

**Synthèse 11 : pièce [53] bibliographie DDA**

**Etude géomécanique du stockage de Stocamine**

INERIS, 23 décembre 2010

Source étude : Bibliographie/Extraits dossier 2015/Annexe [53]

Auteur : F. LAOUAFA

Vérification : JC PINTE et M GHOREYCHI

Approbation : M GHOREYCHI

**Objectif de l'étude, page 9**

« L'étude géomécanique présentée dans ce rapport fait partie d'un ensemble d'études réalisées par l'INERIS pour le compte de StocaMine sur l'évaluation des risques liés aux deux principaux scénarios suivants :

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

Ainsi, l'étude géomécanique a été motivée par trois objectifs :

1. Evaluation de la stabilité mécanique du site de stockage et des ouvrages d'accès. Cet objectif a été guidé par des interrogations sur les points suivants :
  - Possibilité d'accès au site, à moyen terme (On entend par court, moyen et long terme, respectivement quelques années, quelques dizaines d'années et quelques siècles).
  - Possibilité d'un déstockage, à court ou à moyen terme.
2. Evaluation de la vitesse du fluage des différentes structures (stockage, galeries, terrains foudroyés), en lien avec les problématiques suivantes :
  - Impact du fluage sur le transport de polluants vers l'extérieur.
  - Possibilité d'accès aux travaux souterrains dans le temps.
3. Evaluation de l'endommagement du toit du stockage, induit par l'incendie du bloc 15 qui soulève des interrogations sur le point suivant :
  - Possibilité d'une communication hydraulique au travers du sel endommagé. »

**Démarche adoptée, pages 9 et 10**

« La démarche adoptée pour l'étude géomécanique s'appuie principalement sur 4 investigations :

1. Analyse des études antérieures commandées par StocaMine : en particulier, les études conduites par l'Ecole des Mines de Paris (dans le cadre du dossier d'autorisation, études 2006 et 2009)
2. Analyse des mesures in situ et des données disponibles à StocaMine :
  - mesures des déplacements relatifs horizontaux et verticaux, dans les galeries de stockage ;
  - mesures d'affaissement de la surface du sol, réalisées par les MDPA, résultant de l'exploitation et de la compaction des terrains foudroyés (mémoire 5 des MDPA).

3. *Mise à profit de l'état des connaissances et des résultats des recherches en France et à l'étranger [...]*
4. *Modélisation numérique du stockage et des ouvrages d'accès, réalisée par l'INERIS en 3D et en 2D. [...]* »

### **Conclusion intégrale, pages 75 à 77**

« L'étude géomécanique qui vient d'être présentée fait partie des études réalisées par l'INERIS pour le compte de StocaMine sur les différents scénarios de devenir du stockage de déchets industriels de StocaMine.

En plus des investigations menées auparavant par d'autres organismes, ce travail s'appuie largement sur les résultats des recherches déjà réalisées en France et à l'étranger sur le sel. En particulier, les résultats des expériences de laboratoire et in situ obtenus sur le sel de la mine Amélie aux MDPA, dans le cadre de programmes européens ont été utilisés. Ces travaux de recherche avaient débouché sur le développement de deux modèles rhéologiques : celui de Norton sur le fluage de sel et un modèle d'endommagement. Caractérisés en laboratoire et in situ, ces modèles ont servi aux études mécaniques et thermomécaniques présentées dans ce rapport.

Les principaux résultats obtenus peuvent être résumés ainsi :

1. En ce qui concerne la **stabilité mécanique** des différents ouvrages, les points suivants sont à souligner :
  - les approches basées sur la modélisation et les observations s'accordent sur le fait que les piliers des voies desservant le stockage sont endommagés, ce qui soulève le problème de la tenue mécanique à moyen terme et de l'accessibilité dans le temps au stockage ;
  - le contact entre le toit du stockage et les déchets est inévitable, à court ou à moyen terme (dans quelques années à quelques dizaines d'années, selon le bloc considéré). Ce fait qui tient à la fois au fluage du sel et au décollement des bancs, est de nature à compliquer considérablement, voire à rendre impossible un déstockage différé ;
  - les résultats de la modélisation du stot de séparation entre les mines Amélie et Marie-Louise indiquent que la stabilité du stot est compromise localement dans les parties dont l'épaisseur est inférieure à 20 m. Cela signifie que l'étanchéité hydraulique du stot n'est pas assurée et l'ensemble du secteur ouest sera en communication lors de l'ennoyage.
  - le toit immédiat, le mur et les piliers de la zone affectée par l'incendie sont endommagés, comme l'indiquent la modélisation et les observations (photographies disponibles). Précisons que l'accès au bloc 15 étant condamné, ce bloc n'a pas pu être visité de près par l'INERIS. Toutefois, la modélisation a montré que la fissuration des bancs n'a probablement pas atteint le niveau du foudroyage, 25 m plus haut et que la perméabilité du sel doit y rester encore très faible.
2. S'agissant **du fluage des ouvrages souterrains**, il convient de noter que :
  - le modèle rhéologique de Norton, largement reconnu et employé à travers le monde, a été utilisé après un calage des paramètres, effectué sur les convergences mesurées dans les différents blocs. Le modèle reproduit bien les déplacements mesurés jusqu'à présent, pendant environ 10 ans ; il a été extrapolé à moyen et long terme ;
  - la vitesse de convergence « toit-mur » est de 0,9% par an aussi bien pour les voies doubles situées à 550 m de profondeur que pour le site de stockage ;

