



# **Site minier du Bernardan (87 Jouac)**

**Etude hydrogéologique et hydrogéochemique  
BURGEAP 2012/2013**

**Tierce-expertise  
BRGM 2015**



# Contexte général

## ► Arrêté préfectoral n°2012-20 du 2012

### ◆ Réalisation d'une étude hydrogéologique / géochimique du site et projet de confinement du stockage de résidus

- Etude du fonctionnement hydrogéologique et géochimique (Burgeap / Amphos 21 du 19/07/2012)
- APS de solutions de réaménagement du stockage de résidus de traitement de minerai du site du Bernardan (Burgeap / Sade du 09/04/2013)

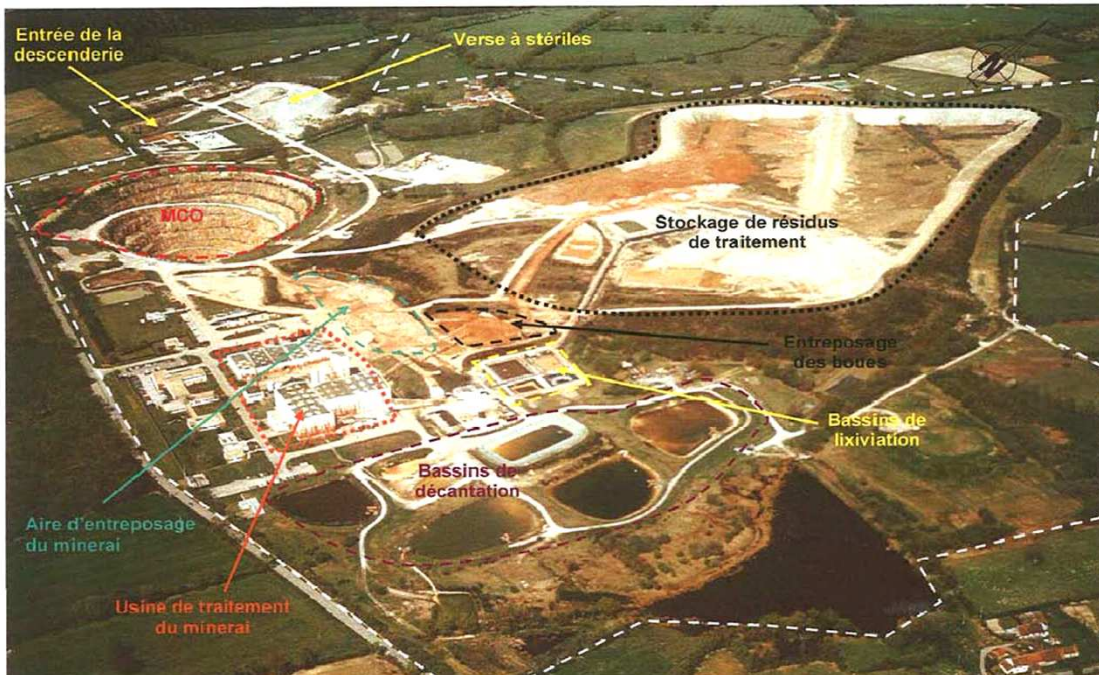
### ◆ Efficacité du fonctionnement de la station de traitement des eaux du site

- Audit technique de la station et essais laboratoire d'optimisation du procédé de traitement des eaux (SEPA août 2012)

### ◆ Tierce expertise des mémoires techniques produits dans le cadre de ce projet

- Tierce expertise du projet de confinement du stockage de résidus de traitement (BRGM version provisoire d'avril 2015
  - Pertinence de l'étude hydrogéologique et de la modélisation hydrogéologique : validité et représentativité des hypothèses, pertinence des modèles
  - Pertinence de l'étude et de la modélisation géochimique : choix de la source, des cibles et des hypothèses, choix et mise en œuvre du modèle, influence du confinement sur la migration des radioéléments dans les eaux souterraines
  - Pertinence et adéquation des solutions de confinement proposées
  - Pertinence et adéquation du dispositif de traitement des eaux

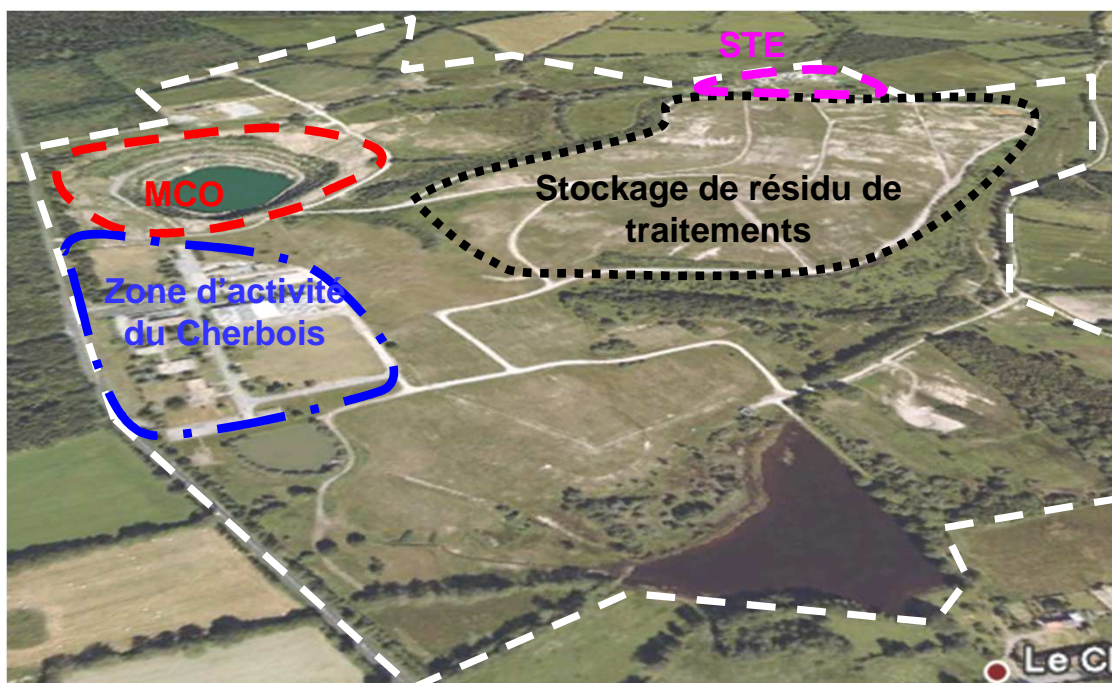
# 1. Contexte du site - exploitation



Vue du site pendant l'exploitation  
(vue aérienne 1993)

- ▶ **MCO de 1978 à 1987**
- ▶ **TMS de 1983 à 2001**
- ▶ **Usine de 1979 à 2002**
  - ◆ 1 772 029 tonnes de minerai
  - ◆ 8 732,28 tonnes d'Uranium
  - ◆ Teneur de 4,9 ‰
  
- ▶ **Stockage de résidus de traitement de minerai d'Uranium**
  - ◆ 1 942 000 tonnes de résidus
  - ◆ 85 TBq (fiche ANDRA LIM-07)

