

RAPPORT D'ÉTUDE N° DSC-13-139996-10787A

28/10/2013

Tierce expertise du bilan intermédiaire d'exploitation du pilote d'injection de CO_2 à Rousse.

Impact environnemental et sélection des scénarios de risque



Tierce expertise du bilan intermédiaire d'exploitation du pilote d'injection de CO₂ à Rousse.

Impact environnemental et sélection des scénarios de risque

Site de Rousse, Gan 64

Client: TEPF

<u>Liste des personnes ayant participé à l'étude</u> : N. Pucheux, S. Chaumette, P. Gombert, S. Lafortune, A. Thoraval

PREAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation	
NOM	R. FARRET	S. BODIN	D. CHARPENTIER	
Qualité	Chef de Projet transversal « Stockage de CO _{2 »} Direction des Risques du Sol et du Sous-sol	Déléguée Tierce Expertise au Pôle Certification de la Direction des Services aux entreprises et de la Certification	Responsable du Pôle Certification à la Direction des Services aux Entreprises et de la Certification	
Visa	4.5	200 in the second	D Mys	

TABLE DES MATIERES

1. INTRO	DUCTION	.5
2. IMPAC	T DES OPERATIONS D'INJECTION	.7
2.1 Impa	act sur les eaux de surface	.7
2.1.1 Pri	ncipaux résultats présentés par TEPF	7
2.1.1.1	Introduction	7
2.1.1.2	Suivi des paramètres physicochimiques et l'interprétation de se résultats	
2.1.1.3	Suivi des paramètres biologiques l'évaluation de ses résultats	8
2.1.1.4	Conclusion du document	9
2.1.2 Avi	is de l'INERIS	9
2.1.2.1	Avis sur les résultats et l'interprétation des paramètre physicochimiques	
2.1.2.2	Avis sur les résultats et l'interprétation des paramètres biologiques . 1	0
2.1.2.3	Conclusion et recommandations	1
2.2 Impa	act sur les eaux souterraines1	12
2.2.1 Pri	ncipaux résultats présentés par TEPF1	2
2.2.2 Avi	is de l'INERIS1	3
2.2.2.1	Avis sur l'interprétation des résultats 1	3
2.2.2.2	Avis sur les causes possibles1	6
2.2.2.3	Conclusion et recommandations	9
2.3 impa	act sur le patrimoine faunistique et floristique naturel du site2	20
2.3.1 Pri	ncipaux résultats présentés par TEPF2	20
2.3.1.1	Introduction	20
2.3.1.2	Description des opérations de suivi pour la flore	20
2.3.1.3	Description des opérations de suivi pour les amphibiens	21
2.3.1.4	Description des opérations de suivi pour les insectes	21
2.3.1.5	Conclusion du document	21
2.3.2 Avi	is de l'INERIS2	22
2.3.2.1	Point d'alerte concernant la méthode suivie	22
2.3.2.2	Avis sur la validité des résultats et l'interprétation concernant la flore2	22
2.3.2.3	Avis sur les résultats et l'interprétation concernant les amphibiens 2	22
2.3.2.4	Avis sur les résultats et l'interprétation concernant Les insectes 2	23
2.3.2.5	Conclusion et recommandations sur le suivi du biotope	27

3. CHOIX DE SCENARIOS RETENUS ET LEUR ESTIMATION	29
3.1 Méthode d'analyse des risques et Retour d'expérience concernant le souterrain	
3.1.1 retour d'expérience et Scenarios présentés par TEPF	29
3.1.2 Avis de l'INERIS	30
3.1.2.1 Avis sur la méthode utilisée	30
3.1.2.2 Avis sur le retour d'expérience	32
3.2 Scénarios modélises en milieu souterrain	34
3.2.1 Avis de l'INERIS sur les phénomènes mécaniques pris en compte	34
3.2.2 Avis de l'INERIS sur les phénomènes de transport et de fuite procession compte	
3.2.2.1 Avis de l'INERIS sur le scénario identifié et modélisé p communication avec l'aquifère de Lasseube	
3.2.2.2 Avis de l'INERIS sur les autres scénarios de transfert de fluides CO ₂	
3.3 Lien avec les installations de surface	40
3.3.1 Scénario présentés par TEPF	40
3.3.2 Avis de l'INERIS sur le scénario	40
3.4 Conclusion sur les scénarios retenus	40
4. RECOMMANDATIONS CONCERNANT LA SURVEILLANCE	43
5. CONCLUSION	45
E LISTE DES ANNEVES	47

1. INTRODUCTION

L'exploitation du pilote de stockage de CO₂ à Rousse a cessé le 15 mars 2013 et une période de surveillance minimale de 3 ans a démarré, conformément à l'arrête préfectoral d'autorisation. Dans ce cadre, suite à la demande de la DREAL Aquitaine, la société TEPF a sollicité l'INERIS pour la réalisation de la tierce-expertise du dossier qui effectue le bilan intermédiaire de l'opération à la fin de la période d'injection. Il s'agit du document « Bilan intermédiaire d'exploitation du pilote », réf. EP/ECA/TEPF/DO/Pilote CO₂, divisé en 5 chapitres et contenant 5 annexes, qui a été remis à l'INERIS le 17 juin 2013.

L'INERIS a fait part, par courriel en date du 2 juillet 2013, de son besoin d'éléments complémentaires, que TEPF a fournis par la suite : la liste complète de ces éléments, leur référence exacte et leur date de transmission figure en annexe 1.

Une réunion de lancement a eu lieu le 17 juin 2013 à Lacq, en présence de la DREAL, de TEPF et des tiers-experts. Au cours de cette réunion, le contenu de la tierce-expertise a été fixé ainsi que le planning de réalisation. Le courrier de la DREAL Aquitaine du 2 avril 2013 à l'attention de TEPF fixe le cadre de l'expertise en ciblant 4 points du dossier précité, dont deux sont traités par l'INERIS dans le présent rapport. Il s'agit de :

• L'absence d'effet mesurable sur l'environnement des opérations d'injection (question 1 du courrier de la DREAL).

A cet effet, l'INERIS a expertisé l'impact des opérations d'injection, au regard des résultats de surveillance acquis, sur les milieux (ou enjeux) suivants : eaux de surface, eaux souterraines, faune et flore.

De plus, l'INERIS a analysé les mesures effectuées avant l'injection (état initial) puis durant l'injection, en vérifiant si les informations fournies sont suffisantes pour conclure ou non à l'absence d'effet mesurable à ce jour et si les interprétations qui en sont faites par TEPF au vu des éléments fournis sont confirmées.

Ce point est traité au chapitre 2 du présent rapport.

• Le choix des scénarios, au vu de l'accidentologie récente (question 3 du courrier de la DREAL).

A cet effet, l'INERIS a expertisé le choix des scénarios de risque retenus par TEPF dans son dossier, au vu de l'état de l'art et du retour d'expérience acquis à ce jour.

Pour les scénarios pouvant a priori occasionner un impact en-dehors du réservoir géologique (y compris le scénario de fuite de l'aquifère Lasseube vers le réservoir via le puits), l'INERIS a vérifié les phénomènes considérés ainsi que la validité des hypothèses, données d'entrée retenues et des interprétations faites par TEPF au vu des éléments fournis.

Ce point est traité au chapitre 3 du présent rapport.

Les deux autres points (questions 2 et 4 du courrier de la DREAL) sont soumis parallèlement à d'autres tiers-experts. Il est à noter que :

- Dans la continuité de l'expertise explicitée ci-dessus, l'INERIS a apporté sa contribution aux recommandations pour la surveillance à venir (question 4 du courrier de la DREAL) : ce point est traité au chapitre 4 du présent rapport.
- Le volet « gaz » est exclu de la présente expertise car l'INERIS est intervenu pour le compte de TEPF sur ce même sujet.

La présente tierce expertise est réalisée en s'appuyant :

- sur la réglementation applicable à la date des documents objets de l'analyse, en particulier les articles L229-27 à 31 du code de l'environnement, la Directive, européenne 2009/31/EC et sa transcription en doit français;
- sur les « Lignes de conduite pour la sécurité d'un site de stockage géologique de CO2 » (Bouc O., Fabriol H., Brosse E., Kalaydjian F., Farret R., Gombert Ph., Berest P., Lagneau V., Pereira JM., Fen-Chong T. (2011). BRGM/RP-60369-FR, 154 p.);
- sur les publications et travaux de recherche réalisés par l'INERIS, en particulier les deux derniers rapports publiés en 2012 et 2013, ainsi que les publications sur le sujet du CSC, connues des experts de l'INERIS participant à la prestation.

Les principales références documentaires utilisées par l'INERIS pour rendre ces avis sont :

- [1] Bilan intermédiaire d'exploitation du pilote, réf. EP/ECA/TEPF/DO/Pilote CO₂ comprenant 5 chapitres et 5 annexes.
- [2] Documents transmis lors de l'étude, listés en annexe 1 et référencés (a) à (s) dans ce qui suit.

2. IMPACT DES OPERATIONS D'INJECTION

2.1 IMPACT SUR LES EAUX DE SURFACE

Sections expertisées par l'INERIS dans le dossier initial :Chap.4 (Etude d'impact) - section 8

Documents complémentaires expertisés : (a), (b), (c) (références détaillées en annexe 1)

2.1.1 PRINCIPAUX RESULTATS PRESENTES PAR TEPF

La partie du rapport d'étude de TEPF [1] concernant l'hydrographie et l'étude de l'impact des injections de CO₂ sur les eaux de surface commence en définissant le cadre, les caractéristiques hydrologiques locales et les différents cours d'eau de la région. L'évaluation de l'impact se compose ensuite de deux parties :

- le suivi des paramètres physicochimiques et l'interprétation de ses résultats,
- le suivi des paramètres biologiques son interprétation.

Le dernier chapitre rappelle les objectifs de Gestion de la Ressource en Eau dans la région dans le contexte du SDAGE et du SAGE.

2.1.1.1 Introduction

Le site de Rousse est implanté au sud-ouest de Pau, un relief vallonné drainé par de petits cours d'eau qui coulent vers le nord. Ces cours d'eau confluent avec le Hiès qui rejoint ensuite le gave de Pau à quelques kilomètres au nord-est du site où s'effectuent les injections de CO₂.

Le choix et la localisation des stations de prélèvement ont été établis pendant la définition de l'état de référence de 2009. R1 et R2 sont deux stations situées de part et d'autre du site d'étude sur le cours d'eau appelé l'Arribeu. La station R3 est un cours d'eau (Ollé Laprune) non permanent situé au nord-ouest du site. R5 est située loin en aval du site, proche de la confluence de l'Arribeu et de la Hiès. R4, située à l'ouest sur un cours d'eau (la Juscle) non relié aux activités du site de La Rousse constitue la station de référence.

2.1.1.2 Suivi des parametres physicochimiques et l'interpretation de ses resultats.

Les analyses réalisées par TEPF ont permis l'obtention de données de concentrations des HAP et métaux mesurés en routine, des classifications selon les groupes de paramètres utilisés dans la méthode SEQ-Eau (MOOX, NITR, PHOS, Acidification et Minéralisation) permettant de classer les cours d'eau selon leur qualité (de mauvaise à très bonne), et des mesures concernant 4 paramètres sélectionnés pour leur relation directe avec la Chimie du Carbone (Conductivité, pH, Carbonate et Bicarbonate) et donc potentiellement aux impacts du CO₂ sur un environnement aquatique.

Métaux et HAP

Selon les conclusions de l'étude d'impact fournie, les analyses de 2012 ne révèlent pas d'anomalie particulière ou de pollution par les métaux, les hydrocarbures ou les HAP. L'eau est en effet d'une manière générale de bonne qualité et les concentrations mesurées restent en cohérence avec les valeurs de 2009. Les concentrations en naphtalène, fer, aluminium et baryum dépassent les LDQ (Limites De Quantification) mais la présence de ces substances n'est pas reliée aux activités de stockage de CO₂ par le rédacteur de l'étude [1], mais plutôt à des pollutions diffuses d'origine naturelle ou anthropiques causées par de multiples rejets dans l'espace et le temps ou à des pollutions accidentelles à proximité du point d'échantillonnage.

Les classes SEQ-Eau

L'étude d'impact indique que les variations de classe de qualité observées durant les années de suivi sont cohérentes avec les résultats de l'année de référence (2009) et ne sont pas à rapprocher des opérations d'injection de CO₂. Concernant 2012, une dégradation du critère phosphate en R1 est observé sans que le lien soit fait avec l'injection de CO₂.

• Les paramètres en relation avec la chimie du carbone

L'étude d'impact détaille les variations de quatre paramètres sélectionnés pour leurs relations avec la chimie du carbone. Le document rapproche les variations observées avec des écarts normaux (liés aux aléas naturels et à la méthodologie), cohérents avec les résultats de l'année de référence. Une légère augmentation du pH est observée sur les 5 sites durant les 4 années de mesure mais cette augmentation n'est pas mise en relation avec l'injection de CO₂, celle-ci devant plutôt conduire à une diminution du pH.

2.1.1.3 Suivi des parametres biologiques l'evaluation de ses resultats.

Les analyses biologiques opérées concernent deux bioindicateurs utilisés en routine dans le domaine de suivi de la qualité des eaux : l'IBGN (l'indice biologique global normalisé) et l'IBD (l'indice diatomée). L'augmentation de la concentration en CO₂ dans l'eau menant à une diminution du pH, le développement des populations acidophiles a également été surveillée.

L'IBGN

Les conclusions de l'étude d'impact ne relient pas les variations de notes IBGN et de la diversité taxonomique à l'injection du CO₂ mais plutôt aux variations des conditions hydrologiques dans la région.

Un suivi particulier des taxons acidophiles a été réalisé pour rechercher un effet d'acidification du milieu lié à l'injection de CO₂. Une augmentation des groupes acidophiles a été signalée pour R2 en mai 2009 et en octobre 2012 (l'INERIS suppose qu'il s'agit en fait de mai 2012) les mêmes variations sont observées pour le site de référence.

L'IBD

Les conclusions de l'étude d'impact ne relient pas les variations de l'IBD aux opérations d'injection du CO₂. Le document relie les écarts dans les résultats à des variations saisonnières normales. Le détail des inventaires des diatomées ne met pas en avant la présence d'espèces acidophiles.

2.1.1.4 CONCLUSION DU DOCUMENT

TEFP propose de ne pas poursuivre le suivi des eaux de surface lors de la phase de surveillance.

2.1.2 AVIS DE L'INERIS

2.1.2.1 AVIS SUR LES RESULTATS ET L'INTERPRETATION DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES

Au regard des données disponibles, les indicateurs suivis de 2009 à 2012 ne mettent pas en évidence un impact sur les cours d'eau qui pourrait être directement provoqué par les activités d'injection de CO₂ opérées sur le site de Rousse.

Des critiques peuvent être émises sur les résultats présentés dans les documents fournis et les conclusions qui en ont été déduites par TEPF. Elles sont exprimées ci-dessous. Cependant, ces critiques ne remettent pas en cause la conclusion générale de l'étude.

Les concentrations mesurées en HAP et en métaux

Les concentrations d'HAP sont stables et n'atteignent pas des concentrations préoccupantes. La présence d'HAP dans le compartiment aquatique ne devrait pas être de nature à provoquer un risque. Les sources proposées par les rédacteurs pour justifier les concentrations de naphtalène dans l'eau supérieures aux limites de quantification sont non exhaustives, mais recevables. Il est très peu probable que l'injection de CO₂ soit responsable des émissions de naphtalène dans l'Arribeu.

Néanmoins, en ce qui concerne ces concentrations de naphtalène, les rédacteurs du rapport [1] s'appuient sur sa courte demi-vie dans l'eau pour conclure que la pollution du cours d'eau est occasionnelle, sa détection répétée dans le temps présage plutôt d'un phénomène de pollution chronique, durable dans le temps, par exemple dû à la présence de sédiments contaminés. Les concentrations de naphtalène sont régulièrement supérieures aux limites de détection et de quantification depuis automne 2011 dans le cours d'eau en aval du site des opérations (R2). Ce désaccord avec l'INERIS du point de vue de l'argumentation ne remet pas les conclusions en cause puisque, les concentrations mesurées dans l'eau (21ng/L, 21ng/L et 14 ng/L en automne 2011, printemps 2012 et automne 2012) sont toutes nettement inférieures à la concentration prédite sans effets sur les écosystèmes de l'eau proposée par la commission européenne (PNEC = 2,4µg/L (E.C., 2003)) et ne sont pas attribuables aux opérations d'injection de CO₂.

