

RAPPORT D'ÉTUDE
DRS-11-108130-10474A

05/10/2011

**Estimation de la convergence du sondage
W3 et des trous de dégazage au toit du
stockage de StocaMine**

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Estimation de la convergence du sondage W3 et des trous de dégazage au toit du stockage de StocaMine

Direction des Risques du Sol et du Sous-sol

StocaMine

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.

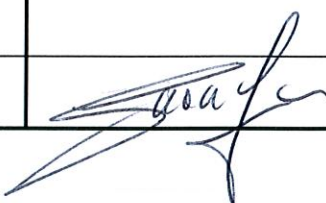
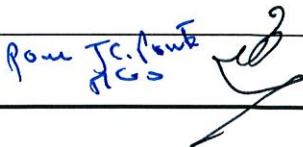

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	F. LAOUAFA	J.C. PINTE M. GHOREYCHI	M. GHOREYCHI
Qualité	Ingénieur à l'unité Risques Naturels, Ouvrages et Stockages à la Direction des Risques du Sol et du Sous-sol	Respectivement, Chef de Projet Directeur des Risques du Sol et du Sous-sol	Directeur des Risques du Sol et du Sous-sol
Visa		 <i>Pour J.C. Pinte DRS</i>	

TABLE DES MATIÈRES

1. OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	5
2. CONFIGURATION DES DEUX SONDAGES ETUDIES.....	5
3. MODELISATIONS NUMERIQUES.....	9
3.1 Cas de référence : sondage W3 vide	10
3.2 Trous de dégazage	14
3.3 Influence d'une prise en masse du matériau de remplissage.....	15
4. CONCLUSIONS ET PRECONISATIONS.....	19
5. ANNEXES.....	21

1. OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'étude géomécanique présentée dans ce rapport complète des études déjà réalisées par l'INERIS pour le compte de StocaMine sur l'évaluation des risques liés aux deux principaux scénarios suivants :

- a- le stockage illimité des déchets industriels disponibles au fond ;
- b- le déstockage partiel ou total de ces déchets et leur transport et restockage dans d'autres sites.

L'étude retranscrite dans ce rapport, porte plus particulièrement sur le comportement de deux orifices verticaux :

1. le sondage (W3) de 8,5 pouces de diamètre (21,6 cm) ;
2. les forages verticaux de dégazage de 4 cm de diamètre forés au toit du stockage.

L'objectif est d'étudier si ces derniers peuvent constituer des voies de circulation potentielle pour la saumure contaminée après l'ennoyage du stockage de déchets. Plus précisément dans quelle mesure ces sondages peuvent mettre en communication la zone de stockage et le niveau inférieur de la couche de potasse exploitée, au dessus du stockage.

Cette étude a pour objectif de déterminer la convergence et son évolution dans le temps pour ces deux orifices, ou plus précisément de quantifier leur vitesse de fermeture et leur configuration géométrique à moyen et long termes¹. L'objectif est de vérifier si ces sondages sont fermés avant l'ennoyage du stockage. Dans le cas contraire, quel est leur impact sur le transport éventuel de polluants, dans les différentes hypothèses liées à la nature du remplissage et de leur traitement.

2. CONFIGURATION DES DEUX SONDAGES ETUDIES

Le sondage W3 fut réalisé en 1905 à partir de la surface du sol avec diamètre de 8,5 pouces soit 21,6 cm. Il traverse le niveau de la couche inférieure de potasse et s'arrête 25 mètres en dessous du mur de la zone de stockage. D'après les informations disponibles, ce sondage se situerait dans un pilier du bloc 26 (Figure 1) sans être bien localisé à ce jour.

Les trous de dégazage possèdent quant à eux un diamètre de 4 cm. Il débute au toit du stockage et pénètre d'environ 1 m dans la couche S (Figure 1). A la différence du sondage W3, les trous de dégazage ne débouchent pas sur le niveau exploité et une distance de garde constituée des terrains salifères réputés imperméables les séparent de l'exploitation.

¹ On entend par moyen et long termes, respectivement quelques dizaines d'années et quelques siècles

Les sondages anciens comme le W3 (réalisé en 1905) faisaient l'objet de rebouchage par une boue argileuse. Précisons qu'un nombre limité de sondages ainsi obturés, traversés par l'exploitation plusieurs décennies après leur remplissage par de la boue est resté à l'état non consolidé (liquide) s'écoulant dans la taille. Ce fait nous a conduit à mener des calculs dans deux hypothèses : remplissage du sondage W3 par une boue se comportant comme un liquide et sondage aujourd'hui rempli d'un matériau consolidé ayant un comportement de solide. Ainsi certaines modalités de calculs prendront en compte une pression hydrostatique $Ph(z')$ (Figure 1) agissant sur les parois des sondages et d'autre l'hypothèse d'une consolidation (prise en masse) de la boue argileuse en matériau solide (mais déformable).

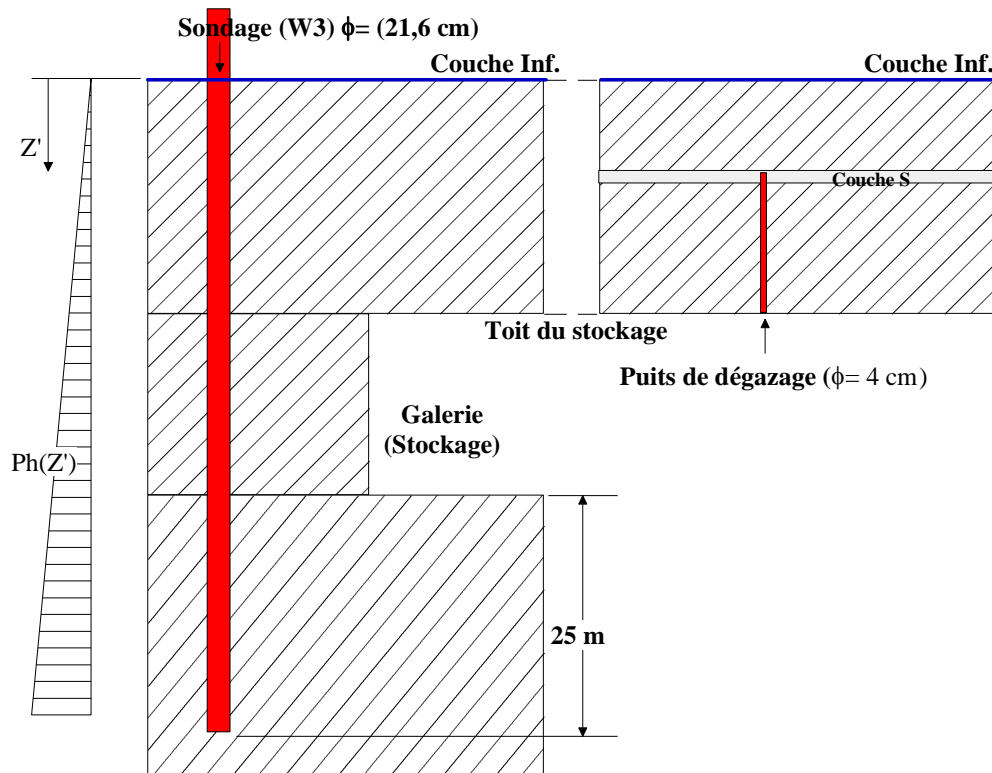


Figure 1 : schémas indiquant l'hypothèse de localisation du sondage W3 et du sondage de dégazage par rapport au stockage et à la couche inférieure de potasse. $Ph(z')$ représente la distribution de la pression appliquée à la paroi du sondage W3.

