

Gestion à long terme des déchets historiques du procédé de conversion (AREVA NC Malvésí)



Présentation au GT PNGMDR du 2 février 2015

Avertissement



- ❑ *Conformément à l'article 7-II du décret n°2013-1304 du 27 décembre 2013 établissant les prescriptions du PNGMDR 2013-2015, cette présentation ne concerne que les déchets déjà présents sur le site de Malvési, et dits « déchets historiques ».*
- ❑ *Le cas des déchets « à produire » par le fonctionnement à venir des installations (Article 16-II du décret) est traité dans une deuxième présentation (AREVA / Andra)*

- ▶ 23 Mai 2008 : première présentation au GT des déchets des bassins de l'Usine de Comurhex Malvésí au GT
- ▶ 4 juin 2010 : présentation au GT de l'inventaire et de la démarche à court terme
- ▶ 12 mars 2012 : présentation au GT des concepts et de la démarche à long terme
- ▶ **Décret PNGMDR 2013-2015 (article 7-II) :**
 - « Article 7-II : Concernant l'établissement Comurhex de Malvésí, **l'inventaire des déchets historiques est limité aux seuls déchets déjà produits et entreposés sur le site de Malvésí**. L'exploitant remet aux ministres chargés de l'énergie, de l'environnement et de la sûreté nucléaire :
 - Pour le 31 décembre 2014, un **rapport sur l'état d'avancement** à cette date des études de faisabilité des options de stockage des déchets déjà produits.
 - L'Autorité de sûreté nucléaire est saisie pour avis sur ce rapport. »
- ▶ **Le rapport d'avancement a été transmis aux ministres chargés de l'énergie et de l'environnement le 23 décembre 2014**

Inventaire des déchets existants

▶ Anciens bassins de décantation B1 et B2 (INB ECRIN) :

◆ Un volume de 280 000 m³ de déchets solides

- boues de procédé + mélanges de matériaux et de boues + matériaux de couverture

◆ Une activité moyenne de 490 Bq/g pour les boues

- 99 % environ de l'activité alpha est due à la chaîne de l'**Uranium naturel** (U-238 et U-235), dont 53 % au seul Thorium 230
- 1 % environ de l'activité alpha provient de **radionucléides artificiels** (origine URT)

▶ Bassins de décantation en activité (B3, B5 et B6) :

◆ Volume à fin 2013 évalué à 56 700 m³ de boues décantées

◆ Activité moyenne de 230 Bq/g

- L'activité est **entièrement due à l'Uranium naturel** (toujours avec une prédominance du Th-230)

▶ Stériles miniers (ancienne mine de soufre) :

◆ Volume total de 1 300 000 m³

◆ Dont une partie est radiologiquement marquée

▶ Déchets liquides nitrates (bassins d'évaporation)

◆ Environ 350 000 m³ à fin 2013, contenant plus de 130 000 tonnes de nitrates

◆ Caractéristiques :

- Uranium à des concentrations inférieures à 0,5 mg/l
- Présence de Radium, mais aussi de Technétium-99

Caractérisation des déchets solides contenus dans l'INB ECRIN

- ◆ La capacité maximale autorisée dans l'INB d'entreposage de déchets radioactifs ECRIN est de 400 000 m³ et 120 TBq

Déchets contenus dans l'INB ECRIN	Volume (m ³)	Masse volumique (kg/m ³)	Activité (Bq/g)	Activité totale (TBq)
Matériaux de couverture	43 000	1 780	76,7	5,9
Mélange sols + boues	101 000	1 865	141,7	27
Boues de B1/B2	77 000	1 485	492	56
Mélange sols + boues + résidus et stériles miniers (est de B2)	61 000	1 780	61,5	6,7
Matériaux qui seront utilisés en phase d'aménagement de B1/B2	22 000	1 780	3,2	0,1
Boues déshydratées issues de la vidange de B5/B6 *	27 000	1 350 *	274 *	10

* les caractéristiques des boues déshydratées qui seront entreposées dans l'alvéole de B2 sont données à titre informatif

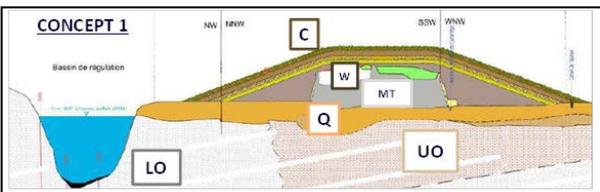
Rappel des conclusions du rapport 2011 au PNGMDR

Au vu :

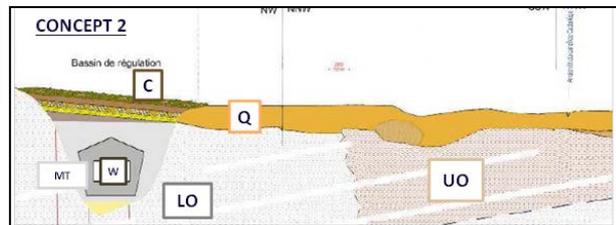
- ◆ de la rareté des ressources de stockage,
- ◆ de l'optimisation nécessaire de la chaîne de gestion (radioprotection, transport, environnement),
- ◆ du caractère radiologique atypique de ces déchets,

➤➤ **AREVA a choisi d'examiner la pré faisabilité d'un stockage sur site,**
selon l'un des 3 concepts identifiés (1 en surface et 2 à faible
profondeur)

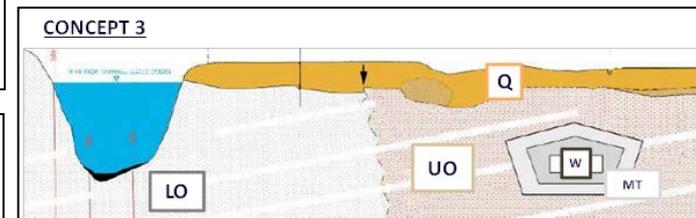
Concept 1
Stockage en surface, sous couverture
ouvragée



Concept 2
Stockage à faible profondeur dans
mine de soufre, sous couverture
ouvragée

