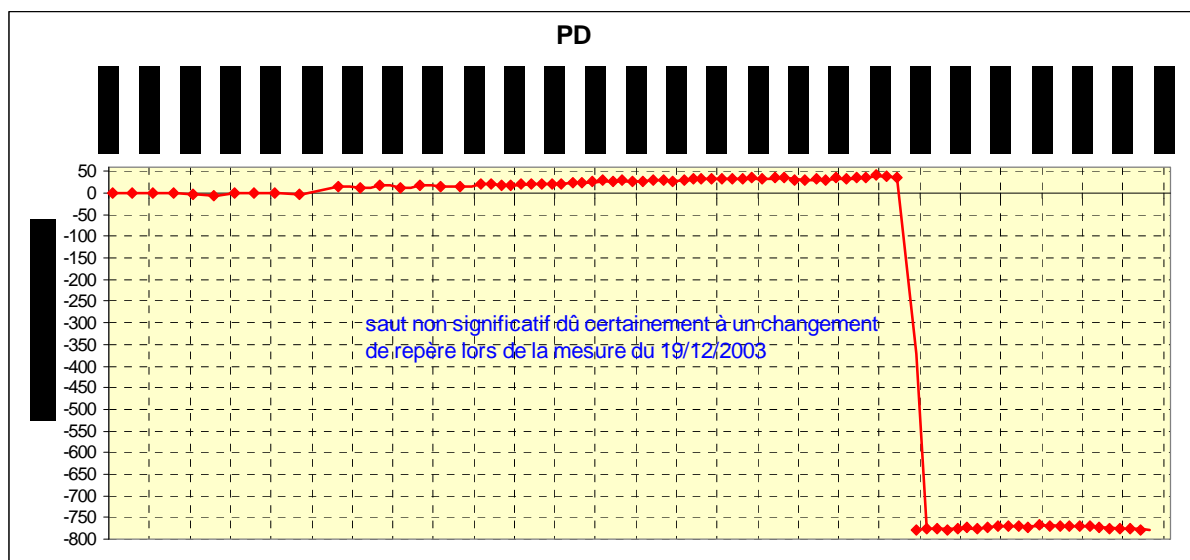








Saint Padelon - Stabilité à long terme des cavités exploitées par dissolution
Annexe II



Annexe B :
Etude ARMINES – Actualisation de l'étude de stabilité de la cavité F811 dans l'exploitation de sel par dissolution de Saint-Pandelon avril 2014

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI ET DES SALINES DE L'EST

**Actualisation de l'étude de stabilité de la cavité F811 dans
l'exploitation de sel par dissolution de Saint Pandelon**

F. Hadj-Hassen
A. Rouabhi
M. Mijani

Avril 2014

Référence R140430FHAD

SOMMAIRE

1 Cadre et objectif de l'étude.....	1
2 Données générales du site.....	1
2.1 Caractéristiques de la cavité F811	1
2.2 Caractéristiques géomécaniques des terrains	4
3 Rappel de l'étude de 2005.....	4
3.1 Principe de la modélisation bidimensionnelle	4
3.2 Principaux résultats obtenus	6
4 Modélisation de la cavité dans sa configuration actuelle	9
4.1 Modélisation 2D	9
4.2 Modélisation 3D	12
4.3 Synthèse	20
5 Modélisation 2D du nouveau projet d'exploitation	20
6 Conclusions	24
 Annexe : Données sonar de la cavité	

1 Cadre et objectif de l'étude

La Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est exploite, depuis 1981, au sud de Dax à Saint Pandelon (Landes) une série de cinq cavités de dissolution dans un dôme de sel pour la fabrication de sel.

Le centre de Géosciences de l'école des MINES ParisTech est intervenu à plusieurs reprises dans l'étude de stabilité de la cavité 811 et des autres cavités (rapports de 1982, 2000, 2005 et 2010). Les deux dernières études ont montré que la cavité F811 était parfaitement stable et n'avait pas d'influence sur les cavités voisines. Des recommandations ont été également formulées dans ces études pour améliorer les conditions de stabilité de la cavité en optant pour une géométrie avec un toit en forme de voûte dans le projet de développement de la cavité.

Les derniers relevés sonar effectués au niveau de cette cavité ont montré que le processus de dissolution prenait une direction préférentielle NO-SE et que les sections horizontales de la cavité étaient elliptiques au lieu d'être circulaires. Ceci se traduit par les deux conséquences suivantes pour l'exploitation : d'une part, le dépassement local de l'enveloppe de stabilité recommandée dans l'étude de 2005, et d'autre part, la perte d'une quantité importante de sel.

Le rétablissement de la forme circulaire n'étant pas possible, la poursuite de l'exploitation avec une injection basse d'eau douce au fond de la cavité conduirait à l'élargir de 3 m dans toutes les directions d'après le modèle de dissolution. Par mesure de sécurité, un élargissement pouvant atteindre localement 5 m est envisagé.

Cette étude se propose d'évaluer les conditions de stabilité du projet d'extension de la cavité F811. Après la présentation des données géométriques de la cavité et des caractéristiques géomécaniques des terrains, un rappel de l'étude de 2005 sur cette même cavité est effectué. La stabilité du nouveau projet d'exploitation est abordée en deux phases successives. Dans un premier temps, une modélisation tridimensionnelle de la cavité actuelle est réalisée et les résultats obtenus sont comparés avec ceux d'une modélisation bidimensionnelle classique axisymétrique de la même cavité en considérant ses dimensions horizontales maximales. Les comparaisons effectuées ont permis de justifier l'utilisation de l'approche bidimensionnelle pour l'évaluation des conditions de stabilité du projet d'extension de la cavité en mettant en évidence la marge sécuritaire supplémentaire qu'intègre une telle modélisation.

2 Données générales du site

2.1 Caractéristiques de la cavité F811

L'exploitation moderne du sel dans le site de Saint Pandelon a démarré en 1965 avec la réalisation de deux des cinq sondages pour une exploitation par dissolution avec des cavités isolées (FNord, FSud, F721, F791 et F811).

La cavité F811 a été créée en 1982 et son exploitation s'est poursuivie jusqu'à nos jours. En 2005, la hauteur de la cavité était de 120 m avec des profondeurs au mur et au toit respectivement de 560 et 440 m. L'étude de 2005 a examiné 2 géométries possibles pour l'extension verticale de la cavité jusqu'à la profondeur 365 m : une forme cylindrique avec un toit plat et une forme avec un toit en dôme (Figure 1). C'est cette dernière géométrie qui a été recommandée.

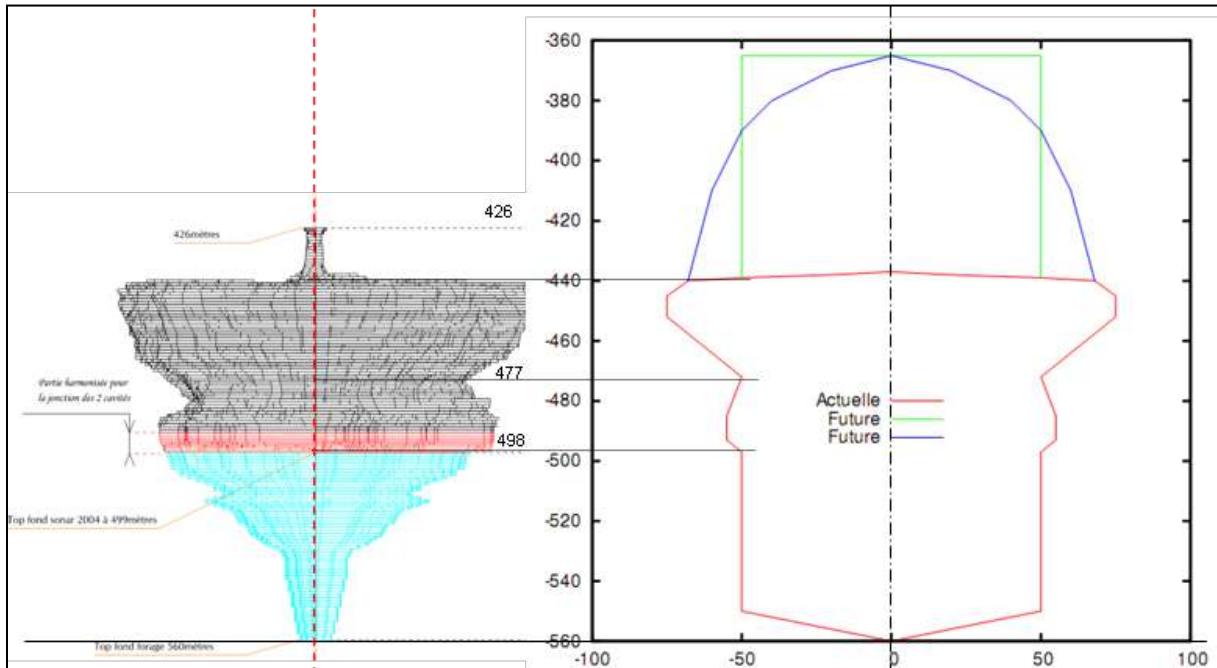


Figure 1 : Géométrie de la cavité F811 en 2005 et projets d'extension envisagés à cette date

Le dernier relevé sonar effectué au mois d'août 2013 a montré que la hauteur de la cavité est située à la profondeur 380 m et que la forme préconisée par l'étude n'a pas été respectée en raison d'une orientation préférentielle du processus de lessivage (Figure 2). En effet, la cavité peut être assimilée à :

- un cône tronqué de 484 à 444 m de profondeur, dont la base mesure 100m de diamètre et le sommet 140 m
- un cylindre de 100 m de diamètre de 444 à 414m de profondeur
- une ellipse de 50 x 100 m orientée N120° de 414 à 380 m de profondeur.

La poursuite de l'exploitation avec une injection basse d'eau douce, au fond de la cavité, conduirait à élargir la cavité de 3 m dans toutes les directions d'après le modèle de dissolution. Pour des raisons de sécurité, un élargissement pouvant localement atteindre 5 m a été retenu. Ainsi, le nouveau projet d'exploitation conduirait à une enveloppe qui serait assimilable à :

- un cône tronqué de 484 à 444 mètres de profondeur, dont la base mesure 100 m de diamètre et le sommet 150 m,
- un cylindre de 110m de diamètre de 440 à 410 m de profondeur,
- une ellipse de 60m x 110m orientée N120° de 410 à 376 m de profondeur.

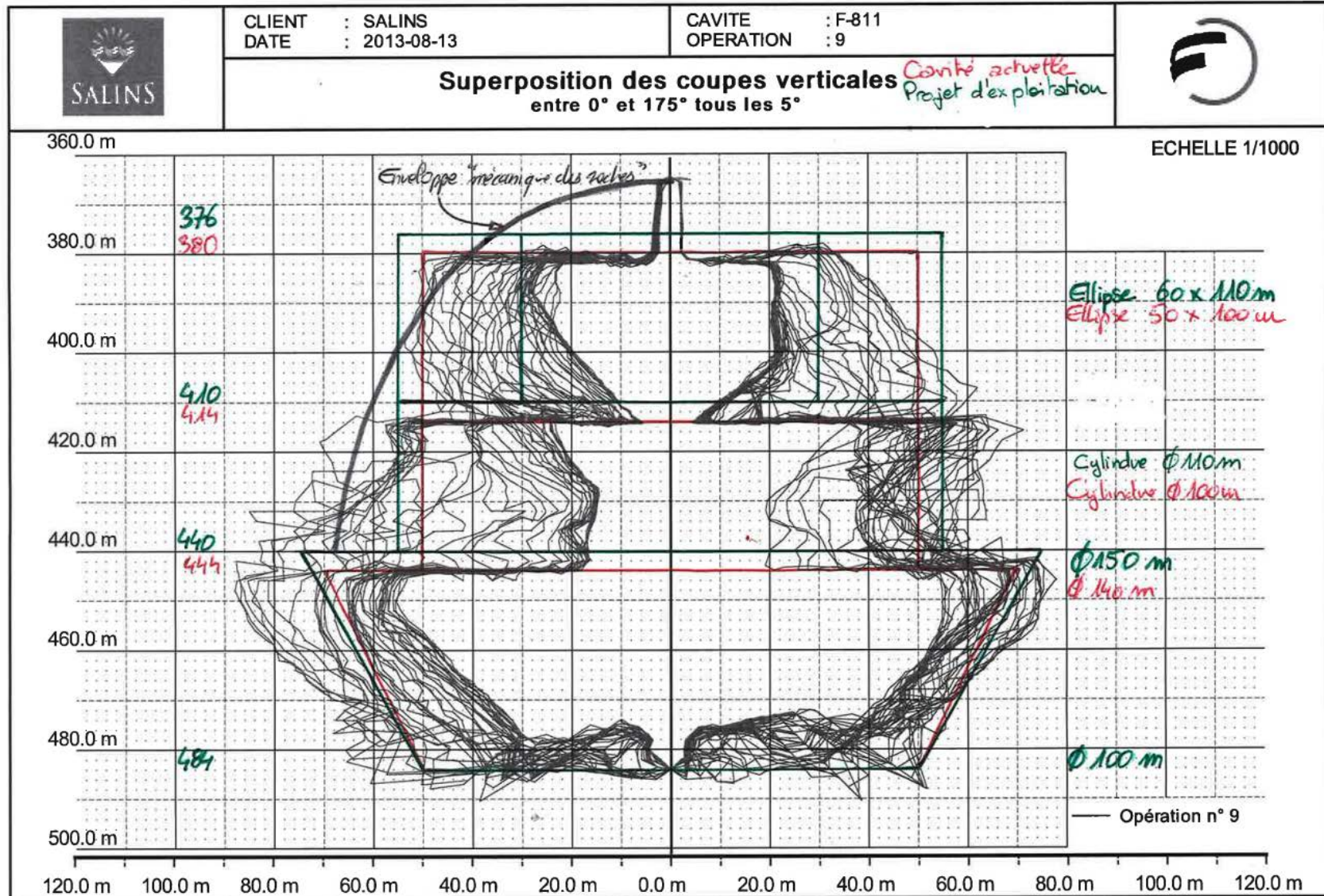


Figure 2 : Géométrie actuelle de la cavité F811 et nouveau projet d'extension

2.2 Caractéristiques géomécaniques des terrains

L'exploitation se fait dans un dôme de sel recouvert par des terrains argileux appelés "caprock". L'épaisseur moyenne de la couverture est de l'ordre de 100 m et l'extension en profondeur du sel semble être très importante (supérieure à 3000 m). Latéralement, l'extension semble être aussi très importante, mais elle reste encore mal connue.

Dans les études menées par le centre de Géosciences, les caractéristiques géomécaniques du sel ont été déterminées par deux campagnes d'essais en laboratoire réalisés en 1981 (R81/22) et en 2005 (R050511MTIJ). La première campagne a compris des essais de compression simple et triaxiale pour mesurer les propriétés physiques et élastiques (masse volumique, module de Young et coefficient de Poisson, R81/22), et la seconde a consisté à des essais de fluage triaxial. Les résultats de ces derniers essais ont permis de déduire par ajustement les paramètres du modèle de Lemaitre que l'on utilise couramment pour décrire le comportement viscoplastique du sel. Rappelons que la loi de Lemaitre exprime le fluage du sel sous un déviateur de contraintes (σ) en fonction du temps (t) selon une loi en puissance définie par les trois paramètres α , β et K :

$$\varepsilon_{vp} = \left(\frac{\sigma}{K} \right)^{\beta} t^{\alpha}$$

En ce qui concerne les terrains argileux de couverture, leur comportement est considéré élastique et leurs propriétés ont été évaluées dans l'étude de 2005. Le Tableau 1 rappelle les caractéristiques géotechniques du sel et des terrains de couverture.

Tableau 1 : Caractéristiques mécaniques du sel et des terrains de couverture

Roche	Masse volumique (Kg/m ³)	Module de Young (MPa)	Coefficient de Poisson	α	β	K (MPa, à T=30°C)	Indice de fluage (%)
Couverture	2600	15000	0.3	-			
Sel	2140	11500	0.3	0.48	2.33	0.35	4.2

Dans la loi de Lemaitre telle qu'elle est présentée, le temps est en jour, les contraintes sont en MPa et les déformations sont en micron/mètre.

L'indice de fluage correspond à la déformation viscoplastique obtenue au bout d'une année sous un déviateur de 10 MPa. Cet indice montre que le sel étudié est relativement fluant ; les sels peu fluants ont des indices inférieurs à 1 % et ceux très fluants peuvent avoir des indices dépassant les 10 %.

3 Rappel de l'étude de 2005

3.1 Principe de la modélisation bidimensionnelle

Une cavité de dissolution constitue souvent une véritable géométrie tridimensionnelle. Néanmoins, lorsque la cavité présente un axe de symétrie de révolution, sa géométrie peut être considérablement simplifiée et on peut alors la représenter par un modèle 2D axisymétrique. En 2005, la cavité F811 était formée uniquement des parties cylindriques et coniques et l'étude conduite à cette date constitue une parfaite illustration de cette démarche de modélisation. L'analyse de stabilité a été menée en grandes déformations aux

moyens de la méthode des éléments finis (logiciel VIPLEF). Les principales hypothèses admises dans les simulations numériques sont les suivantes :

- Avant toute exploitation du dôme de sel, le champ de contraintes géostatiques est supposé isotrope et variant linéairement avec la profondeur (contraintes initiales horizontales égales à la composante initiale verticale).
- La création de la cavité est modélisée par un processus classique qui consiste à appliquer à la paroi de la cavité finale un chargement qui passe progressivement de l'état de contraintes géostatiques (celui qui régnait avant la création de la cavité) vers une pression de la colonne de saumure (chargement effectivement appliqué à la fin du lessivage de la cavité). L'expérience montre que l'état des contraintes et des déformations autour de la cavité juste après sa création dépend principalement de sa durée de creusement. L'historique de creusement de la cavité a été donc reproduit.
- La stabilité à long terme de la cavité est considérée avec un abandon en saumure à puits ouverts car l'état de l'art actuel ne permet pas encore de décider des conditions optimales d'abandon et de fermeture des puits.
- Etant donné que l'abandon des cavités est considéré à puits ouverts, les problèmes thermiques (dilatations, effet de la variation de la température sur le fluage du sel), la diffusion de la saumure dans le sel (micro-perméabilité) et les phénomènes physico-chimiques de dissolution et de recristallisation ne sont pas pris en compte. Nous avons appliqué dans cette étude l'état des connaissances actuelles et les règles de l'art qui ont fait leurs preuves sur de nombreux exemples.

Les grandeurs suivantes ont été examinées lors de l'analyse des résultats des simulations numériques :

- la déformée des terrains et l'évolution des mouvements de surface en fonction du temps,
- la perte de volume de la cavité en fonction du temps,
- le champ de la contrainte mineure,
- le déviateur de contraintes aux abords de la cavité,
- les déformations viscoplastiques aux abords de la cavité.

L'intérêt que présente l'étude temporelle des variations volumiques ou des déplacements dans des régions particulières est relativement évident. En revanche, l'intérêt porté à des grandeurs physiques plus abstraites mérite d'être brièvement expliqué.

- Contrainte mineure : Le sel supporte mal d'être sollicité en traction : une contrainte de traction de 1 MPa suffit en général à le fracturer. Or l'éventualité d'une fracturation du sel à proximité de la cavité est à proscrire formellement puisqu'elle risquerait de provoquer une infiltration de la saumure dans les formations géologiques situées aux alentours de la cavité. Une zone dans laquelle la contrainte mineure est une contrainte de compression mais proche de zéro présente également des risques à long terme car les contraintes dans le massif se relâchent avec le temps (phénomène de relaxation), des zones en traction localisées peuvent alors apparaître à terme.

La deuxième raison pour laquelle la contrainte mineure doit être examinée réside dans le fait que le sel est un matériau ductile. Pourvu que la contrainte mineure de compression dépasse un certain seuil (généralement, entre 1 et 3 MPa), il est apte à encaisser des contraintes sans risquer la rupture en compression simple. Il faut donc

rechercher les zones où la contrainte mineure est inférieure à ce seuil pour y examiner ce risque.

- Déviateur de contraintes : Le déviateur mesure l'écart de l'état de contraintes avec un état de pression géostatique moyen. Les zones dans lesquelles il dépasse un seuil critique sont susceptibles d'un endommagement diffus mais néanmoins préjudiciable à la stabilité et à l'imperméabilité du massif (notion de dilatance). Ce seuil critique dépend du sel envisagé et varie entre 9 et 15 MPa.
- Compte tenu du phénomène de relaxation, le déviateur de contraintes baisse dans le temps et le critère de dépassement du seuil doit être contrôlé juste à la fin de la création de la cavité.
- Déformations viscoplastiques : Certains spécialistes considèrent que les seuils des critères précédemment évoqués dépendent de la manière dont on réalise les essais en laboratoire sur le sel, et donc ne suffisent pas à écarter totalement le risque d'un endommagement du massif salin. Ils suggèrent donc d'étudier les déformations viscoplastiques irréversibles du massif et d'identifier les zones à risque dans lesquelles la norme exprimée en % dépasse un certain seuil. Ce seuil varie généralement entre un dixième de pourcent et plusieurs pourcents selon la fluabilité du sel et la durée envisagée. Dans l'étude de 2005 portant sur la cavité S811, le critère utilisé consistait à ce que la zone entourant la cavité dans laquelle la norme du tenseur de déformation viscoplastique est supérieure à 0.1 % par siècle ne doit pas toucher des interfaces avec d'autres couches géologiques ni rencontrer des zones exploitées (cavités).

Le principe de la modélisation axisymétrique consiste à définir un axe de symétrie de révolution au centre de la cavité et à définir des limites situées suffisamment loin pour pouvoir s'affranchir des perturbations induites. Verticalement, le modèle est limité par la surface du sol (le jour) et par un plan horizontal situé à une profondeur de 1500 m où la composante verticale du déplacement est supposée nulle. Horizontalement, on trouve l'axe de symétrie de révolution puis un plan situé à 1000 m du centre de la cavité où la composante horizontale du déplacement est supposée nulle.

Comme indiqué ci-dessus, trois configurations ont été étudiées. Elles correspondent respectivement à la situation de la cavité en 2005, à une extension verticale avec un toit plat et enfin à l'extension recommandée (Figure 3). Le lessivage de la cavité a été simulé en appliquant à la paroi un chargement qui passe progressivement de l'état initial à l'état final correspondant à une pression de saumure fonction croissante de la profondeur avec un taux de 0.012 MPa/m. Une durée de 22 ans a été prise en compte pour la création de la cavité au moment de la réalisation de l'étude et son extension vers l'état final a été envisagée sur une durée supplémentaire de 11 ans. La stabilité à long terme après la fin du lessivage (abandon à puits ouvert) a été examinée sur une durée de 200 ans.

3.2 Principaux résultats obtenus

La Figure 4 donne la diminution relative du volume de la cavité pour les trois géométries avec la phase de lessivage correspondant à un temps négatif. La forme arrondie recommandée pour le toit de la cavité conduit à la valeur la plus faible après deux siècles (6.5 par rapport à 6.9 % pour une extension avec un toit plat).

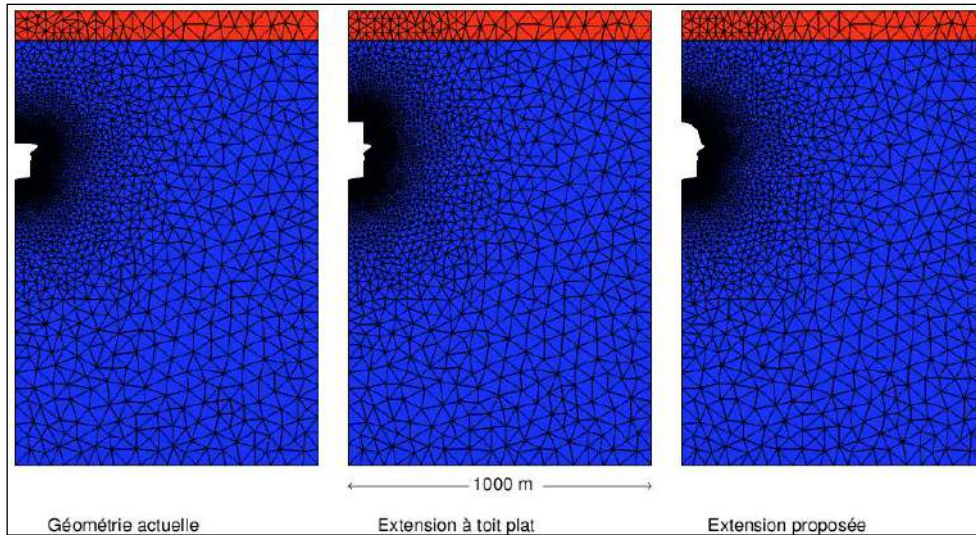


Figure 3 : Géométrie de la cavité S811 et modèles élaborés (étude 2005)

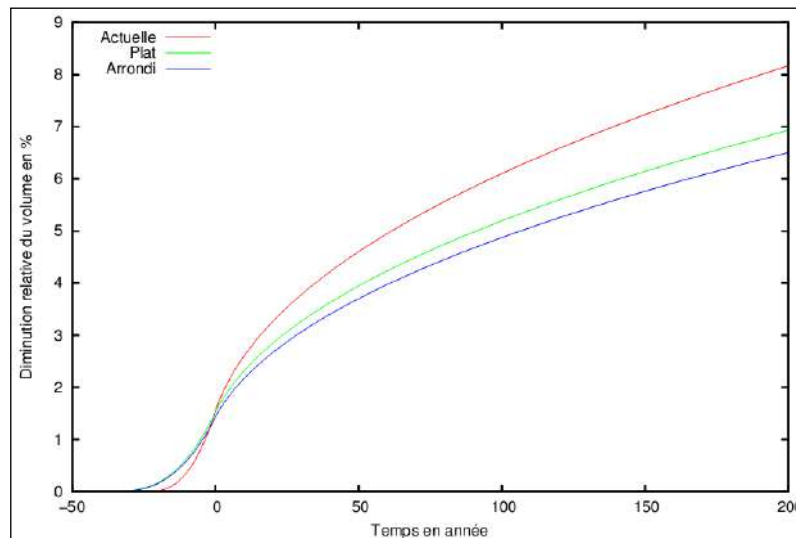


Figure 4 : Variation relative du volume de la cavité dans les trois cas examinés (étude 2005)

En ce qui concerne la subsidence liée à cette cavité, le maximum obtenu au bout de la période étudiée serait de l'ordre de 12 cm avec une légère réduction du mouvement pour la forme arrondie préconisée (Figure 5). A la fin du lessivage, la subsidence reste inférieure à 2 cm. Ce résultat est tout à fait cohérent avec les mesures de nivellement effectuées qui n'indiquent aucun mouvement significatif au voisinage de la cavité.

Aucune des simulations effectuées n'a montré une apparition de la traction dans le massif au cours de l'histoire de la cavité. Le déviateur des contraintes reste également limité par rapport à la valeur la plus faible que l'on peut retenir pour le critère de dilatance (9 MPa, Figure 6).

Sachant que la déformation non élastique est une fonction croissante du temps, la règle utilisée dans l'étude de 2005 consistait à dire que la zone dans laquelle la norme du tenseur de déformation viscoplastique au bout de 200 ans dépasse le seuil de 0.2 % ne doit pas atteindre le niveau -210 m pour éviter toute interaction avec les cavités sus-jacentes. La Figure 7 montre que l'extension de la zone viscoplastique n'atteint jamais le niveau fixé et

qu'il existe une marge de sécurité de près de 50 m dans les trois configurations géométriques envisagées en particulier la forme arrondie du toit qui améliore sensiblement cette marge de sécurité.

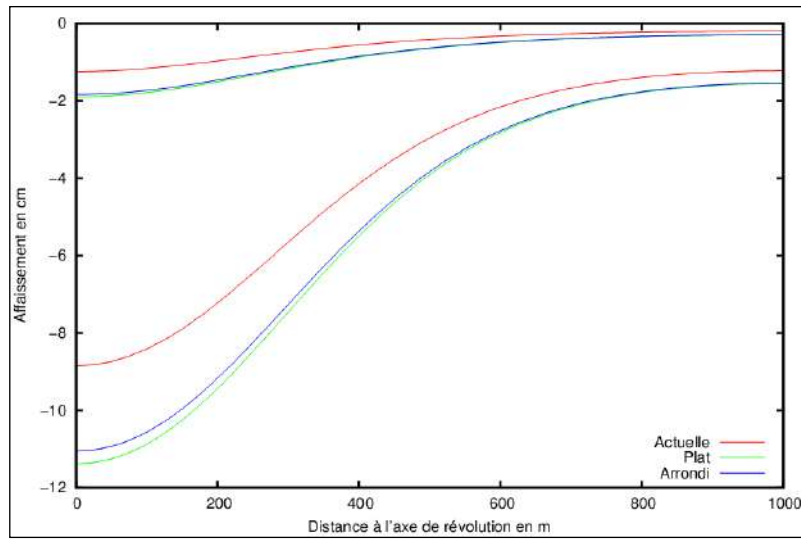


Figure 5 : Cuvette de subsidence à la fin du lessivage et deux siècles plus tard (étude 2005)

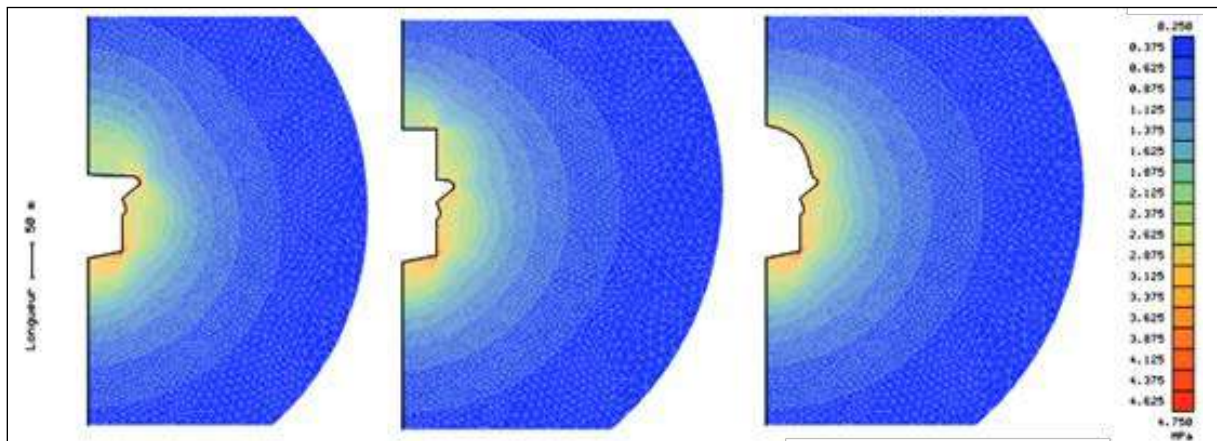


Figure 6 : Déviateur des contraintes au niveau des parois de la cavité à la fin du lessivage (étude 2005)

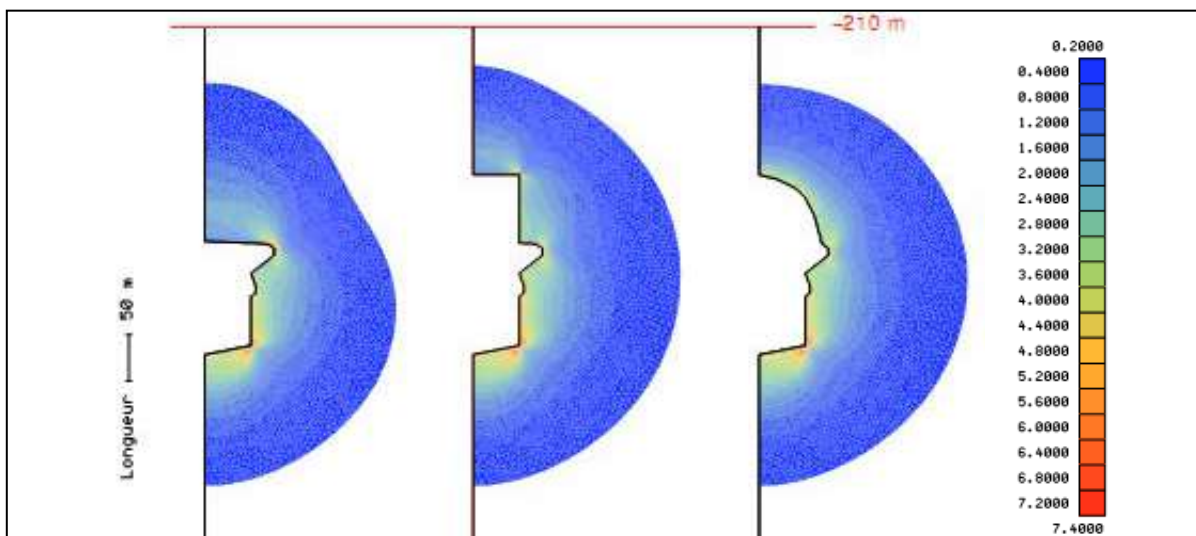


Figure 7 : Norme des déformations viscoplastiques au niveau des parois de la cavité deux siècles après la fin du lessivage (étude 2005)

Ainsi, l'étude de 2005 a conclu à la stabilité à long terme de la cavité F811 et a recommandé son extension en hauteur jusqu'à la côte -365 m avec un toit arrondi. Elle a montré aussi que la cavité dans son état ultime n'a aucune incidence sur les cavités supérieures.

4 Modélisation de la cavité dans sa configuration actuelle

La cavité étant stable dans sa configuration actuelle, nous nous proposons de la modéliser en deux étapes successives. Dans la première étape, nous considérons un modèle classique en 2D axisymétrique qui admet les plus grandes dimensions de la cavité. Dans la seconde étape, un modèle 3D permet de rendre compte de la géométrie réelle de la cavité. L'intérêt recherché est double : tout d'abord valider les critères utilisés pour évaluer la stabilité, puis comparer les résultats obtenus pour faire ressortir l'effet de la géométrie réelle 3D par rapport à une géométrie approchée en 2D.

4.1 Modélisation 2D

Dans ce modèle axisymétrique, la partie supérieure de la cavité est représentée par son extension maximale et l'ellipse est remplacée par un cercle de rayon égal au grand demi-axe. On se trouve ainsi avec un cylindre qui vient rejoindre le cône tronqué central de la cavité. La partie inférieure est simplifiée par un cylindre qui se termine par le cône constituant le puisard de la cavité.

La Figure 23 et la Figure 24 montrent le modèle axisymétrique mis en œuvre par rapport aux configurations envisagées en 2005. Dans ce modèle, la géométrie de la partie centrale de la cavité a été lissée dans une optique de simplification du modèle 3D qui servira à la comparaison. On aboutit ainsi à une cavité de volume total 1.48 Mm^3 .

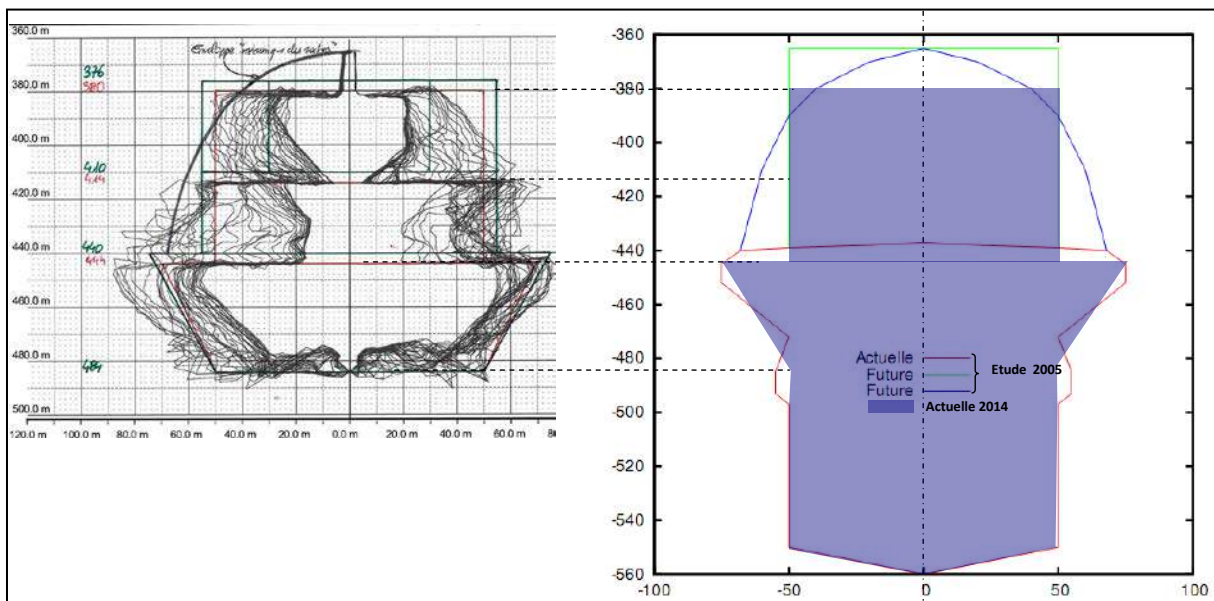


Figure 8 : Modèle 2D de la cavité dans sa configuration actuelle

Les mêmes hypothèses sont retenues pour les conditions aux limites du modèle, l'état initial de contraintes et les critères d'évaluation de la stabilité. Seule la durée de lessivage a été réduite à 31 ans pour simuler la situation actuelle de la cavité.

A la date d'aujourd'hui, la cavité perd 1.5 % de son volume et la subsidence maximale en surface au centre de la cavité est de l'ordre de 1.5 cm (Figure 25).

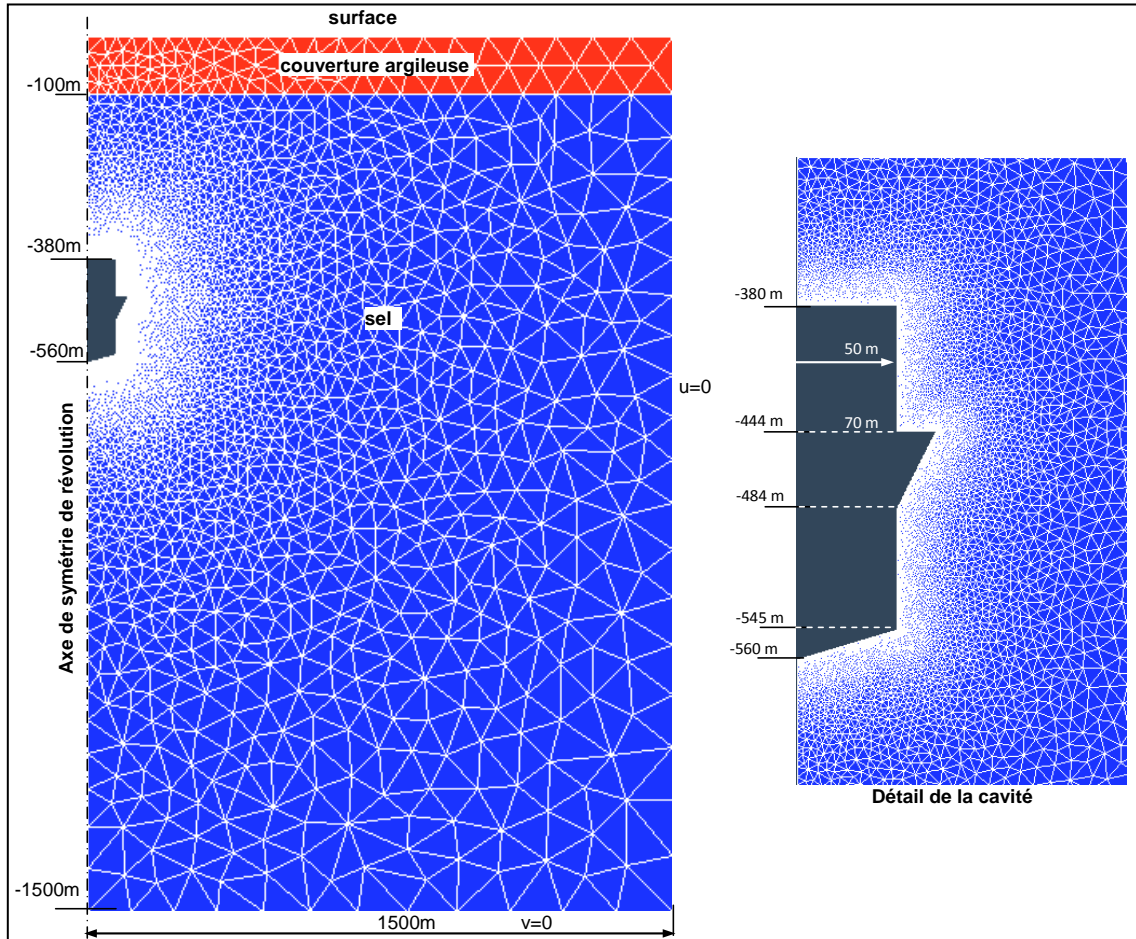


Figure 9 : Maillage de la structure

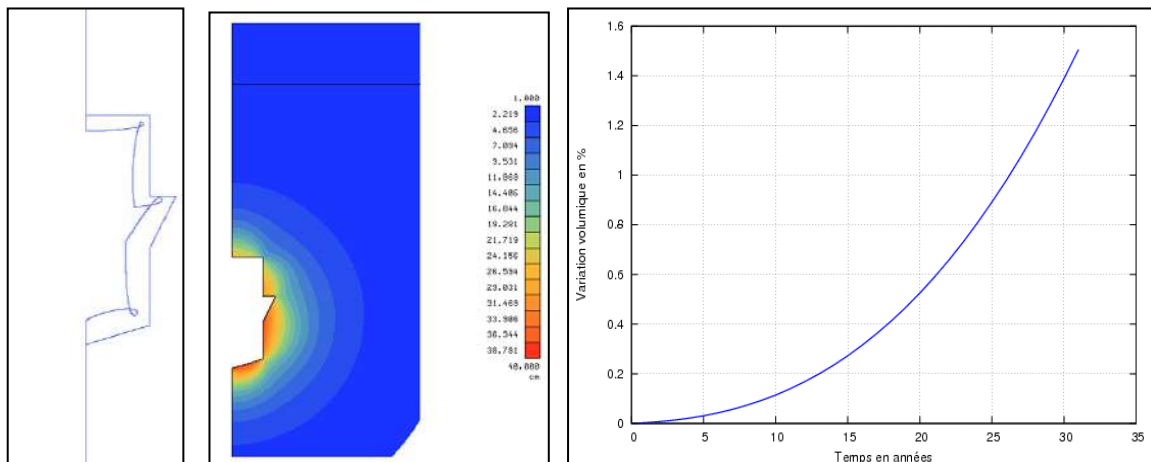


Figure 10 : Déformée de la cavité (amplifiée 10 fois,) norme des déplacements et perte de volume de la cavité (à la date d'aujourd'hui)

Aucune traction n'apparaît dans les parois de la cavité, la contrainte principale mineure est une contrainte compressive et sa valeur la plus faible est de l'ordre de 2 MPa (Figure 27). Le déviateur des contraintes n'excède jamais le seuil minimal de dilatance de 9 MPa même dans les coins aigus de la cavité (Figure 28).

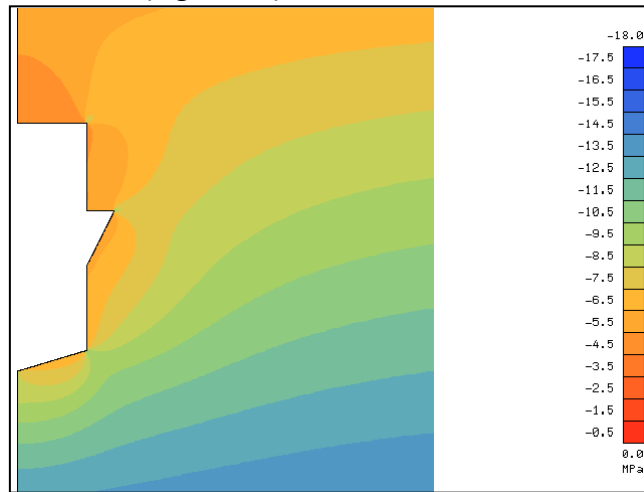


Figure 11 : Contrainte principale mineure dans les parois de la cavité (le signe négatif indique une compression)

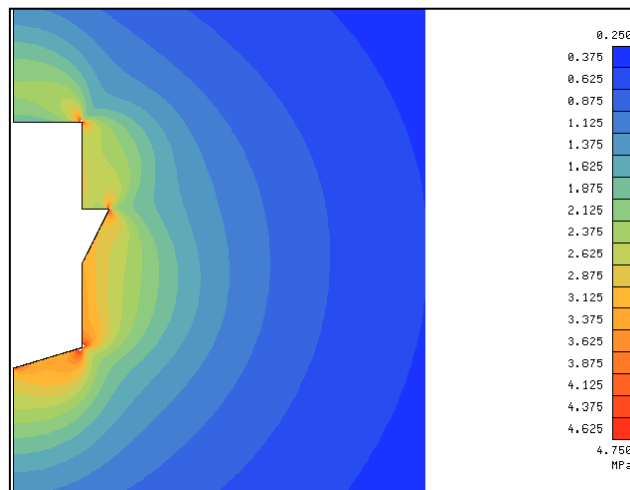


Figure 12 : Déviateur des contraintes dans les parois de la cavité à la date d'aujourd'hui

La répartition de la norme du tenseur des déformations viscoplastiques à la fin du lessivage, avec le seuil de 0.03 % correspondant à la durée de lessivage de 31 ans (0.1 % pour un siècle), reste très loin du niveau -210 m. Une planche sécuritaire dépassant les 50 m permet d'éviter toute interaction possible avec les cavités supérieures (Figure 13).

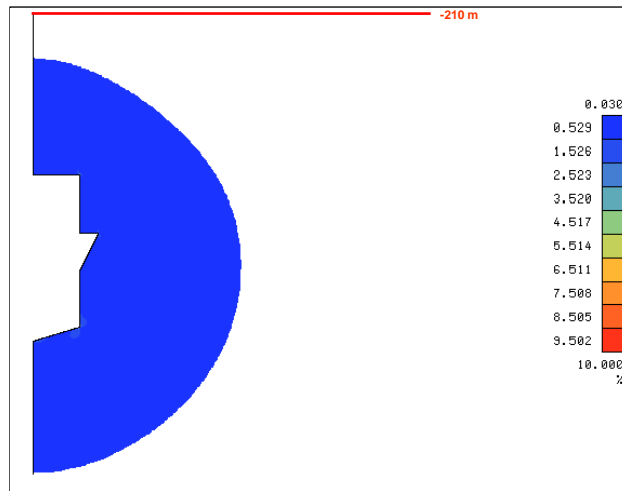


Figure 13 : Norme des déformations viscoplastiques dans les parois de la cavité à la date d'aujourd'hui

4.2 Modélisation 3D

La géométrie simplifiée 3D de la cavité est illustrée par la Figure 14. Compte tenu de la symétrie, seul le quart de la structure a été modélisé (définition de deux plans verticaux de symétrie passant par le centre de la cavité). Les conditions aux limites utilisées sont les mêmes que pour la modélisation 2D : 2 plans verticaux situés à 1000 m de l'axe de la cavité et un plan horizontal située à 1500 m de profondeur. Le maillage correspondant à ce modèle est donné par la Figure 15. Les mêmes propriétés des terrains et les mêmes conditions de calcul ont été appliquées pour simuler le lessivage de la cavité à sa date actuelle.

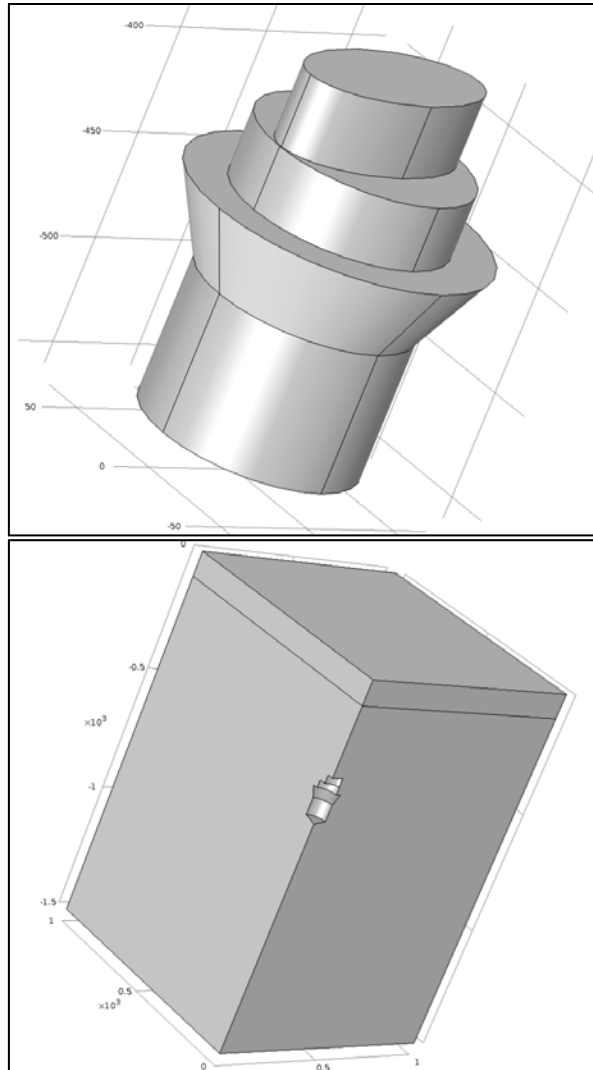


Figure 14 : Géométrie simplifiée de la cavité et conditions aux limites du modèle 3D

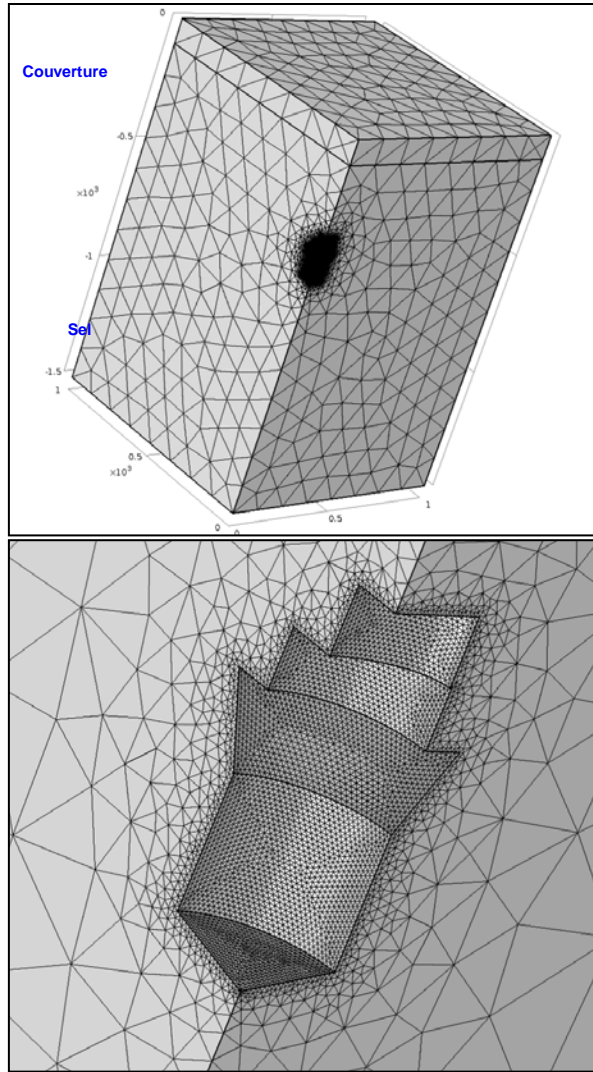
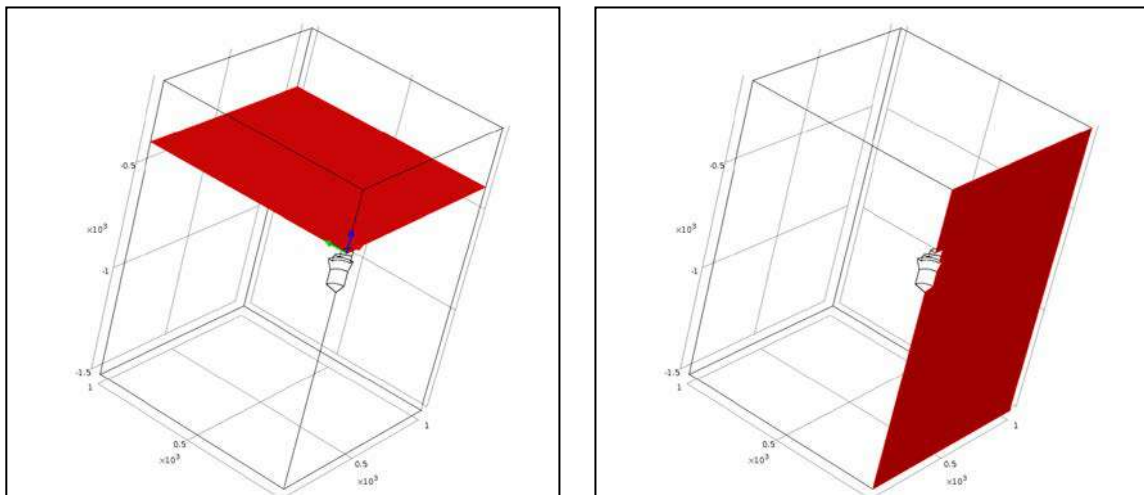


Figure 15 : Maillage 3D de la structure

A titre de comparaison avec le modèle 2D, les mêmes illustrations sont présentées avec différentes vues et coupes réalisées le long des quatre plans indiqués par la Figure 16. Toujours dans un esprit de comparaison, un calcul 3D axisymétrique est réalisé pour le confronter au modèle 2D défini avec un maillage beaucoup plus fin.