Les concentrations en métaux restent stables et cohérentes par rapport aux données de l'année de référence. Les opérations d'injection de CO₂ ne semblent pas avoir eu d'effet sur l'évolution des concentrations de métaux dans les cours d'eau.

Il est à noter que les concentrations mesurées en aluminium, au printemps 2012 sont supérieures à la concentration prédite sans effets sur les écosystèmes aquatiques proposée par INERIS (0,06µg/L (INERIS, 2005), mais des concentrations du même ordre ont été mesurées l'année de référence, et sont aussi retrouvées dans le ruisseau de référence (R4). Il n'est donc pas possible d'imputer la présence d'aluminium aux opérations d'injection de CO₂. Ces concentrations correspondent probablement à des concentrations naturelles liées au fond géochimique de la région ou à des sources de contamination diffuses.

• Les paramètres en relation avec la chimie du carbone

En ce qui concerne les paramètres en relation avec la chimie du carbone (conductivité, carbonates, bicarbonates et pH), ils n'ont pas été perturbés par les opérations d'injection de CO₂.

Les variations enregistrées pour ces paramètres restent du même ordre de grandeur que celles observées l'année de référence donc avant les injections. De plus, les augmentations et les diminutions des paramètres sont corrélées avec celles du site R4 ce qui tend à prouver que ces variations sont généralisées sur les cours d'eau et d'ordre naturel.

Deux anomalies tendent à nuancer l'argumentation de l'étude [1] sans pour autant en modifier les conclusions : la conductivité mesurée en R5 en automne 2011 est plus élevée que celles enregistrées l'année de référence. Cette augmentation n'est pas aussi franche sur les autres sites de mesures. La conductivité baisse ensuite de façon importante pour devenir plus basse en automne 2012 que tout le reste de la période de suivi. Cette baisse, plus importante que sur les autres sites, est toutefois plus significative puisque reproduite en R1 et en R4.

L'augmentation du pH mesurée en R1 et en R2 en automne 2012 mérite également une remarque. En R2, le pH mesuré est même supérieur aux valeurs de référence de 2009. L'étude d'impact mentionne justement que cette augmentation du pH ne peut pas être imputée aux opérations d'injection de CO₂, le CO₂ ayant plutôt tendance à acidifier les milieux aquatiques.

2.1.2.2 AVIS SUR LES RESULTATS ET L'INTERPRETATION DES PARAMETRES BIOLOGIQUES

Au regard des données disponibles, les indicateurs biologiques suivis de 2009 à 2012 ne mettent pas en évidence un impact sur les cours d'eau qui pourrait être directement provoqué par les activités d'injection de CO₂ opérées sur le site de Rousse.

En effet, les milieux ne sont pas déclassés avec les années, le score lié au GFI (Groupe faunistique indicateur) reste à peu près constant pendant les 4 années de suivi et la baisse de l'indice IBGN en R1 et R2 peut se retrouver en R4 (référence) avec certes quelques mois de décalage. Les changements sur R1 et R2 sont en effet parfois observés sur R4 quelques mois plus tard, peut être en raison de conditions géographiques particulières, mais sans que l'explication soit donnée.

De plus, il n'est pas observé de développement majoritaire d'espèce acidophile. La distribution des taxons selon l'affinité de pH varie en effet à peu près de la même façon sur les sites sous influence de Rousse et sur le site de référence. Les populations macrobenthiques de ces cours d'eau ne semblent donc pas affectées par les injections de CO₂.

Bien que ne remettant pas en cause ces conclusions, certaines critiques peuvent être réalisées sur les résultats présentés dans les documents fournis.

En effet, les informations figurant dans le rapport [1] sont parfois imprécises, les éléments demandés lors de l'étude par l'INERIS (liste en annexe 1) complètent le dossier.

Ainsi, bien que l'IBGN reste stable pendant la période de suivi, une diminution nette de la biodiversité est visible sur les deux stations de l'Arribeu (R1 et R2) en Octobre 2012, cette diminution n'est pas observée sur le site de référence (R4). Cette observation n'est pas commentée dans le rapport d'étude.

Il est possible que la diminution de la biodiversité soit liée à des évènements naturels (météo) et qu'ils n'aient pas été observés en R4, compte-tenu du décalage observé entre ces stations. Toutefois, seules de nouvelles données sur les mois suivants pourraient éclaircir ce point.

2.1.2.3 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Au regard de l'ensemble des données disponibles, les indicateurs physicochimiques et biologiques suivis de 2009 à 2012 ne mettent pas en évidence un impact sur les cours d'eau qui pourrait être directement provoqué par les activités d'injection de CO₂ opérées sur le site de Rousse.

L'INERIS a formulé des observations sur la façon dont les informations ont pu être interprétées dans le dossier présenté. Ces remarques ne remettent pas en cause la validité des conclusions formulées dans l'étude, mais afin de pouvoir définitivement conclure sur cet aspect, il est recommandé de surveiller les évolutions de la diversité (IBGN) dans les premiers temps (3 ans maximum) afin de vérifier si les variations commentées sont des anomalies ou des tendances qui se développent.

2.2 IMPACT SUR LES EAUX SOUTERRAINES

Sections expertisées par l'INERIS dans le dossier initial: Chap.4 (Etude d'impact) - section 9.2 (9.1 exclue), section 14.2

Documents complémentaires expertisés : (d), (e), (f), (r) et (s) cités en annexe 1 d'une part, études géochimiques n2 et n3 d'autre part (références détaillées en annexe 1)

2.2.1 PRINCIPAUX RESULTATS PRESENTES PAR TEPF

Le suivi de la qualité des eaux souterraines a été réalisé sur 4 ensembles :

- 1) Les aquifères des nappes perchées de la molasse des coteaux
- 2) Le système alluvial du gave de Pau
- 3) L'aquifère des sables infra molassiques et grès à nummulites
- 4) L'aquifère des calcaires de Lasseube du Paléocène inférieur

En ce qui concerne les aquifères des nappes perchées, des sources ont été prélevées (sortie de trop-plein sur les sites intitulés « Parenche, Ollé Laprune et Laborde ». Les 2 premiers sont à 3 km environ au nord du site RSE1, et le 3ème à moins de 500 m au sud du site d'injection. Les données détaillées qui ont été fournies à la demande de l'INERIS concernent la conductivité, la teneur en bicarbonates et carbonates, et le pH. La source la plus proche (Laborde), ne montre pas d'évolution systématique notable depuis l'injection, mais présente des variations saisonnières (plus diluées au printemps, alcalinité, et pH plus élevées en automne). Les concentrations sont plus dispersées, et le suivi moins régulier sur les autres sources, mais il n'y a pas d'évolution notable.

Le système alluvial du Gave de Pau a été suivi via 3 captages (C10, Rontignon en amont de Pau, et C2 (Arbus) puis C6 (Artix) en aval de Pau. Ces captages sont situés à 5 km à l'est de RSE1 pour le premier, et 12 km puis 15 km au nord ouest pour les 2 autres.

Le dossier expose qu'en comparant les valeurs de pH mesurées avec les valeurs de référence établies en 2009 il apparaît trois écarts en 2012. Il conclut en section 9.2.8.3 que les variations observées durant la période 2010-2012 ne sont pas significatives par rapport aux références établies en 2009 et ne sont pas corrélées aux opérations d'injection de CO₂.

2.2.2 AVIS DE L'INERIS

2.2.2.1 AVIS SUR L'INTERPRETATION DES RESULTATS

En ce qui concerne le système alluvial du Gave de Pau :

En C10 (Rontignon en amont de Pau), on constate une remontée du pH entre l'automne 2010 et l'été 2011, puis une baisse significative jusqu'à une valeur voisine de 7 à partir du printemps 2012 - ceci avec une valeur à peu près constante de la teneur en bicarbonates. Or, la valeur du pH et la concentration en bicarbonates permettent d'estimer la pression partielle de CO₂ dans le fluide. On constate donc entre le printemps 2011 et le printemps 2012 une multiplication par un facteur 10 de la pression partielle¹ de CO₂, qui passe d'environ 5.10⁻³ bar à environ 5.10⁻² bar.

Pour les deux autres points de la même nappe alluviale, Arbus (C2) et Artix (C6), on trouve une tendance assez voisine. On peut noter qu'il y figure en 2009 une légère remontée du pH par rapport aux années précédentes (comme le montre par exemple la figure 1) : il est possible que la cause soit que le prestataire de TEPF ait adopté un protocole de mesure du pH différent de celui suivi avant 2008.

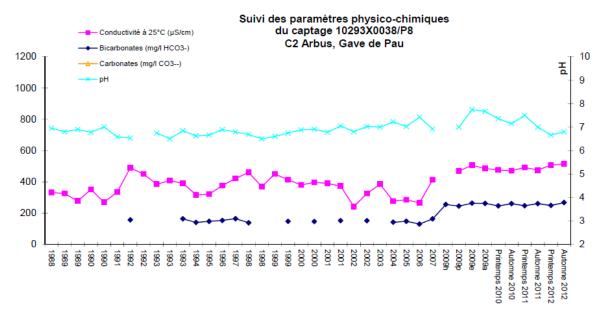


Figure 1 : Suivi des paramètres au point C2 (Arbus), extrait du dossier Total, chapitre 4, page 82

¹ Dans ce cas il n'y a pas de phase gazeuse proprement dite, la pression partielle est donc une grandeur virtuelle, mais qui est classiquement utilisé en géochimie et qui est mesurable. Via la constante de Henry, elle est proportionnelle à la concentration en CO₂ dissous, ou encore acide carbonique H₂CO₃. Notons en passant que le CO₂ dissous ne représente qu'une partie du C total en solution : aux pH usuels c'est l'ion bicarbonate HCO₃⁻ (également nommé hydrogénocarbonate) qui domine.

La figure 2 ci-après montre que la pression partielle du CO₂ dans les aquifères du gave de Pau augmente légèrement entre le printemps et l'automne 2010, puis plus fortement entre le printemps 2011 et l'automne 2012, avec un pic au printemps 2012 :

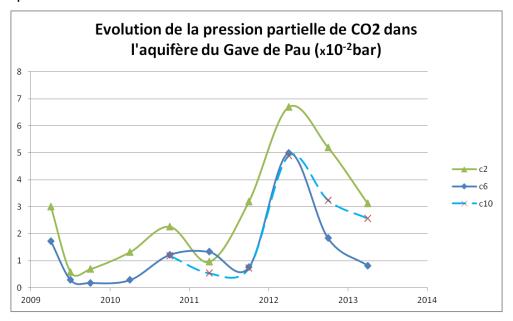


Figure 2 : Evolution de la pression partielle de CO₂ en 3 points de l'aquifère du gave de Pau, calculs INERIS sur la base des données TEPF (ref. (e) en annexe 1)

L'INERIS a analysé plus en détail les données provenant du point C2 situé à Arbus (aval de Pau), qui présente le pic le plus important. Sur le **Erreur! Source du renvoi introuvable.**, on constate que les concentrations en HCO₃ et les valeurs de pCO₂ changent de part et d'autre de l'année 2008.

Période	Paramètre	[HCO3] mg/l	рН	pCO2 (bar)
2000 - 2007	Moyenne	147,2	7,01	1,56E-02
	Ecart-type	10,1	0,19	5,84E-03
	Effectif	7	11	7
	Int. de confiance à 95%	±7,7	±0,11	±4,41E-03
2009 - 2013	Moyenne	255,3	7,20	2,69E-02
	Ecart-type	7,7	0,38	2,02E-02
	Effectif	11	10	10
	Int. de confiance à 95%	±4,6	±0,24	±1,28E-02

Tableau 1. Paramètres statistiques utilisés

On en déduit que :

- 1°) Les concentrations en HCO₃ diffèrent significativement : à partir de 2008, leur valeur moyenne passe de 147 à 255 mg/l. Cette augmentation est inexpliquée ; il est possible qu'elle soit due à un changement du protocole d'analyse ou d'échantillonnage. Elle contribue à l'augmentation de la pCO₂, dont la moyenne change également de manière significative, passant de 1,6.10⁻² bar avant 2008 à 2,7.10⁻² bar après 2009.
- 2°) Malgré une valeur moyenne plus élevée du pH après 2009 (moyenne 7,2), sa variabilité augmente, avec un écart-type qui double. Or une baisse du pH, même modérée, contribue très fortement à la hausse de pCO₂: c'est la baisse de pH qui explique les pics de pCO₂ qui sont constatés en 2010 et 2012 sur la figure 2.
- 3°) La fréquence des mesures influe également sur la variabilité apparente du pH, et donc de la pCO₂ : cette fréquence est de 1 par an avant 2008, puis elle passe à 2 à 4 par an ensuite, ce qui renforce le poids des variations saisonnières.

En ce qui concerne le point C10 situé à Rontignon (amont de Pau), on n'observe pas comme en C2 de variation notable des concentrations en HCO₃ ni des mesures de pH de part et d'autre de l'année 2008 (Figure 3). Il existe un fort pic de pCO₂ inexpliqué au cours de l'année 2012 et un léger pic en 2010 (ces pics subsistent même si l'on prend en compte une seule mesure par an, diminuant ainsi la variabilité apparente du pH). Ce point C10 a la particularité que les documents analysés ne présentent pas données pour 2009.

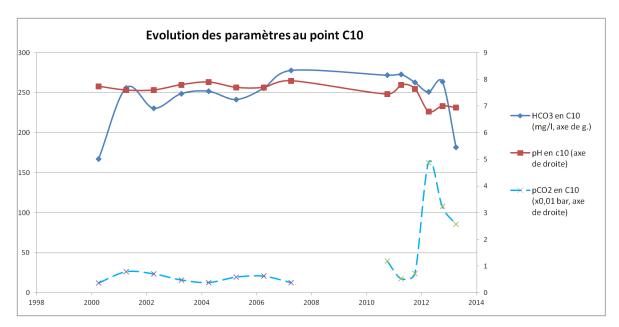


Figure 3. Evolution du pH, des hydrogénocarbonates et de pCO₂ au point C10, calculs INERIS sur la base des données TEPF (ref. (e) en annexe 1)

On peut remarquer qu'en ce même point C10, des valeurs plus faibles de pH avaient également été mesurées avant 2008, mais sans que les HCO₃ soient analysés au même moment, donc sans que pCO₂ puisse être calculée : en conséquence, il est possible que des hausses ponctuelles de CO₂ aient eu lieu par le passé, mais sans être détectées.

En ce qui concerne les autres aquifères :

L'aquifère des sables infra-molassiques et grès à nummulites (points C1, C3 et C4) n'enregistre pas des variations de pCO₂ aussi importantes. On peut toutefois noter des augmentations significatives de la pCO₂ en automne 2011 et automne 2012, décalées d'un an par rapport aux phases principales d'injection.

Enfin, l'aquifère du calcaire de Lasseube, qui est en principe l'aquifère « de contrôle » n'a en fait été suivi que dans des forages agricoles ou d'AEP situés a environ 60 km au Nord à 80 km au Nord Ouest de la zone d'injection, dans une zone ou l'aquifère est bien plus superficiel (et nettement moins minéralisé) qu'au droit de la zone d'injection. Seul l'aquifère de Saint-Aubin montre une croissance significative de la pCO₂, mais les conditions de prélèvement ne sont pas idéales, la pompe étant arrêtée au moment du prélèvement en automne 2012, qui correspond à la valeur la plus basse du pH. D'éventuelles fuites de CO₂ dans l'aquifère de Lasseube dans une zone proche de l'injection, même en présence de failles, auraient très peu de chances de donner des signaux significatifs aussi loin au nord, dans un contexte carbonaté. D'une manière générale, on peut s'interroger sur la significativité de points de mesure dans l'aquifère de Lasseube aussi éloignés de la zone d'injection.