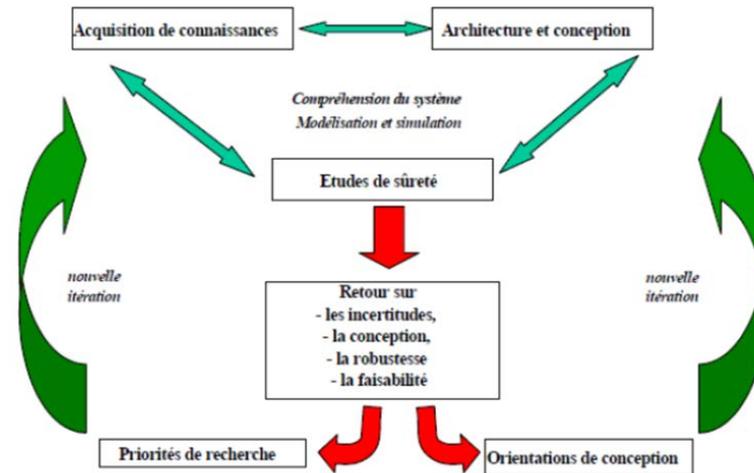


Concept 3
Stockage à faible profondeur, sous
couverture remaniée



Approche méthodologique et rôle du Groupe d'experts

► Approche par itérations / approfondissement progressif des thèmes

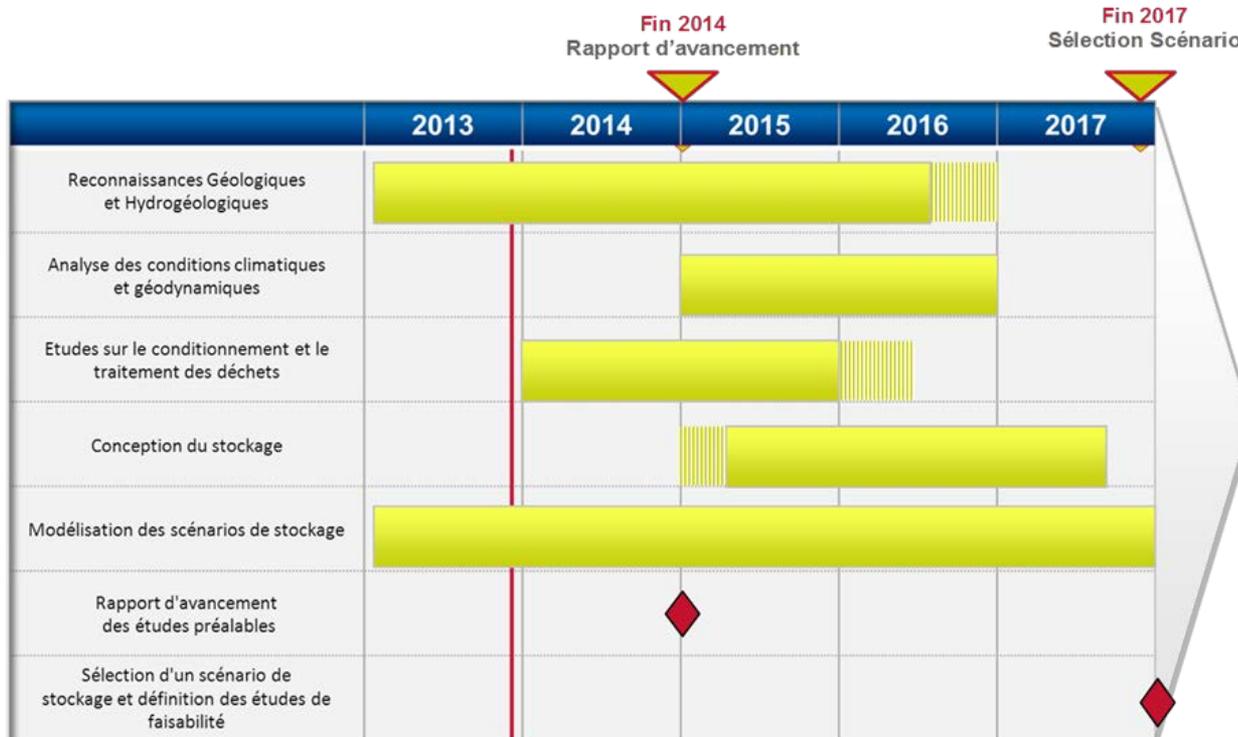


► Constitution d'un groupe de cinq experts internationaux, le Groupe d'Experts Malvésis (GEM)

◆ Mission confiée au GEM :

- Réaliser une expertise pluraliste des problématiques et enjeux posés par ces déchets
- Assurer la cohérence de l'approche avec les méthodologies nationales et internationales
- Emettre un avis argumenté sur la faisabilité d'un stockage sur site
- Etablir une feuille de route pour les études complémentaires à mener
- Hiérarchiser périodiquement les priorités

Programme et calendrier de l'étude de pré faisabilité



Caractérisation des déchets

Caractérisation radiologique

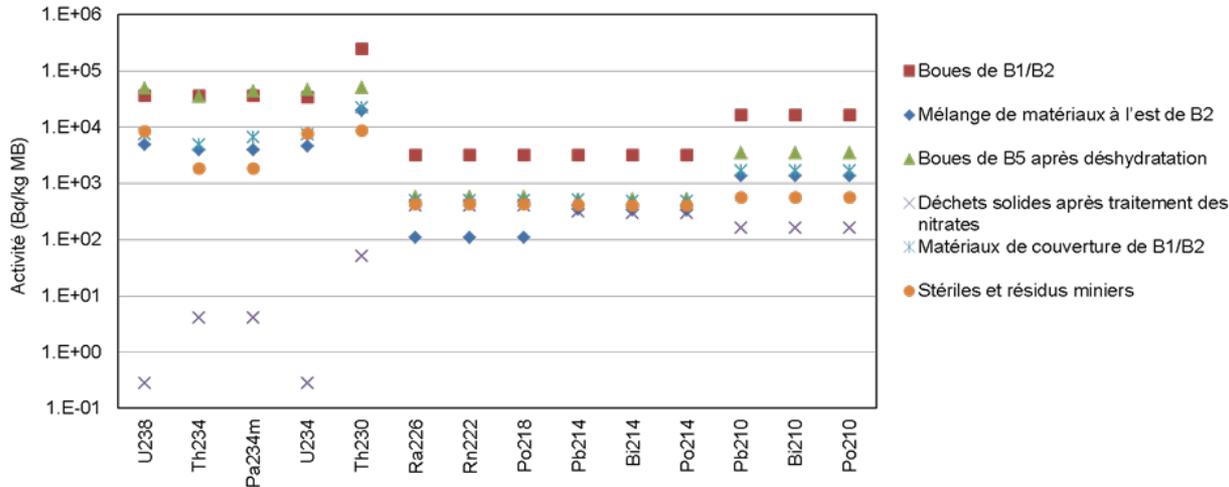
► Un constat de rupture des chaînes de filiation radioactive:

◆ Exemple pour la chaîne U-238 :

- Coupure U-234 / Th-230
- Coupure Th-230 / Ra-226
- Coupure Po-214 / Pb-210

◆ Expliqué par :

- Une purification incomplète en mines, avec la présence d'impuretés radiologiques (Th-230, Pa-231, Ra-226),
- Une répartition de chacun de ces RN entre déchets solides et effluents liquides qui dépend d'abord de leur solubilité dans ces différents milieux géochimiques.