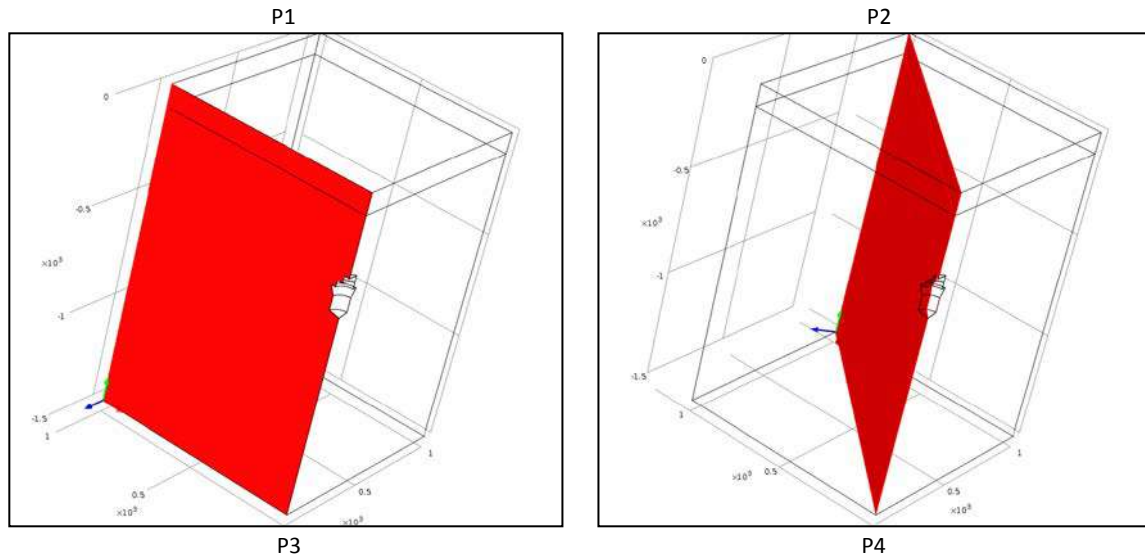


Figure 16 : Plans le long desquels les coupes sont réalisées

La Figure 17 donne la diminution relative du volume de la cavité actuelle durant la phase de lessivage pour les trois modèles établis : le modèle 2D axisymétrique défini avec un maillage très fin, le modèle 3D adoptant la même hypothèse d'axisymétrie et enfin le modèle 3D rendant compte de la géométrie simplifiée de la cavité avec sa forme elliptique supérieure. Le premier résultat à mettre en évidence est que le modèle 3D axisymétrique donne le même résultat que le modèle 2D, ce qui montre que le maillage 3D mis en œuvre est suffisamment fin pour écarter toute différence d'ordre numérique. Le second résultat concerne la très faible différence de perte du volume de la cavité entre les trois configurations étudiées. Ainsi, la contribution de la partie elliptique dans le volume total de la cavité reste très peu significative.

On trouvera respectivement à date actuelle de la cavité la norme des déplacements et la subsidence verticale en surface (Figure 18), la contrainte principale mineure (Figure 19), le déviateur des contraintes (Figure 20), la norme des déformations viscoplastiques (Figure 21) et enfin le profil de la norme des déformations viscoplastiques le long de l'axe de la cavité en partant de la surface (Figure 22).

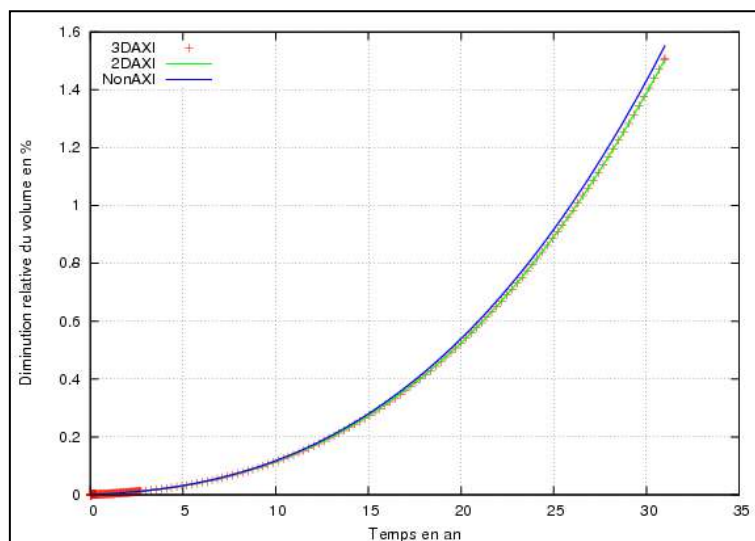


Figure 17 : Perte de volume de la cavité actuelle dans les 3 configurations étudiées

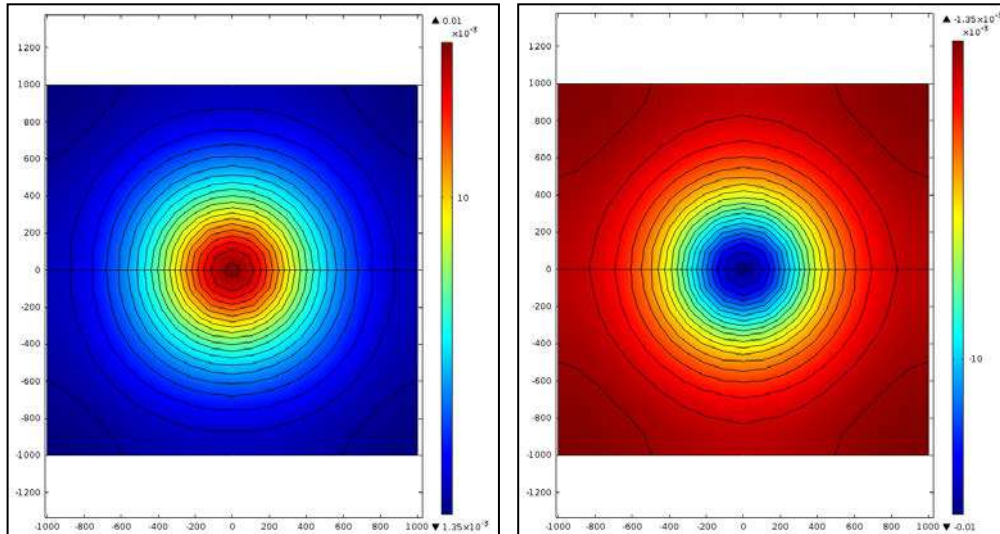


Figure 18 : Norme des déplacements et subsidence verticale en surface à la fin du lessivage (la subsidence verticale maximale au centre de la cavité est seulement de 1 cm)

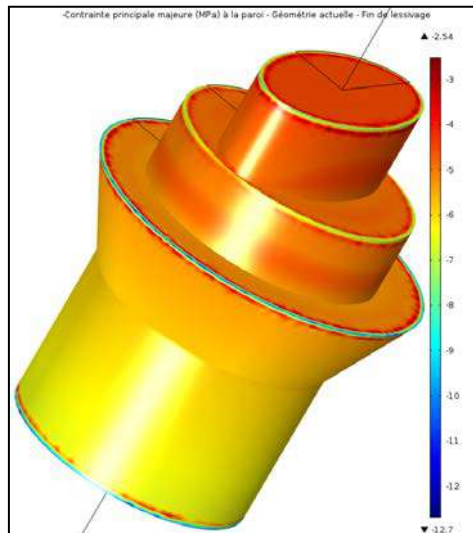
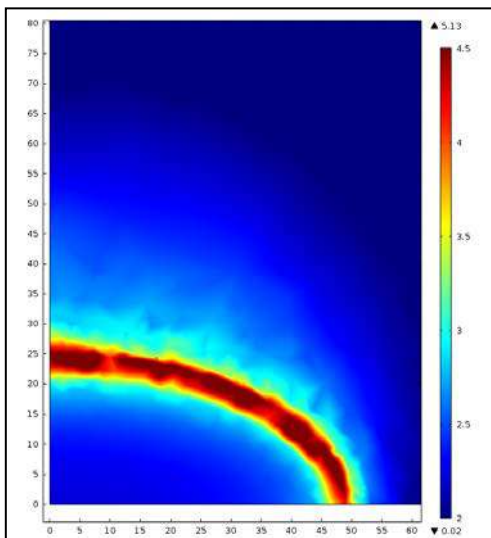
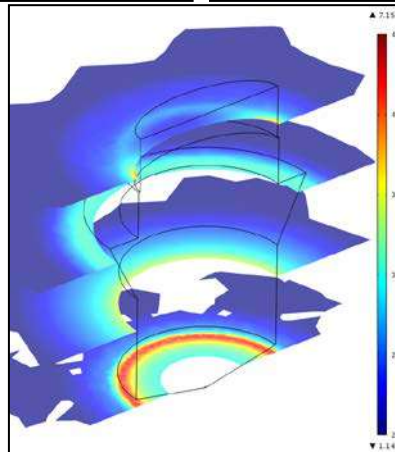
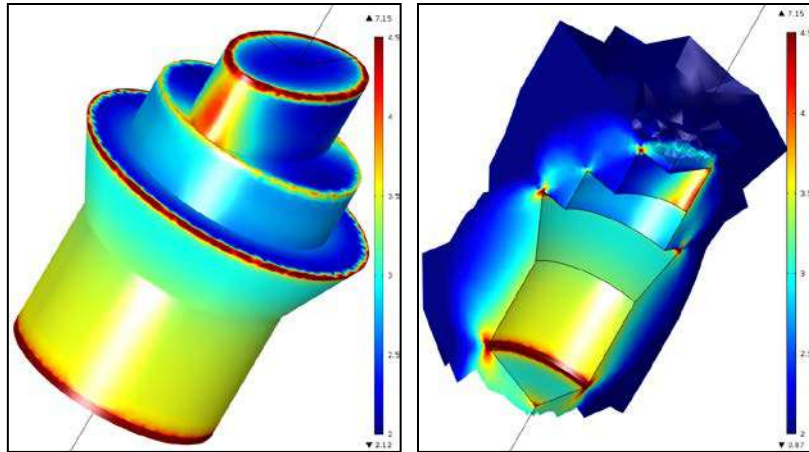
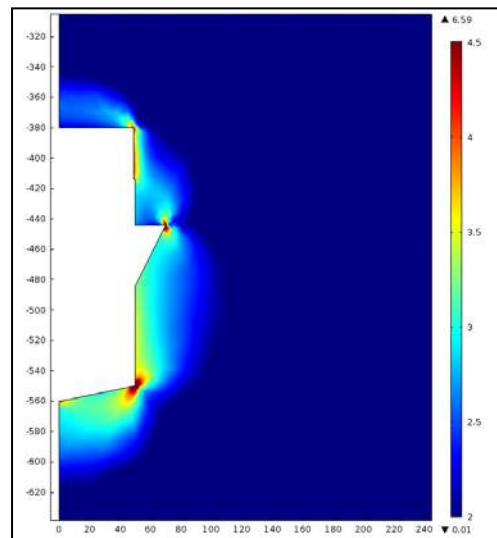


Figure 19 : Contrainte principale mineure dans les parois de la cavité à la date d'aujourd'hui (le signe négatif indique une compression)



P1



P2

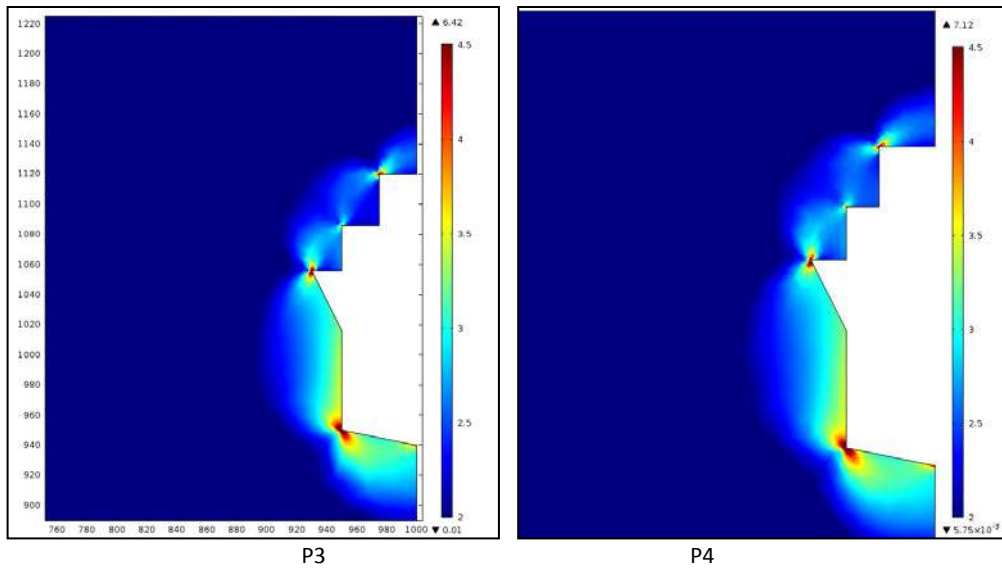
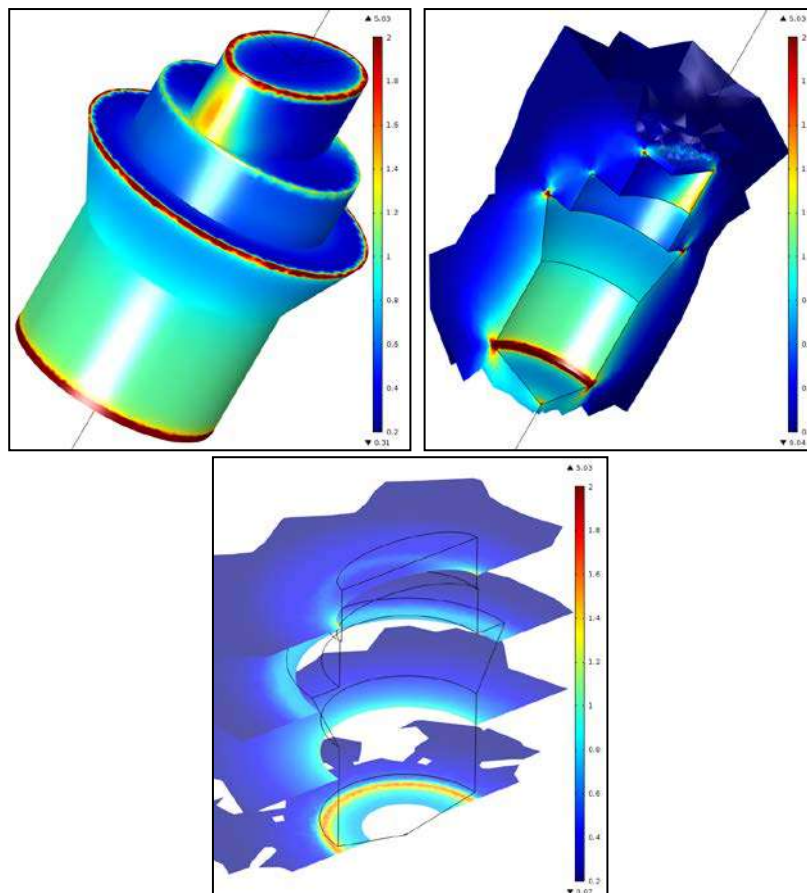


Figure 20 : Déviateur des contraintes dans les parois de la cavité à la date d'aujourd'hui (différentes vues et coupes)



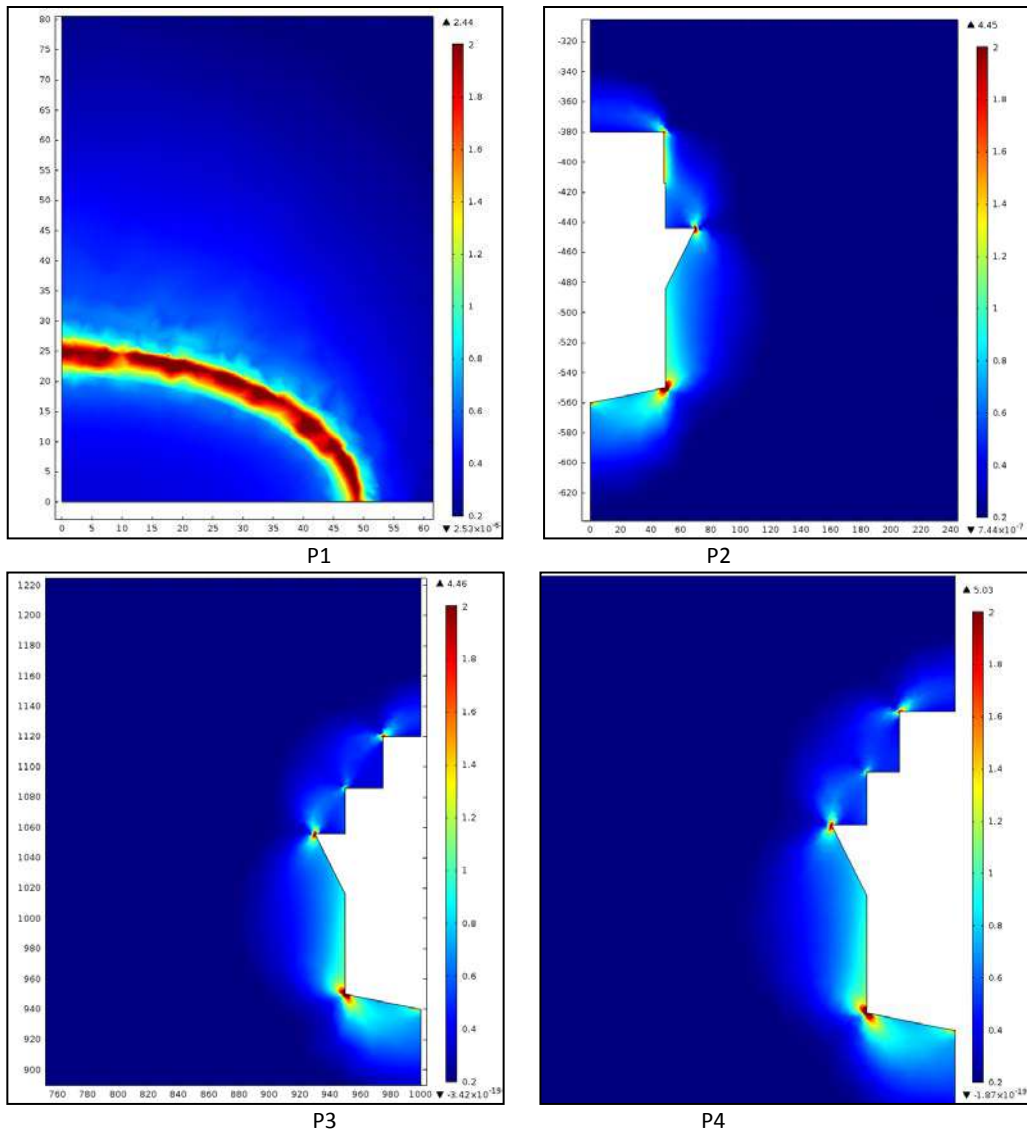


Figure 21 : Norme des déformations viscoplastiques dans les parois de la cavité à la date d'aujourd'hui (différentes vues et coupes)

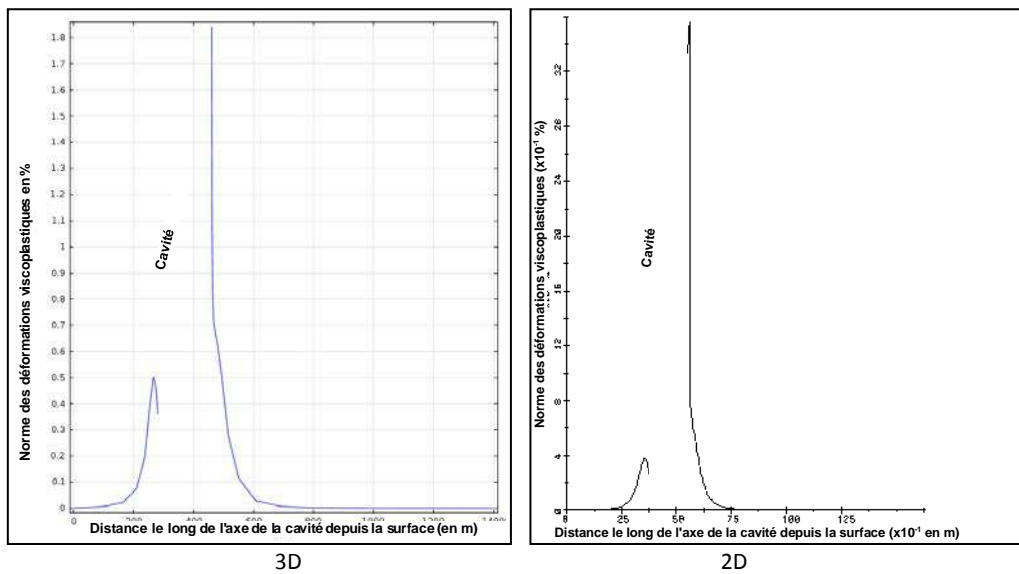


Figure 22 : Norme des déformations viscoplastiques le long de l'axe de la cavité depuis la surface à la date d'aujourd'hui en comparaison avec les résultats du calcul 2D

La comparaison des résultats du modèle 3D avec ceux du modèle 2D conduit aux remarques suivantes :

- La perte de volume de la cavité à la fin de lessivage est seulement de 1.55 % en 3D, le modèle 2D donne une valeur de même ordre de grandeur (1.5 %).
- La subsidence verticale maximale en surface au droit du centre de la cavité est de 1 cm alors que le modèle 2D donne une valeur légèrement plus élevée, mais dont l'amplitude reste faible (de l'ordre de 1.5 cm). Ce résultat s'explique par la différence entre les surfaces découvertes au toit de la cavité dans les deux configurations.
- La contrainte principale mineure est une contrainte de compression et ses valeurs extrêmes à la paroi immédiate de la cavité sont de -2.5 et -12.7 MPa en 3D et -1.7 et -14 MPa en 2D.
- Le déviateur des contraintes se concentre aux coins de la cavité et a pour valeur maximale 7.5 MPa en 3D et 9 MPa en 2D.
- A la fin du lessivage de la cavité, la norme des déformations viscoplastiques est très faible en 3D. Au toit de la cavité, le seuil de 0.03 % ne s'étend que sur une centaine de mètres en 3D alors que son extension est un peu plus élevée en 2D (de l'ordre de 120 m).

4.3 Synthèse

Les principales conclusions à retenir en comparant les résultats du modèle simplifié 3D de la cavité et du modèle 2D représentant la partie supérieure elliptique par un cercle de rayon égal au demi-axe de l'ellipse peuvent être résumées comme suit :

- la stabilité de la cavité dans sa configuration actuelle est confirmée par les deux calculs : contraintes et déformations viscoplastiques admissibles et mouvements de terrains de faible amplitude.
- Le calcul 3D conduit à des conditions plus favorables à la stabilité en termes de répartition de contraintes, d'extension de zones de déformations viscoplastiques et de subsidence de la surface. Une modélisation bidimensionnelle admettant les dimensions maximales de la cavité constitue dans ce cas une approche très sécuritaire.

En se basant sur ce résultat, nous allons étudier la stabilité du projet d'extension de la cavité F812 avec une modélisation bidimensionnelle axisymétrique en considérant les dimensions maximales horizontales. Si les résultats de cette approche conduisent à des conditions favorables, la situation réelle tridimensionnelle ne pourra être que meilleure compte tenu de la marge de sécurité prise en compte dans la modélisation 2D. En revanche, si le résultat est négatif, cela n'impliquera pas nécessairement l'instabilité de la cavité et dans ce cas une modélisation tridimensionnelle 3D serait alors indispensable pour se prononcer.

5 Modélisation 2D du nouveau projet d'exploitation

Le même principe de modélisation axisymétrique a été appliqué que précédemment en retenant cette fois-ci l'extension horizontale maximale de la cavité telle que prévue par le projet d'exploitation (l'ellipse est remplacée par un cercle de rayon égal au grand demi-axe).

Les Figure 23 et la Figure 24 montrent le modèle axisymétrique mis en œuvre par rapport aux configurations envisagées en 2005. Le volume total de la cavité est de 1.68 Mm^3 . Dans ce modèle, nous avons conservé pour la partie inférieure de la cavité (en dessous de 440 m de profondeur) la même géométrie que celle admise dans l'étude de 2005. Nous avons aussi retenu les mêmes hypothèses concernant les conditions aux limites du modèle, l'état initial de contraintes, la durée de lessivage et les critères d'évaluation de la stabilité.

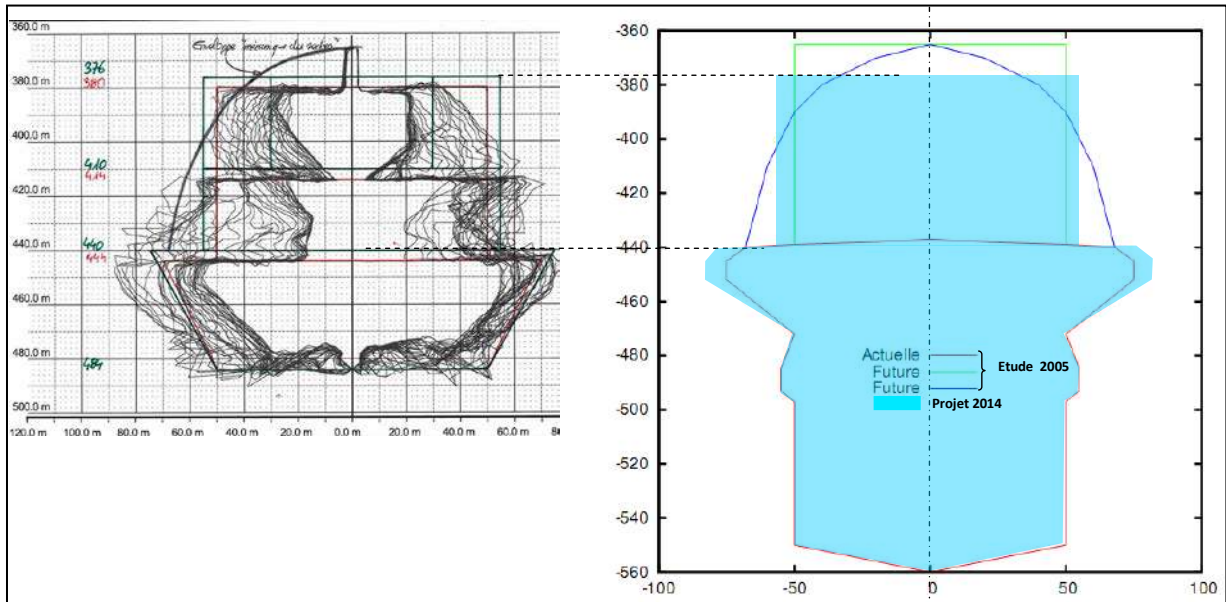


Figure 23 : Modèle 2D du nouveau projet d'exploitation

Dans un but de comparaison, les mêmes résultats sont présentés pour ce nouveau modèle. La Figure 25 montre l'évolution de la variation relative du volume au cours du temps. Au bout de 2 siècles après la fin de lessivage, la cavité perd 6.9 % de son volume, soit la même perte que le cas du toit plat traité en 2005. On retrouve aussi le même résultat concernant la subsidence maximale en surface au centre de la cavité : de l'ordre de 12 cm au bout de 2 siècles.

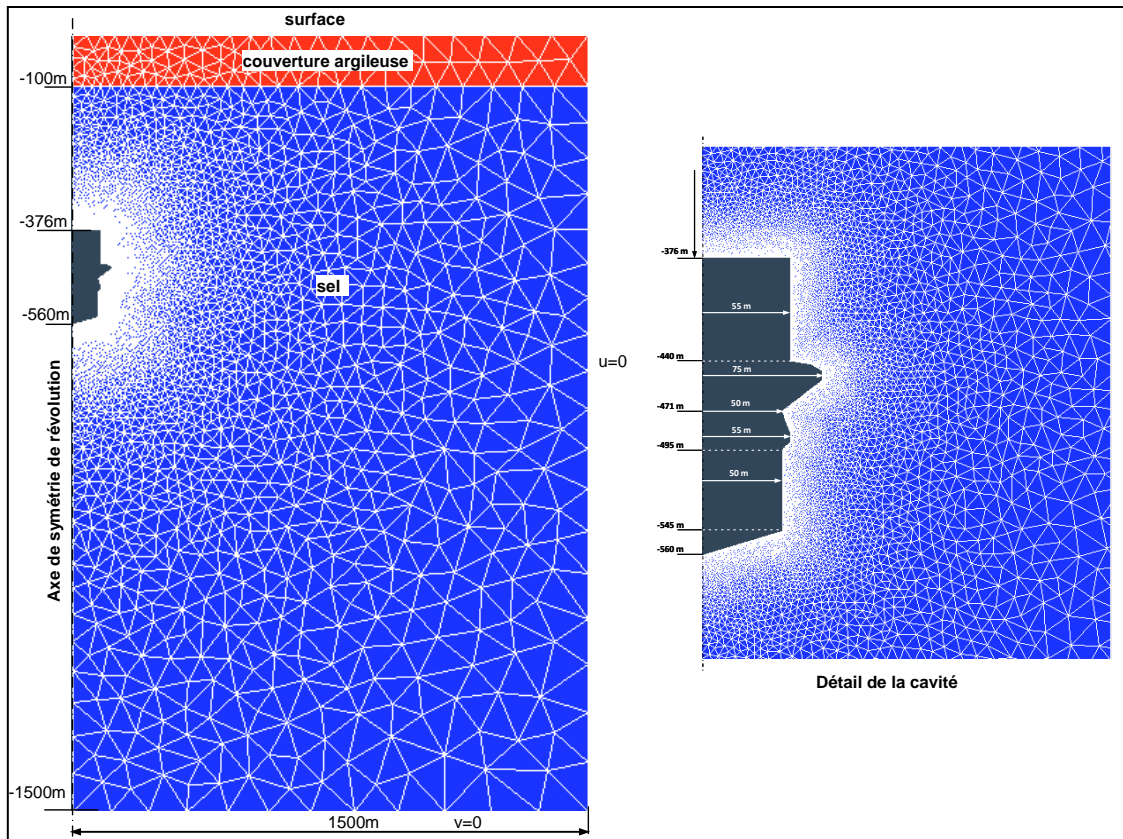


Figure 24 : Maillage de la structure

Aucune traction n'apparait dans les parois de la cavité, la contrainte principale mineure est une contrainte compressive et sa valeur la plus faible est de l'ordre de 2 MPa (Figure 27). Le déviateur de contraintes n'excède jamais le seuil minimal de dilatance de 9 MPa (Figure 28).

La répartition de la norme du tenseur des déformations viscoplastiques 2 siècles après la fin du lessivage, avec le seuil de 0.2 %, n'atteint pas le niveau -210 m. Une planche sécuritaire de 40 m, à la place des 50 m trouvés dans les configurations de 2005, permet d'éviter toute interaction possibles avec les cavités supérieures (Figure 29).

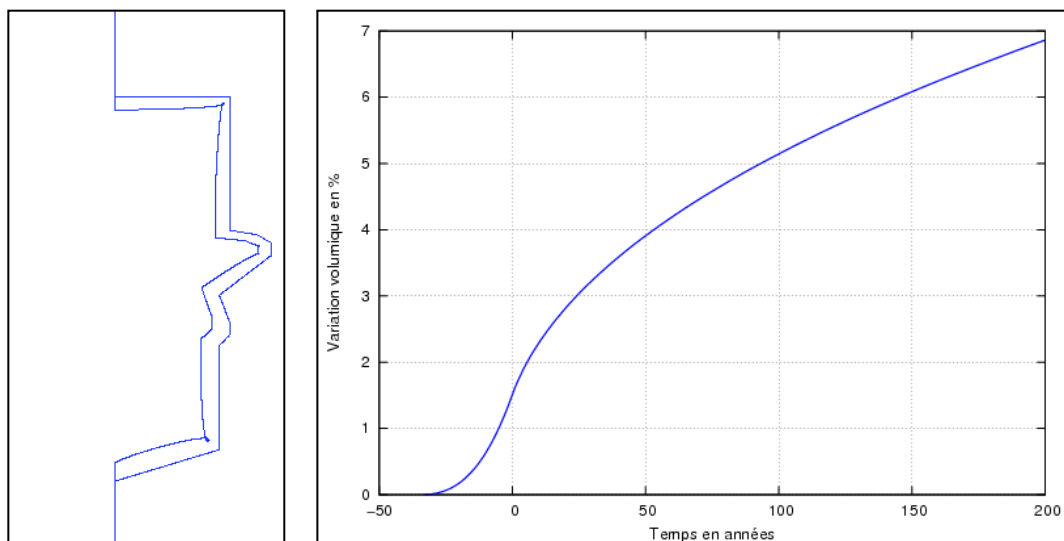


Figure 25 : Déformée de la cavité à la fin de la période simulée et variation relative de son volume en fonction du temps (la date 0 correspond à la fin du lessivage)

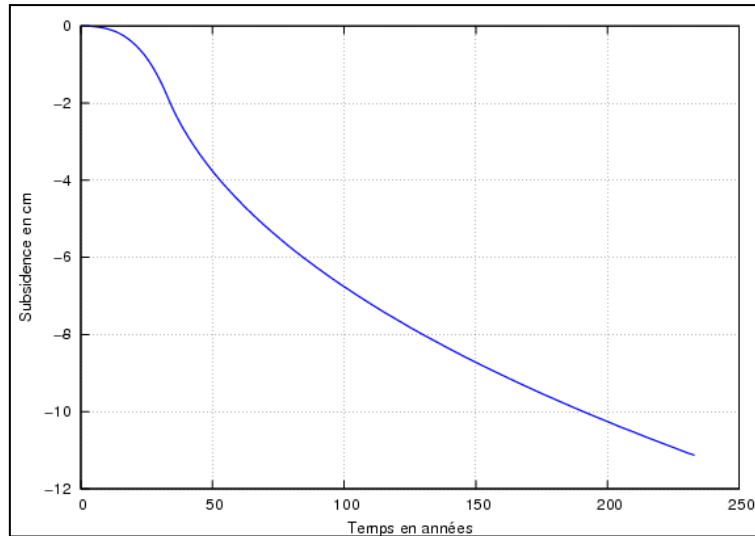


Figure 26 : Evolution de la subsidence maximale en surface au droit du centre de la cavité

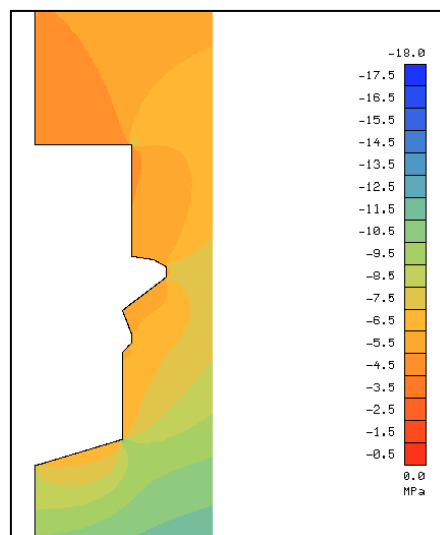


Figure 27 : Contrainte principale mineure dans les parois de la cavité (le signe négatif indique une compression)

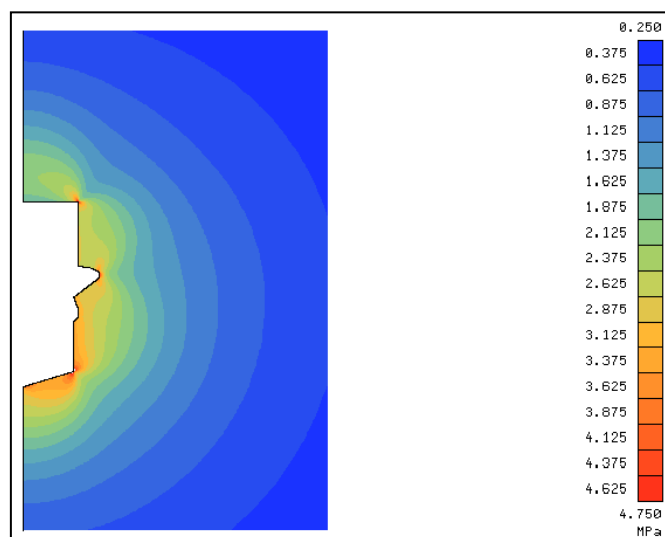


Figure 28 : Déviateur des contraintes dans les parois de la cavité à la fin du lessivage

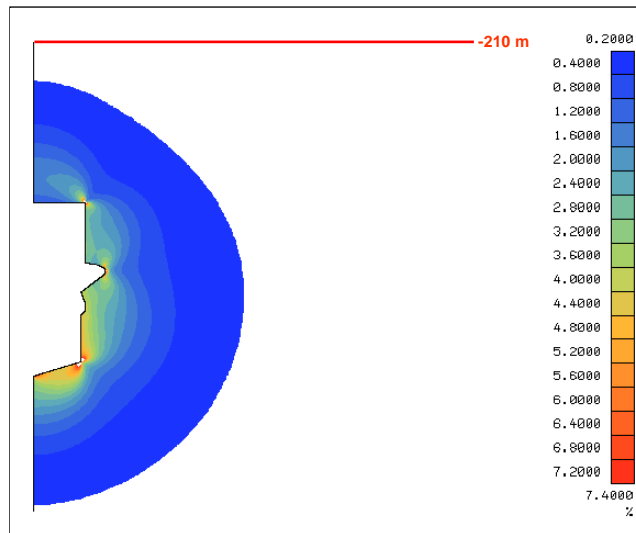


Figure 29 : Norme des déformations viscoplastiques dans les parois de la cavité deux siècles après la fin du lessivage

6 Conclusions

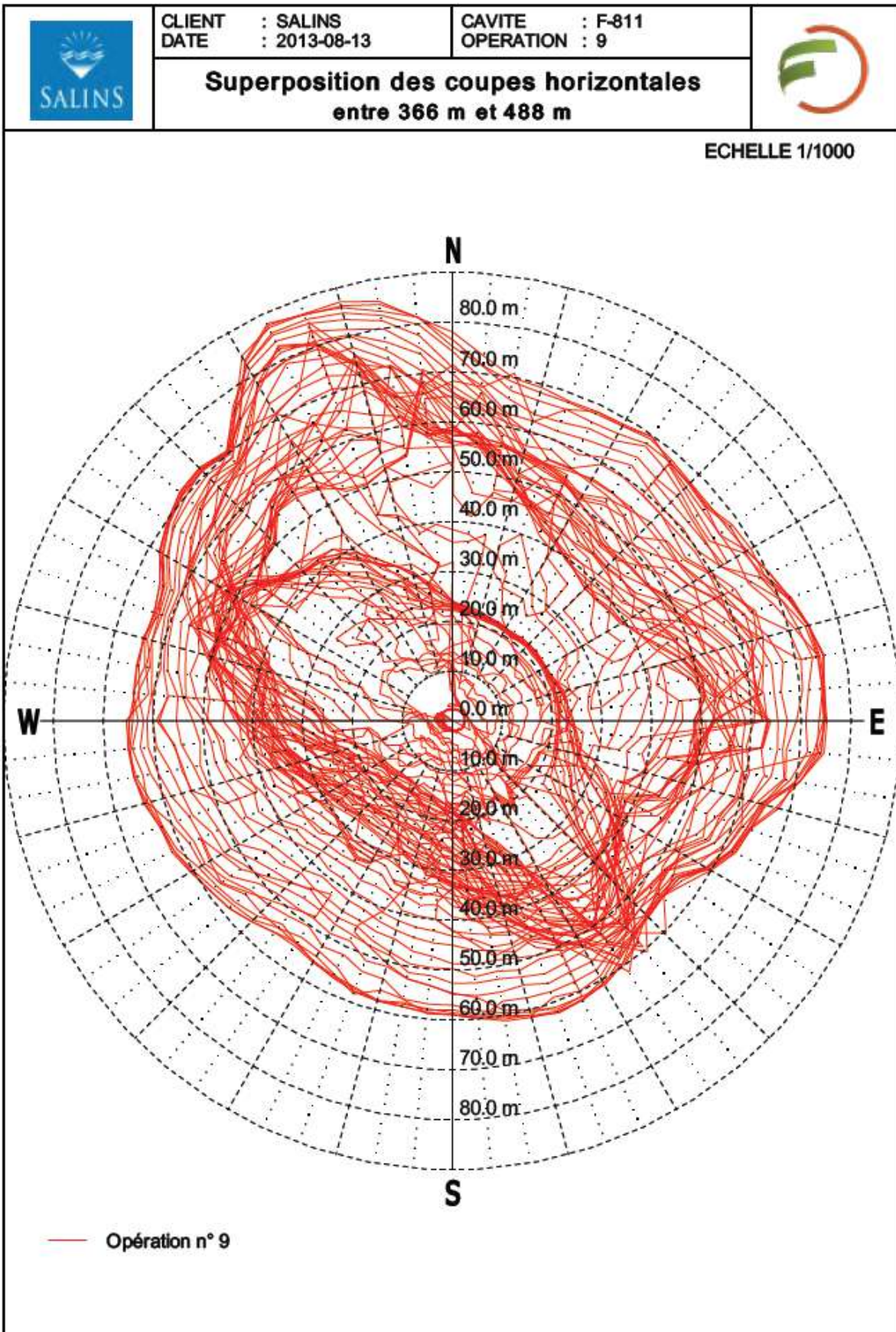
Les derniers relevés sonar ont montré que la dissolution de la partie supérieure de la cavité F811 a conduit à des sections horizontales elliptiques au lieu des sections circulaires souhaitées. Ce résultat a eu deux conséquences importantes sur l'exploitation : le dépassement local de l'enveloppe de la cavité recommandée dans les études de stabilité, et la perte d'une quantité importante de sel. D'après le modèle de dissolution, la poursuite de l'exploitation par injection d'eau douce au fond de la cavité conduirait à un élargissement pouvant atteindre les 5 m dans toutes les directions. La présente étude a pour objectif d'analyser les conditions de stabilité de la cavité dans sa nouvelle configuration.

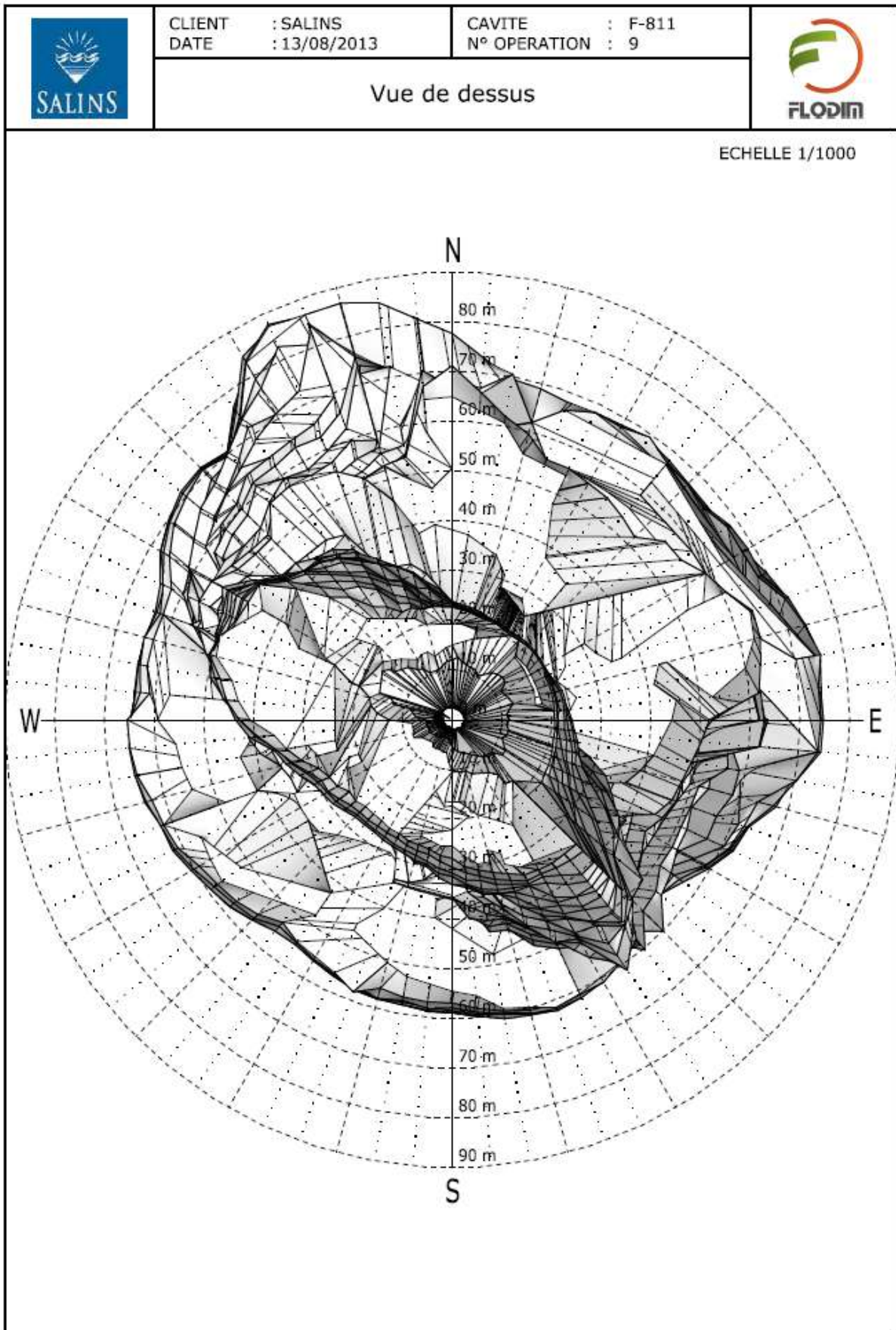
Deux étapes importantes de modélisation ont été réalisées. La première étape a consisté à modéliser la cavité actuelle en 3D en décrivant au mieux sa géométrie réelle et à comparer les résultats obtenus avec un modèle 2D axisymétrique classique utilisant les extensions horizontales maximales de la cavité. L'intérêt recherché dans cette étape est double : d'une part, valider les critères utilisés pour évaluer la stabilité de la cavité, et d'autre part, faire ressortir l'effet de la géométrie réelle 3D par rapport à une géométrie approchée en 2D. Les résultats des deux modèles ont confirmé la stabilité de la cavité dans sa configuration actuelle et ont donné lieu à des mouvements en surface de très faible amplitude et qui sont tout à fait cohérents avec les observations sur site. Le calcul 3D a conduit à des conditions plus favorables à la stabilité en termes de répartition de contraintes, d'extension de zones de déformations viscoplastiques et de subsidence en surface. Dans ces conditions, l'évaluation de la stabilité avec un modèle bidimensionnel axisymétrique admettant les dimensions horizontales maximales de la cavité constitue une approche pessimiste intégrant de facto une marge de sécurité.

C'est l'approche que nous avons suivie dans la seconde étape de l'étude. La modélisation 2D axisymétrique a concerné une cavité de volume 1.68 Mm^3 dont l'exploitation se fait dans les mêmes conditions que l'étude de 2005 : lessivage pendant 33 ans et suivi du comportement des terrains sur une durée de 200 ans. Les résultats obtenus ont montré qu'au bout de 2 siècles, la cavité ne perd qu'environ 6.9 % de son volume et que la surface ne subit qu'une

subsidence maximale au centre de la cavité de l'ordre de 12 cm. La répartition des contraintes reste admissible avec une absence de traction et un déviateur de contraintes inférieur au seuil minimal de 9 MPa, au moment le plus critique correspondant à la fin du lessivage. L'extension de la zone des déformations viscoplastiques au bout de deux siècles reste aussi limitée et n'atteint pas le niveau -210 m avec une garde sécuritaire de 40 m permettant d'éviter toute interaction avec les cavités sus-jacentes.

Sur la base de tous ces résultats, nous pouvons conclure que le projet de poursuite de l'exploitation de la cavité F811 offre les conditions nécessaires à la stabilité en souterrain et en surface.