2.2.2.2 AVIS SUR LES CAUSES POSSIBLES

Parmi les hypothèses qui peuvent être formulées pour expliquer ce phénomène, on trouve:

- Une erreur de mesure ou un protocole d'échantillonnage insuffisamment précis.
- Des origines anthropiques :
 - Pollution chimique;
 - Contamination par le CO₂.
- Des facteurs naturels :
 - Phénomène biologique (production de CO₂ par des bactéries, dégradation de matière organique...)
 - O Phénomène exceptionnel causant une variation significative du débit du Gave de Pau et susceptible d'introduire une quantité significative d'eau agressive dans la nappe, du fait des inter-relations entre le Gave de Pau et sa nappe alluviale : il peut s'agir par exemple d'une période de précipitations abondantes ou d'une fonte des neiges intense.

En ce qui concerne les causes d'origine anthropique :

S'il y avait un lien avec les opérations d'injection, l'élément en cause pourrait être le réservoir, le corps du puits ou les installations proches de la surface (tête de puits, canalisation).

L'hypothèse d'une communication entre le réservoir et l'aquifère de surface ne semble pas crédible, car si c'était le cas il y aurait sans aucun doute un temps de transfert significatif, qui n'est pas observé ici.

Au vu des éléments complémentaires transmis par la société TEPF (rapport BRGM référencé (r) en annexe 1), le puits RSE1 n'interagit pas avec la nappe alluviale du Gave de Pau (il se situe environ 500 mètres à l'Est du système lié à l'affluent l'Arribeu, qui est en revanche traversé par le puits RSE3).

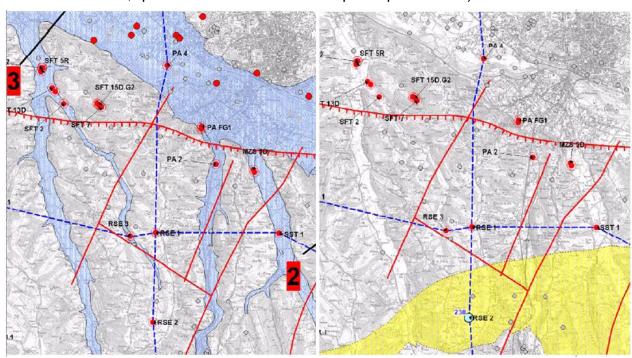


Figure 4 : détail des cartes en annexe 1 du rapport réf. (r), centrés sur le puits RSE1 : à g., système alluvial du Gave de Pau et affluents, à d. nappe des sables inframolassiques.

En ce qui concerne les équipements de surface (tête de puits voire canalisation de transport), suite à notre interrogation la société TEFP a apporté les éléments permettant d'infirmer l'hypothèse d'une fuite : l'exploitant affirme qu'il n'y a eu aucune détection de fuite au voisinage de la tête de puits (5 capteurs de CO₂ y sont présents) ni autour de la canalisation (document complémentaire réf. (s) en annexe 1). Outre une inspection approfondie en 2009, ces équipements font l'objet d'inspections visuelles régulières, conformément à la réglementation, et TEPF explique que lors de l'arrêt de l'injection entre janvier et mars 2011, l'ensemble a été fermé mais est demeuré en pression, sans qu'il soit constaté de baisse de pression durant cette période².

_

² Si les hausses de pCO₂ en 2010-2012 aux points C2, C6 et C10 étaient liées à une fuite en provenance du puits ou de la canalisation, il serait difficile d'expliquer pourquoi cette pCO₂ diminue début 2011 alors que la canalisation et le puits sont demeurés en pression.

Nous n'avons par ailleurs aucune information permettant de confirmer l'existence d'une autre source de pollution d'origine humaine sur ce secteur, par exemple une pollution chimique : si un tel phénomène avait eu lieu, on s'attendrait également à une hausse importante de la conductivité, qui n'est pas observée ici.

En ce qui concerne les causes d'origine naturelle :

L'INERIS a questionné la DREAL et des experts de l'IPGP quant à la variabilité du pH et de la pression partielle de CO₂ sur ce secteur spécifique. Des fluctuations du pH sont possibles, car le rythme saisonnier et les événements pluvieux modifient la dynamique des points de prélèvement, et notamment le rapport d'alimentation entre des eaux venant des coteaux et des eaux venant du Gave de Pau ; la pCO₂ aurait tendance à remonter après un épisode pluvieux, le CO₂ provenant à la fois du gaz du sol et des équilibres géochimiques avec la roche.

Cependant, nous ne sommes pas en mesure de relier l'augmentation de la pCO2 à des facteurs hydroclimatiques. En effet, le débit du Gave de Pau, la pluviométrie et le niveau piézométrique de la nappe alluviale du Gave de Pau ne montrent pas d'anomalie notable en 2012.

Plus précisément, la station hydrométrique la plus proche renfermant des données complètes (Berenx, 50 km en aval de Pau) indique un débit annuel moyen du Gave de Pau en légère baisse par rapport au débit moyen de la période 2009 à 2011 (76 m³/s) ou de la décennie 2003-2012 (73 m³/s). De même, la chronique pluviométrique des années 2009 à 2012 acquise auprès de Météo-France pour la station de Nay, située à 20 km au sud-est de RSE1, montre que la pluviométrie de 2012 est de 984 mm, en baisse par rapport à la moyenne de la décennie 2003-2012 (1026 mm). Enfin, les chroniques piézométriques de la nappe alluviale du Gave de Pau ne montrent pas d'anomalie notable pour 2012.³

L'augmentation significative de la pression partielle de CO₂ (pCO₂) apparaît concomitante avec la phase d'injection mais l'hypothèse selon laquelle il y aurait un lien de cause à effet ne peut être démontrée.

Cette hausse apparaît également au point C10 (Rontignon), qui est à l'amont du système alluvial lié aux affluents du Gave de Pau qui bordent le site d'injection ; ceci milite en faveur d'un phénomène local ou régional, indépendant des opérations d'injection. Pour autant, on ne détecte pas d'anomalie notable sur le plan hydroclimatique qui soit susceptible d'expliquer ce phénomène.

L'information disponible à ce jour ne permet donc pas de retenir l'une ou l'autre des causes présentées ci-avant. Il apparaît donc nécessaire d'analyser ce point plus en détail, comme nous le verrons plus bas, afin de mieux préciser l'origine possible du CO₂.

Enfin, on ne peut écarter l'hypothèse d'un biais dû aux protocoles d'échantillonnage ou d'analyse. Cette hypothèse est renforcée par les différences qui sont constatées entre la période de mesure 2000-2007 et la période 2009-2012 : hausse importante de [HCO₃] au point C2 ; hausse du pH à partir de 2009 en certains points, avant qu'il ne baisse ensuite en 2011-2012.

_

³ Données en provenance du site national ADES pour deux piézomètres situés à 12 km à l'amont (Assat) et 8 km à l'aval (Lescar) de Pau. A Assat, la piézométrie moyenne de 2012 est de 147,34 m NGF, en légère baisse par rapport à celle de la période 2009-2011 (147,92 m NGF mm) mais comparable à celle de la décennie 2003-2012 (147,37 m NGF).

2.2.2.3 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Il demeure des interrogations quant à l'origine de la hausse de la pression partielle en CO_2 au sein de l'aquifère superficiel du Gave de Pau (jusqu'à un ordre de grandeur). En ce sens, il est important de mener des analyses complémentaires avant de confirmer les interprétations et conclusions présentées par TEPF à la section 9.2.8.3 de son dossier.

Nous recommandons:

- 1°) des analyses isotopiques, susceptibles de déterminer l'origine du C.
- 2°) un suivi exhaustif de la pression partielle de CO_2 de l'aquifère du gave de Pau, pendant 2 à 3 ans au moins 2 fois par an ; tout en soulignant le peu d'intérêt à continuer à suivre l'aquifère des calcaires de Lasseube, à plus de 50 km du point d'injection.

Dans le cas où l'analyse isotopique ne serait pas concluante, il sera pertinent de mener une étude spécifique plus approfondie.

Par ailleurs, nous attirons l'attention sur le fait que dans le cas de la surveillance autour du site de Rousse, la mesure du pH revêt une importance tout à fait particulière, puisque des mesures de pH insuffisamment fiables peuvent générer des artefacts, compromettant l'interprétation du suivi. Il a d'ailleurs été montré précédemment que des biais dus au prélèvement ou à l'analyse n'étaient pas impossibles, d'après l'analyse des chroniques de pH et de [HCO₃] présentées.

Il est impératif d'estimer au mieux le pH du fluide dès son prélèvement, en évitant toute possibilité de dégazage. En effet, si la pression partielle de CO₂ dans le fluide échantillonné est supérieure à la pCO₂ atmosphérique, le fluide va dégazer, ce qui va induire une baisse de pCO₂ dans le fluide, et donc une augmentation concomitante du pH au fur et à mesure du dégazage.

En conséquence, toute mesure de pH doit s'effectuer dans un tube ajusté à l'électrode de mesure par l'intermédiaire d'un rodage, ou a minima, dans un flacon fermé avec un ciel gazeux le plus réduit possible permettant le passage de l'électrode. Les modes opératoires normalisés (tel le protocole réf. (f) en annexe 1, transmis par TEPF) sont insuffisamment précis à cet égard. La température de l'échantillon doit être maintenue constante pendant la mesure du pH.

2.3 IMPACT SUR LE PATRIMOINE FAUNISTIQUE ET FLORISTIQUE NATUREL DU SITE

2.3.1 PRINCIPAUX RESULTATS PRESENTES PAR TEPF

Sections expertisées par l'INERIS dans le dossier initial: Chap.4 (Etude d'impact) - section 11

Documents complémentaires expertisés : (g), (h), (i), (j), (k) (références détaillées en annexe 1)

2.3.1.1 Introduction

Un état de référence des habitats naturels représentatifs et des espèces d'amphibiens et d'insectes a été établi avec les campagnes de printemps et d'été 2009. Suite à cette action, un suivi du biotope a été réalisé annuellement durant la phase d'injection du projet. La sélection des critères suivis et la méthodologie pour y parvenir ne sont pas expertisées dans ce rapport.

La première partie du rapport concernant l'étude de l'impact des injections de CO₂ sur le patrimoine faunistique et floristique naturel du site décrit les zones réglementées, protégées ou d'intérêt écologique ou patrimonial présentes dans la zone couverte par l'étude.

La deuxième partie concerne la surveillance du biotope, elle-même composée de trois parties :

- Description des opérations de suivi aux stations de surveillance de la flore,
- Description des opérations de suivi aux stations de surveillance des amphibiens
- Description des opérations de suivi aux stations de surveillance des insectes.

Les résultats sont commentés et une conclusion est présentée pour l'ensemble des trois groupes dans un même chapitre.

En ce qui concerne le dossier d'étude d'impact 2012, hormis un graphique présentant le nombre de contacts spécifiques par année de suivi entomologique, tous sites confondus, aucun résultat n'est présenté et les conclusions, trop synthétiques, ne permettent pas de rendre une analyse critique favorable ou défavorable. L'expertise s'appuie donc également sur les documents supplémentaires listés en annexe 1 et plus particulièrement sur la partie 4 du rapport « Synthèse annuelle 2012 du programme d'auto-surveillance de l'environnement eaux souterraines, eaux de surface et biotope » (ARTELIA, 2013).

2.3.1.2 DESCRIPTION DES OPERATIONS DE SUIVI POUR LA FLORE.

Les résultats du suivi floristique ne sont pas présentés dans l'étude d'impact. Les conclusions ne rapprochent pas les variations observées dans les relevés phytosociologiques avec les injections de CO₂. Le document les attribue plutôt au changement de nature de l'habitat, parfois d'origine anthropique (fauche ou mise en culture des parcelles).

La synthèse de l'autosurveillance 2012 précise que les variations observées concernent la présence ou l'absence de certaines espèces et les relations d'abondance-dominance. Le document ajoute que seul un suivi sur du long terme peut permettre une analyse précise et pertinente de l'évolution de la végétation (ARTELIA, 2013).

2.3.1.3 DESCRIPTION DES OPERATIONS DE SUIVI POUR LES AMPHIBIENS.

Les résultats comme les conclusions du suivi des populations d'amphibiens ne sont pas présentés dans l'étude d'impact fournie. La synthèse de l'autosurveillance 2012 met en évidence des variations de la richesse spécifique des stations inventoriées, avec une stabilité relative de 65% d'entre eux, et rapproche les variations observées de modifications naturelles (modification du cours d'eau due à de fortes pluies, présence de prédateurs) ou d'origine anthropiques (prairie humide retournée, curage d'un fossé, abreuvoir comblé, etc.). Le document estime qu'en l'état actuel des connaissances, il ne peut être établi aucune relation entre le stockage de CO₂ dans le sous-sol et les modifications des habitats de reproduction des amphibiens (ARTELIA, 2013).

Il ajoute également que les résultats de l'écoute nocturne sont mitigés du point de vue de l'étude des changements d'occupation du sol. En effet, les points d'écoute étant très souvent différents de ceux des prospections diurnes, les résultats des deux sessions ne peuvent pas être mis en relation (ARTELIA, 2013).

2.3.1.4 Description des operations de suivi pour les insectes.

L'étude présente un graphique des contacts des trois grandes classes d'insecte dénombrées (rhopalocères, odonates et orthoptères) tous sites confondus par année de suivi, puis estime que ce graphique ne met pas en évidence d'évolution significative des données.

Dans un premier temps, la synthèse de l'autosurveillance met en avant les difficultés rencontrées pour réaliser un inventaire pertinent du point de vue de l'étude de l'évolution des populations d'insectes. D'une part, de nombreuses parcelles étudiées ont évolué au cours des années : certaines prairies ont été fauchées, d'autres labourées et d'autres encore mises en culture. D'autre part, des conditions météorologiques (fortes pluies réduisant la probabilité d'apercevoir des catégories d'insectes par exemple) au jour des inventaires et l'heure trop matinale pour apercevoir les insectes auraient également induit un biais sur les résultats obtenus sur certains sites. Dans un deuxième temps, le rédacteur de l'étude annonce que le nombre d'espèces a augmenté en 2012 par rapport à 2011 sans revenir pour autant aux valeurs de 2009.

Cette diminution globale est reliée aux conditions météorologiques parfois défavorables ainsi qu'au facteur anthropique (fauches de parcelles notamment). Il est enfin fait mention que « les prochaines années de suivi permettront d'avoir plus de recul sur les peuplements entomologiques présents sur l'ensemble de l'aire d'étude, en conservant toutefois une variabilité importante par station en effectifs et en richesse spécifique » (ARTELIA, 2013).

2.3.1.5 CONCLUSION DU DOCUMENT

TEPF propose de ne pas maintenir le suivi des biotopes lors de la phase de surveillance du réservoir de Mano (où le stockage s'effectue).

2.3.2 AVIS DE L'INERIS

2.3.2.1 POINT D'ALERTE CONCERNANT LA METHODE SUIVIE

D'une manière générale qu'il soit question du suivi de la flore, des amphibiens ou des insectes, les commentaires du rédacteur de l'étude semblent indiquer que la plupart des résultats sont influencés par des conditions extérieures à l'étude, comme par exemple les conditions météorologiques, l'heure inadéquate pour l'inventaire entomologique, ou bien encore l'absence de maîtrise d'usage sur les différents sites pour l'ensemble du suivi du biotope : des parcelles sont fauchées, retournées, mises en culture avant le passage des experts, des fossés sont comblés, des mares sont vidées....

Ces influences extérieures sur les paramètres d'étude prévus dans la méthode sont importantes et de nature à dégrader la robustesse des données obtenues pendant le suivi. Elles font l'objet de plusieurs remarques.