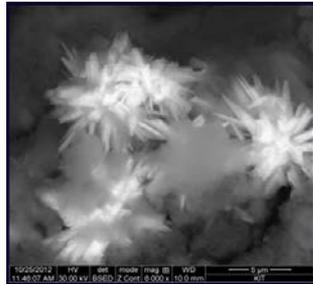


L'uranium naturel parvenant à Malvési dans les concentrés miniers n'est pas en équilibre : thorium, protactinium et radium en particulier, sont des impuretés radiologiques.

Nota : Les déchets les plus récents (B5) présentent une moindre activité en Th-230, ce qui dénote d'une amélioration de la séparation U/Th dans les mines.

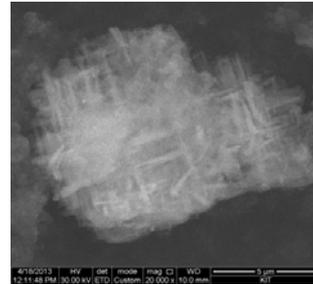
Caractérisation des déchets

Caractérisation minéralogique



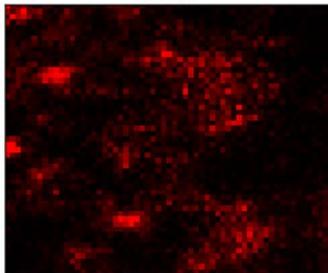
$U_1Si_1C_6O_{10}F_5$

Th-L3

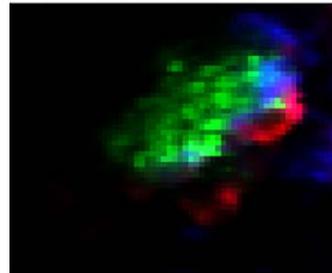


$Ca_{0.7}U_1Si_{1.1}C_{35}O_{12}P_{1.7}F_{2.2}$

RGB (Ca, U, Fe)



Distribution du Thorium



Distribution du calcium (en rouge), du fer (en bleu) et de l'uranium (en vert)

► L'Uranium est :

- ◆ Dans des minéraux associant uranium et silice (liaison forte),
- ◆ Associé aux phases minérales du fer ou de l'aluminium (adsorption),
- ◆ En dépôt sur le gypse ou la calcite

► Le Thorium est :

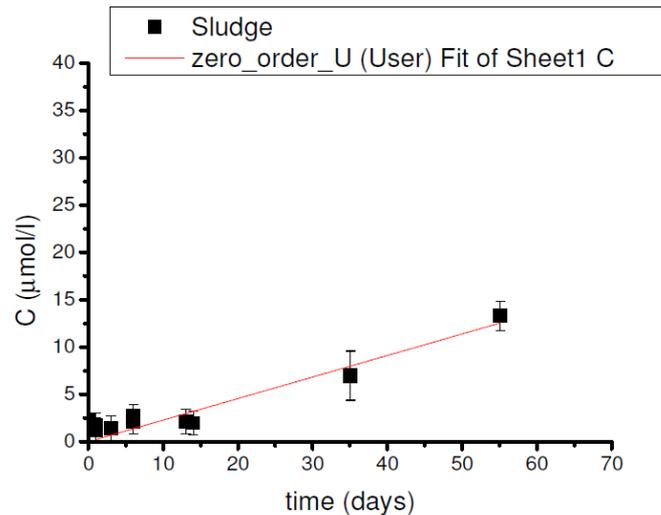
- ◆ Parfois corrélé avec l'uranium (oxyde mixtes U-Th),
- ◆ Le plus souvent dispersé sans corrélation avec un autre élément chimique

La solubilité et le comportement lors du transport par l'eau sont directement liés à la spéciation (forme chimique) des radionucléides :

- ***La solubilité de l'uranium semble contrôlée par la Schoepite ($UO_3 \cdot 2H_2O$)***
- ***Les calculs d'équilibre thermodynamiques indiquent la présence de ThO_2***

Caractérisation des déchets

Comportement géochimique



► Expériences en colonnes :

- ◆ Dans leur état actuel (milieu réducteur), le thorium est quasi-intégralement retenu dans les boues, alors qu'une fraction de l'ordre de 5 % de l'uranium est relâché,
- ◆ Le relâchement de l'uranium depuis la couche de boues est lent
- ◆ L'uranium solubilisé est fortement adsorbé par la couche de résidus miniers sous-jacents

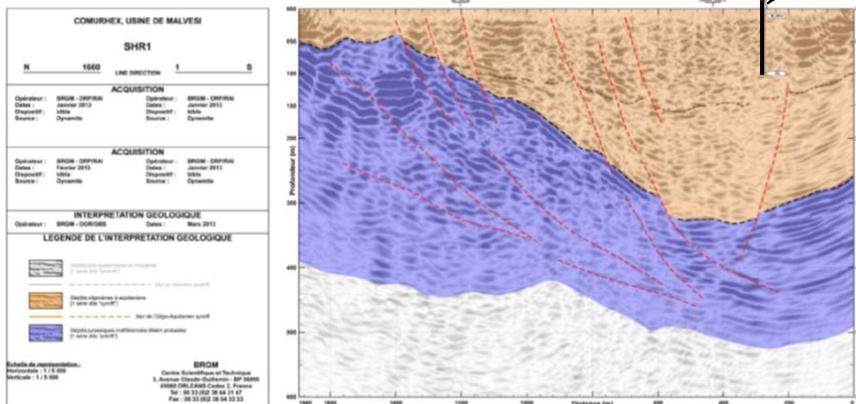
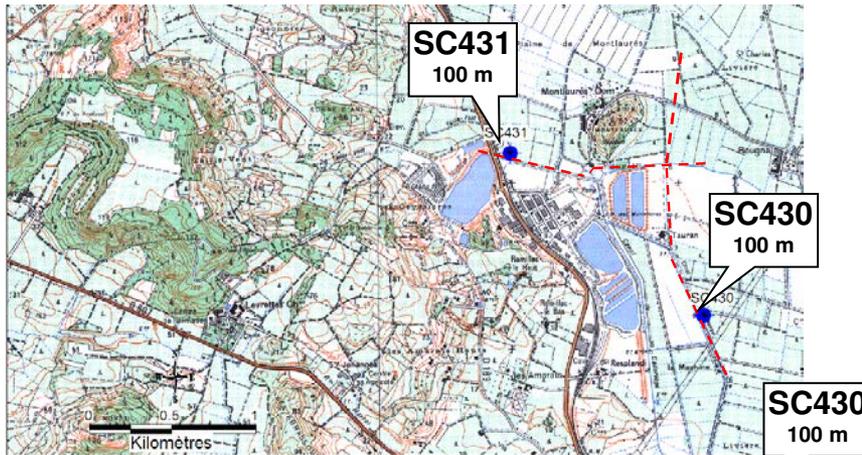
La spéciation et la solubilité de l'uranium sont contrôlées par les conditions oxydo-réductrices et le pH.