Le domaine considéré dans le modèle numérique ainsi que les conditions aux limites cinématiques et statiques sont représentés sur la Figure 2.

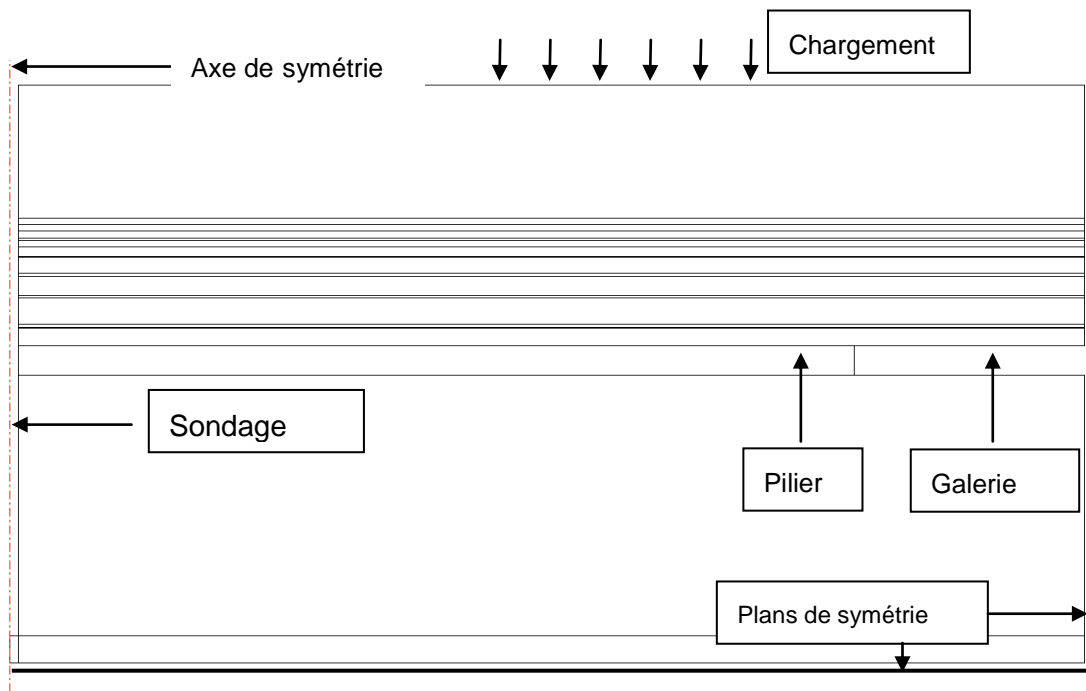


Figure 2 : Géométrie et conditions aux limites du modèle

La Figure 3, ci-dessous, présente le maillage utilisé pour la modélisation par éléments finis. C'est un modèle présentant une symétrie de révolution autour de l'axe du forage (W3 ou trou de dégazage). Le modèle intègre les terrains du toit et du mur au niveau de StocaMine (550 m de profondeur). La partie du toit modélisée s'arrête au niveau de la couche de potasse inférieure à environ 25 m du niveau de StocaMine.

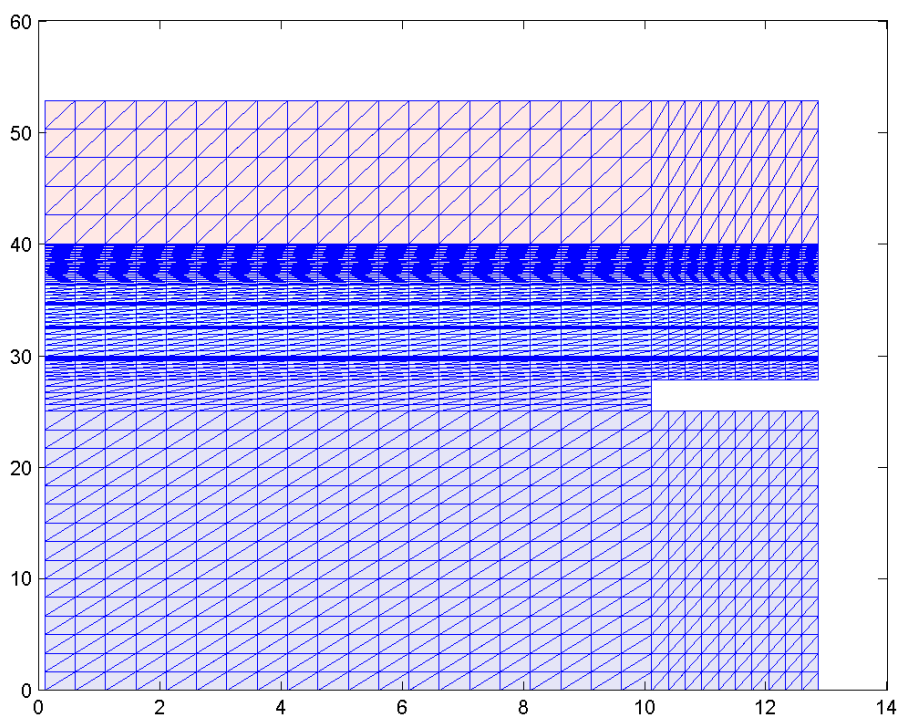


Figure 3 : Maillage éléments finis du domaine modélisé.

3. MODELISATIONS NUMERIQUES

Deux codes de calcul ont été utilisés : « COMSOL™ multiphysics » et le code « VIPLEF », développé spécialement pour le sel par l'Ecole des Mines de Paris. Il s'agit du même logiciel que celui utilisé par l'Ecole des Mines pour les différentes études de StocaMine.