2.3.2.2 AVIS SUR LA VALIDITE DES RESULTATS ET L'INTERPRETATION CONCERNANT LA FLORE

Les résultats de l'étude floristiques sont moins affectés que ceux obtenus suite à l'étude sur les amphibiens ou les insectes. Si l'on exclut les modifications des habitats liés aux interventions anthropiques (labour, mise en culture de parcelles), il est possible de conclure que : « ... la composition floristique pendant et à l'issue de la phase d'injection était relativement proche de celle établie lors de l'état initial. ».

2.3.2.3 AVIS SUR LES RESULTATS ET L'INTERPRETATION CONCERNANT LES AMPHIBIENS

En ce qui concerne les amphibiens, de nombreux sites n'ont pas pu être inventoriés de façon satisfaisante à cause de l'absence de la maitrise d'usage. Par exemple, le site 2 est une prairie qui a été retournée entre 2011 et 2012, le site 4 et le site 15 sont sur des propriétés privées et ne sont plus accessibles aux experts. Néanmoins, il reste une majorité de sites qui n'ont pas trop évolué physiquement ou pour lesquelles ces évolutions sont d'ordre naturel. Les sites devenus impropres à un suivi de bonne qualité car non accessibles ou ayant subit de fortes modifications anthropiques depuis l'état de référence, ne sont pas considérés dans cette expertise. Les sites jugés non pertinents pour l'analyse sont les sites 2 à 5, 15, 16, 21, 27, 28 et 34.

Sans tenir compte des sites mentionnés ci-dessus, l'examen détaillé des résultats disponibles de 2009 à 2012 dans le rapport-synthèse de l'autosurveillance 2012 (ARTELIA, 2013) révèle les informations suivantes :

- Les populations de grenouille agile ne parviennent pas à se stabiliser dans les sites visités : elles disparaissent de 5 sites où elles ont été dénombrées en 2011. Elles n'étaient cependant pas présentes en 2009 et en 2010 sur ces sites, et cette variation ne peut pas être rapprochée des injections de CO₂ qui n'ont commencées qu'en 2010. La population de grenouille agile reste stable en 6.
- La population de crapaud commun reste stable en 6, elle ne réapparait pas dans le fossé 19, ne se stabilise pas dans le fossé 20, s'installe en 23 et confirme son apparition dans les mares 31 et 32 (présents depuis 2010, ils étaient absents au moment de l'état des lieux). Cette espèce fait partie des

plus répandues sur la zone. Depuis 2009, le crapaud commun disparait donc de deux stations et confirme son installation dans trois nouvelles stations. Aucune tendance générale ne se dégage de l'interprétation des résultats.

- Les populations de salamandre tachetée restent stables sur 10 des 13 stations considérées où elles étaient déjà présentes en 2009. Les injections de CO₂ ne semblent pas avoir eu d'impact sur cette espèce.
- Les populations de triton palmé étaient visibles sur 11 des sites considérés en 2009, 5 seulement sont restées stables jusque 2012. Elles ont disparues de 3 sites dès 2010 et de 3 autres en 2012. De plus, 5 des 6 sites où les tritons ont disparu ont évolué depuis 2009, certains sont maintenant asséchés d'autres en pleine eaux, parfois même des prédateurs (écrevisse de Louisiane) s'y sont installés. Pourtant de telles évolutions sont aussi apparues sur des sites où les populations de tritons se sont maintenues. Sans pouvoir définir pourquoi la moitié des habitats a été désertée par cette espèce, il est difficile de relier ces événements à des émanations de CO₂ depuis le sol.
- Les populations de crapaud accoucheur apparues en 2010 sur les sites 17, 19 et 20 ne se sont pas stabilisées et ont disparu en 2012. Les populations présentes en 2009 sont toujours là. La répartition de cette espèce sur les sites considérés n'a pas évolué de façon importante, les injections de CO₂ ne semblent pas avoir eu d'impact.
- Depuis 2009, les populations de grenouilles vertes ont colonisé 4 nouveaux sites et sont restées stables depuis l'état des lieux sur 4 autres sites. La répartition de cette espèce a augmenté considérablement depuis 2010.

En dehors des sites dont les résultats n'ont pas été considérés pour les raisons indiquées précédemment, l'examen de la richesse faunistique du point de vue des batraciens site à site ne révèle pas une zone en particulier où le nombre d'espèces présentes a significativement augmenté ou diminué.

Eu égard à l'ensemble des informations disponibles concernant le groupe faunistique des amphibiens pour la période suivie, les injections de CO₂ ne semblent pas avoir eu d'impact sur les populations. Les évolutions constatées peuvent être expliquées par des variations d'ordre naturel. Toutefois des modifications des conditions extérieures empêchant la mesure efficace sur certains sites peuvent justifier de poursuivre la surveillance afin de confirmer cette conclusion.

2.3.2.4 AVIS SUR LES RESULTATS ET L'INTERPRETATION CONCERNANT LES INSECTES

Le rédacteur de l'étude semble avoir rencontré des difficultés pour réaliser et interpréter le suivi entomologique. Dans la synthèse de l'autosurveillance 2012 (ARTELIA, 2013), les résultats de l'inventaire détaillé site par site sont présentés et les commentaires renseignent les conditions dans lesquelles celui-ci s'est effectué. Dans ces commentaires, il est précisé si le site a été modifié et comment il a été modifié, si le comptage a été rendu impossible et si les conditions de travail étaient satisfaisantes.

Ainsi, il est proposé de mettre de côté les résultats non valides du point de vue de l'étude de l'évolution des populations entomologiques liée aux injections de CO₂. Il s'agit des relevés effectués à une heure trop matinale pour permettre l'observation des insectes, des relevés effectués lors de conditions météorologiques ne permettant pas un inventaire de qualité satisfaisante mais aussi des données obtenues sur des sites désormais non accessibles (clôturés par le propriétaire) ou modifiés d'une année sur l'autre de façon importante par l'utilisateur de la parcelle (broyage, fauche, mise en culture de la parcelle).

Les stations n'ayant pas été influencées par ces facteurs extérieurs au contexte de l'étude sont les stations 5, 10, 11, 18, 20 et 26. Toutes les parcelles où les commentaires n'indiquent pas que les résultats sont probablement faussés par des raisons extérieures au contexte de l'étude sont des parcelles pour lesquelles le commentaire « Richesse spécifique proche du suivi de l'année 2011 » est précisé. Les résultats obtenus sur ces stations sont rassemblés dans le tableau cidessous :

		2009	2010	2011	2012
site 5	Lépidoptères	16	13	10	9
	Odonates	0	0	0	0
	Orthoptères	6	8	1	0
site 10	Lépidoptères	13	12	13	12
	Odonates	2	1	4	1
	Orthoptères	13	10	9	10
	Lépidoptères	0	0	1	0
site 11	Odonates	9	14	3	4
	Orthoptères	0	0	4	2
	Lépidoptères	8	11	7	6
site 18	Odonates	1	0	1	2
	Orthoptères	1	0	1	2
site 20	Lépidoptères	6	6	8	6
	Odonates	1	1	3	3
	Orthoptères	6	11	10	11
site 26	Lépidoptères	16	17	6	9
	Odonates	3	1	2	2
	Orthoptères	3	1	2	2

Tableau 2- Résultats obtenus sur les sites en 2012 (« Synthèse annuelle 2012 du programme d'auto-surveillance de l'environnement eaux souterraines, eaux de surface et biotope »(ARTELIA, 2013) voir réf (j) de l'annexe 1)

L'évolution du nombre d'espèces par classe dans ces 6 stations est ensuite présentée dans les graphiques suivants :

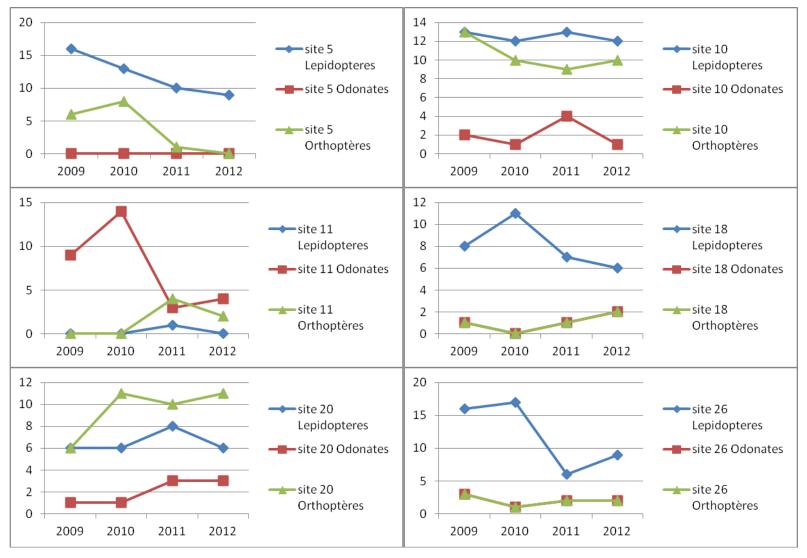


Figure 5 : Evolution des population d'insectes sur les sites considérés

INERIS DSC-13-139996-10787A Page 25 sur 43

Une tendance à la baisse sur les sites 5 et 11 est observable sur les trois groupes entre 2009 et 2012. Pour les autres sites, on note une baisse des contacts avec les lépidoptères sur la majorité des sites, ainsi que TEPF l'a fait remarquer dans son dossier⁴, mais l'augmentation et la diminution des contacts ne s'observent pas de façon homogène sur tous les groupes : il n'y a pas de tendance générale nette qui se dégage.

Néanmoins, l'examen du tableau de résultats de l'étude d'impact de TEPF réalisée en 2011 (réf. (i) selon l'annexe 1) apporte de nouvelles informations sur les inventaires réalisés sur ces sites. Si aucun événement capable d'invalider les résultats en 2012 n'a été rapporté sur les 6 sites considérés, en 2011, dans le tableau de résultats, les commentaires mentionnent que le site 20 a subit une fauche (mais « qui ne semble pas avoir influencé le nombre d'espèces en présence) et que les conditions de prélèvement sur les sites 5 et 11 n'étaient pas aptes à délivrer des résultats exploitables (« Variation des effectifs probablement dues aux conditions de météo et/ou à l'heure de relevé » et « Variation des effectifs probablement due au changement d'observateur, aux conditions météo et/ou à l'heure du relevé » respectivement). Si ces conditions en 2011 sont mises en avant pour justifier les variations observées pour les sites 5 et 11, cette explication n'est pas cohérente avec le fait que les données restent faibles l'année suivante alors qu'aucun incident n'a été reporté.

On ne saurait être affirmatif en s'appuyant sur un nombre trop faible de sites (pour lesquels aucune réserve liée à l'échantillonnage ne vient remettre les résultats en question en 2012 et 2011 (trois sites -10, 18 et 26- sur un ensemble de 33).. Il faut par ailleurs souligner que la qualité des échantillonnages n'a pas été examinée pour 2010, ce qui contribue à l'incertitude de l'interprétation des tendances.

Etant donné l'ensemble des autres données présentées et des conclusions qui en sont issues, l'INERIS partage le sentiment qu'aucune tendance claire ne peut être établie pour les insectes et qu'il est difficile de lier les variations observées aux opérations d'injection de CO₂. Cependant, à l'inverse de ce qui a été fait dans le rapport fourni, les variations observées ne devraient pas non plus être utilisées afin de justifier une absence d'impact.

Etant donné le manque de robustesse de l'ensemble des données entomologiques, le bilan réalisé à fin 2012 sur l'évaluation des impacts sur la faune et la flore devrait mettre de côté le suivi entomologique et s'appuyer plutôt sur le suivi floristique et sur les amphibiens.

Par ailleurs, l'INERIS fait remarquer que le choix initial des espèces suivies pourrait être questionné. Un suivi des populations du sol aurait pu être préféré afin d'établir un impact éventuel sur le fonctionnement des sols et plus largement des écosystèmes. A ce stade, nous ne pouvons plus envisager un tel suivi car nous nous ne disposons pas de mesures de l'état initial avant injection.

_

⁴ Il s'agit en fait des rhopaloceres (un taxon des lépidoptères, des papillons de jour). La baisse serait liée à des fauches car le prestataire de l'étude a décalé ses prospections à début juillet, afin de pouvoir observer des espèces patrimoniales qui tardaient à venir à cause du printemps froid : or de ce fait une proportion importante de prairies était fauchée.

2.3.2.5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS SUR LE SUIVI DU BIOTOPE

Des remarques ont été formulées sur la façon dont les informations sur le patrimoine faunistique et floristique du site ont pu être interprétées.

D'une manière générale, le suivi du biotope souffre de biais méthodologiques qui n'ont pas permis d'assurer une robustesse des données sur la totalité du suivi, notamment à cause du manque de maîtrise d'usage des sites, mais aussi parfois des conditions de travail lors des relevés (horaires inadéquats, averses).

L'analyse des données floristiques n'indique pas d'impact lié à l'injection de CO₂. A de faibles concentrations les effets de ce dernier sur la flore sont difficiles à prévoir. Pour ces raisons, l'INERIS ne préconise pas de poursuivre le suivi floristique.

L'analyse des données entomologiques (sur les insectes) est biaisée par des défauts dans la pratique d'échantillonnage et des contraintes extérieures (modifications des sites) qui ne permettent pas de tirer des conclusions claires.

L'analyse des résultats sur amphibiens ne montre pas d'impact provoqué par les activités de stockage de CO₂ opérées sur le site de Rousse sur la période de 2009 à 2012.

L'ensemble des données encore exploitables, combiné aux autres éléments du dossier, ne semble pas justifier de poursuivre un suivi généralisé de l'ensemble du biotope terrestre. Aussi, l'INERIS recommande plutôt de s'orienter vers un suivi des amphibiens, prenant ainsi en compte leur valeur patrimoniale et permettant de bénéficier des données déjà collectées : poursuivre ces espèces permettra en effet de rendre plus robuste l'interprétation de la période de surveillance précédente.

Ce suivi pourrait s'effectuer sur un nombre restreint de sites à sélectionner (20 environ), à condition de définir de façon plus rigoureuse la méthode suivie. Il convient en particulier de mieux établir l'usage des parcelles, afin de garantir que les résultats puissent être comparés d'une année sur l'autre. On privilégiera des sites au voisinage de la canalisation.

Si la question de l'impact sur l'ensemble des composantes de l'écosystème terrestre devait être maintenue, une poursuite du suivi entomologique pourrait être envisagée, mais devrait alors être repensé afin de tenir compte également des paramètres indicateurs du fonctionnement des sols.

3. CHOIX DE SCENARIOS RETENUS ET LEUR ESTIMATION

3.1 METHODE D'ANALYSE DES RISQUES ET RETOUR D'EXPERIENCE CONCERNANT LE MILIEU SOUTERRAIN

Sections expertisées dans le dossier initial : Chap.4 (Etude d'impact) sections 9.2 et 14.2 + Chap.5 (Etude de dangers) sections 2, 3, 4, + annexes 3 et 4

Documents complémentaires expertisés : I1, I2, I3, n1, n2, n3, n4, p, q (références détaillées en annexe 1)

3.1.1 RETOUR D'EXPERIENCE ET SCENARIOS PRESENTES PAR TEPF

<u>Le dossier comporte un volet « retour d'expérience »</u>, avec notamment une annexe 4 qui y est dédiée, comportant trois sources principales :

- 1°) Une recherche avec les mots clefs « extraction d'hydrocarbures » et « puits » a été réalisée sur la base de données ARIA du BARPI, qui fait référence en la matière, et qui a permis de décrire 53 accidents dans l'annexe 4 (TEPF précise dans son dossier que 38 d'entre eux sont relatifs à des puits ou têtes de puits).
- 2°) L'étude réalisée par l'INERIS en 2009 dans le cadre de l'ANR Picoref a été citée : y sont rassemblés des cas d'accidents concernant tant les installations de surface que les stockages souterrains de gaz. 9 accidents concernant les canalisations, 10 concernant d'autres installations en surface, 6 concernant les installations de stockage (puits) ; ces cas sont décrits en annexe 4.
- 3°) Une étude de l'IEA, non référencée fait état de 17 accidents sur des stockages souterrains.
- 4°) Deux événements supplémentaires ont été relevés par TEPF dans l'étude de dangers : un accident sur un puits de pétrole au Texas, un séisme près d'un site d'injection de CO₂ au Japon qui n'a généré aucun dommage.