Celles du thorium dépendent essentiellement du pH

La capacité des résidus miniers à réduire fortement les transferts d'uranium les rend aptes à constituer une barrière ouvragée efficace en terme de confinement des déchets

Reconnaissance géologique

Géologie structurale



► Réalisation de profils sismiques à haute résolution + forages profonds :

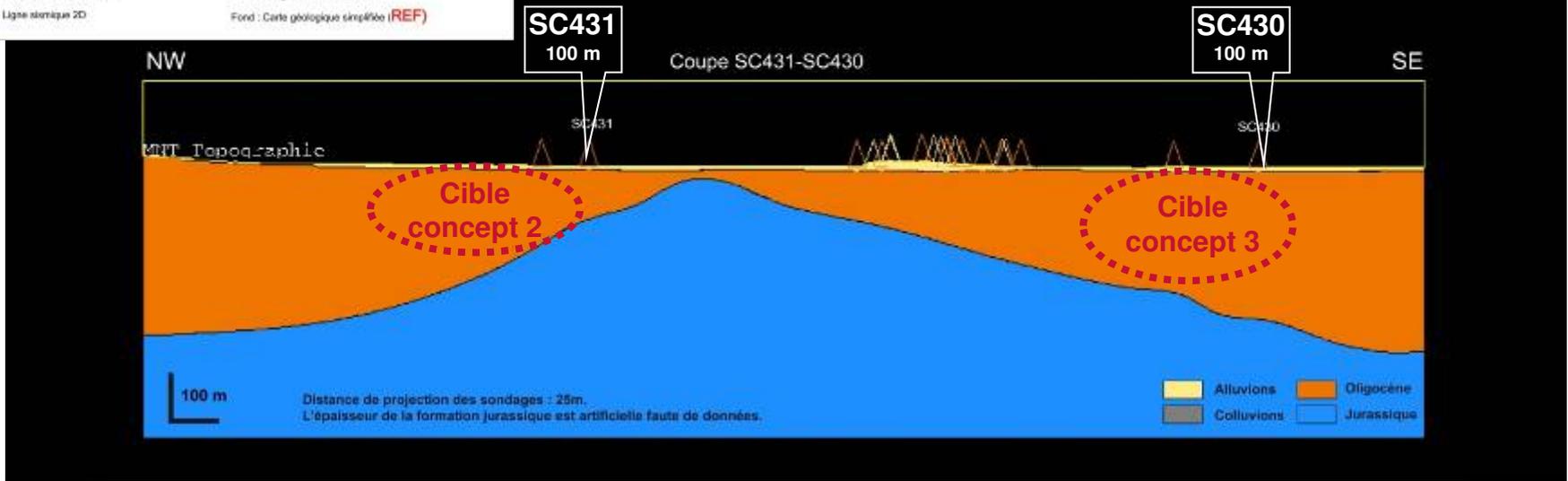
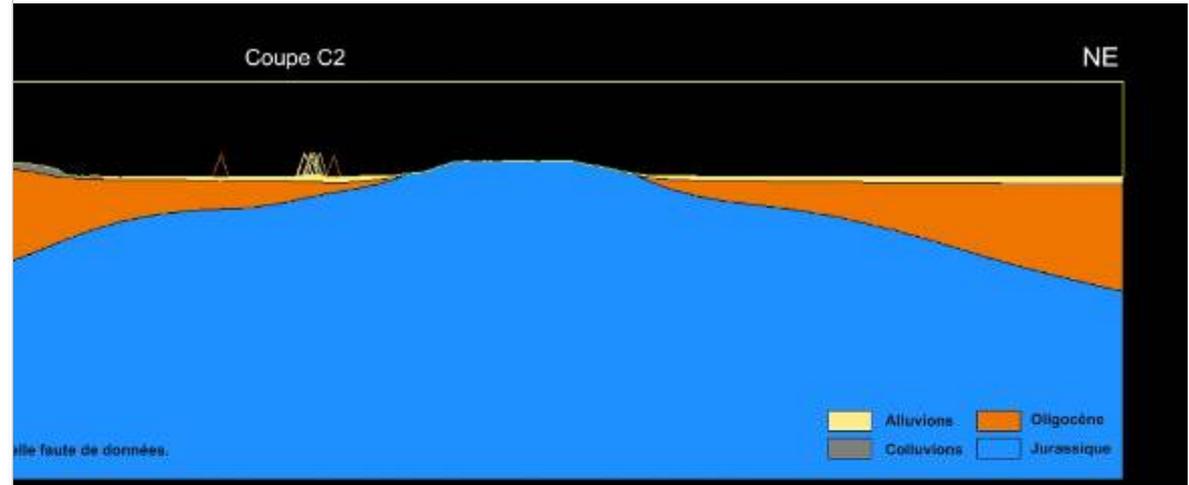
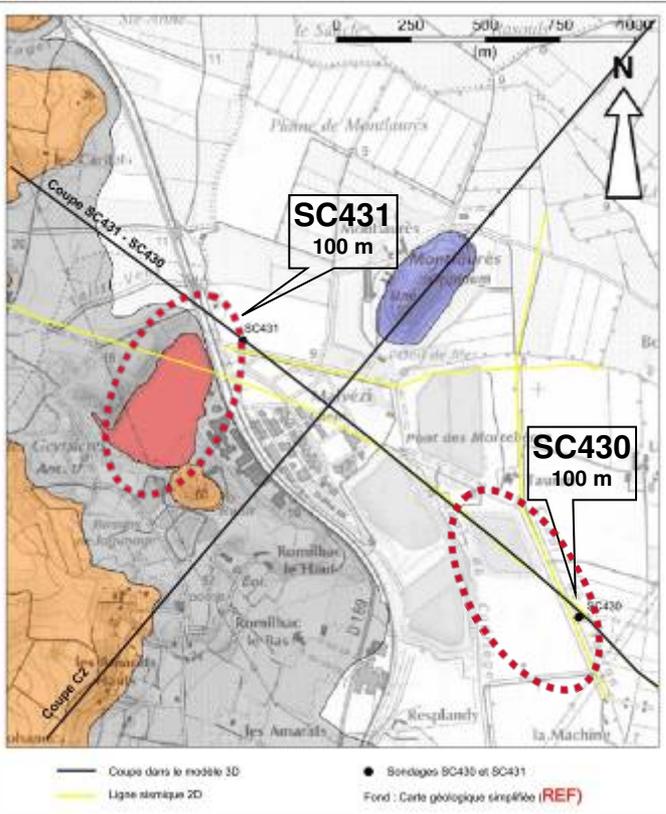
- ◆ Le site est situé en bordure Ouest du fossé de Narbonne-Sigean, qui s'étend à l'Est jusqu'à la Clape
- ◆ Le centre de ce fossé est situé au droit de Coursan avec des épaisseurs de sédiments de l'ordre de 1500 m, reposant sur les calcaires d'âge Jurassique
- ◆ Ce fossé, d'âge Oligocène, a été comblé par des dépôts sédimentaires :
 - Lacustres à lagunaire (Oligocène « gris »),
 - Fluviales (Oligocène « rouge »)
- ◆ Absence de faille importante bordant le massif de Montlaurès