## 2. Contexte du site - réaménagement

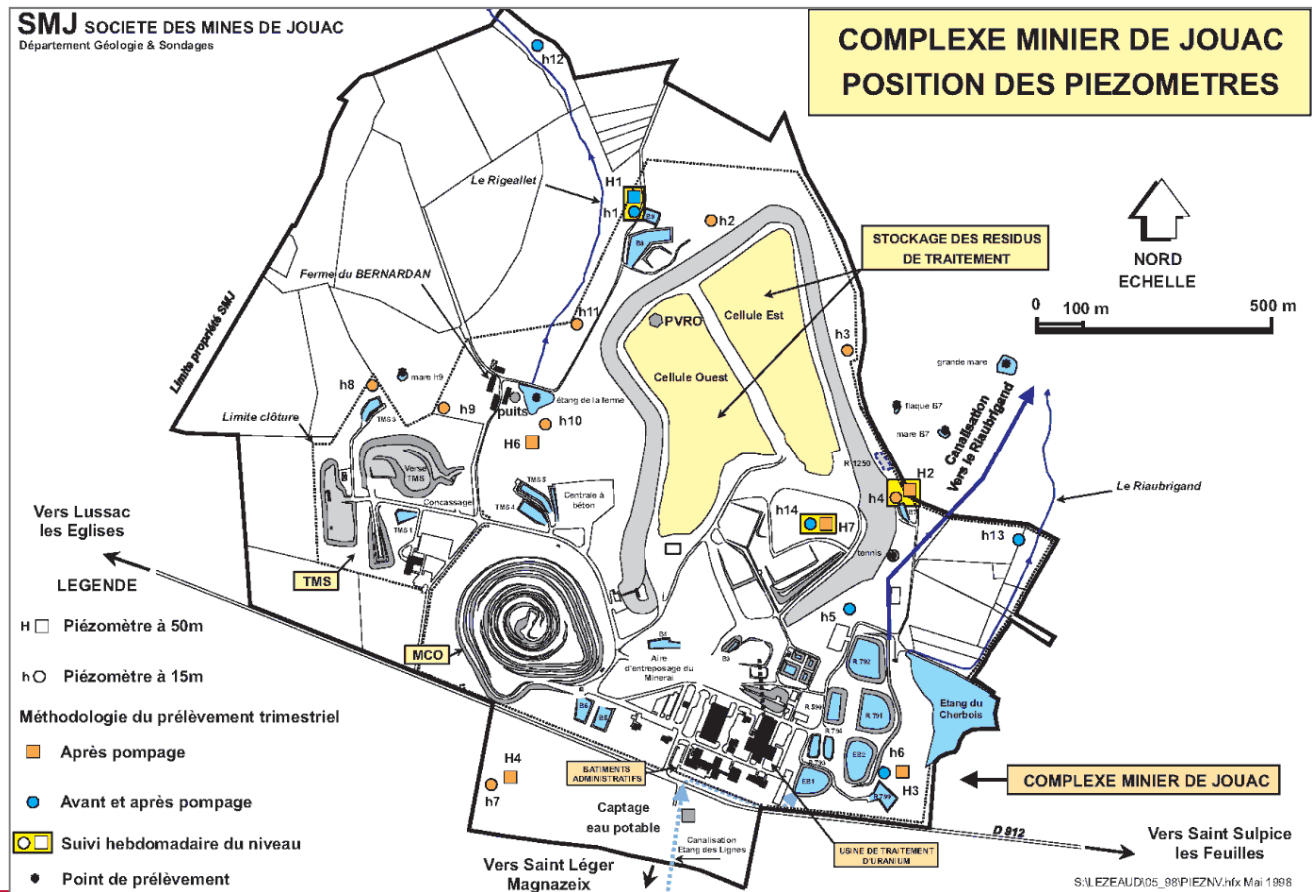


Vue du site après son réaménagement  
(vue aérienne 2006, Google)

- ▶ **Entre 2001 et 2003 :**
  - ◆ Mise en sécurité TMS
  - ◆ Mise en sécurité et envojage en cours MCO
  - ◆ Usine démolie (stockage avec les résidus) et assainissement radiologique de sols
  - ◆ Couverture du stockage par 2m de stériles miniers et de terre
  - ◆ Nouvelle station de traitement des eaux
  - ◆ Mise en place de clôtures autour du site
- ▶ **Conformément au dossier de cessation définitive d'activité de 2002 (acté par l'AP 2002-247)**

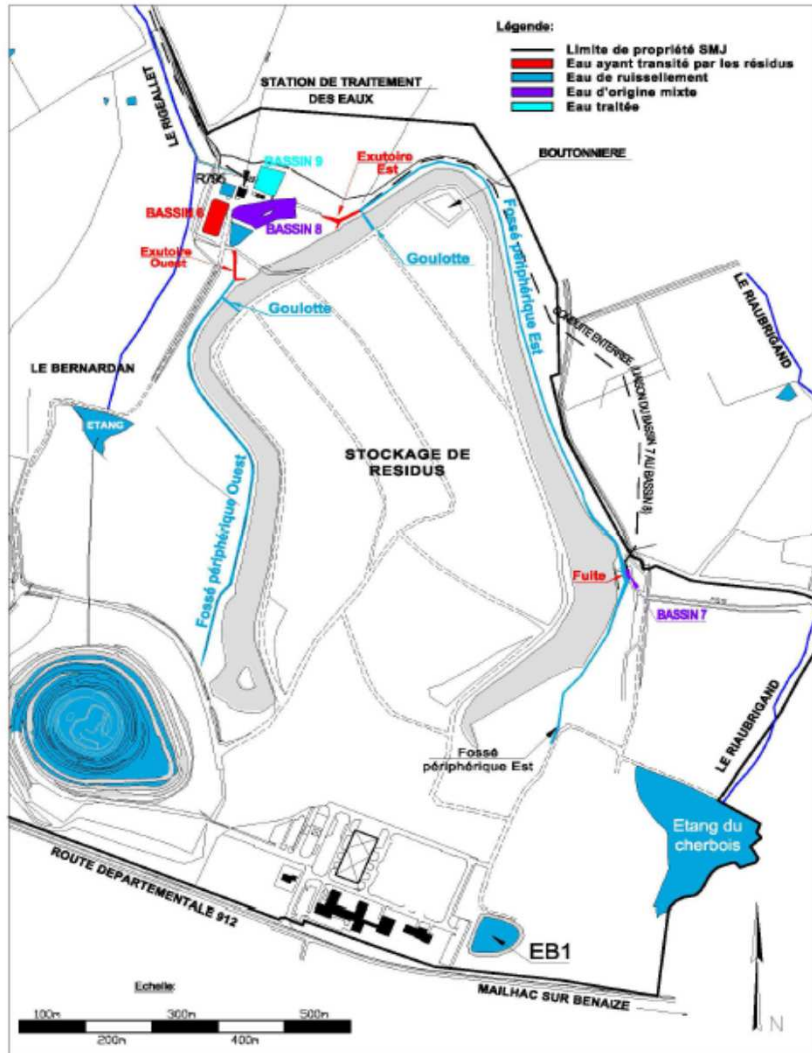
# Etude hydrogéochimique: Contexte

- Stockage de résidus miniers en quatre alvéoles aménagées et digue de ceinture
  - résidus de traitement de minerai (sable avec environ 90 - 100 ppm d'U)
  - boues de traitement des eaux (gypse et oxy-hydroxydes de Fe et Al)
- Travaux miniers en cours de noyage

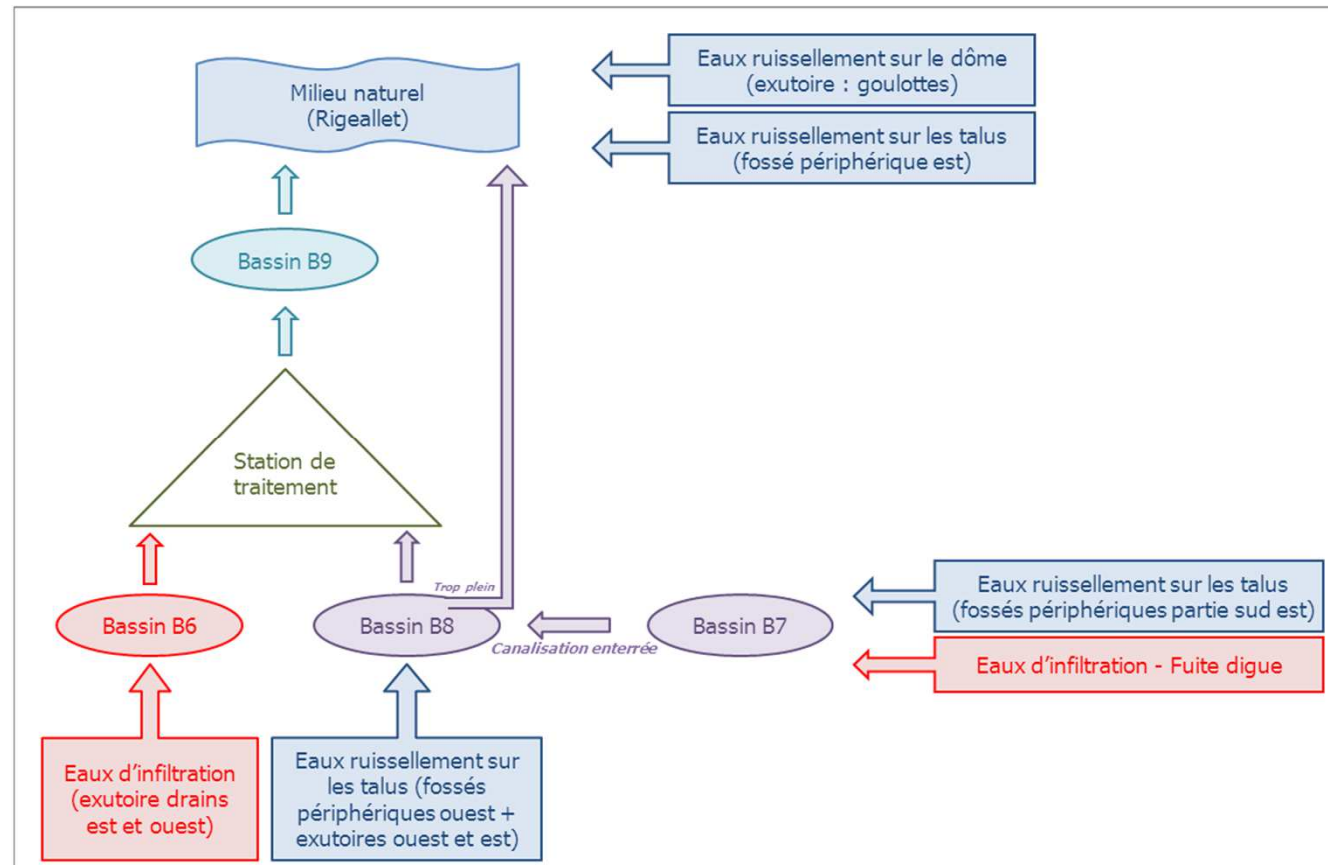


# Gestion des eaux de surface

- Les TMS sont noyés, la MCO se remplit progressivement d'eau
- Deux exutoires en pied de la digue, en aval. Un exutoire à l'Est