Salins – Actualisation de l'étude de stabilité de la cavité F811 dans l'exploitation de Saint Padelon
Annexe : Données sonar de la cavité



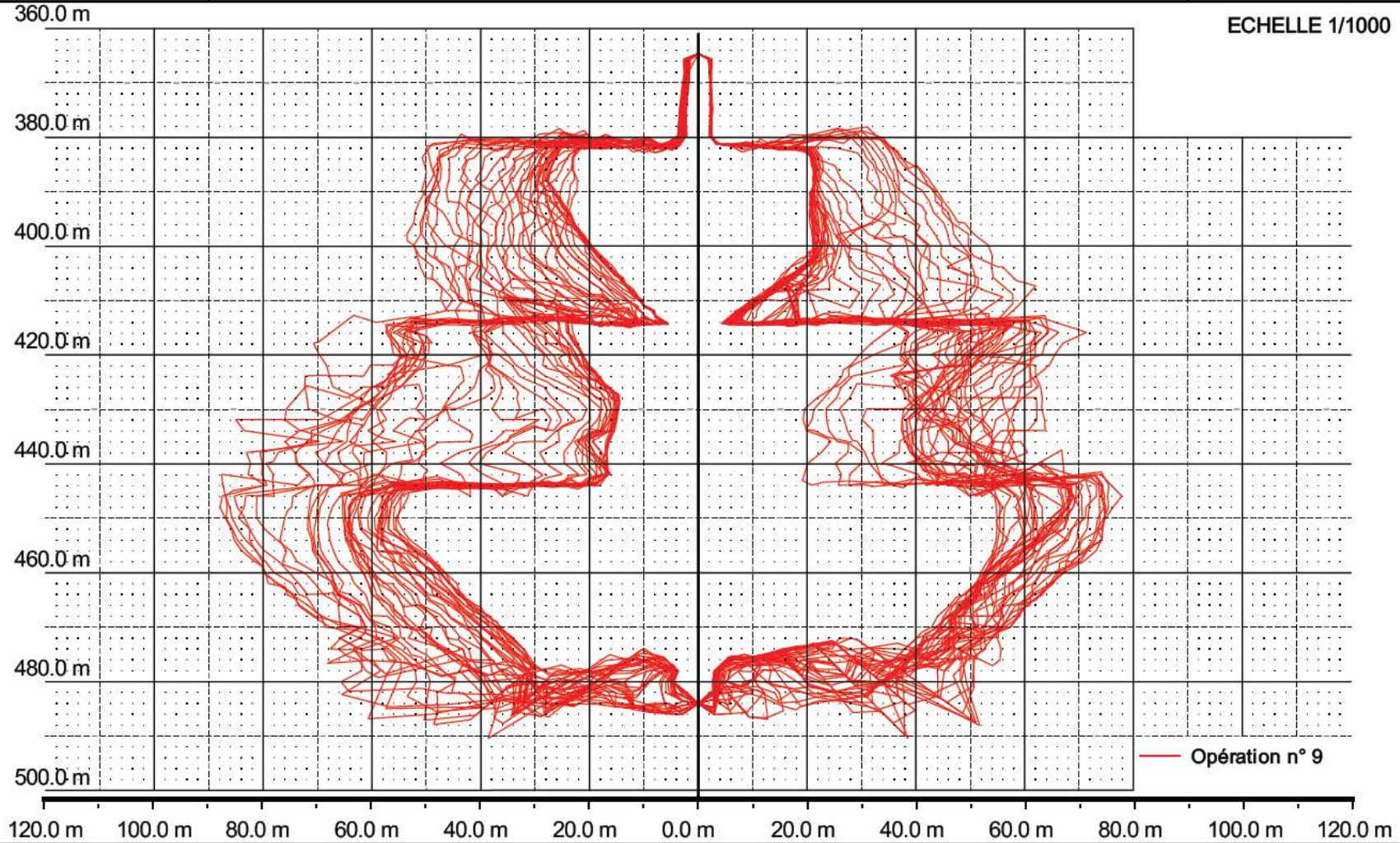
CLIENT : SALINS
DATE : 2013-08-13

CAVITE : F-811
OPERATION : 9



Superposition des coupes verticales
entre 0° et 175° tous les 5°

ECHELLE 1/1000



Salins – Actualisation de l'étude de stabilité de la cavité F811 dans l'exploitation de Saint Padelon
Annexe : Données sonar de la cavité

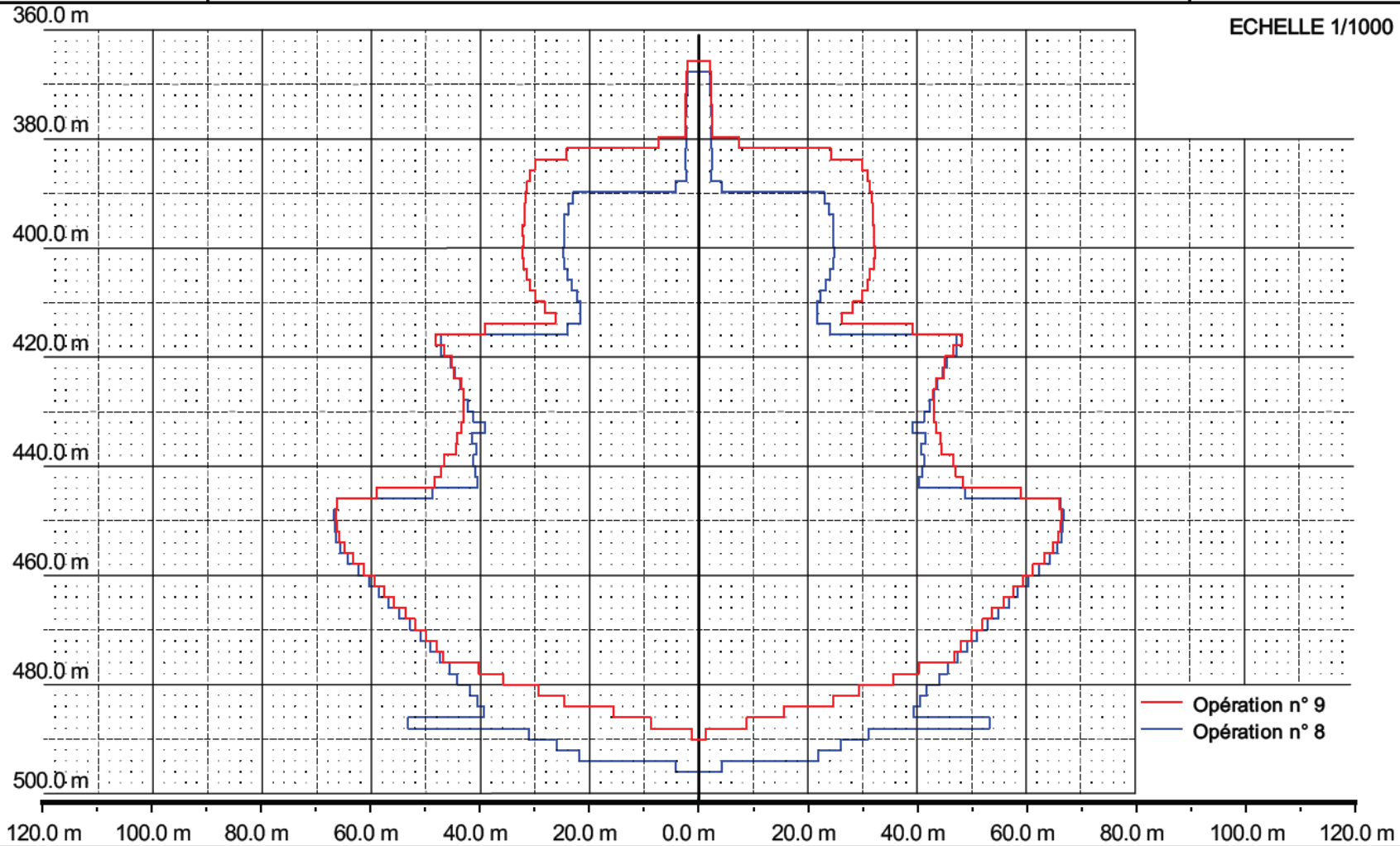


CLIENT : SALINS
DATE : 2013-08-13

CAVITE : F-811
OPERATION : 9





Courbe des rayons moyens





Salins – Actualisation de l'étude de stabilité de la cavité F811 dans l'exploitation de Saint Padelon

Annexe : Données sonar de la cavité

		CLIENT : SALINS DATE : 2013-08-13		CAVITE : F-811 OPERATION : 9		1					
		Tableau récapitulatif des caractéristiques de la cavité									
Profondeur (m)	Volume Cumulé (m3)	Volume Tranche (m3)	Superficie Tranche (m2)	Rayon Moyen (m)	Diamètre Moyen (m)	Rayon Mini (m)	Rayon Maxi (m)	Orientation Rayon Maxi (°)	Diamètre Mini (m)	Diamètre Maxi (m)	Orientation Diam. Maxi (°)
364.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
365.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
366.00	3.07	3.07	14.39	2.14	4.28	0.53	2.65	295.00	2.84	5.10	115.00
367.00	11.13	8.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
368.00	23.54	12.41	15.23	2.20	4.40	1.55	2.63	295.00	3.85	5.01	115.00
369.00	39.02	15.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-
370.00	54.97	15.95	16.17	2.27	4.54	1.64	2.81	280.00	3.94	5.19	100.00
371.00	71.45	16.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
372.00	88.52	17.07	17.34	2.35	4.70	1.88	3.05	280.00	4.20	5.40	100.00
373.00	106.20	17.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-
374.00	124.51	18.31	18.63	2.44	4.87	2.07	3.29	280.00	4.39	5.61	100.00
375.00	143.66	19.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
376.00	163.30	19.65	19.71	2.51	5.01	2.13	3.48	280.00	4.40	5.81	100.00
377.00	183.10	19.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
378.00	203.06	19.96	20.03	2.53	5.05	2.12	3.61	280.00	4.32	5.98	100.00
379.00	223.19	20.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
380.00	292.12	68.93	167.98	7.31	14.62	2.08	32.70	150.00	4.24	35.15	150.00
381.00	621.69	329.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-
382.00	1993.46	1371.76	1829.16	24.13	48.26	3.66	49.73	290.00	14.05	61.70	140.00
383.00	4634.41	2640.96	-	-	-	-	-	-	-	-	-
384.00	7396.18	2761.76	2817.90	29.95	59.90	20.55	50.59	285.00	46.81	72.17	135.00
385.00	10268.63	2872.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
386.00	13214.04	2945.41	2982.15	30.81	61.62	20.99	49.98	285.00	48.21	78.20	135.00
387.00	16228.18	3014.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
388.00	19293.39	3065.21	3087.13	31.35	62.69	21.06	50.07	285.00	48.66	80.53	135.00
389.00	22409.44	3116.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
390.00	25561.44	3151.99	3161.73	31.72	63.45	20.81	50.68	285.00	47.10	84.43	135.00
391.00	28724.51	3163.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
392.00	31906.21	3181.70	3194.99	31.89	63.78	20.47	51.12	300.00	45.59	86.87	135.00
393.00	35096.54	3190.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
394.00	38290.29	3193.75	3192.68	31.88	63.76	20.29	51.91	300.00	44.09	87.14	135.00
395.00	41494.41	3204.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
396.00	44720.87	3226.46	3242.57	32.13	64.25	20.47	52.19	300.00	43.57	90.13	140.00
397.00	47962.37	3241.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
398.00	51200.23	3237.85	3230.75	32.07	64.14	20.91	53.41	300.00	42.84	91.88	140.00



Salins – Actualisation de l'étude de stabilité de la cavité F811 dans l'exploitation de Saint Pandelon

Annexe : Données sonar de la cavité

		CLIENT : SALINS DATE : 2013-08-13		CAVITE : F-811 OPERATION : 9			2					
Tableau récapitulatif des caractéristiques de la cavité												
Profondeur (m)	Volume Cumulé (m3)	Volume Tranche (m3)	Superficie Tranche (m2)	Rayon Moyen (m)	Diamètre Moyen (m)	Rayon Mini (m)	Rayon Maxi (m)	Orientation Rayon Maxi (°)	Diamètre Mini (m)	Diamètre Maxi (m)	Orientation Diam. Maxi (°)	
399.00	54444.46	3244.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
400.00	57709.49	3265.03	3276.65	32.30	64.59	19.58	53.14	140.00	41.36	94.60	140.00	
401.00	60974.74	3265.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
402.00	64232.87	3258.13	3240.76	32.12	64.24	17.67	53.93	140.00	39.45	95.91	140.00	
403.00	67442.77	3209.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
404.00	70579.80	3137.04	3086.41	31.34	62.69	15.56	54.88	145.00	35.16	96.26	140.00	
405.00	73665.01	3085.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
406.00	76699.88	3034.87	2973.46	30.76	61.53	13.75	57.79	145.00	30.71	99.58	145.00	
407.00	79713.65	3013.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
408.00	82665.99	2952.34	2788.64	29.79	59.59	12.04	61.43	145.00	26.63	103.29	145.00	
409.00	85478.97	2812.99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
410.00	88158.56	2679.59	2492.16	28.17	56.33	9.63	59.67	145.00	20.50	99.18	140.00	
411.00	90706.41	2547.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
412.00	93114.69	2408.28	2163.44	26.24	52.48	6.98	57.73	145.00	15.39	97.42	140.00	
413.00	95368.87	2254.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
414.00	98226.99	2858.12	4377.40	39.07	78.13	4.75	64.93	0.00	12.09	101.66	175.00	
415.00	104368.33	6141.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
416.00	111544.85	7176.52	7260.39	48.07	96.15	23.00	71.17	0.00	75.93	108.97	150.00	
417.00	118644.37	7099.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
418.00	125505.46	6861.09	6785.37	46.47	92.95	22.14	70.52	355.00	72.46	107.35	145.00	
419.00	132180.09	6674.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
420.00	138672.31	6492.22	6375.74	45.05	90.10	21.17	69.55	355.00	69.23	104.65	145.00	
421.00	145087.31	6415.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
422.00	151372.91	6285.60	6291.01	44.75	89.50	19.98	68.15	355.00	66.42	104.87	145.00	
423.00	157506.49	6133.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
424.00	163431.09	5924.60	5908.89	43.37	86.74	18.13	72.04	350.00	62.74	106.27	145.00	
425.00	169304.55	5873.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
426.00	175230.05	5925.50	5782.55	42.90	85.81	16.31	72.14	350.00	59.73	108.00	145.00	
427.00	181197.38	5967.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
428.00	187120.30	5922.91	5810.44	43.01	86.01	14.47	73.75	345.00	54.75	108.12	145.00	
429.00	192937.91	5817.61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
430.00	198792.16	5854.25	5800.95	42.97	85.94	14.58	75.49	345.00	52.70	111.89	145.00	
431.00	204666.78	5874.62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
432.00	210622.20	5955.42	5902.74	43.35	86.69	14.90	84.78	340.00	52.60	116.42	140.00	
433.00	216660.06	6037.86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	



Salins – Actualisation de l'étude de stabilité de la cavité F811 dans l'exploitation de Saint Padelon

Annexe : Données sonar de la cavité

		CLIENT : SALINS DATE : 2013-08-13		CAVITE : F-811 OPERATION : 9		3					
		Tableau récapitulatif des caractéristiques de la cavité									
Profondeur (m)	Volume Cumulé (m3)	Volume Tranche (m3)	Superficie Tranche (m2)	Rayon Moyen (m)	Diamètre Moyen (m)	Rayon Mini (m)	Rayon Maxi (m)	Orientation Rayon Maxi (°)	Diamètre Mini (m)	Diamètre Maxi (m)	Orientation Diam. Maxi (°)
434.00	222848.77	6188.71	6147.92	44.24	88.47	15.34	83.27	340.00	53.35	121.94	145.00
435.00	229039.90	6191.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
436.00	235232.80	6192.90	6200.81	44.43	88.85	16.31	75.71	345.00	54.97	126.26	140.00
437.00	241640.99	6408.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
438.00	248335.09	6694.10	6821.81	46.60	93.20	16.74	82.75	335.00	55.84	130.54	140.00
439.00	255116.10	6781.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
440.00	261941.28	6825.18	6943.02	47.01	94.02	16.52	82.08	335.00	56.05	128.63	135.00
441.00	268906.21	6964.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-
442.00	275973.94	7067.73	7314.29	48.25	96.50	16.31	82.51	335.00	59.40	121.93	145.00
443.00	283887.87	7913.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
444.00	293572.03	9684.16	10161.69	58.95	117.90	18.04	79.49	335.00	63.83	140.51	160.00
445.00	306366.47	12794.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-
446.00	319815.64	13449.16	13692.66	66.02	132.04	53.15	87.26	335.00	120.54	148.18	155.00
447.00	333549.58	13733.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-
448.00	347345.89	13796.31	13823.35	66.33	132.67	54.15	87.64	335.00	122.11	149.23	155.00
449.00	361152.34	13806.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-
450.00	374928.06	13775.72	13762.70	66.19	132.38	54.74	86.76	335.00	122.10	148.74	160.00
451.00	388629.23	13701.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
452.00	402220.15	13590.92	13541.15	65.65	131.31	54.35	85.58	335.00	120.35	147.47	160.00
453.00	415656.00	13435.86	-	-	-	-	-	-	-	-	-
454.00	428898.72	13242.71	13154.14	64.71	129.42	52.88	85.09	335.00	116.23	144.82	155.00
455.00	441877.28	12978.56	-	-	-	-	-	-	-	-	-
456.00	454536.37	12659.09	12515.67	63.12	126.24	50.27	83.72	335.00	110.45	141.30	155.00
457.00	466801.47	12265.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
458.00	478695.45	11893.98	11737.24	61.12	122.25	48.41	81.27	335.00	104.39	136.69	155.00
459.00	490224.71	11529.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
460.00	501402.16	11177.45	11009.66	59.20	118.40	46.32	79.80	340.00	101.34	133.66	160.00
461.00	512231.25	10829.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
462.00	522762.04	10530.79	10370.21	57.45	114.91	44.26	78.78	335.00	97.71	130.19	155.00
463.00	532952.97	10190.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-
464.00	542865.23	9912.26	9761.15	55.74	111.48	43.08	75.50	340.00	93.61	125.44	160.00
465.00	552419.77	9554.54	-	-	-	-	-	-	-	-	-
466.00	561633.51	9213.74	9014.76	53.57	107.14	40.73	73.34	340.00	90.17	121.52	155.00
467.00	570532.66	8899.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
468.00	579111.21	8578.55	8453.79	51.87	103.75	38.09	70.60	340.00	84.49	116.15	150.00

Salins – Actualisation de l'étude de stabilité de la cavité F811 dans l'exploitation de Saint Pandelon

Annexe : Données sonar de la cavité

		CLIENT : SALINS DATE : 2013-08-13		CAVITE : F-811 OPERATION : 9		4					
		Tableau récapitulatif des caractéristiques de la cavité									
Profondeur (m)	Volume Cumulé (m3)	Volume Tranche (m3)	Superficie Tranche (m2)	Rayon Moyen (m)	Diamètre Moyen (m)	Rayon Mini (m)	Rayon Maxi (m)	Orientation Rayon Maxi (°)	Diamètre Mini (m)	Diamètre Maxi (m)	Orientation Diam. Maxi (°)
469.00	587358.95	8247.74	-	-	-	-	-	-	-	-	-
470.00	595356.38	7997.43	7833.99	49.94	99.87	36.13	68.35	345.00	81.86	112.71	165.00
471.00	603025.02	7668.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-
472.00	610375.77	7350.75	7200.42	47.87	95.75	33.88	65.70	325.00	80.79	109.18	145.00
473.00	617352.50	6976.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-
474.00	623996.44	6643.94	6433.27	46.76	93.52	15.16	67.18	335.00	49.90	107.51	155.00
475.00	630274.63	6278.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
476.00	635885.19	5610.56	4958.29	40.20	80.40	5.04	62.28	340.00	11.16	100.46	155.00
477.00	640505.10	4619.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-
478.00	644326.26	3821.16	3498.60	35.65	71.29	2.94	61.69	335.00	6.56	99.10	155.00
479.00	647554.58	3228.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
480.00	650328.20	2773.62	2670.64	29.21	58.43	2.59	65.44	335.00	7.14	101.62	155.00
481.00	652818.24	2490.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
482.00	654843.81	2025.57	1892.13	24.54	49.08	2.12	64.79	330.00	5.26	88.62	85.00
483.00	656353.33	1509.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
484.00	657340.81	987.48	762.37	15.58	31.16	0.00	59.31	325.00	5.16	86.89	85.00
485.00	657876.40	535.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
486.00	658044.18	167.78	243.63	8.81	17.61	2.95	60.15	325.00	37.09	62.71	130.00
487.00	658104.23	60.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
488.00	658117.25	13.02	4.79	1.24	2.47	36.14	37.80	170.00	-	-	-
489.00	658120.52	3.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
490.00	658121.63	1.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
491.00	658121.63	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Annexe C :
Rapport de la société ARMINES sur la stabilité des futures cavités de dissolution des sondages S-221 et S-321

Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est
Développement de deux nouvelles cavités d'exploitation par
dissolution dans le champ de Saint Pandelon

Faouzi HADJ-HASSEN

Octobre 2020

Référence R201006FHAD

S O M M A I R E

1. INTRODUCTION.....	3
2. DONNEES GENERALES DU SITE	3
2.1 Historique de l'exploitation	3
2.2 Caractéristiques géotechniques des terrains	4
2.3 Conditions de stabilité des cavités actuelles	6
2.4 Géométrie des nouvelles cavités	7
3. MODELISATION DE LA STABILITE DES NOUVELLES CAVITES.....	8
3.1 Méthodologie suivie	8
3.2 Analyse de la stabilité	9
4. CONCLUSION	14

1. INTRODUCTION

La Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est exploite au sud de Dax à St Pandelon (Landes) depuis 1965 une série de cinq cavités de dissolution dans un dôme de sel pour l'extraction de sel gemme. Ces cavités sont isolées, à l'exception des cavités Nord et Sud qui ont été en communication hydraulique jusqu'à ce que les boues d'épuration y soient injectées.

L'exploitation par dissolution est située à proximité de l'ancienne mine de St Pandelon qui a connu plusieurs effondrements et dont les plus récents se sont produits en 1982 et 1986. Suite à l'effondrement de 1982, une campagne de nivellement a été mise en place en 1983 pour mesurer les mouvements de surface induits par l'ancienne exploitation ainsi que par les cavités de dissolution.

Le Centre de Géosciences de MINES ParisTech a été impliqué à plusieurs reprises dans l'étude de stabilité de l'exploitation notamment celle de la grande cavité S811 (rapports de 1981, 1982, 2000, 2005, 2010, 2014 et 2018). L'étude de 2010 s'est intéressée également à l'ancienne exploitation et aux effondrements qui lui sont associés.

La société envisage la création d'une nouvelle cavité S221 dont il faut définir l'emplacement par rapport aux cinq cavités existantes ainsi que par rapport à l'ancienne exploitation. La réalisation d'une deuxième cavité S321 de mêmes dimensions est également envisagée avec la nécessité de définir dans ce cas la largeur du pilier à conserver entre les deux nouvelles cavités.

La présente étude se propose de traiter ces deux questions en s'appuyant sur les données acquises sur l'exploitation, notamment lors de l'étude de 2010 qui portait sur la stabilité à long terme des cavités de dissolution (Réf. R100318FHAD). Elle commence par un rappel des données géologiques et géotechniques des terrains ainsi que des caractéristiques des cinq cavités actuelles et de l'ancienne exploitation. La forme théorique de la nouvelle cavité est décrite et une modélisation numérique de son comportement est réalisée dans le but d'étudier ses conditions de stabilité ainsi que sa zone d'influence. Les résultats de cette modélisation et le retour d'expérience sur les cavités existantes permettent alors de conclure.

2. DONNEES GENERALES DU SITE

2.1 Historique de l'exploitation

L'exploitation ancienne dans la mine a débuté par le creusement de galeries au niveau -105 entre 1881 et 1885. Cet étage a été noyé à la fin de 1885 et l'ennoyage a été suivi par un effondrement à l'aplomb du point d'entrée d'eau de la mine. Entre 1885 et 1890, l'exploitation a repris dans l'étage -70 qui a été également noyé à la fin de cette période. Les travaux se sont poursuivis par la suite dans l'étage -135 jusqu'à 1905. Ce dernier étage a été partiellement noyé en 1890, puis complètement en 1905, date à laquelle l'exploitation a été abandonnée.

Le 16 décembre 1907, un effondrement important s'est produit en surface avec un contour qui correspond à l'extension de l'étage -70 (Figure 1). Onze sondages ont été alors forés entre 1905 et 1948 pour y pomper de la saumure ou y injecter de l'eau douce. Ces sondages étaient tous en communication avec les travaux miniers souterrains. Le lessivage incontrôlé a conduit à l'extension de l'effondrement au fur et à mesure du pompage de la saumure dans les sondages. Cette procédure d'exploitation s'est poursuivie jusqu'en 1962.

En 1982 et 1986 deux effondrements se sont produits à l'est de l'ancienne mine. Ces effondrements résultent probablement de la dissolution non contrôlée du sel au toit du gisement consécutive des pompages. Une insuffisance des injections d'eau a entraîné le drainage au contact du sel des eaux douces situées dans le recouvrement ou des eaux de surface, par des fractures verticales. Au point de contact entre les eaux douces et le sel, des

cavités se sont formées par dissolution. La remontée de ces cavités sous forme de fontis a pu conduire aux deux effondrements observés.

L'exploitation moderne a démarré en 1965 avec la réalisation de deux sondages S-Nord et S-Sud pour une exploitation par dissolution avec des cavités isolées. Ces deux sondages sont entrés en communication en 1980 et ont été par conséquent exploités en doublet (S-Sud injecteur et S-Nord extracteur). Les trois autres sondages S721, S791 et S811 sont restés isolés entre eux et isolés du doublet. Les sondages S-Sud, S-Nord, S721 et S791 sont épuisés et ne sont plus exploités. L'exploitation actuelle se fait uniquement au niveau du sondage S811 qui est en fin de vie, ce qui justifie le développement des nouvelles cavités S221 et S321.

La Figure 1 donne la localisation des ouvrages souterrains ainsi que les zones d'effondrement liés à l'exploitation ancienne et au lessivage incontrôlé par sondages. On trouve également dans cette figure l'emplacement des 5 cavités exploitées par dissolution. La Figure 2 donne une vue en plan plus récente de ces cavités ainsi qu'une coupe verticale.

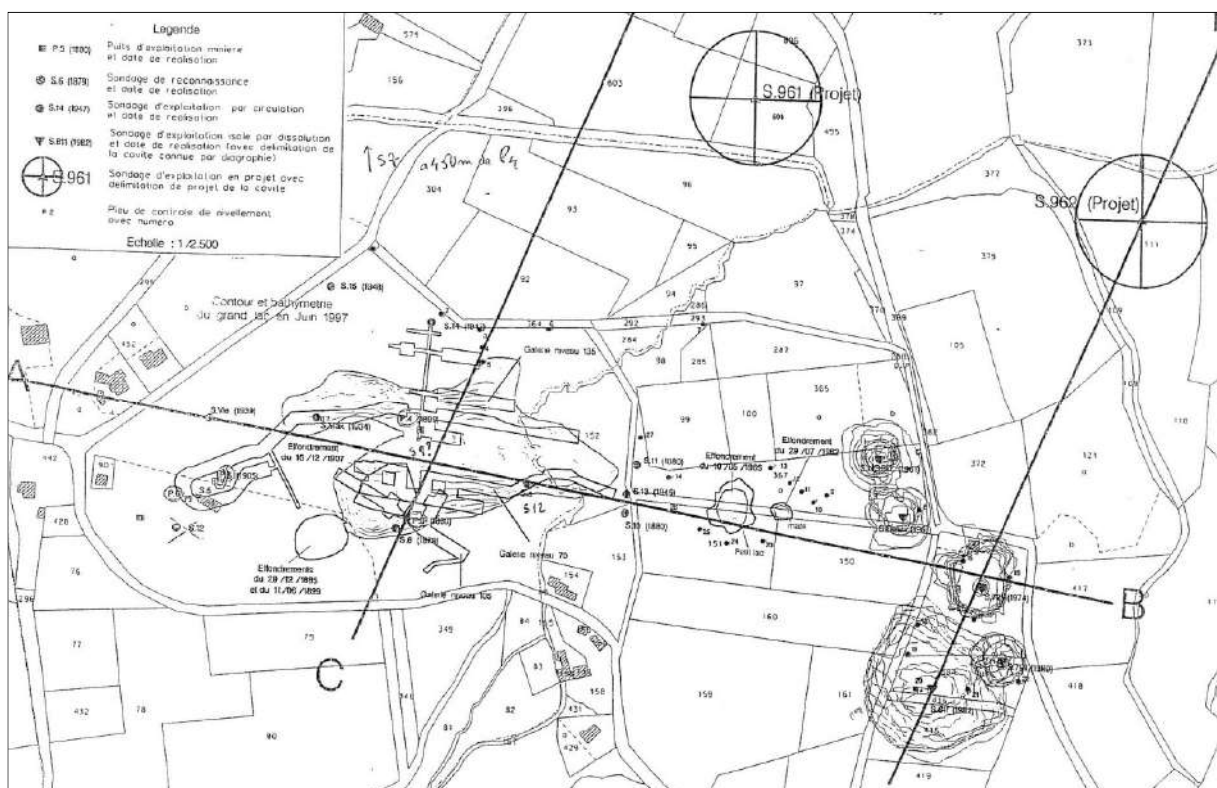


Figure 1 : Localisation des ouvrages souterrains et des effondrements survenus

Les caractéristiques des cinq cavités sont résumées dans le Tableau 1. La Figure 3 donne une illustration des épaisseurs des piliers entre cavités à 165 m de profondeur et le Tableau 2 donne l'épaisseur minimale du pilier entre deux cavités adjacentes estimée à partir de ces coupes.

2.2 Caractéristiques géotechniques des terrains

L'exploitation se fait dans un dôme de sel recouvert par des terrains argileux appelés "caprock". L'épaisseur moyenne de la couverture est de l'ordre de 100 m et l'extension en profondeur du sel semble être très importante (supérieure à 3000 m). Latéralement, l'extension semble être aussi très importante, mais elle reste encore mal connue en dehors de la concession.

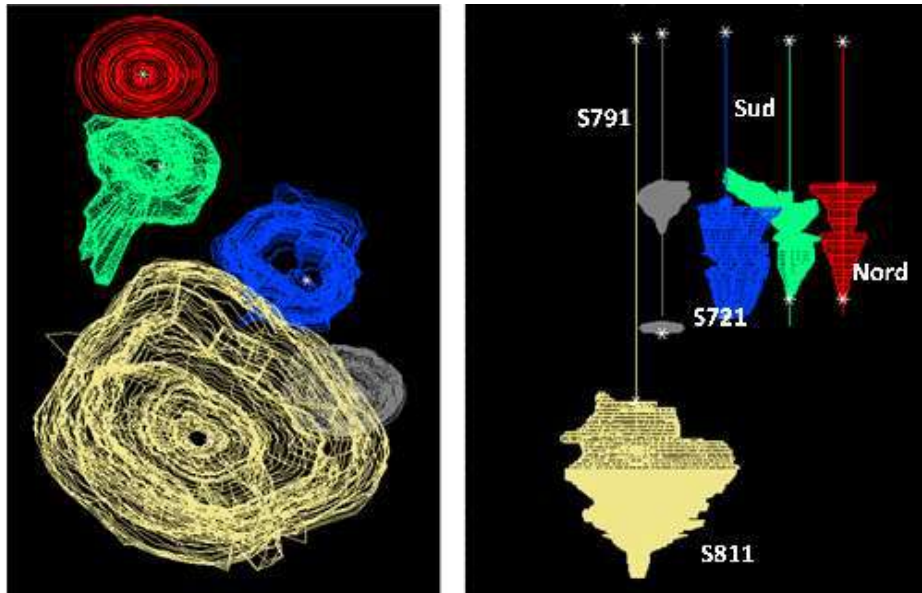


Figure 2 : Localisation des cinq cavités exploitées par dissolution

Tableau 1 : Caractéristiques des cinq cavités

Cavité	Historique d'exploitation	Volume total (m ³)	Commentaires
S-Nord	- 1965 au 04/1980 : sondage isolé - 04/1980 au 09/1984 : doublet S-S injecteur et S-N extracteur - 02/1989 au 08/2004 : remplissage de boues	85 545	- arrêt d'exploitation depuis 1984 - cavité entièrement remplie de boues
S-Sud	- 1965 au 04/1980 : sondage isolé - 04/1980 au 09/1984 : doublet S-S injecteur et S-N extracteur - 09/2004 : remplissage de boues	92 020	- arrêt d'exploitation depuis 1984 - cavité en cours de remplissage avec les boues
S721	- 1973 à 1990 : exploitation par sondage isolé	175 321	- arrêt d'exploitation depuis 1990 - forte quantité d'insolubles
S791	- 09/1980 au 12/1982 : exploitation partie basse - 12/1982 au 06/1997 : exploitation partie Haute	44 913	- arrêt d'exploitation depuis 1997 - présence d'insolubles
S811	- depuis 1982 : exploitation par sondage isolé	811 362	- cavité en cours d'exploitation - géométrie finale calculée par le centre de Géosciences en 2018

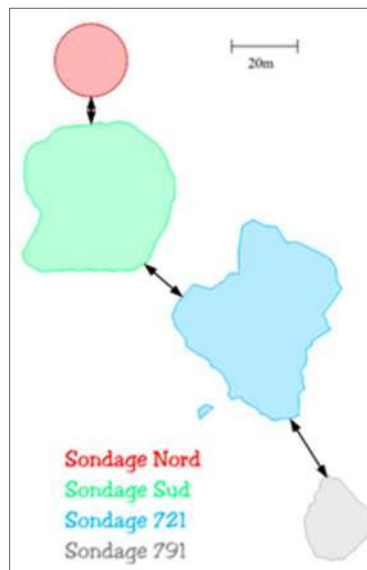


Figure 3 : Coupe à 165 m de profondeur illustrant les épaisseurs des piliers entre cavités

Tableau 2 : Epaisseurs en mètres des piliers entre cavités adjacentes

Coupe	Pilier entre les cavités SN-SS	Pilier entre les cavités SS-S721	Pilier entre les cavités S721-S791
220	16	40	-
210	11	32	-
195	5	40	-
180	21	37	-
175	16	31	33
165	9	16	22
155	7	45	27
140	32	71 (pilier entre les cavités SS-S791)	

Dans les études menées par le centre de Géosciences, des essais en laboratoires ont été effectués pour mesurer, dans un premier temps, les propriétés physiques et élastiques du sel (masse volumique, module de Young et coefficient de Poisson, R81/22) puis, dans un deuxième temps, les paramètres du modèle de Lemaitre décrivant le comportement viscoplastique du sel (R050511MTIJ). Rappelons que la loi de Lemaitre exprime le fluage du sel sous un déviateur de contraintes (σ) en fonction du temps (t) selon une loi en puissance définie par les trois paramètres α , β et K :

$$\varepsilon_{VP} = \left(\frac{\sigma}{K} \right)^{\beta} t^{\alpha}$$

En ce qui concerne les terrains argileux de couverture, leur comportement est considéré élastique et leurs propriétés sont celles retenues dans l'étude de 2005. Le Tableau 3 rappelle les caractéristiques géotechniques du sel et des terrains de couverture.

Tableau 3 : Caractéristiques mécaniques du sel et des terrains de couverture

Formation	Masse volumique (Kg/m ³)	Module de Young (MPa)	Coefficient de Poisson	α	β	K (MPa, à T=30°C)	Indice de fluage (%)
Sel	2140	11500	0.3	0.48	2.33	0.35	4.2
Couverture	2600	15000	0.3	-			

Dans la loi de Lemaitre telle qu'elle est présentée, le temps est en jour, les contraintes sont en MPa et les déformations sont en micron/mètre. L'indice de fluage correspond à la déformation viscoplastique obtenue au bout d'une année sous un déviateur de 10 MPa. Cet indice montre que le sel étudié est moyennement fluant ; les sels peu fluants ont des indices inférieurs à 1 % et ceux très fluants peuvent avoir des indices supérieurs à 10 %.

Avant toute exploitation du dôme de sel, le champ de contraintes géostatiques est supposé isotrope et variant linéairement avec la profondeur (contraintes initiales horizontales égales à la composante initiale verticale).

2.3 Conditions de stabilité des cavités actuelles

Pour se prononcer sur la stabilité des cavités actuelles, l'étude de 2010 s'est basée sur l'analyse des mesures de subsidence ainsi que sur la modélisation du comportement de chaque cavité en la considérant isolée et en délimitant sa zone d'influence. La même approche a été appliquée en 2018 à la cavité S811 pour étudier la dernière phase de son exploitation. Les principales conclusions de ces études peuvent être résumées comme suit :

- Les têtes des sondages des cinq cavités n'indiquent pas de mouvements en surface liés à l'exploitation par dissolution.
- Les seuls mouvements de subsidence significatifs sont liés à l'exploitation ancienne qui a été à l'origine de plusieurs effondrements.
- la cavité S811 se comporte comme une cavité isolée et n'a aucune interaction avec les quatre autres cavités.

- Les deux cavités S-Nord et S-Sud interagissent fortement notamment au niveau des horizons situés aux profondeurs 155 à 175 m et 195 à 220 m et l'épaisseur moyenne du pilier les séparant est seulement de 17 m. Etant donné que ces deux cavités sont totalement pleines de boue d'épuration de saumure et qu'il n'est plus possible d'effectuer des mesures sonar pour contrôler leur forme et l'épaisseur de leur pilier, il a été recommandé la poursuite régulière des mesures de nivellement de surface et leur renforcement dans cette zone pour détecter tout changement dans l'allure de la subsidence qui serait le résultat de la dégradation de l'état du pilier.
- Deux zones importantes font l'objet de mouvements significatifs (Figure 4) : la première zone est située entre l'effondrement de 1982 et les deux cavités des sondages Nord et Sud (bornes P9, P10, P11 et P23), et la seconde zone est liée à l'ancienne exploitation et à l'effondrement important survenu en 1905 (bornes P2 à P6, P14 et P27). Les mouvements de la première zone sont induits par l'effondrement de 1982 et ont subi une accélération avec l'effondrement de 1986. L'amplitude maximale enregistrée depuis le début des mesures est égale à 40 cm et concerne la borne P10. L'accélération du mouvement s'est étalée jusqu'en 1997, puis la vitesse s'est stabilisée autour de valeurs de 2.34 mm/an pour la borne P10, et 0.62 mm/an, pour la borne P9. Il est important de noter à cet égard que les bornes P24, P25 et P26, situées au sud de cette zone, n'indiquent aucun mouvement important.

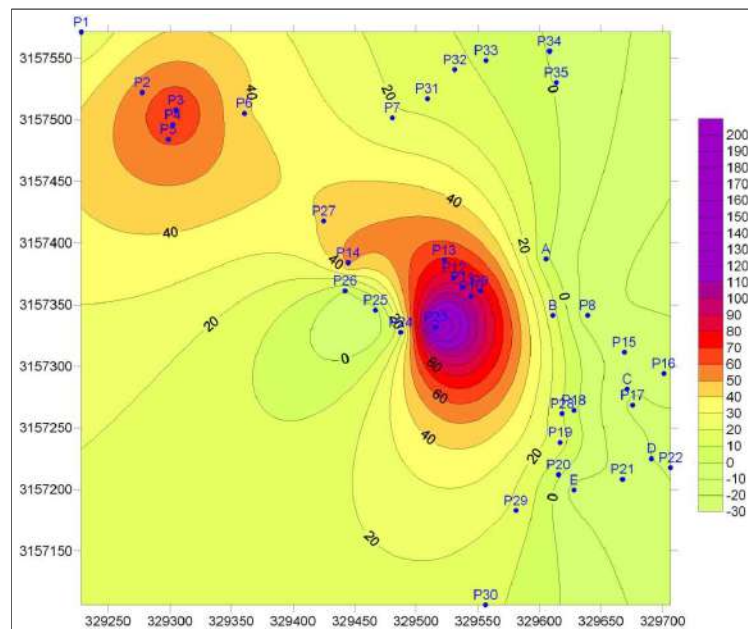


Figure 4 : Subsidence en mm à la date du 25 mars 2009
(coordonnées Lambert III, à noter la disparition des bornes 2, 4, 5, 10 et 11)

2.4 Géométrie des nouvelles cavités

Comme le montre la Figure 5, les nouvelles cavités envisagées S221 et S321 présentent les caractéristiques géométriques suivantes :

- un diamètre de 80 m ;
- un toit sphérique situé entre les profondeurs 120 et 160 m de rayon 40 m ;
- l'abandon au toit au sommet de la cavité d'une garde de sel de 20 m étant donné que le mur de la couverture se situe à 100 m ;
- le mur de la cavité se situe à la profondeur 320 m et sa base a une forme conique avec un angle de l'ordre de 27° ;
- la partie cylindrique de la cavité sera ainsi développée sur une hauteur de 140 m (entre les profondeurs 160 et 300 m).

Une telle géométrie de cavité conduit à un volume de l'ordre de 862 000 m³.

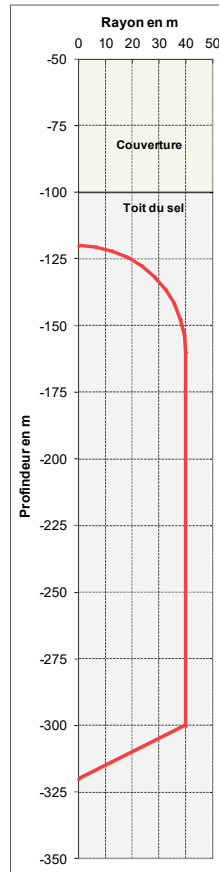


Figure 5 : Forme théorique des nouvelles

3. MODELISATION DE LA STABILITE DES NOUVELLES CAVITES

3.1 Méthodologie suivie

L'approche de modélisation mise en œuvre est simple et consiste à la réalisation d'une modélisation numérique en 2D avec l'hypothèse de l'axisymétrie d'une cavité seule considérée totalement isolée et créée dans un massif infini. L'examen de la zone d'influence de la cavité permettra de déduire la largeur minimale du pilier à abandonner pour éviter toute interaction avec une cavité voisine équivalente ou avec les cavités existantes.

Compte tenu du fluage du sel et de la longue durée simulée, les calculs sont réalisés en grandes déformations en réactualisant la géométrie du maillage chaque fois que la distance entre le sommet et la base de la cavité subit une variation relative de 0.1 %.

Les principales hypothèses admises dans la modélisation numérique sont les suivantes :

- La création de la cavité est modélisée par un processus classique qui consiste à appliquer à la paroi de la cavité finale un chargement qui passe progressivement de l'état de contraintes géostatiques (celui qui régnait avant la création de la cavité) vers une pression de la colonne de saumure (chargement effectivement appliqué à la fin du lessivage de la cavité). L'expérience montre que l'état des contraintes et des déformations autour de la cavité juste après sa création dépend principalement de sa durée de creusement. Admettons une durée de lessivage de 10 ans.
- La stabilité à long terme de la cavité est étudiée sur une durée d'un siècle en faisant l'hypothèse d'un abandon en saumure à puits ouverts. L'effet des insolubles qui, à la fin du lessivage, occupent une certaine proportion des vides créés et participent ainsi à la stabilisation des cavités, est ainsi négligé.
- L'hypothèse des cavités à puits ouverts implique que les problèmes thermiques (dilatations, effet de la variation de la température sur le fluage du sel), la diffusion de la saumure dans le sel (micro-perméabilité) et les phénomènes physico-chimiques de

dissolution et de recristallisation ne sont pas pris en compte. Ces points sont difficiles à évaluer et font l'objet maintenant de sujets de recherche. Ils ont cependant des effets de second ordre par rapport aux phénomènes considérés dans la présente étude. Nous avons appliqué l'état des connaissances actuelles et les règles de l'art qui ont fait leurs preuves sur de nombreux exemples.

Lors de l'analyse des résultats des simulations numériques, nous nous intéresserons particulièrement aux grandeurs suivantes :

- la déformée des terrains et l'évolution des mouvements de surface en fonction du temps ;
- la perte de volume de la cavité en fonction du temps ;
- le champ de la contrainte mineure ;
- le déviateur de contraintes aux abords de la cavité ;
- les déformations viscoplastiques aux abords de la cavité.

L'intérêt que présente l'étude temporelle des variations volumiques ou des déplacements dans des régions particulières est relativement évident. En revanche, l'intérêt que nous portons à des grandeurs physiques plus abstraites mérite d'être brièvement expliqué.

- *Contrainte mineure* : Le sel supporte mal d'être sollicité en traction : une contrainte de traction de 1 MPa suffit en général à le fracturer. Or l'éventualité d'une fracturation du sel à proximité de la cavité est à proscrire formellement puisqu'elle risquerait de provoquer une infiltration de la saumure dans les formations géologiques situées aux alentours de la cavité. Une zone dans laquelle la contrainte mineure est une contrainte de compression mais proche de zéro présente également des risques à long terme car les contraintes dans le massif se relâchent avec le temps (phénomène de relaxation), des zones en traction localisées peuvent alors apparaître à terme. La deuxième raison pour laquelle la contrainte mineure doit être examinée réside dans le fait que le sel est un matériau ductile. Pourvu que la contrainte mineure de compression dépasse un certain seuil (généralement, entre 1 et 3 MPa), il est apte à encaisser des contraintes sans risquer la rupture en compression simple. Il faut donc rechercher les zones où la contrainte mineure est inférieure à ce seuil pour y examiner ce risque.
- *Déviateur de contraintes* : Le déviateur mesure l'écart de l'état de contraintes avec un état de pression géostatique moyen. Les zones dans lesquelles il dépasse un seuil critique sont susceptibles d'un endommagement diffus mais néanmoins préjudiciable à la stabilité et à l'imperméabilité du massif (notion de dilatance). Ce seuil critique dépend du sel envisagé et varie entre 9 et 15 MPa. Compte tenu du phénomène de relaxation, le déviateur de contraintes baisse dans le temps et le critère de dépassement du seuil doit être contrôlé juste à la fin de la création de la cavité.
- *Déformations viscoplastiques* : Certains spécialistes considèrent que les seuils des critères précédemment évoqués dépendent de la manière dont on réalise les essais en laboratoire sur le sel, et donc ne suffisent pas à écarter totalement le risque d'un endommagement du massif salin. Ils suggèrent donc d'étudier les déformations viscoplastiques irréversibles du massif et d'identifier les zones à risque dans lesquelles la norme exprimée en % dépasse un certain seuil. Ce seuil varie généralement entre un dixième de pourcent et plusieurs pourcents selon la fluabilité du sel et la durée envisagée. Dans l'étude de 2005 portant sur la cavité S811, le critère utilisé consistait à ce que la zone entourant la cavité dans laquelle la norme du tenseur de déformation viscoplastique est supérieure à 0.1 % par siècle ne doit pas toucher des interfaces avec d'autres couches géologiques ni rencontrer des zones exploitées (cavités).

3.2 Analyse de la stabilité

La modèle numérique développé pour la cavité isolée commence depuis la surface et intègre la couverture et la formation saline jusqu'à une profondeur située suffisamment loin de la

zone perturbée par le creusement de la cavité (1500 m). Latéralement, le modèle est défini, d'un côté, par l'axe de symétrie de révolution passant par le centre de la cavité, et de l'autre côté, par une frontière verticale située, de la même façon, suffisamment loin pour sortir de la zone d'influence de la cavité (1500 m). Le long de l'axe de symétrie ainsi que le long de la frontière latérale, le déplacement horizontal est nul. Sur le bord horizontal inférieur, le déplacement vertical est également nul. La Figure 6 montre le maillage du modèle et ses conditions aux limites.

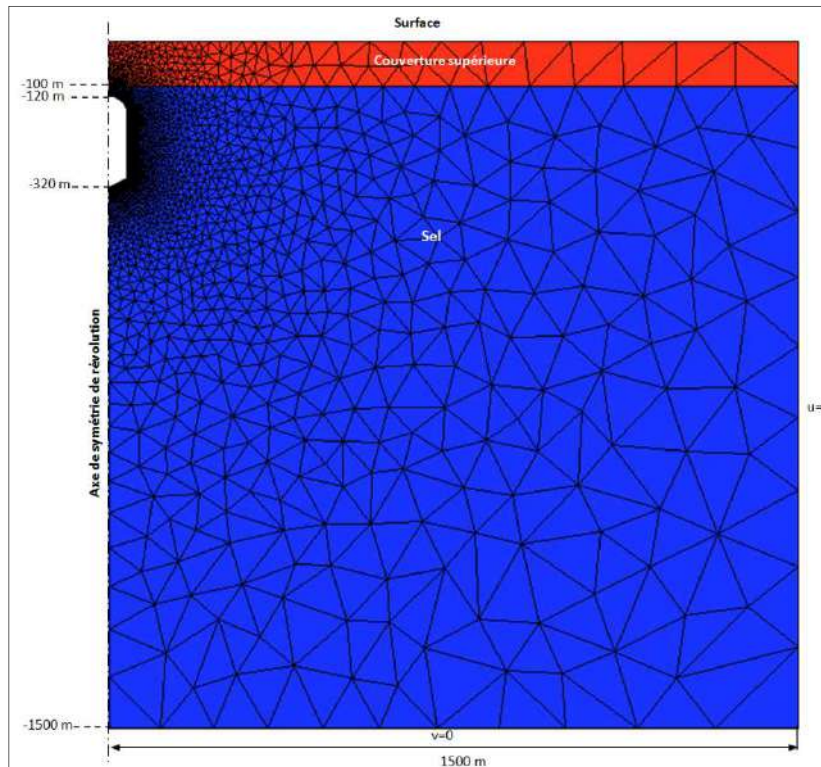


Figure 6 : Maillage d'une cavité isolée avec une garde de sel au toit de 5 m

Trois phases importantes ont été prises en compte dans la simulation de l'historique de la cavité :

- phase 1 : application d'une pression à l'intérieur de la cavité égale à la contrainte géostatique pour simuler les conditions initiales avant lessivage ;
- phase 2 : création de la cavité en 10 ans en faisant décroître linéairement la pression à l'intérieur de la cavité de la valeur correspondant à la contrainte initiale à la valeur de la pression de la colonne de saumure (pression halmostatique) ;
- phase 3 : période de repos à puits ouvert jusqu'à une durée totale d'un siècle en maintenant la pression de la colonne de saumure constante (phase de fluage du sel).

Nous nous sommes intéressés en premier lieu aux mouvements des terrains induits par la création de la cavité. Les Figures 7, 8, 9 et 10 montrent respectivement la déformée de la cavité, amplifiée par un facteur de 50, à la fin du lessivage et à la fin de la période simulée de 100 ans, la perte de volume de la cavité durant toute la période simulée, la subsidence de la surface ainsi que sa vitesse au droit de la cavité pour toute la période simulée et enfin la forme de la cuvette de subsidence pour les deux dates caractéristiques.

La déformée et la perte de volume de la cavité restent très limitées. Ainsi, au bout d'un siècle, la cavité perd environ 1 % de son volume. La subsidence induite en surface est par conséquent très réduite : son amplitude maximale à la fin de la période simulée est très peu perceptible (17 mm), et sa vitesse maximale est atteinte à la fin du lessivage (0.6 mm/an) et décroît rapidement pour tendre vers une valeur extrêmement faible.

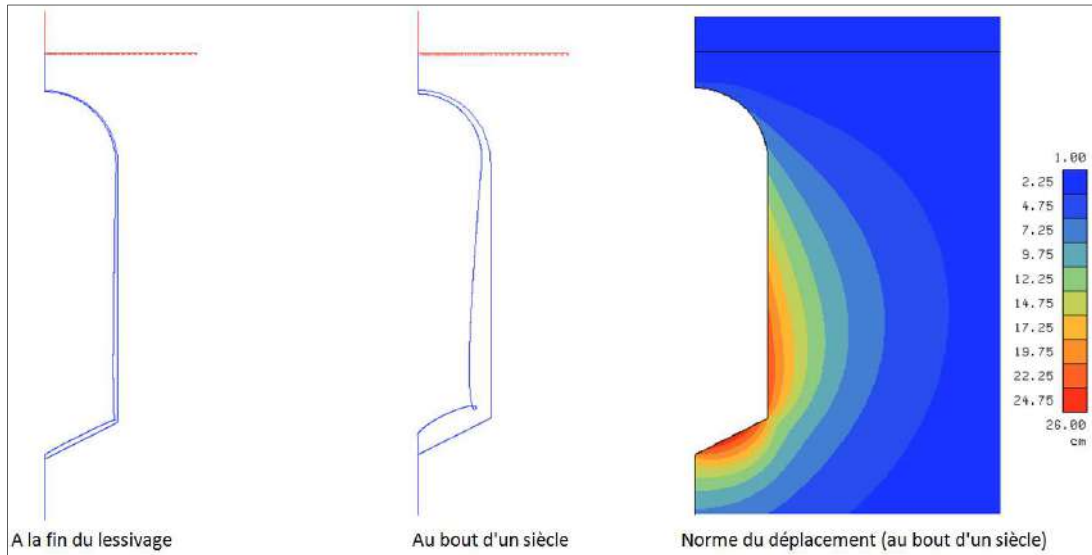


Figure 7 : Déformée de la cavité à la fin du lessivage et au bout d'un siècle (x 50)

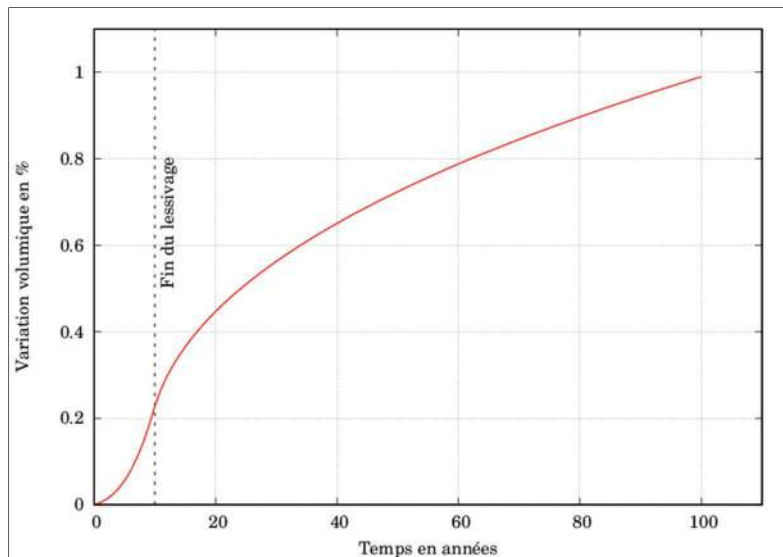


Figure 8 : Perte de volume de la cavité en fonction du temps

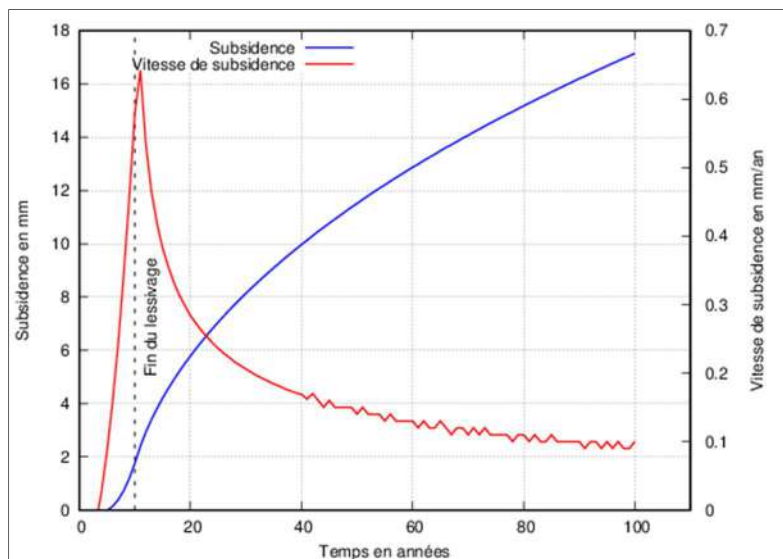


Figure 9 : Subsidence de la surface et vitesse de subsidence en fonction du temps au droit de la cavité

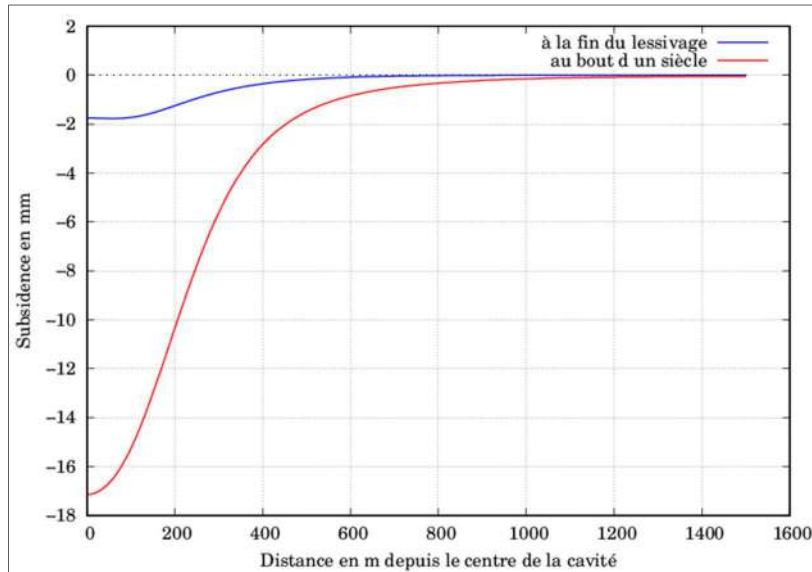


Figure 10 : Evolution de la cuvette de subsidence en surface pour les deux dates

Les contraintes ont été analysées en priorité par rapport au risque de rupture par traction. La répartition de la contrainte principale mineure montre que le régime de contraintes dans tout le massif reste toujours un régime de compression triaxiale et qu'aucune traction n'apparaît ni à la fin du lessivage ni au bout de la période simulée d'un siècle. La contrainte mineure moyenne la plus faible, qui joue le rôle de confinement, est de l'ordre de 1.5 MPa en valeur absolue (Figure 11).

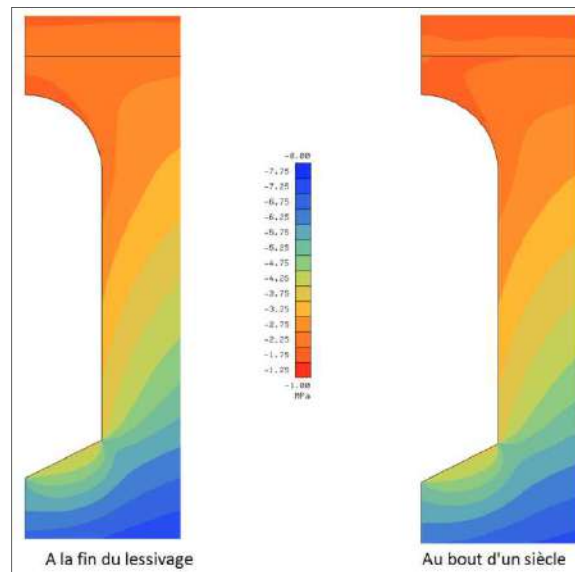


Figure 11 : Contrainte principale mineure à la fin du lessivage de la cavité et au bout d'un siècle (le signe négatif indique une compression)

Le risque d'endommagement du sel par dilatance est également à écarter car même en admettant le seuil très sécuritaire de 9 MPa pour le déviateur dilatant sans tenir compte de l'effet de confinement (ou de la pression moyenne), le déviateur de contraintes aux parois de la cavité, notamment à la fin du lessivage, reste largement inférieure à ce seuil. Les plus fortes concentrations sont très localisées aux points anguleux de la cavité qui sont dans la réalité lissés par le lessivage (Figure 12).

Compte tenu de l'indice de fluage du sel qui témoigne d'un sel moyennement fluant, le seuil très sécuritaire de 0.1 % retenu dans les études précédentes pour une durée d'un siècle semble être très restrictif. Lorsqu'il est appliqué à la fin de la phase de lessivage, la zone

affectée autour de la cavité reste très circonscrite. En revanche, au bout d'un siècle, l'utilisation de ce seuil conduit à une zone très développée dans les parois notamment vers la base de la cavité. Sur la base de notre expérience, nous avons opté pour un seuil de 0.3 % dans le but d'optimiser la zone d'influence de la cavité et par conséquent la largeur du pilier séparant deux cavités adjacentes de mêmes dimensions.

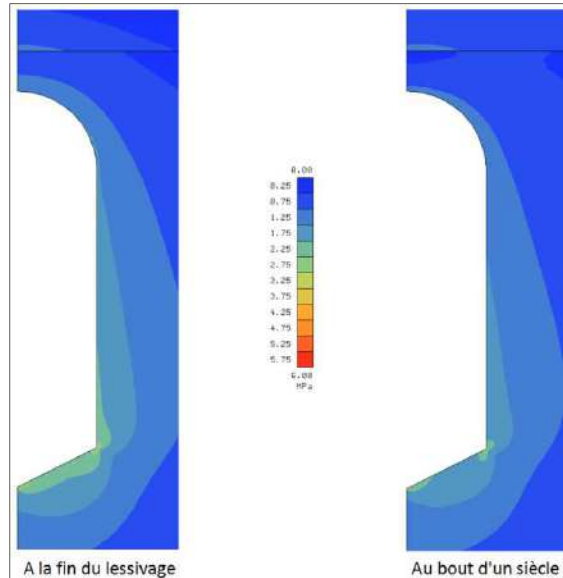


Figure 12 : Déviateur de contraintes à la fin du lessivage de la cavité et au bout d'un siècle

Comme le montre la Figure 13, l'extension maximale de la zone des déformations viscoplastiques à la paroi de la cavité, moyennant le seuil de 0.3 %, est de l'ordre de 20 m au bout d'un siècle. Ce résultat suggère la conservation d'un pilier sécuritaire entre deux cavités adjacentes de mêmes dimensions de largeur environ 50 m pour éviter le chevauchement des zones des déformations viscoplastiques.