Le modèle de comportement du sel vis-à-vis du fluage (modèle de Norton) ainsi que les paramètres retenus sont présentés ci-dessous :

$$\underline{\underline{\dot{\varepsilon}}}^{vp} = A \exp(-B/T) (Q/Q_0)^n \frac{\partial Q}{\partial \underline{\underline{\sigma}}}$$

$\underline{\underline{\dot{\varepsilon}}}^{vp}$ = vitesse de déformation viscoplastique, Q : déviateur de contrainte (contrainte effective de Mises, en MPa)

A, B, n : paramètres du modèle ; $Q_0 = 1$ MPa

Paramètres élastiques		Paramètres viscoplastiques (modèle de Norton)		
E : Module de Young MPa	Coefficient de Poisson (-)	A (/ jour)	B (Kelvin)	n (-)
25000	0,25	0,022	4700	4,0

Tableau 1 : Modèle de fluage retenu par l'INERIS, ajusté par des mesures in situ.

Ce modèle et ses paramètres précisés ci-dessous sont ceux utilisés par l'INERIS pour l'étude géomécanique de StocaMine et validés à partir des mesures de convergence réalisées dans les galeries de stockage.

Rappelons que la vitesse de convergence verticale des galeries de stockage, mesurée in situ et calculée par le modèle, est de 0,9% par an, en moyenne. Il faudrait se garder à considérer cette valeur en tant que vitesse de convergence des sondages à la profondeur du stockage, et ce pour différentes raisons :

- 1- toutes choses identiques par ailleurs, les sondages, de section circulaire sont moins déformables que des galeries à parois planes ;
- 2- la section d'un sondage étant très petite comparée à celle d'une galerie, les effets d'échelle et d'hétérogénéités influencent davantage une galerie qu'un sondage et conduisent a priori à une déformabilité plus faible d'un sondage par rapport à une galerie ;
- 3- la convergence d'un sondage vertical étant horizontale, elle est moins affectée par la compressibilité des terrains liée au litage.

Ces trois facteurs vont tous en faveur d'une vitesse de convergence plus faible des sondages étudiés par rapport aux ouvrages de stockage. Ils permettent également d'affirmer que le modèle utilisé, calé sur la convergence verticale des galeries, conduit a priori à une surestimation de la vitesse de convergence. De ce fait, les temps de fermeture donnés par le calcul peuvent être un peu surestimés.

Précisons en outre que la vitesse de convergence horizontale des galeries de stockage est environ deux fois plus faible que dans le sens vertical. Toutefois cette différence n'est pas seulement liée au litage des terrains ; elle intègre également l'influence des vides voisins qui conduisent à des convergences horizontales plus faibles que dans le sens vertical. De ce fait, les vitesses de convergence des sondages dans la réalité pourraient se situer entre deux bornes extrêmes : les valeurs calculées présentées dans la suite (borne supérieure) et la moitié de ces valeurs (borne inférieure).

En ce qui concerne l'évolution de la température du massif avec la profondeur, aux MDPAs (intervenant dans le modèle de fluage), nous adoptons la relation donnée dans la note de Lourdel (StocaMine), à savoir : $\theta(z) = 17 + z/27$ où z et θ désignent respectivement la profondeur en m et la température en °C. Cette relation conduit à une température de 37°C à 550 m de profondeur (niveau du stockage).

Pour le sondage W3, nous avons étudié plusieurs configurations encadrant les différentes hypothèses :

1. le sondage est vide sans aucune pression ; il s'agit d'un cas de référence qui ne prétend pas représenter la réalité.
2. Le sondage est rempli de boue (fluide). Plusieurs valeurs de densité ont été alors simulées afin de tenir compte d'incertitudes pesant sur la pression de boue et son influence sur la fermeture du sondage.
3. Le sondage est rempli d'un matériau solide mais déformable agissant sur la paroi de par sa raideur.

Pour les trous de dégazage, nous avons considéré qu'ils étaient vides, comme c'est le cas en réalité.

Pour le sondage W3, les configurations étudiées nous permettent d'estimer l'effet du remplissage sur la vitesse de convergence. La dernière configuration suppose que la boue se soit consolidée avec le temps. Cette hypothèse permet d'estimer l'évolution temporelle de la porosité lors de la compaction induite par le fluage. Elle permet également, en adoptant l'approximation de la loi d'évolution de la perméabilité en fonction de la porosité de Kozeny-Carman, d'en estimer l'évolution de la perméabilité avec le temps. Le choix de la loi de Kozeny-Carman n'a d'autre but que de fixer les idées ; il n'a pas été vérifié expérimentalement dans le cas étudié et doit donc être considéré avec toute la précaution nécessaire.

3.1 CAS DE REFERENCE : SONDAGE W3 VIDE

La Figure 4, ci-dessous et issue des résultats de calculs par éléments finis indique l'évolution temporelle du déplacement radial du bord du sondage.

L'origine du temps, dans toutes les figures présentées dans ce rapport, est le creusement du sondage c'est-à-dire 1905 pour le sondage W3. Cette origine peut varier pour les trous dégazage.

Dans le cas de référence, le sondage est vide de tout matériau de remplissage. Ses déplacements, présentés dans cette figure, sont évalués à environ 550 m de profondeur (niveau de stockage).

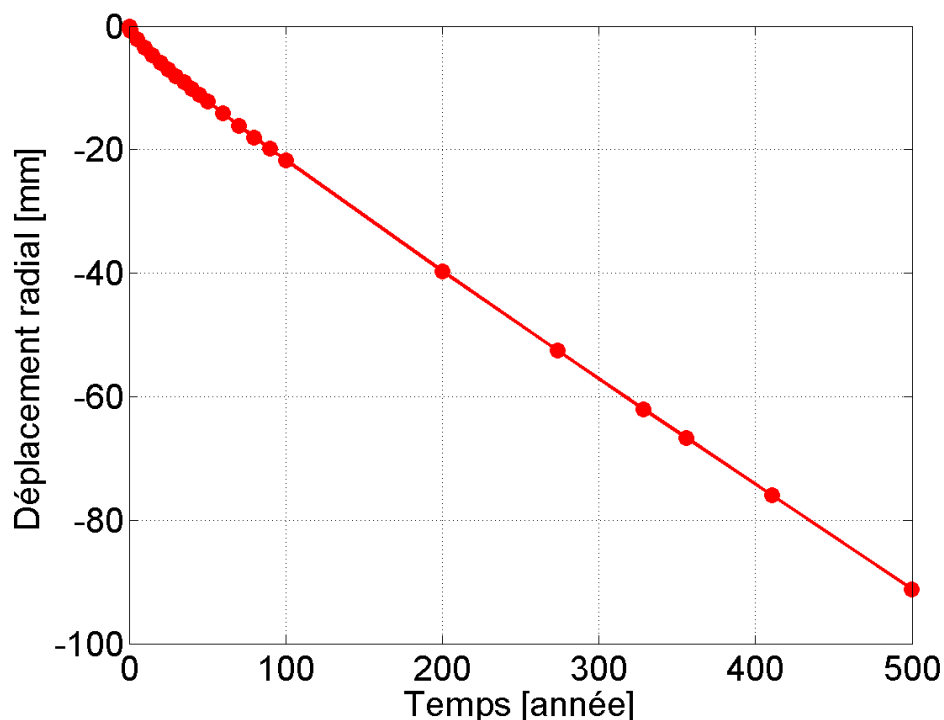


Figure 4 : Déplacement radial du sondage W3 en fonction du temps (calcul de référence: absence du remplissage).