Traitement : Chaux + chlorure de Ba + flocculant

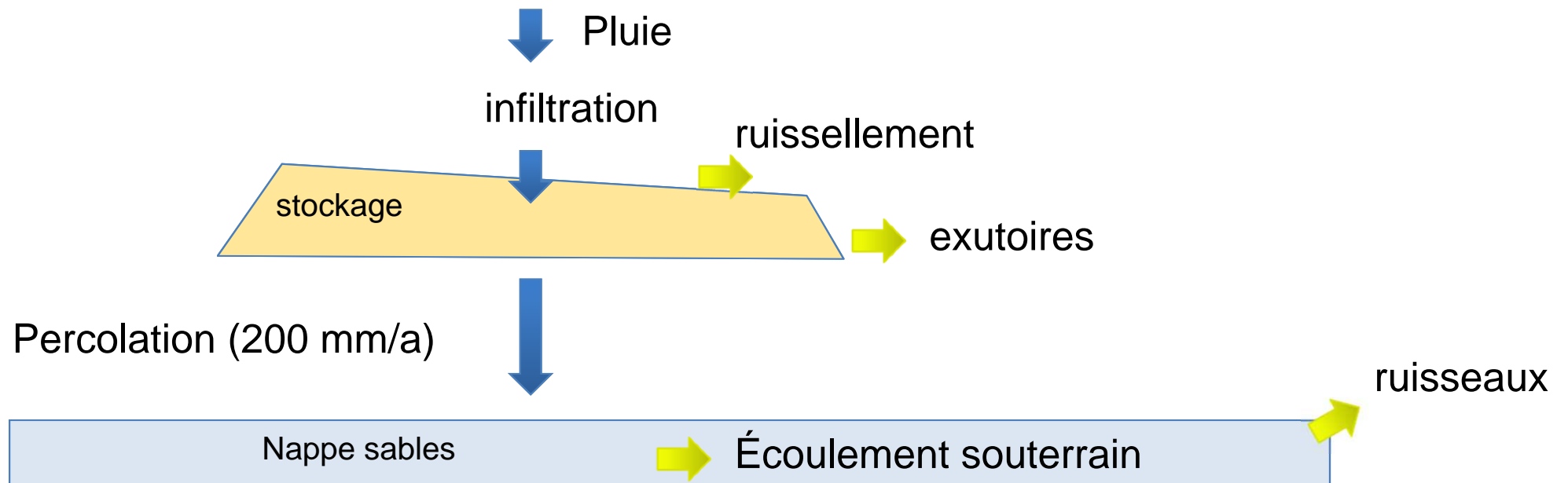


# Débit des exutoires

Tableau 1 : Débit des exutoires du site mesurés le 04 avril 2012

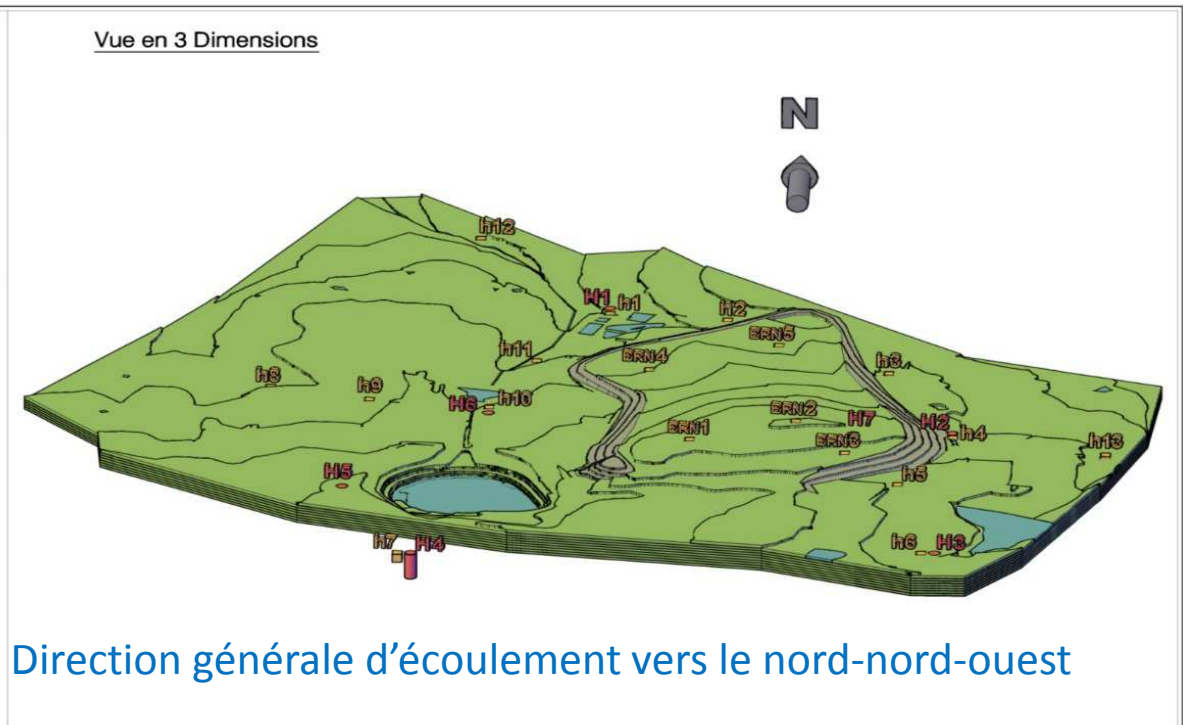
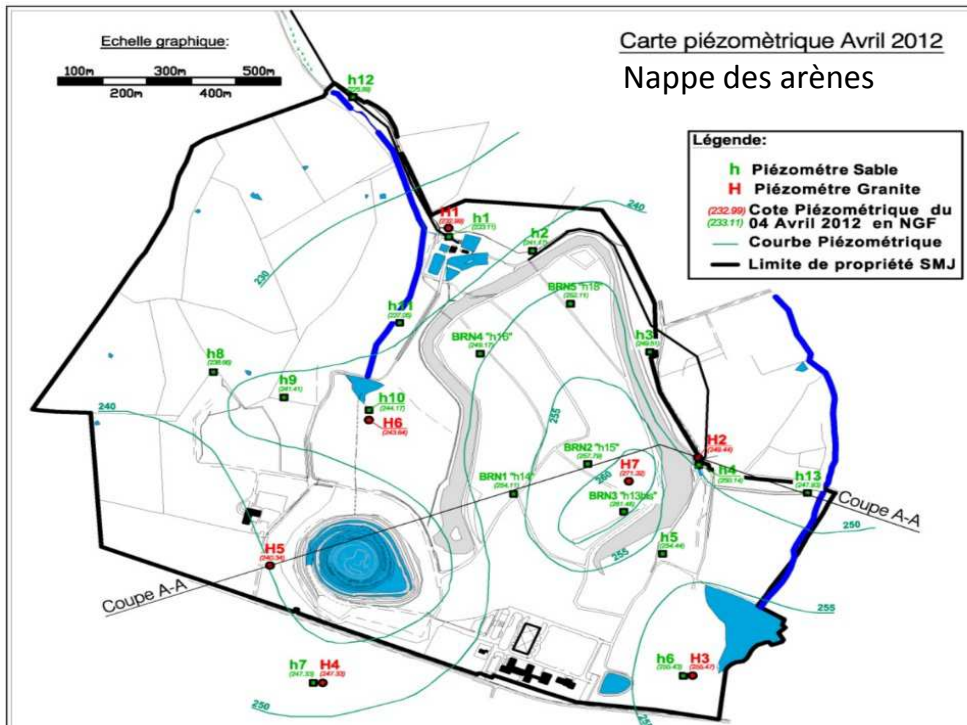
Point	Débit (m <sup>3</sup> /h)	Débit (l/s)
<b>Total des sorties nord du stockage</b>	<b>3.66</b>	<b>1.09</b>
<i>Exutoire ouest</i>	<i>2.82</i>	<i>0.84</i>
<i>Exutoire est</i>	<i>0.84</i>	<i>0.25</i>
<b>Fuite B7</b>	<b>1.5</b>	<b>0.45</b>
<b>Autres exutoires</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL SITE</b>	<b>5.16</b>	<b>1.54</b>