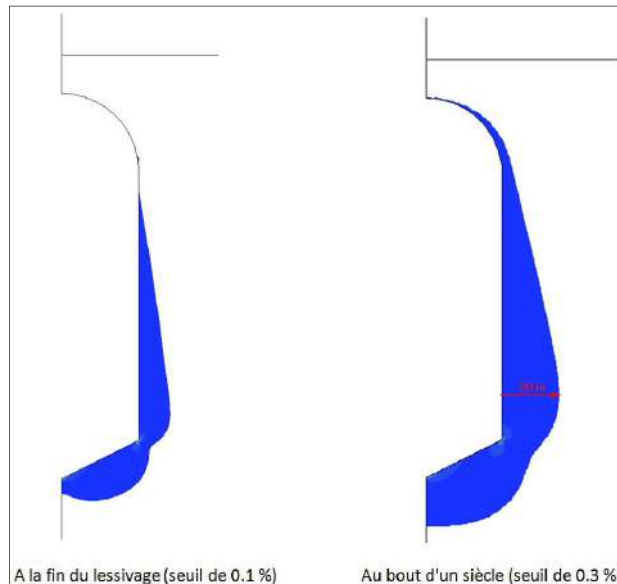


Figure 13 : Norme du tenseur des déformations viscoplastiques à la fin du lessivage de la cavité et au bout d'un siècle

En ce qui concerne la garde de sel, ses conditions de stabilité sont assurées quelque soit le seuil appliqué. L'adoption d'une forme semi-sphérique du toit de la cavité joue un rôle très favorable dans cette stabilité.

L'analyse des contraintes dans les terrains de couverture n'a mis aucun risque de rupture par excès de compression moyennant le critère de Coulomb et des propriétés moyennes retenues pour ces formations (résistance en compression simple et angle de frottement).

4. CONCLUSION

La modélisation numérique effectuée dans cette étude a confirmé les conditions de stabilité à long terme d'une nouvelle cavité isolée dans le champ de saint Pandelon présentant les dimensions et la forme géométriques suivantes : diamètre maximale de 80 m, toit semi-sphérique de rayon 40 m, garde de sel au toit de 20 m, forme conique à la base d'angle 27° et hauteur de la partie cylindrique de 140 m.

La réalisation d'une seconde cavité de mêmes caractéristiques nécessite la conservation d'un pilier de 50 m de largeur au niveau de la partie cylindrique.

Concernant l'emplacement de ces nouvelles cavités par rapport aux cinq cavités existantes, nous recommandons de les positionner à une distance plus importante que la simple largeur de pilier de 50 m pour les isoler totalement de toute incidence possible. Lors de la conception des cavités salines de stockage de gaz naturel qui sont largement plus sollicitées que les cavités en saumure, on applique généralement la règle d'ingénieur qui consiste à laisser un pilier de largeur deux fois le diamètre moyen des cavités (règle également utilisée pour le dimensionnement de galeries ou de tunnels parallèles). Dans le cas particulier de cavités en saumure, nous recommandons une largeur intermédiaire de l'ordre d'une fois le diamètre. Cela conduirait à un pilier de largeur moyenne environ 100 m.

Les Figures 14 et 15 montrent l'emplacement prévu pour ces deux nouvelles cavités. Leur pilier est de 70 m et dépasse la largeur préconisée de 50 m. De la même façon, la distance les séparant des cavités existantes est bien plus importante par rapport à la consigne de 100 m : elle est de l'ordre de 300 m par rapport à la cavité la plus proche S811, et de 110 m par rapport aux anciens travaux les plus proches du niveau 105 m.

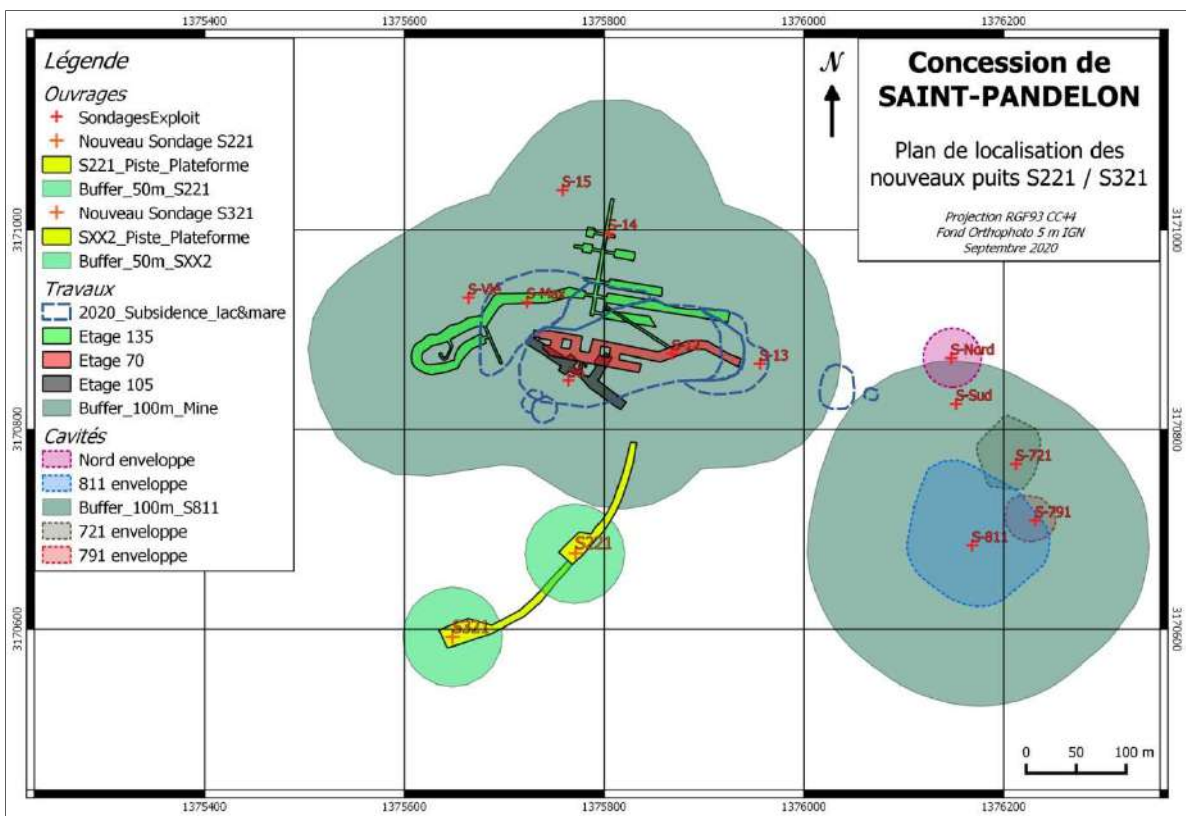


Figure 14 : Vue en plan montrant l'emplacement des deux nouvelles cavités S221 et S321 par rapport aux cinq cavités existantes et l'exploitation ancienne

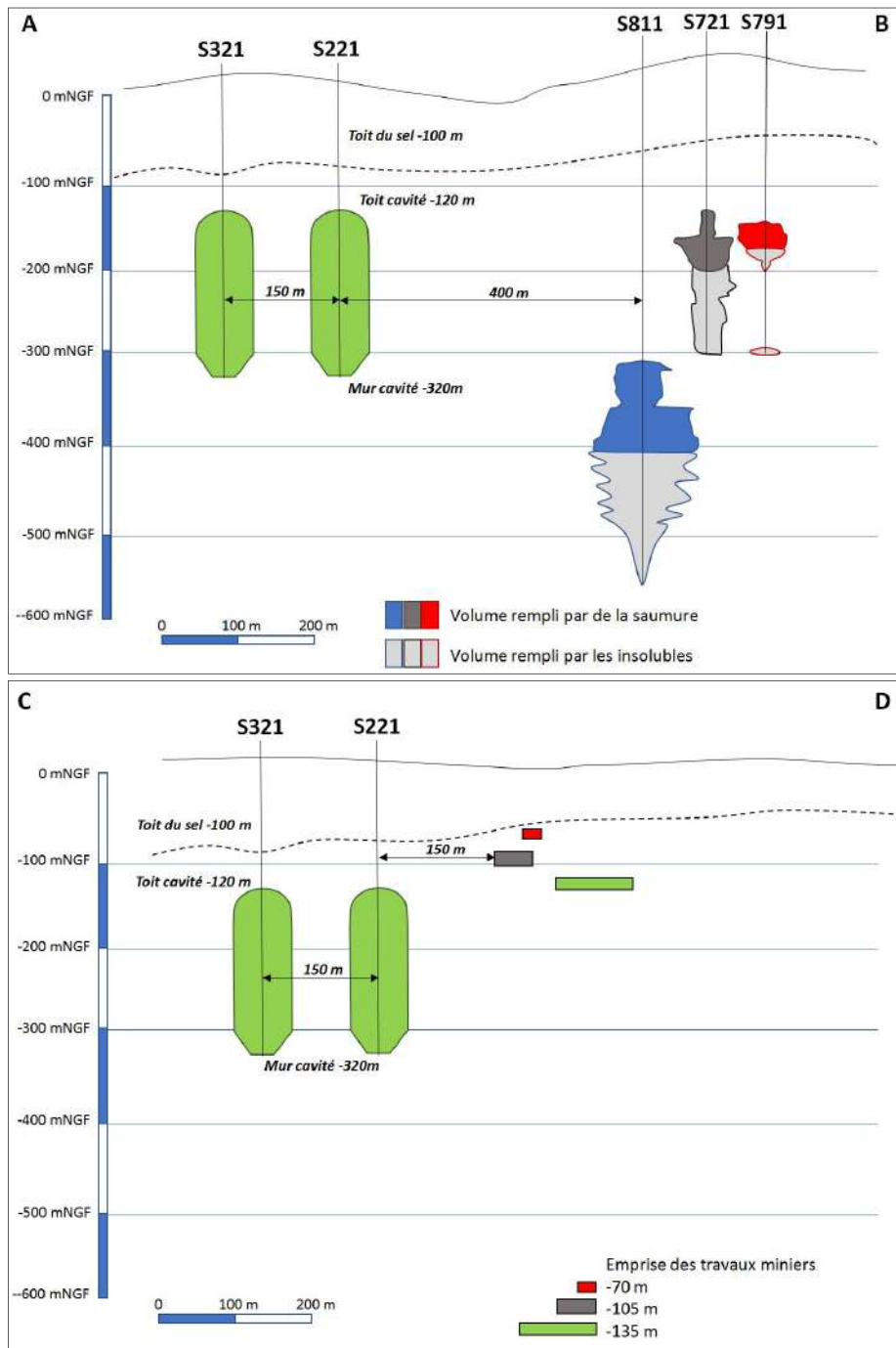


Figure 15 : Coupes verticales montrant l'emplacement des deux nouvelles cavités S221 et S321 par rapport aux cinq cavités existantes (en haut) et par rapport à l'exploitation ancienne (en bas)

Pour ce qui est des interactions possibles entre les deux nouvelles cavités et la partie sud de l'ancienne exploitation ainsi que le risque de voir apparaître dans la zone les séparant des effondrements équivalents à ceux de 1982 et 1986, les observations et les analyses suivantes permettent de conclure en l'absence de ce risque et de confirmer que le pilier de 110 m de largeur est suffisant pour garantir la stabilité à long terme de la nouvelle exploitation :

- Les effondrements affectant le sud des anciens travaux miniers, c.à.d. au nord des deux nouvelles cavités envisagées, datent de la fin du 19^{ème} siècle et aucun nouveau dérangement de surface ayant un impact visible en surface n'a affecté ce secteur depuis lors (Figure 16) ;

- Le toit du diapir remonte du sud vers le nord-est. Il est à 40 m de profondeur à l'est des anciens travaux miniers, contre plus de 80 m de profondeur, pour les nouvelles cavités. Cette géométrie exclue la possibilité de dissolution du sel aval pendage vers le sud-ouest.
- Les effondrements de 1982 et 1986 affectant l'est de l'ancienne exploitation pourraient être expliqués par l'un ou la conjugaison des trois phénomènes suivants :
 - l'exploitation du sondage S13 situé à la limite est des anciennes galeries (Figure 14), ce sondage n'est plus en service depuis 1967 ;
 - une dissolution non contrôlée du sel au toit du gisement en amont pendage par les eaux douces situées dans le recouvrement ou les eaux de surface drainées par des fractures verticales ;
 - l'exploitation des 2 sondages S-Nord et S-Sud rentrés en communication et dans lesquels l'injection d'eau douce a cessé dans les années 70.
- Les forages au diamètre d'exploitation des nouvelles cavités seront précédés, sur le même emplacement, de forages de reconnaissance en petit diamètre pour confirmer la cote du toit du sel et la présence ou non de dissolution au toit du sel. En fonction des résultats des forages de reconnaissance, les forages d'exploitation seront équipés de 1 ou 2 casings de protection au toit du sel.
- Le développement des nouvelles cavités se fera de 320 m de profondeur au mur, à 120 m de profondeur au toit si les opérations de forage confirment l'absence de dissolution au toit du sel. La profondeur minimale d'exploitation de la cavité pourra être adaptée en fonction des observations lors des opérations de forage.

Comme pour l'exploitation actuelle, il est recommandé d'implanter des stations de mesure de subsidence de la surface au tour des nouvelles cavités, notamment dans le secteur nord les séparant de l'ancienne exploitation. La Figure 16 montre l'emplacement des deux nouvelles cavités par rapport aux dernières mesures de subsidence effectuées et indique clairement la zone à couvrir par les nouvelles stations à implanter.

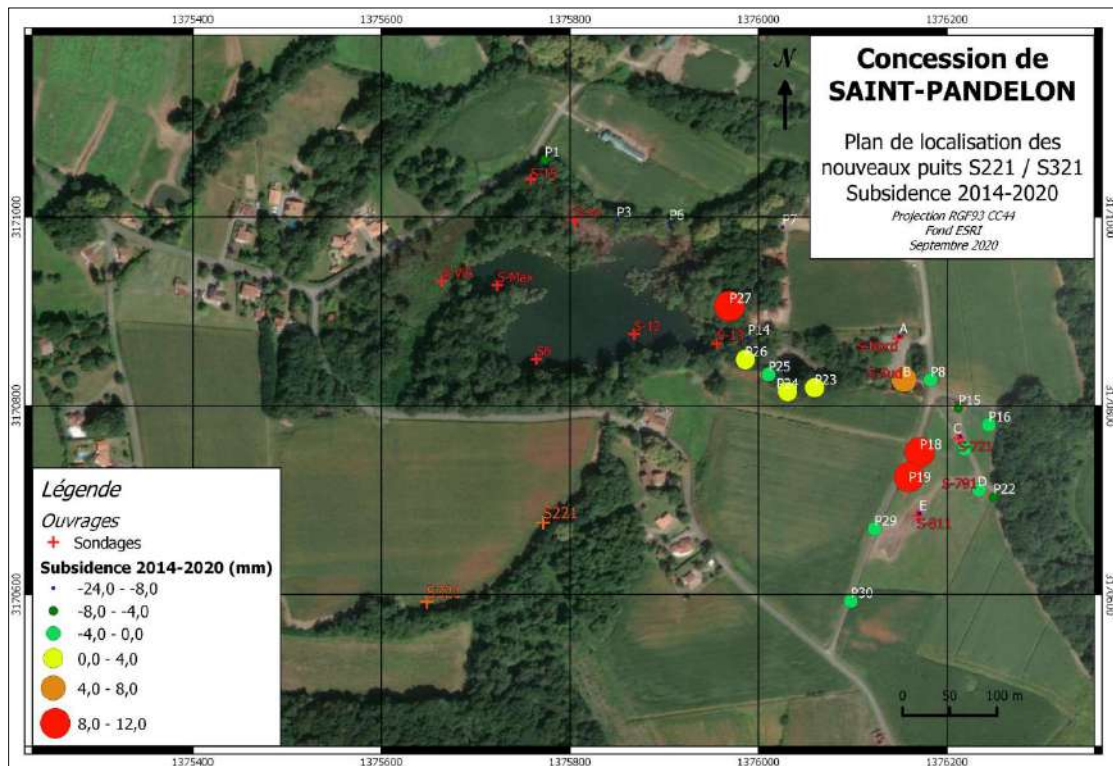


Figure 16 : Emplacement des nouvelles cavités S221 et S321 par rapport aux mesures de subsidence effectuées depuis 2014

Annexe D :
Rapport d'analyse physico-chimique sur le plan d'eau et le Hourn à l'amont (Laboratoire LPL)



RCS PAU 98 B 263 - N° SIRET 418 814 059 00014 - CODE APE 7120B
88, Rue des écoles - 64150 LAGOR Tél: 05-59-60-23-85 Fax: 05-59-60-74-42

Echantillon : Amont cours d'eau
Lieu de prélèvement : Saint-Pandelon (40)
Nature de l'échantillon : Eau superficielle
Prélèvement assuré par : Le laboratoire (PEDEAUT Frédéric (Logistique)) le 06/08/2020
Réception au laboratoire : 06/08/2020
Demandeur de l'analyse : Autocontrôle
Copie(s) des résultats à : ANTEA GROUP

**ANTEA GROUP
BAZIN Marc**

IMMEUBLE LE TERTIOPOLE ENTREE A3
61 RUE JEAN BRIAUD
33692 MERIGNAC CEDEX

Responsabilité technique des analyses :

Chimie de l'environnement : C. MARQUASSUZAA - Eric TEYSSEYRE

Prélèvements et mesures in situ : Frédéric PEDEAUT

PARAMETRES	RESULTAT	UNITE	METHODE
------------	----------	-------	---------

Conditions de prélèvement

(LGC64) Prélèvement instantané	Echantillonnage eaux superficielles continentales (eaux de rivières, lacs...)		FD T 90-523-1 / NF EN ISO 19458	L
--------------------------------	---	--	---------------------------------	---

Traitement sur échantillon avant analyse

Minéralisation	Attaque à l'eau régale à 103°C (MAM/MO03) pour l'analyse des éléments minéraux extractibles à l'eau régale (Sous-estimation potentielle d'Al et Ti si présents sous forme d'oxydes)			L
<i>Date de mise en analyse : 10/08/2020</i>				
Minéralisation	Digestion pour le Hg par un mélange KBr/KBrO3 (MAM/MO4).			L

BILAN IONIQUE ET MINERAL

Anions minéraux

Chlorure	107	mg/l	NF EN ISO 10304-1	C* L
<i>Date de mise en analysé : 07/08/2020</i>				
Sulfate	32,7	mg/l	NF EN ISO 10304-1	C* L
<i>Date de mise en analyse : 07/08/2020</i>				

Cations minéraux

Calcium	28,9	mg/L	NF EN ISO 11885	C* L
<i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>				
Potassium	2,2	mg/L	NF EN ISO 11885	C* L
<i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>				
Magnésium	9,68	mg/L	NF EN ISO 11885	C* L
<i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>				
Sodium	65,8	mg/L	NF EN ISO 11885	C* L
<i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>				

Métaux

Cadmium	<1	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
<i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>				



PARAMETRES	RESULTAT	UNITE	METHODE	
Métaux (suite)				
Chrome <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	<2	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
Cuivre <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	< 2	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
Fer <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	588	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
Mercure <i>Date de mise en analyse : 07/08/2020</i>	<0,015	µg/l	NF EN ISO 17852	C* L
Manganèse <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	24,2	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
Nickel <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	<5	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
Plomb <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	<5	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
Zinc <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	< 5	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L

Produits minéraux

Arsenic <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	<5	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
--	----	------	-----------------	------

PARAMETRES GLOBAUX

Paramètres globaux

Titre hydrotimétrique <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	11,3	°F	MI : MAM/MO01	C* L
--	------	----	---------------	------

Paramètres mesurés sur site

(LGC64) Conductivité à 25°C in situ	609	µS/cm	NF EN 27888	L
(LGC64) débit (moulinet)	17,4	m3/h		L
(LGC64) Oxygène dissous in situ	8,2	mg/l	NF ISO 17289	L
(LGC64) pH in situ	7,7		NF EN ISO 10523	L
(LGC64) Taux de saturation en oxygène in situ	92,4	%	Calcul	L
(LGC64) Température de l'eau in situ	20	°C	Température	L

Commentaires

Compte tenu d'une turbidité >1,5 NFU, les résultats pour les métaux totaux sont rendus sur l'échantillon minéralisé, et par conséquence certaines limites de quantifications augmentées.

à Lagor, le 03/09/2020



ACCREDITATION
LAGOR :1-1173

PORTEE
DISPONIBLE SUR
www.cofrac.fr

Chef de Service

S. LUCAS



Echantillon : Plan d'eau
Lieu de prélèvement : Saint-Pandelon (40)
Nature de l'échantillon : Eau superficielle
Prélèvement assuré par : Le laboratoire (PEDEDAUT Frédéric (Logistique)) le 06/08/2020 à 13:30
Réception au laboratoire : 06/08/2020
Demandeur de l'analyse : Autocontrôle
Copie(s) des résultats à : ANTEA GROUP

**ANTEA GROUP
BAZIN Marc**

IMMEUBLE LE TERTIOPOLE ENTREE A3
61 RUE JEAN BRIAUD
33692 MERIGNAC CEDEX

Responsabilité technique des analyses :

Chimie de l'environnement : C. MARQUASSUZAA - Eric TEYSSEYRE

Prélèvements et mesures in situ : Frédéric PEDEDAUT

PARAMETRES	RESULTAT	UNITE	METHODE
------------	----------	-------	---------

Conditions de prélèvement

(LGC64) Prélèvement instantané	Echantillonnage eaux superficielles continentales (eaux de rivières, lacs...)		FD T 90-523-1 / NF EN ISO 19458	L
--------------------------------	---	--	---------------------------------	---

Traitement sur échantillon avant analyse

Minéralisation	Attaque à l'eau régale à 103°C (MAM/MO03) pour l'analyse des éléments minéraux extractibles à l'eau régale (Sous-estimation potentielle d'Al et Ti si présents sous forme d'oxydes)			L
<i>Date de mise en analyse : 10/08/2020</i>				
Minéralisation	Digestion pour le Hg par un mélange KBr/KBrO3 (MAM/MO4).			L

BILAN IONIQUE ET MINERAL

Anions minéraux

Chlorure	6300	mg/l	NF EN ISO 10304-1	C* L
<i>Date de mise en analyse : 10/08/2020</i>				
Sulfate	260	mg/l	NF EN ISO 10304-1	C* L
<i>Date de mise en analyse : 07/08/2020</i>				

Cations minéraux

Calcium	61,3	mg/L	NF EN ISO 11885	C* L
<i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>				
Potassium	52,3	mg/L	NF EN ISO 11885	C* L
<i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>				
Magnésium	26,9	mg/L	NF EN ISO 11885	C* L
<i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>				
Sodium	1670	mg/L	NF EN ISO 11885	C* L
<i>Date de mise en analyse : 12/08/2020</i>				

Métaux

Cadmium	<1	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
<i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>				



PARAMETRES	RESULTAT	UNITE	METHODE	
Métaux (suite)				
Chrome <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	<2	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
Cuivre <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	< 2	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
Fer <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	165	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
Mercure <i>Date de mise en analyse : 07/08/2020</i>	<0,015	µg/l	NF EN ISO 17852	C* L
Manganèse <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	42,8	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
Nickel <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	<5	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
Plomb <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	<5	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
Zinc <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	< 5	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L

Produits minéraux

Arsenic <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	6,94	µg/l	NF EN ISO 11885	C* L
--	------	------	-----------------	------

PARAMETRES GLOBAUX

Paramètres globaux

Titre hydrotimétrique <i>Date de mise en analyse : 11/08/2020</i>	26,6	°F	MI : MAM/MO01	C* L
--	------	----	---------------	------

Paramètres mesurés sur site

(LGC64) Conductivité à 25°C in situ	9550		NF EN 27888	L
(LGC64) Oxygène dissous in situ	12,01	mg/l	NF ISO 17289	L
(LGC64) pH in situ	8,4		NF EN ISO 10523	L
(LGC64) Taux de saturation en oxygène in situ	146,1	%	Calcul	L
(LGC64) Température de l'eau in situ	25,4	°C	Température	L

Commentaires

Compte tenu d'une turbidité >1,5 NFU, les résultats pour les métaux totaux sont rendus sur l'échantillon minéralisé, et par conséquence certaines limites de quantifications augmentées.

à Lagor, le 03/09/2020



ACCREDITATION
LAGOR : 1-1173

PORTEE
DISPONIBLE SUR
www.cofrac.fr

Chef de Service

S. LUCAS

Annexe E :
Rapport d'IBG-DCE du Hourn à l'amont du lac
(Laboratoire LPL)



Rue des Écoles 64150 LAGOR
Tél : 05.59.60.23.85
www.labopl.com

ANTEA GROUP
Immeuble Le Tertiopole entrée A3
61 rue Jean Briaud
CS 60054
33692 MERIGNAC CEDEX

Lagor, le 21/09/20

REALISATION D'ANALYSES HYDROBIOLOGIQUES DE TYPE IBG-DCE SELON LES NORMES NF T 90-333 ET XP T 90-388 SUR L'AFFLUENT DU LUY EN AMONT DU PLAN D'EAU DE SAINT PANDELON

Rapport N°: 185545

Rédacteur
CARBILLET Thomas

Signataire
CARBILLET Thomas



Accréditation 1-1173
Portée d'accréditation disponible sur www.cofrac.fr

La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale et avec l'autorisation du laboratoire.
L'accréditation de la section Essai du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seules analyses portant la mention C*.
Les portées des agréments et des accréditations sont disponibles sur demande.

SOMMAIRE

1. CONTEXTE GENERAL ET OBJECTIFS

2. MATERIEL ET METHODE

2-1 Conditions et période de prélèvement

2-2 Méthode

2-3 Interpréter les résultats

3. RESULTATS

4. ANNEXE

1. CONTEXTE GENERAL ET OBJECTIFS

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) du 23 Octobre 2000 (directive 2000/60) vise à donner une cohérence à l'ensemble de la législation avec une politique communautaire globale dans le domaine de l'eau. Elle fixe des objectifs pour la préservation et la restauration de l'état des masses d'eau (eaux superficielles (douces et côtières) et eaux souterraines) dont le but est d'atteindre le bon état écologique des différents milieux sur tout le territoire européen pour 2021.

Les objectifs de la DCE sont définis par masse d'eau et sont fixés par le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) 2016-2021 de chaque bassin hydrographique.

Les programmes de surveillance mis en œuvre en application de la DCE imposent des modalités méthodologiques précises. Ces dernières sont définies dans l'arrêté du 27 juillet 2015 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface. Le but est d'acquies des données hydrobiologiques de façon standardisée, homogène et comparable sur l'ensemble du territoire. Ces données sont donc utilisées pour calculer l'ensemble des indicateurs retenus pour le diagnostic et l'évaluation.

Dans ce cadre, l'indice IBG-DCE a été établi pour évaluer la qualité biologique globale des cours d'eau. Il permet d'apprécier la qualité des eaux courantes en analysant le peuplement d'invertébrés benthiques notamment grâce au caractère intégrateur de ces derniers. En effet, certains individus sensibles disparaissent dans un milieu pollué, d'autres moins sensibles persistent. Ainsi, appliquée comparativement, cette méthode, permet d'évaluer l'effet d'une modification du milieu, qu'elle soit naturelle (affluence, modification du substrat, etc.) ou artificielle (rejet, recalibrage du lit, etc.).

Cette méthodologie permet de :

- × Fournir une image représentative du peuplement d'une station donnée en séparant la faune des habitats dominants et des habitats marginaux.
- × Développer et mettre en oeuvre un nouvel indice multi-métrique d'évaluation de l'état écologique, à partir des invertébrés, pour les réseaux de surveillance; un indice à la fois conforme aux exigences de la DCE et cohérent avec les différentes méthodes européennes.
- × Calculer la note équivalent IBGN, afin de garantir la continuité du suivi et valoriser les données des années antérieures.

Afin de répondre aux exigences de la DCE, ANTEA GROUP a chargé les **LABORATOIRES DES PYRENEES ET DES LANDES** de la réalisation d'analyses hydrobiologiques de type IBG-DCE sur l'**affluent du Luy en amont du plan d'eau à Saint Pandelon**. La campagne de prélèvements de macro-invertébrés a été réalisée le **6 août 2020 en période de basses eaux**.

Le personnel des Laboratoires des Pyrénées et des Landes ayant participé à cette étude sont :

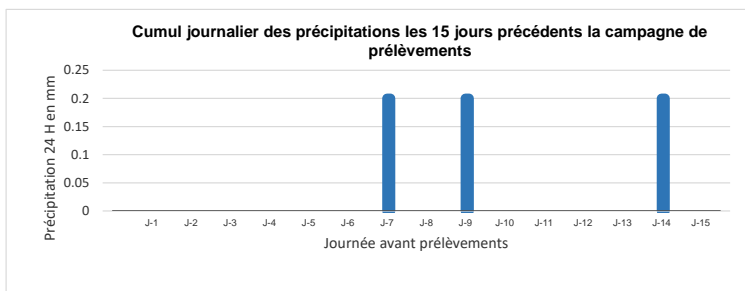
	Prélèvements		Analyses		Rapport d'étude	
	Notes	Prélèvements	Tri	Détermination taxonomique	Rédaction	Validation
CARBILLET Thomas			x		x	x
VOZ Alexandre		x				
LENORMAND Jérémy				x		
PEDEDAUT Frédéric	x		x			

2. METHODOLOGIE

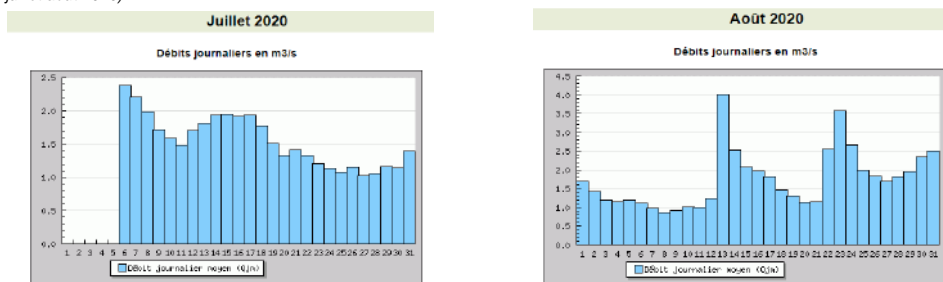
2-1 Conditions et période de prélèvement

Les conditions hydrologiques et météorologiques étaient conformes aux préconisations de la norme NF T90-333.

Les données météorologiques ont été récupérées sur <http://www.meteociel.fr/> (Dax du 22/07/20 Au 05/08/20)



Les données hydrologiques ont été récupérées sur <http://www.hydroeaufrance.fr/> (Le Luy à Saint Pandelon pour les mois de juillet août 2020)



En application de la DCE et sur la base des analyses des caractéristiques des bassins et des incidences des activités humaines et conformément à l'arrêté du 12 janvier 2010 relatif aux critères à mettre en œuvre pour délimiter et classer les masses d'eau et dresser l'état des lieux prévu à l'article R.212-3 du code de l'environnement, le cours d'eau a été classé comme suit:

Nom du cours d'eau	Code mnémotechnique et libellé du type	Code hydrographique	Station (code)
Affluent Luy - Amont plan d'eau	TP14	Q3461120	-

2-2 Méthode

La Circulaire DCE2007/222 ainsi que son rectificatif du 11 avril 2007 fixent les modalités de positionnement et de longueur du site d'étude. Les prélèvements sont réalisés selon la norme AFNOR NF T90-333. Pour les petits et moyens cours d'eau, la méthode préconise d'échantillonner, pour une station, douze prélèvements de substrats différents (pierres, sables, végétaux...) de 1/20 m². Ils sont répartis, dans la mesure du possible, sur l'ensemble de la station et tiennent compte des différentes classes de vitesse représentées (facteur important de diversification des peuplements d'invertébrés benthiques). En fonction de leur accessibilité, les échantillons sont prélevés à l'aide d'un filet Surber ou d'un haveneau. Sur les 12 prélèvements, 8 sont prélevés dans les habitats dominants (phases B et C) et les 4 autres dans les habitats marginaux (phase A) afin de garantir une conformité suffisante avec le protocole I.B.G.N.

L'échantillon conditionné est fixé avec une solution d'éthanol à 96 °, sur le terrain avec les précautions nécessaires à cet usage (lunettes, gants, masque).

Les invertébrés benthiques sont ensuite extraits des substrats et identifiés au genre conformément à la norme AFNOR XP T90-388. Lors de la phase de tri des macro-invertébrés, aucun pré-traitement n'est effectué.

Dans le cadre de cette étude, les limites de classes de l'état écologique pour l'indice biologique invertébré conformément à l'arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R.212-10, R.212-11 et R.212-18 du code de l'environnement, sont indiquées à titre d'information. Le calcul de l'IBG EQR (outil de diagnostic complémentaire dans la perspective du troisième cycle DCE "2021-2027") permettra de déterminer le seuil de classe de l'état du cours d'eau.

Dans le cas d'études réalisées sur des stations appartenant aux différents réseaux de mesures, l'I2M2 (Indice Invertébrés Multi-Métriques) est également calculé. Ici, la station n'appartenant à aucun réseau, l'I2M2 ne sera pas calculé. Les classes d'état écologique sont également définies dans l'arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010, relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface, pris en application des articles R.212-10, R.212-11 et R.212-18 du code de l'environnement.

Etat écologique	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Valeur de l'IBG EQR (arrêté du 27 juillet 2015)	1 - 0,93333	0,93333 - 0,8	0,79999 - 0,53333	0,53332 - 0,33333	0,33332 - 0
Valeur de l'I2M2 (EQR) (arrêté du 27 juillet 2018)	-	-	-	-	-
Valeur de référence par type pour l'IBGN	16				

2-3 Interprétations des résultats

*** Calcul du coefficient morphodynamique**

Le calcul du coefficient morphodynamique (m) sur chaque station permet d'apprécier une qualité d'habitat théorique, c'est-à-dire la capacité d'une station à héberger une faune diversifiée. Il ne peut pas être comparé strictement à la note IBGN, bien qu'elle soit également sur 20, car la note IBGN reflète à la fois la qualité d'habitat mais aussi la qualité de l'eau. C'est pour cela que le coefficient morphodynamique est rapporté à une note sur 14 (classe de variété taxonomique maximale) par une règle de trois. Ainsi, la comparaison de ce coefficient avec la variété taxonomique permet d'évaluer la qualité de l'habitat de la station par rapport à sa qualité théorique. La formule du coefficient morphodynamique est la suivante :

$$m = \sqrt{N} + \sqrt{H} + \sqrt{H'}$$

N : nombre de substrats présents x nombre de classes de vitesses présentes
avec: H : indice du substrat x indice de la classe de vitesse pour l'habitat dominant
H' : indice du substrat x indice de la classe de vitesse pour le substrat le plus biogène (produit le plus élevé)

*** Calcul du coefficient d'aptitude biogène ou Cb2**

Le coefficient d'aptitude biogène (Cb2) permet de compléter la note équivalent IBGN et d'orienter les causes de perturbation du peuplement macrobenthique de la station d'étude.

Il donne une note sur 20 qui se décompose en deux sous indices notés sur 10 :

- l'indice de variété (Iv) qui permet de refléter la qualité de l'habitat et qui est calculé à partir de la variété taxonomique
- l'indice de nature de la faune (In) qui est basé sur la sensibilité des taxons et qui détermine la qualité globale de l'eau

Le mode de calcul du Cb2 est le suivant :

- établir la liste faunistique correspondant à l'ensemble des taxons distribués dans les 8 prélèvements IBGN (phases A et B pour l'IBG-DCE)
- à l'aide du répertoire des 92 taxons et indices (cf. annexe), rechercher les éléments de base N, n, K et i, avec :
 - N : nombre total de taxons présents dans l'échantillon global
 - n : nombre de taxons représentatifs (nombre d'individus ≥ 3)
 - K : variable, fonction du rapport $n/4$, rapprochée à l'entier par excès (si K = 5,2 alors 6 ; si K = 5,5 alors 6 ; si K = 5,9 alors 6)
 - $\sum i$ équivaut à la somme des indices (i) les plus élevés, en fonction de la variable K (nombre d'individus ≥ 3)
- calculer le Cb2 selon la formule suivante :

$$Cb2 = In + Iv (+/- 0,25)$$

$$\text{avec : } Iv = 0,22 \times N \\ In = 1,21 \times (\sum i_{\max}/K)$$

Iv et In sont arrondis à une décimale.

Le Cb2 est arrondi à +/- 0,25 (si Cb2 = 17,1 alors 17 ; si Cb2 = 17,4 alors 17,5 ; si Cb2 = 17,7 alors 17,5 ; si Cb2 = 17,8 alors 18, ...)

*** Étude du groupe indicateur (GI) et de la variété taxonomique (VT)**

Pour chacune des listes établies (IBG-DCE ou Équivalent IBGN), deux composantes sont déterminées sur la base de la grille de calcul de l'IBGN : le groupe indicateur (GI) qui correspond à la qualité de l'eau et la variété taxonomique (VT) qui informe sur la diversité des habitats.

Ces paramètres sont établis à partir de la grille IBGN de la norme AFNOR NF T90-350. Notons que les GI sont définis en fonction de la polluo-sensibilité des familles indicatrices.

*** Calcul de l'IBGN équivalent**

Pour l'IBG-DCE, trois listes sont établies, soit une liste par phase. Le regroupement des listes faunistiques obtenues dans la phase A et la phase B permet la définition d'un Équivalent IBGN qui peut être comparé aux données antérieures (note IBGN) avec une marge d'incertitude acceptable.

*** Calcul de l'IBG EQR**

L'EQR (Ecological Quality Ratio ou Ratio de Qualité Ecologique), ou écart à la référence, est le rapport entre un état observé et l'état que « devrait » avoir le milieu en l'absence de perturbation anthropique. L'EQR est calculé sur la base d'indices, son résultat est un ratio sur une échelle de 0 à 1. L'expression de l'état en EQR est une exigence de compatibilité DCE des méthodes d'évaluation. Les bornes des classes d'état sont définies sur cette échelle en EQR.

La note en EQR se calcule comme suit:

$$\text{Note en EQR} = (\text{note observée} - 1) / (\text{note de référence du type} - 1)$$

*** Calcul de la robustesse**

Certaines familles polluosensibles peuvent présenter un genre ou espèce plus résistante aux perturbations que les autres. La note indiciaire peut alors être surestimée. On évalue alors la robustesse de la note, c'est-à-dire la pertinence de celle-ci, en supprimant le premier groupe indicateur de la liste faunistique et en déterminant l'IBGN avec le groupe suivant.

*** L'état écologique**

C'est l'état du fonctionnement d'un écosystème aquatique comparé à un modèle théorique de référence, pour en déduire l'écart à cette référence. Ce sont les fonctionnalités qui doivent être évaluées, et non la composition (bien que ce soit la composition taxonomique qui serve de base à cette évaluation des fonctionnalités, en tant que bioindicateur). L'état écologique comprend principalement l'évaluation biologique, mais également l'évaluation d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques de qualité générale, conditionnant directement l'état biologique.

*** Légendes schéma**

Vitesses	V<5 	5<V<25 	25<V<75 	75<V<150 	V>150 	Points	① à ⑫				
Supports											
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
Singularités station											
Trace d'hydrocarbure 	Traces de package 	Rejet 	Embacles 	Souche 	Accès 	Pont, route 	Limite amont et aval 	Poteau électrique 	Bloc. rochs. ancragement 		

Faciès d'écoulement	PLE : plat lentique	PCO : plat courant	RAD : radier	RAP : rapide	ESC : escalier
	CAS : cascade	CHU : chute	MOU : mouille	FOD : fosse de dissipation	
	FOA : fosse d'affoulement		BCO : banc de convexité		

3. RESULTATS

ANTEA / AFFLUENT LUY / SAINT PANDELON			
Amont plan d'eau	Prélevé le: 06/08/20	De 14h00 à 15h30	N° dossier : 772390
Préleveur : AEVZ	Prise de note : FPCT	Accompagnant : -	

Localisation et informations sur la station : Coordonnées (Lambert 93) C* : Xamont : 375770 Yamont : 6293379 ; Xaval : 375771 Yaval : 6293438



Situation hydrologique apparente C* : basses eaux
Tendance au débit C* : stable depuis le 20/07/20 (station de St Pandelon - Le Luy)
Largeur Lit Plein Bord (Lpb) C* : 2.1 m
Largeur Miroir (Lm) C* : 1 m
Longueur Totale (Lt) C* : 65 m
Superficie miroir (Sm) C* : 65 m²
Visibilité du fond C* : bonne



Affluent le Luy - Saint Pandelon

Accès station

Se garer au niveau de la maison "le moulin de campagne".
Accès direct au cours d'eau.

Limite amont : environ 100 m en amont du portail de la maison "le moulin de campagne"

Limite aval : 35 m depuis le portail de la maison "le moulin de campagne" en queue de radier



Accès à la station

Plan d'échantillonnage

C*

		Classes de vitesses (cm/s)				Superficie relative %	Nombre prél.
		V > 75	25 < V < 75	5 < V < 25	V < 5		
		6	5	3	1		
Bryophytes S11	Abondance prélev.						
Spermaphytes immergés (hydrophytes) S10	Abondance prélev.						
Éléments organiques grossiers (Litères) S9	Abondance prélev.				+	M1	1
Chevelus racinaires libres dans l'eau, substrats ligneux S8	Abondance prélev.			+		M2	1
Sédiments minéraux de grande taille (25 mm < f < 250 mm) S7	Abondance prélev.			++	+	D1 D5 D3 D7	50
Bloc facilement déplaçables (f > 250 mm) S6	Abondance prélev.						
Granulats grossiers (2 mm < f < 25 mm) S5	Abondance prélev.			+		M3	1
Spermaphytes émergents (hélophytes) S4	Abondance prélev.			+	++	M4	2
Sédiments fins ± organiques "vases" (f < 0,1 mm) S3	Abondance prélev.				+		3
Sables et limons (f < 2 mm) S2	Abondance prélev.			+	++	D4 D8 D2 D6	41
Algues, bactéries et champignons filamenteux S1	Abondance prélev.						
Surfaces uniformes dures naturelles ou artificielles S0	Abondance prélev.			+			1

% estimé: représentativité d'un support par classe de vitesses, en fonction de sa superficie relative. Prélèvements notés de M1 à M4 pour les marginaux et de D1 à D8 pour les dominants.

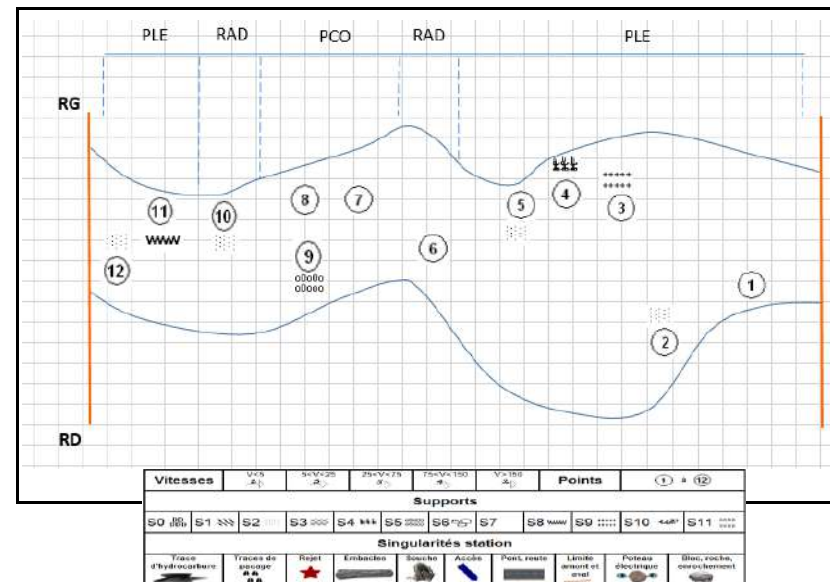
Répartition des phases de prélèvements sur la station

N° prél	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
Phase	D3	D2	M1	M4	D4	D1	D5	D7	M3	D8	M2	D6

L'accréditation de la section Essai de COFRAC atteste de la compétence du laboratoire pour les seules analyses couvertes par l'accréditation C*.

Schéma

C*



Caractéristiques de la station

<p>Spécificités: couleur de l'eau : incolore limpidité de l'eau : limpide odeur de l'eau : sans odeur T° de l'eau (°C) : 20 saturation O2 (%) : 92.4</p>	<p>luminosité : importante tracé du lit : sinueux éclairage du lit : très clair anthropisation de la station : - pH: 7.7 conductivité (µS/cm) : 609 O2 dissous (mg/L) : 8.2</p>
<p>Environnement rive gauche ripisylve : éparse largeur de la ripisylve : 1 m type de végétation : herbacée environnement : agricole nature de la berge : plate hauteur de la berge : < 1 m</p>	<p>Environnement rive droite ripisylve : éparse largeur de la ripisylve : 1 m type de végétation : herbacée environnement : prairial nature de la berge : plate hauteur de la berge : < 1 m</p>

ANTEA / AFFLUENT LUY / SAINT PANDELON

Amont plan d'eau

Prélevé le: 06/08/20

De 14h00 à 15h30

N° dossier : 772390

Tri : TSCT/FCPT le 15/09/20, durée : 6h30 (pré-traitement : néant ; lampe loupe x2,5)

Identification: JYLD, de 8h15 à 12h30, le 16/09/20 (loupe binoculaire, x80)

Liste faunistique

C*

Classe	Ordre	Famille	Genre	Nb de taxons par pots				Code SANDRE	GI
				A	B	C	Total		
INSECTES	TRICHOPTERES	Ecnomidae	Ecnomus	1	0	0	1	249	0
INSECTES	TRICHOPTERES	Hydropsychidae	Hydropsyche	0	5	0	5	212	3
INSECTES	TRICHOPTERES	Leptoceridae	Mystacides	13	0	0	13	312	4
INSECTES	TRICHOPTERES	Limnephilidae	Limnephilinae	1	1	0	2	3163	3
INSECTES	TRICHOPTERES	Psychomyidae	Lype	1	0	0	1	241	4
INSECTES	TRICHOPTERES	Sericostomatidae	Sericostoma	10	0	1	11	322	6
INSECTES	EPHEMEROPTERES	Baetidae		1	0	0	1	363	2
INSECTES	EPHEMEROPTERES	Baetidae	Baetis	18	5	4	27	364	2
INSECTES	EPHEMEROPTERES	Baetidae	Procladius	0	5	0	5	390	2
INSECTES	EPHEMEROPTERES	Ephemerellidae	Ephemerella lato sensu	1	0	0	1	450	3
INSECTES	EPHEMEROPTERES	Ephemeridae	Ephemerella	2	6	5	13	502	6
INSECTES	COLEOPTERES	Elmidae	Elmis	13	568	8	589	618	2
INSECTES	COLEOPTERES	Elmidae	Limnius	0	114	2	116	623	2
INSECTES	COLEOPTERES	Elmidae	Oulimnius	3	0	0	3	622	2
INSECTES	COLEOPTERES	Hydraenidae	Hydraena	0	2	3	5	608	0
INSECTES	DIPTERES	Athericidae		1	2	7	10	838	0
INSECTES	DIPTERES	Chironomidae		40	2424	705	3169	807	1
INSECTES	DIPTERES	Dixidae		1	0	0	1	793	0
INSECTES	DIPTERES	Limoniidae		4	2	7	13	757	0
INSECTES	DIPTERES	Psychodidae		1	0	0	1	783	0
INSECTES	DIPTERES	Simuliidae		0	1	1	2	801	0
INSECTES	DIPTERES	Tabanidae		1	3	1	5	837	0
INSECTES	DIPTERES	Tipulidae		0	1	0	1	753	0
INSECTES	ODONATES	Calopterygidae	Calopteryx	2	0	0	2	650	0
INSECTES	ODONATES	Gomphidae		0	1	0	1	678	0
INSECTES	ODONATES	Gomphidae	Gomphus	1	1	6	8	679	0
INSECTES	ODONATES	Gomphidae	Onychogomphus	0	1	1	2	682	0
INSECTES	ODONATES	Platycnemididae	Platycnemis	1	0	0	1	657	0
CRUSTACES	AMPHIPODES	Gammaridae		89	55	16	160	887	2
CRUSTACES	AMPHIPODES	Gammaridae	Gammarus	25	0	160	185	892	2
CRUSTACES	AMPHIPODES	Gammaridae	Echinogammarus	171	1050	784	2005	888	2
CRUSTACES	ISOPODES	Asellidae	Asellus	9	0	0	9	880	1
CRUSTACES	OSTRACODES			0	2	0	2	3170	0
MOLLUSQUES	BIVALVES	Corbiculidae	Corbicula	3	5	11	19	1051	2
MOLLUSQUES	BIVALVES	Sphaeriidae	Sphaerium	0	0	1	1	1044	2
MOLLUSQUES	BIVALVES	Sphaeriidae	Pisidium	3	0	2	5	1043	2
MOLLUSQUES	GASTEROPODES	Ancylidae	Ancylus	7	8	16	31	1033	2
MOLLUSQUES	GASTEROPODES	Hydrobiidae	Potamopyrgus	15	0	48	63	973	2
MOLLUSQUES	GASTEROPODES	Lymnaeidae	Radix	7	0	0	7	1004	2
ANNELIDES	OLIGOCHETES			10	1	15	26	933	1
TURBELLARIES	TRICLADES	Dugesidae		18	0	4	22	1055	0
HYDRACARIENS				0	1	0	1	906	0

L'accréditation de la section Essai de COFRAC atteste de la compétence du laboratoire pour les seules analyses couvertes par l'accréditation C*.

Calcul du coefficient morphodynamique

Coefficient morphodynamique (m) /20 = 11,58

Coefficient morphodynamique /14 = 8,11

Code classe variété taxonomique /14 = 8

Calcul Cb2

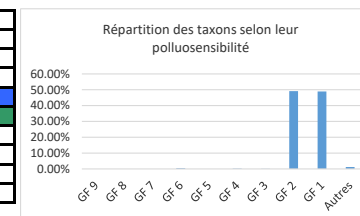
Indice de variété (Iv) /10 = 7,3

Indice de la Faune (In) /10 = 7,3

Cb2 /20 = 14,5

Evaluation de la qualité biologique par l'équivalence IBGN / I2M2

Numéro du Groupe Indicateur (GI) (9):	6
Taxon Indicateur:	Sericostomatidae
Classe Variété Taxonomique (14):	10
Richesse Taxonomique:	33 taxons
Note IBG EQR:	0,9333
Indice MPCE A+B (équivalent IBGN)	15
Note robustesse (/20):	14
Classe Variété Robustesse (/14):	10
Taxon Indicateur robuste:	Ephemeridae
% EPT	1,22%



Indice MPCE A+B (équivalent IBGN)	15	Etat Ecologique
Indice MPCE (EQR)	0,9333	Etat Ecologique
		TRES BON

Interprétations

La note équivalent IBGN (15/20) classe la station d'étude en BON état écologique alors que la note IBG-EQR (0,9333) permet d'attribuer un état écologique TRES BON à la station étudiée.

La perte d'un seul point lors du test de robustesse (note de 14/20) n'engendre toutefois pas de changement d'état écologique au niveau de l'équivalence IBGN. Cette dernière ne semble donc pas surestimée. La différence entre les deux notes s'explique par la diminution du degré de polluo-sensibilité du groupe indicateur pris en compte pour le calcul de la note de robustesse.

Le taxon indicateur (Sericostomatidae, GI : 6) est un taxon assez polluo-sensible. Cela induit une qualité physico-chimique de l'eau correcte. La proportion très faible de taxons sensibles (EPT : 1,22 % de l'effectif total) est toutefois à relativiser du fait de la présence en nombre très important de deux taxons peu polluo-sensibles (Chironomidae et Gammaridae) mais régulièrement présents dans les cours d'eau.

A cela vient s'ajouter une très bonne diversité taxonomique : 33 taxons répertoriés, soit une classe de variété taxonomique de 10/14 reflétant une bonne hospitalité du milieu. Notons que la richesse taxonomique retrouvée est supérieure à celle attendue par le calcul du coefficient morphodynamique (habitabilité théorique du milieu). Aussi, le coefficient d'aptitude biogène (CB2) basé sur l'étude des peuplements confirme que la qualité de l'eau est bonne (In de 7.3/10 indiquant une faune sensible) et que l'habitabilité du milieu est également bonne (Iv de 7.3/10).

ANTEA / AFFLUENT LUY / SAINT PANDELON

Amont plan d'eau

Prélevé le: 06/08/20

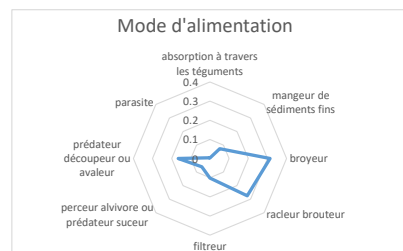
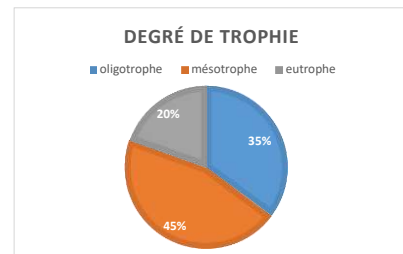
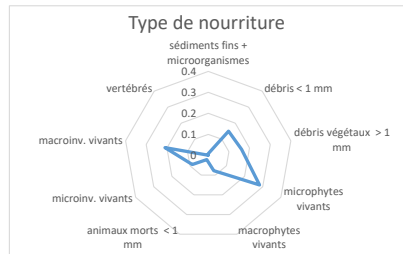
De 14h00 à 15h30

N° dossier : 772390

Tri : TSCT/FCPT le 15/09/20, durée : 6h30 (pré-traitement : néant ; lampe loupe x2,5)

Identification: JYLD, de 8h15 à 12h30, le 16/09/20 (loupe binoculaire, x80)

Interprétation des traits bio-écologiques



Commentaires

Le cortège de macro-invertébrés est composé principalement de racleurs/broueteurs, de broyeurs et de prédateurs/découpeurs ou avaleurs. Ils se nourrissent essentiellement de macro-invertébrés, de microphytes vivants et de débris < à 1 mm.

Les taxons qui composent le peuplement sont majoritairement β mésosaprobies (relativement polluosensibles) et oligosaprobies (polluosensibles).

Cela confère ainsi au milieu un caractère oligo-mésotrophe indiquant une bonne qualité du milieu avec une charge organique faible.

Enfin, la présence d'Elmidae et de Gammaridae exclut une potentielle pollution toxique.