Le diamètre initial étant de 216 mm, nous observons une fermeture de près de 85% au bout de 500 ans. Cela est plus notable sur la Figure 5.

Cette prévision, bien que légèrement surestimée (pour des raisons déjà expliquées) semble tout à fait conforme aux retours d'expériences sur certains sondages remplis de la boue et traversés par l'exploitation. En effet, au moins dans un cas, le volume de la boue vidée dans la taille était proche du volume initial du sondage ce qui témoigne d'un fluage très lent du sondage. Cela paraît d'autant plus plausible que la moitié supérieure du recouvrement est constituée des terrains sédimentaires et que les terrains salifères présentant une aptitude au fluage n'existent qu'à des profondeurs supérieures à 300 m, au droit de StocaMine. Or, la vitesse de fluage est au moins un ordre de grandeur plus faible à 300 m qu'à 550 m et la convergence cumulée sur quelques décennies y est très faible, si l'on extrapole les résultats des calculs ci-dessus à 300 m de profondeur.

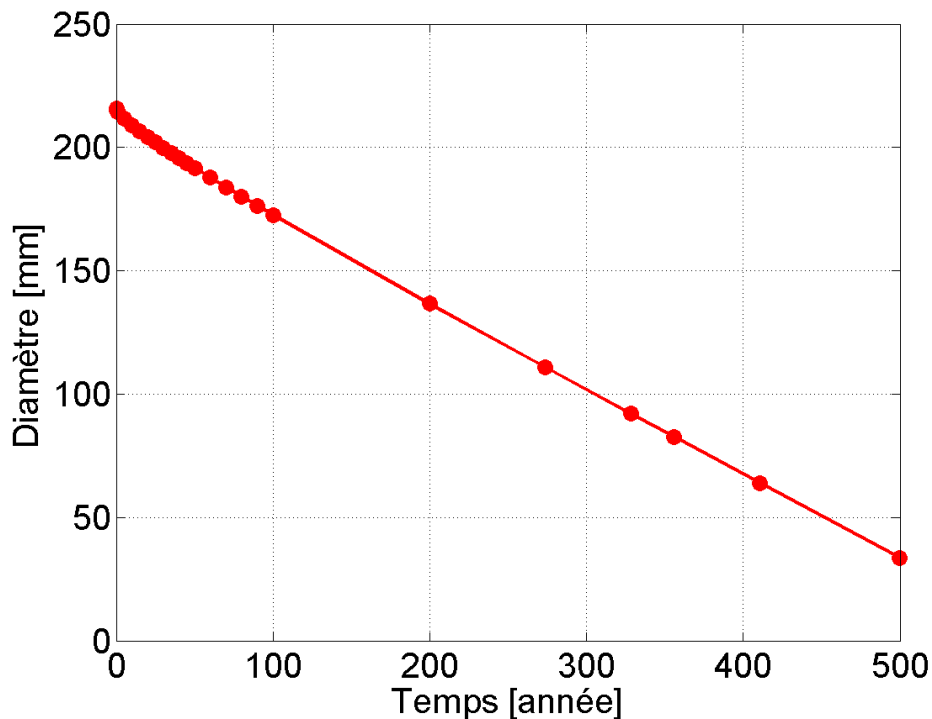


Figure 5 : Evolution du diamètre (initial de 216 mm) du sondage W3 en fonction du temps (calcul de référence: absence du remplissage).

Si nous considérons que le sondage est rempli de boue de densité γ , alors la pression exercée par cette boue à l'intérieur du sondage a pour effet de diminuer la vitesse de convergence.

Cependant la pression "hydrostatique" (liquide) appliquée ne résulte que d'une colonne d'une vingtaine de mètres de hauteur puisque la pression est mise au niveau atmosphérique au chantier d'exploitation. Cette pression n'est donc pas suffisante pour que la diminution de la convergence soit notable (Figures 6 et 7).

Les différentes valeurs de densité de boue (γ) ont été prises de sorte qu'elles encadrent, de manière certaine, toutes les hypothèses: la valeur de 2,2 correspond à un état proche de l'état solide, la valeur nulle correspond au sondage vide et les valeurs intermédiaires (1, 6, 1,8, et 2) nous semblent plausibles.

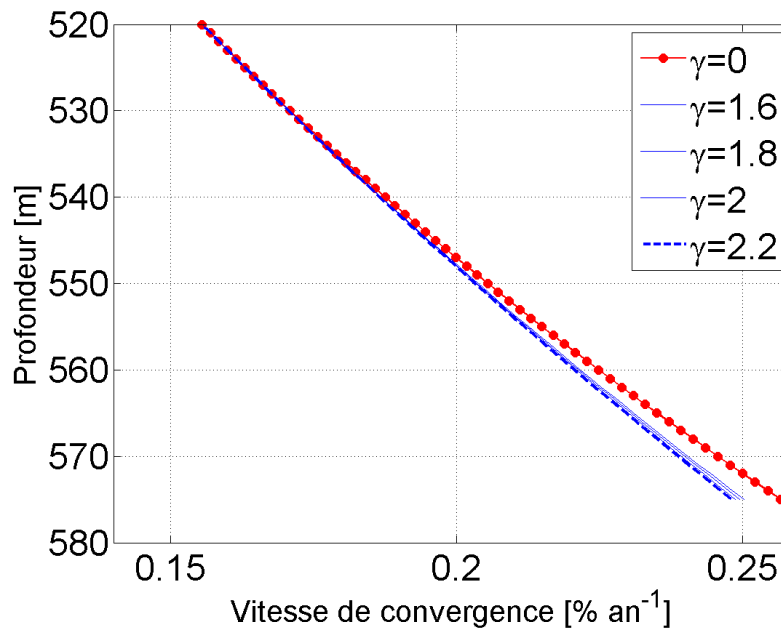


Figure 6 : Vitesse de convergence du sondage W3 (en % par an) en fonction de la profondeur sous différentes pressions hydrostatiques (γ représente la densité de la boue dans le sondage).