## Fonctionnement hydraulique du stockage



# Piézométrie

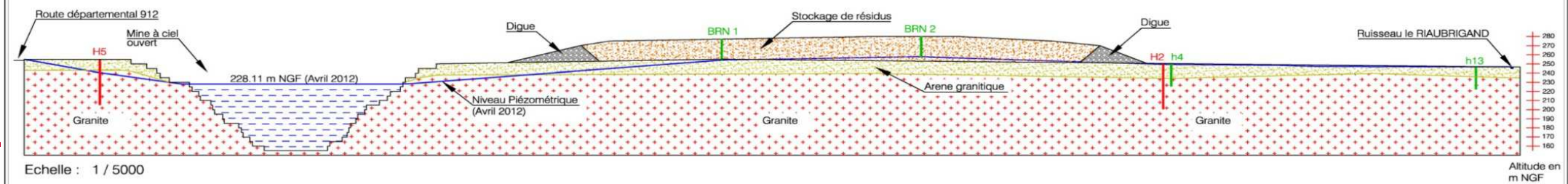
- Moyenne pluviométrique annuelle : 857 mm/an
- Evapotranspiration : 62%
- 13 piézomètres captant les arènes (environ 18m prof.), 6 piézomètres captant le granite (environ 50m prof.) et 5 piézomètres captant les résidus / arènes
- Deux campagnes (février et avril 2012) de mesures de niveaux manuelles + 20 piézomètres avec mesures en continu de décembre 2011 à avril 2012



Coupe A-A du site du BERNARDAN

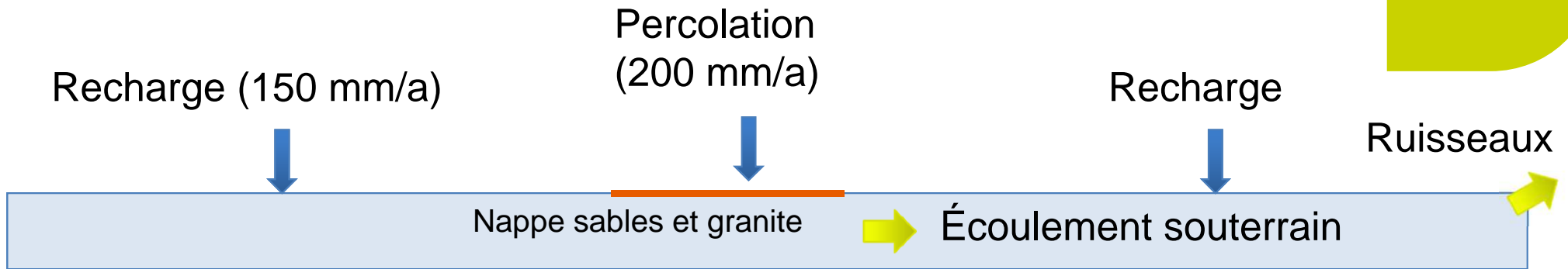
Ouest Sud-Ouest

Est Nord-Est

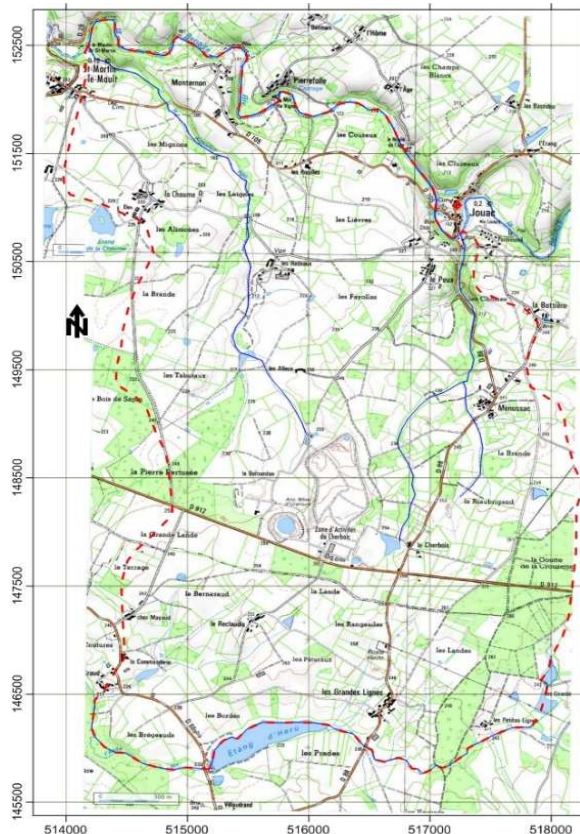




# Modèle et hypothèses hydrogéologiques



## Limites du système modélisé en 3D



## Épaisseurs de couches et paramètres

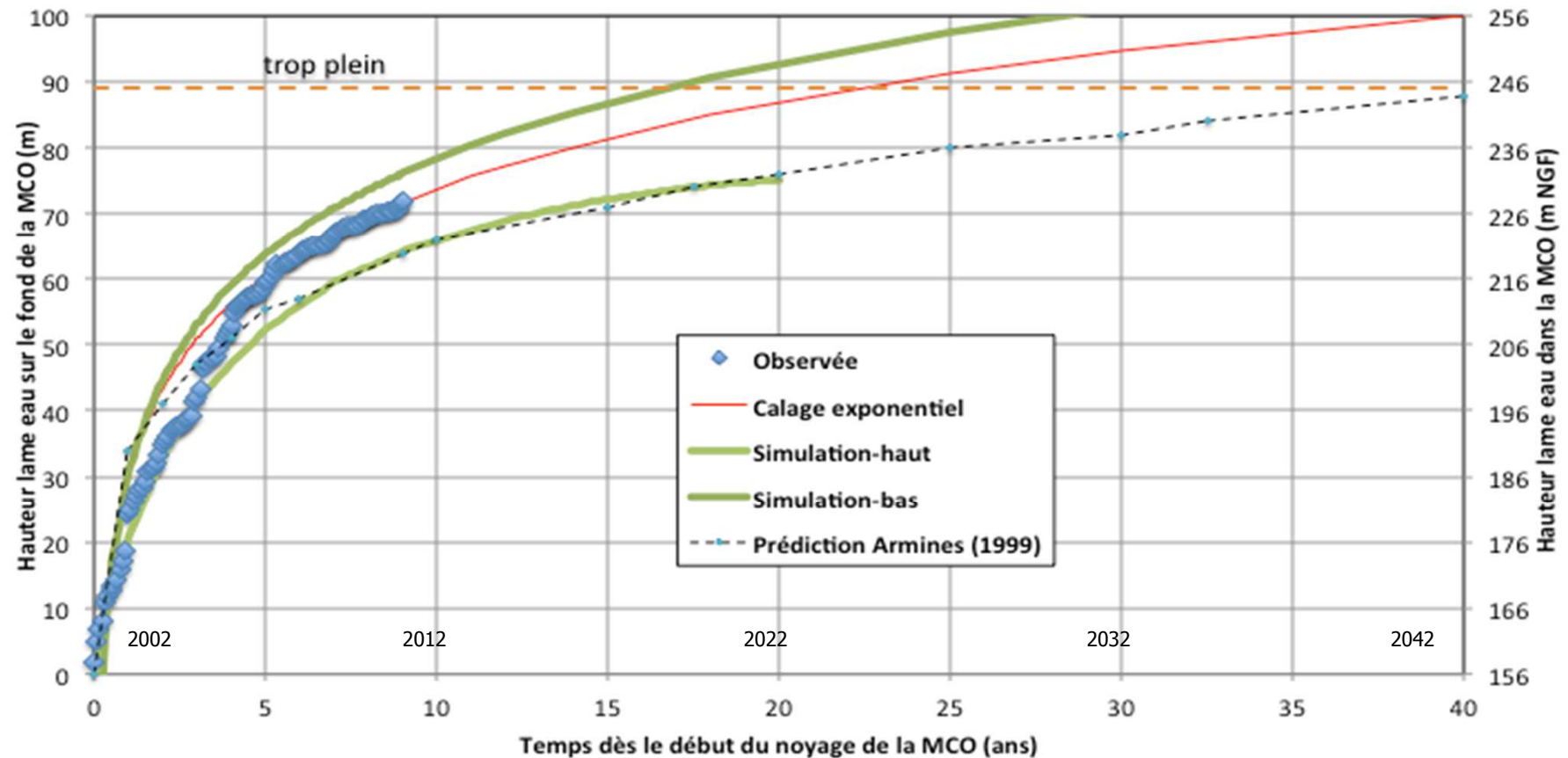
Unité	Épaisseur (m)	Conductivité hydraulique		Porosité
	m	m/j	m/s	-
Arène granitique	5	1,33	$1,5 \cdot 10^{-5}$	0,15
Granite fracturé	15	1,03	$1,2 \cdot 10^{-5}$	0,15
Granite sain	Base à 0 m NGF	0,033	$3,8 \cdot 10^{-7}$	0,01
Granite sain affecté par les TMS	Base à 0 m NGF	0,1	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0,01