L'existence sur le site de deux séries géologiques d'épaisseur importante (100 à 300 m) est démontrée.

Ces séries sédimentaires sont continues et peu perturbées par des failles.

Reconnaissance géologique

Coupes géologiques



Reconnaissance géologique

Caractérisation des roches sédimentaires



▶ Oligocène rouge (SC 430)

- ◆ Marnes et argiles rouges compactes
- ◆ Passages plus sableux
- ◆ Forte teneur en argile (illite/muscovite), homogène de l'ordre de 50 %
- ◆ Perméabilité de 10^{-6} à 10^{-8} m/s



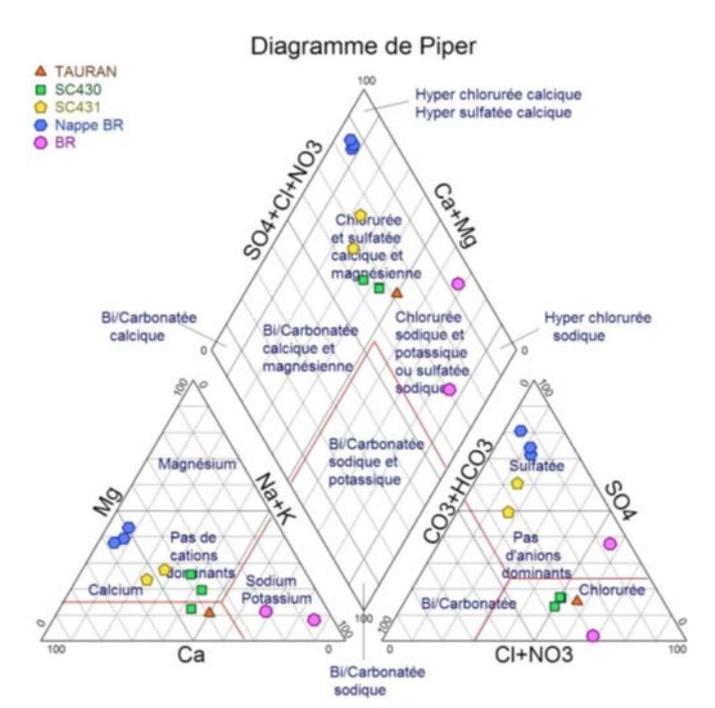
▶ Oligocène gris (SC 431)

- ◆ Argilites et dolomies
- ◆ Présence de gypse, matière organique et pyrite dénotant d'un milieu très réducteur
- ◆ Proportion d'argile très variable (20 à 80 %)
- ◆ Perméabilité de 10^{-4} à 10^{-6} m/s

Les deux séries sédimentaires présentent des caractéristiques minéralogiques (forte proportion d'argiles) et géochimiques (milieu réducteur) favorables à la limitation de la dissémination des substances chimiques et radioactives, ce qui, associé à une perméabilité faible, devrait permettre de répondre au besoin d'une barrière passive à long terme.