- *la vitesse de convergence est fortement influencée par la profondeur sous l'effet conjugué de deux facteurs :*
    - a. *le déviateur de contrainte qui est deux fois plus fort à 1000 m qu'à 500 m. Il en résulte que la vitesse de convergence des galeries situées à 500 m est multipliée par un facteur 16 à 1000 m de profondeur, puisque la vitesse de fluage est proportionnelle au déviateur élevé à la puissance 4 pour le sel des MDPAs (selon le modèle utilisé) ;*
    - b. *la température naturelle du massif qui est voisine de 35 °C à 550 m et de 50°C à 1000 m. La température intervient de manière exponentielle sur le fluage (loi d'Arrhenius) et conduit à doubler la vitesse de déplacement entre ces deux profondeurs ;*
  - *ainsi, les galeries sont fermées au bout de quelques années à 1000 m de profondeur mais seulement après environ 2 siècles à 500 m. Il s'agit d'une fermeture mécanique et non d'un « encapsulage », étanche d'un point de vue hydraulique (leur perméabilité ne sera pas négligeable) ;*
  - *en se basant sur quelques mesures locales d'affaissement rapportées par les MDPAs, la vitesse d'affaissement résiduel des terrains foudroyés est pratiquement constante et voisine de 1 cm/an, une dizaine d'années après l'exploitation. On en déduit une vitesse de compaction des terrains foudroyés de l'ordre de 0,1 à 0,2 % par an. Pour l'étude d'ennoyage, il convient de prendre en compte une vitesse de compaction de 0,1% par an, avant l'ennoyage.*
  - *Les phénomènes de fluage et de compaction résiduelle des terrains foudroyés demeurent importants, même à long terme (sur plusieurs siècles) et doivent être pris en compte dans les études de transport de la saumure et de polluants.*
3. **Concernant l'interaction entre le fluage et l'ennoyage, il convient de préciser :**
- *la durée de l'ennoyage dépend du volume des vides laissés par des anciennes exploitations de potasse, accessibles à l'eau. Ce volume comprend celui des terrains de foudroyage mais aussi la porosité cumulée provenant des pores et des fissures des terrains. L'hypothèse de 5 à 10% de vides résiduels, retenue jusqu'à présent, qui s'appuie sur une amplitude d'affaissement de 90% d'ouverture des tailles, nous semble justifiée à grande profondeur (1000 m) mais probablement surestimée, à l'échelle de l'ensemble de l'exploitation. L'ennoyage n'interviendra donc qu'à long terme, au bout de quelques siècles ; alors les ouvrages d'infrastructure seront fermés. Là encore, cette fermeture mécanique ne signifie pas pour autant que les anciens chantiers d'exploitation (tailles et ouvrages d'accompagnement ou d'infrastructure) seront étanches, d'un point de vue hydraulique. Leur perméabilité restera sans doute élevée, même en présence des faibles vides résiduels ;*
  - *la pression hydrostatique d'ennoyage, liée à la saumure et l'eau douce, fera diminuer considérablement le déviateur de contraintes dans les vides. Cet effet de « confinement » conduira à une diminution de la vitesse de fluage, de plus d'un ordre de grandeur ; elle sera voisine de 0,01 % par an, dans les terrains foudroyés, soit inférieure à 1 mm/an. C'est une vitesse très faible, non perceptible et non mesurable aujourd'hui (inférieure au bruit de fond).*

Ces éléments permettent aussi d'affirmer que :

1. **même si la compaction résiduelle sera très lente à long terme, le fluage constituera un moteur important de transport de fluides vers l'extérieur. Ce phénomène est donc à prendre en compte dans les études hydrogéologiques et de transport ;**

2. *les instabilités déjà observées à différents niveaux du toit (décollements), du mur (soufflage) et des piliers des galeries étant de nature à s'accroître dans le temps, la décision sur le devenir du stockage de StocaMine est à intervenir, dans les meilleurs délais. »*