## Variations temporelles de la simulation 3D

Temps relatif	Temps absolu approx	Niveau imposé à la MCO	Recharge dans tout le système	Recharge sous les résidus	Taux d'évaporation lame libre
ans			mm/an	mm/an	mm/j
1 - 10	1992-2001	156 m NGF	150	200	-
11-20	2002-2011	Calculé par le bilan dans le plan d'eau	150	200	2
21-40	2012-2034	Calculé par le bilan dans le plan d'eau	150	0	2

# Remplissage MCO

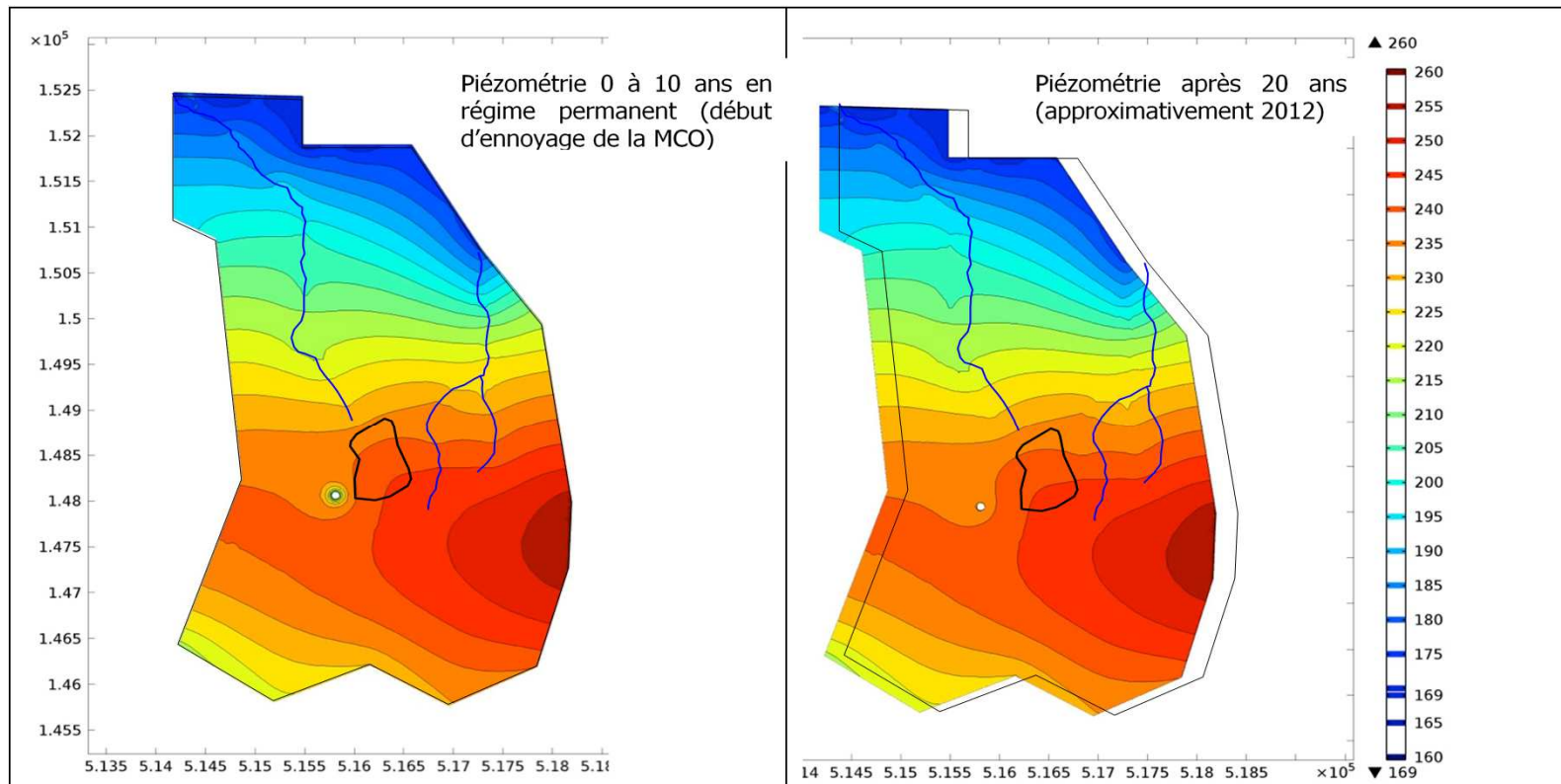
Estimation de la remontée de la surface de l'eau à la MCO