On constate que les résultats sont très peu sensibles à la densité de boue et que la vitesse de la convergence est voisine de 0,2 % par an à 550 m de profondeur (niveau de stockage). En d'autres termes, le temps de fermeture totale du sondage est estimé à environ 500 ans. Il convient de rappeler que pour des raisons déjà expliquées, le temps de fermeture peut être plus important dans la réalité, par rapport au temps donné par le modèle.

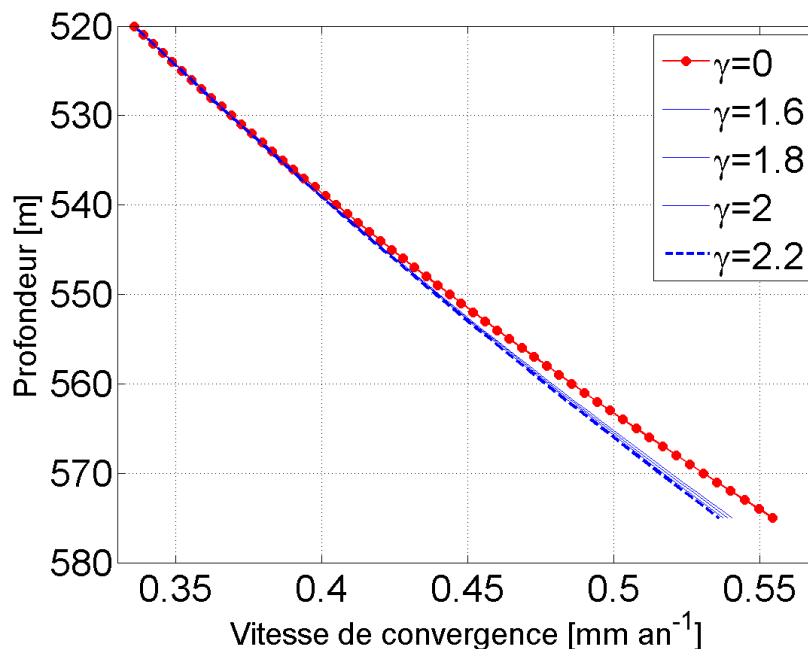


Figure 7 : Vitesse de convergence (en mm par an) en fonction de la profondeur sous différentes pressions hydrostatiques (γ représente la densité de la boue dans le sondage).

3.2 TROUS DE DEGAZAGE

Nous adoptons la même démarche (que pour le sondage W3) concernant les trous de dégazage de 40 mm de diamètre initial, à la seule différence que les trous de dégazage sont réellement vides. Les résultats sont présentés sur les Figures 8 et 9.