4. ANNEXE

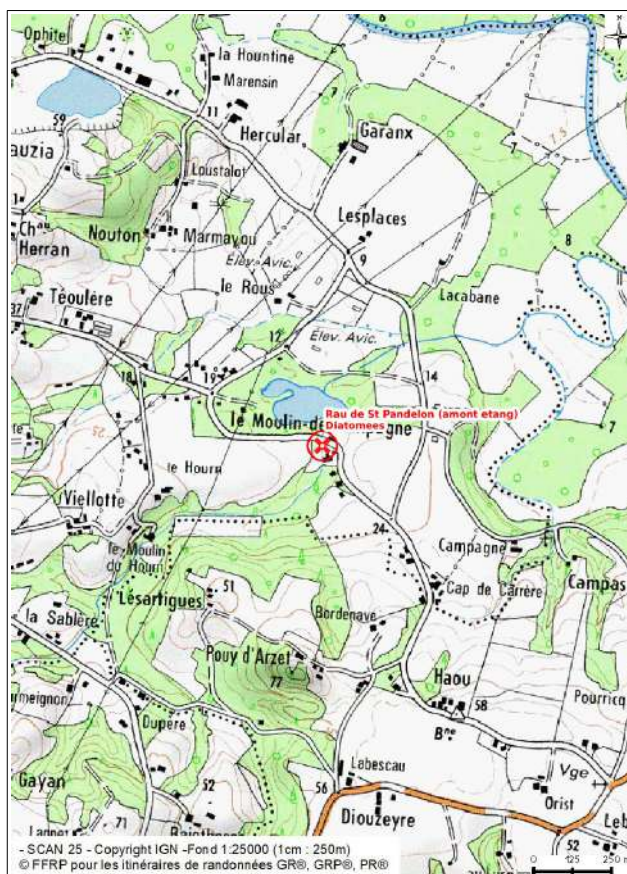
Calcul du Cb2 : répertoire des 92 indicateurs classé selon i et par ordre alphabétique

i = 9 (5)	i = 5 (16)	i = 2 (8)
Astacidae Beraeidae Chloroperlidae Perlodidae Thremmatidae	Aeschnidae Blepharidae Bythinellidae Ceratopogonidae Cordulegasteridae Ecnomidae Elmidae Gomphidae Hydraenidae Leptoceridae Libellulidae Limoniidae Planariidae Sialidae Stratomyidae Tipulidae	Ancylidae Atyidae Baetidae Bithynidae Cambaridae Glossiphoniidae Planorbidae Valvatidae
i = 8 (8)		i = 1 (5)
Brachycentridae Capniidae Goeridae Oligoneuriidae Perlidae Philopotamidae Siphonuridae Taeniopterygidae		Asellidae Chironomidae Dreissenidae Erpobdellidae OLIGOCHETES
i = 7 (11)	i = 4 (14)	
Empididae Ephemeridae Glossomatidae Helophoridae Heptageniidae Lepidostomatidae Molannidae Odontoceridae Polymitarcidae Potamanthidae Sericostomatidae	Aphelocheiridae Calopterygidae Coenagrionidae Dugesidae Dytiscidae Ephemerellidae Gyrinidae Limnobiidae Limnephilidae Platycnemididae Simuliidae Sphaeriidae Tabanidae Unionidae	
i = 6 (14)	i = 3 (11)	
Athericidae Dryopidae Halipidae Scirtidae Hydroptilidae Leptophlebiidae Leuctridae Nemouridae Osmylidae Phryganeidae Polycentropodidae Psychodidae Psychomyidae Rhyacophilidae	Caenidae Corixidae Dendrocoelidae Gammaridae Hydrobiidae Hydropsychidae Limnaeidae Neritidae Physidae Piscicolidae Viviparidae	

Annexe F :
Rapport d'Indice Biologique Diatomée du Hourn à l'amont du lac
(Laboratoire LPL)

Suivi d'un rejet dans le Rau de Saint Pandélon

Localisation de la station



Localisation du prélèvement

Coordonnées (Lambert 93/ RGF93)

X (en m)	Y (en m)
375769	6293441

Suivi d'un rejet dans le Rau de Saint Pandélon

Résultats 2020

Résultats biologiques

Libellé national		Rau de St Pandélon (amont étang)
Code Agence		SR210
Numéro d'essai, Date		IBD201-06928 06/08/2020
Paramètres	Effectif	410
	Richesse spécifique	40
	Indice de Shannon weaver	4,04
	Equitabilité	0,76
	% Diatomées contributives (DC)	99
Notes	Note IPS	12,4
	Note IBD <i>N.C. = non calculable</i> <i>Res. = réserves liées à DC</i>	15,4
	Note en EQR	0,84
Etat biologique (arrêté 2018)		Bon

Code Mnémonique (Type FR)	TP14
Masse d'eau	CDNREF
Valeurs de référence et valeurs minimales	18,10000000000001 - 1
Valeurs seuils	0,94-0,78-0,55-0,3

Analyse des résultats

Le Rau de Saint Pandélon est classé en bon état biologique en amont de l'étang d'après le peuplement diatomées.

L'analyse met en évidence un peuplement stable, diversifié et équilibré. On observe un écart significatif entre les notes IBD et IPS, ce dernier indice présentant une plus grande sensibilité aux pollutions physico-chimiques.

Le cortège floristique est dominé par *Platessa oblongella*, complexe taxonomique présentant une importante amplitude écologique et pouvant induire une surestimation de l'IBD. On observe aussi des taxons présentant une affinité avec les milieux eutrophes, comme *Cocconeis euglypta* et *Sellaphora nigri*, confirmant les perturbations mises en évidence par l'écart avec l'IPS.

Malgré son classement en bon état, le milieu semble subir une eutrophisation.

En l'absence d'une station comparative en aval de l'étang, nous ne pouvons évaluer l'impact éventuel de celui-ci sur le Rau de Saint Pandélon.

Suivi d'un rejet dans le Rau de Saint Pandélon

Liste floristique

CODE	Dénomination	Abd.	%	SANDRE	IPS s	IPV v
POBL*	<i>Platessa oblongella</i> (Østrup) C.E. Wetzel, Lange-Bertalot & Ector	95	23.2	44396	4.5	1
CEUG*	<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenberg	66	16.1	11785	3.6	1
APED*	<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow var. <i>pediculus</i>	38	9.3	7116	4	1
SNIG*	<i>Sellaphora nigri</i> (De Not.) C.E. Wetzel et Ector comb. nov. emend.	24	5.9	43146	2.2	1
ADMI*	<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki var. <i>minutissimum</i>	24	5.9	7076	5	1
CPLA*	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>placentula</i>	16	3.9	12097	4	1
NGRE*	<i>Navicula gregaria</i> Donkin var. <i>gregaria</i>	15	3.7	7948	3.4	1
NPAL*	<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith var. <i>palea</i>	13	3.2	8987	1	3
SSGE*	<i>Sellaphora saugerresii</i> (Desm.) C.E. Wetzel & D.G. Mann in Wetzel et al.	13	3.2	43145	1.5	2
NDIS*	<i>Nitzschia dissipata</i> subsp. <i>dissipata</i> (Kützing) Grunow var. <i>dissipata</i>	12	2.9	8875	4	3
RSIN*	<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek & Stoermer	11	2.7	8419	4.8	1
PLFR*	<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot var. <i>frequentissimum</i>	10	2.4	8393	3.4	1
BPAX*	<i>Bacillaria paxillifera</i> (O.F. Müller) Hendey var. <i>paxillifera</i>	8	2	20044	2	3
NLAN*	<i>Navicula lanceolata</i> (Agardh) Ehrenberg var. <i>lanceolata</i>	8	2	7995	3.8	1
SIDE*	<i>Simonsenia delognei</i> Lange-Bertalot	6	1.5	9079	3	2
NDUB*	<i>Nitzschia dubia</i> W.M.Smith var. <i>dubia</i>	4	1	8880	2	3
PMOC*	<i>Pseudofallacia monoculata</i> (Hustedt) Liu Kociolek & Wang	4	1	34824	3	2
SPUP*	<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkovsky var. <i>pupula</i>	4	1	8444	2.6	2
NVDA*	<i>Navicula vandamii</i> Schoeman & Archibald	4	1	16687	3	1
ENVE*	<i>Encyonema ventricosum</i> (Agardh) Grunow in Schmidt & al.	4	1	13106	4	1
CPED*	<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	3	0.7	7226	4	2
ADMO	<i>Achnanthydium delmontii</i> Peres, Le Cohu et Barthes	3	0.7	33829	4	1
DSTE*	<i>Discostella stelligera</i> (Cleve et Grun.) Houk & Klee	3	0.7	8657	4.2	1
NSIA*	<i>Navicula simulata</i> Manguin	2	0.5	28493	3	2
NTPT*	<i>Navicula tripunctata</i> (O.F.Müller) Bory var. <i>tripunctata</i>	2	0.5	8190	4.4	2
CPLI*	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) Van Heurck	2	0.5	7232	4	1
SSVE*	<i>Staurosira venter</i> (Ehrenberg) Cleve & Moeller	2	0.5	18821	4	1
AUPU*	<i>Aulacoseira pusilla</i> (Meister) Tuji et Houki	2	0.5	11270	3.8	1
GSCI*	<i>Gyrosigma sciotoense</i> (sciotense) (Sullivan et Wormley) Cleve	1	0.2	14104	4	3
NIPU*	<i>Nitzschia pusilla</i> (Kützing) Grunow emend Lange-Bertalot	1	0.2	9014	2	3
NREC*	<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch in Rabenhorst var. <i>recta</i>	1	0.2	9016	3	2
NINC*	<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow	1	0.2	8934	2.8	1
NGPL*	<i>Navigeia paludosa</i> (Hust.) Bukhtiyarova	1	0.2	42892	5	3
MAAT*	<i>Mayamaea atomus</i> (Kützing) Lange-Bertalot var. <i>atomus</i>	1	0.2	14703	2.2	1
DOCU*	<i>Diploneis oculata</i> (Brébisson in Desmazières) Cleve	1	0.2	7408	4	1
LMUT*	<i>Luticola mutica</i> (Kützing) D.G. Mann in Round Crawford & Mann	1	0.2	7783	2	2
NGER*	<i>Navicula germalnii</i> Wallace	1	0.2	15513	3	2
ESLE*	<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch in Rabh.) D.G. Mann var. <i>silesiacum</i>	1	0.2	7443	5	2
POGT*	<i>Platessa oblongella</i> (Østrup) C.E. Wetzel, Lange-Bertalot & Ector f. <i>anormale</i>	1	0.2	44395	1	3
SHAN*	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow in Cleve & Grunow	1	0.2	8746	1.8	1

Annexe G :
Prélèvement et analyse de phytoplancton dans le plan d'eau de la CMSE à Saint Pandelon (Société AQUABIO)



ANTEA GROUP

PRÉLÈVEMENT ET ANALYSE DE PHYTOPLANCTON DANS UN PLAN D'EAU À SAINT-PANDELON (40)

août 2020

6 agences couvrant l'ensemble du territoire et
plus de **20 ans d'expérience** d'étude des milieux aquatiques.

Agence Sud-Ouest - Siège social

ZA du Grand Bois Est, route de Créon
33750 SAINT-GERMAIN-DU-PUCH
Tel. 05 57 24 57 21
contact@aquabio-conseil.com

Agence Centre

ZAC les Acilloux, 10 rue Hector Guimard
63800 COURNON D'Auvergne
Tel. 04 73 24 77 40
centre@aquabio-conseil.com

Agence Nord-Est

Ferme du Marot - D14
25870 CHÂTILLON-LE-DUC
Tel. 03 81 52 97 46
nord-est@aquabio-conseil.com

Agence Ouest

ZAC Beauséjour, rue de la gare du tram
35520 LA MÉZIÈRE
Tel. 02 99 69 73 77
ouest@aquabio-conseil.com

Agence Sud-Est

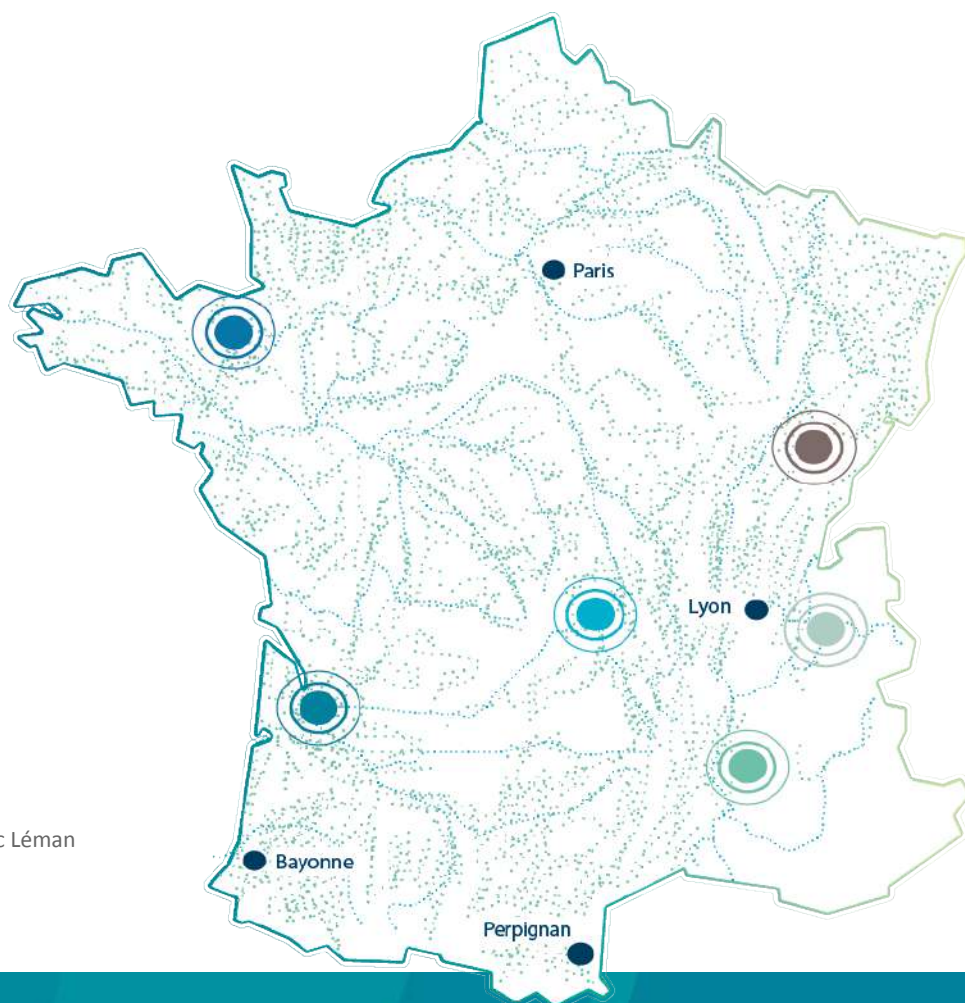
11 rue de la Charette Bleue
26110 NYONS
Tel. 04 75 26 03 32
sud-est@aquabio-conseil.com

Agence de développement

Bâtiment Andromède, 108 avenue du Lac Léman
BP70363
73372 Le Bourget du Lac Cédex
Tel. 04 79 33 64 55
contact@aquabio-conseil.com

Nos relais et partenaires locaux

Paris, Bayonne, Lyon, Perpignan



SG201-31

VERSION 2

28.09.2020

M191115

RÉDACTEUR

Nom : **Jérémy AUBOIN**

Date : 10/09/2020

Visa :



VÉRIFICATEUR ET APPROBATEUR

Nom : **Sarah MILLET**

Date : 11/09/2020

Visa :



SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	3
INTRODUCTION.....	4
METHODOLOGIE.....	5
I. MESURES ET OBSERVATIONS DE TERRAIN.....	5
I.1. Description de la station et conditions de prélèvements.....	5
I.2. Profils verticaux.....	5
I.3. Détermination de la zone euphotique (Zeu).....	5
II. PRELEVEMENT.....	6
RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION.....	8
ANNEXES.....	11

INTRODUCTION

A la demande de ANTEA Group (Mérignac, 33), AQUABIO a été mandaté pour réaliser une étude hydrobiologique sur le plan d'eau de Saint-Pandélon (40) en août 2020.

L'objectif de l'étude conduite par Aquabio est de caractériser le peuplement phytoplanctonique dans les eaux du plan d'eau. Cette étude rentre dans le cadre d'une évaluation de l'état écologique du plan d'eau de Saint-Pandélon.

Le présent rapport présente la méthodologie mise en œuvre, les résultats de l'analyse et leur interprétation.

METHODOLOGIE

I. MESURES ET OBSERVATIONS DE TERRAIN

I.1. Description de la station et conditions de prélèvements

Les conditions de prélèvements ainsi que tous les renseignements susceptibles d'éclairer les résultats d'analyses sont reportés sur un formulaire.

Des photographies du plan d'eau sont prises afin de décrire le site et les conditions environnementales.

I.2. Profils verticaux

Les paramètres présentés dans le tableau I ci-dessous sont mesurés tous les 50cm de profondeur.

Tableau I : Paramètres mesurés et précision de la sonde MPP 930

	Unité	Plage de mesure	Résolution	Précision
pH	Unité pH	0 à 12	0,001	± 0,004
O ₂ dissous concentration	mg/l	0 à 20 mg/l	0,01 mg/l	-
O ₂ dissous saturation	%	0 à 200 %	-	± 1,5%
Conductivité	µS/cm	200 à 1999 µS/cm	1 µS/cm	± 0,5%
Température	°C	- 5 à + 100°C	0,1 °C	± 0,1 °C

Le matériel de mesure utilisé est une sonde Multi-paramètres WTW MPP 930 IDS couplée à un boîtier Multi 3630 IDS permettant la lecture, l'enregistrement puis l'export des données.

Les appareils sont vérifiés et étalonnés suivant notre procédure interne (étalonnage avant départ en campagne puis vérification quotidienne pour paramètres pH et conductivité et réétalonnage le cas échéant).

Les mesures se font après stabilisation des valeurs et selon les préconisations des fabricants.



Photographie 1 : Sonde WTW MPP 930 IDS

I.3. Détermination de la zone euphotique (Zeu)

La profondeur de la zone euphotique (zone théorique de pénétration de la lumière) est mesurée à chaque campagne car elle va conditionner la réalisation du prélèvement de phytoplancton.



Photographie 2 : Disque de Secchi

Pour ce faire, la transparence est mesurée à l'aide d'un disque de Secchi. Le disque est immergé du côté le plus ombragé de l'embarcation. La profondeur de disparition du disque est notée, puis la profondeur de réapparition. Cette opération est renouvelée 5 fois et une moyenne des profondeurs de disparition et de réapparition est faite et donne la valeur de la transparence.

La profondeur de la zone euphotique est alors donnée par la formule : $Z_{eu} = 2,5 \times \text{transparence}$.

II. PRELEVEMENT

Les prélèvements intégrés sur la zone euphotique ont été réalisés à l'aide d'un tube échantillonneur vertical KC DENMARK de longueur 2 m pour les plans d'eau de faible profondeur.

La technique de prélèvement consiste à envoyer un peson relié à un filin à une profondeur donnée et de laisser ensuite descendre le tube cristal le long du filin jusqu'à contact avec le peson. La colonne d'eau de 2 m située au-dessus du peson est ainsi échantillonnée.



Photographie 3 : Tube vertical

L'opération est répétée un nombre n de fois afin de couvrir l'ensemble de la zone prospectée et d'obtenir le volume nécessaire au remplissage de l'ensemble des flacons. Les différents prélèvements sont mélangés dans une cuve en inox afin de constituer un échantillon homogène.



Photographie 13 : prélèvement filet à plancton

En complément, un prélèvement au filet à plancton (maille 20 μm) sur un trait vertical de la zone euphotique est réalisé afin de disposer de suffisamment de matériel pour faciliter certaines identifications taxonomiques au laboratoire. Le filtrat a été conditionné dans un pilulier en verre stabilisé au Lugol (0,5 %).

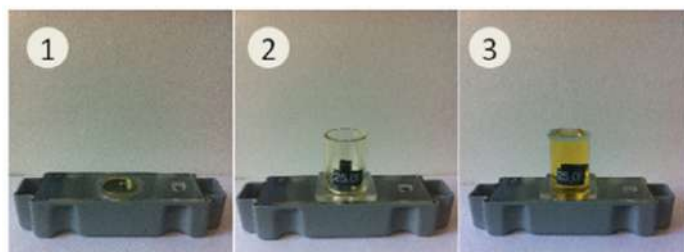
Les échantillons sont ensuite conservés au froid et à l'obscurité jusqu'à leur analyse.

II.1.1. Phase laboratoire

L'analyse du phytoplancton se fait conformément aux recommandations de la norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée - norme (NF EN 15204, 2006), de décembre 2006 - correspondant à la méthode d'Utermöhl (1958) adoptée au niveau européen.

> Préparation de l'échantillon

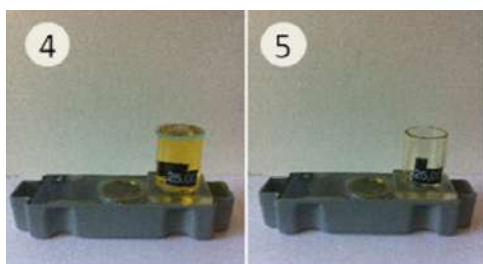
L'échantillon et le matériel employé (chambre et colonne de sédimentation) sont placés à température ambiante 12h avant la mise en sédimentation, afin de permettre une répartition aléatoire du phytoplancton. Après homogénéisation de l'échantillon, un sous-échantillon est versé dans la chambre de sédimentation surmontée d'une colonne de capacité adéquate (10, 25, 50 ou 100 mL). La sédimentation se déroule à l'obscurité et à température ambiante durant 4 à 36 h selon la colonne de sédimentation utilisée (4h par centimètre de hauteur de colonne de sédimentation).



1 – Chambre de sédimentation vide

2 – Placer une colonne de sédimentation dans la chambre de sédimentation

3 – Remplir la colonne de sédimentation puis la fermer à l'aide d'une lame de verre



4 – Après sédimentation durant le temps impartit, faire glisser la colonne de sédimentation sur le côté et fermer la chambre avec une lamelle de verre

5 – Enlever la lame de verre pour vider la colonne dans le réceptacle prévu à cet effet.

> Identification et dénombrement

L'analyse du phytoplancton est réalisée à l'aide d'un microscope inversé Nikon Eclipse Ti-S équipé d'objectifs de grossissements x4, x20, x40, x60 et x100 (DIC). Le comptage est réalisé par champs, choisis aléatoirement, sur l'ensemble de la chambre de comptage, au grossissement x600 à l'aide d'un objectif à immersion équipé d'un contraste interférentiel de Normarski (DIC) pour favoriser l'identification de certains taxons.

L'observation d'au moins 30 champs est opérée, et un minimum de 400 individus (objets algaux) est compté.

Lors de ces comptages, si le nombre d'individus de diatomées non identifiables sans préparation particulière est supérieur à 20 % du total des individus, une préparation de lame de diatomées est réalisée par grillage. Un montage entre lame et lamelle est effectué et la détermination des diatomées est réalisée à l'aide de l'objectif 100x à immersion et à contraste de phase ou DIC.

Toutes les identifications taxinomiques sont réalisées au niveau spécifique ou, en cas de difficultés ou d'incertitudes, au niveau générique.

> Saisie

La saisie des listes floristiques est effectuée via l'outil PHYTOBS v3.1.3 développé par l'IRSTEA.

II.1.2. Calcul de l'IPLAC et interprétation

L'Indice phytoplancton Lacustre ne peut pas être calculé avec une seule campagne, une interprétation basée essentiellement sur la composition des peuplements est réalisée.

Le peuplement phytoplanctonique est étudié au travers de :

- > **calcul du biovolume total,**
- > **concentration cellulaire ,**
- > **variété taxonomique et l'indice de diversité de Shannon**

Le biovolume algal correspond au volume qu'occupe le phytoplancton dans l'échantillon prélevé. Pour chaque taxon, son volume est calculé à partir d'une forme géométrique lui correspondant le mieux. Le biovolume total est donc la somme des biovolumes spécifiques estimés pour chaque taxon inventorié dans l'échantillon. Il est exprimé en $\mu\text{g} / \text{l}$.

L'indice de diversité de Shannon permet de mesurer la diversité spécifique du milieu. Il donne une information sur la structure du peuplement en tenant compte de l'abondance de chaque espèce.

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

La carte de la figure 1 indique la localisation du prélèvement d'eau sur le plan d'eau de Saint-Pandelon (40) pour l'analyse phytoplanctonique.



Figure 1: Localisation du point de prélèvement de phytoplancton sur le plan d'eau de Saint-Pandelon (40)

Informations relatives aux prélèvements

Coordonnées du point de prélèvement (Lambert 93) : X : 375720

Y : 6293568

	Été
Numéro d'essai	PHYTO201-06653
Date de prélèvement	04/08/2020
Heure	1600
Opérateurs terrain	A. BOULARD/Y. BECKER
Profondeur (m)	32
Secchi (m)	0,6
Zone euphotique (m)	1,5

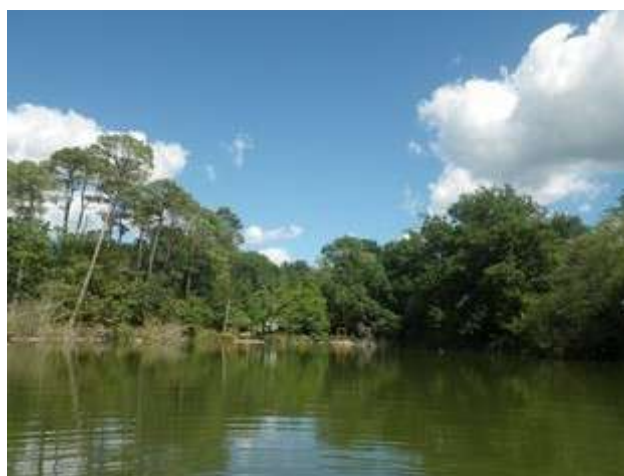
Mesures physico-chimiques in-situ dans la zone euphotique

Profondeur (m)	Oxygène dissous (mg/l)	Pourcentage en saturation (%)	pH (Unité pH)	Conductivité (mS/cm)	Température eau (°C)
0	13,8	171	8,5	9,5	26,4
0,5	14,6	179	8,5	10	26,6
1	19	HP	7,3	19,9	30
1,5	HP	HP	6,7	31,4	32,2

* Valeur hors plage de mesure



Saint-Pandelon (mise à l'eau)



Saint-Pandelon (Vue du point de prélèvement)

Remarques relatives aux prélèvements : Bonnes conditions de prélèvement. Forte salinité du plan d'eau car carrière de sel souterraine et usine de sel.

Informations relatives aux analyses

	Été
Numéro d'essai	PHYTO201-06653
Date	31/08/2020
Temps analyse	03h15
Opérateurs laboratoire	Mireia Bertos-Fortis

Remarques relatives aux analyses :

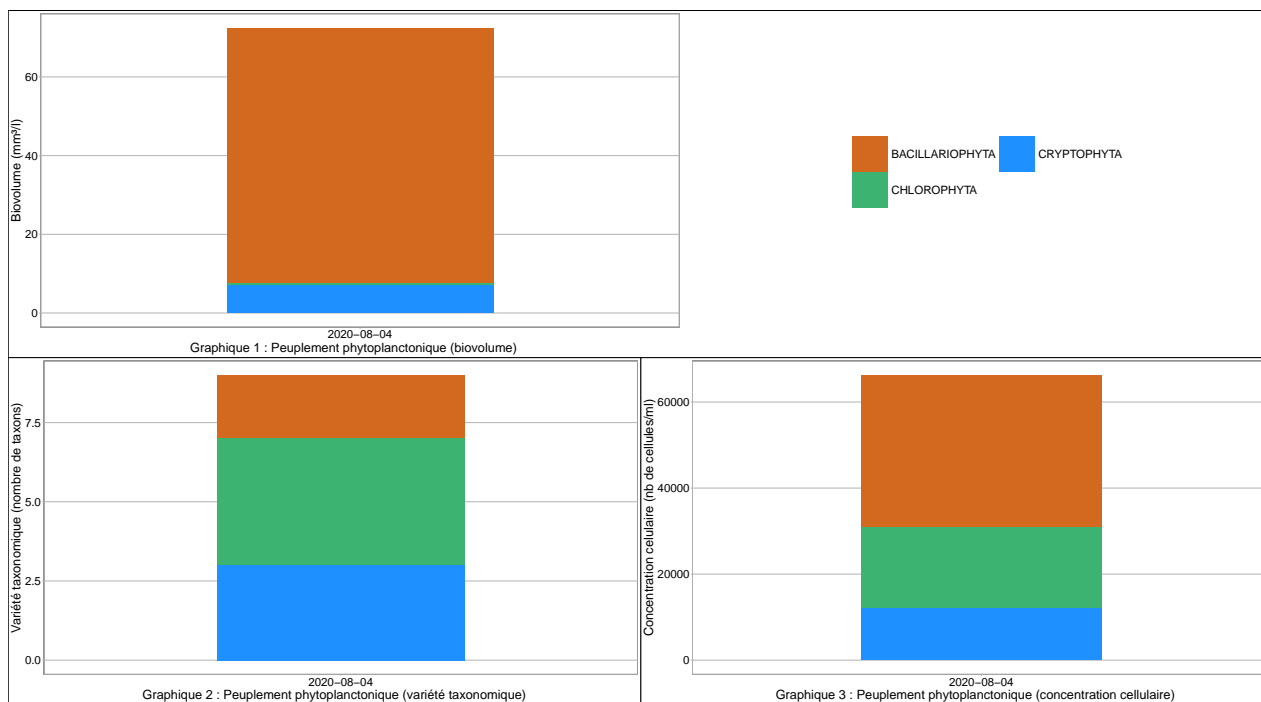
Cortège phytoplanctonique marin

Résultats

Synthèse des résultats phytoplanctoniques

	Été
Biovolume (mm ³ /l)	72,45
Variété taxonomique (nb taxons)	9
Concentration cellulaire (nb cel/ml)	66264
Indice de Shannon (bits/ind)	0,68

Caractérisation du peuplement



Commentaires

Le profil de mesures physico-chimiques réalisé dans la zone euphotique montrent une eau très minéralisée proche des conditions marines (9500µS.cm-1 en surface à 31 400µS.cm-1) due à l'extraction de sel sur le site. L'oxygénation de la colonne d'eau est très importante (plus de 170 % de saturation en oxygène) ainsi que sa température (de 26 à 32°C suivant la profondeur).

Le peuplement phytoplanctonique présente une stabilité très faible (Shannon=0,68). La variété taxonomique est très faible (9 taxons). La production algale, représentée par le biovolume, est par contre très élevée (72,45 mm³/L).

Le peuplement est dominé à plus de 90 % par la diatomée planctonique *Chaetoceros cf muelleri* (64,26 mm³/L). Ce taxon est typiquement d'origine marine. De ce fait, le calcul de l'IPLAC n'est pas réalisable (aucune côte spécifique pour ce taxon dans le logiciel Phytobs).

Les caractéristiques de ce peuplement, forte productivité et faible diversité, sont typiques d'un peuplement marin, ce qui est confirmé par la dominance de taxon provenant de ce type de milieu.

RAPPORT D'ESSAIS

Date d'édition du rapport : 10/09/2020

RAPPORT D'ESSAIS

Echantillonnage et dénombrement phytoplanctonique

(AFNOR XP T90-719 / AFNOR NF EN 15204)

RESULTATS DE L'ESSAI¹

Nombre de Champs Comptés	Nombre total d'individus	Variété Taxonomique	Biovolume total ¹ (mm ³ /l)	Concentration cellulaire (cel/mL)	Abondance (ind/mL)
48	407	9	72,45	66264,00	66264,00

¹Champs non couverts par l'accréditation et l'agrément

INFORMATIONS CONCERNANT L'ESSAI

Objet soumis à l'essai : plan d'eau

Support : phytoplancton

Localisation (client)

Département : LANDES
Commune concernée : SAINT PANDELON

Coordonnées du site phytoplancton en Lambert 93/RGF93

	Prélèvement
X (en m)	375 737
Y (en m)	6 293 572

Prélèvements et Analyses

Préleveur : Adèle BOULARD (Responsable, SG) - Scribe : Yann BECKER (SG)

Date de prélèvement : 04/08/2020 Heure : 16:00

Opérateur laboratoire : Mireia BERTOS-FORTIS (SG)

Date de l'analyse : 31/08/2020

Codes Agences AQUABIO :

SG : Agence Sud-Ouest, FE : Agence Ouest, PA : Agence Ile de France-Nord,
NY : Agence Sud-Est, CF : Agence Centre, BE : Agence Nord-Est,
DE : Agence Développement

Finalité du site d'étude :

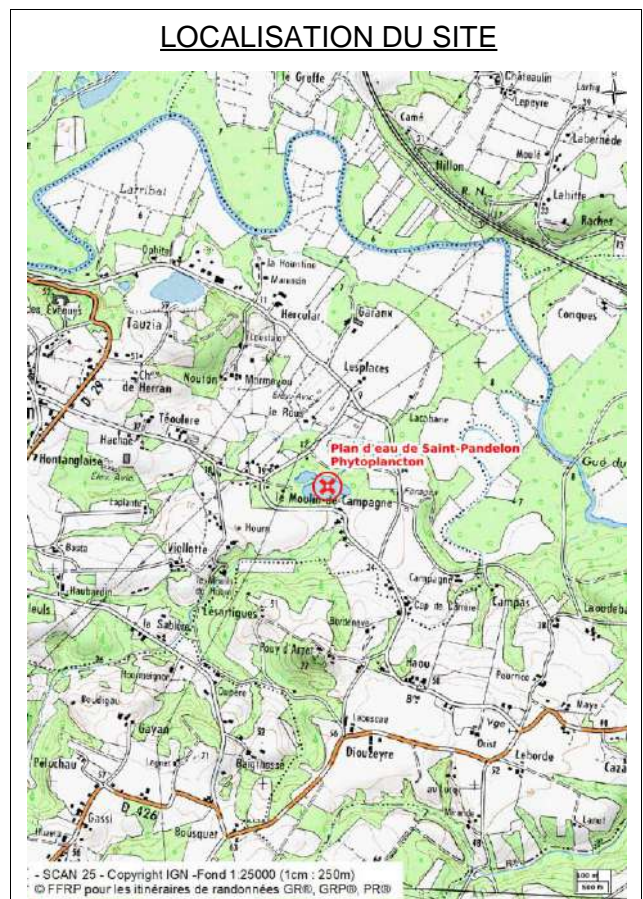
-

Remarques/détails concernant le prélèvement :

Forte salinité du plan d'eau car présence d'une carrière de sel souterraine et usine de sel

Remarques/détails concernant l'analyse : -

LOCALISATION DU SITE



PHYTO201-06653

Plan d'eau de Saint-Pandelon

LISTE FLORISTIQUE

Code Sandre	Code Taxon	Nom Taxon	Cf	Nombre d'individus par ml	Abondance en cel/ml	Biovolume en mm3/l
8585	CHTMUE	Chaetoceros muelleri	Cf.	29957,19	29957,19	64,2582
	NEW154	Cryptophycées		11071,14	11071,14	5,7902
5730	MONCIR	Monoraphidium circinale	Cf.	9117,41	9117,41	0,2279
	NEW223	Chlorococcales <5µm		7326,49	7326,49	0,0586
	NEW146	Diatomées centriques <10µm		5372,76	5372,76	0,5910
5731	MONCON	Monoraphidium contortum		2116,54	2116,54	0,2392
6271	CRYERO	Cryptomonas erosa	Cf.	814,05	814,05	0,9223
	NEW224	Chlorococcales 5-10µm		325,62	325,62	0,0716
6269	CRYS PX	Cryptomonas		162,81	162,81	0,2885

*Résultats obtenus à partir du logiciel Phytobs3.1.3

Le responsable des essais
Julien ROBINET



Annexe H :
Diagnostic Faune / Flore (Eliomys)

**Projet de Nouvelle canalisation
Commune de Saint-Pandelon (40)
Volet Faune/flore - Diagnostic**



ELIOMYS

Conseil et Expertise en Environnement

Olivier TOUZOT

Gironde
06.88.47.93.05
olivier.touzot@eliomys.fr

Yannig BERNARD

Gironde
06.34.51.82.79
yannig.bernard@eliomys.fr

Xavier LOUBERT-DAVAINÉ

La Barre Théberge
44440 Trans-sur-Erdre
06.11.13.17.18
xavier.loubert@eliomys.fr

Damien TROQUEREAU

Gironde
07.89.66.66.89
damien.troquereau@eliomys.fr

ELIOMYS. Société de conseil et d'expertise en environneme
SARL au capital de 3000€ enregistrée au RCS de Nantes.
Siège social : La Barre Théberge 44440 Trans-sur-Erdre.
SIRET : 52964875000014
Tva intracommunautaire FR29529648750
Contact : eliomys@eliomys.fr

Rédacteurs

Version 1.2



Yannig BERNARD - ELIOMYS

Le 25 août 2020

Fonction : Ecologue

Mission : Expertises, analyses, cartographie.

Coordonnées : yannig.bernard@eliomys.fr
06.34.51.82.79



Olivier TOUZOT - ELIOMYS

Le 25 août 2020

Fonction : Chef de projet - Ecologue

Mission : Expertises, analyses et relecture.

Coordonnées : olivier.touzot@eliomys.fr
06.88.47.93.05



Anne PLENEY - GEOFLORE

Le 25 août 2020

Fonction : Botaniste

Mission : Expertises et analyses

Coordonnées : contact@geoflore.fr

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	5
I. AIRE D'ETUDE ET CONTEXTE	6
II. METHODOLOGIE.....	7
II.1. METHODE GENERALE	7
II.2. METHODES D'INVENTAIRE POUR CHAQUE GROUPE	8
II.3. HIERARCHISATION DES ENJEUX	12
III. DIAGNOSTIC ECOLOGIQUE.....	15
III.1. LA FLORE ET LES HABITATS NATURELS.....	15
III.2. LA FAUNE.....	25
IV. LES ENJEUX ECOLOGIQUES.....	40
IV.1. LES HABITATS NATURELS ET LA FLORE	40
IV.2. LA FAUNE	41
IV.3. SYNTHESE DES ENJEUX.....	42
IV. CONCLUSION	43
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	44
ANNEXES.....	46

INTRODUCTION

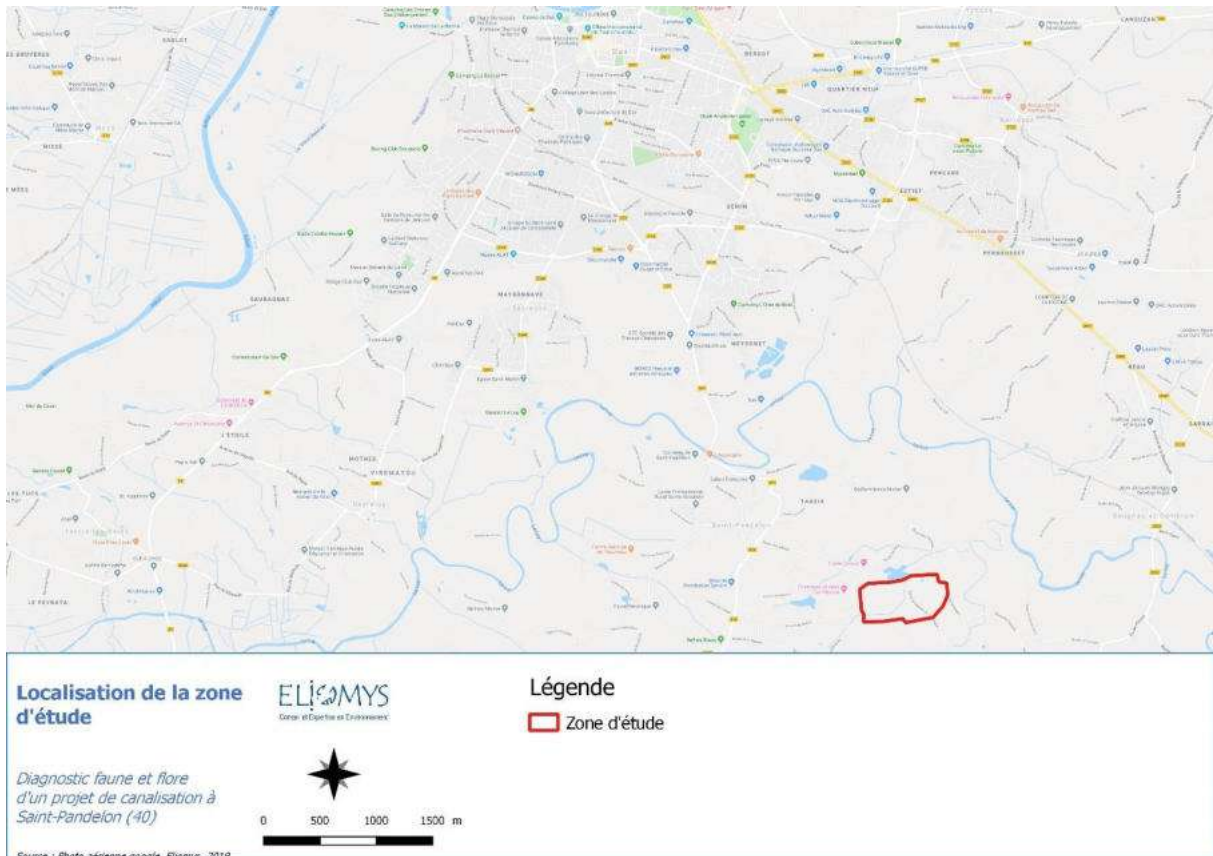
La société « les salins du Midi » envisage l'implantation d'une nouvelle canalisation sur un de ses sites situé sur la commune de Saint-Pandelon dans les Landes.

Le présent rapport dresse le bilan naturaliste du site ciblé et de son voisinage suite aux visites de terrain effectuées en 2018 et 2019.

I. AIRE D'ETUDE ET CONTEXTE

La zone d'implantation potentielle du projet ou zone d'étude (telle que définie dans le cahier des charges) s'étend sur environ 60 ha. Cette zone se situe sur la commune de Saint-Pandelon dans le département des Landes (40), au lieu-dit Moulin de Campagne (cf. carte ci-après).

La zone se localise au sud-est de l'Agglomération Dacquoise, dans un contexte vallonné agricole alternant céréalicultures et boisements.




II. METHODOLOGIE


Des expertises de terrain sur la faune et la flore ont été menées de façon à identifier et localiser les espèces rares et/ou protégées présentes dans l'aire d'étude et à proximité immédiate. La méthodologie mise en œuvre est présentée ci-après groupe par groupe.

La réalisation de l'étude a été confiée à l'équipe suivante :




 **Yannig BERNARD, ELIOMYS.** Diplômé de l'université de Rennes 1, il a travaillé en Parc Naturel Régional avant de rejoindre pendant 9 ans un bureau d'études spécialisé en expertise des milieux naturels. Expert naturaliste renommé sur la façade atlantique, il a réalisé les phases de diagnostic écologique (ornithologique, faune « terrestre ») ainsi que l'analyse et la cartographie associées.



 **Olivier TOUZOT, ELIOMYS.** Diplômé de l'université d'Anglet, cet ingénieur écologue a travaillé pendant 10 ans dans un bureau d'étude spécialisé en expertise des milieux naturels. Il possède une bonne connaissance du contexte Aquitaine-Picto-Charentais. En charge de dossiers d'envergure, il est très régulièrement intervenu dans la réalisation de grands projets d'infrastructures et d'aménagements du territoire comme l'A65, Itinéraire Grand Gabarit A380, l'A63 et également sur la réalisation d'études d'impacts et d'étude d'incidence Natura 2000 sur des projets de ZAC, carrières. Il a réalisé le volet chiroptères.



 **Anne PLENEY, GEOLFLORE.** Anne PLÉNEY est écologue botaniste, après cinq ans d'expérience dans un organisme de recherche appliquée elle crée Geoflore, bureau spécialisé dans l'expertise de la flore et des habitats naturels, la cartographie SIG ainsi que de la structuration de base de données en Nouvelle-Aquitaine et Occitanie. Il réalise aussi la mise en place de protocoles standardisés ou spécifiques ainsi que des suivis participant à la connaissance et la gestion de la biodiversité.

II.1. METHODE GENERALE

Afin d'établir le volet enjeux écologiques de l'état initial, une démarche en plusieurs temps a été établie :

- en premier lieu, une approche bibliographique qui consiste à recueillir le plus de renseignements possibles sur la zone d'étude. Cette bibliographie vise à préparer les prospections naturalistes et à recueillir les données scientifiques et techniques validées, lorsqu'elles existent, sur les enjeux liés au site et au type de projet concerné. Cette bibliographie s'appuie sur des ouvrages ou articles signalés soit en corps de texte ou en annexe, mais également sur la consultation de sites internet spécialisés.
- l'analyse et la cartographie de l'occupation du sol, à travers la typologie des milieux (naturels, agricoles, bâtis), le réseau routier, la densité du bâti et l'imbrication de l'ensemble. Ce travail s'opère avec la photo aérienne orthonormée et le scan 25 de l'Institut Géographique National. La superposition des couches réglementaires, tous thèmes confondus, vient compléter ce travail de recensement d'enjeux préexistants, qu'ils soient réglementaires (zones protégées) ou d'inventaires (connaissances scientifiques).
- des prospections naturalistes ont été menées sur le terrain. Le détail des méthodologies propres à ces prospections et les personnes les ayant menées font l'objet de paragraphes dédiés.



Dates de passage sur le terrain

Date	24/07/2018	02/10/2018	12/01/2019	27/03/2019	24/05/2019	20/06/2019	12/07/2019	29/07/2019
Conditions météorologiques	Chaud, orageux 28°C	Doux, sec, 19°C	Frais, sec 11°C	Beau, frais 15°C	Humide, 20°C	Beau, chaud 26°C	Chaud, sec 29°C	Chaud, sec 28°C
Flore	x				x		x	
Amphibiens	x	x	x	x	x			
Reptiles	x	x		x	x	x		x
Oiseaux	x	x	x	x	x	x		x
Mammifères	x	x	x	x	x	x		x
Insectes	x			x	x	x		x

II.2. METHODES D'INVENTAIRE POUR CHAQUE GROUPE

II.2.1. LA FLORE ET LES HABITATS NATURELS

Les prospections ont été orientées vers les espèces et groupes d'espèces à valeur patrimoniale, protégées au niveau national, régional et départemental ou inscrites aux annexes II et IV de la Directive « Habitats ».

Un inventaire le plus complet possible des espèces végétales présentes dans la zone d'étude a été réalisé durant les 3 journées d'inventaires sur les Angiospermes (= plantes à fleurs), les Gymnospermes (= conifères au sens large) et les Ptéridophytes (= fougères et plantes alliées). Un relevé phytosociologique (relevé en abondance - dominance) a été établi pour chaque groupement végétal qui peut ensuite être caractérisé selon la nomenclature la plus actuelle (EUR 28, CORINE Biotopes). *In fine*, une **carte des habitats naturels** de la zone d'étude a été réalisée. La méthode de relevé est basée sur l'approche classique sigmatiste et suivra les étapes détaillées ci-après, fidèle en cela aux règles de l'art en la matière et aux exigences de la réglementation en vigueur.

Délimitation des groupements végétaux

Au vu de la physionomie de la végétation, le phytosociologue détermine le nombre de groupements végétaux présents. Pour chaque groupement végétal, un relevé phytosociologique est alors réalisé.

Respect d'une aire minimale de relevé par groupement

Une très grande attention est portée au choix de la surface du relevé¹ sur chaque groupement présent. Celle-ci peut être inférieure à un mètre carré dans le cas de pelouses rases rupicoles ou de plusieurs centaines de mètres carrés dans des peuplements arborés. C'est par la connaissance de l'écologie des espèces que le phytosociologue sait déterminer cette homogénéité floristique (ex : secteurs plus ou moins secs dans une prairie). L'aire minimale du relevé est déterminée ainsi : le nombre d'espèces notées augmente avec la surface prospectée puis la présence d'une nouvelle espèce supplémentaire devient exceptionnelle ; quand le nombre d'espèces notées n'augmente plus alors l'aire minimale est couverte et le groupement peut être considéré comme phytosociologiquement décrit.

¹ Ce point est essentiel pour une reproductibilité du suivi et surtout pour une analyse fondée des évolutions constatées dans la composition floristique d'une fois à l'autre. Souvent ce point est négligé. Si cette erreur a peu de conséquence sur la description phytosociologique de milieux prairiaux (faible aire minimale), elle rend inutilisable les données sur les boisements.

Estimation du recouvrement par strate

Chaque groupement végétal présent est décrit strate par strate. Le recouvrement de chaque strate est évalué. Ce recouvrement exprimé en pourcentage de la surface du relevé est donc inférieur ou égal à 100 pour une strate donnée. Dans les formations boisées, la strate arborescente peut se superposer aux strates arbustive et herbacée, si bien que la somme des recouvrements des strates peut être supérieure au recouvrement total du groupement décrit, voire supérieure à 100 lorsque il y a peu d'espaces nus.

Valeur	Recouvrement	Abondance
5	75-100%	quelconque
4	50-75%	quelconque
3	25-50%	quelconque
2	5-25%	quelconque
1	1-5%	plus de 50 individus
+	< 1%	jusqu'à 50 individus
x	espèce relevée hors quadrat	

Synthèse sous forme d'un tableau de relevés

L'ensemble des données floristiques recensées sera synthétisé sous forme d'un tableau : sur une même ligne horizontale figureront le nom scientifique actuel de l'espèce², son nom vernaculaire et le coefficient d'abondance-dominance qui lui a été affecté. Les espèces seront ensuite classées suivant leur autécologie groupement par groupement, faisant apparaître ainsi des ensembles d'espèces liées les unes aux autres.

Le tableau de relevés phytosociologiques n'a pas vocation à vulgarisation en tant que tel. Au contraire, il constitue la somme des données recueillies sur le terrain avec pour principal objectif d'être contrôlé par l'administration ou repris plus tard par d'autres phytosociologues qui pourront assurer ainsi le suivi des impacts avérés du projet sur le milieu naturel qu'il occupe et auront ainsi la matière nécessaire pour comparer les évolutions de ces groupements dans le temps et dans l'espace. C'est à ce titre que la nomenclature botanique doit être la plus rigoureuse possible (les noms d'auteur seront systématiquement précisés).

Les codes CORINE biotopes et EUR 28 seront aussi précisés car ils permettent un rattachement aisé à des descriptions officielles ou à des cartographies de sites naturels (ex : sites Natura 2000).

Flore patrimoniale

Au cours de cet inventaire destiné à la cartographie des habitats, pour chaque espèce végétale patrimoniale identifiée, sa **station** a été localisée avec précision, ainsi que son **habitat** potentiel à proximité.

² La dénomination des espèces respectera la nomenclature botanique actuelle. Les noms scientifiques correspondront à ceux de la BDNFF (Base de Données Nomenclaturale de la Flore de France) réalisée par Benoît BOCK en 2002 puis 2006 sur la base de l'Index Synonymique de la Flore de France (ISFF) de M. KERGUÉLEN.

II.2.2. LA FAUNE

Inventaires de terrain « mammifères »

Les chauves-souris :

- Etude acoustique :

Des relevés acoustiques au sol ont été réalisés à l'aide d'un détecteur à ultrasons avec un D240X. Ces relevés ont été effectués sur différents points d'écoute.

L'objectif de ce travail d'écoute acoustique est d'identifier la diversité d'espèces présentes, leurs régularités, les zones de chasse préférentielles et pour quelles espèces et les corridors de vol locaux lors des phases de déplacements (période d'élevage des jeunes). Il s'agit également de déterminer les niveaux d'activités (nombre de contact par heure, par espèce et habitat, le type d'activité (parade, chasse, déplacement), pics d'activité...).

- Limite de la méthode

Les méthodes d'identifications des ultrasons ne permettent pas toujours de différencier toutes les espèces de manière systématique. Si l'amélioration des connaissances dans ce domaine apportent des éléments probants, il n'en demeure pas moins que, selon les conditions, certains groupes restent très difficiles à déterminer comme les Murins (*Myotis* sp.) et les Oreillardes (*Plecotus* sp.).

Nous avons complété ce travail par l'analyse des potentialités des arbres favorables à l'accueil de gîtes pour les espèces arboricoles durant la période estivale.

Autres mammifères (carnivores, grands mammifères etc.)

Les mammifères à l'étude, étant discrets, l'accent a été porté sur la recherche de traces, laisses et déjections. Pour les espèces remarquables, notamment les mammifères semi-aquatiques, la qualité des habitats et les potentialités d'accueil ont aussi été évaluées.

Aucun inventaire spécifique sur les micro-mammifères (rats, souris, campagnols, musaraignes...) n'a été réalisé. En effet, ce groupe nécessite des méthodologies très lourdes (récolte et analyse de pelote de réjection de rapaces, campagne de piégeage...). Seul, le Campagnol amphibie (*Arvicola sapidus*), espèce protégée a été spécifiquement recherché.

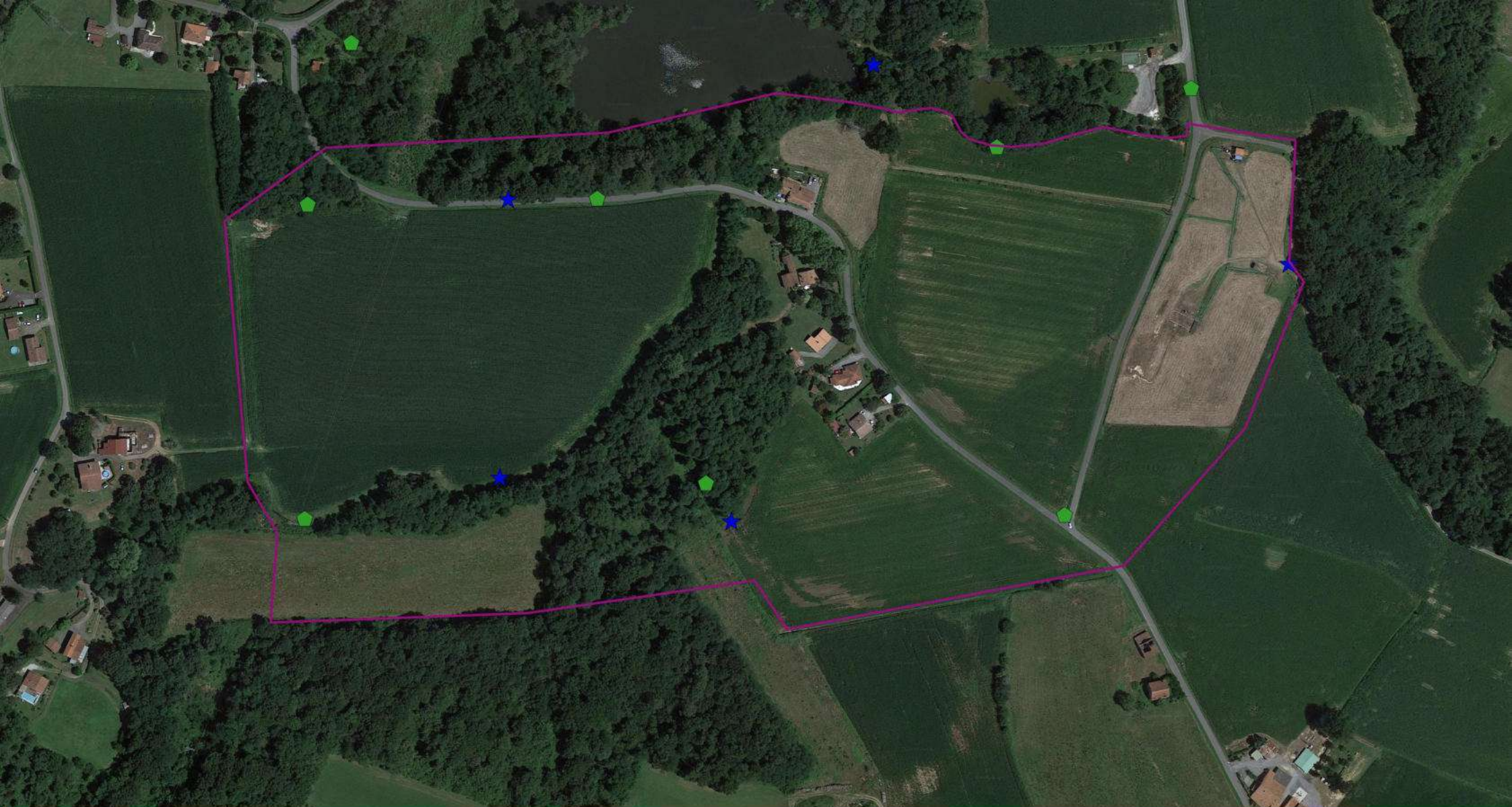
Inventaires de terrain « insectes »

Les insectes représentent des groupes très riches et diversifiés aussi un inventaire exhaustif ne serait possible qu'avec la mise en place de suivis spécifiques et d'un investissement de plusieurs années sur l'ensemble de la zone d'étude.