En ce qui concerne la méthode d'analyse des risques, le bureau d'études URS a appliqué une méthode classiquement utilisée pour une étude de dangers sur un site industriel, tout en l'adaptant au contexte souterrain. Cette méthode est présentée en section 4.1. En particulier, les grilles semi-quantifiées d'estimation de la gravité et de la probabilité internes à TEPF ont été utilisées. Une APR (analyse préliminaire des Risques) a été réalisée avec une expertise en groupe de travail ayant impliqué 8 personnes du groupe TEPF.

<u>En ce qui concerne les scénarios (ou phénomènes) retenus pour l'analyse des risques</u>, certains sont quantifiés par modélisation (ils seront commentés plus en détail dans la section suivante) :

Réactivation de failles sous l'effet de la pression en section 4.4.2. L'étude de modélisation correspondante a été fournie par TEPF à la demande de l'INERIS, il s'agit du document référencé n1 – cette étude traite également la création de failles sous l'effet de la pression. Parallèlement, un raisonnement qualitatif est présenté pour ce qui concerne l'intégrité et l'étanchéité de la roche couverture (section 4.4.1), en exposant les connaissances acquises par la société TEPF.

- Modification des propriétés du réservoir par réactivité géochimique en section 4.4.5. Les études de modélisation correspondantes ont été fournies par TEPF à la demande de l'INERIS, il s'agit des documents référencés n2.
- Diffusion du CO₂ au sein de la couverture en section 4.4.6. L'étude de modélisation chimie-transport correspondante a été fournie par TEPF à la demande de l'INERIS, il s'agit du document référencé n3.
- Perte de l'intégrité du puits suite à un événement sismique en section 4.4.9.
 L'étude de modélisation correspondante a été fournie par TEPF à la demande de l'INERIS, il s'agit du document référencé n4 cette étude traite également du risque de l'activation de failles au voisinage du puits.
- Contamination d'un aquifère par migration le long du puits en section 4.4.10.3 et 4.4.11. La modélisation correspondante est présentée en annexe 3 (c'est peut-être à cette annexe que fait également référence la section 14.2.4 de l'étude d'impact); un complément a été fourni par TEPF à la demande de l'INERIS, il s'agit du document référencé (I).
- La perte de contrôle totale du puits (puits éruptif) en section 4.4.12. La modélisation correspondante est présentée en section 5.

D'autres scénarios <u>(ou phénomènes)</u> sont traités de manière qualitative par TEPF, jugeant leur plausibilité faible ou nulle au vu des données disponibles. Il s'agit de :

- Sortie latérale du gaz en section 4.4.3.
- Intrusion par des travaux ultérieurs de forage en section 4.4.4.
- Perturbation mécanique des terrains sus-jacents (déformation et soulèvement) sous l'effet de la pression et de la fracturation éventuelle en section 4.4.7. Un lien est fait avec l'étude de modélisation référencée n1 et citée ci-dessus.
- Perturbation mécanique des terrains suite à un événement sismique en section 4.4.8. Bien que le lien ne soit pas explicitement mentionné dans le dossier, cette problématiques est également abordée dans l'étude de modélisation référencée n1.

Le dossier conclut que tous les scénarios de risques ont un niveau acceptable, et en particulier que tous les risques liés au réservoir ou à une perte d'étanchéité présentent une probabilité d'occurrence très faible. Il présente *in fine* une matrice « probabilité x gravité » dans laquelle seul le scénario de puits éruptif est présent.

3.1.2 AVIS DE L'INERIS

3.1.2.1 AVIS SUR LA METHODE UTILISEE

En ce qui concerne la méthode globale (section 4 de l'étude de dangers et annexe 5), elle est conforme à l'état de l'art, et il faut même saluer l'effort fourni d'appliquer une méthode de type APR, habituellement utilisée pour le risque industriel, de manière unifiée pour le milieu souterrain, le puits et la tête de puits (installation de surface).

On peut faire remarquer qu'une représentation graphique de type arbre des causes aurait été souhaitable pour donner une représentation visuelle et synthétique du contenu de l'APR et du retour d'expérience, mais le résultat présenté ici, dans un tableau de type APR, est précis et conforme à l'état de l'art. Par ailleurs, l'exercice d'analyse de risques a pris comme base de travail une typologie des principaux phénomènes (présentée en section 4.1.2 et au début de l'annexe 5) qui est directement inspirée d'un rapport de l'INERIS⁵ et que le bureau d'études s'est correctement appropriée.

En revanche, il est difficile de voir le lien entre les scénarios issus du retour d'expérience, ceux issus de l'exercice d'analyse de risques présenté en annexe 5, ceux qui sont modélisés dans les différentes sections de la section 4, ceux qui sont présentés de manière synthétique dans la matrice. On ne comprend pas bien pourquoi la « Perturbation des écoulements Hydrauliques souterrains », présente dans la matrice en section 4, n'est pas reprise dans la matrice finale en section 6 (conclusion). Il serait également souhaitable de faire le lien avec la typologie des phénomènes exposée section 4.1.2.

Enfin, on regrette que le lien ne soit pas formalisé avec la liste des scénarios identifiés dans le dossier d'autorisation initial de 2008 (réf. p), ni avec le document de référence « lignes de conduite » (Bouc et al., 2011).

Il est donc utile d'améliorer la lisibilité et le caractère démonstratif du dossier. L'INERIS recommande de compléter l'étude par une identification plus précise et unifiée des scénarios, avec un numéro unique par scénario qui serait repris tout au long de l'étude jusqu'à une matrice finale « probabilité x gravité », reprenant tous les scénarios : en l'état actuel, la présentation de l'étude de dangers (chapitre 4 du dossier) est bien moins rigoureuse que la méthode sous-jacente.

A cet effet, l'INERIS propose en annexe 2 un tableau avec une vision unifiée de l'ensemble des scénarios et phénomènes considérés, d'après les différentes sources citées plus haut.

Ce travail de l'INERIS montre que l'ensemble des phénomènes pertinents ont été étudiés, par modélisation, par raisonnement qualitatif, ou de manière implicite (par exemple, deux scénarios présents dans le dossier de 2008 ne sont pas repris formellement dans le document de 2013 : « fuite par des failles existantes », et « fuite par un défaut d'étanchéité de la couverture » ; l'INERIS a estimé que le premier est traité en 4.4.2 et que le second est à rapprocher du scénario traité en 4.4.1 de manière qualitative). Dans l'annexe 2 du présent rapport les scénarios sont regroupés selon la typologie des phénomènes déjà décrite plus haut et un lien est fait et avec le document INERIS de 2013 relatif au REX. Ce tableau demanderait à être approprié puis complété par TEPF, en ajoutant notamment les classes de gravité et probabilité.

-

⁵ Rapport DRS-12-126009-01377A, Farret R., Thoraval A., « Synthèse de l'état des connaissances sur les risques liés au stockage géologique du CO2, Rapport n°2 : les risques en phase de stockage à long terme ».

Par ailleurs, cette typologie est compatible avec celle décrite dans les « lignes de conduite pour la sécurité d'un stockage géologique e de CO₂ » (Bouc et al., 2011).

En ce qui concerne la grille d'évaluation de la probabilité, en premier lieu l'INERIS apprécie que l'estimation de la vraisemblance (ou probabilité) des scénarios fasse référence aux accidents ou incidents passés (ex : « événement qui s'est déjà rencontré dans notre compagnie / dans notre industrie ») : ceci permet de rendre plus objectifs les termes tels que « peu fréquent » ou « rare ».

En second lieu, on peut noter que la dernière classe de fréquence « E-rarissime » n'est pas univoque et pourrait être soumise à des interprétations différentes selon les experts (« événement physique vraisemblable mais qui ne s'est jamais produit ou seulement quelque fois sur 20 à 30 ans sur un très grand nombre d'installations »). Cependant, même si certains scénarios devaient être estimés de probabilité supérieure à « E », cela ne devrait pas changer les conclusions générales, étant donné qu'ils ont un impact faible voire très faible sur l'environnement : cela pourra aisément être vérifié si une représentation finale unifiée des scénarios est assurée *via* la matrice de risques « probabilité x gravité », comme recommandé ci-dessus.

Par ailleurs, on peut faire trois remarques, qui cependant ne remettent pas en cause la démonstration présentée dans l'étude :

- Il n'est pas explicité clairement comment le retour d'expérience (section 3) a alimenté l'analyse des risques (section 4), ni précisé s'il a été pris en compte pour renforcer la plausibilité d'un scénario particulier. Par exemple, TEPF y met en avant 3 causes, dont une ne semble pas pertinente une fois l'injection terminée (« défaut d'étanchéité des vannes régulatrices de débit »).
- L'échelle de probabilité prise en compte (grille DIRSEC08 du groupe TEPF) n'est pas bien adaptée aux phénomènes de long terme, puisqu'elle est en fait calée pour des installations d'une durée de vie de 20 à 30 ans.
- L'étude ne traite pas de manière explicite les « scénarios d'évolution altérée » comme le recommandent les « lignes de conduite » (Bouc et al., 2011).
 - Etant donné que nous ne sommes plus en phase d'injection, on peut considérer que cela ne constitue pas une lacune du dossier : en effet, une réponse implicite a été apportée à ce point car la plupart des modélisations réalisées font appel à des hypothèses majorantes (ou prudentes).

3.1.2.2 AVIS SUR LE RETOUR D'EXPERIENCE

Le retour d'expérience (sections 3 et annexe 4) est une étape indispensable lors de la réalisation d'une bonne analyse de risques, ce que le dossier TEPF a intégré de manière explicite. Les 3 sources bibliographiques utilisées sont pertinentes et les deux sources les plus fournies sont reprises en annexe. La source IEA aurait pu être mieux décrite : il s'agit vraisemblablement du rapport « Safe storage of CO₂: experience from the natural gas storage industry » publié en 2006. Il recense 17 incidents sur des sites de stockages souterrains mais 15 d'entre eux sont relatifs à des cavités salines, dont la problématique s'éloigne du cas traité ici (à l'exception notable des phénomènes relatifs au puits).

On peut regretter que le document réalisé par Evans en 2008 (« An appraisal of underground gas storage technologies and incidents, for the development of risk assessment methodology ») n'ait pas été cité car il est plus pertinent, plus détaillé et plus complet : préparé par le BGS (British Geological Survey) pour le compte de HSE (Health and Safety Executive) au Royaume-Uni, il est centré sur les stockages souterrains de gaz naturel, particulièrement pertinents en termes d'analogie avec le stockage de CO₂.

L'INERIS a publié début 2013 un rapport spécifique au retour d'expérience sur les stockages souterrains de gaz (y compris CO₂) et l'exploitation d'hydrocarbures, en ciblant les phénomènes qui sont plausibles dans le cas des stockages de CO₂. ⁶ Ce rapport recense 80 cas et en décrit 37 de manière détaillée, dont 5 événements ou suspicions d'événements relatifs aux pilotes de stockage de CO₂ dans le monde. Il analyse les phénomènes redoutés et les causes des accidents, en intégrant les informations décrites dans Evans (2008) cité ci-dessus et une recherche complète sur la base de données ARIA.

Ce rapport récent est utile pour répondre à la question posée par la DREAL. Il mentionne quelques scénarios nouvellement identifiés par rapport à l'état des connaissances de 2008, mais ceux-ci ne paraissent pas plausibles pour le site de Rousse⁷.

Une information nouvelle dans ce rapport est que la cause principale des différents scénarios de fuite est l'erreur de conception ou la mauvaise caractérisation du milieu : le milieu ne se comporte pas comme prévu lors des modélisations, on sous-estime certains mécanismes lors de la conception, ou il apparaît une zone de failles initialement non détectée (cela représente 42% des cas pour lesquels la cause est identifiée, et un tiers de ces cas se rapporte aux puits, deux tiers à la géologie). Cette cause n'est pas identifiée dans le dossier de TEPF. Identifier cette cause aurait pu être une manière de traiter explicitement les « scénarios d'évolution altérée », ainsi qu'il est recommandé en section 3.4 des « lignes de conduite » (Bouc et al., 2011).

Il nous faut supposer que dans le cas précis de Rousse le milieu caractérisé de manière suffisante pour rendre cette cause très peu probable : l'injection a cessé, l'épaisseur de la roche couverture est très importante, il existe différentes études antérieures sur les failles environnantes et la tenue mécanique des terrains, enfin le site est connu et exploité par TEPF depuis environ 50 ans – comme explicité en section 4.4.1 du dossier [1].

_

⁶ Farret R et, Thoraval A., « Retour d'expérience des incidents et accidents sur des sites d'exploitation ou de stockage en milieu souterrain – application au stockage géologique du CO2 », rapport INERIS DRS-12-126009-13886B

⁷ Exemple : subsidence en surface ; effondrement par lessivage suite à la communication avec un autre horizon ; phénomène intermittent suite à l'accumulation dans un aquifère supérieur.

3.2 SCENARIOS MODELISES EN MILIEU SOUTERRAIN

3.2.1 AVIS DE L'INERIS SUR LES PHENOMENES MECANIQUES PRIS EN COMPTE

Le rapport complémentaire référencé n1 (« Intégrité du site de Rousse lors de l'injection de CO₂ ») estime les risques de fracturation mécanique du fait de la surpression due à l'injection, en ciblant la roche couverture. Le document étudie par le biais de modélisations 1D puis 3D le risque d'initiation de fractures en traction et en cisaillement, le risque de propagation de ces fractures, et enfin le risque de réactivation de failles existantes (y compris en supposant que le fluide et la surpression pénètrent cette faille). L'étude montre que la pression maximale admissible, garantissant l'intégrité du réservoir, est de 410 bar.

L'INERIS n'ayant pas été sollicité pour la tierce-expertise des études géomécaniques, il ne préjuge pas des résultats obtenus et s'exprime exclusivement sur les scénarios retenus dans ces études. De ce point de vue, l'étude réalisée n'appelle aucune remarque particulière de notre part car l'interprétation en termes de scénarios de risques est précise et les hypothèses sont clairement présentées (on peut regrette cependant qu'aucune référence ne soit mentionnée dans l'étude).

Le rapport complémentaire référencé n4, réalisé par le bureau d'études CURISTEC avec l'appui de Brouard Consulting, traite des conséquences d'un séisme. Après avoir défini un événement sismique de référence, il effectue des modélisations pour démontrer successivement que dans le cas d'une onde arrivant perpendiculairement au puits :

- Cet événement n'est pas susceptible d'induire une fracturation ou d'activer une faille dans le massif, en particulier au niveau du puits ;
- Le puits (acier et gaines de ciment) résistera à cet événement, son intégrité n'étant donc pas menacée ;
- Ces conclusions sont confirmées lorsqu'on prend en compte les variations ce contraintes dynamiques (phénomènes de réflexion et réfraction des ondes au niveau des différents éléments constitutifs du puits).

Là encore, la tierce-expertise de l'INERIS ne porte que sur les scénarios de l'étude sismique et les hypothèses retenues pour estimer ces scénarios. En cela, nous n'avons pas de critique à émettre sur les modélisations effectuées, les questions géophysiques faisant de plus l'objet d'une tierce-expertise complémentaire par un autre organisme. Nous remarquons que les outils utilisés sont adaptés et conformes à l'état de l'art, toutefois la propagation verticale des ondes sismiques n'a pas été intégrée à l'étude : un tel mode de propagation serait susceptible de provoquer un effet de résonance, dans le cas où la longueur d'onde du séisme serait du même ordre que la hauteur d'un élément du puits non cimenté, c'est-à-dire non solidaire du massif.

La particularité du site de Rousse nous amène à recommander que ce point spécifique soit étudié. En effet, étant donné la proximité de la chaîne Pyrénéenne, il ne semble pas évident d'exclure *a priori* toute possibilité de transmission d'une onde dans le sens vertical.