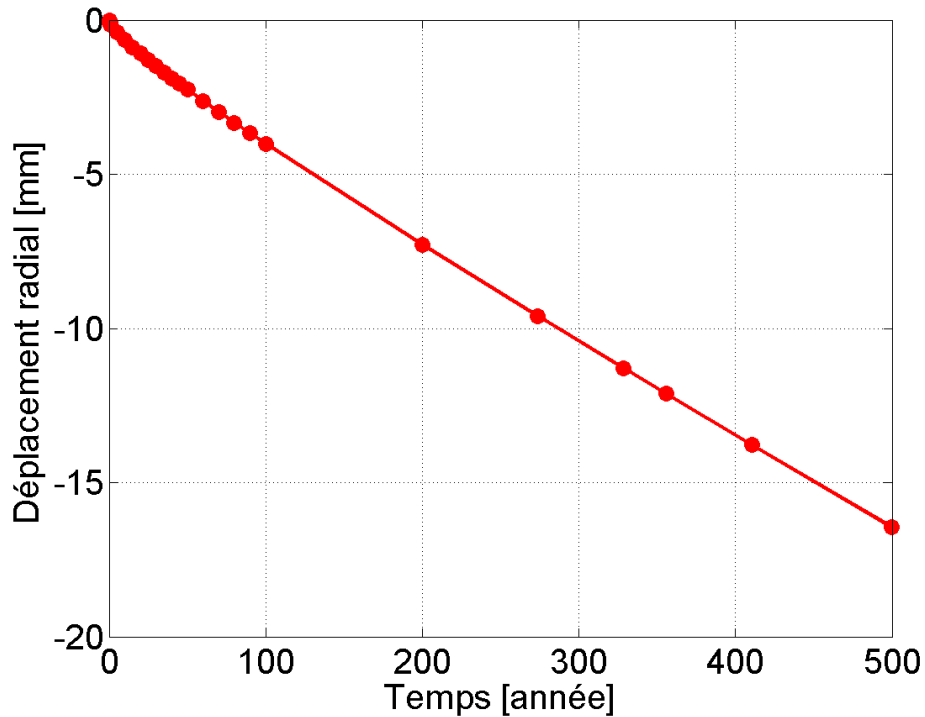


Figure 8 : Déplacement radial d'un trou de dégazage en fonction du temps

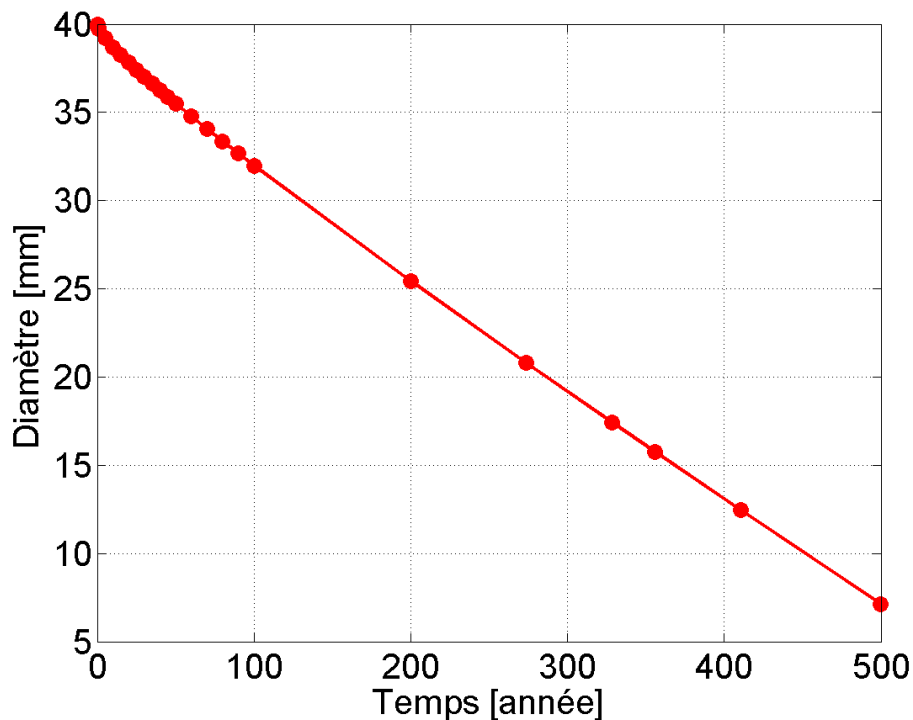


Figure 9 : Evolution du diamètre d'un trou de dégazage en fonction du temps

3.3 INFLUENCE D'UNE PRISE EN MASSE DU MATERIAU DE REMPLISSAGE

Pour le sondage W3, le matériau de remplissage étant initialement constitué d'une boue argileuse, on peut supposer que cette dernière soit passée progressivement d'un état fluide (boue) à un état solide (matériau poreux argileux). Les caractéristiques mécaniques de ce matériau ne sont pas connues et dépendent de nombreux paramètres (nature de la sédimentation, nature du matériau de remplissage, degré de consolidation, etc.).

Les simulations numériques ont pour but de montrer l'influence de la consolidation sur la vitesse de fermeture du sondage, d'une part, et la réduction de la perméabilité du matériau de remplissage, d'autre part. Ne connaissant pas la cinétique des phénomènes, nous avons choisi "d'activer" la consolidation après un certain temps (ou niveau de déformation). La consolidation est activée après 10 années de fluage, dans les calculs réalisés. Le choix d'un temps différent n'a pas d'effet sensible sur les résultats obtenus, pourvue que ce temps soit de quelques dizaines d'années ce qui demeure faible devant quelques centaines d'années d'envoyage des MDPAs, période intervenant dans le processus de transport qui est à l'origine de cette étude.

En ce qui concerne le comportement du matériau de remplissage introduit dans le modèle, nous avons retenu une courbe de compaction du type oedométrique, fréquemment utilisée pour la consolidation des matériaux notamment argileux. En effet, on considère que l'indice des vides (rapport de porosité / (1-porosité)) diminue en fonction du logarithme de contrainte (le matériau devient de plus en plus raide au cours de la compaction).

La droite « indice des vides-logarithme de contrainte » est définie par des conditions aux limites :

- au début de consolidation, la contrainte est donnée par la pression hydrostatique (négligeable). Nous avons considéré que la porosité du matériau de remplissage est alors voisine de 20% ;
- à la fin de compaction, la porosité est nulle et le matériau de remplissage est soumis à la contrainte lithostatique (12 MPa à 550 m de profondeur).

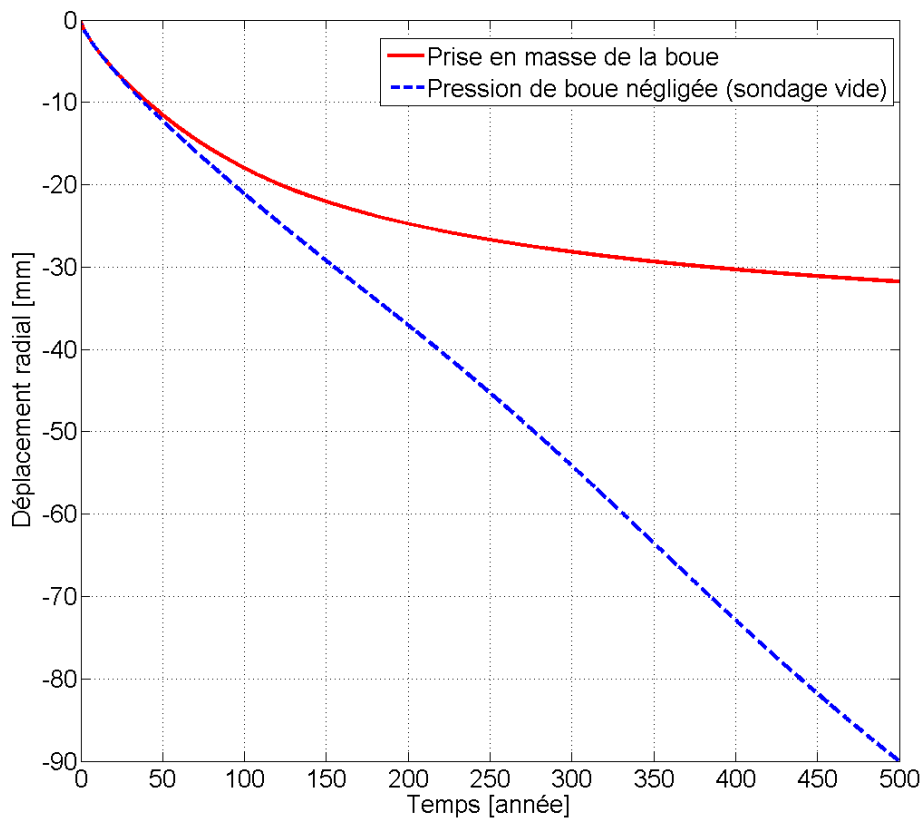


Figure 10 : Déplacement radial du sondage W3 dans deux configurations : 1- fluage libre (sondage vide) et 2- sondage rempli d'une boue consolidée (matériau solide poreux).

On observe sur la Figure 10, que l'intensité du fluage est considérablement diminuée. Parallèlement, la pression s'exerçant sur le matériau de remplissage augmente progressivement (Figure 11).