# Simulation de la piézométrie après remplissage de la MCO

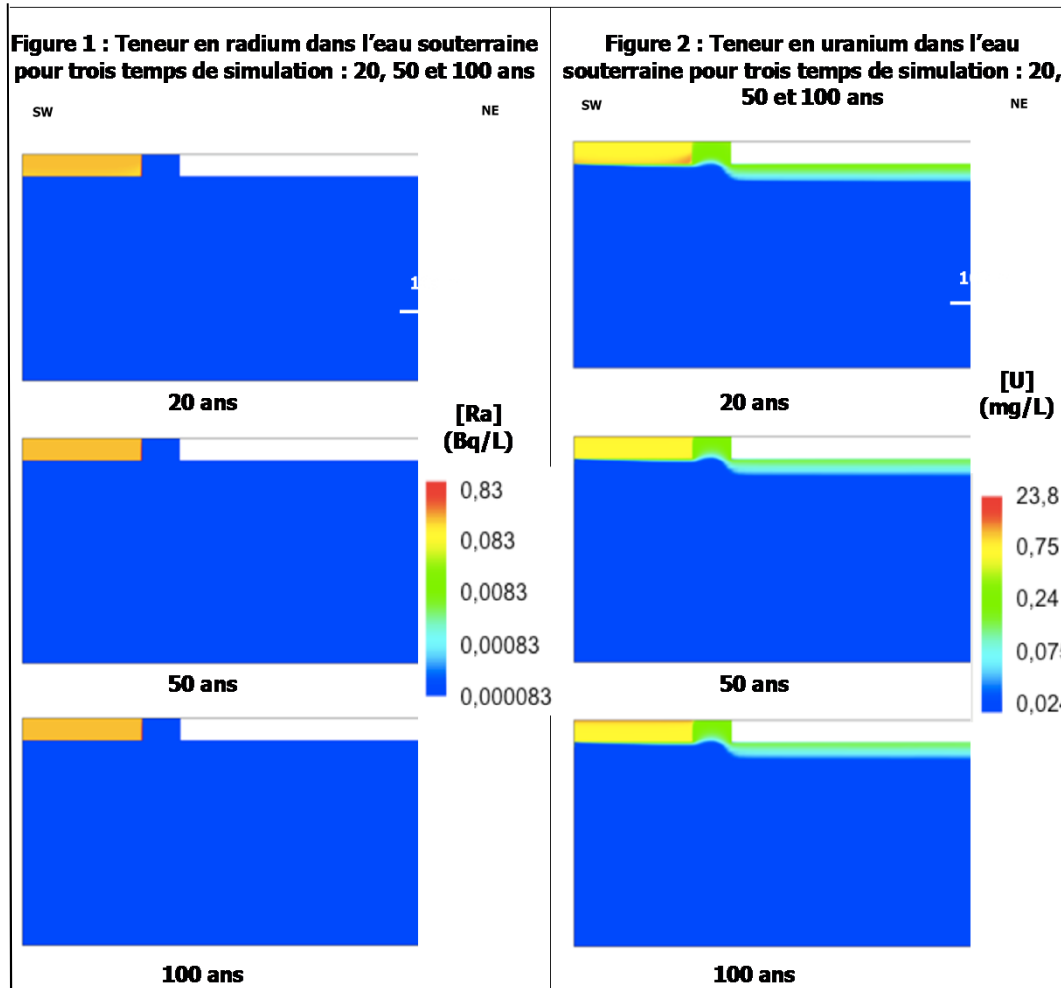


Niveaux piézométriques simulés à 10 ans et à 20 ans



# Modélisation géochimique

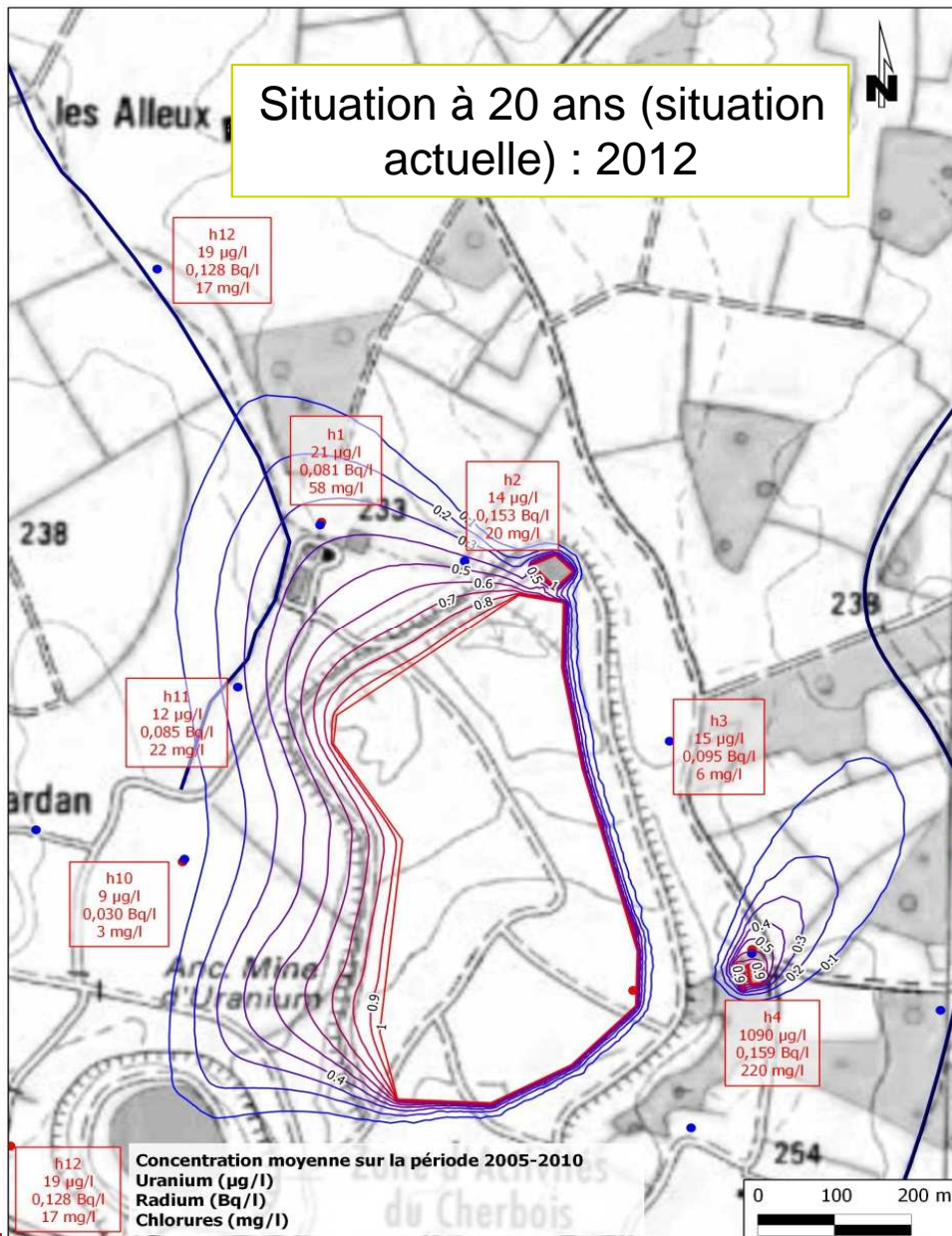
- Interaction des eaux (pluviales, porales, ..) avec les éléments « source » (résidus, boues de traitement, travaux miniers) en prenant en compte leur évolution géochimique



- La qualité des eaux souterraines n'est pas très affectée par la présence du Ra dans les eaux sous le stockage

- L'impact est un peu plus marqué pour l'U mais il reste très limité et du même ordre de grandeur que les références milieu naturel (< 20 µg/l confirmé par les mesures actuelles)

# Situation de référence : état actuel d'aménagement

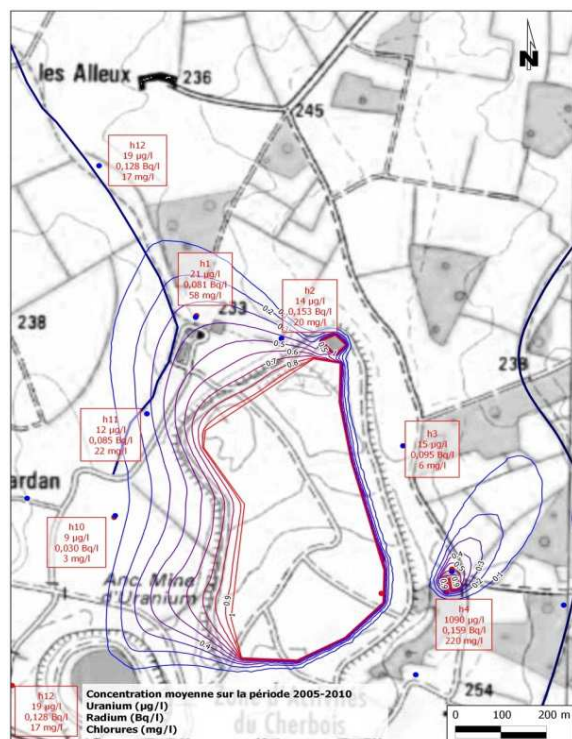


La situation à 0 an est celle de la constitution du stockage (1992)

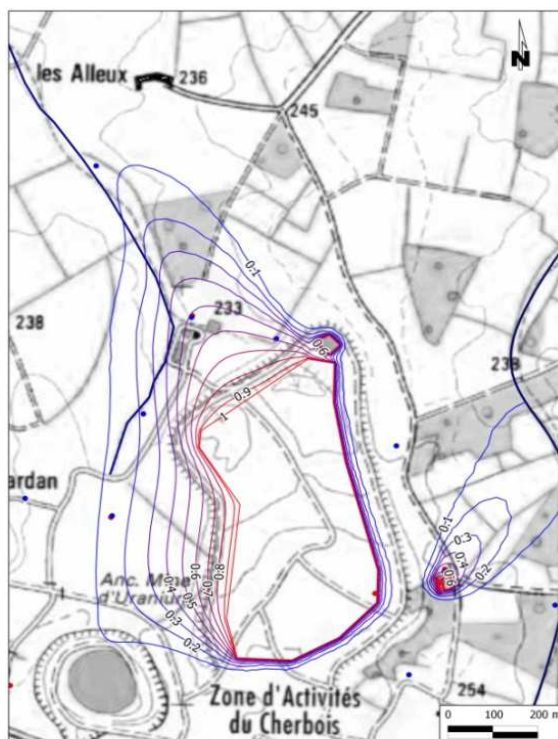
## ► Hypothèses et paramètres de calcul du transport de solutés

- ◆ Soluté conservatif : traceur parfait (non réactif : pas de dégradation, ni fixation ni adsorption) → hypothèse sécuritaire
- ◆ Dilution par dispersion et diffusion
- ◆ Valeurs de concentration exprimées de manière relative comprises en 0 et 1

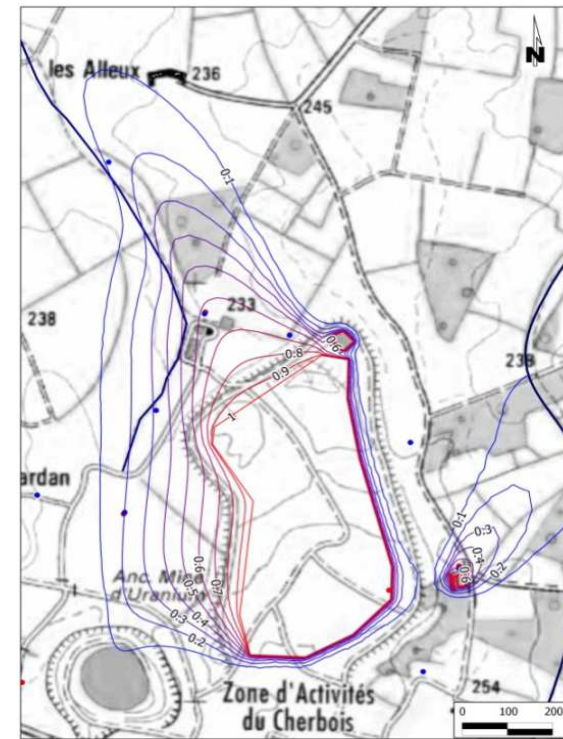
# Situation de référence : état actuel d'aménagement