Reconnaissance géologique

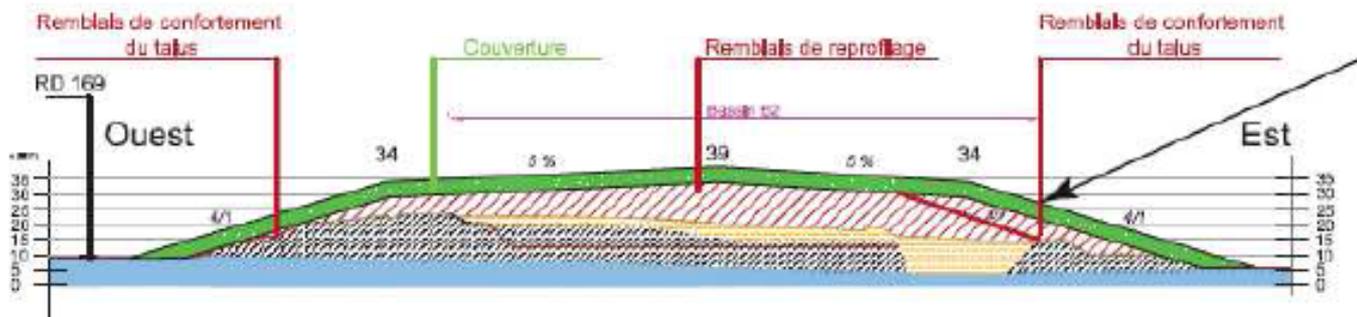
Hydrogéologie



Report des analyses des eaux sur un diagramme de Piper

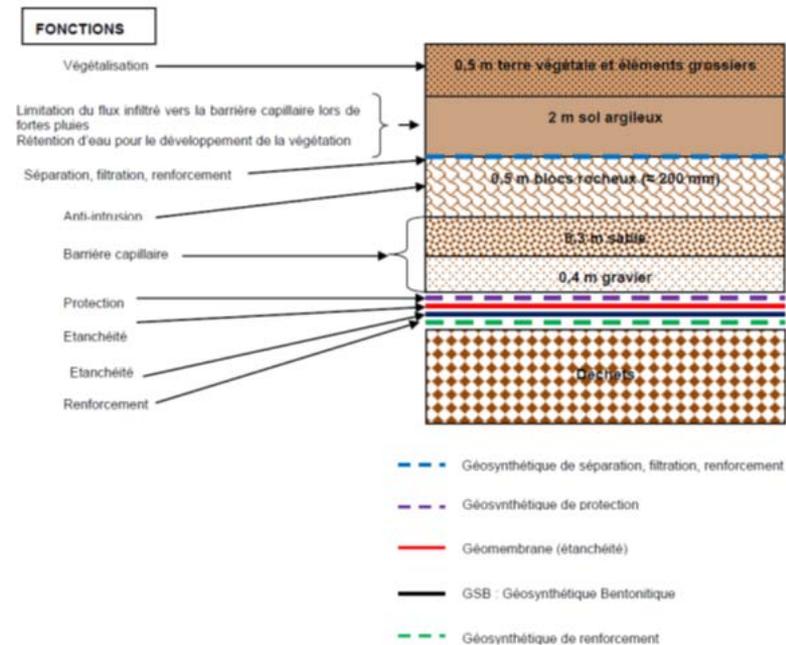
*Les différentes formations aquifères paraissent indépendantes à grande échelle.
L'absence d'échanges ponctuels reste à vérifier.*

- ▶ **Présence de trois aquifères :**
 - ◆ Nappe des alluvions de l'Aude
 - ◆ Niveaux phréatiques d'extension limitée dans l'Oligocène
 - ◆ Aquifère karstique dans les calcaires jurassiques (résurgence au pied du massif de Montlaurès)
- ▶ **Caractérisation chimique et isotopique**
 - ◆ Dominante chlorurée pour les eaux de l'oligocène rouge
 - ◆ Dominante sulfatée pour les eaux de l'oligocène gris



► Principes de conception :

- ◆ Apport de matériaux pour la mise en forme de dôme, avec une pente permettant le drainage des eaux
- ◆ Remodelage de la pente des flancs pour assurer une stabilité géotechnique et une bonne résistance à l'érosion
- ◆ Couverture ouvragée, d'une épaisseur de l'ordre de 5 m, combinant des matériaux naturels et synthétique de façon à limiter les infiltrations



Ingénierie de conception

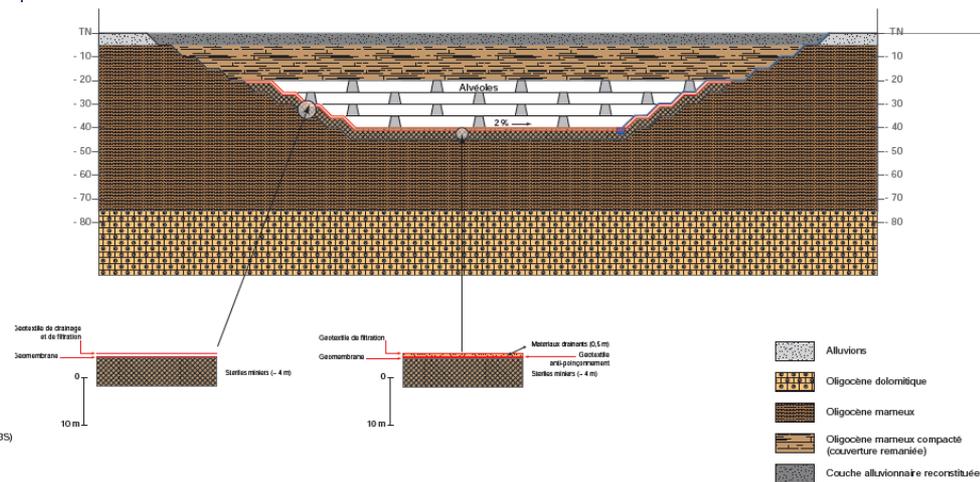
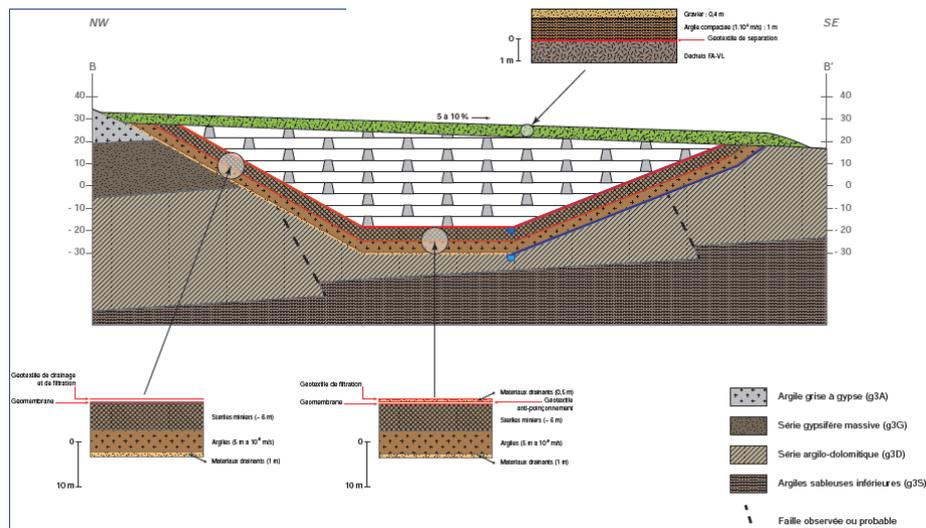
Les deux concepts à faible profondeur

► Dans l'ancienne mine de soufre

- ◆ Fosse d'une profondeur de 40 m environ dans l'oligocène gris
- ◆ Barrière ouvragée de fond constituée d'argiles imperméables et d'une couche de résidus miniers
- ◆ Déchets disposés en casiers étanches (hauteur de 5 m environ) superposés
- ◆ Couverture ouvragée comparable à celle du concept 1