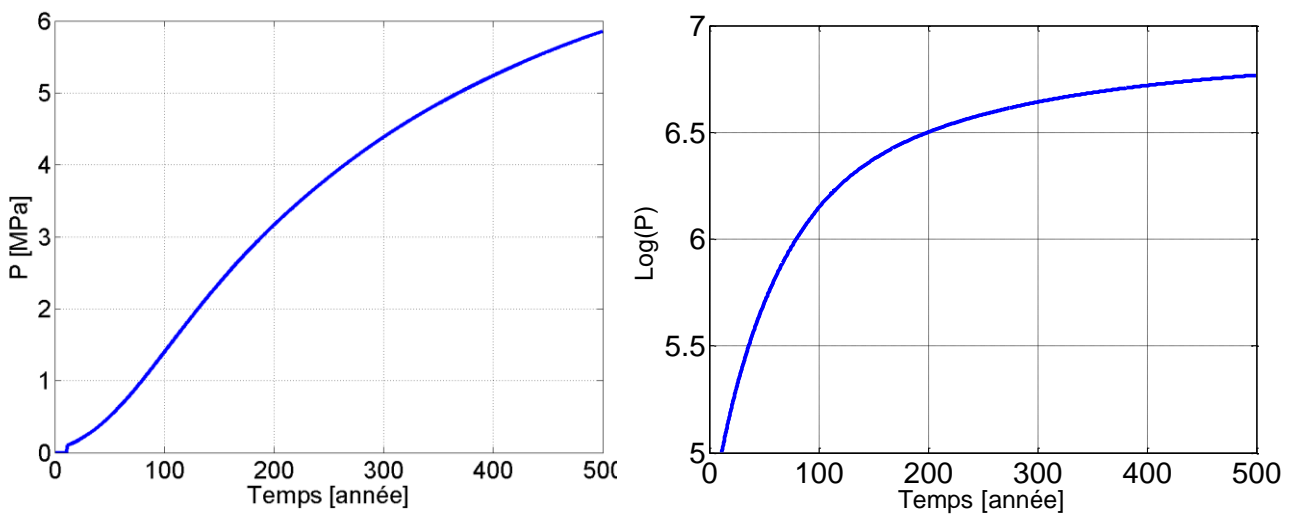


Figure 11 : Evolution temporelle de la pression (P) développée dans le sondage W3 lors de la consolidation. La figure de droite représente le logarithme de la pression en fonction du temps.

En terme de porosité, cette dernière décroît considérablement (Figure 12). Comme nous l'avons déjà précisé, la porosité initiale est choisie égale à 0,2 (20 %) dans ce calcul. On note que la porosité est divisée par un facteur 4 au bout d'environ 400 ans (fin de l'envoyage à compter de 1905). Sa valeur est alors estimée à 5 % d'après ce calcul.

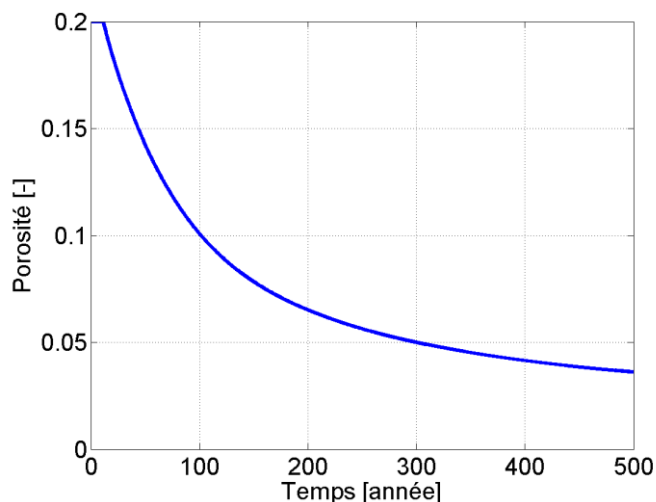


Figure 12 : Evolution temporelle de la porosité (initialement de 0,2) du matériau consolidé se trouvant dans le sondage W3.

La porosité diminuant, cela implique une diminution dans le temps de la perméabilité K du matériau de remplissage. Si l'on adopte la relation approchée de Kozeny-Carman reliant la perméabilité à la porosité (n), nous avons :

$$K = Ke \frac{n^3}{(1-n)^2}$$

Expression dans laquelle Ke dépend des facteurs tels que surface spécifique, tortuosité, longueur caractéristique, etc. On constate (Figure 13) que le coefficient multiplicateur de la perméabilité diminue d'environ deux ordres de grandeurs alors que la porosité est divisée par 4 au bout de 400 ans (à l'horizon 2300, fin de l'envoyage des MDPA).

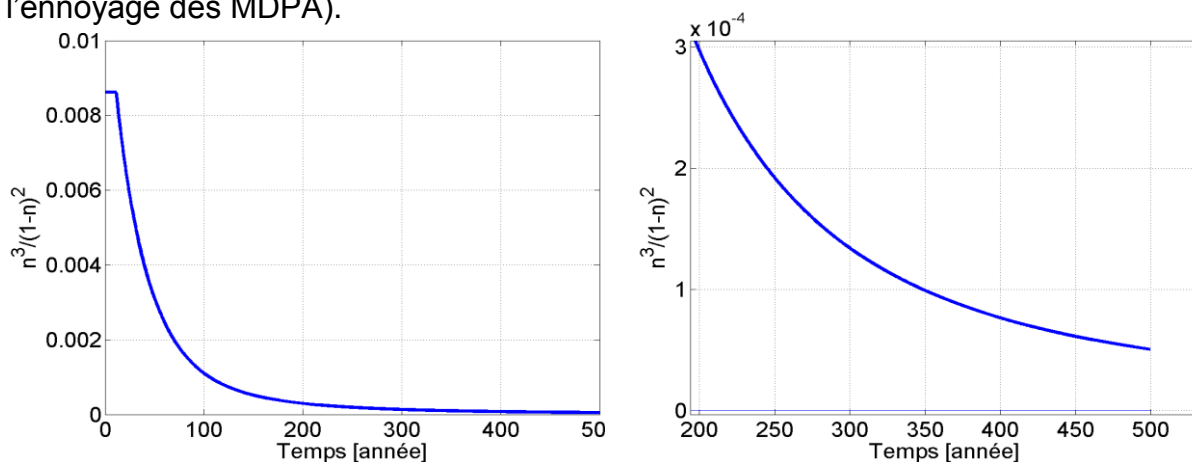


Figure 13 : Evolution temporelle du coefficient multiplicateur de la relation de Kozeny-Carman ($n^3/(1-n)^2$). La figure de droite constitue un zoom, de la figure de gauche, pour les plages de temps plus élevées.

Comme nous l'avons déjà souligné, la relation ci-dessus est générale et n'a évidemment pas été vérifiée pour le matériau de remplissage du sondage W3. Elle n'a d'autre but que de donner des indications sur la perméabilité estimée du sondage W3.

On peut raisonnablement penser que la perméabilité de la boue utilisée était initialement relativement faible puisqu'il s'agissait bien d'une boue argileuse. Si l'on considère que sa perméabilité initiale était voisine ou inférieure à 10^{-16} m^2 (10^{-9} m/s) ; la relation de Kozeny-Carman (définie ci-dessus) conduit à estimer sa perméabilité à environ $5 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$ (10^{-12} m/s) au bout de 400 ans (fin d'envoyage à compter de 1905). On se trouve alors dans la gamme des perméabilités préconisées pour les barrières. Comme par ailleurs, la section initiale du sondage W3 est près de 8000 fois plus faible que celle des barrières (240 m^2 pour les 21 barrières), le flux transporté par le sondage W3 est négligeable devant celui traversant les barrières.

Cela nous conduit à conclure que dans l'hypothèse d'une prise en masse de la boue argileuse, le sondage W3 ne constitue pas de voie de communication potentielle entre les déchets et le niveau exploité, sa résistance hydraulique étant bien plus grande que celle des barrières à faible perméabilité préconisées.