Situation à 20 ans : 2012



Situation à 40 ans : 2032

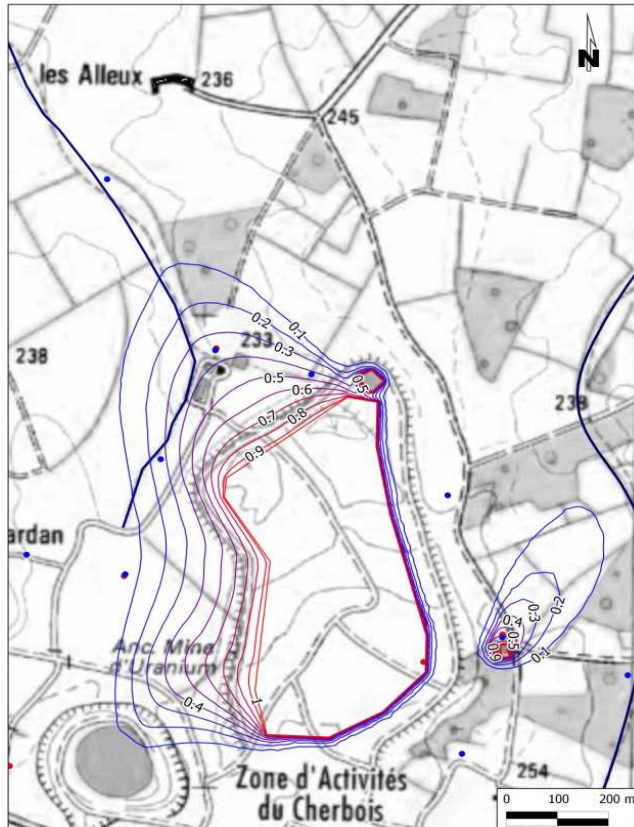


Situation à 100 ans : 2092

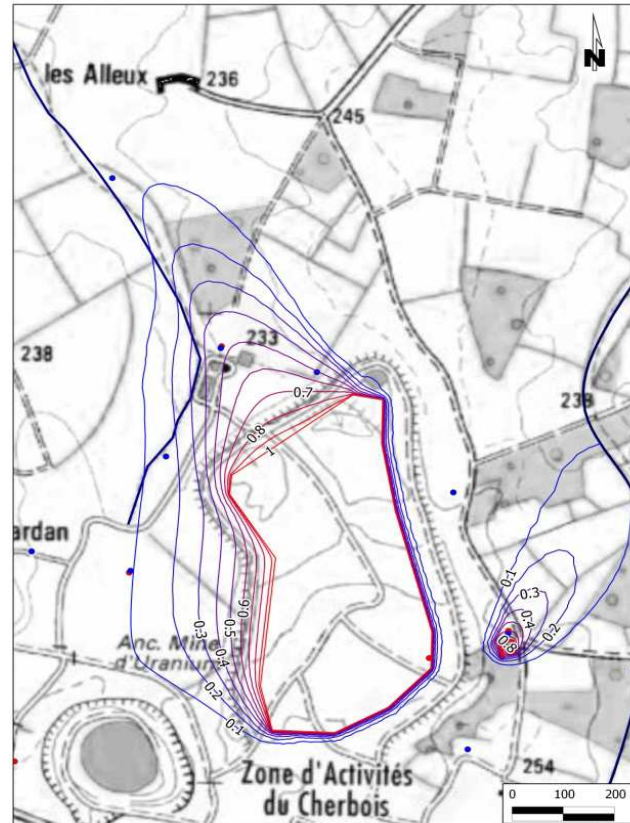
- Flux massiques drainés en aval du stockage à 100 ans (2092), en pourcentage du flux total infiltré au droit du stockage :

Rigeallet : 55 %   Riaubrigand : 7 %   MCO : 2 %

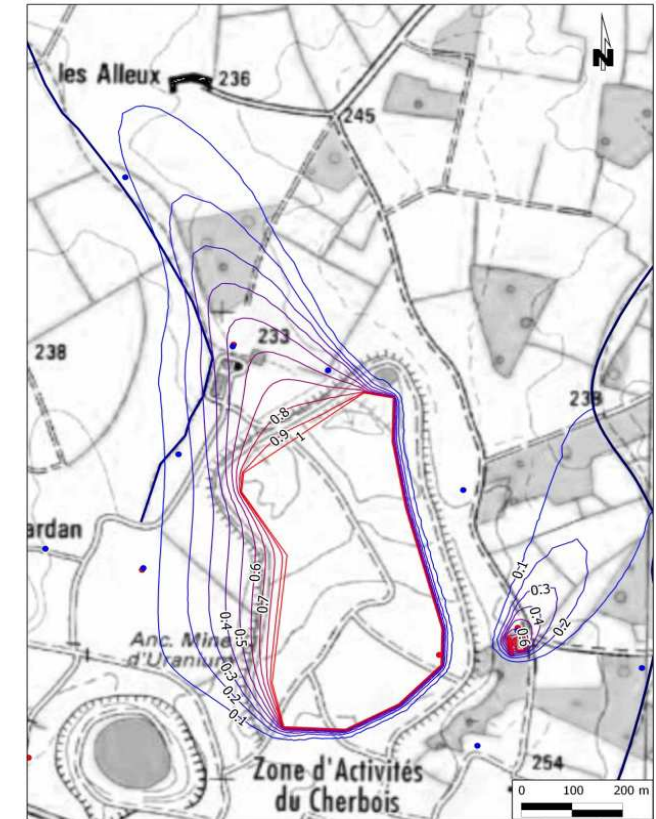
# Solution globale n°1 – mise en place d'une couverture totale imperméable