Les insectes recherchés sont les Lépidoptères (papillons), les Odonates (libellules et demoiselles) et les Coléoptères saproxyliques. La méthodologie employée pour l'étude des insectes allie une prospection visuelle classique des individus à la visite des refuges potentiels (recherche sur et sous le bois mort, souches, pierres, bordure des lisières,...).

Elle s'accompagne d'une phase de capture au filet des individus volants (pour les espèces difficiles à déterminer). Les libellules et les lépidoptères ont été repérés à vue et aux jumelles. Ils ont éventuellement été capturés à l'aide d'un filet et relâchés sur les lieux afin d'identifier les espèces les plus délicates.





Localisation des méthodes

*Diagnostic faune et flore
d'un projet de canalisation à
Saint-Pandelon (40)*

ELIOMYS
Conseil et Expertise en Environnement



0 50 100 150 m



Légende

Méthodes et protocoles

- ★ Points d'écoute pour l'avifaune
- ◆ Points d'écoute pour les chiroptères
- Zone d'étude

Pour les insectes saproxyliques, les indices de présences ont été recherchés : restes d'adultes, les traces des larves dans les arbres et d'éventuels adultes vivants dans les zones favorables.

Aucun piégeage n'a été effectué. Les prospections se sont déroulées de jour, les insectes nocturnes n'ont pas été inventoriés.

Inventaires de terrain « amphibiens »

Ce groupe est constitué d'animaux sensibles aux aménagements du fait de leur écologie complexe et de l'utilisation de plusieurs habitats différents selon les saisons.

Les principales migrations ainsi que la reproduction ont été recherchés en fin d'hiver, période plus humide lors de cet hiver et jusqu'au milieu du printemps.

Les méthodes de prospection ont regroupé plusieurs techniques, de nuit et de jour et principalement par temps humide :

- écoute des mâles chanteurs afin de les localiser ;
- recherche de sites de ponte et évaluation des populations par estimations des têtards ;
- recherche à vue ;
- parcours à pied selon un itinéraire déterminé afin de mettre en évidence les différents corridors de déplacement et les relations éventuelles intra et inter sites.

L'absence de zone humide (permanente ou temporaire) sur le site à cette période comme le reste de l'année a limité considérablement la portée de ces méthodes.

Nous avons donc complété les inventaires, à travers la méthode de recherche des reptiles, à savoir rechercher des caches potentielles en soulevant pierres, plaques et autres débris et déchets, particulièrement nombreux sur site.

Inventaires de terrain « reptiles »

Pour les reptiles, les recherches se sont effectuées à vue le long des lisières ainsi qu'en prospectant les différents gîtes d'accueil potentiels au niveau de toutes les caches susceptibles de les héberger (troncs couchés, racines, rochers...). Les reptiles seront recherchés à la faveur de périodes ensoleillées en **période printanière et estivale**. Nous avons dressé la liste des espèces présentes et évaluerons l'état de conservation des milieux.

Comme pour les amphibiens, nous avons porté une attention toute particulière sur **l'analyse et la localisation de la qualité des habitats « terrestres »** c'est-à-dire les habitats de repos estivaux et d'hivernaux dans lesquels ces animaux s'abritent hors période de reproduction.

Inventaires de terrain « oiseaux »

Ce groupe a fait l'objet de relevés ponctuels liés à l'écoute, à l'observation et ainsi que la recherche d'indices de présence (plumes, traces, pelotes de réjection...) sur le site et dans son voisinage.

Nous avons réalisé un parcours à pied combinés avec des points d'écoute et d'observation réguliers sur l'ensemble de la zone d'étude et les différents milieux présents.

Pour les oiseaux hivernant et migrateurs, les inventaires ont également été réalisés à vue, ciblés sur les secteurs les plus favorables (zone de gagnage potentielle notamment). Les cortèges d'espèces mais également leur fonctionnement écologique à l'échelle de la zone d'étude ont ainsi été analysés pour comprendre les interactions éventuelles avec les sites adjacents.

II.3. HIERARCHISATION DES ENJEUX

La hiérarchisation des enjeux écologiques donne lieu à de nombreuses méthodes³. Classiquement, notre approche consiste à prendre en compte le statut juridique des espèces et à y adjoindre les espèces dites patrimoniales.

II.3.1. ESPECES PROTEGEES

Article L. 411-1 du Code de l'environnement

«I. - Lorsqu'un intérêt scientifique particulier, le rôle essentiel dans l'écosystème ou les nécessités de la préservation du patrimoine naturel justifient la conservation de sites d'intérêt géologique, d'habitats naturels, d'espèces animales non domestiques ou végétales non cultivées et de leurs habitats, sont interdits : :

1° La destruction ou l'enlèvement des œufs ou des nids, la mutilation, la destruction, la capture ou l'enlèvement, la perturbation intentionnelle, la naturalisation d'animaux de ces espèces ou, qu'ils soient vivants ou morts, leur transport, leur colportage, leur utilisation, leur détention, leur mise en vente, leur vente ou leur achat ;

2° La destruction, la coupe, la mutilation, l'arrachage, la cueillette ou l'enlèvement de végétaux de ces espèces, de leurs fructifications ou de toute autre forme prise par ces espèces au cours de leur cycle biologique, leur transport, leur colportage, leur utilisation, leur mise en vente, leur vente ou leur achat, la détention de spécimens prélevés dans le milieu naturel ;

3° La destruction, l'altération ou la dégradation de ces habitats naturels ou de ces habitats d'espèces [...]

Article L. 411-2 du Code de l'environnement

«I. - Un décret en Conseil d'Etat détermine les conditions dans lesquelles sont fixées :

1° La liste limitative des espèces animales non domestiques ou végétales non cultivées [...] ainsi protégés ;

2° La durée et les modalités de mise en œuvre des interdictions prises en application du I de l'article L. 411-1 ;

3° La partie du territoire sur laquelle elles s'appliquent, qui peut comprendre le domaine public maritime, les eaux intérieures la mer territoriale, la zone économique exclusive et le plateau continental ;

4° La délivrance de dérogations aux interdictions mentionnées aux 1°, 2° et 3° de l'article L. 411-1, à condition qu'il n'existe pas d'autre solution satisfaisante, pouvant être évaluée par une tierce expertise menée, à la demande de l'autorité compétente, par un organisme extérieur choisi en accord avec elle, aux frais du pétitionnaire, et que la dérogation ne nuise pas au maintien, dans un état de conservation favorable, des populations des espèces concernées dans leur aire de répartition naturelle [...]

Conformément à ses engagements internationaux et communautaires, le droit français organise la protection d'espèces animales et végétales rares, vulnérables et/ou patrimoniales.

La **Loi n°76-629 du 10 juillet 1976** relative à la protection de la nature a déclaré d'intérêt général « *La protection des espaces naturels et des paysages, la préservation des espèces animales et végétales, le maintien des équilibres biologiques auxquels ils participent et la protection des ressources naturelles contre toutes les causes de dégradation qui les menacent* ».

Afin de garantir cet intérêt général, elle a jeté les bases d'un régime de protection stricte de certaines espèces animales et végétales.

Son article 3 prévoyait par exemple l'interdiction de la destruction ou de l'enlèvement des œufs ou des nids, de la mutilation, de la destruction, de la capture ou de l'enlèvement, de la naturalisation d'animaux d'espèces animales ou encore l'interdiction de la destruction, de la coupe, de la mutilation, de l'arrachage, de la cueillette ou de

³ Voir "Etude de hiérarchisation des enjeux végétaux et faunistiques d'intérêt communautaire de Poitou-Charentes" DREAL Poitou-Charentes / Eliomys. 2016

l'enlèvement de végétaux d'espèces végétales ainsi que l'interdiction de destruction, d'altération ou de dégradation du milieu particulier à ces espèces animales ou végétales.

Selon le décret n°77-1295 du 25 novembre 1977 pris pour l'application des articles 3 et 4 de la loi, des arrêtés interministériels avaient à préciser les espèces concernées, la nature des interdictions applicables, la durée de ces interdictions, les parties du territoire et les périodes de l'année où elles s'appliquent. De même, seules pouvaient être autorisées, selon une procédure déterminée, des captures ou des prélèvements à des fins scientifiques. Ce régime juridique a été codifié aux articles L.211-1 et suivants et R.211-1 et suivants du Code rural par le décret n°89-805 du 27 octobre 1989.

La **Directive 92/43/CEE** du Conseil, du 21 mai 1992, concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages, dite Directive « Habitats », prévoit également un régime de protection stricte des espèces qui s'impose aux Etats membres. Ses articles 12 et 13 édictent une série d'interdictions tendant à garantir un état de conservation favorable pour des espèces dont la liste est donnée à l'annexe IV de la Directive.

Contrairement au régime juridique du Code rural, il ne s'agit pas d'adapter un type d'interdiction à un territoire donné pour une espèce en particulier, mais bien de garantir l'interdiction totale des activités concernées, sur l'ensemble du territoire pour l'espèce présente dans l'annexe IV.

En contrepartie, l'article 16 de la Directive envisage des possibilités de dérogations plus larges que le seul objectif scientifique envisagé par le droit français d'alors. La transposition de cette Directive s'est faite progressivement et continue de nos jours à s'affiner. Pour le régime de protection des espèces, la France a choisi d'adapter le système préexistant issu de la Loi de 1976 aux exigences de la Directive.

A cette fin, par exemple, l'article 56 de la loi n°95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement, dite « Loi Barnier », a ajouté à l'article L.211-1 du Code rural les interdictions de perturbation intentionnelle des espèces de faune, et d'achat pour les espèces végétales, dont l'ensemble du cycle de vie a été pris en compte.

Dorénavant, avec la création du Code de l'environnement entamée par l'ordonnance n°2000-914 du 18 septembre 2000, complétée par les décrets n°2003-768 du 1^{er} août 2003 et 2005-235 du 2 août 2005, l'ensemble de ce corpus juridique se retrouve aux articles L.411-1 et suivants et R.411-1 et suivants de ce Code.

Le principe de ce régime de protection est de permettre à l'Etat, en l'occurrence au pouvoir réglementaire, de choisir celles des interdictions, parmi le panel énoncé au sein de l'article L.411-1 du Code de l'environnement, qui seront pertinentes pour permettre la protection d'une espèce donnée ainsi que la partie du territoire sur laquelle ces interdictions s'appliquent.

Ces décisions prennent la forme d'arrêtés interministériels pris après avis du Conseil National de la Protection de la Nature (CNPN) et, le cas échéant, du Conseil National de la Chasse et de la Faune Sauvage (CNCFS). Les arrêtés peuvent également laisser le soin à l'autorité préfectorale, selon une procédure spécifique, de définir les périodes pendant lesquelles les interdictions s'appliquent.

Ce système souple a l'avantage de pouvoir adapter au plus près les contraintes imposées aux exigences des espèces, mais a l'inconvénient de développer un régime juridique complexe et assez peu lisible pour le néophyte.

Il existe ainsi plus d'une cinquantaine d'arrêtés interministériels en vigueur dédiés à la protection stricte des espèces animales et végétales, chacun de ces arrêtés comprenant, qui plus est, plusieurs degrés de protections.

Les premiers arrêtés ont été pris le 24 avril 1979 et ont depuis subi de nombreuses modifications, notamment sous l'effet d'un contentieux juridique fourni.

II.3.2. ESPECES PATRIMONIALES

La patrimonialité d'une espèce est déterminée par de nombreux facteurs généraux et locaux (risque d'extinction, évolution des effectifs, pressions,..) et dépend souvent de l'échelle d'étude (locale, régionale, nationale...) Outre notre connaissance des enjeux locaux, nous appuyons nos analyses sur des documents de références et des études scientifiques.

Listes réglementaires et bibliographiques pour l'aide à l'évaluation de la valeur patrimoniale des espèces

	Niveau européen	Niveau national	Niveau régional
Flore	Liste des habitats naturels et des espèces de flore sauvage d'intérêt communautaire (Arrêtés du 16 novembre 2001 et du 19 avril 2007) Manuel d'interprétation des habitats de l'Union européenne (EUR 28, 2007)	Prodrome des végétations de France (BARDAT et al., 2004) Types d'habitats français, CORINE Biotopes (ENGREF, 1997) Liste rouge - Flore vasculaire de France métropolitaine (UICN, MNHN, 2012), Liste rouge - Orchidées de France métropolitaine (UICN, MNHN, 2010).	Liste rouge de la flore vasculaire d'Aquitaine (CBNSA, 2018)
Mammifères	Statut et distribution des mammifères européens (UICN, 2007)	Liste rouge nationale (UICN, MNHN, 2017) Liste des espèces menacées en France, dans l'inventaire de la faune menacée en France (MNHN (1995) ; FAYARD, 1984)	Liste rouge des chiroptères d'Aquitaine. (OAFS., 2019)
Oiseaux	Listes des espèces menacées à l'échelle européenne et statut de conservation de tous les oiseaux d'Europe (Tucker & Heath, 1994)	Liste rouge des oiseaux nicheurs nationale (UICN, MNHN, 2016). Oiseaux menacés et à surveiller en France (Rocamora & Yeatman-Berthelot, 1999)	
Reptiles et Amphibiens	Liste rouge européenne (UICN, 2009) Liste des amphibiens et reptiles menacés : Corbett (1989), Statut de rareté européen (extrait de Gasc et al., 1997)	Liste rouge nationale des reptiles et des amphibiens (UICN, MNHN, 2015). Statut de rareté national : extrait de Castanet & Guyétant (1989)	Liste rouge des reptiles et des amphibiens d'Aquitaine. (OAFS, 2013)
Insectes	Liste rouge européenne des lépidoptères (UICN, 2010) Liste rouge européenne des odonates (UICN, 2010) Liste rouge européenne des insectes saproxyliques (UICN, 2010) Les invertébrés saproxyliques et leur protection (Speight, 1989)	Liste rouge nationale des lépidoptères (UICN, 2012) Liste rouge nationale des odonates (UICN, 2016) Les papillons de jour de France, Belgique et Luxembourg et leurs chenilles (Lafranchis, 2000).	Liste rouge des odonates d'Aquitaine. (OAFS, 2016) Liste rouge des lépidoptères rhopalocères d'Aquitaine. (OAFS, 2018)

III. DIAGNOSTIC ECOLOGIQUE

III.1. LA FLORE ET LES HABITATS NATURELS

Annexe 1 : liste des espèces végétales recensées

Annexe 2 : tableau phytosociologique des relevés

Une grande partie de la zone d'étude est occupée par des **parcelles cultivées** de Maïs, gérées de manière intensive laissant peu de place à la flore spontanée pour s'exprimer. Au centre de la zone, sur les pourtours de petits ruisseaux se trouvent des **boisements rivulaires** dominés par l'Aulne (*Alnus glutinosus*) et ponctuellement colonisés par le Robinier faux-Acacia. La partie topographiquement la plus haute est caractérisée par des **boisements mésophiles** composés par le Châtaigner (*Castanea sativa*) et le Chêne pédonculé (*Quercus robur*), ici encore, marqués par la présence du Robinier. Quelques **prairies de fauche** à caractère plus ou moins **humide** et dégradé ponctuent l'aire d'étude.

Dans les parties suivantes les habitats naturels sont décrits et sont rattachés à des nomenclatures de référence. Sur le plan phytosociologique, ces habitats sont rattachés à la codification issue du Prodrome des Végétations de France (BARDAT *et al.*, 2002). Un code extrait de la nomenclature CORINE Biotopes (CCB) est également attribué pour chaque habitat.

Les CCB font le lien ou non vers une codification des habitats d'intérêt communautaire et habitats d'intérêt communautaire prioritaire. L'annexe I de la Directive « habitats » liste les habitats naturels ou semi-naturels d'intérêt communautaire (HIC), c'est-à-dire des sites remarquables qui :

- sont en danger de disparition dans leur aire de répartition naturelle,
- présentent une aire de répartition réduite du fait de leur régression ou de caractéristiques intrinsèques,
- présentent des caractéristiques remarquables.

Parmi ces habitats, la directive en distingue certains dits prioritaires (HIC prioritaire ou HIC*) du fait de leur état de conservation très préoccupant. L'effort de conservation et de protection de la part des états membres doit être particulièrement intense en faveur de ces habitats.

Dans le tableau ci-dessous sont présentés les différents types d'habitats et la surface qu'ils occupent.

Liste des habitats naturels présents

Code CORINE	Intitulé CORINE	Surface (ha)
22.323	Communautés naines à <i>Juncus bufonius</i>	0,06
24.11	Ruisselets	0,26
37.21	Prairies humides atlantiques et subatlantiques	0,23
37.21 * (22.323)	Prairies humides atlantiques et subatlantiques * (Communautés naines à <i>Juncus bufonius</i>)	1,26
38.22	Prairies de fauche des plaines médio-européennes	1,79
38.22 * (37.21)	Prairies de fauche des plaines médio-européennes * (Prairies humides atlantiques et subatlantiques)	0,45
41.55	Chênaies aquitano-ligériennes sur sols lessivés ou acides	1,60
44.31	Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources (rivulaires)	2,59
53.4 * 37.1	Bordures à <i>Calamagrostis</i> des eaux courantes * Communautés à Reine des prés et communautés associées	0,26
82.11	Grandes cultures	13,11
83.324	Plantations de Robiniers	0,11
85.31	Jardins ornementaux	1,00
86	Villes, villages et sites industriels	0,83
87.2	Zones rudérales	0,92
89.22	Fossés et petits canaux	0,05
Total général		24,53

III.1.1. LES HABITATS NATURELS

III.1.1.1. **Prairies de fauche des plaines médio-européennes – CBB 38.22**

Il s'agit de prairies de fauche mésophiles se juxtaposant aux cultures de maïs. Les espèces qui les caractérisent sont majoritairement des Poacées (= Graminées) avec le Fromental élevé (*Arrhenatherum elatius*), la Flouve odorante (*Anthoxanthum odoratum*), la Houlique laineuse (*Holcus lanatus*), le Dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata* subsp. *glomerata*) et un cortège d'autres espèces telles que le Lin bisannuel (*Linum usitatissimum* subsp. *angustifolium*), le Trèfle des prés (*Trifolium pratense*), l'Achillée millefeuille (*Achillea millefolium*) ou encore la Carotte sauvage (*Daucus carota* subsp. *carota*).

Ces prairies sont codées **6.0.1.0.1⁴** dans le Prodrome des végétations de France et **38.22⁵** dans la nomenclature CORINE Biotopes. Il ne s'agit pas d'un habitat d'intérêt communautaire, il ne correspond pas à une zone humide selon la réglementation.

Certaines prairies expriment ponctuellement des espèces caractéristiques des prairies humides atlantiques et subatlantiques (37.21), probablement en raison de la présence de suintements notables, elles ont dans ce cas été caractérisées en mosaïque.



Prairie de fauche - Photo: A. Pléney/Geoflore

⁴ 6.0.1.0.1 *Arrhenatherion elatioris* W.Koch 1926 de l'Ordre des *Arrhenatheretalia elatioris* Tüxen 1931 et de la Classe des *Arrhenatheretea elatioris* Braun-Blanq. 1949 nom. Nud.

⁵ CCB 38.22 – « Prairies des plaines médio-européennes à fourrage plaines ».

III.1.1.2. Plantations de Robiniers – CBB 83.324

Il s'agit d'une zone débroussaillée dans le cadre des obligations légales de débroussaillage liées à la présence d'une ligne à haute tension. La zone est donc sujette à une reprise vigoureuse du Robinier qui domine très largement le cortège sous forme juvénile.

Cet habitat a été rattaché au **83.324** même s'il ne s'agit pas véritablement d'une plantation. Il ne s'agit pas d'un habitat d'intérêt communautaire et il ne correspond pas à une zone humide selon la réglementation.

III.1.1.3. Prairies humides atlantiques et subatlantiques – CBB 37.21

Il s'agit de prairies fauchées, mésotrophes à eutrophes, généralement à dynamique alluviale, subissant des inondations de courtes durées. Ici, elles jouxtent l'aire occupée par l'Aulne glutineux marquant la présence de la nappe. Ces végétations herbacées, hautes et fermées, de type prairial, sont structurées par des monocotylédones graminéoïdes (graminées, joncs, carex...). Les espèces qui s'y expriment sont nombreuses, *Alopecurus pratensis*, *Festuca arundinacea* ssp. a., *Hypochaeris radicata*, *Juncus compressus*, *J. inflexus*, *Mentha suaveolens*, ***Oenanthe silaifolia***, *Pulicaria dysenterica*, ...

Ces habitats sont des habitats d'espèce pour ***Oenanthe silaifolia***, espèce protégée au niveau régional.



Prairies humides atlantiques et subatlantiques - Photos: A. Pléney/Geoflore

Ces prairies sont codées **3.0.1.0.3** dans le Prodrome des végétations de France et **37.21** dans la nomenclature CORINE Biotopes. Il ne s'agit pas d'un habitat d'intérêt communautaire cependant il correspond à une **zone humide** selon la réglementation.

Certaines de ces prairies expriment de manière plus ou moins marqué des espèces caractéristiques des communautés naines à *Juncus bufonius* (22.321) telles que *Isolepis setacea* et *Juncus bufonius*. Elles ont dans ce cas été présentées en mosaïque.

III.1.1.4. Communautés naines à *Juncus bufonius* – CBB 22.323

Associations de surface souvent très réduite, apparaissant au cours de la phase d'assèchement des mares temporaires, des ornières inondées des pistes forestières, des pistes des landes humides, des chemins forestiers humides et autres sols suffisamment éclairés et temporairement inondés. Ici il s'agit d'une petite zone d'origine anthropique située à l'est du site. Les conditions favorables à l'expression de ces communautés représentées entre autres par *Juncus bufonius*, *Samolus valerendi*, résultent de rejets d'eau fréquents dus au fonctionnement d'une machine implantée sur la zone.

Ces communautés sont codées **34.0.2** dans le Prodrome des végétations de France et **22.323** dans la nomenclature CORINE Biotopes. Il ne s'agit pas d'un habitat d'intérêt communautaire cependant il correspond à une **zone humide** selon la réglementation.



Communautés naines à *Juncus bufonius* - Photo: A. Pléney/Geoflore

III.1.1.5. **Bordures à Calamagrostis des eaux courantes * Communautés à Reine des prés et communautés associées – CBB 53.4 * 37.1**

Communautés végétales présentes en plaine jusqu'à l'étage montagnard, se développant en bordure des eaux calmes (stagnantes ou légèrement fluantes), des cours d'eau frais et peu profonds, mais aussi le long des ruisseaux, des fossés, voire aux abords des sources. Elles sont présentes sur des substrats relativement riches en éléments nutritifs, dans des eaux de niveau trophique variable. Ici il s'agit de communautés installées dans des fossés alimentés en eau une grande partie de l'année. Les espèces s'y développant sont généralement peu nombreuses mais spécialisées et assez couvrantes, exemple : *Helosciadium nodiflorum* et *Nasturtium officinale*.



Bordures à Calamagrostis des eaux courantes - Photo: A. Pléney/Geoflore

Ces communautés sont codées **30.0.1.0.2** dans le Prodrome des végétations de France et **54.3** dans la nomenclature CORINE Biotopes. Il ne s'agit pas d'un habitat d'intérêt communautaire cependant il correspond à une **zone humide** selon la réglementation.

Ces linéaires sont bordés de part et d'autre par des espèces de mégaphorbiaies. Cette végétation à dominance de plantes à inflorescences aux teintes vives sont inféodées aux zones humides et atteignent souvent plus d'1 mètre de hauteur avec un recouvrement important d'un petit nombre d'espèces. Nous y observons la Salicaire (*Lythrum salicaria*), la Lysimaque commune (*Lysimachia vulgaris*) et la Filipendule (*Filipendula ulmaria*). Ces mégaphorbiaies, qui occupent une surface très réduite peuvent abriter des espèces protégées et rares. Elles sont également une ressource remarquable pour les insectes et de ce fait pour la petite faune insectivore.



Communautés à Reine des prés et communautés associées - Photo: A. Pléney/Geoflore

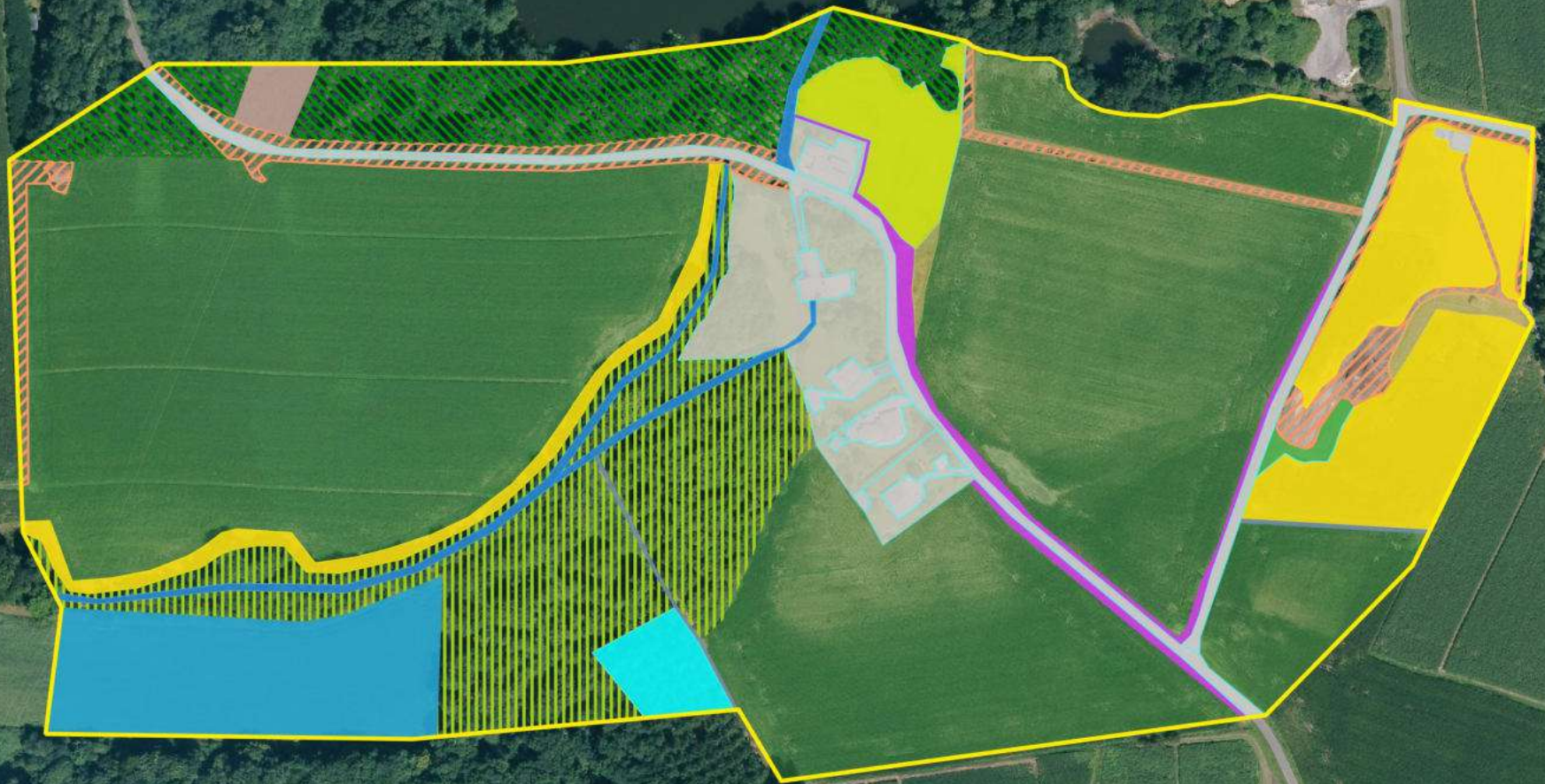
Ces communautés à Reine des prés et communautés associées sont codées **28.0.3.0.1** dans le Prodrome des végétations de France et **37.1** dans la nomenclature CORINE Biotopes. C'est un habitat en régression qui est inscrit en tant qu'**habitat d'intérêt communautaire** dans les cahiers d'habitat de la Directive européenne (**6430-1**). De plus il correspond à une **zone humide** selon la réglementation.

















III.1.1.6. **Ruisselets – CBB 24.11**

Il s'agit de ruisseaux alimentés en eau quasiment toute l'année, ceux-ci ne présentent ici pas de végétation.

III.1.1.7. **Fossés et petits canaux – CBB 89.21**

Plusieurs fossés de drainage sillonnent les cultures. Ceux-ci sont fréquemment curés ce qui explique l'absence de végétation mais il s'agit **zones humides potentielles**. Leur caractérisation en tant que telle pourrait être confirmée ou infirmée à l'aide de sondages pédologiques.



-  Chênaies aquitano-ligériennes sur sols lessivés ou acides (41.55)
-  Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources (rivulaires) (44.31)
-  Communautés naines à *Juncus bufonius* (22.323)
-  Bordures à *Calamagrostis* des eaux courantes * Communautés à Reine des prés et communautés associées (53.4 * 37.1)
-  Prairies humides atlantiques et subatlantiques (37.21)
-  Fossés et petits canaux (89.22)
-  Ruisselets (24.11)
-  Prairies humides atlantiques et subatlantiques * (Communautés naines à *Juncus bufonius*) (37.21 * (22.323))
-  Prairies de fauche des plaines médio-européennes * (Prairies humides atlantiques et subatlantiques) (38.22 * (37.21))
-  Prairies de fauche des plaines médio-européennes (38.22)
-  Grandes cultures (82.11)
-  Jardins ornementaux (85.31)
-  Plantations de Robiniers (83.324)
-  Terrain en friche (87.1)
-  Zones rudérales (87.2)
-  Villes, villages et sites industriels (86)
- Aire d'étude

0 200 400 m

III.1.1.8. **Chênaie Aquitano-ligérienne – CBB 41.55**

Il s'agit des peuplements forestiers correspondant au dernier stade de la dynamique de végétation. Ces groupements sont généralement dominés par le Chêne pédonculé (*Quercus robur*). Dans le cas présent les strates arbustives et herbacées sont constituées par le Fragon (*Ruscus aculeatus*), le Noisetier (*Coryllus avellana*) et le Merisier (*Prunus avium*). L'habitat est présent au nord de l'aire d'étude et est marqué par la présence du Roninier (*Robinia pseudoaccacia*).

Ces communautés sont codées **57.0.2.0.2** dans le Prodrome des végétations de France et **41.55** dans la nomenclature CORINE Biotopes. Il ne s'agit pas d'un habitat d'intérêt communautaire, il ne correspond pas à une zone humide selon la réglementation.



Chênaie Aquitano-ligérienne - Photos: A. Pléney/Geoflore

III.1.1.9. **Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources (rivulaires) – CBB 44.31**

Il s'agit d'un habitat se développant le long des cours d'eau planitiaires et collinéens. Cette formation composée principalement d'Aulne glutineux (*Alnus glutinosa*) non marécageuse se développe sur des sols hydromorphes qui sont en eau pratiquement toute l'année. La végétation y est relativement dense, nous y observons des espèces de boisements alluviaux adaptées à l'humidité importante des lieux ainsi qu'aux conditions de faible intensité lumineuse.

Sur l'aire d'étude, elle prend la forme d'un ensemble arborée largement dominé par l'Aulne glutineux (*Alnus glutinosa*) et ponctué de quelques individus de Chêne pédonculé (*Quercus robur*) et de Robinier (*Robinia pseudoaccacia*). La strate arbustive compte quelques saules (*Salix caprea*). La strate herbacée est représentée par le Lierre (*Hedera helix*), les Laïches pendantes (*Carex pendula*), quelques Prêles élevées (*Equisetum telmateia*), de l'Angélique des bois (*Angelica sylvestris*), de l'Eupatoire chanvrine (*Eupatorium cannabinum*) et de l'Androsème (*Hypericum androsaemum*).

Cet habitat est largement présent sur les rives du ruisseau traversant toute la partie ouest du site et se divisant en deux. Il est parfois ponctué de petites clairières quasi monospécifiques à *Equisetum telmateia* ou à *Oenanthe crocata*. Un certain nombre de menaces pèsent sur cet habitat, telles que la déforestation, la transformation en prairies, en cultures céréalières (maïs) ou en plantation de peupliers. Il souffre aussi de la modification de la dynamique des cours d'eau visant à réduire les crues ainsi que de l'enfoncement durable de la nappe.



Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources (rivulaires) - Photo: A. Pléney/Geoflore

Ces communautés sont codées **57.0.4.2.1** dans le Prodrome des végétations de France et **44.31** dans la nomenclature CORINE Biotopes. Cet habitat est d'intérêt **communautaire prioritaire** codé **91E0*-8**, cette



cartographie des zones humides

-  oui
-  oui mosaïque
-  potentielle
-  non



formation végétale présente un **enjeu patrimonial fort**. De plus il s'agit d'une **zone humide** selon la réglementation.



Clairière à *Equisetum telmateia* - Photo: A. Pléney/Geoflore



Clairière à *Oenanthe crocata* - Photo: A. Pléney/Geoflore

III.1.1.10. **Grandes cultures – CBB 82.11**

Il s'agit de cultures de maïs cultivées de manière intensive, laissant peu de place à l'expression d'une végétation spontanée. Seules quelques espèces à large spectre écologique se retrouvent dans les parcelles en culture (*Polygonum aviculare*, *Solanum nigrum* et *Echinochloa crus-gallis*).

Il est donc souvent difficile de mettre en évidence le caractère humide grâce à la végétation présente cependant certaines parties de ces grandes cultures sont des **zones humides** ou **zones humides potentielles**. Leur caractérisation pourrait être confirmée ou infirmée à l'aide de sondages pédologiques.

III.1.1.11. **Zone rudérale – CBB 87.2**

Ces milieux peuvent correspondre à des talus de remblaiement érodés, plateforme, merlons... Ils offrent un large panel de conditions stationnelles (mésophile à mésohygrophile, nitrophile, thermophile) et peuvent de ce fait être assez variés. Ils favorisent souvent les espèces prisonnières y compris les espèces exotiques. Différents taxons s'y installent tels que *Sporobolus indicus*, *Poa annua*, *Paspalum dilatatum*, et *Eleusine tristachya*. Ces zones sont parfois entièrement occupées par des espèces exotiques envahissantes, *Phytolacca americana*, *Robinia pseudoaccacia* par exemple.

Il s'agit sur le site de quelques espaces de faible surface. Sur la partie est du site, les conditions stationnelles sont favorables et ces milieux rudéraux abritent les deux espèces de Lotiers protégées au niveau régional.

Il ne s'agit ni d'un habitat d'intérêt communautaire ni d'une zone humide.

III.1.1.12. **Villes, villages et sites industriels – CBB 86**

Habitation, bâtis et routes sont codés 86. Il s'agit principalement de pavillons ou de bâtiments industriels.

Il ne s'agit ni d'un habitat d'intérêt communautaire ni d'une zone humide.

III.1.1.13. **Jardins ornementaux – CBB 85.31**

Un grand nombre de jardins ornementaux sont présents sur l'aire d'étude, accompagnant les pavillons. Ceux-ci sont pour certains de surface non négligeable. Ces propriétés privées n'ont pas été explorées et ne présentent pas d'enjeu au niveau botanique.

III.1.1.14. Synthèse des enjeux pour les habitats




Les habitats naturels présentant un enjeu important sont les Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources et les communautés à Reine des prés et communautés associées. Le tableau récapitulatif des enjeux habitats est présenté ci-dessous.

Habitats naturels identifiés et niveau d'enjeu

Code Biotope	CORINE Intitulé CORINE Biotope	Surface (ha)	Enjeux habitat	Zone Humide
22.323	Communautés naines à <i>Juncus bufonius</i>	0,06	Fort	oui
24.11	Ruisselets	0,26	Faible	oui
37.21	Prairies humides atlantiques et subatlantiques	0,23	Fort	oui
37.21 * (22.323)	Prairies humides atlantiques et subatlantiques * (Communautés naines à <i>Juncus bufonius</i>)	1,26	Fort	oui
38.22	Prairies de fauche des plaines médio-européennes	1,47	Faible	non
38.22	Prairies de fauche des plaines médio-européennes	0,32	moyen	En mosaïque
38.22 * (37.21)	Prairies de fauche des plaines médio-européennes * (Prairies humides atlantiques et subatlantiques)	0,45	moyen	En mosaïque
41.55	Chênaies aquitano-ligériennes sur sols lessivés ou acides	1,60	Faible	non
44.31	Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources (rivulaires)	2,59	Fort	oui
53.4 * 37.1	Bordures à <i>Calamagrostis</i> des eaux courantes * Communautés à Reine des prés et communautés associées	0,16	Fort	oui
82.11	Grandes cultures	11,82	Négligeable	non
82.11	Grandes cultures	0,07	Faible	oui
82.11	Grandes cultures	1,22	Négligeable	potentielle
83.324	Plantations de Robiniers	0,11	Négligeable	non
85.31	Jardins ornementaux	1,00	Négligeable	non
86	Villes, villages et sites industriels	0,83	Négligeable	non
87.1	Terrain en friche	0,03	Négligeable	non
87.2	Zones rudérales	0,81	Négligeable	non
89.22	Fossés et petits canaux	0,05	Faible	potentielle



Espèces protégées

-  *Lotus hispidus* Desf. ex DC., 1805
-  *Lotus angustissimus* L., 1753
-  *Oenanthe silaifolia* M.Bieb., 1819

Espèces à caractère remarquable

-  *Alisma lanceolatum* With., 1796/déterminante Znieff Nouvelle-Aquitaine
-  *Bromus secalinus* L., 1753/espèce messicoles d'Aquitaine
-  *Callitriche hamulata* Kütz. ex W.D.J.Koch, 1837/déterminante Znieff Aquitaine
-  *Campanula patula* L., 1753/déterminante Znieff Aquitaine
-  *Cyperus longus* L., 1753/déterminante Znieff Nouvelle-Aquitaine
-  *Euphorbia illirica* Lam., 1788/déterminantes de l'inventaire ZNIEFF de Nouvelle Aquitaine
-  *Euphorbia platyphyllos* L., 1753/espèces messicoles d'Aquitaine
-  *Lonicera xylosteum* L., 1753/déterminante Znieff Aquitaine
-  *Polygonum monspeliensis* (L.) Desf., 1798/déterminante Znieff Aquitaine

 Aire d'étude

0 100 200 m

III.1.2.1.2. Les Lotiers velu et grêle (*Lotus hispidus* Desf. ex DC. et *Lotus angustissimus* L.)

- Classification et habitat de l'espèce

Les Lotiers velu et grêle sont des plantes annuelles de la famille des Fabacées. Ces Lotiers sont des espèces plutôt acidiphiles qui apprécient les terrains généralement secs et pauvres. Cependant ils peuvent s'installer dans des milieux plus mouilleux tels que des prairies humides.

- Répartition et statut

Au niveau mondial, il s'agit d'espèces principalement présentes en Europe ainsi qu'en Australie et en Nouvelle-Zélande. En France, les deux espèces sont relativement bien représentées au sud de la diagonale nord-ouest sud-est. Ces espèces sont protégées **réglementairement** au **niveau régional** et inscrites sur la liste des **espèces déterminantes Znieff en Aquitaine**. Cependant elles ne représentent pas un enjeu patrimonial très important au vu de leur répartition et du fait que leurs milieux ne sont ni en régression ni menacés.

- Situation sur la zone d'étude

Les deux Lotiers sont présents entre autres sur la zone la plus élevée du site, située à l'est, sur des milieux rudéraux. Ils s'installent sur des sols écorchés et pauvres intensément entretenus et usités par l'homme. Ils sont aussi présents dans un milieu beaucoup moins sec au niveau de la prairie humide située à l'ouest de l'aire d'étude. Ici les populations sont très importantes et le Lotier velu domine nettement par rapport au Lotier grêle qui est présent de manière beaucoup plus diffuse.



Lotier velu (en haut). Lotier grêle (en bas) - Photos: A. Pléney/Geoflore



Répartition nationale du Lotier velu (en haut) et du Lotier grêle (en bas).
Source: Tela botanica

III.1.2.1.3. **Autres espèces remarquables**

D'autres espèces sans statut de protection mais étant listées au titre des messicoles ou des espèces déterminantes Znieff ont été observées sur l'aire d'étude et cartographiées. Elles sont listées dans le tableau ci-dessous.

Espèces végétales remarquables présentes dans l'aire d'étude

Espèces végétales à caractère remarquable recensées au sein de l'aire d'étude	
Nom scientifique	Statut
<i>Alisma lanceolatum</i> With., 1796	déterminante Znieff Nouvelle-Aquitaine
<i>Bromus secalinus</i> L., 1753	espèce messicoles d'Aquitaine
<i>Callitriche hamulata</i> Kütz. ex W.D.J.Koch, 1837	déterminante Znieff Aquitaine
<i>Campanula patula</i> L., 1753	déterminante Znieff Aquitaine
<i>Cyperus longus</i> L., 1753	déterminante Znieff Nouvelle-Aquitaine
<i>Euphorbia illirica</i> Lam., 1788	déterminantes de l'inventaire ZNIEFF de Nouvelle Aquitaine
<i>Euphorbia platyphyllos</i> L., 1753	espèces messicoles d'Aquitaine
<i>Lonicera xylosteum</i> L., 1753	déterminante Znieff Aquitaine
<i>Polypogon monspeliensis</i> (L.) Desf., 1798	déterminante Znieff Aquitaine

III.1.2.1.4. **Espèces exotiques envahissantes**

Le cortège végétal présente plusieurs espèces exotiques.

Espèces végétales exotiques présentes dans l'aire d'étude





Espèces végétales exotiques envahissantes recensées au sein de l'aire d'étude










Nom scientifique	Statut
Bambusoides	
<i>Bromus catharticus</i> Vahl, 1791	PEE potentielle
<i>Cortaderia selloana</i> (Schult. & Schult.f.) Asch. & Graebn., 1900	PEE avérée
<i>Cyperus eragrostis</i> Lam., 1791	PEE potentielle
<i>Eleusine tristachya</i> (Lam.) Lam., 1792	PEE potentielle
<i>Laurus nobilis</i> L., 1753	PEE potentielle
<i>Paspalum dilatatum</i> Poir., 1804	PEE avérée
<i>Paspalum distichum</i> L., 1759	PEE avérée
<i>Phytolacca americana</i> L., 1753	PEE potentielle
<i>Platanus x hispanica</i> Mill. ex Münchh., 1770	PEE potentielle
<i>Potentilla indica</i> (Andrews) Th.Wolf, 1904	PEE avérée
<i>Prunus laurocerasus</i> L., 1753	PEE avérée
<i>Robinia pseudoacacia</i> L., 1753	PEE avérée
<i>Sporobolus indicus</i> (L.) R.Br., 1810	PEE avérée
<i>Xanthium orientale</i> subsp. <i>italicum</i>	PEE potentielle
<i>Zantedeschia aethiopica</i> (L.) Spreng., 1826	PEE émergente



 Aire d'étude

Espèces à caractère envahissant

-  Cortaderia selloana (Schult. & Schult.f.) Asch. & Graebn., 1900/PEE avérée
-  Paspalum dilatatum Poir., 1804/PEE avérée
-  Paspalum distichum L., 1759/PEE avérée
-  Potentilla indica (Andrews) Th.Wolf, 1904/PEE avérée
-  Prunus laurocerasus L., 1753/PEE avérée
-  Robinia pseudoacacia L., 1753/PEE avérée
-  Sporobolus indicus (L.) R.Br., 1810/PEE avérée

-  Bambusoides
-  Bromus catharticus Vahl, 1791/PEE potentielle
-  Cyperus eragrostis Lam., 1791/PEE potentielle
-  Eleusine tristachya (Lam.) Lam., 1792/PEE potentielle
-  Laurus nobilis L., 1753/PEE potentielle
-  Phytolacca americana L., 1753/PEE potentielle
-  Platanus x hispanica Mill., ex Münchh., 1770/PEE potentielle
-  Xanthium orientale subsp. italicum/PEE potentielle
-  Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng., 1826/PEE émergente

0 100 200 m

III.1.2.2. Synthèse des enjeux relatif à la flore

Trois espèces protégées au niveau régional ont été recensées sur l'aire d'étude, l'espèce principale présentant des enjeux forts est l'**Oenanthe à feuilles de silaüs**. Les Lotiers et les espèces à caractère remarquable mais non protégées présentent des enjeux moindres.

III.2. LA FAUNE

Notre diagnostic est basé sur un inventaire réalisé sur 4 saisons. Tous les cortèges ont été expertisés aux saisons favorables. De plus, en cas de présence d'habitat favorable, et d'absence d'observation directe ou indirecte (traces, crottes...), nous avons intégré les potentialités d'accueil à notre évaluation.

III.2.1. LES MAMMIFERES TERRESTRES (HORS CHIROPTERES)

III.2.1.1. Les espèces contactées

Seulement 6 espèces de mammifères ont été contactées au sein de la zone d'étude. Le cortège observé se compose d'espèces communes en Aquitaine, peu exigeantes et qui occupent la zone d'étude tout au long de l'année comme zone d'alimentation et gîte.

Liste des mammifères terrestres contactés au sein de l'aire d'étude et de son voisinage immédiat

Nom Français	Nom scientifique	Protection nationale	Statut européen	Liste rouge nationale	Statut sur le site
Chevreuil	<i>Capreolus capreolus</i>	/	/	LC	Présence avérée
Mulot sylvestre	<i>Apodemus sylvaticus</i>	/	/	LC	Présence avérée
Ragondin	<i>Myocastor coypus</i>	/	/	/	Présence avérée
Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>	/	/	LC	Présence avérée
Sanglier	<i>Sus scrofa</i>	/	/	LC	Présence avérée
Taube d'Europe	<i>Talpa europaea</i>	/	/	LC	Présence avérée

Trois autres espèces sont jugées potentiellement présentes. Il s'agit également d'espèces communes plutôt ubiquistes qui peuvent utiliser la zone d'étude comme zone alimentaire, zone de quiétude et gîte.

Liste des mammifères terrestres probable au sein de l'aire d'étude et de son voisinage immédiat

Nom Français	Nom scientifique	Protection nationale	Statut européen	Liste rouge nationale	Statut sur le site
Ecureuil roux	<i>Sciurus vulgaris</i>	Protection nationale		LC	Présence potentielle en alimentation, reproduction dans les boisements
Fouine	<i>Martes foina</i>			LC	Présence potentielle en alimentation, reproduction sur tous les espaces non cultivés
Hérisson d'Europe	<i>Erinaceus europaeus</i>	Protection nationale		LC	Présence potentielle en alimentation, reproduction sur tous les espaces non cultivés

Toutes ces espèces sont communes en Aquitaine et dans les Landes. Elles ne présentent au mieux qu'un enjeu local.

Le Hérisson d'Europe et l'Ecureuil roux bénéficient en France d'une protection réglementaire au titre de l'arrêté du 23 avril 2007. Leurs milieux de vie sont strictement protégés.

III.2.1.2. Fonctionnalité de l'aire d'étude pour les mammifères terrestres

L'ensemble des espaces non agricoles constitue des zones de refuge et de gagnage pour l'ensemble des mammifères occupant le secteur. Des échanges avec les espaces voisins à la structure végétale similaire sont avérés.

III.2.2. LES CHIROPTERES

La zone d'étude présente une bonne diversité chiroptérologique liée à la diversité d'habitats, la présence de zone humide et aux différents espaces boisés.

III.2.2.1. Cortège d'espèces contactées

Au moins, 8 espèces ont été contactées lors des sessions d'écoute ultrasonores.

Liste des chiroptères contactés au sein de l'aire d'étude et de son voisinage immédiat

Nom Français	Nom scientifique	Protection nationale	Statut européen	Liste rouge nationale/régionale	Statut sur le site
Barbastelle	<i>Barbastella barbastellus</i>	Protection nationale	Directive Habitats Annexe II	LC/LC	Présence régulière en chasse sur toutes les lisières et boisements. Présence probable de gîtes arboricoles au sein des boisements et haies
Murin à oreilles échanquées	<i>Myotis emarginatus</i>	Protection nationale	Directive Habitats Annexe II	LC/LC	Présence ponctuelle en chasse sur certaines les lisières et boisements.
Murin d'Alcathoe	<i>Myotis alcathoe</i>	Protection nationale	Directive Habitats Annexe IV	LC/NT	Présence irrégulière en chasse sur les lisières et boisements riverains. Présence probable de gîtes arboricoles au sein des boisements riverains

Nom Français	Nom scientifique	Protection nationale	Statut européen	Liste rouge nationale/régionale	Statut sur le site
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Protection nationale	Directive Habitats Annexe IV	LC/LC	Présence ponctuelle en chasse sur certaines les lisières et boisements.
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>	Protection nationale	Directive Habitats Annexe IV	LC/LC	Présence ponctuelle en chasse sur certaines les lisières et boisements.
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Protection nationale	Directive Habitats Annexe IV	NT/LC	Présence abondante en chasse sur toutes les lisières et boisements. Présence probable de gîtes arboricoles au sein des boisements et haies
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Protection nationale	Directive Habitats Annexe IV	LC/LC	Présence régulière en chasse sur toutes les lisières et boisements. Présence probable de gîtes arboricoles au sein des boisements et haies
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Protection nationale	Directive Habitats Annexe IV	LC/LC	Présence régulière en chasse sur toutes les lisières et boisements. Présence probable de gîtes arboricoles au sein des boisements et haies

III.2.2.2. Habitats fréquentés et répartition du cortège chiroptérologique

Les prospections ultrasonores montrent la présence d'une bonne diversité d'espèces et une forte occupation de l'espace par les chiroptères, toutes espèces confondues. Les chauves-souris affectionnent tout particulièrement les lisières, très présentes sur la zone d'étude. La diversité des habitats en présence bénéficie aux chauves-souris notamment en termes de terrain de chasse. On note une tendance à la diminution de l'activité et de la diversité sur les zones de cultures (moitié est du site).

La Pipistrelle commune est abondante et largement répartie sur l'ensemble de la zone d'étude et son voisinage. La Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*), la Barbastelle (*Barbastella barbastellus*) et la Sérotine (*Eptesicus serotinus*) apparaissent également bien présentes mais moins abondantes. Les 4 autres espèces ont été contactées de manière plus ponctuelle.

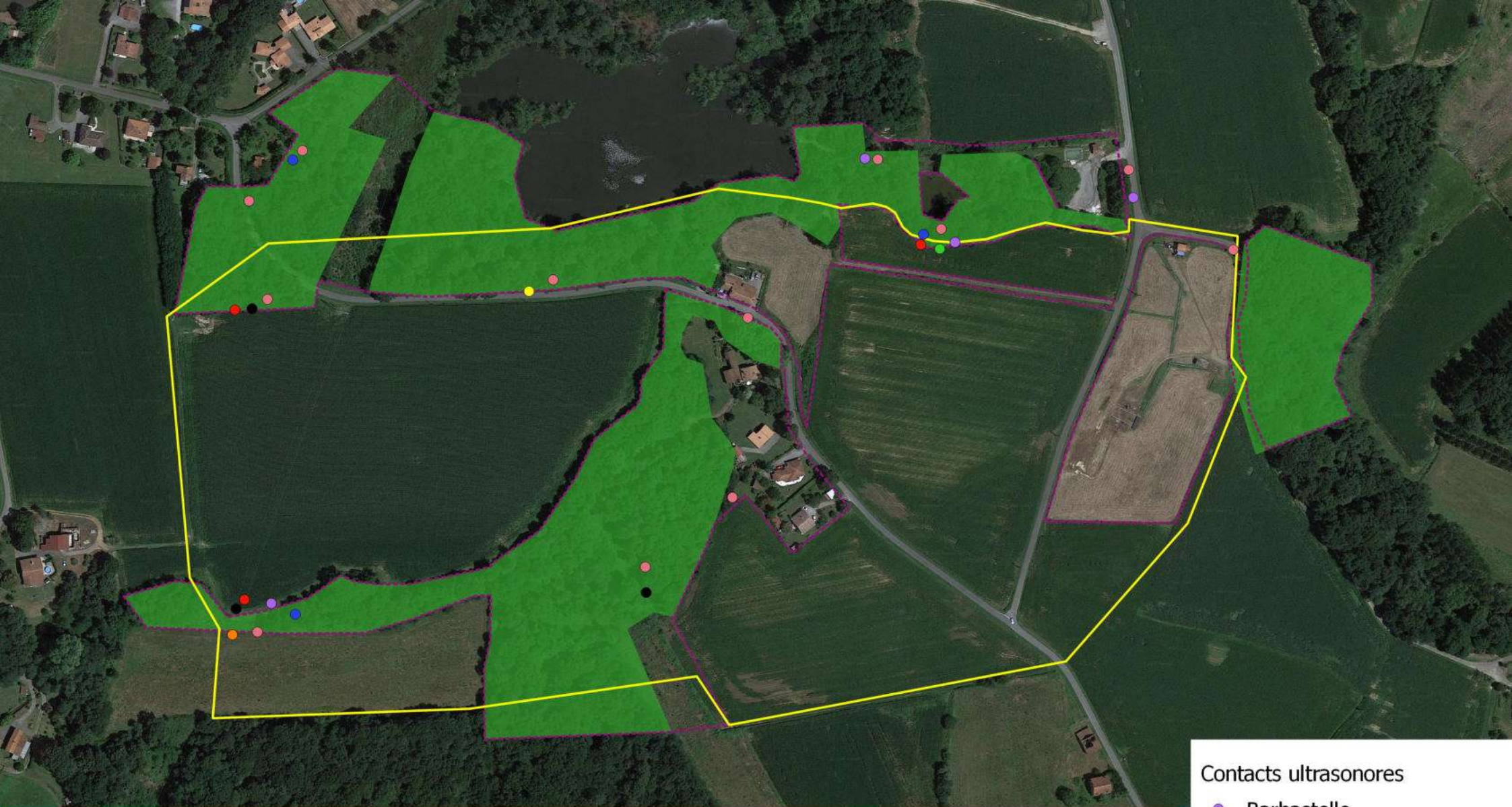
Le peuplement chiroptérologique est dominé par des espèces à affinité forestière et/ou arboricole dont le Murin d'Alcathoe (*Myotis alcathoe*) est la plus emblématique.