Rappelons qu'il existe des cas où les puits pétroliers sont rompus suite à un séisme (des cas sont par exemple mentionnés dans le rapport INERIS de 2013 sur le retour d'expérience) mais il est difficile de connaître le détail du mécanisme de rupture en cause. A l'inverse, le dossier TEPF cite l'exemple du site de Iwanohara au Japon où un séisme n'a pas affecté le puits, mais l'épicentre était situé à 20 km ce qui exclut *a priori* la transmission verticale d'une onde.

Il convient toutefois de noter que même en cas de perte d'intégrité du puits, un impact sur l'environnement n'est à craindre que si des fluides peuvent circuler sur au sein de la zone extérieure au puits, ou si le pied de puits (vanne de fond, cimentation) est altéré de manière concomitante.

Lors du lancement de l'étude de bouchage du puits, TEPF pourra envisager, soit des ancrages pour rendre par endroits le cuvelage du puits solidaire du massif environnant, soit toute autre mesure permettant d'augmenter la robustesse face à un séisme.

3.2.2 AVIS DE L'INERIS SUR LES PHENOMENES DE TRANSPORT ET DE FUITE PRIS EN COMPTE

3.2.2.1 AVIS DE L'INERIS SUR LE SCENARIO IDENTIFIE ET MODELISE POUR LA COMMUNICATION AVEC L'AQUIFERE DE LASSEUBE

Rappelons que dans le champ de la tierce-expertise, la DREAL a demandé qu'une attention particulière soit accordée à ce scénario, qui aboutit à une communication avec l'aquifère de Lasseube sus-jacent.

Le scénario pris en compte puis modélisé est l'ouverture d'une fissure le long du puits, à cause de la « perte d'intégrité » des ciments du puits⁸. En premier lieu, l'INERIS remarque que l'origine de cette perte d'intégrité n'est pas clairement explicitée (ex : surpression, dégradation des ciments, défaut de cimentation, mud channel...), ni reliée à l'annexe 5 (tableaux d'analyse des risques).

Notons en second lieu une imprécision en ce qui concerne la définition de ce scénario, sans grande conséquence toutefois : le scénario pris en compte ici est la « fissuration » des ciments. Or, au vu de l'état de l'art, ce mécanisme paraît bien moins probable sur une grande distance qu'un cheminement aux interfaces entre ciment et casing, ou à l'interface entre ciment et massif via un « micro-annulaire » (cf. Bouc et al, 2011, Farret, 2010, ou encore l'annexe 5 qui mentionne l'événement « altération au niveau des interfaces »). Néanmoins cette imprécision ne change rien aux hypothèses prises pour la modélisation, à savoir un cheminement dans un espace qui ressemble à une fissure étroite, un « micro-annulaire ». L'hypothèse retenue est un cheminement continu sur près de 2 500 m, ce qui est *a priori* une hypothèse majorante pour un tel cheminement dans les deux cas.

_

⁸ Il s'agit en fait d'un double scénario, susceptible d'avoir à la fois des conséquences en termes de contamination du Lasseube (impact qui a ensuite été infirmée par modélisation) et en termes d'effet hydraulique (modification des pressions dans le Lasseube – impact confirmé par la modélisation).

Au vu des éléments complémentaires transmis par TEPF en septembre 2013 (réf. l2 et l3 listés en annexe 1), la modélisation a été réalisée pour trois largeurs de la fissure (20 µm, 200 µm et 2 mm), mais dans le dossier [1] seules les deux premières modalités ont été reprises. Ce choix n'a pas été justifié : peut-être est-il suggéré par un retour d'expérience interne à TEPF, ou par la largeur des microannulaires qui ont effectivement été constatés localement lors des diagraphies sur la cimentation du cuvelage 7", comme explicité à la section 4.4.11.9

Etant donné l'état de l'art, l'ordre de grandeur de 200 µm semble acceptable car une ouverture de l'ordre de 1 à 2 mm est peu plausible sur une telle longueur (elle le serait par exemple en cours d'injection dans un aquifère, lorsqu'une surpression peut maintenir la fissure ouverte). Toutefois l'INERIS recommande que TEPF clarifie ce choix pour rendre plus robuste la définition du scénario de risque modélisé.

Dans le dossier présenté, les résultats de cette modélisation en annexe 3 n'ont pas un niveau de précision suffisant, toutefois TEPF a transmis des éléments complémentaires (réf. I1 à I3), permettant de mieux comprendre les processus et phénomènes considérés (et écartés), les données d'entrée et les principaux résultats chiffrés obtenus.

Au vu de ces éléments, nous pouvons estimer que TEPF a considéré de manière appropriée les phénomènes en jeu, avec des hypothèses conformes à l'état de l'art, en supposant un écoulement bi-phasique (voire tri-phasique avec les condensats d'hydrocarbures), sans prise en compte de la mécanique (ce qui *a priori* est pénalisant dans ce cas), sans miscibilité des fluides (dissolution).

Les hypothèses de modélisation des transferts biphasiques sont de type Van Genuchten (loi de Darcy généralisée) qui paraissent conformes à l'état de l'art, et il nous est délicat de critiquer le choix des conditions aux limites du domaine, la société TEPF étant la mieux placée pour connaître les conditions spécifiques du site considéré.

Les résultats numériques montrent un écoulement de haut en bas du Lasseube vers le Mano (sans remontée du CO_2 à contre-courant), assorti : 1°) d'une remontée de pression dans le Mano au voisinage du puits et 2°) d'une dépression dans le Lasseube. Nous attirons l'attention sur le fait que la dépression de 6 bar mentionnée dans le dossier n'est qu'une moyenne, au voisinage du puits elle est bien plus importante.

Bien entendu, les débits, la remontée de pression dans le Mano et la baisse de pression dans le Lasseube dépendent fortement de la largeur choisie pour le micro-annulaire.

.

⁹ A ce sujet, on peut s'interroger sur la conclusion du 4.4.11 qui expose que « la liaison avec le terrain encaissant sont d'excellente qualité » : elle semble optimiste étant donné les résultats de diagraphies décrits dans les pages précédentes.

3.2.2.2 Avis de l'INERIS sur les autres scenarios de transfert de fluides et de CO_2

Au vu du dossier concernant le puits, un autre scénario devrait être analysé : car l'hypothèse d'un cheminement via d'autres éléments du puits (figure 2 du rapport [1]), et notamment les annulaires non cimentés en partie inférieure du puits, n'a pas été considérée.

En annexe 5, deux causes susceptibles d'engendrer de tels cheminements ont été identifiées : en page 3/14, « perte de la cimentation du premier casing »— cette cause pourrait-elle s'appliquer à d'autres gaines de ciment ?— et en page 5/14 « mauvaise cimentation » : le retour d'expérience confirme la pertinence de ce dernier événement, qui peut être dû aussi bien à un défaut lors de la mise en œuvre initiale des ciments qu'à leur dégradation au cours de l'exploitation ou après abandon (par exemple via les points sensibles que sont les pieds de cuvelage et les jonctions entre deux annulaires de cimentation), la corrosion simultanée des éléments métalliques étant possible.

L'enjeu est d'identifier si par un tel cheminement une connexion avec le Lasseube est possible via l'un des annulaires remplis d'eau ou de boue (signalés « MUD1 » sur la figure 6) dans lesquels le gaz pourrait éventuellement circuler plus facilement. Il est possible que ce cheminement ne s'avère pas plus pénalisant que le scénario d'écoulement via une fissure modélisé précédemment mais il faut un schéma précis du puits pour confirmer ce point, qui pourra de plus nécessiter de distinguer la situation actuelle de la situation après colmatage du puits.

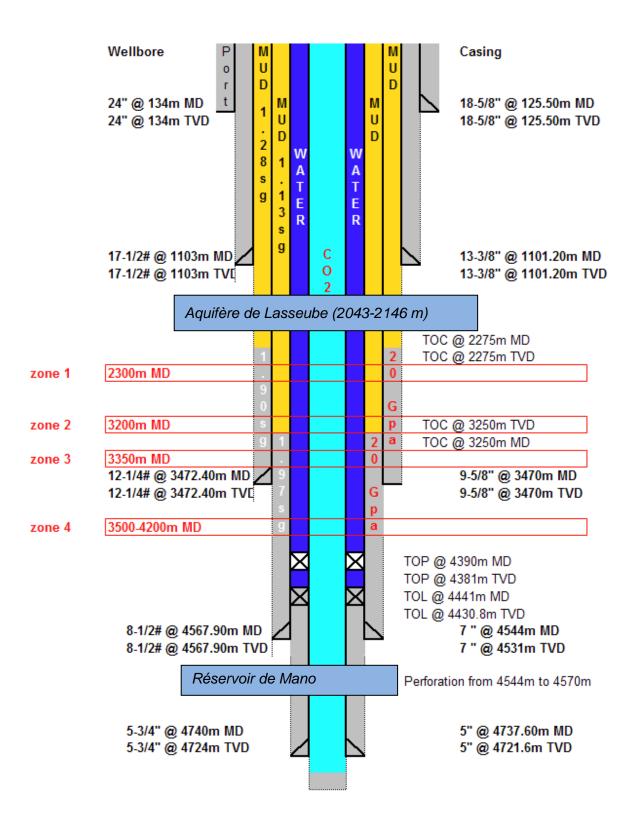


Figure 6 : Schéma des principaux éléments du puits RSE1 (cuvelages, cimentations, annulaires) et positionnement des aquifères. D'après rapport CURISTEC (réf. n4).

En ce qui concerne les autres causes de nature hydro-mécaniques, on peut signaler que la cause « ouverture d'un annulaire sous l'effet de la pression » figure dans l'annexe 5 (page 5/14) et qu'elle est supposée susceptible de causer une communication avec l'aquifère de Lasseube ; en fait, l'INERIS estime qu'une fois l'injection terminée cette cause doit pouvoir être écartée, ou alors l'origine de la surpression devrait être mieux précisée.

<u>En ce qui concerne les phénomènes géochimiques</u>, ils sont susceptibles de modifier le comportement de la roche réservoir et de la roche couverture, notamment leurs caractéristiques hydrauliques : différentes études ont été réalisées (n3-chimie-transport et plusieurs documents référencés n2- géochimie-thermodynamique). L'INERIS note qu'il est délicat de relier précisément ces études à l'un ou l'autre des scénarios de risque ¹⁰.

L'INERIS n'a pas été sollicité spécifiquement pour la tierce-expertise des études géochimiques, il ne préjuge donc pas des résultats obtenus. Il fait remarquer que certains minéraux n'ont pas été pris en compte, sans être en mesure d'affirmer que cela aurait une conséquence sur le résultat final. Les modèles utilisés sont reconnus par la communauté scientifique et au vu des données transmises les hypothèses semblent être en cohérence avec l'objectif de l'étude. Nous ne sommes cependant pas en mesure de critiquer le choix des conditions aux limites, la société TEPF étant la mieux placée pour connaître les conditions du site considéré.

En ce qui concerne l'étude de la diffusion au sein de la couverture (réf. n3), qui est un scénario de risque pertinent à long terme, l'étude conclut non seulement à l'impossibilité d'une migration à travers la couverture, mais également à un impact limité à une épaisseur de 1 mètre environ. On peut critiquer le choix du coefficient de diffusion et le fait de n'avoir pas pris en compte la variation de ce dernier en fonction de la température (via la loi d'Arrhenius), en ce sens il est probable que la modélisation n'ait pas été effectuée avec toutes les hypothèses majorantes ; cependant même si le résultat quantitatif devait être multiplié par un facteur 10, cela n'affecterait pas la conclusion en terme de scénario et d'impact sur l'environnement. La littérature scientifique fait état de résultats similaires avec une estimation de la diffusion et de la dégradation dans les roches couvertures de l'ordre de quelques mètres – en l'absence de défaut dans la roche couverture.

Il ne faut pas oublier qu'il s'agit là uniquement de modélisations, avec des incertitudes sur le long terme, d'autant plus qu'elles sont menées indépendamment des modélisations sur les impacts mécaniques (réf. n1) et qu'elles ne prennent pas en compte les hétérogénéités spatiales.

Rappelons que dans le cas de Rousse, une des problématiques principales pour l'analyse des risques est qu'il est supposé que le CO₂, plus lourd que le gaz en place, migrera vers le fond du réservoir de Mano.

_

¹⁰ La société TEPF montre ici des modélisations qui sont réalisées avec des hypothèses pénalisantes, mais elle exprime par ailleurs que le CO₂, plus lourd que le gaz en place, ne remonte pas vers la roche couverture (d'ailleurs dans l'annexe 5, les scénarios correspondants ne semblent pas être retenus, sans que cela soit justifié précisément).

Si cela est vérifié à l'avenir, alors les scénarios relatifs à la roche couverture (altération géochimique, diffusion, présence d'un défaut d'étanchéité) sont peu plausibles. Si en revanche un doute se faisait jour à ce sujet au cours de la phase de surveillance à venir, alors il conviendrait d'étudier l'impact sur une éventuelle hétérogénéité non détectée au sein de la roche couverture.

3.3 LIEN AVEC LES INSTALLATIONS DE SURFACE

3.3.1 SCENARIO PRESENTES PAR TEPF

Comme déjà mentionné, la méthode d'analyse des risques a été commune aux scénarios concernant le milieu souterrain, le puits et la tête de puits en surface. *In fine*, un seul scénario, majorant, a été modélisé pour ce qui concerne la surface : il suppose une perte de contrôle totale du puits, incluant la rupture de la tête de puits, et est dénommé « puits éruptif ».

Sa modélisation suppose la dispersion d'un nuage toxique suite à un rejet à 45° (ce qui est pénalisant par rapport à un rejet vertical). Elle conclut à des effets qui sont contenus à l'intérieur du site clôturé appartenant à TEPF.

3.3.2 AVIS DE L'INERIS SUR LE SCENARIO

Il est pertinent de modéliser un cas majorant comme cela a été fait. En effet, le retour d'expérience mentionné par TEPF comme par le rapport 7 en indice de l'INERIS de 2013 montre bien que l'éruption de puits est à prendre en comptebien que dans le cas présent elle soit très peu probable car elle suppose une rupture simultanée de la tête de puits et des vannes à l'intérieur du puits. Les hypothèses retenues pour estimer le scénario sont conformes à l'état de l'art.

Le dossier de TEPF précise bien qu'il y a une série de vannes qui sont susceptibles de fermer le puits et d'entraver l'écoulement du fluide : vannes en tête de puits, vanne de subsurface, vanne de pied de puits juste au-dessus du réservoir de Mano. Cependant, comme l'objectif est de déconnecter et mettre en sécurité les installations de surface, et comme une vanne est toujours susceptible de défaillir, l'INERIS recommande qu'il soit mis en place un tampon fermé, à la place d'une de ces vannes.

De plus, il sera utile de s'assurer que ces vannes ne dépendent pas du même actionneur.

3.4 CONCLUSION SUR LES SCENARIOS RETENUS

Comme déjà signalé plus haut, la méthode globale d'analyse des risques est complète et conforme à l'état de l'art, cependant on recommande que le dossier présente les résultats et les scénarios de manière unifiée tout au long de l'étude, en faisant le lien avec les scénarios du dossier de 2008, par exemple en s'inspirant du tableau proposé par INERIS en annexe 2.

Par ailleurs, le retour d'expérience est correctement présenté, même si on peut émettre quelques remarques quant au choix de certaines sources et quant à l'interprétation en termes d'analyse de risques (identification des causes des scénarios).

Les principaux types de phénomènes susceptibles d'intervenir ont bien été identifiés dans le dossier : phénomènes de fuite le long d'un puits ou d'une faille, perturbation des écoulements hydrauliques sur le Lasseube, perturbations mécaniques par surpression ou par un séisme, effets géochimiques et diffusion du CO₂ au sein de la roche couverture, puits éruptif.