Situation à 20 ans  
(situation actuelle) :  
2012



Situation à 40 ans :  
2032

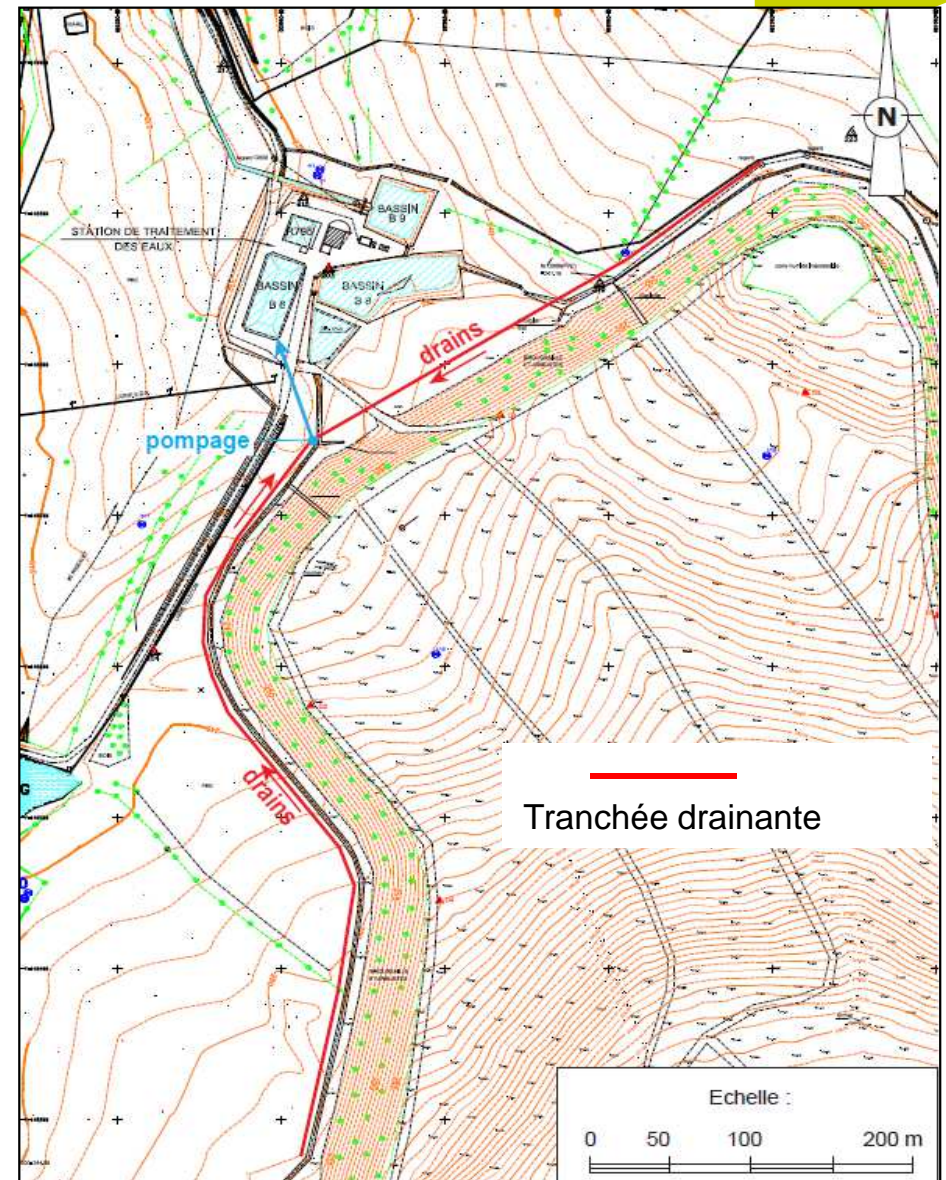


Situation à 100 ans :  
2092

# Solution globale n°2: réalisation d'une tranchée drainante et pompage

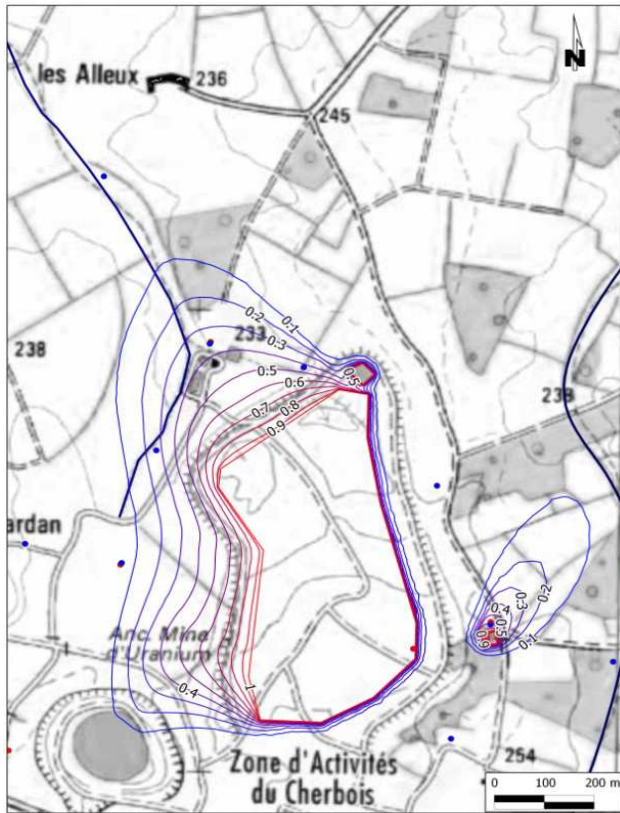
## ► Caractéristique des travaux :

- ◆ tranchée drainante sur 860 ml, un drain DN 200 mm PEHD avec rabattement de la nappe
- ◆ mise en place d'un poste de relevage de 50 m<sup>3</sup>/h
- ◆ canalisation de refoulement vers station

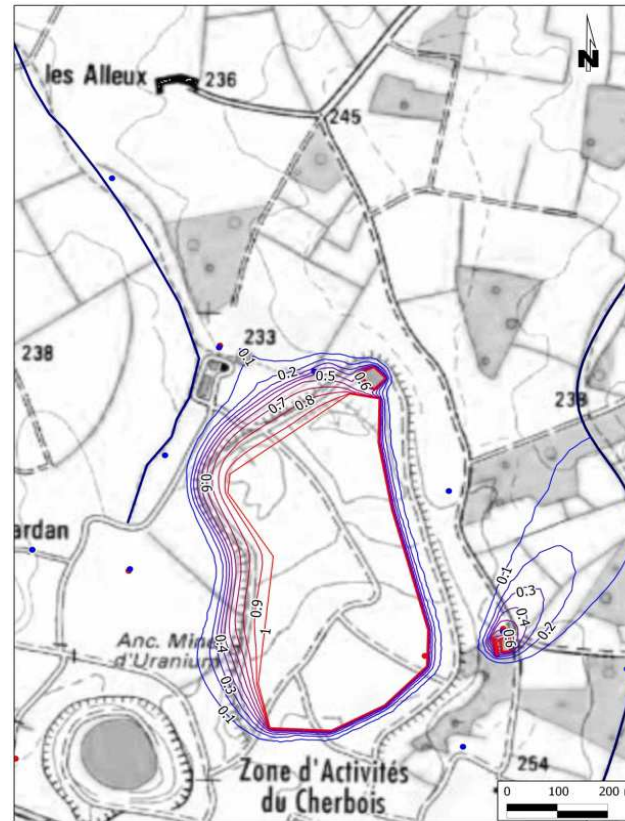




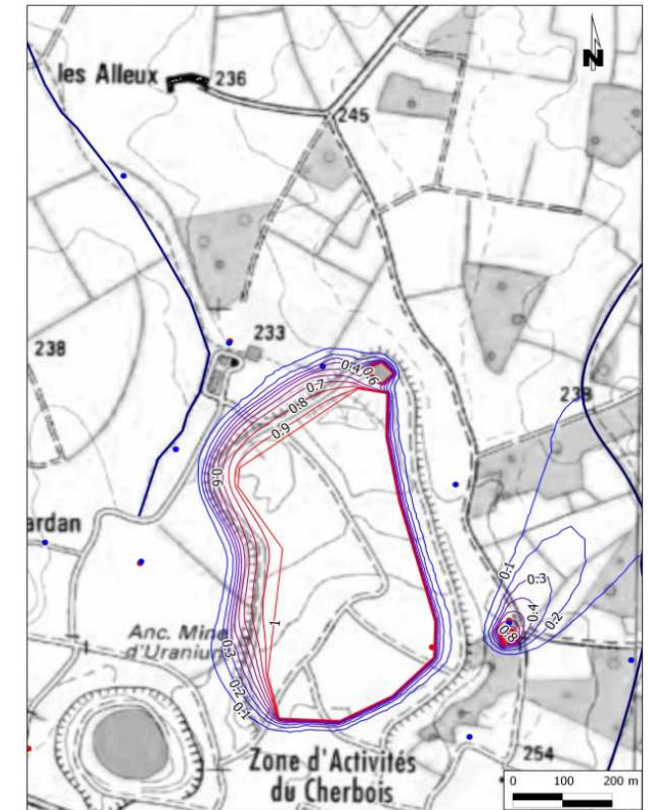
# Solution globale n°2 – Tranchée drainante



Situation à 20 ans  
(situation actuelle) :  
2012



Situation à 40 ans :  
2032



Situation à 100 ans :  
2092

# Conclusions générales de l'étude (1/2)

- ▶ Le panache reste à proximité du stockage et son extension est limitée en raison d'une dilution dans la nappe
- ▶ Les valeurs mesurées en U et Ra dans les piézomètres en aval du site sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans les eaux souterraines du milieu naturel
- ▶ Le comportement géochimique des résidus reste stable (terme source à de faibles quantités)
- ▶ Étant donné la dynamique de la nappe, avec une couverture sur le stockage, le processus d'épuration sera très long.

# Conclusions générales de l'étude (2/2)



- ▶ La mise en place d'une couverture imperméable pourra entraîner, à long terme, une diminution des débits mais n'entraîne pas d'amélioration significative par rapport à la situation actuelle
- ▶ La réalisation d'une tranchée drainante est plus efficace pour limiter, si nécessaire, le panache. Elle entraîne une augmentation significative des flux collectés et une importante dilution
- ▶ Le remplissage de la MCO sera atteint dans environ 15 ans.
- ▶ Une partie de l'eau infiltrée sous les résidus s'écoule vers la MCO

# Tierce expertise BRGM

- ▶ Tiers expert proposé par l'exploitant et soumis à l'approbation de la DREAL → choix du BRGM validé par DREAL
- ▶ Cahier des charges établi par la DREAL
- ▶ Réunion de cadrage et lancement (14 novembre 2014)
- ▶ Transmission du rapport d'étape du BRGM et remarques (19 décembre 2014)
- ▶ Réponses du pétitionnaire (7 avril 2015)
- ▶ Réception du rapport final (provisoire) (23 avril 2015)
- ▶ Attente du rapport final validé (en cours de processus qualité au BRGM)

# Avis du tiers expert (après réponses du pétitionnaire)

## ► Fonctionnement hydrogéologique du site

### ◆ Réponses partiellement satisfaisantes:

- Existence de deux nappes distinctes au droit du site (dans les arènes, les granites fissurés et les granites sains)?
- Non pris en compte d'évènement exceptionnels (assèchement des arènes, évolution piézométrique régionale entraînant une remontée possible de la nappe dans les résidus)
  - Pour y répondre: Enregistrement en continu des niveaux piézométriques sur plusieurs années, création de plusieurs piézomètres au droit du stockage pour capter distinctement les eaux des résidus , les arènes, les granites fissurés et les granites sains fracturés et suivi de la qualité de ces eaux

## ► Modélisation hydrogéo-chimique

### ◆ Réponses pertinentes et complètes:

- Mais reposent sur les hypothèses du modèle hydrogéologique (cf. remarques ci-dessus)

## ► Confinement des résidus

### ◆ Réponses globalement insatisfaisantes (couverture) et satisfaisantes (tranchée drainante):

- Absence de proposition d'une couche de drainage dans la structure du dispositif de confinement
  - Pour y répondre: APD après APS (si confinement nécessaire)
- La tranchée drainante, compte tenu du contexte hydrogéologique du site, semble le dispositif le plus approprié pour confiner le stock de résidus (mais débit important et effet de dilution)