Murin d'Alcathoe –
photo : Y. BERNARD/ELIOMYS

III.2.2.3. Fonctionnalité de l'aire d'étude pour les chiroptères

La présence de vieux boisements de feuillus constitue un enjeu fort en termes de capacité d'accueil de gîte pour ces animaux, toute ou partie de l'année. Les premiers contacts ont eu lieu dès le début de nuit assurant de la



Contacts ultrasonores

- Barbastelle
- Murin à oreilles échançrées
- Murin d'Alcathoé
- Noctule de Leisler
- Oreillard gris
- Pipistrelle commune
- Pipistrelle de Kuhl
- Sérotine commune

Habitats et observations des mammifères remarquables

Diagnostic faune et flore d'un projet de canalisation à Saint-Pandelon (40)



0 50 100 150 m



Légende

- Zone d'étude
- Habitats des mammifères
 - Boissements favorable à l'Ecureuil roux et aux chiroptères
 - ▨ Habitats du Hérisson d'Europe

présence de gîte en milieu arboricole au moins pour la Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*). Il est probable qu'au moins 4 espèces utilisent des gîtes arboricoles sur la zone d'étude.

La totalité des lisières et boisements de la zone d'étude et de son voisinage immédiat constituent des espaces de chasse ou de transit pour au moins 8 espèces de chauves-souris.

L'ensemble des chauves-souris bénéficient en France d'une protection réglementaire au titre de l'arrêté du 23 avril 2007. Leurs milieux de vie (reproduction et repos) sont strictement protégés.

III.2.2.4. Enjeu relatif aux mammifères

Trois types d'enjeux ont été identifiés.

- Un enjeu faible local, lié à la présence potentielle du Hérisson d'Europe et de l'Ecureuil roux sur l'ensemble des habitats non agricoles de la zone d'étude.
- Un enjeu moyen à fort au niveau des boisements qui abritent des gîtes potentiels pour au moins 4 espèces de chauves-souris.
- Un enjeu moyen à fort au niveau des lisières et des boisements qui constituent des zones de chasse pour 8 espèces de chauves-souris.

III.2.3. LES INSECTES

III.2.3.1. Les lépidoptères

18 espèces de papillons ont été observées sur la zone d'étude. Le peuplement observé reste moyennement diversifié, du fait en particulier de la faible superficie d'habitats ouverts en bon état de conservation.

Liste des lépidoptères rhopalocères observés au sein de la zone d'étude

Nom Français	Nom scientifique	Protection nationale	Statut européen	Liste rouge nationale/régionale	Statut sur le site
Aurore	<i>Anthocaris cardamine</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Azuré du trèfle	<i>Cupido argiades</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Azuré porte-queue	<i>Lampides boeticus</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Citron	<i>Gonepteryx rhamni</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Collier de corail	<i>Aricia agestis</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Cuivré commun	<i>Lycaena phlaeas</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Machaon	<i>Papilio machaon</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Mélictée des centaurees	<i>Melitaea phoebe</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Mélictée des scabieuses	<i>Melitaea parthenoides</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction

Nom Français	Nom scientifique	Protection nationale	Statut européen	Liste rouge nationale/régionale	Statut sur le site
Myrtil	<i>Maniola jurtina</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Paon du jour	<i>Inachis io</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Piérade de la Moutarde	<i>Leptidea sinapis</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Piérade du chou	<i>Pieris brassicae</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Piérade du Navet	<i>Pieris napi</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Procris	<i>Coenonympha pamphilus</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Souci	<i>Colias croceus</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Tircis	<i>Pararge aegeria</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction
Vulcain	<i>Vanessa atalanta</i>	-	-	LC	Alimentation, reproduction

Le peuplement se composant de deux cortèges principaux :

- Un cortège d'espèces peu exigeantes liées aux espaces ouverts de type prairial composé de Mélitée de la scabieuse (*Melitaea parthenoides*) et de la Centaurée (*Melitaea phoebe*), de l'Azuré du trèfle (*Cupido argiades*), du Cuivré commun (*Lycaena phlaeas*) et du Procris (*Coenonympha pamphilus*).
- Un cortège d'espèces de lisières et de friches dont le Tircis (*Pararge aegeria*), le Machaon (*Papilio machaon*), le Citron (*Gonepteryx rhamni*) ou les Piérides (*Pieris sp.*) sont les principaux représentants sur le site. Il s'agit d'espèces communes sans enjeu.

Malgré des recherches ciblées notamment du Cuivré des marais (*Lycaena dispar*), aucune espèce remarquable n'a été observée et aucune potentialité d'accueil pour l'une d'entre elles n'a été identifiée.

L'enjeu relatif aux lépidoptères est très faible, d'intérêt uniquement local.

III.2.3.2. Les odonates

Au moins 10 espèces d'odonates ont été contactées au sein de la zone d'étude. Le site abrite plusieurs zones humides favorables à la reproduction d'odonates dont plusieurs ruisseaux et un plan d'eau en rive nord. Le peuplement reste moyennement diversifié et assez commun dans le secteur Chalosse-Béarn.

Liste des odonates observés au sein de la zone d'étude

Nom Français	Nom scientifique	Protection nationale	Statut européen	Liste rouge nationale/régionale	Statut sur le site
Aesche bleue	<i>Aeshna cyanea</i>	-	-	LC/LC	Alimentation, déplacement
Agrion de Mercure	<i>Coenagrion mercuriale</i>	X	Annexe 2 de la Directive Habitats	LC/LC	Alimentation, déplacement
Agrion jouvencelle	<i>Coenagrion puella</i>	-	-	LC/LC	Alimentation, déplacement
Caloptéryx méditerranéen	<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i>	-	-	LC/LC	Alimentation, déplacement
Caloptéryx vierge	<i>Calopteryx virgo</i>	-	-	LC/LC	Alimentation, déplacement
Ischnure élégante	<i>Ishnura elegans</i>	-	-	LC/LC	Alimentation, déplacement
Orthétrum bleuissant	<i>Orthetrum coerulescens</i>	-	-	LC/LC	Alimentation, déplacement
Pennipatte blanchâtre	<i>Platycnemis latipes</i>	-	-	LC/LC	Alimentation, déplacement
Pennipatte orangé	<i>Platycnemis acutipennis</i>	-	-	LC/LC	Alimentation, déplacement
Sympétrum sanguin	<i>Sympetrum sanguineum</i>	-	-	LC/LC	Alimentation, déplacement

Le ruisseau du Moulin de Campagne et le ruisselet affluent bordant la route du Moulin de Campagne abritent un cortège d'espèces typiques des eaux courantes se composant de 2 espèces de Caloptéryx (*Calopteryx haemorrhoidalis*, *Calopteryx virgo*) ainsi que de l'Agrion de Mercure (*Coenagrion mercuriale*), espèce inscrite à l'annexe 2 de la Directive Habitats. Les effectifs observés sont faibles, du fait probablement d'un habitat en moyen état de conservation.

Un second cortège lié aux grandes zones humides stagnantes se développe sur le vaste plan d'eau voisin. Les individus observés chassant sur les lisières de la zone d'étude. L'Agrion jouvencelle (*Coenagrion puella*), l'Ischnure élégante (*Ishnura elegans*) et le Pennipatte orangée (*Platycnemis acutipennis*) sont les plus abondants.

L'Agrion de Mercure bénéficie en France d'une protection réglementaire au titre de l'article 2 de l'arrêté du 23 avril 2007. Il est strictement protégé.

III.2.3.3. Les coléoptères saproxylophages

Deux espèces de coléoptères saproxylophages ont été contactées dans plusieurs chênes (*Quercus* sp.) situés dans la zone d'étude.

Liste des coléoptères saproxylophages observés au sein de la zone d'étude

Nom Français	Nom scientifique	Protection nationale	Statut européen	Liste rouge nationale	Statut sur le site
Lucane cerf-volant	<i>Lucanus cervus</i>		Annexe 2 de la Directive Habitats	LC	Reproduction, sédentaire
Grand Capricorne	<i>Cerambyx cerdo</i>	X	Annexe 2 de la Directive Habitats	LC	Reproduction, sédentaire

III.2.3.4. Fonctionnalité de l'aire d'étude pour les insectes

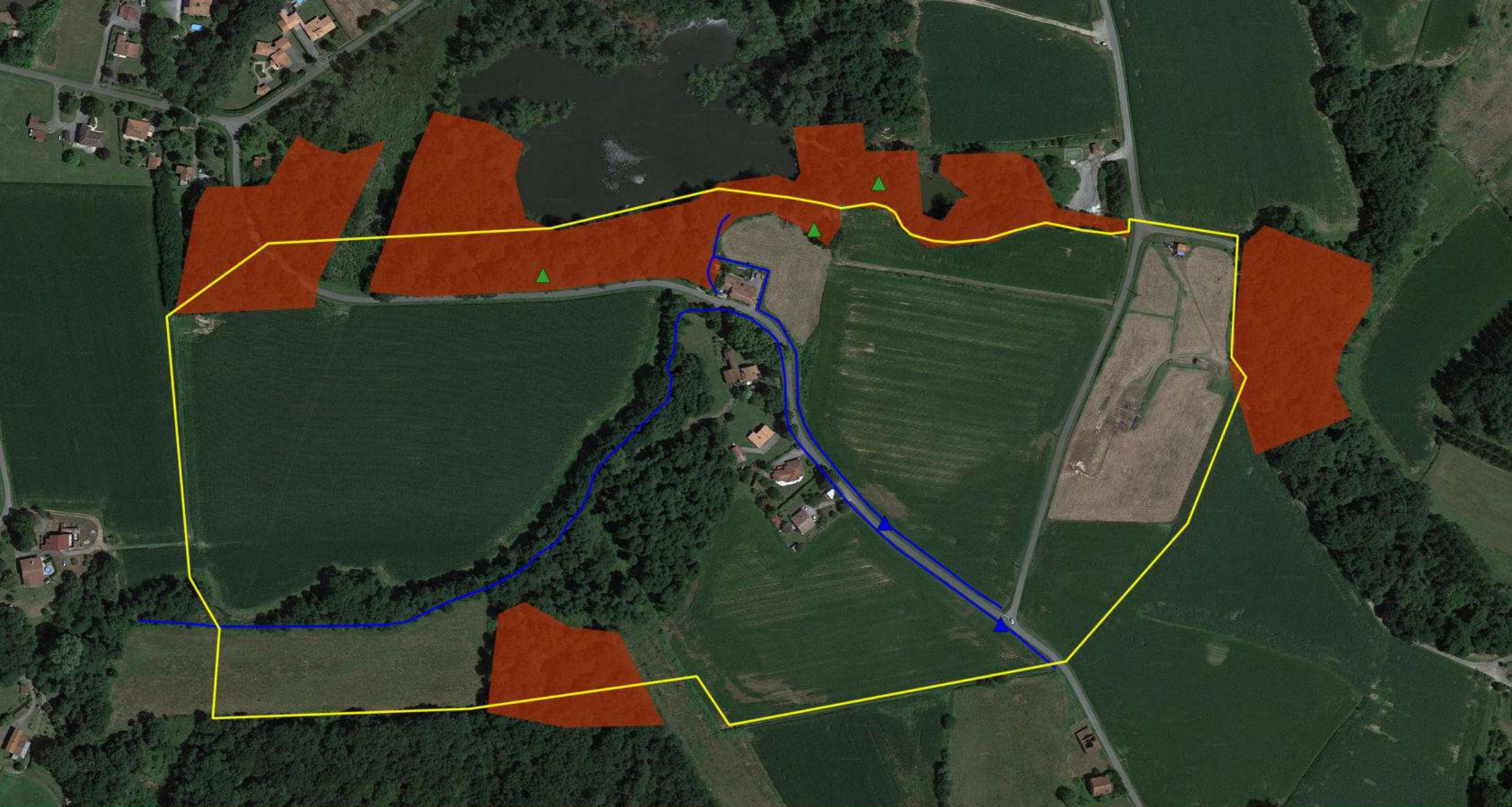
L'ensemble de la zone d'étude (exception faite des espaces de cultures intensives) constitue des habitats favorables aux insectes. On retrouve des biotopes similaires dans le voisinage de la zone d'étude et plus globalement dans la Chalosse. Des échanges populationnels et des déplacements d'individus sont donc très réguliers entre la zone étudiée et son voisinage.

Agrion de Mercure –
photo : Y. BERNARD/ELIOMYS



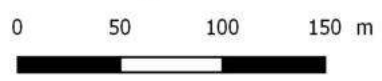
III.2.3.5. Enjeu relatif aux insectes

Le cortège entomologique reste dans son ensemble diversifié, se composant principalement d'espèces communes mais accompagnées d'au moins 3 espèces remarquables dont 2 bénéficient de protections réglementaires. L'enjeu est évalué modéré.



Habitats et observations des insectes remarquables

Diagnostic faune et flore d'un projet de canalisation à Saint-Pandelon (40)



Légende

- Zone d'étude
- Habitats des insectes
- Bois favorable au Grand Capricorne
- Habitats de l'Agrion de Mercure

Observations

- ▲ Agrion de Mercure
- ▲ Grand Capricorne

Source : Photo aérienne google, Eliomys, 2019

III.2.4. LES AMPHIBIENS

Au moins 6 espèces ont été observées au sein de la zone d'étude. Toutes s'y reproduisent de manière avérée ou fortement potentielle.

Liste des amphibiens présents au sein de l'aire d'étude

Nom Français	Nom scientifique	Statut européen	Protection nationale	Liste rouge nationale/régionale	Statut sur le site
Crapaud épineux	<i>Bufo spinosus</i>		X	LC/LC	Reproduction, alimentation, hivernage
Grenouille agile	<i>Rana dalmatina</i>	Directive Habitats Annexe IV	X	LC/LC	Reproduction, alimentation, hivernage
Grenouille verte	<i>Pelophylax sp.</i>		X	LC/LC	Reproduction, alimentation, hivernage
Rainette méridionale	<i>Hyla meridionalis</i>	Directive Habitats Annexe IV	X	LC/LC	Reproduction, alimentation, hivernage
Salamandre tachetée	<i>Salamandra salamandra</i>		X	LC/LC	Reproduction, alimentation, hivernage
Triton palmé	<i>Lissotriton helveticus</i>		X	LC/LC	Reproduction, alimentation, hivernage

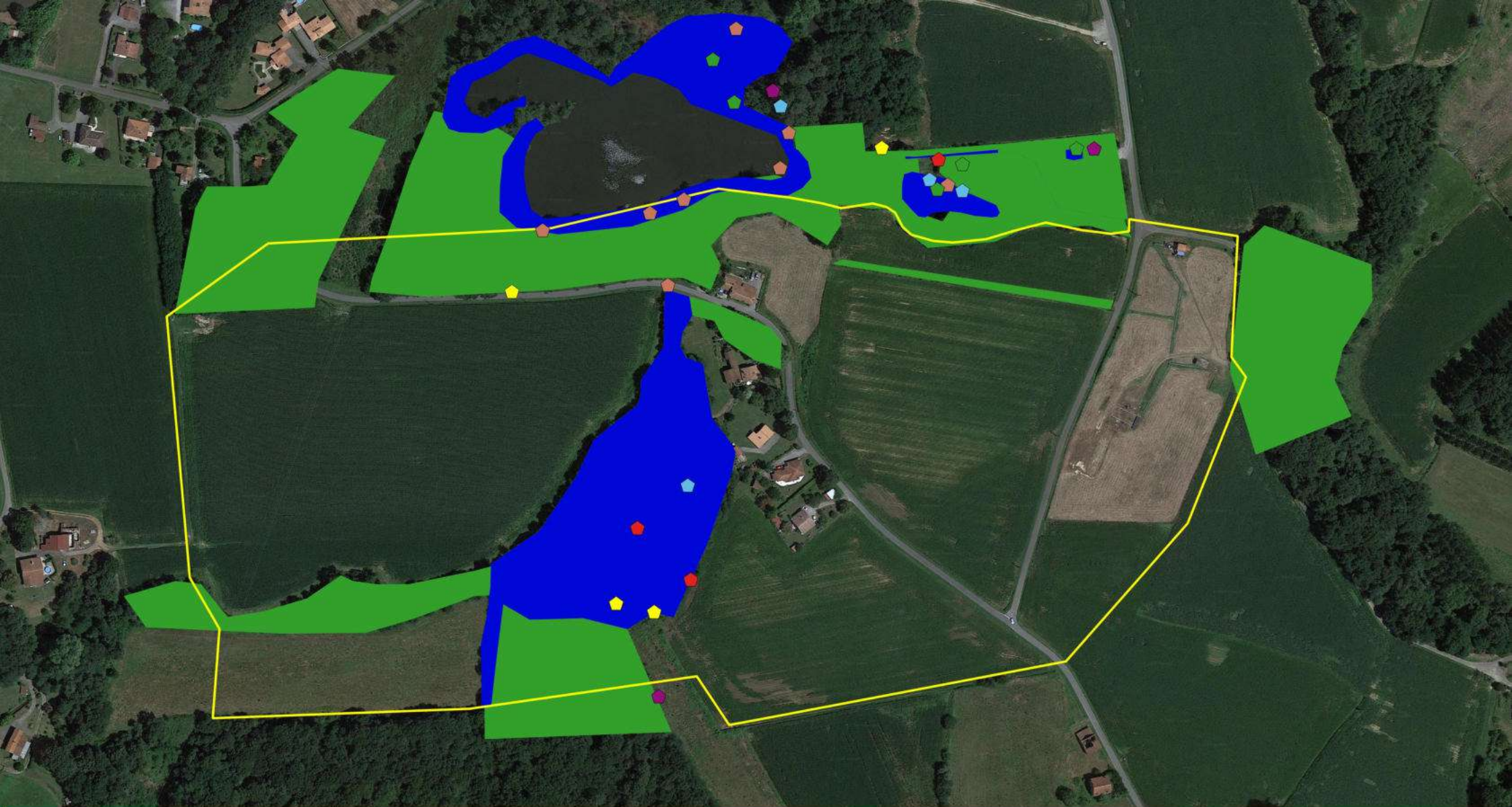
Le cortège se compose d'espèces ubiquistes avec le Triton palmé (*Lissotriton helveticus*) et la Rainette méridionale (*Hyla meridionalis*) et certaines d'affinité forestière avec la Grenouille agile (*Rana dalmatina*) et la Salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*). Les observations se concentrent sur les boisements et les zones humides, souvent associés. Le Triton palmé et la Salamandre tachetée fréquentent des réseaux d'ornières et de zones à inondation temporaire situés dans le bois riverain du ruisseau. La Grenouille agile fréquente également ce secteur en phase alimentaire. Le reste du cortège se développe au sein des boisements situés au nord et à l'est, inclus dans la propriété des Salins du Midi. Le vaste plan d'eau accueille notamment en période de reproduction une population importante de Crapaud épineux (*Bufo spinosus*) et de Grenouille verte (*Pelophylax sp.*). Deux autres mares et petits plans d'eau situés plus à l'est accueillent également ces espèces ainsi que la Grenouille agile et la Rainette méridionale (*Hyla meridionalis*).

Les secteurs boisés constituent des habitats terrestres pour les 6 espèces d'amphibiens (habitats d'alimentation et habitats de repos).

Ces 6 espèces bénéficient d'une protection réglementaire au titre de l'article 2 pour la Rainette méridionale et la Grenouille agile, de l'article 3 pour le Crapaud épineux, la Salamandre tachetée, et le Triton palmé et de l'article 5 pour la Grenouille verte de l'arrêté du 19 novembre 2007 fixant la liste des espèces d'amphibiens protégées en France.

III.2.4.1. Fonctionnalité de l'aire d'étude pour les amphibiens

Le réseau de boisements et de zones humides constitue des biotopes favorables aux amphibiens. Ces habitats se trouvent dans le voisinage de la zone d'étude constituant ainsi un réseau d'habitats, de gîtes et de zones d'alimentation pour les 6 espèces identifiées au sein de la zone d'étude.



Habitats et observations des amphibiens

Diagnostic faune et flore
d'un projet de canalisation à
Saint-Pandelon (40)

ELIOMYS
Conseil et Expertise en Environnement



0 50 100 150 m



Légende

- Zone d'étude
- Habitats des amphibiens
- Sites de reproduction
- Habitats terrestres

Observations

- Crapaud épineux
- Grenouille agile
- Grenouille verte
- Rainette méridionale
- Salamandre tachetée
- Triton palmé

III.2.4.2. **Enjeu relatif aux amphibiens**

L'enjeu relatif aux amphibiens concerne la diversité spécifique avec 6 espèces présentes et des effectifs observés assez importants notamment pour le Crapaud épineux et la Grenouille verte. Les habitats présents sont de bonne qualité pour les amphibiens.

Petit plan d'eau abritant les Grenouilles agile et verte – photo : Y. BERNARD/ELIOMYS



III.2.5. **LES REPTILES**

Au moins 4 espèces ont été observées au sein de la zone d'étude. Le cortège se compose de 3 espèces relativement plastiques et communes en Aquitaine ainsi que d'une espèce plus forestière et plus rare.

Liste des reptiles présents au sein de l'aire d'étude

Nom Français	Nom scientifique	Statut européen	Protection nationale	Liste rouge nationale/régionale	Statut sur le site
Couleuvre d'Esculape	<i>Zamenis longissima</i>		X	LC/NT	Reproduction, alimentation, hivernage
Couleuvre verte et jaune	<i>Hierophis viridiflavus</i>		X	LC/LC	Reproduction, alimentation, hivernage
Lézard des murailles	<i>Podarcis muralis</i>	Directive Habitats Annexe IV	X	LC/LC	Reproduction, alimentation, hivernage
Lézard vert occidental	<i>Lacerta bilineata</i>	Directive Habitats Annexe IV	X	LC/LC	Reproduction, alimentation, hivernage

Une espèce reste également potentiellement présente.

Liste des reptiles potentiels au sein de l'aire d'étude

Nom Français	Nom scientifique	Statut européen	Protection nationale	Liste rouge nationale/régionale	Statut sur le site
Couleuvre à collier helvétique	<i>Natrix helvetica</i>		X	LC/NT	Potentielle / reproduction, alimentation, hivernage

Les populations de reptiles présentes sur le secteur sont importantes, occupant l'ensemble des lisières, friches et clairières de la zone d'étude.

Concernant la Couleuvre d'Esculape (*Zamenis longissima*), elle affectionne les lisières et les bois de feuillus. Un adulte mort a été découvert gyrobroyé en bord de route. L'ensemble des boisements situés dans la zone d'étude sont favorables à l'espèce.

Les 4 autres espèces sont susceptibles d'occuper tous les espaces non agricoles du secteur.

Le Lézard des murailles, le Lézard vert occidental et la Couleuvre d'Esculape sont protégés au titre de l'article 2 de l'arrêté du 19 novembre 2007 fixant la liste des espèces de reptiles et d'amphibiens protégés en France. Leurs milieux de vie sont strictement protégés. Les Couleuvres verte et jaune et à collier helvétique sont protégés au titre de l'article 3 de l'arrêté du 19 novembre 2007.

III.2.5.1. **Fonctionnalité de l'aire d'étude pour les reptiles**

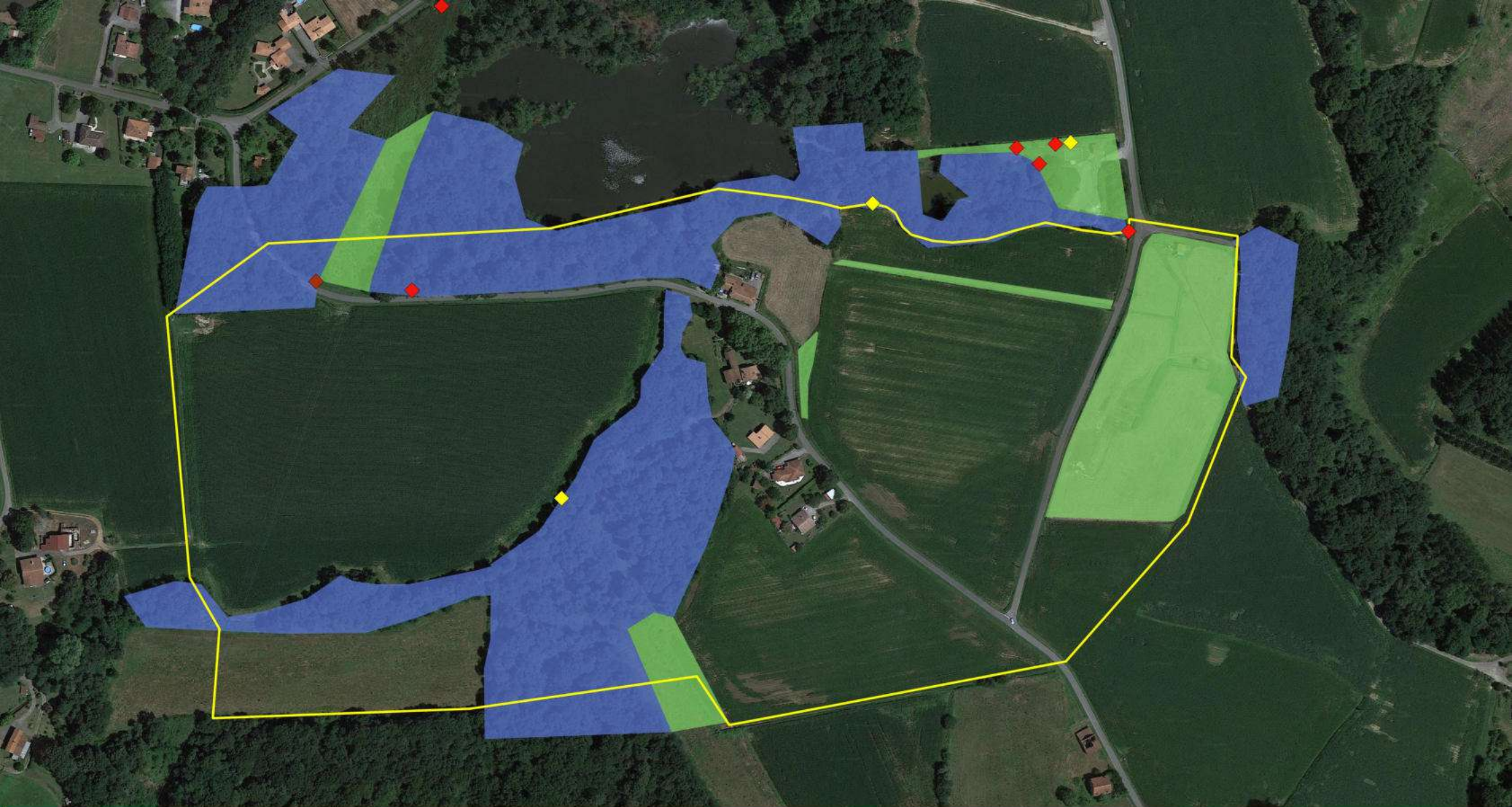
Le réseau de boisements, de lisières ainsi que les ruisseaux facilitent les déplacements des individus au sein de la zone d'étude et dans le voisinage. Les biotopes des reptiles étant assez similaires aux alentours du site, les échanges sont très probables. Par ailleurs, la bonne qualité des habitats au sein de la zone d'étude permet à ces 5 espèces de réaliser la totalité de leur cycle de vie (reproduction, alimentation, hivernage).

III.2.5.2. **Enjeu relatif aux reptiles**

Deux enjeux ont été identifiés. Le premier concerne la diversité spécifique avec 5 espèces présentes ou potentielles et des effectifs observés importants notamment pour les Lézards. Le second enjeu se concentre sur la présence de la Couleuvre d'Esculape, espèce listée comme « Quasi-menacée » sur la liste rouge d'Aquitaine. Les habitats en présence sont de bonne qualité pour cette espèce peu fréquente en Chalosse.

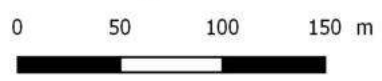
Lisière favorable aux reptiles –
photo : Y. BERNARD/ELIOMYS





Habitats et observations des reptiles

Diagnostic faune et flore
d'un projet de canalisation à
Saint-Pandelon (40)



Légende

- Zone d'étude
- Habitats des reptiles
- Habitats forestiers et lisières
- Ourlets

Observations

- ◆ Couleuvre d'Esculape
- ◆ Couleuvre verte et jaune
- ◆ Lézard vert occidental

III.2.6. L'AVIFAUNE

III.2.6.1. L'avifaune nicheuse

Au moins 41 espèces ont été contactées au sein de l'aire d'étude et de son voisinage. La diversité observée est bonne et témoigne d'une certaine hétérogénéité des milieux présents dans la zone d'étude et son voisinage.

Au moins 3 cortèges ont été identifiés

- Un cortège d'oiseaux forestiers

De loin le plus diversifié, ce cortège se compose d'espèces cavicoles strictement liées aux arbres comme les Pics noir (*Dryocopus martius*), épeiche (*Dendrocopos major*) ouvert (*Picus viridis*) ou la Sittelle torchepot (*Sitta europaea*) et d'espèces liées aux strates arbustives comme la Fauvette à tête noire (*Sylvia atricapilla*) ou le Troglodyte mignon (*Troglodytes troglodytes*). Quelques rapaces complètent le cortège avec notamment la Chouette hulotte (*Strix aluco*) et la Buse variable (*Buteo buteo*) dont au moins un couple occupe les boisements riverains du plan d'eau.

- Un cortège d'espèces des espaces agricoles

Plus pauvre, ce cortège se compose d'espèces utilisant les prairies et les haies relictuelles du secteur ainsi que les quelques jardins présents. Le Faisan de Colchide (*Phasianus colchicus*), le Chardonneret élégant (*Carduelis carduelis*) et la Tourterelle turque (*Streptopelia decaocto*) composent ce cortège. Le Moineau domestique (*Passer domesticus*) et le Rougequeue noir (*Phoenicurus ochruros*), tous 2 reproducteurs au niveau de l'espace bâti le complètent.

- Un cortège d'espèces liées aux zones humides

Concentré au niveau du plan d'eau et du ruisseau et à leurs abords, ce cortège mélange espèces strictement aquatique comme la Gallinule poule-d'eau (*Gallinula chloropus*) et le Canard colvert (*Anas platyrhynchos*) et des espèces riveraines comme le Héron cendré (*Ardea cinerea*) et la Bergeronnette des ruisseaux (*Motacilla cinerea*). L'ensemble de ces espèces sont communes et fréquentent essentiellement le plan d'eau.

Dans les haies et bois riverains, la Bouscarle de Cetti (*Cettia cetti*) et le Lorient d'Europe (*Oriolus oriolus*) se reproduisent.

Plusieurs espèces de rapaces fréquentent également la zone en phase alimentaire plus ou moins régulièrement : Le Milan noir (*Milvus migrans*), en provenance de la ripisylve proche du Luy et le Faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*) qui nichent probablement dans le voisinage sont les plus réguliers. La Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) transite également par la zone d'étude de façon ponctuelle (4 individus observés en fin de printemps), sans doute originaire de la vallée de l'Adour.

Liste des oiseaux observés au sein de l'aire d'étude en période de reproduction

Nom Français	Nom scientifique	Protection nationale	Statut européen	Liste rouge nationale/régionale	Statut sur le site
Accenteur mouchet	<i>Prunella modularis</i>	Protection nationale		LC	Reproduction possible
Bergeronnette des ruisseaux	<i>Motacilla cinerea</i>	Protection nationale		LC	Reproduction probable
Bouscarle de Cetti	<i>Cettia cetti</i>	Protection nationale		NT	Reproduction probable

Nom Français	Nom scientifique	Protection nationale	Statut européen	Liste rouge nationale/régionale	Statut sur le site
Buse variable	<i>Buteo buteo</i>	Protection nationale		LC	Reproduction probable
Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>		Directive Oiseaux Annexe II	LC	Reproduction probable
Chardonneret élégant	<i>Carduelis carduelis</i>	Protection nationale		VU	Reproduction possible
Cigogne blanche	<i>Ciconia ciconia</i>	Protection nationale	Directive Oiseaux Annexe I	LC	Transit
Chouette hulotte	<i>Strix aluco</i>	Protection nationale		LC	Reproduction probable
Corneille noire	<i>Corvus corone</i>			LC	Reproduction probable
Faisan de Colchide	<i>Phasianus colchicus</i>		Directive Oiseaux Annexe I	VU	Origine sauvage discutable - reproduction probable
Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	Protection nationale		NT	En chasse ponctuellement
Fauvette à tête noire	<i>Sylvia atricapilla</i>	Protection nationale		LC	Reproduction avérée
Gallinule poule-d'eau	<i>Gallinula chloropus</i>		Directive Oiseaux Annexe II	LC	Reproduction avérée
Geai des chênes	<i>Garrulus glandarius</i>		Directive Oiseaux Annexe II	LC	Reproduction probable
Grand Cormoran	<i>Phalacrocorax carbo</i>	Protection nationale		LC	Transit alimentaire
Grimpereau des jardins	<i>Certhia brachydactyla</i>	Protection nationale		LC	Reproduction probable
Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>		Directive Oiseaux Annexe II	LC	Reproduction probable
Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>	Protection nationale		LC	Transit alimentaire
Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	Protection nationale		NT	Transit alimentaire
Hypolaïs polyglotte	<i>Hippolais polyglotta</i>	Protection nationale		LC	Reproduction probable
Loriot d'Europe	<i>Oriolus oriolus</i>	Protection nationale		LC	Reproduction probable
Merle noir	<i>Turdus merula</i>		Directive Oiseaux Annexe II	LC	Reproduction avérée
Mésange bleue	<i>Cyanistes caeruleus</i>	Protection nationale		LC	Reproduction avérée
Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>	Protection nationale		LC	Reproduction avérée
Mésange nonnette	<i>Poecile palustris</i>	Protection nationale		LC	Reproduction probable
Milan noir	<i>Milvus migrans</i>	Protection nationale	Directive Oiseaux Annexe I	LC	En chasse ponctuellement
Moineau domestique	<i>Passer domesticus</i>	Protection nationale		LC	Reproduction avérée
Pic épeiche	<i>Dendrocopos major</i>	Protection nationale		LC	Reproduction probable

Nom Français	Nom scientifique	Protection nationale	Statut européen	Liste rouge nationale/régionale	Statut sur le site
Pic noir	<i>Dryocopus martius</i>	Protection nationale	Directive Oiseaux Annexe I	LC	Reproduction probable
Pic vert	<i>Picus viridis</i>	Protection nationale		LC	Reproduction probable
Pie bavarde	<i>Pica pica</i>			LC	Reproduction probable
Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>		Directive Oiseaux Annexe II	LC	Reproduction probable
Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	Protection nationale		LC	Reproduction probable
Pouillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>	Protection nationale		LC	Reproduction probable
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	Protection nationale		LC	Reproduction possible
Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	Protection nationale		LC	Reproduction probable
Rougequeue noir	<i>Phoenicurus ochruros</i>	Protection nationale		LC	Reproduction probable
Sittelle torchepot	<i>Sitta europaea</i>	Protection nationale		LC	Reproduction probable
Tourterelle turque	<i>Streptopelia decaocto</i>		Directive Oiseaux Annexe II	LC	Reproduction probable
Troglodyte mignon	<i>Troglodytes troglodytes</i>	Protection nationale		LC	Reproduction probable

Chardonneret élégant–
photo : Y. BERNARD/ELIOMYS



Sur les 41 espèces contactées, quelques espèces sont jugées patrimoniales. Le Chardonneret élégant, le Milan noir et le Pic noir sont les plus emblématiques.

Sur les 41 espèces contactées au sein de l'aire d'étude, 31 sont protégées par arrêté du 29 octobre 2009 dont seulement 2 sont nicheuses avérées ou probables.

III.2.6.2. L'avifaune hivernante et migratrice

En période hivernale, le site accueille, en plus des espèces sédentaires, un cortège de passereaux hivernants classiques et communs des cultures et bois de la Chalosse comme le Pipit farlouse (*Anthus pratensis*), le Pinson des arbres (*Carduelis chloris*) et le Pigeon ramier (*Columba palumbus*) avec des effectifs ne dépassant la cinquantaine d'individus.

Au printemps et à l'automne, le plan d'eau constitue un site de halte pour les oiseaux migrateurs. Ainsi, 2 espèces de canards y ont été observés : le Canard colvert avec 20 individus et la Sarcelle d'été (*Anas querquedula*) avec 3 individus. La quiétude du plan d'eau le rend favorable à la présence de nombreuses espèces d'oiseaux migrateurs mais probablement en effectif limité.

III.2.6.3. **Fonctionnalité de l'aire d'étude et de son voisinage**

La zone d'étude s'insère dans un vaste contexte alternant parcelles d'agriculture intensive, boisements de feuillus et petits ruisseaux typiques de la Chalosse. Les oiseaux qui la fréquentent utilisent également les espaces voisins soit pour s'alimenter, soit pour s'y reproduire (Faucon crécerelle, Milan noir).

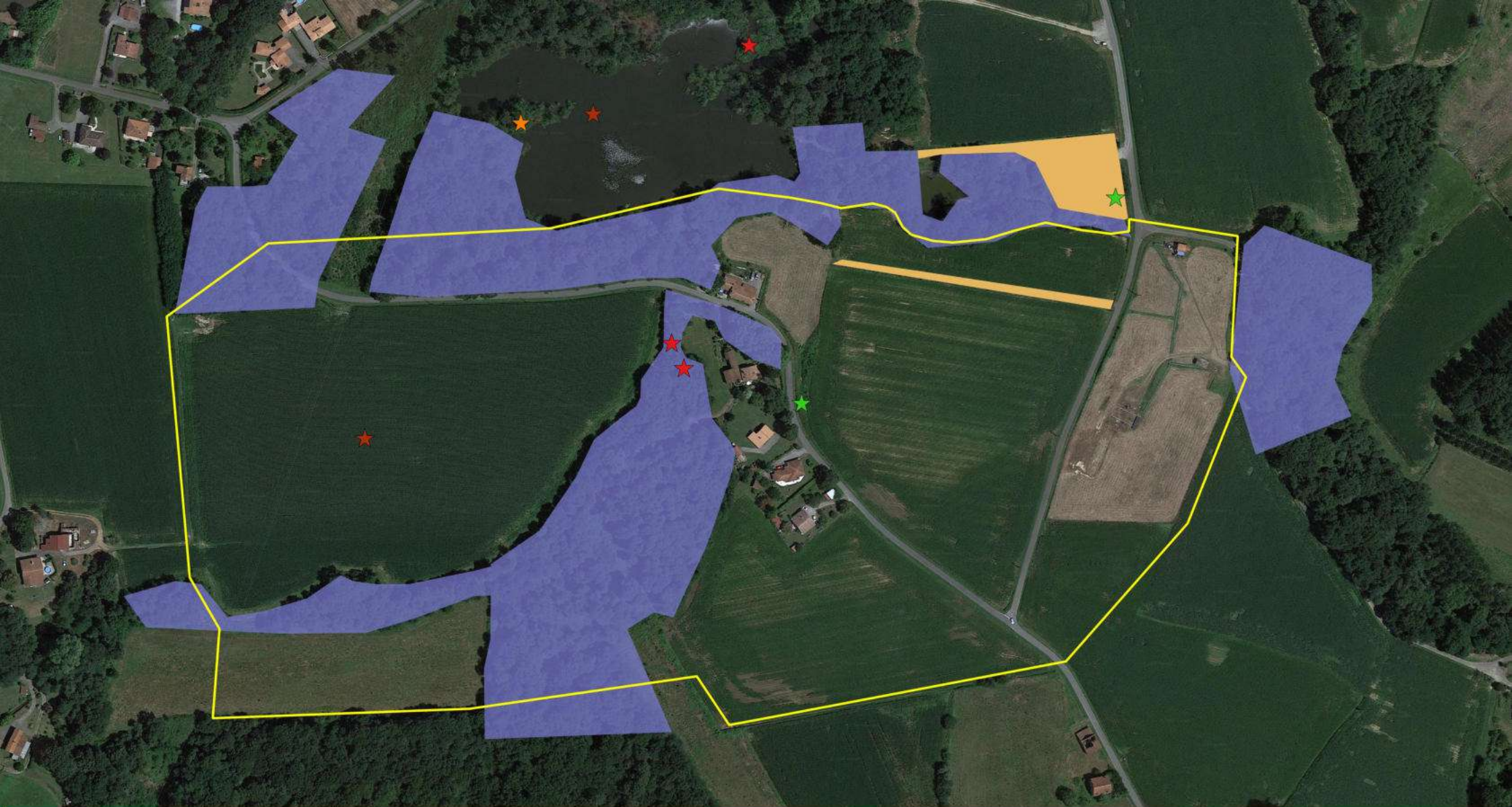
Cependant, la partie nord composée du plan d'eau, des zones humides et des boisements associés constitue une zone refuge à part entière pour l'avifaune. Certaines espèces sédentaires y réalisent l'ensemble de leur cycle, d'autres s'y arrêtent en période de migration.

Globalement, exception faite des parcelles agricoles, les habitats de l'avifaune présentent un bon état de conservation.

III.2.6.4. **Enjeu relatif à l'avifaune**

Les enjeux se concentrent sur les espaces non agricoles, essentiellement le plan d'eau, les espaces boisés et zones humides associés et les boisements riverains du ruisseau. Deux niveaux d'enjeu ont été identifiés.

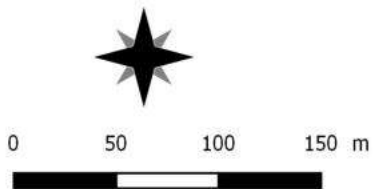
- Un niveau d'enjeu moyen lié à la bonne diversité avifaunistique globale présente sur la zone d'étude.
- Un niveau d'enjeu faible à moyen lié à la présence de certaines espèces patrimoniales comme le Pic noir, le Milan noir et le Chardonneret élégant notamment.



Habitats et observations de l'avifaune remarquable

ELIOMYS
Conseil et Expertise en Environnement

Diagnostic faune et flore d'un projet de canalisation à Saint-Pandelon (40)



Légende

- Zone d'étude
- Habitats de l'avifaune
 - Bois favorable à l'avifaune forestière
 - Habitat du Chardonneret élégant

Observations

- ★ Bouscarle de Cetti
- ★ chardonneret élégant
- ★ Faucon crécerelle
- ★ Milan noir
- ★ Pic noir

III.2.1. LES MOLLUSQUES

III.2.1.1. Description du cortège

Le cortège de mollusques observés se compose à la fois d'espèces communes des espaces forestiers du sud des Landes dont *Clausilia bidentata*, *Discus rotundatus*... et d'espèces ubiquistes des espaces remaniés comme *Cornu aspersum*, *Lauria cylindracea*, *Arion rufus* ou *Oxychilus draparnaudi*.

Malgré des recherches ciblées, nous n'avons pas observé la Clausilie Basque (*Neniatlanta pauli*). Cette espèce forestière protégée a encore une répartition mal connue mais elle pourrait atteindre le sud de la région de Dax.

Quelques espèces aquatiques communes occupent les ruisseaux comme *Omphiscola glabra* ou la Corbicule asiatique (*Corbicula fluminea*), espèce invasive.

Liste des mollusques observés au sein de l'aire d'étude

Nom Français	Nom scientifique	Protection nationale	Statut européen	Statut sur le site
Bouton commun	<i>Discus rotundatus</i>	/	/	Sédentaire
Clausilie commune	<i>Clausilia bidentata</i>	/	/	Sédentaire
Corbicule asiatique	<i>Corbicula fluminea</i>	/	/	Sédentaire
Escargot des haies	<i>Cepaea nemoralis</i>	/	/	Sédentaire
Escargot des jardins	<i>Cepaea hortensis</i>	/	/	Sédentaire
Escargot petit-gris	<i>Cornu aspersum</i>	/	/	Sédentaire
Grand Luisant	<i>Oxychilus draparnaudi</i>	/	/	Sédentaire
Grande Loche	<i>Arion rufus</i>	/	/	Sédentaire
Limace léopard	<i>Limax maximus</i>	/	/	Sédentaire
Limnée étroite	<i>Omphiscola glabra</i>	/	/	Sédentaire
Loche laiteuse	<i>Deroceras reticulatum</i>	/	/	Sédentaire
Maillot commun	<i>Lauria cylindracea</i>	/	/	Sédentaire

III.2.1.2. Enjeu relatif aux mollusques

L'enjeu malacologique est très faible, uniquement local. Aucune espèce remarquable et aucune potentialité de présence d'espèce patrimoniale n'a été identifiée.

IV. LES ENJEUX ECOLOGIQUES

L'évaluation des enjeux découle de la prise en compte d'une part du statut de protection des espèces et des classements sur les différentes listes rouges (lorsqu'elles existent) et d'autre part du contexte environnant de la zone d'étude et de l'état de conservation de l'habitat d'espèce associé à l'état de la population et de son statut *in situ*.

La fonctionnalité de la zone d'étude est également à prendre en compte à travers l'existence de continuités écologiques ou l'isolement de la zone.

Enfin, la connaissance acquise par l'expert sur les espèces concernées, hors du cadre de cette étude, permet de préciser (ou affiner) l'analyse/évaluation du niveau d'enjeu.

IV.1. LES HABITATS NATURELS ET LA FLORE

Pour les habitats naturels, les enjeux se concentrent sur les zones humides avec 4 habitats naturels identifiés.

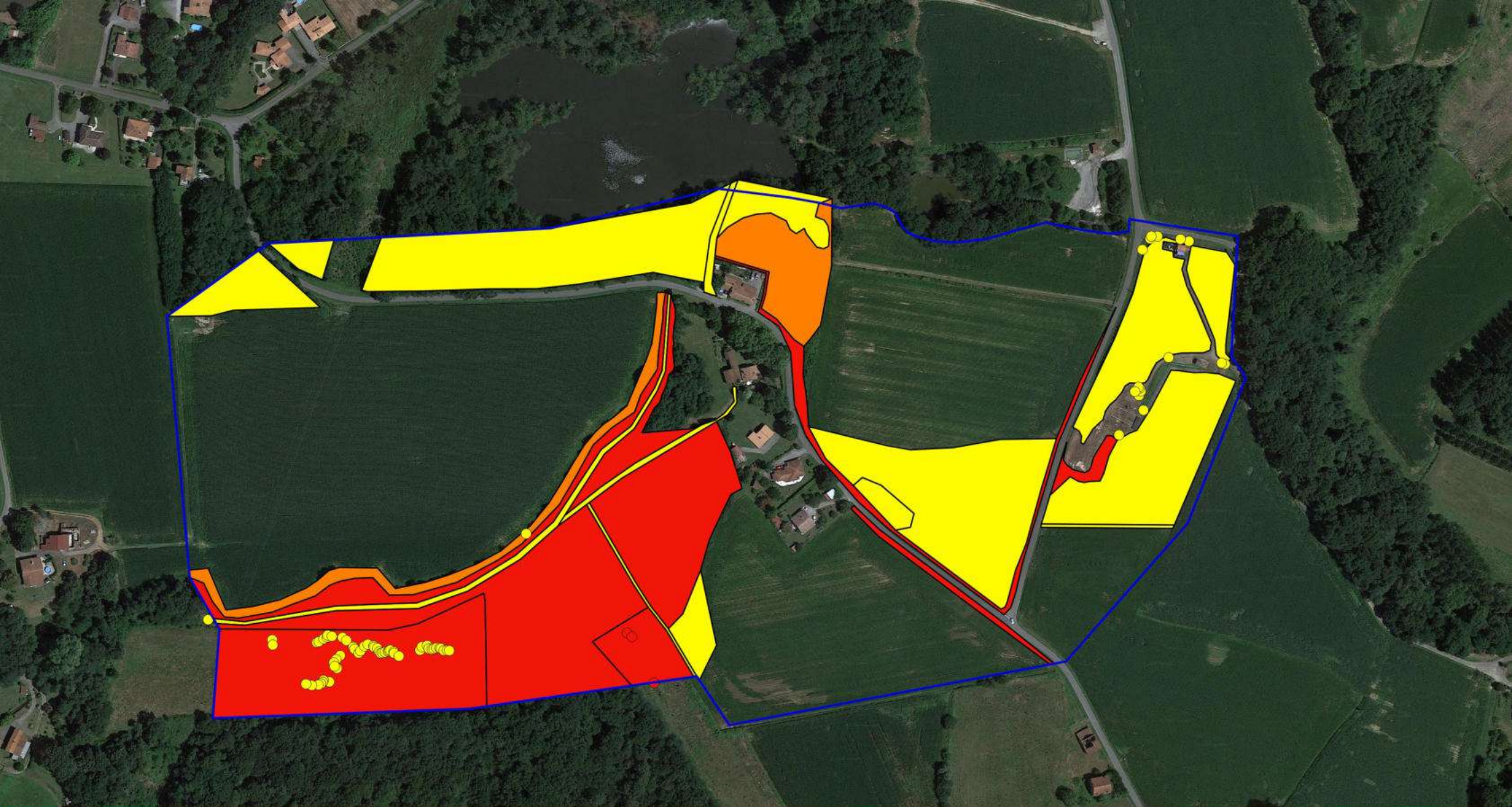
Habitats naturels remarquables et enjeux associés

CCB	Habitats naturels	Niveau d'enjeu	Zone humide	Contrainte réglementaire
37.21	Prairies humides atlantiques et subatlantiques	Fort	oui	oui
37.21 * (22.323)	Prairies humides atlantiques et subatlantiques * (Communautés naines à <i>Juncus bufonius</i>)	moyen	oui	oui
38.22 * (37.21)	Prairies de fauche des plaines médio-européennes * (Prairies humides atlantiques et subatlantiques)	moyen	En mosaïque	oui
44.31	Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources (rivulaires)	Fort	oui	oui
53.4 * 37.1	Bordures à Calamagrostis des eaux courantes * Communautés à Reine des prés et communautés associées	Fort	oui	oui

Pour la flore, 3 espèces protégées et 7 espèces déterminantes de ZNIEFF ont été identifiées et géolocalisées. Une espèce protégée en Aquitaine et inféodée aux espaces humides présentes un enjeu fort.

Plantes patrimoniales et enjeux associés

Nom Français	Nom scientifique	Statut	Statut sur le site	Enjeu
Oenanthe à feuilles de Silaus	<i>Oenanthe silaifolia</i>	Protection régionale	Présence ponctuelle dans une ancienne peupleraie	Fort / contrainte réglementaire
Lotier grêle/Lotier velu	<i>Lotus angustissimus/hispidus</i>	Protection régionale	Répartition large dans des espaces écorchées de prairie et des zones rudérales	Faible / contrainte réglementaire
<i>Alisma lanceolatum</i> , <i>Bromus secalinus</i> , <i>Callitriche hamulata</i> , <i>Campanula patula</i> , <i>Cyperus longus</i> , <i>Euphorbia illirica</i> , <i>Euphorbia platyphyllos</i> , <i>Lonicera xylosteum</i> , <i>Polypogon monspeliensis</i>		Déterminantes ZNIEFF en Aquitaine	Présence ponctuelle	Faible à négligeable



Hierarchisation des enjeux floristiques

Diagnostic faune et flore
d'un projet de canalisation à
Saint-Pandelon (40)


ELIOMYS
Conseil et Expertise en Environnement



0 50 100 150 m



Légende

 Zone d'étude

Niveau d'enjeu

 Enjeu fort

 Enjeu moyen

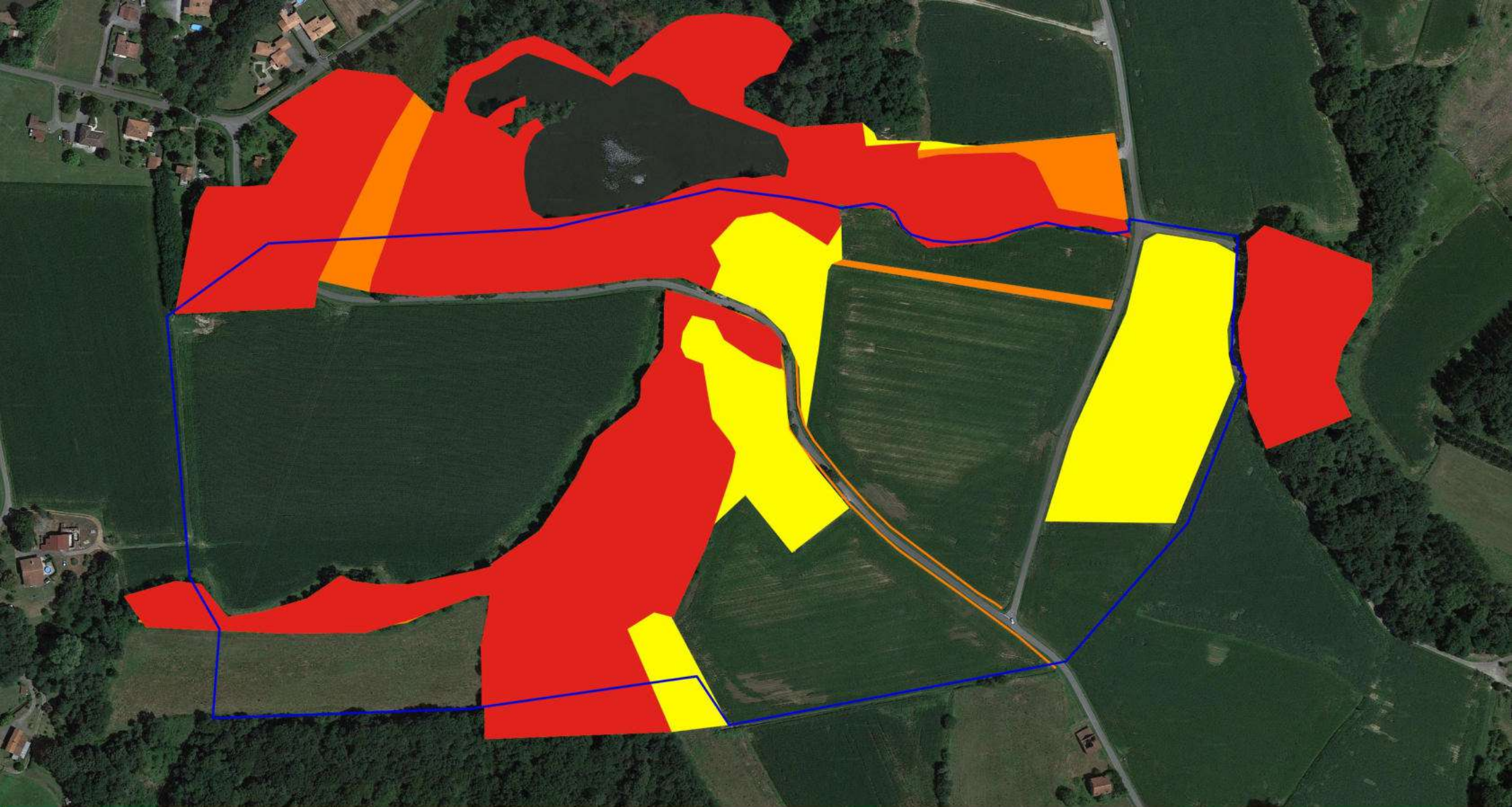
 Enjeu faible

IV.2. LA FAUNE

Tous les cortèges faunistiques terrestres étudiés se révèlent diversifiés, avec la présence avérée d'espèces remarquables et protégées. Les enjeux se concentrent principalement sur les espaces boisés et les zones humides.