Ces phénomènes ont été transcrits en plusieurs scénarios, dont plusieurs ont fait l'objet de modélisations détaillées. Trois remarques importantes sont à faire en ce qui concerne le choix de ces scénarios :

- a) Relativement à l'impact d'un séisme sur le puits, l'INERIS recommande que le cas particulier de la transmission d'une onde sismique dans le sens vertical soit vérifié ou étudié avant 3 ans. Ce point a été précisé ci-avant en 3.2.1.
- b) Relativement aux mécanismes de transfert de fluide le long du puits, l'INERIS recommande que i) pour le scénario modélisé, le choix de la largeur de l'écoulement soit précisé et ii) qu'un scénario complémentaire soit analysé : le cheminement via d'autres éléments du puits, et notamment les annulaires non cimentés (on pourra démontrer, soit qu'il n'est pas plausible, soit qu'il est moins pénalisant que celui déjà modélisé).
- c) Il aurait été souhaitable qu'il soit fait mention de manière plus explicite de l'évolution du système à long terme, et donc de l'évolution des scénarios de risque.

En ce qui concerne le point (c) ci-dessus, on peut préciser que certains mécanismes et scénarios peuvent devenir plus probables à long terme, après abandon, du fait des altérations géochimiques ou à la corrosion du puits : perte d'intégrité à cause d'un séisme, migration aux interfaces ou dans les zones altérées. Des études de la géochimie et de l'interaction fluide-roche ont été réalisées par TEPF et se poursuivent effectivement sur le long terme, mais il n'est pas précisé à quels scénarios ces modélisations se rapportent, ni si ces scénarios évoluent au cours du temps, ni s'il s'agit d'une évolution « normale » ou « altérée » du système.

A long terme, dans le cas du scénario qui aboutit au déversement d'eau du Lasseube dans le Mano, on aurait pu discuter du fait que le gaz du réservoir de Mano va, soit se dissoudre dans cette eau, soit monter vers le haut du réservoir.

D'une manière générale, on ne peut préjuger de manière certaine de l'évolution du système à long terme, étant donné la relaxation sur le plan mécanique et les phénomènes géochimiques. Etant donné l'état de l'art, des moyens spécifiques sont à avancer pour démontrer que les risques à long terme correspondants sont maîtrisés. Il s'agit de : i) l'analyse du retour d'expérience sur des puits abandonnés en milieu acide (y compris le retour d'expérience interne à TEPF), ii) l'observation du comportement du puits, du recouvrement et du panache de CO₂ maintenant et dans les années à venir, iii) les modélisations et projections à long terme, incluant la prise en compte des incertitudes.

Il est important que d'ici 3 ans, TEPF démontre que ces moyens sont exploités au mieux, en regard des scénarios adéquats, tout en incluant dans la réflexion les techniques prévues pour le colmatage et l'abandon du puits. Précisons que l'enjeu semble être moins l'impact sur l'environnement que la permanence même du confinement.

Enfin, il convient d'étudier avec précision la technique de bouchage du puits afin de s'assurer qu'elle apporte la meilleure prévention possible face à tous les scénarios de risque, en intégrant à la fois :

- le positionnement et la hauteur du ou des bouchons,
- l'ancrage dans le massif avec retrait ou percement du cuvelage en place,
- le matériau utilisé (ciment, additifs...),
- les modalités de mise en œuvre.

4. RECOMMANDATIONS CONCERNANT LA SURVEILLANCE

Au vu des éléments présentés ci-avant, les recommandations de l'INERIS en ce qui concerne la surveillance pour les 3 ans à venir sont les suivantes :

Thème	Recommandations pour la	Remarques et précision	
	surveillance	quant aux objectifs	
Flore	Surveillance non prolongée		
Batraciens	Surveillance à prolonger sur 20 sites à sélectionner, à condition de mieux définir la méthodologie : prendre garde à l'usage des parcelles et baser cette surveillance sur un état des lieux plus précis après les campagnes 2012. On privilégiera des sites au voisinage de la canalisation de transport du CO ₂ .	Rendre plus robuste l'interprétation de la période de surveillance précédente quitte à réduire le nombre de sites.	
Insectes	Nous ne proposons pas de prolonger la surveillance (cf. ci-contre)	En l'état, la surveillance des insectes ne permet pas de répondre à la question de l'impact sure le biotope terrestre ; si cette question est maintenue, alors l'INERIS propose de prolonger la surveillance sur plusieurs sites, à condition de mieux définir la méthodologie et l'usage des parcelles. Là encore on privilégiera des sites au voisinage de la canalisation.	
IBGN	Surveillance à continuer en R1, R2 et R4	Baisse de diversité observée sur ces sites : cette tendance est à surveiller	
Physico-chimie des eaux de surface	Surveillance à continuer en R1 et R2 et R4	Hausse non expliquée du pH	
Physico-chimie de 12 stations eaux souterraines	Surveillance à continuer en C1, C2, C3, C4, C6, C10 (gave de Pau et calcaires infra-molassiques), au moins pour les paramètres liés à la chimie du CO ₂	Surveiller la baisse de pH observée et identifier la gamme de variabilité de la pCO2 (ou CO2 dissous) dans les aquifères mentionnés et mieux l'interpréter. Le suivi dans le temps pour la surveillance d'éventuels effets "retardés" mérite d'être poursuivi, mais doit s'accompagner d'analyses isotopiques (cf ci-dessous)	

Isotopie du C (NOUVEAU)	A réaliser en C1, C2, C3, C4, C6, C10	Discriminer les sources possibles du CO ₂ , en particulier celles d'origine biogénique
Surveillance du puits RSE1 et du Voisinage immédiat (ainsi que de tout autre puits éventuellement présent entre RSE1 et le Gave de Pau)	Démonstration de l'intégrité mécanique du puits avant son bouchage définitif. Mesures de CO ₂ ou de flux gazeux en surface ou de CO ₂ à faible profondeur Mesures de pression et de gaz dans les annulaires du puits (comme proposé dans le dossier)	Détecter tout événement, désordre mécanique ou perte d'intégrité le long d'un puits et de sa cimentation, notamment près de la surface ; confirmer la non existence de chemin préférentiel vers les aquifères de surface

Il est également important que l'exploitant mette en œuvre durant les 3 ans à venir les moyens à sa disposition pour faire barrière aux scénarios identifiés à ce jour et pour se prémunir au mieux d'une éventuelle évolution « altérée » du système à long terme, comme il a été spécifié à la fin du chapitre 3. A ce titre il paraît donc utile :

- d'observer le comportement du puits et du recouvrement ;
- d'étudier la faisabilité d'observations permettant de confirmer que le CO₂ migre vers le fond du réservoir.

5. CONCLUSION

Pour ce qui concerne l'impact des opérations d'injection :

Au vu des paramètres physicochimiques et biologiques suivis de 2009 à 2012, l'INERIS est en mesure de confirmer l'absence d'effet mesurable des opérations d'injection de CO₂ sur les eaux de surface. Néanmoins, il sera judicieux de surveiller les évolutions de la diversité (IBGN) dans les premiers temps afin de vérifier si les variations constatées (tendance à la baisse de la biodiversité) sont des anomalies ou des tendances qui se développent.

En ce qui concerne les eaux souterraines, une augmentation significative de la pression partielle de CO₂ apparaît dans l'aquifère du gave de Pau de manière concomitante avec la phase d'injection mais l'hypothèse selon laquelle il y aurait un lien de cause à effet ne peut être démontrée.

Plusieurs hypothèses peuvent être formulées pour expliquer cette augmentation de la pression partielle de CO₂ :

- la variabilité naturelle,
- des événements climatiques exceptionnels,
- une origine anthropique.

Afin d'évaluer ces hypothèses, il paraît donc nécessaire de réaliser des analyses isotopiques et un suivi exhaustif de la nappe pendant 2 à 3 ans – en prenant des précautions importantes quant au protocole de mesure du pH. Dans l'hypothèse (qui reste à démontrer) où il y aurait un lien directe avec les opérations d'injection, on imagine plutôt une fuite proche de la surface (tête de puits voire canalisation de transport) qu'une communication entre le réservoir et l'aquifère de surface, car le temps de transfert est très faible.

Pour l'étude du biotope terrestre, d'une manière générale des biais méthodologiques sont à signaler. Les résultats de l'étude floristiques sont les moins affectés, et nous pouvons confirmer l'absence d'impact sur la flore à ce stade. En ce qui concerne les amphibiens, les évolutions constatées sont d'ordre naturel ou sont issues de conditions extérieures empêchant la mesure efficace sur certains sites. En ce qui concerne les insectes, la robustesse des données recueillies n'est pas suffisante pour lier les variations observées aux opérations d'injection de CO₂, ni pour affirmer une absence d'impact.

Dans l'objectif de rendre plus robuste l'interprétation de la période de surveillance précédente, l'INERIS propose de poursuivre le suivi pour les amphibiens – à condition de rendre plus rigoureuse la sélection des sites et la méthode d'observation. Le suivi sur les insectes pourra éventuellement être prolongé sur certains site, en fonction des objectifs concrets de cette surveillance.

Pour ce qui concerne les scénarios de risques :

La méthode globale d'analyse des risques et d'identification des scénarios est complète et conforme à l'état de l'art, cependant la présentation de l'étude de dangers est peu rigoureuse. Afin d'améliorer à la fois la lisibilité et la robustesse de la démonstration, l'INERIS recommande que l'exploitant complète son dossier avec une vision globale et unifiée de l'ensemble des scénarios ou phénomènes jugés pertinents, en faisant de plus le lien avec le dossier de 2008.

Globalement, le retour d'expérience sur les accidents passés, tel qu'il était disponible à fin 2012, est correctement présenté. Les principaux types de phénomènes susceptibles d'intervenir ont été considérés dans le dossier.

Plusieurs remarques sont à faire en ce qui concerne le choix des scénarios, les plus importantes sont les suivantes :

- En ce qui concerne l'impact d'un séisme sur le puits, l'INERIS recommande que le cas particulier de la résistance du puits à la transmission d'une onde sismique dans le sens vertical soit étudié avant 3 ans. Etant donné la proximité de la chaîne Pyrénéenne, il ne semble pas évident d'exclure a priori cette éventualité.
- En ce qui concerne le transfert le long du puits et la communication avec l'aquifère de Lasseube, l'INERIS recommande que pour le scénario modélisé le choix de la largeur de l'écoulement soit précisé, d'une part, et que, d'autre part, il soit vérifié que le cheminement via d'autres éléments du puits tels les annulaires non cimentés ne peut pas être plus pénalisant.
- En ce qui concerne le lien entre le puits et les installations de surface, comme une vanne est toujours susceptible de défaillir, l'INERIS recommande qu'il soit mis en place un tampon fermé.

L'INERIS fait remarquer qu'il aurait pu être fait mention de manière plus explicite de l'évolution du système à long terme et donc de l'évolution des scénarios de risques, voire d'une éventuelle évolution « altérée ». D'une manière générale, on ne peut préjuger de manière certaine de l'évolution du système à long terme, mais l'observation et la modélisation figurent parmi les moyens à avancer pour démontrer que les risques sont maîtrisés au mieux.

Signalons que, dans le cas de Rousse, il est supposé que le CO₂, plus lourd que le gaz en place, migrera vers le fond du réservoir de Mano : si cette hypothèse est vérifiée à l'avenir, les scénarios relatifs à la roche couverture (altération géochimique, diffusion, présence d'un défaut d'étanchéité) sont rendus moins plausibles.

Pour les scénarios relatifs au puits, il convient d'étudier avec précision la stratégie de bouchage à venir afin de s'assurer qu'elle apporte la meilleure prévention possible, en intégrant dans cette étude :

- le positionnement et la hauteur du ou des bouchons,
- l'ancrage dans le massif avec retrait ou percement du cuvelage en place,
- le matériau utilisé (ciment, additifs...),
- les modalités de mise en œuvre.

Une diagraphie sera nécessaire avant d'arrêter le programme définitif de bouchage, ce dernier devant tenir compte de l'état réel du puits.

6. <u>LISTE DES ANNEXES</u>

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Liste des documents demandés par INERIS et remis par TEPF	4 A4
Annexe 2	Tableau récapitulatif des scénarios par l'INERIS	4 A4
Annexe 3	Courrier de la DREAL	4 A4

ANNEXE 1
Liste des documents demandés par INERIS et remis par TEPF

Annexe 1 - Références des documents complémentaires analysés dans le cadre de l'étude

Réf	Date	Demandes complémentaires de INERIS (2 juillet 2012)	Date	Document(s) Total
		En ce qui concerne l'impact sur les eaux de surface :		
a		a- Une copie de bonne qualité de la figure 6 « Evolution des paramètres physico-chimiques de base ».	15 juil	Fig 3.8 page 24 du doct ARTELIA/ 10-0705_TOTAL E&P_Rapport semestriel : Automne 2012_Rev1-MDG/FMU
b		b- Données ayant permis de réaliser la Figure 6 (données présentées dans un rapport ou données brutes)	15 juil	Fichier Excel (données brutes)
С		c- résultats physico-chimiques pour 2009-2010-2011 des métaux, HAP et "analyses de base" (incluant suivi des carbonates) selon un tableau similaire aux tables 5 et 6 (§ 8.5.2.2) En ce qui concerne les eaux souterraines :	15 juil	"2-c Résultats physico-chimiques 2009" "2-c Résultats physico-chimiques 2010" "2-c Résultats physico-chimiques 2012"
d		d- Données cartographiées pour situer de manière globale les stations de mesure citées en 9.2 du chap.4(EI) et leurs profondeurs	15 juil	Extrait Carte IGN
е		e- Résultats des paramètres physico-chimiques suivis pour chaque station identifiée en 9.2 et périodicité des mesures	15 juil	Fichier Excel (données brutes)
f		f- le protocole de mesure du pH.	15 juil	Memo spécifique
		En ce qui concerne la faune et la flore :	15 juil	
g		g- Données cartographiées pour situer les stations (notamment pour les inventaires des espèces) et les dates	15 juil	Extrait carte routière
h		h- l'état initial de la flore en 2009 (incluant dates , cartes, inventaire des espèces).	15 juil	SOGREAH 2009, Etudes environnementales, Etat de référence 2009, Biotope, eaux souterraines et eaux de surface
i		i- la surveillance de la flore de 2010 à 2012 (notamment les dates et l'inventaire des espèces).	15 juil	3 documents 2010, 2011, 2012 Documents TOTAL, le document 2012 étant une copie du document déjà fourni le 17 juin.
j		j- l'état initial de la faune en 2009 (incluant dates, cartes, inventaire des espèces).	15 juil	idem h
k		k- la surveillance de la faune de 2010 à 2012 (notamment les dates et l'inventaire des espèces).	15 juil	idem i

	En ce qui concerne les scénarios de risques et l'étude de dangers :		
I	l- l'étude complète mentionnée au 4.4.10.3 du chap.5 (EDD), ainsi que celle ayant servi de base à la rédaction de l'annexe 3 (il est probable qu'il s'agisse de la même étude, ce que TEPF confirmera).	11-Sep	3 documents trasmis par S.Thiebeau: email (I1), document Excel (I2), cartes de pression (I3). Comme précisé en m, le niveau de détail de l'annexe 3 n'était pas suffisant, et les éléments de n2 ne se rapportaient pas à ce scénario
m	m- l'annexe mentionnée au 14.2.4 du chap4 (EI) <u>ou</u> confirmation qu'il s'agit d'une référence erronée (non existence de cette annexe).		confirmation orale C.Mames qu'il s'agit d'une erreur
n	n- les études de modélisation suivantes citées au chap. 5 (EDD); ces études devront préciser les processus et phénomènes considérés (et écartés), les hypothèses de modélisation (valeurs quantifiées des données d'entrée) et les principaux résultats chiffrés obtenus (graphiques complets avec leurs échelles, résultats chiffrés utilisés pour étayer les conclusions et interprétations); l'INERIS souhaite a priori disposer des rapports d'étude complets, cependant TEPF pourra le cas échéant fournir une note de synthèse ayant un niveau de précision suffisant (qui devra être supérieur à celui de l'annexe 3 par exemple).		
n1	n1: $modélisation(s)$ géomécanique(s) $mentionnée(s)$ au 4.4.2 et 4.4.7 ,	15 juil	TOTAL oct2011, 11-0233, Intégrité du site de Rousse lors de l'injection de CO2, Réf. EP/OPS/FP/EP/MR
n2	n2: études géochimiques résumées au 4.4.5,	15 juil	3 Mémos M2011-032 (n2-thermodyn, auteur P.Chiquet) + M2012-052-n2-mineralogie(+doct figures)(auteur JP.Girard) + M2011-297(n2-chimie-transport, auteur Gunawan)
n3	n3: modélisation chimie-transport mentionnée au 4.4.6 (y a-til une étude séparée pour la diffusion au sein de la couverture?)	15 juil	mémo E.Gaucher 2013-088 du 29 juillet 2013 (modélisation de la diffusion) - voir aussi n2
n4	n4: modélisation de l'effet d'un séisme mentionnée au 4.4.9	15 juil	CURISTEC, rapport final 2008, Rousse – Evaluation du risque d'activation de failles et de perte d'intégrité du puits RSE1 lors d'un événement sismique
	Autres points génériques :		