4. CONCLUSIONS ET PRECONISATIONS

Les résultats des différentes modélisations numériques indiquent que dans l'hypothèse des sondages vides ou remplis de boue (fluide), quelque soit le scénario considéré la convergence des sondages par fluage du sel peut être estimée à 85% au bout de 5 siècles. Il convient de préciser que la convergence est exprimée en valeur relative du déplacement de la paroi rapportée au diamètre. Elle est sans dimension et ne dépend donc pas du diamètre initial du sondage (elle est la même pour le sondage W3 et les trous de dégazage).

L'amplitude de cette convergence a été estimée dans différentes configurations.

- sondage W3 et trous de dégazage vides,
- sondage W3 rempli de boue (fluide),
- sondage W3 rempli d'un matériau consolidé,

Le fluide de remplissage ne ralentit pas de manière notable le fluage du sel et la convergence du sondage W3. L'hypothèse d'un remplissage consolidé (matériau poreux argileux déformable) fait diminuer considérablement la vitesse de convergence. D'une valeur initiale estimée à 0,2, la porosité d'un tel matériau se trouve divisée par 4 en 500 ans. La perméabilité qui en résulte se trouve réduite d'environ 2 ordres de grandeurs au bout de 500 ans.

En conclusion, le sondage et les trous vides ou remplis de boue ne se fermeront pas intégralement au bout de quelques siècles avant la fin d'ennoyage et ce quelque soit la configuration étudiée et l'hypothèse adoptée.

D'un point de vue de la sûreté à long terme du stockage, l'hypothèse la plus défavorable est la présence d'un matériau de remplissage à l'état de boue dans le sondage W3. En effet, on peut craindre une communication hydraulique entre le stockage et le sondage (par exemple à travers la zone endommagée du pilier du bloc 26). Ce scénario pourrait conduire à une expulsion de la boue sous l'effet de la convergence résiduelle de l'espace vide des déchets, après l'ennoyage du stockage. La saumure contaminée pourrait alors être transportée vers le réservoir minier constitué des terrains foudroyés à 25 m au-dessus du bloc 26, même si la "perméabilité" de la boue est faible (le transport se ferait principalement par expulsion et non pas par diffusion ni par advection).

En revanche dans l'hypothèse d'une prise en masse de la boue, la perméabilité du matériau de remplissage serait raisonnablement assez faible pour que le transport au travers du sondage W3 puisse être négligé devant le transport à travers les barrages dont la surface initiale est 8000 fois supérieure à celle du sondage W3. Ainsi tant que la perméabilité du matériau de remplissage du sondage W3 n'est pas plus de 4 ordres de grandeurs supérieure à celui des barrages (soit 10^{-15}m^2 comparée à 10^{-19}m^2 , valeur de perméabilité préconisée par l'INERIS pour les barrages), le flux de la saumure contaminée via les barrages bien qu'en soi faible, sera prépondérant par rapport aux flux passant par le sondage W3.

Or, même à l'état initial la perméabilité d'une boue argileuse ne peut dépasser 10^{-15}m^2 (10^{-8}m/s). Ce fait nous conduit à écarter le risque d'un transport par le sondage W3 si celui-ci est rempli d'un matériau pris en masse.

En revanche, ce risque ne peut être actuellement écarté si le sondage est encore rempli de boue.

Ainsi nous préconisons de vérifier autant que possible l'état du matériau de remplissage et si cela n'est pas possible, pour des raisons techniques, de prévoir une isolation du pilier du bloc 26 en construisant une barrière argileuse locale autour du pilier concerné. Cette barrière pourrait être conçue et réalisée avec les mêmes caractéristiques que celles des barrières préconisées pour l'ensemble du stockage ;

Nous tenons à préciser que la présence du sondage W3 dans le périmètre du stockage n'ayant pas été étudiée jusqu'à présent dans les études déjà réalisées par l'INERIS, les mesures de maîtrise de risque préconisées ont porté sur la mise en place des barrières et des galeries de court-circuit hydraulique. Or, au vu des résultats de la présente étude, des préconisations complémentaires sont formulées. Elles sont résumées comme suit :

- 1- tenter une localisation précise du sondage W3, autant que possible ;
- 2- vérifier ensuite, si possible, l'état du matériau de remplissage de ce sondage ;
- 3- traiter, autant que possible, le sondage, en cas d'un remplissage par un matériau non consolidé (état de boue) ;
- 4- en cas d'impossibilité de cette vérification et ce traitement, mettre en place une barrière à faible perméabilité (proche de 10^{-19} m^2) autour du pilier traversé par le sondage ;
- 5- pour arrêter la descente progressive du toit et la progression du décollement des bancs, prévoir un remblayage des blocs 16 à 26, non remplis par les déchets.

Des précautions devront alors être prises pour ces travaux étant donné le mauvais état de stabilité des blocs 15 à 26, très affectés par le décollement du toit stratifié de ce secteur non rempli par les déchets.

En ce qui concerne les trous de dégazage, dans la mesure où ils débouchent dans l'horizon marneux du toit, une distance de garde sépare leur extrémité et le niveau exploité. C'est une condition indispensable qui doit être vérifiée par StocaMine, autant que possible. En effet, compte tenu du nombre élevé de trous de dégazage qui seraient vraisemblablement présents également au toit du stockage, l'absence éventuelle d'une zone imperméable entre le fond du trou de dégazage et le niveau d'exploitation (trou traversant tout le toit du stockage) constituerait une voie de transfert prépondérante de produits contaminés.

5. ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe1	Logiciels utilisés pour l'étude	2 A4

ANNEXE 1

LOGICELS UTILISES POUR L'ETUDE

Nota : imprimé émis et géré par *DSE*

Cette fiche est annexée au rapport.

Direction opérationnelle : DRS Unité : RNOS
Référence étude / CGR : 108130

Logiciel	Version	Fichier de configuration	Données de sortie/Résultats
<i>VIPLEF</i>	<i>011208</i>	-	<i>LES RESULTATS DU RAPPORT</i>
<i>MATLAB</i>	<i>6.5 release 13</i>	-	<i>LES GRAPHES ET FIGURES</i>
<i>COMSOL MULTIPHYSICS</i>	<i>3.5</i>	-	<i>RESULTATS DU RAPPORT</i>

Ce document ne peut être communiqué à des tiers sans autorisation écrite du responsable de l'Entité concernée

IM-1187-AA- Enreg IM1187AA.doc Imp le 20/10/11 11:10 - 23 / 24 -Mise en application de l'imprimé : 22/12/2003