Espèces remarquables et enjeux associés


Nom Français	Nom scientifique	Protection nationale	Statut européen	Statut sur le site	Enjeu
MAMMIFERES					
8 espèces de chauves-souris		X	Annexe II/IV de la directive «Habitats »	Alimentation, transit, gîte probable dans les boisements	Fort / contrainte réglementaire
Ecureuil roux	<i>Sciurus vulgaris</i>	X		Sédentaire potentiel	Faible / contrainte réglementaire
Hérisson d'Europe	<i>Erinaceus europaeus</i>	X		Sédentaire potentiel	Faible / contrainte réglementaire
REPTILES					
4 espèces de reptiles		X	Annexe IV de la directive «Habitats » (2 espèces)	Alimentation, déplacement, reproduction	Moyen / contrainte réglementaire
Couleuvre d'Esculape	<i>Zamenis longissima</i>	X		Alimentation, déplacement, reproduction	Moyen / contrainte réglementaire
AMPHIBIENS					
6 espèces d'amphibiens		X	Annexe IV de la directive «Habitats » (2 espèces)	Alimentation, déplacement, reproduction – population importante	Fort sur les sites de reproduction / contrainte réglementaire
INSECTES					
Grand Capricorne	<i>Cerambyx cerdo</i>	X	Annexe II de la Directive Habitats	Présence avérée dans les boisements de chêne	Moyen / contrainte réglementaire
Agrion de Mercure	<i>Coenagrion mercuriale</i>	X	Annexe II de la Directive Habitats	Présence avérée d'une petite population sur les ruisseaux	Moyen / contrainte réglementaire
AVIFAUNE					
Bouscarle de Cetti	<i>Cettia cetti</i>	X		Reproduction dans les fourrés en contexte forestiers et frais	Faible / contrainte réglementaire
Chardonneret élégant	<i>Carduelis carduelis</i>	X		Reproduction probable dans les friches ou les haies relictuelles	Moyen / contrainte réglementaire
Cigogne blanche	<i>Ciconia ciconia</i>	X	Annexe I de la Directive Oiseaux	Transit	Très faible / contrainte réglementaire
Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	X		Alimentation et transit	Très faible / contrainte réglementaire
Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	X		Alimentation et transit	Très faible / contrainte réglementaire
Milan noir	<i>Milvus migrans</i>	X	Annexe I de la Directive Oiseaux	Alimentation et transit	Très faible / contrainte réglementaire
Pic noir	<i>Dryocopus martius</i>	X	Annexe I de la Directive Oiseaux	Reproduction et alimentation dans les boisements	Moyen / contrainte réglementaire



Hierarchisation des enjeux faunistiques

ELIOMYS
Conseil et Expertise en Environnement


Légende

 Zone d'étude

Niveau d'enjeu

 Enjeu fort

 Enjeu moyen

 Enjeu faible



0 50 100 150 m



*Diagnostic faune et flore
d'un projet de canalisation à
Saint-Pandelon (40)*

Source : Photo aérienne google, Eliomys, 2019

IV.3. SYNTHÈSE DES ENJEUX

Les enjeux écologiques présents sur l'aire d'étude et dans son voisinage immédiat sont globalement moyens à forts. Ils concernent plusieurs groupes taxonomiques et différents types de biotope.

- Des enjeux forts au niveau des zones humides relatifs aux habitats naturels, à une plante protégée et aux amphibiens et moyen pour l'Agrion de Mercure.
- Des enjeux forts au niveau des boisements relatifs aux chauves-souris, à l'avifaune et aux amphibiens et moyen pour le Grand capricorne et les reptiles,
- Des enjeux moyens au niveau des haies relictuelles et des friches ciblant le Chardonneret élégant et les reptiles
- Des enjeux faibles locaux au niveau de tous les habitats non agricoles relatifs à une importante diversité faunistique et à plusieurs plantes remarquables,
- Un enjeu ponctuel au niveau des cultures abritant des zones humides.

Globalement, la zone étudiée présente, en dehors des espaces agricoles, un bon état de conservation et une importante diversité faunistique et floristique.



Forêt humide – photo : Y. BERNARD/ELIOMYS

IV. CONCLUSION

Le site ciblé pour l'implantation d'une nouvelle canalisation héberge un certain nombre d'enjeux écologiques de niveaux forts et moyens concernant tous les groupes taxonomiques étudiés. Ces enjeux constituent autant de contraintes notamment réglementaires qui devront être prises en compte lors de la définition du projet. Celui-ci devra être dimensionné au mieux pour limiter les impacts. La réalisation d'un dossier de demande de dérogation de destruction d'espèces protégées (dossier CNPN) sera probablement nécessaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ouvrages

- ANIOTSBEHERE J.C. réd. & coord. (2012) – *Flore de Gironde*. Mémoires de la Société Linnéenne de Bordeaux. Tome 13, 746 p.
- ARTHUR L., LEMAIRE M., 1999. Les chauves-souris maîtresses de la nuit. Delachaux et Niestlé. 265 pages.
- ARTHUR L., LEMAIRE M., 2010. Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Editions Biotope. 576 pages.
- BARATAUD, M., 2012. Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe, identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse. Biotope, Mèze ; MNHN, Paris (collection Inventaires et biodiversité). 344 p.
- BARDAT J., BIRET F., BOTINEAU M., BOULLET V., DELPECH R., GEHU J.M., HAURY J., LACOSTE A., RAMEAU J.C., ROYER J.M., ROUX G. et TOUFFET J. (2004) – *Prodrome des végétations de France*. Ed. MNHN, Paris, 171 p.
- BISSARDON M., GUIBAL L. et RAMEAU J.-C. (1997) – *CORINE biotopes. Version originale, types d'habitats français*. Ed. Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts (ENGREF), Nancy, 217 p.
- BLONDEL J., FERRY & FROCHOT – 1970 – *Méthode des Indices Ponctuels d'Abondance (IPA) ou des relevés d'avifaune par stations d'écoute*. Alauda, vol 38 pp. 55-70.
- Collectif Poitou-Charentes Nature (2001) – *Amphibiens et Reptiles du Poitou-Charentes*. Atlas préliminaire 1990-2000. Ed Poitou-Charentes Nature. 112 p.
- Conservatoire Espaces Naturels, la Fédération, 2017. Agir pour les chiroptères, l'essentiel du Plan National d'Actions 2016-2025. MTES 15 p
- COSTE H. (1900-1906) - *Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes. Nouveau tirage* (1990). Librairie Scientifique et Technique Albert Blanchard, Paris : 3 volumes, 1850 p.
- DANTON P. et BAFFRAY M. (1995) – *Inventaire des plantes protégées en France*. Editions Nathan, Paris. 296 p.
- DEUX-SEVRES NATURE ENVIRONNEMENT, juillet 2012. Dossier éoliennes – le bulletin des DSNE. 9 pages.
- DIETZ C., VON HELVERSEN O., DIETMARR N., 2009 - L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du Nord - Biologie, caractéristiques, protection, Delachaux & Niestlé ; 400 p.
- DIJKSTRA K. D. B., LEWINGTON R., (2007) – *Guide des libellules de France et d'Europe*. Delachaux&Niestlé. 320 pages.
- DUHAMEL G. (1994) - *Flore pratique illustrée des Carex de France*. Société Nouvelle des Editions Boubée, Paris : 176 p.
- EUROPEAN COMMISSION (2007) – *Interpretation manuel of european union habitats. Version EUR 27*. Ed. Commission Européenne DG. Environment, Bruxelles, 142 p.
- FOURNIER P. (1947) - *Les quatre flores de France, Corse comprise*. Ed. Lechevalier (1990), Paris, 1104 p.
- GRILLET P. & THIRION J.M. (COORD.) 1997. Répartition des amphibiens et des reptiles en Poitou-Charentes – Poitou-Charentes Nature – 31 p.
- HAQUART A. 2013. Actichiro – un référentiel pour l'interprétation des dénombrements de chiroptères avec les méthodes acoustiques en France. Symbioses, 2016, nouvelle série, n°34 : 1 – 8.
- ISSA N. et MULLER Y. coord. (2015). Atlas des oiseaux de France métropolitaine. Nidification et présence hivernale. LPO/SEOF/MNHN. Delachaux et Niestlé, Paris. 1408 p.
- JOCE (1992) - *Directive Habitats, Faune, Flore 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages*.
- JORF (1988) - *Arrêté du 19 avril 1988 relatif à la liste des espèces végétales protégées en région Poitou-Charentes complétant la liste nationale*.
- JORF (1995) - *Arrêté du 31 août 1995 portant modifications de l'arrêté du 20 janvier 1982 relatif à la liste des espèces végétales protégées sur l'ensemble du territoire*.
- JORF (2001) - *Arrêté du 16 novembre 2001 relatif à la liste des types d'habitats naturels et des espèces de faune et de flore sauvages qui peuvent justifier la désignation de zones spéciales de conservation au titre du réseau écologique européen Natura 2000 selon l'article L. 414-1-I du code de l'environnement*.
- JORF (2007) - *Arrêté du 19 avril 2007 modifiant la liste des types d'habitats naturels et des espèces de faune et de flore sauvages qui peuvent justifier la désignation de zones spéciales de conservation au titre du réseau écologique européen Natura 2000*.

JOURDE P., GRANGER M., SARDIN JP., MERCIER F., COLLECTIF (GODS) (coords.), (2015). Les oiseaux du Poitou-Charentes. Poitou-Charentes Nature, Fontaine-le-Compte, 432 p.

JOURDE Ph. (2005) – Les libellules de Charente maritime. Bilan de 7 années de prospections et d'étude des odonates : 1999-2005. Ann. Soc. Nat. Charente Maritime, supp. Déc 2005. 144 p.

JOURDE Ph. Et TERISSE J. (coord.), 2001. Espèces végétales et animales déterminantes en Poitou-Charentes. Décembre 2001. Ed Poitou-Charentes Nature. 154 p.

KERGUELEN M. (1999) - *Index synonymique de la flore de France*. Ed. MNHM (index révisé par BOCK B., 2006)

MEEDDM – 2011 – Décret n° 2011-2019 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements *Journal Officiel de la République Française du 30/12/2011*.

MURATET J., 2007. Identifier les amphibiens de France métropolitaine, Guide de terrain. Ecodiv, France. 291 p.

Poitou-Charentes Nature, (2016). Liste rouge du Poitou-Charentes : chapitre Amphibiens et Reptile. Fontaine-le-Compte. 14 p.

PRELLI R. (2002) – *Les Fougères et plantes alliées de France et d'Europe occidentale*. Ed. Belin, 432 p.

PREVOST O. et GAILLEDROT M. (coords.), 2011. Atlas des mammifères sauvages du Poitou-Charentes. Cahiers techniques du Poitou-Charentes, Poitou-Charentes Nature. Fontaine-le-Compte. 304 p.

RAMEAU J.C., MANSION D., DUME G., TIMBAL J., LECOINTE A., DUPONT P. & KELLER R. (1994) – *Flore forestière française. Guide écologique illustré*. Tome 1 – Plaines et collines. Ed. IDF, 1785 p.

ROCAMORA G., YEATMAN-BERTHELOT D. (1999) – *Oiseaux menacés et à surveiller en France : Liste Rouge et priorités*. Société d'Etudes Ornithologiques de France/Ligue pour la Protection des Oiseaux, Paris : 560 p.

SCHOBER, W. & GRIMMBERGER, E., 1991 - Guide des Chauves-souris d'Europe : Biologie – Identification – Protection, Delachaux & Niestlé ; 225 p.

TAPIERO A., 2015. Bilan technique du Plan National d'Action Chiroptères 2009-2013. Diagnostic 34 espèces. Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, DREAL Franche-Comté, 95 p.

TEMPLE H.J. et TERRY A. (coord), 2007. The status and distribution of European mammals. Office for Official publications of the European communities. Luxembourg, 45 p.

THIOLLAY J.M. & BRETAGNOLLE V. (coord.) – 2004 – Rapaces nicheurs de France, Distribution, effectifs et conservation, Delachaux et Niestlé, Paris. 175 p.

TUTIN T.G., HEYWOOD V.H., BURGESS N.A., MOORE D.M., VALENTINE D.H., WALTERS S.M., WEBB D.A., CHATER A.O. et RICHARDSON I.B.K. (1980) – *Flora Europaea*. Ed. Cambridge University Press, 7^e Ed. 2005, 2390 p.

UICN France, MNHN, LPO, SEOF et ONCFS, 2016. La liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre oiseaux de France métropolitaine. Paris France. 32 p.

UICN France, MNHN, SFEPM et ONCFS, 2017. La liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre mammifères de France métropolitaine. Paris France. 16 p.

YEATMAN-BERTHELOT D. & ROCCAMORA G. (1999) – Oiseaux menacés et à surveiller en France, Liste rouge et priorité – SEOF & LPO – 598 p.

Sites internet :

L.P.O et SEOF : <http://www.atlas-omitho.fr/> (*Atlas des oiseaux nicheurs de France métropolitaine*)

Tela botanica : <http://www.tela-botanica.org>

ANNEXES

Annexe 1 : liste des espèces végétales recensées (avec chorologie et statuts)

PN : Espèce protégée réglementairement à l'échelle Nationale / PR : Espèce protégée réglementairement à l'échelle Régionale, en Aquitaine.

Zone Humide	Intitulé CCB	Nom scientifique	Famille	Chorologie	PN	PR	LR1	LR2	Eur
1	<i>Helosciadium nodiflorum</i> (L.) W.D.J.Koch, 1824	Ache faux-Cresson	Apiaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Achillea millefolium</i> L., 1753	Achillée millefeuille	Asteraceae	eurasiatique					
1	<i>Agrostis stolonifera</i> L., 1753	Agrostide stolonifère	Poaceae	holarctique					
	<i>Ulex europaeus</i> L., 1753 (A)	Ajonc d'Europe							
	<i>Ulex europaeus</i> L., 1753	Ajonc d'Europe	Fabaceae	atlantique(eury)					
	<i>Ulex minor</i> Roth, 1797	Ajonc nain	Fabaceae	atlantique(eury)					
	<i>Sorbus torminalis</i> (L.) Crantz, 1763	Alisier torminal							
	<i>Aquilegia vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i> L., 1753	Ancolie vulgaire, Clochette	Ranunculaceae	eurasiatique					
1	<i>Angelica sylvestris</i> subsp. <i>sylvestris</i> L., 1753	Angélique sauvage	Apiaceae	eurasiatique					
	<i>Asphodelus albus</i> Mill., 1768	Asphodèle blanc							
	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq., 1775	Aubépine à un style							
1	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn., 1790 (A)	Aulne glutineux							
1	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn., 1790	Aulne glutineux	Betulaceae	européen					
1	<i>Phalaris arundinacea</i> subsp. <i>arundinacea</i> L., 1753	Baldingère	Poaceae	circumboréal					
	<i>Arctium minus</i> (Hill) Bernh., 1800	Bardane à petits capitules	Asteraceae	européen					
	<i>Geum urbanum</i> L., 1753	Benoîte commune	Rosaceae	européen					
	<i>Brachypodium sylvaticum</i> (Huds.) P.Beauv., 1812	Brachypode des bois							
	<i>Brachypodium rupestre</i> (Host) Roem. & Schult., 1817	Brachypode des rochers	Poaceae	méditerranéen(eury)-atlantique(eury)					
	<i>Bromus secalinus</i> L., 1753	Brome faux-seigle	Poaceae	eurasiatique méridional				x	
	<i>Bromus hordeaceus</i> L., 1753	Brome mou	Poaceae	cosmopolite					
	<i>Anisantha sterilis</i> (L.) Nevski, 1934	Brome stérile	Poaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Prunella vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i> L., 1753	Brunelle vulgaire	Lamiaceae	cosmopolite					
	<i>Dipsacus fullonum</i> L., 1753	Cabaret des oiseaux	Caprifoliaceae	européen méridional					
	<i>Callitriche hamulata</i> Kütz. ex W.D.J.Koch, 1837	Callitriche à crochets	Plantaginaceae	européen occidental					
	<i>Lonicera xylosteum</i> L., 1753	Camérisier à balais	Caprifoliaceae	eurasiatique septentrional					
	<i>Campanula patula</i> var. <i>patula</i> L., 1753	Campanule étalée	Campanulaceae	européen					
1	<i>Cardamine flexuosa</i> With., 1796	Cardamine des bois	Brassicaceae	eurasiatique					
	<i>Cardamine hirsuta</i> L., 1753	Cardamine hérissée	Brassicaceae	circumboréal					
	<i>Daucus carota</i> subsp. <i>carota</i> L., 1753	Carotte sauvage	Apiaceae	européen					
	<i>Centaurea decipiens</i> subsp. <i>decipiens</i> Thuill., 1799	Centauree trompeuse	Asteraceae	atlantique(eury)					
	<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill., 1799	Céraiste aggloméré	Caryophyllaceae	cosmopolite					
	<i>Cerastium fontanum</i> Baumg., 1816	Céraiste commun	Caryophyllaceae	cosmopolite					
	<i>Castanea sativa</i> Mill., 1768	Châtaignier							
	<i>Quercus robur</i> L., 1753 (A)	Chêne pédonculé							
	<i>Quercus robur</i> L., 1753	Chêne pédonculé	Fagaceae	européen					
	<i>Chenopodium album</i> L., 1753	Chénopode blanc	Amaranthaceae	cosmopolite					
	<i>Lonicera periclymenum</i> subsp. <i>periclymenum</i> L., 1753	Chèvrefeuille des bois	Caprifoliaceae	européen méridional					
	<i>Cichorium intybus</i> L., 1753	Chicorée amère	Asteraceae	eurasiatique méridional					
	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers., 1805	Chiendent pied-de-poule	Poaceae	cosmopolite(thermo)					
	<i>Circaea lutetiana</i> L., 1753	Circée de Paris	Onagraceae	circumboréal					
	<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten., 1838	Cirse commun	Asteraceae	eurasiatique					

Zone Humide	Intitulé CCB	Nom scientifique	Famille	Chorologie	PN	PR	LR1	LR2	Eur
1	<i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop., 1772	Cirse des marais	Asteraceae	eurasiatique septentrional					
	<i>Clematis vitalba</i> L., 1753	Clématite vigne blanche	Ranunculaceae	holarctique					
	<i>Symphytum tuberosum</i> subsp. <i>tuberosum</i> L., 1753	Consoude à tubercules	Boraginaceae	européen méridional					
	<i>Cornus sanguinea</i> subsp. <i>sanguinea</i> L., 1753 (a)	Cornouiller sanguin							
	<i>Cornus sanguinea</i> subsp. <i>sanguinea</i> L., 1753	Cornouiller sanguin	Comaceae	eurasiatique					
	<i>Crepis capillaris</i> (L.) Wallr., 1840	Crépis à tige capillaire	Asteraceae	européen					
1	<i>Nasturtium officinale</i> var. <i>officinale</i> W.T.Aiton, 1812	Cresson des fontaines	Brassicaceae	cosmopolite					
	<i>Dactylis glomerata</i> subsp. <i>glomerata</i> L., 1753	Dactyle aggloméré	Poaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Eleusine tristachya</i> (Lam.) Lam., 1792	Éleusine à trois épis	Poaceae	introduit (Amér. tropicale)					
	<i>Stachys sylvatica</i> L., 1753	Épiaire des bois							
1	<i>Epilobium hirsutum</i> L., 1753	Épilobe hérissé	Onagraceae	européen					
	<i>Acer campestre</i> L., 1753 (A)	Érable champêtre							
	<i>Acer campestre</i> L., 1753	Érable champêtre							
	<i>Acer pseudoplatanus</i> L., 1753	Érable sycomore	Sapindaceae	européen					
1	<i>Eupatorium cannabinum</i> subsp. <i>cannabinum</i> L., 1753	Eupatoire chanvrine	Asteraceae	eurasiatique méridional					
	<i>Euphorbia platyphyllos</i> L., 1753	Euphorbe à feuilles larges	Euphorbiaceae	européen méridional					
	<i>Euphorbia amygdaloides</i> subsp. <i>amygdaloides</i> L., 1753	Euphorbe des bois							
	<i>Euphorbia illirica</i> Lam., 1788	Euphorbe poilue	Euphorbiaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Schedonorus pratensis</i> (Huds.) P.Beauv., 1812	Fétuque des prés	Poaceae	eurasiatique					
	<i>Schedonorus arundinaceus</i> (Schreb.) Dumort., 1824	Fétuque faux roseau	Poaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Phleum pratense</i> L., 1753	Fléole des prés	Poaceae	circumboréal					
	<i>Anthoxanthum odoratum</i> L., 1753	Flouze odorante	Poaceae	holarctique					
	<i>Pteridium aquilinum</i> subsp. <i>aquilinum</i> (L.) Kuhn, 1879	Fougère aigle							
	<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth, 1799	Fougère femelle	Woodsiaceae	holarctique					
	<i>Fragaria vesca</i> L., 1753	Fraisier sauvage	Rosaceae	cosmopolite					
	<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P.Beauv. ex J.Presl & C.Presl, 1819	Fromental élevé	Poaceae						
	<i>Euonymus europaeus</i> L., 1753 (a)	Fusain d'Europe, Bonnet de prêtre							
1	<i>Galium palustre</i> L., 1753	Gaillet des marais	Rubiaceae	holarctique					
	<i>Rubia peregrina</i> subsp. <i>peregrina</i> L., 1753	Garance voyageuse							
	<i>Geranium dissectum</i> L., 1755	Géranium découpé	Geraniaceae	eurasiatique					
	<i>Geranium robertianum</i> L., 1753	Géranium Herbe-à-Robert							
	<i>Teucrium scorodonia</i> L., 1753	Germandrée des bois	Lamiaceae	européen occidental					
	<i>Lathyrus pratensis</i> L., 1753	Gesse des prés	Fabaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Arum italicum</i> Mill., 1768	Gouet d'Italie							
	<i>Galium aparine</i> L., 1753	Gratteron	Rubiaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Viscum album</i> L., 1753	Gui							
	<i>Cortaderia selloana</i> (Schult. & Schult.f.) Asch. & Graebn., 1900	Herbe de la Pampa	Poaceae	introduit (Am. du sud et centrale)					
1	<i>Humulus lupulus</i> L., 1753	Houblon	Cannabaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Holcus lanatus</i> L., 1753	Houlique laineuse	Poaceae	circumboréal					
	<i>Ilex aquifolium</i> L., 1753	Houx							
1	<i>Iris pseudacorus</i> L., 1753	Iris jaune, Iris faux-Acore	Iridaceae	eurasiatique					
	<i>Lolium perenne</i> L., 1753	Ivraie vivace, Ray-grass anglais	Poaceae	circumboréal					
1	<i>Juncus articulatus</i> L., 1753	Jonc à fruits luisants	Juncaceae	circumboréal					
1	<i>Juncus acutiflorus</i> Ehrh. ex Hoffm., 1791	Jonc à tépales aigus	Juncaceae	européen méridional					

Zone Humide	Intitulé CCB	Nom scientifique	Famille	Chorologie	PN	PR	LR1	LR2	Eur
1	<i>Juncus conglomeratus</i> L., 1753	Jonc aggloméré	Juncaceae	européen					
1	<i>Juncus bulbosus</i> subsp. <i>bulbosus</i> L., 1753	Jonc couché, Jonc bulbeux	Juncaceae	européen					
1	<i>Juncus bufonius</i> L., 1753	Jonc des crapauds	Juncaceae	cosmopolite					
1	<i>Juncus effusus</i> L., 1753	Jonc épars	Juncaceae	cosmopolite					
1	<i>Juncus inflexus</i> L., 1753	Jonc glauque	Juncaceae	européen					
	<i>Juncus tenuis</i> subsp. <i>tenuis</i> Willd., 1799	Jonc grêle	Juncaceae	introduit (cosmopolite)					
1	<i>Carex pendula</i> Huds., 1762	Laïche à épis pendants	Cyperaceae	eurasiatique méridional					
1	<i>Carex otrubae</i> Podp., 1922	Laïche cuivrée	Cyperaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Carex sylvatica</i> subsp. <i>sylvatica</i> Huds., 1762	Laïche des bois	Cyperaceae	holarctique					
	<i>Carex divulsa</i> Stokes, 1787	Laïche écartée	Cyperaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Carex spicata</i> Huds., 1762	Laïche en épi	Cyperaceae	eurasiatique méridional					
1	<i>Carex pseudocyperus</i> L., 1753	Laïche faux-souchet							
	<i>Carex hirta</i> L., 1753	Laïche hérissée	Cyperaceae	eurasiatique méridional					
1	<i>Carex viridula</i> Michx., 1803	Laïche tardive	Cyperaceae	eurasiatique					
	<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill, 1769	Laiteron épineux	Asteraceae	cosmopolite					
	<i>Xanthium orientale</i> subsp. <i>orientale</i> L., 1763	Lampourde à gros fruits	Asteraceae	introduit (Amér. du nord)					
	<i>Lapsana communis</i> subsp. <i>communis</i> L., 1753	Lampsane	Asteraceae	eurasiatique septentrional					
1	<i>Lathraea clandestina</i> L., 1753	Lathrée clandestine							
	<i>Laurus nobilis</i> L., 1753	Laurier sauce							
	<i>Prunus laurocerasus</i> L., 1753	Laurier-cerise cultivé							
	<i>Prunus laurocerasus</i> L., 1753	Laurier-cerise cultivé	Rosaceae	européen oriental					
	<i>Hedera helix</i> L., 1753	Lierre	Araliaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Glechoma hederacea</i> L., 1753	Lierre terrestre							
	<i>Linum usitatissimum</i> subsp. <i>angustifolium</i> (Huds.) Thell., 1912	Lin bisannuel	Linaceae	méditerranéen(eury)-atlantique(eury)					
	<i>Kickxia elatine</i> subsp. <i>elatine</i> (L.) Dumort., 1827	Linaire élatine	Plantaginaceae	méditerranéen(eury)-atlantique(eury)					
1	<i>Convolvulus sepium</i> L., 1753	Liseron des haies	Convolvulaceae	cosmopolite					
1	<i>Lotus pedunculatus</i> Cav., 1793	Lotier des fanges	Fabaceae	eurasiatique					
	<i>Lotus angustissimus</i> L., 1753	Lotier très étroit, Lotier grêle	Fabaceae	eurasiatique méridional		x			
	<i>Lotus hispidus</i> Desf. ex DC., 1805	Lotier très étroit, Lotier velu	Fabaceae	méditerranéen occidental		x			
	<i>Medicago arabica</i> (L.) Huds., 1762	Luzerne tachée	Fabaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Luzula sylvatica</i> subsp. <i>sylvatica</i> (Huds.) Gaudin, 1811	Luzule des forêts							
1	<i>Lycopus europaeus</i> var. <i>europaeus</i> L., 1753	Lycophe d'Europe							
1	<i>Lysimachia vulgaris</i> L., 1753	Lysimaque commune	Primulaceae	eurasiatique					
	<i>Zea mays</i> L., 1753	Mais cultivé	Poaceae	introduit (Amér. du sud)					
1	<i>Mentha suaveolens</i> subsp. <i>suaveolens</i> Ehrh., 1792	Menthe à feuilles rondes	Lamiaceae	méditerranéen-atlantique					
1	<i>Mentha aquatica</i> L., 1753	Menthe aquatique	Lamiaceae	européen					
	<i>Mercurialis perennis</i> L., 1753	Mercuriale pérenne							
	<i>Prunus avium</i> var. <i>avium</i> (L.) L., 1755	Merisier sauvage	Rosaceae	eurasiatique méridional					
1	<i>Hypericum androsaemum</i> L., 1753	Millepertuis androsème	Hypericaceae	méditerranéen-atlantique					
1	<i>Hypericum humifusum</i> L., 1753	Millepertuis couché	Hypericaceae	cosmopolite					
1	<i>Solanum dulcamara</i> L., 1753	Morelle douce-amère	Solanaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Solanum nigrum</i> L., 1753	Morelle noire	Solanaceae	cosmopolite					
	<i>Lysimachia arvensis</i> (L.) U.Manns & Anderb., 2009	Mouron rouge	Primulaceae	cosmopolite					
1	<i>Myosotis laxa</i> subsp. <i>cespitosa</i> (Schultz) Hyl. ex Nordh., 1940	Myosotis cespiteux	Boraginaceae	eurasiatique					
	<i>Corylus avellana</i> L., 1753	Noisetier, Coudrier							
	<i>Corylus avellana</i> L., 1753	Noisetier, Coudrier	Betulaceae	eurasiatique					

Zone Humide	Intitulé CCB	Nom scientifique	Famille	Chorologie	PN	PR	LR1	LR2	Eur
	Dianthus armeria L., 1753	Œillet velu, Armoirie	Caryophyllaceae	européen					
1	Oenanthe silaifolia M.Bieb., 1819	Oenanthe à feuilles de silaüs	Apiaceae	méditerranéen-atlantique		x			
	Oenanthe pimpinelloides L., 1753	Oenanthe faux-Boucage	Apiaceae	méditerranéen-atlantique					
1	Oenanthe crocata L., 1753	Oenanthe safranée	Apiaceae	atlantique					
	Oenothera glazioviana Micheli, 1875	Onagre à sépales rouges	Onagraceae	européen					
	Urtica dioica subsp. dioica L., 1753	Ortie							
	Rumex acetosa L., 1753	Oseille	Polygonaceae	holarctique					
	Echinochloa crus-galli (L.) P.Beauv., 1812	Panisse pied de coq	Poaceae	cosmopolite(thermo)					
	Bellis perennis L., 1753	Pâquerette	Asteraceae	européen					
1	Paspalum distichum L., 1759	Paspale à deux épis	Poaceae	introduit (Amér. du nord)					
	Paspalum dilatatum Poir., 1804	Paspale dilaté	Poaceae	introduit (Amér. du sud)					
1	Rumex conglomeratus Murray, 1770	Patience agglomérée	Polygonaceae	eurasiatique tempéré					
	Rumex sanguineus L., 1753	Patience sanguine	Polygonaceae	eurasiatique					
	Poa annua L., 1753	Pâturin annuel	Poaceae	cosmopolite					
	Poa trivialis L., 1753	Pâturin commun	Poaceae	holarctique					
	Persicaria maculosa Gray, 1821	Persicaire	Polygonaceae	cosmopolite					
	Ruscus aculeatus L., 1753	Petit houx, Fragon							
	Ulmus minor Mill., 1768 (a)	Petit orme							
	Ulmus minor Mill., 1768	Petit orme	Ulmaceae	européen					
	Briza minor L., 1753	Petite Amourette	Poaceae	méditerranéen-atlantique					
	Centaurium erythraea var. erythraea	Petite Centaurée commune	Gentianaceae	eurasiatique					
1	Populus alba L., 1753	Peuplier blanc	Salicaceae	européen méridional					
	Populus x canadensis Moench, 1785	Peuplier du Canada	Salicaceae						
	Pinus pinaster subsp. pinaster Aiton, 1789	Pin maritime	Pinaceae	atlantique					
	Plantago major subsp. major L., 1753	Plantain à larges feuilles	Plantaginaceae	eurasiatique					
	Plantago coronopus subsp. coronopus L., 1753	Plantain corne-de-bœuf	Plantaginaceae	eurasiatique					
1	Alisma lanceolatum With., 1796	Plantain d'eau à feuilles lancéolées	Alismataceae	eurasiatique méridional					
	Plantago lanceolata L., 1753	Plantain lancéolé	Plantaginaceae	eurasiatique					
	Platanus x hispanica Mill. ex Münchh., 1770	Platane	Platanaceae	introduit (médit. et Asie occ.)					
1	Persicaria hydropiper (L.) Spach, 1841	Poivre d'eau	Polygonaceae	holarctique					
	Polypodium interjectum Shivas, 1961	Polypode intermédiaire							
1	Polygonum monspeliensis (L.) Desf., 1798	Polygonum de Montpellier	Poaceae	subtropical(paléo)					
	Polystichum setiferum (Forssk.) T.Moore ex Woyn., 1913	Polystic à soies	Dryopteridaceae	méditerranéen(eury)-atlantique(eury)					
	Hypochaeris radicata L., 1753	Porcelle enracinée	Asteraceae	européen méridional					
	Potentilla reptans L., 1753	Potentille rampante	Rosaceae	eurasiatique					
	Portulaca oleracea L., 1753	Pourpier	Portulacaceae						
	Portulaca oleracea L., 1753	Pourpier	Portulacaceae	cosmopolite					
1	Equisetum telmateia Ehrh., 1783	Prêle élevée, Grande Prêle	Equisetaceae	eurasiatique méridional					
	Primula vulgaris subsp. vulgaris Huds., 1762	Primevère acaule							
	Prunus spinosa L., 1753	Prunellier, Epine noire	Rosaceae	eurasiatique					
1	Pulicaria dysenterica (L.) Bernh., 1800	Pulicaire dysentérique	Asteraceae	européen méridional					
	Phytolacca americana L., 1753	Raisin d'Amérique	Phytolaccaceae	introduit (Amér. du nord)					
1	Filipendula ulmaria (L.) Maxim., 1879	Reine-des-prés	Rosaceae	eurasiatique					
	Ranunculus acris L., 1753	Renoncule âcre, Bouton d'or	Ranunculaceae	circumboréal					
1	Ranunculus repens L., 1753	Renoncule rampante	Ranunculaceae	holarctique					
1	Ranunculus sardous f. sardous	Renoncule sarde	Ranunculaceae	eurasiatique méridional					
	Polygonum aviculare L., 1753	Renouée des oiseaux	Polygonaceae	cosmopolite					
	Robinia pseudoacacia L., 1753 (A)	Robinier faux-Acacia							

Zone Humide	Intitulé CCB	Nom scientifique	Famille	Chorologie	PN	PR	LR1	LR2	Eur
	<i>Robinia pseudoacacia</i> L., 1753	Robinier faux-Acacia	Fabaceae	introduit (Amér. du nord or.)					
	<i>Rubus</i> sp	Ronce							
	<i>Sherardia arvensis</i> L., 1753	Rubéole des champs	Rubiaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Moehringia trinervia</i> (L.) Clairv., 1811	Sabline à trois nervures	Caryophyllaceae	eurasiatique méridional					
1	<i>Lythrum salicaria</i> L., 1753	Salicaire	Lythraceae	eurasiatique					
1	<i>Lythrum hyssopifolia</i> L., 1753	Salicaire à feuilles d'Hysope	Lythraceae	eurasiatique					
1	<i>Samolus valerandi</i> L., 1753	Samole de Valerand	Primulaceae	cosmopolite					
	<i>Sanicula europaea</i> L., 1753	Sanicle d'Europe							
	<i>Salix caprea</i> L., 1753 (a)	Saule marsault							
	<i>Salix caprea</i> L., 1753	Saule marsault	Salicaceae	eurasiatique					
1	<i>Salix atrocinerea</i> Brot., 1804	Saule roux	Salicaceae	européen méridional					
1	<i>Isolepis setacea</i> (L.) R.Br., 1810	Scirpe sétacé	Cyperaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Asplenium scolopendrium</i> L., 1753	Scolopendre langue de cerf	Aspleniaceae	eurasiatique méridional					
1	<i>Scrophularia auriculata</i> L., 1753	Scrofulaire aquatique	Scrophulariaceae	méditerranéen(eury)-atlantique(eury)				x	
	<i>Senecio vulgaris</i> L., 1753	Séneçon commun	Asteraceae	cosmopolite					
	<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem. & Schult., 1817	Sétaire glauque	Poaceae	cosmopolite(thermo)					
1	<i>Lychnis flos-cuculi</i> subsp. <i>flos-cuculi</i> L., 1753	Silène fleur-de-coucou	Caryophyllaceae	eurasiatique					
1	<i>Cyperus badius</i> Desf., 1798	Souchet bai	Cyperaceae	subtropical(paléo)					
1	<i>Cyperus longus</i> L., 1753	Souchet long, Souchet odorant	Cyperaceae	subtropical(paléo)					
1	<i>Cyperus eragrostis</i> Lam., 1791	Souchet vigoureux	Cyperaceae	introduit (Amér. tropicale)					
	<i>Spergula rubra</i> (L.) D.Dietr., 1840	Spergulaire rouge, Sabline rouge	Caryophyllaceae	eurasiatique					
	<i>Sporobolus indicus</i> (L.) R.Br., 1810	Sporobole fertile, Sporobole tenace	Poaceae	invasif (Asie mérid.)					
	<i>Stellaria graminea</i> L., 1753	Stellaire graminée	Caryophyllaceae	eurasiatique					
	<i>Sambucus nigra</i> L., 1753 (a)	Sureau noir							
	<i>Sambucus nigra</i> L., 1753	Sureau noir	Adoxaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Dioscorea communis</i> (L.) Caddick & Wilkin, 2002	Tamier, Herbe aux femmes battues	Dioscoreaceae	méditerranéen-atlantique					
	<i>Trifolium repens</i> var. <i>repens</i> L., 1753	Trèfle blanc, Trèfle rampant	Fabaceae	eurasiatique					
	<i>Trifolium pratense</i> L., 1753	Trèfle des prés	Fabaceae	eurasiatique					
	<i>Trifolium dubium</i> Sibth., 1794	Trèfle douteux	Fabaceae	cosmopolite					
	<i>Populus</i> sp	Tremble	Salicaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Ligustrum vulgare</i> L., 1753	Troène							
	<i>Ligustrum ovalifolium</i> Hassk., 1844 (a)	Troène à feuilles ovales cultivé							
1	<i>Veronica beccabunga</i> subsp. <i>beccabunga</i> L., 1753	Véronique beccabunga	Plantaginaceae	circumboréal					
	<i>Veronica arvensis</i> L., 1753	Véronique des champs	Plantaginaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Veronica chamaedrys</i> var. <i>chamaedrys</i> L., 1753	Véronique petit chêne	Plantaginaceae	eurasiatique					
	<i>Ervum tetraspermum</i> L., 1753	Vesce à quatre graines	Fabaceae	eurasiatique méridional					
	<i>Vicia sativa</i> L., 1753	Vesce cultivée	Fabaceae	européen méridional					
	<i>Vicia segetalis</i> Thuill., 1799	Vesce cultivée ??	Fabaceae						
	<i>Vulpia myuros</i> (L.) C.C.Gmel., 1805	Vulpie queue-de-rat	Poaceae	cosmopolite					
	<i>Zantedeschia aethiopica</i> (L.) Spreng. [1826]								

Annexe 2 : tableau phytosociologique des relevés

Zone Humide	Intitulé CCB	Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources (rivulaires)	Chénais aquitano-ligériennes sur sols lessivés ou acides	Prairies humides atlantiques et subatlantiques * (Communautés naines à Juncus bufonius)	Bordures à Calamagrostis des eaux courantes * Communautés à Reine des prés et communautés associées	Prairies de fauche des plaines médio-européennes	Communautés naines à Juncus bufonius	Zones rudérales	Plantations de Robiniers	Grandes cultures	Prairies de fauche des plaines médio-européennes * (Prairies humides atlantiques et subatlantiques)	Prairies humides atlantiques et subatlantiques
ZH	Code CCB	44.31	41.55	37.21 * (22.323)	53.4 * 37.1	39.22	22.323	87.2	83.324	82.11	38.22 * (37.21)	37.21
	STRATE ARBOREE	80%	80%									
	Acer campestre L., 1753 (A)	1										
1	Alnus glutinosa (L.) Gaertn., 1790 (A)	3										
	Castanea sativa Mill., 1768		3									
	Quercus robur L., 1753 (A)	2	3									
	Robinia pseudoacacia L., 1753 (A)	1	3									
	Ulex europaeus L., 1753 (A)	r										
	STRATE ARBUSTIVE	25%	70%									
	Cornus sanguinea subsp. sanguinea L., 1753 (a)	2	1									
	Corylus avellana L., 1753		3									
	Crataegus monogyna Jacq., 1775		2									
	Euonymus europaeus L., 1753 (a)	1										
	Ilex aquifolium L., 1753		r									
	Ligustrum ovalifolium Hassk., 1844 (a)	r										
	Myosotis laxa subsp. cespitosa (Schultz) Hyl. ex Nordh., 1940		r									
	Prunus laurocerasus L., 1753		2									
	Quercus robur L., 1753 (a)	r										
	Robinia pseudoacacia L., 1753 (a)	1	1									
	Salix caprea L., 1753 (a)	1	r									
	Sambucus nigra L., 1753 (a)	1										
	Sorbus torminalis (L.) Crantz, 1763		r									
	Ulmus minor Mill., 1768 (a)	1										
	STRATE HERBACEE	100%	80%	100%	100%	100%	60%	50%	30%	70%	100%	100%
	Dioscorea communis (L.) Caddick & Wilkin, 2002	1	1						1			
	Pteridium aquilinum subsp. aquilinum (L.) Kuhn, 1879	2	r									
	Hedera helix L., 1753	4	4						1			
	Polystichum setiferum (Forssk.) T.Moore ex Woyn., 1913	+	r						1			
1	Hypericum androsaemum L., 1753	+	r						r			

ZH	Code CCB	Zone Humide										
Code CCB		Intitulé CCB										
Code CCB		Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources (rivulaires)	Chênaies aquitano-ligériennes sur sols lessivés ou acides	Prairies humides atlantiques et subatlantiques * (Communautés naines à Juncus bufonius)	Bordures à Calamagrostis des eaux courantes * Communautés à Reine des prés et communautés associées	Prairies de fauche des plaines médio-européennes	Communautés naines à Juncus bufonius	Zones rudérales	Plantations de Robiniers	Grandes cultures	Prairies de fauche des plaines médio-européennes * (Prairies humides atlantiques et subatlantiques)	Prairies humides atlantiques et subatlantiques
Code CCB		44.31	41.55	37.21 * (22.323)	53.4 * 37.1	38.22	22.323	87.2	83.324	82.11	38.22 * (37.21)	37.21
	Asphodelus albus Mill., 1768	+	r									
	Potentilla reptans L., 1753	+		+		+					1	
1	Eupatorium cannabinum subsp. cannabinum L., 1753	+		+			+					
1	Equisetum telmateia Ehrh., 1783	+		+								
1	Carex pendula Huds., 1762	+			r		1		1			
1	Myosotis laxa subsp. cespitosa (Schultz) Hyl. ex Nordh., 1940	+							1		+	
	Arum italicum Mill., 1768	+							r			
	Plantago major subsp. major L., 1753	+										r
	Athyrium filix-femina (L.) Roth, 1799	+										
1	Carex pseudocyperus L., 1753	+										
	Clematis vitalba L., 1753	+										
	Geranium robertianum L., 1753	+										
	Glechoma hederacea L., 1753	+										
1	Iris pseudacorus L., 1753	+										
	Ligustrum vulgare L., 1753	+										
1	Lycopus europaeus var. europaeus L., 1753	+										
	Primula vulgaris subsp. vulgaris Huds., 1762	+										
	Rubia peregrina subsp. peregrina L., 1753	+										
	Symphytum tuberosum subsp. tuberosum L., 1753	+										
	Urtica dioica subsp. dioica L., 1753	+										
	Viscum album L., 1753	+										
	Crataegus monogyna Jacq., 1775	r	2									
	Ruscus aculeatus L., 1753	r	3						1			
	Brachypodium sylvaticum (Huds.) P.Beauv., 1812	r	r									
	Castanea sativa Mill., 1768	r	r									
	Euphorbia amygdaloides subsp. amygdaloides L., 1753	r	r									
	Ilex aquifolium L., 1753	r	r									
1	Angelica sylvestris subsp. sylvestris L., 1753	r			2							
1	Oenanthe crocata L., 1753	r			4						1	r

ZH	Code CCB	Zone Humide	Intitulé CCB	Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources (rivulaires)	Chênaies aquitano-ligériennes sur sols lessivés ou acides	Prairies humides atlantiques et subatlantiques * (Communautés naines à Juncus bufonius)	Bordures à Calamagrostis des eaux courantes * Communautés à Reine des prés et communautés associées	Prairies de fauche des plaines médio-européennes	Communautés naines à Juncus bufonius	Zones rudérales	Plantations de Robiniers	Grandes cultures	Prairies de fauche des plaines médio-européennes * (Prairies humides atlantiques et subatlantiques)	Prairies humides atlantiques et subatlantiques
				44.31	41.55	37.21 * (22.323)	53.4 * 37.1	38.22	22.323	87.2	83.324	82.11	38.22 * (37.21)	37.21
			<i>Ervum tetraspermum</i> L., 1753	r				+					r	
			<i>Corylus avellana</i> L., 1753	r							r			
			<i>Galium aparine</i> L., 1753	r										
1			<i>Lathraea clandestina</i> L., 1753	r										
			<i>Laurus nobilis</i> L., 1753	r										
			<i>Lonicera xylosteum</i> L., 1753	r										
			<i>Luzula sylvatica</i> subsp. <i>sylvatica</i> (Huds.) Gaudin, 1811	r										
			<i>Mercurialis perennis</i> L., 1753	r										
			<i>Polypodium interjectum</i> Shivas, 1961	r										
			<i>Stachys sylvatica</i> L., 1753	r										
			<i>Acer campestre</i> L., 1753	r juv										
			<i>Sanicula europaea</i> L., 1753		1									
			<i>Rubus</i> sp		+									1
			<i>Robinia pseudoacacia</i> L., 1753		r						2 juv			
			<i>Cornus sanguinea</i> subsp. <i>sanguinea</i> L., 1753		r									r juv
			<i>Quercus robur</i> L., 1753		r									r juv
			<i>Sorbus torminalis</i> (L.) Crantz, 1763		r									
1			<i>Convolvulus sepium</i> L., 1753			1		+						
			<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill, 1769			1		+						
			<i>Lotus hispidus</i> Desf. ex DC., 1805			1			2					
			<i>Geranium dissectum</i> L., 1755			1							1	
			<i>Lotus angustissimus</i> L., 1753			1								
1			<i>Pulicaria dysenterica</i> (L.) Bernh., 1800			1								
			<i>Dactylis glomerata</i> subsp. <i>glomerata</i> L., 1753			2		3		+			1	
			<i>Anthoxanthum odoratum</i> L., 1753			2		3					3	3
			<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P.Beauv. ex J.Presl & C.Presl, 1819					2						
			<i>Schedonorus pratensis</i> (Huds.) P.Beauv., 1812			2		3					3	
1			<i>Juncus bufonius</i> L., 1753			2			4					
1			<i>Paspalum distichum</i> L., 1759			2						r		
1			<i>Agrostis stolonifera</i> L., 1753			2								1
			<i>Holcus lanatus</i> L., 1753			3		2					3	4

Zone Humide	Intitulé CCB	Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources (rivulaires)	Chênaies aquitano-ligériennes sur sols lessivés ou acides	Prairies humides atlantiques et subatlantiques * (Communautés naines à Juncus bufonius)	Bordures à Calamagrostis des eaux courantes * Communautés à Reine des prés et communautés associées	Prairies de fauche des plaines médio-européennes	Communautés naines à Juncus bufonius	Zones rudérales	Plantations de Robiniers	Grandes cultures	Prairies de fauche des plaines médio-européennes * (Prairies humides atlantiques et subatlantiques)	Prairies humides atlantiques et subatlantiques
ZH	Code CCB	44.31	41.55	37.21 * (22.323)	53.4 * 37.1	38.22	22.323	87.2	83.324	82.11	38.22 * (37.21)	37.21
	Hypochaeris radicata L., 1753			3		2						
1	Juncus conglomeratus L., 1753			3							1	1
1	Isolepis setacea (L.) R.Br., 1810			3								
	Poa annua L., 1753			+		+		1				
	Trifolium pratense L., 1753			+		+		r			2	1
1	Lotus pedunculatus Cav., 1793			+		+					1	
1	Mentha suaveolens subsp. suaveolens Ehrh., 1792			+		+					+	1
	Cerastium glomeratum Thuill., 1799			+		+					+	
	Veronica arvensis L., 1753			+		+						
1	Cirsium palustre (L.) Scop., 1772			+					r			1
1	Juncus acutiflorus Ehrh. ex Hoffm., 1791			+							1	
	Bellis perennis L., 1753			+								
	Geum urbanum L., 1753			+								
1	Hypericum humifusum L., 1753			+								
1	Juncus bulbosus subsp. bulbosus L., 1753			+								
	Poa trivialis L., 1753			+								
1	Ranunculus repens L., 1753			+								
	Rumex sanguineus L., 1753			+								
	Vicia segetalis Thuill., 1799			+								
1	Alnus glutinosa (L.) Gaertn., 1790			r					r juv			
1	Juncus inflexus L., 1753			r							1	
1	Lychnis flos-cuculi subsp. flos-cuculi L., 1753			r							r	1
1	Populus alba L., 1753			r								
	Salix caprea L., 1753			r								
	Ulex europaeus L., 1753			r								
1	Filipendula ulmaria (L.) Maxim., 1879					1						
1	Helosciadium nodiflorum (L.) W.D.J.Koch, 1824					2						
1	Nasturtium officinale var. officinale W.T.Aiton, 1812					2						
	Carex spicata Huds., 1762					+						
1	Mentha aquatica L., 1753					+						

ZH	Code CCB	Zone Humide	Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources (rivulaires)	Chênaies aquitano-ligériennes sur sols lessivés ou acides	Prairies humides atlantiques et subatlantiques * (Communautés naines à Juncus bufonius)	Bordures à Calamagrostis des eaux courantes * Communautés à Reine des prés et communautés associées	Prairies de fauche des plaines médio-européennes	Communautés naines à Juncus bufonius	Zones rudérales	Plantations de Robiniers	Grandes cultures	Prairies de fauche des plaines médio-européennes * (Prairies humides atlantiques et subatlantiques)	Prairies humides atlantiques et subatlantiques
		Intitulé CCB											
	44.31												
	41.55												
	37.21 * (22.323)												
	53.4 * 37.1												
	38.22												
	22.323												
	87.2												
	83.324												
	82.11												
	38.22 * (37.21)												
	37.21												
1		<i>Phalaris arundinacea</i> subsp. <i>arundinacea</i> L., 1753				r						r	
		<i>Linum usitatissimum</i> subsp. <i>angustifolium</i> (Huds.) Thell., 1912					1					+	
		<i>Trifolium dubium</i> Sibth., 1794					+	r	r			r	
		<i>Plantago lanceolata</i> L., 1753					+		+			2	
		<i>Stellaria graminea</i> L., 1753					+					1	1
		<i>Rumex acetosa</i> L., 1753					+					2	
		<i>Trifolium repens</i> var. <i>repens</i> L., 1753					+					2	
		<i>Achillea millefolium</i> L., 1753					+						
		<i>Bromus secalinus</i> L., 1753					+						
		<i>Daucus carota</i> subsp. <i>carota</i> L., 1753					+						
		<i>Ranunculus acris</i> L., 1753					+						
		<i>Vicia sativa</i> L., 1753					+						
		<i>Centaurea decipiens</i> subsp. <i>decipiens</i> Thuill., 1799						r				2	
		<i>Cortaderia selloana</i> (Schult. & Schult.f.) Asch. & Graebn., 1900						r					
1		<i>Ranunculus sardous</i> f. <i>sardous</i>						r					
1		<i>Salix atrocinerea</i> Brot., 1804						r					
		<i>Plantago coronopus</i> subsp. <i>coronopus</i> L., 1753							1	1			
1		<i>Juncus articulatus</i> L., 1753							1				r
1		<i>Polypogon monspeliensis</i> (L.) Desf., 1798							2				
		<i>Spergula rubra</i> (L.) D.Dietr., 1840							2				
		<i>Briza minor</i> L., 1753							+				
		<i>Juncus tenuis</i> subsp. <i>tenuis</i> Willd., 1799							+				
		<i>Medicago arabica</i> (L.) Huds., 1762							r	+			
1		<i>Carex viridula</i> Michx., 1803							r				
		<i>Chenopodium album</i> L., 1753							r				
1		<i>Juncus effusus</i> L., 1753							r				
		<i>Lysimachia arvensis</i> (L.) U.Manns & Anderb., 2009							r				
1		<i>Samolus valerandi</i> L., 1753							r				

Zone Humide	Intitulé CCB	Forêts de Frênes et d'Aulnes des ruisselets et des sources (rivulaires)	Chênaies aquitano-ligériennes sur sols lessivés ou acides	Prairies humides atlantiques et subatlantiques * (Communautés naines à Juncus bufonius)	Bordures à Calamagrostis des eaux courantes * Communautés à Reine des prés et communautés associées	Prairies de fauche des plaines méditerranéennes	Communautés naines à Juncus bufonius	Zones rudérales	Plantations de Robiniers	Grandes cultures	Prairies de fauche des plaines méditerranéennes * (Prairies humides atlantiques et subatlantiques)	Prairies humides atlantiques et subatlantiques
ZH	Code CCB	44.31	41.55	37.21 * (22.323)	53.4 * 37.1	38.22	22.323	87.2	83.324	82.11	38.22 * (37.21)	37.21
	<i>Sporobolus indicus</i> (L.) R.Br., 1810							2				
	<i>Paspalum dilatatum</i> Poir., 1804							3				
	<i>Eleusine tristachya</i> (Lam.) Lam., 1792							+				
1	<i>Humulus lupulus</i> L., 1753								1			
	<i>Carex sylvatica</i> subsp. <i>sylvatica</i> Huds., 1762								r			
	<i>Sambucus nigra</i> L., 1753								r			
	<i>Zea mays</i> L., 1753									4		
	<i>Oenanthe pimpinelloides</i> L., 1753										1	
	<i>Bromus hordeaceus</i> L., 1753										+	
	<i>Carex divulsa</i> Stokes, 1787										+	
	<i>Populus</i> sp											1
	<i>Phleum pratense</i> L., 1753											3
	<i>Schedonorus arundinaceus</i> (Schreb.) Dumort., 1824											3
1	<i>Cyperus eragrostis</i> Lam., 1791											+
	<i>Lathyrus pratensis</i> L., 1753											+
	<i>Prunella vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i> L., 1753											+
	<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten., 1838											r
1	<i>Oenanthe silaifolia</i> M.Bieb., 1819											r
1	<i>Solanum dulcamara</i> L., 1753											r
	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.Beauv., 1812									r		
1	<i>Lysimachia vulgaris</i> L., 1753				1							
	<i>Polygonum aviculare</i> L., 1753									r		
	<i>Solanum nigrum</i> L., 1753									r		