► Dans les marnes rouges

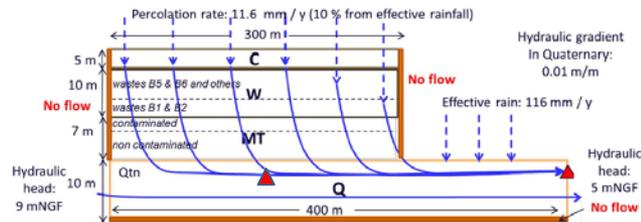
- ◆ Excavation creusée à 40 m environ dans les marnes
- ◆ Barrière ouvragée de fond constituée d'une couche de résidus miniers
- ◆ Déchets disposés en casiers étanches (hauteur de 5 m environ) superposés
- ◆ Couverture reconstituée avec des marnes compactées sur environ 15 m d'épaisseur



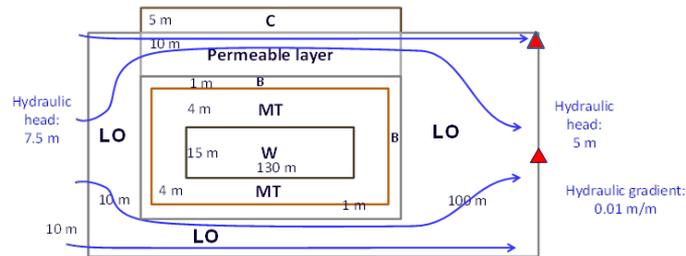
Evaluation des performances

Modélisation du transport réactif

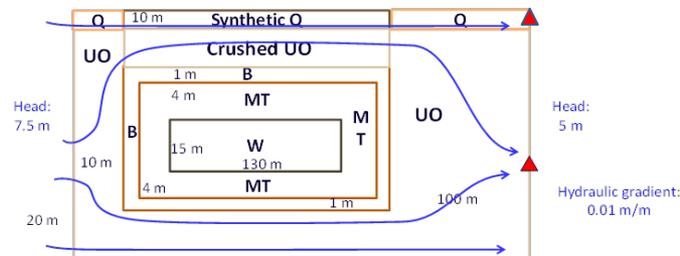
Concept 1



Concept 2

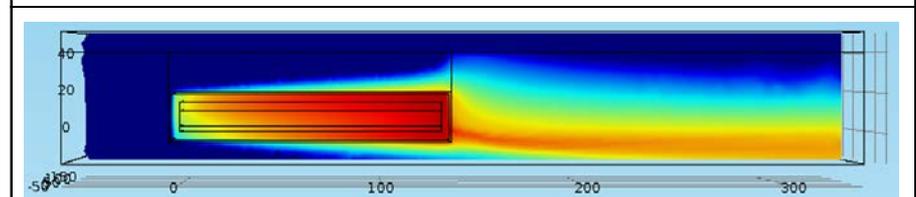
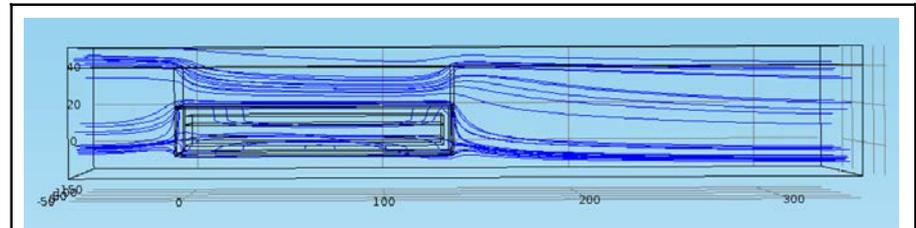


Concept 3



► Chacun des concepts a fait l'objet d'une modélisation permettant de représenter :

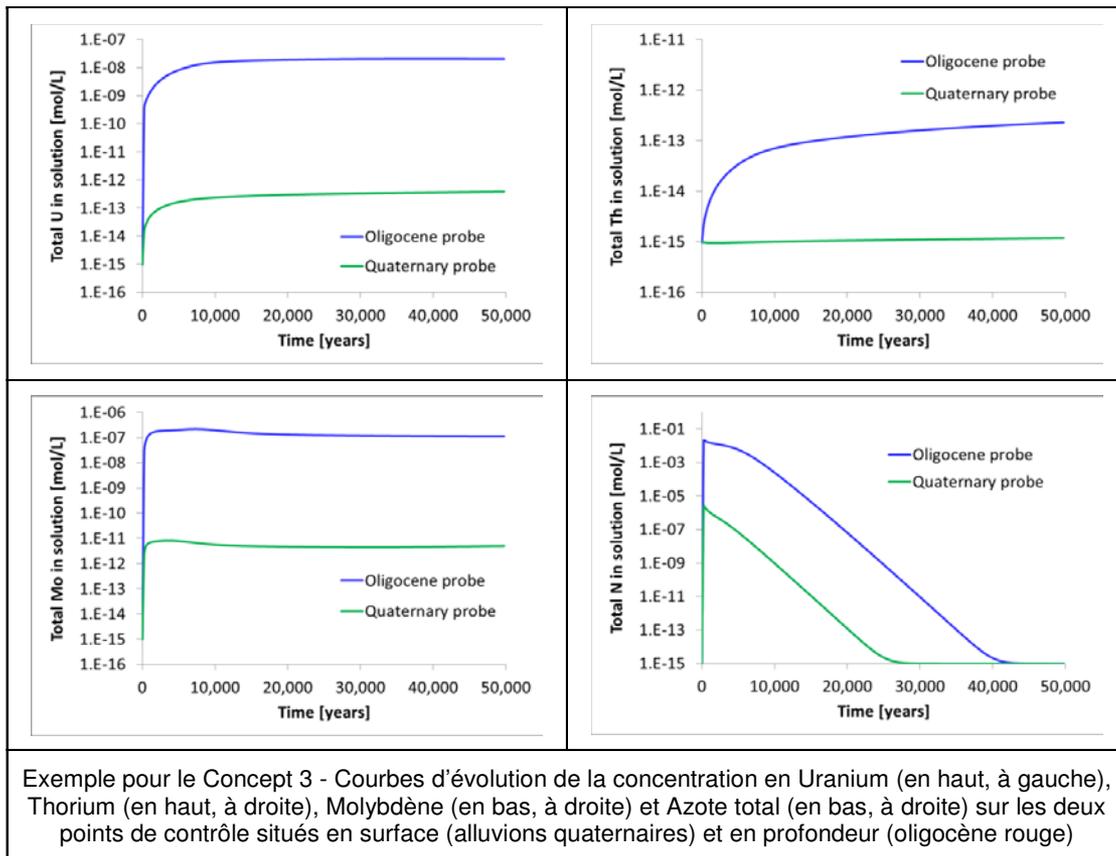
- ◆ Les circulations d'eau (modèle hydrogéologique)
- ◆ La concentration et le transport des éléments dissous (modèle géochimique)
- ◆ Les échanges par adsorption ou échanges ioniques entre les eaux et les minéraux des roches (modèle réactif)