0		o- l'origine et la référence de chacun des documents transmis en réponse à cette demande.		Nous utiliserons les références rappelées dans la présente colonne & en colonne A
р		p- la liste des scénarios étudiés dans le dossier de demande d'autorisation initial.	15 juil	Tableau B7-4 (p15), PARTIE B : Demande d'autorisation d'exploiter – Chapitre 7 : Etude des dangers
q		q- le compte-rendu de la dernière réunion du comité scientifique de suivi du projet (complété le cas échéant par le compte-rendu de la ou des dernières réunions du même comité auxquelles ont été abordés : i) le sujet de la surveillance et ii) le sujet de l'évaluation des impacts).		CR de juin 2011 + exposés (envoi J.Monne)
r		Rapport BRGM "synthèse géologique des formations tertiaires et crétacées dans le secteur du champ gazier de Rousse"	23 oct	Rapport transmis
S		Elements complémentaires concernant la canalisation	23 oct	Rapport d'inspection et argumentaire de N.Labat (messages des 17, 18 et 23 oct)
z.a	17 juin	Tableau synthétique de la surveillance actuelle et des propositions futures	19 juin	Tableau synthétique Total (C.Mames)
z.b	02 juill	Faut-il inclure l'impact environnemental des installations de surface ?	10 juill	Réponse mail DREAL : Non
z.c	09 juill	Composition du CO2 injecté et modalités de calcul du CO2 reproduit	31 juill	

ANNEXE 2

Tableau récapitulatif des scénarios par l'INERIS

Tableau 1. Visualisation globale des scénarios, reconstituée par INERIS au vu des documents disponibles En italique dans le tableau : commentaires de l'INERIS

Typologie des événements (d'après INERIS, repris par Total dans son dossier 2013 au début de la section 4)		Eléments du dossier Total remis en 2013		Dossier de demande d'autorisation de 2008	«Llignes de conduite» (Bouc et al., 2011)	
Descriptif de l'événement redouté et/ou ses conséquences		Possibles événements amont (plausibilité confirmée d'après Farret 2012)	Détail descriptif	<u>Modélisation</u> ou raisonnement qualitatif	N° de scénario mentionné dans le dossier de 2008	Scénarios « essentiels » décrits en section 3.8
EM	Emission massive de CO2 à l'air libre	SU = Perte de confinement sur installation de surface Eventuellement F1 perte d'intégrité du puits (voir ci-après)	Deux effets : toxicité et anoxie La rupture du puits doit être conjuguée à une défaillance en fond de puits			Défaillance de la tête de puits conduisant à une éruption
EC, ES	Emanation lente de CO2 (EC) ou de Substances annexes (ES) Pollution ou contamination par le CO2 des aquifères sus- jacents , par les Substances annexes (PS) Pollution ou contamination par les Substances	F1 : Fuite le long d'un puits d'injection ou d'un autre puits en exploitation	Perte d'intégrité du puits par corrosion et dégradation des ciments	Perte de l'intégrité du puits suite à un séisme en section 4.4.9 (modélisation n4) Etude de la perte de contrôle totale du puits (puits éruptif) section 4.4.12 (modélisation section 5). Intrusion par des travaux ultérieurs de forage en section 4.4.4. (plausibilité faible ou nulle au vu des données disponibles)	8 – Fuite du puits au niveau des aquifères supérieurs sus- jacents (ce scénario est plus plausible à long terme : voir ci-dessous fuite F2) 9 – Fuite le long du puits vers la surface (ce scénario est plus plausible à long terme : voir ci-dessous fuite F2) 10 – Effet d'un séisme sur le puits 11 – Puits éruptifs 4- atteinte du réservoir par forage ultérieur	Fuite par la cimentation d'un puits Atteinte d'un puits non détecté (non pertinent ici) Vulnérabilité à un séisme
	annexes	F2 : Fuite le long d'un puits colmaté ou abandonné		Etude de la migration le long du puits (sections 4.4.10.3, 4.4.11 et annexe3)	8 – Fuite du puits au niveau des aquifères supérieurs sus- jacents (en pratique, il s'agira plutôt d'un déversement du Lasseube vers le Mano) 9 – Fuite le long du puits vers la surface (supposé moins pertinent ou moins grave que 8)	Estimer également l'évolution altérée (on peut supposer ici que les modélisations effectuées avec des hypothèses majorantes apportent une réponse implicite à ce point)
		F3 : fuite par une faille	Perte d'intégrité du réservoir du à l'augmentation de la pression dans le réservoir Dégradation des caractéristiques physiques et mécaniques du réservoir par réaction chimique dans le réservoir	Création ou Réactivation de failles_sous l'effet de la pression (en section 4.4.2) – modélisation n1 Modification des propriétés du réservoir par réactivité géochimique en section 4.4.5 (modélisation n2) Perturbation mécanique en section 4.4.7 (cf. aussi MP ci-après) ; perturbation du réservoir au voisinage du puits suite à un séisme	2 – Fuite par des failles existantes 5 – Dérangements mécaniques du réservoir dus aux réactions géochimiques dans le réservoir (entraînant une modification significative des caractéristiques mécaniques du réservoir) 7 – Dérangement mécanique des terrains sous l'effet des séismes	Réactivation de faille + Vulnérabilité à un séisme Atteinte d'une faille non détectée => bien que le REX (Farret, 2012) montre que cette cause est fréquente, on peut supposer ici que le niveau de connaissance est

		I		décuit avalitativa assaut as	Г	aufficant courts
				décrit qualitativement en		suffisant pour la
				4.4.8 (modélisation n4		rendre peu
(suite)				mentionnée en 4.4.9)		plausible
EC,		F4 : Fuite à travers	Dá sus datia a	Data and an although	1 – Fuite par un défaut	D'andelle de la
ES		la couverture	Dégradation des	Raisonnement qualitatif	d'étanchéité de la	Dégradation de la
		la couverture	caractéristiques	pour l'intégrité et	couverture (incluant	couverture
			physiques et	l'étanchéité de la roche	perçage capillaire)	Fatiman 4-alamant
			mécaniques de	couverture (section 4.4.1),		Estimer également
PC,			la roche	en exposant les		l'évolution altérée
PS			couverture	connaissances acquises		(on peut supposer
						ici que les
				<u>Diffusion du CO₂</u> au sein de		modélisations
				la couverture en section		effectuées avec des
				4.4.6. (<u>modélisation n3,</u>		hypothèses
				incluant réactions		majorantes
				géochimiques) ; risque de		apportent une
				fracturation de la roche		réponse implicite à
				couverture <u>sans doute</u>		ce point)
				modélisé en n1		
		F5 : Fuite par migration latérale		Sortie latérale du gaz en	3 – Fuite latérale du gaz	
		migration laterale		section 4.4.3. (plausibilité faible ou nulle au vu des		
				données disponibles)		
Н	Effets	Perturbation des		Etude de la migration le	« Évolution du	Déplacements de
	hydrauliques	écoulements et/ou		long du puits (sections	comportement des	saumure (non
		des niveaux de		4.4.10.3, 4.4.11 et	aquifères (scénario non	pertinent ici)
		nappe dans des aquifères voisins ou		annexe3), incluant	étudié) »	, ,
		sus-jacents		modification de pression		
		ado jacoc		Lasseube		
				Perturbation des		
				écoulements souterrains		
				évoquée de manière		
				qualitative en section 4.		
MP	Effets	Surrection,	Perte d'intégrité	Perturbation mécanique en	6 – dérangements	(p.m. la
	mécaniques	déformation	du réservoir dû	section 4.4.7 (plausibilité	mécanique des terrains	Vulnérabilité à un
	progressifs provoqués par le		à l'augmentation	faible ou nulle au vu des	dus à l'injection (mouvements en surface)	séisme est étudiée
	stockage		de la pression	données disponibles)	(mouvements en sunace)	par ailleurs)
			dans le			
			réservoir			
MS	Effets	Rupture, sismicité		Sismicité induite décrite		
	mécaniques	induite (peut être à		au 4.4.2 : plausibilité		
	soudains	l'origine des		faible ou nulle au vu des		
	provoqués par le stockage	scénarios de fuite mentionnés plus		données disponibles		
	Slockage	haut)				

Tableau 2. Visualisation des « événements principaux » et de leurs conséquences (« phénomènes impactants »), dont la plausibilité a été confirmée par le REX - source Farret R et, Thoraval A., « Retour d'expérience des incidents et accidents sur des sites d'exploitation ou de stockage en milieu souterrain — application au stockage géologique du CO2 », rapport INERIS DRS-12-126009-13886B

Evénement Principal	Phénomène final « impactant »		Compartiments sensibles	Principaux enjeux	
Perte de confinement (fuite ou rupture) sur une installation de surface (réf. PC d'après Farret 2012, réf. SU dans le dossier Total) – ne concerne pas directement le milieu souterrain	Emission massive à l'air libre (réf. EM)		Air libre	Êtres humains Effet de serre	
Fuite le long d'un puits d'injection ou d'un autre puits en exploitation (réf. F1) – incluant fuite massive et blowout	Emanations lentes en surface (réf.EC		CO ₂ (réf.EC)	Air libre / zones mal ventilées	Êtres humains Ecosystème Effet de serre
Fuite le long d'un puits colmaté ou abandonné (réf. F2) Fuite par une faille (réf. F3) Fuite à travers la couverture			Substances annexes (réf. ES)	Air libre / zones mal ventilées	Êtres humains Ecosystème
(F4) Fuite par Migration latérale (F5) PUIS - combinaison éventuelle avec une autre de ces 5 fuites F1 à F5		on ou	CO ₂ (réf. PC	Milieu souterrain Eaux de surface	Aquifères et ressources souterraines Eaux de surface
- migrations et/ou accumulation dans le recouvrement	pollution		Substances annexes (réf. PS)	Milieu souterrain Eaux de surface	Aquifères et ressources souterraines Eaux de surface
Perturbation des écoulements incluant transmission d'une surpression	Perturbation des écoulements et/ou des niveaux de nappe dans des aquifères voisins ou sus-jacents (réf. PE)			Milieu souterrain Eaux de surface	Usage des eaux (aquifères, eaux de surface) et d'autres ressources souterraines
Perturbations mécaniques et transmission de ces perturbations (réf. PM)	Déformation ou rupture		ogressive ction) réf. MP	Surface	Biens
portariousiono (tor. 1 m)			aine (sismicité e), réf.MS	Surface	Biens

ANNEXE 3

Courrier de la DREAL



PREFET DES PYRENEES-ATLANTIQUES

Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Région Aquitaine PAU, le 2.4.13

Unité Territoriale des Pyrénées-Atlantiques

Le Chef de l'UT 64

Affaire suivie par Yves Boulaigue

à

yves.boulaigue@developpement-durable.gouv.fr tél: 05 47 41 31 05 – fax: 05 47 41 31 24 Monsieur le Directeur de T.E.P.F. BP 22 64170 LACQ A l'attention de M.TERRAZ

OBJET: Pilote CO₂ - Bilan intermédiaire d'exploitation

REFER: Votre transmission en date du 31 janvier

Monsieur le Directeur,

Par lettre en référence vous m'avez communiqué votre bilan intermédiaire de l'exploitation du pilote CO₂.

Le document est en effet requis par l'article 1.5.6.2 de l'arrêté préfectoral du 13 mai 2003. Il comprend notamment une mise à jour des études d'impact et des dangers produites dans le dossier de demande d'autorisation initiale.

A ce stade votre dossier n'appelle pas de remarque particulière de ma part, mais je souhaite que vous le soumettiez à une tierce expertise, après avoir complété le bilan de la surveillance pour les données de toute l'année 2012.

Je joins en annexe la liste des questions auxquelles le tiers expert devra répondre. Le cas échéant vous pourrez choisir plusieurs tiers experts en fonction des questions posées. Ceux-ci pourront s'appuyer sur le document transmis ainsi que sur tout document dont vous disposeriez en support. Je vous demande de bien vouloir me soumettre le choix du ou des tiers experts.

Cette analyse devra permettre à la DREAL de proposer au Préfet une mise à jour des conditions de surveillance des installations après l'arrêt de l'injection de CO_2 dans la perspective de l'arrêt définitif des travaux à l'issue de cette période de surveillance.

D'ores et déjà et en parallèle de cette tierce expertise je vous demande de m'indiquer de façon précise les conditions dans lesquelles vous appliquerez l'article 1.5.3 de votre arrêté préfectoral à

l'échéance de l'arrêt de vos installations de traitement de gaz à Lacq. Cet article est destiné à garantir la disponibilité des installations qui permettraient de traiter, à Lacq, le gaz injecté à Rousse si celui-ci devait être extrait.

Vous m'indiquerez ainsi quelles seront les installations qui pourraient assurer cette fonction, et les garanties réglementaires dont ces installations disposent à cet effet.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de ma considération distinguée.

Le chef de l'UT 64

Yves Boulaigue

Liste de questions soumises à tierce expertise

- 1 Le bilan intermédiaire établit le résultat de la surveillance environnementale exercée sur :
- les eaux de surface
- les eaux souterraines
- les gaz du sol
- la faune et la flore

et conclut à l'absence d'impact des opérations d'injection sur l'environnement.

Le tiers expert devra se prononcer sur l'absence d'effet mesurable sur ces milieux des opérations d'injection, au regard des résultats de surveillance acquis.

- 2 Le bilan intermédiaire établit le résultat de la surveillance du réservoir géologique dans lequel a été injecté le gaz au moyen :
- du réseau de surveillance micro sismique
- des sondes de pression et de température dans le puits.

Le tiers expert devra se prononcer sur l'absence d'effet mesurable sur le réservoir des opérations d'injection au regard de ces résultats de surveillance y compris par comparaison avec les modélisations effectuées.

3 - Le bilan intermédiaire n'identifie pas de risque ou de danger nouveau, à l'issue de la période d'injection, y compris en réexaminant le retour d'expérience international.

Le tiers expert indiquera si, au regard de l'accidentologie de 2009 à 2012 sur ce type d'opération de nouveaux scénarios sont à considérer.

Il portera également un avis sur l'évaluation faite par Total du scénario de fuite de l'aquifère Lasseube dans le réservoir mano via le puits.

4 - TEPF propose de réduire la surveillance exercée par rapport aux prescriptions fixées par l'arrêté du 13 mai 2009.

Le tiers expert indiquera si le programme de surveillance proposé et les techniques -y compris de modélisation du réservoir- sur lesquelles il s'appuie lui paraissent adaptés au regard des deux obiectifs suivants:

- détecter des désordres dans le réservoir ou une fuite de gaz vers les milieux en surface en phase de post injection,
- disposer de toutes les données nécessaires au terme de 3 années après l'arrêt de l'injection pour pouvoir d'une part conclure que tous les éléments disponibles tendent à prouver que le CO2 injecté restera confiné de façon permanente et sûre et d'autre part définir le programme de surveillance à long terme.

Ce second objectif pouvant également dépendre de travaux de R&D en cours, TEPF présentera au tiers expert le bilan de ces travaux et le programme pour la période 2013-2015. Le tiers expert se prononcera sur l'adéquation de celui-ci à l'objectif visé.