Exemple pour le Concept 3 - Représentation des lignes de courant et des concentrations à 5 000 ans pour un traceur parfait

Evaluation des performances

Modélisation du transport réactif



► Les résultats sont représentés :

- ◆ Par une concentration aux points d'observation en fonction du temps pour chaque substance (ci-contre)

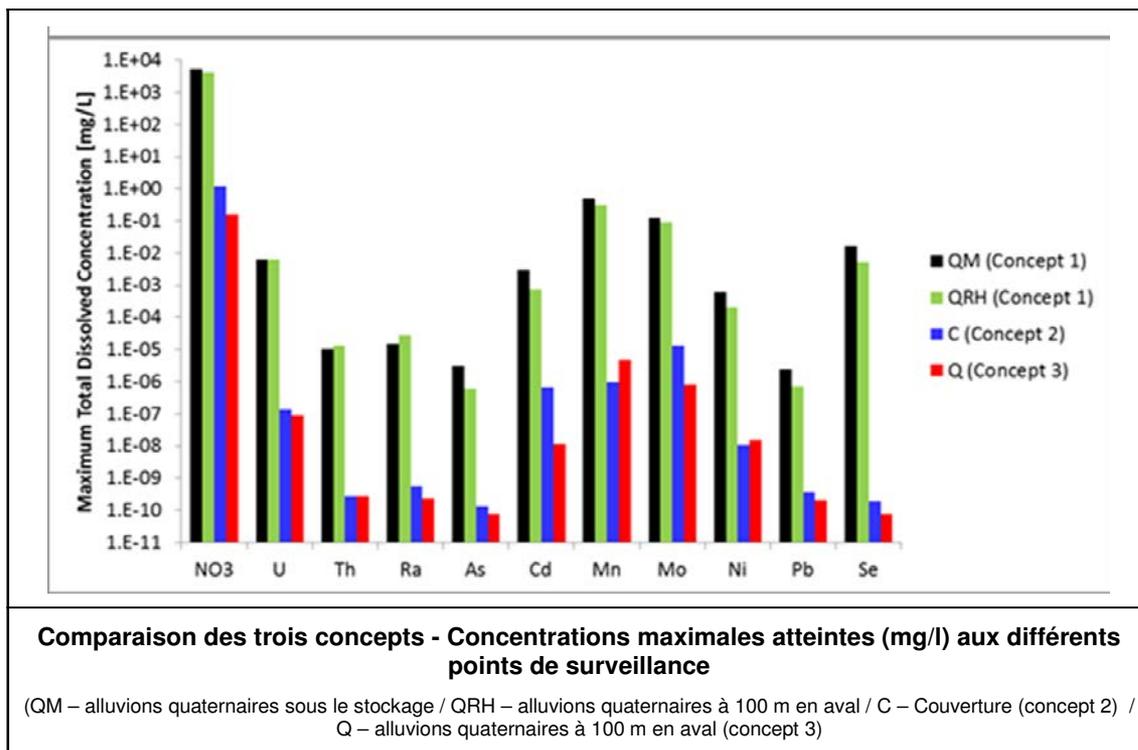
ou

- ◆ Par les concentrations maximales atteintes aux points d'observation (ci-après)

Exemple pour le Concept 3 - Courbes d'évolution de la concentration en Uranium (en haut, à gauche), Thorium (en haut, à droite), Molybdène (en bas, à droite) et Azote total (en bas, à droite) sur les deux points de contrôle situés en surface (alluvions quaternaires) et en profondeur (oligocène rouge)

Evaluation des performances

Résultats des modélisations



Ces premières modélisations, basées sur une ingénierie préliminaire de conception et des paramètres mesurés dans le milieu géologique, indiquent des degrés de performance intéressants (faibles concentrations dans l'aquifère alluvial).

Conclusion et Perspectives (1/2)

Conformément à la demande du PNGMDR, le site AREVA de Malvési a entamé depuis 2010 une réflexion globale sur la gestion à court, moyen et long termes des déchets du procédé de conversion.

- ▶ **La démarche de sélection du scénario de gestion le plus adapté est organisée en deux parties :**
 - ◆ l'entreposage sûr des déchets à court et moyen termes,
 - ◆ la recherche d'une filière sûre de gestion à long terme sur site, organisée autour d'un programme d'études et d'investigations.

- ▶ **Plan d'actions à court et moyen termes :**
 - ◆ **Entreposer en sûreté les déchets, en les maintenant dans un état réversible en vue de leur gestion définitive**
 - Travaux de confortement environnemental (2012-2013)
 - Regroupement dans l'INB ECRIN des déchets déjà produits (2016-2017)
 - Couverture de l'INB (2016-2017, voir décret ECRIN)

- ▶ **Orientations à long terme :**
 - ◆ **Poursuivre la caractérisation de l'environnement**
 - ◆ **Évaluer la performance par itérations successives**
 - Une évaluation comparative des 3 concepts à réaliser fin 2017, sur la base des résultats acquis au cours des études

Conclusion et Perspectives (2/2)

Suites des études

Les résultats acquis sont encourageants, mais ne permettent pas encore la sélection d'une solution pérenne de gestion des déchets et la conception d'un stockage adapté.

- ▶ **Le programme à venir s'inscrit dans la continuité des études et investigations déjà menées et portera prioritairement sur les thématiques suivantes :**
 - ◆ préciser le contexte géologique, hydrogéologique et géodynamique des sites étudiés,
 - ◆ analyser les scénarios d'évolutions climatiques majeures et leurs incidences,
 - ◆ préciser les conditions de traitement et de conditionnement des déchets,
 - ◆ définir l'architecture du stockage,
 - ◆ modéliser l'incidence de ces différents paramètres sur les scénarios de stockage étudiés.



AREVA

l'avenir pour énergie