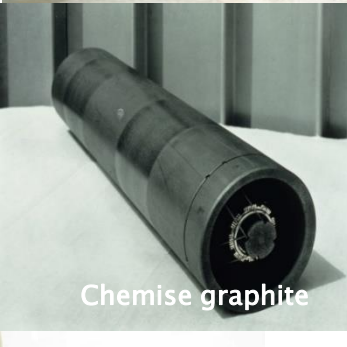




Déchets d'assainissement  
entreposés au Cires



Chemise graphite



Déchets entreposés à Jarrige  
(Framatome)



Brique de graphite  
(empilement)



Fûts d'enrobés bitumineux  
(CEA Marcoule)

DISEF/DIR/19-0017 B

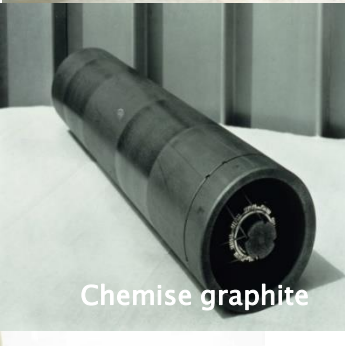
# Gestion des déchets FA-VL

Andra - Direction sûreté, environnement  
et stratégie filières

GT PNGMDR - 11 février 2019



Déchets d'assainissement  
entreposés au Cires



Chemise graphite



Déchets entreposés à Jarrige  
(Framatome)



Brique de graphite  
(empilement)



Fûts d'enrobés bitumineux  
(CEA Marcoule)

DISEF/DIR/19-0017 B

## Les enjeux aujourd'hui

Ce document est la propriété de l'Andra.  
Il ne peut être reproduit ou communiqué sans son autorisation expresse et préalable.

# Les questions ouvertes suite au rapport d'étape 2015

Le rapport d'étape 2015 : d'un concept vers un projet de stockage sur un site précis

- Un inventaire de déchets FA-VL donné ;
  - Le site de la Communauté de communes de Vendevre-Soulaines possède des caractéristiques favorables.
- Le site investigué soulève des interrogations sur sa capacité à gérer l'ensemble des déchets FA-VL compte tenu de ses caractéristiques géologiques et hydrogéologiques et de l'élargissement du spectre des déchets à considérer.
- Des incertitudes sur les attentes en matière de protection à long terme.
- Elargir les scénarios de gestion à étudier ?

# Des volumes de déchets en évolution, Un étalement des besoins en stockage

Déchets radifères FA-VL 60 100 m<sup>3</sup>

Capacité CSA : 1 000 000 m<sup>3</sup>

Divers déchets NORM (RNR) 7 000 m<sup>3</sup>

Inventaire MA-VL (Cigéo) : ~ 75 000 m<sup>3</sup>

Sources et objets 2 000 m<sup>3</sup>

Solvay s'interroge sur la reclassification des RSB en déchets TFA

Déchets techno. FA-VL La Hague 1 600 m<sup>3</sup>

Bitumes FA-VL 41 950 m<sup>3</sup>

Le CEA s'interroge sur la répartition des bitumes FA-VL vs MA-VL.

Déchets à produire à Malvési 55 000 m<sup>3</sup>

Déchets UNGG de La Hague 5 000 m<sup>3</sup>

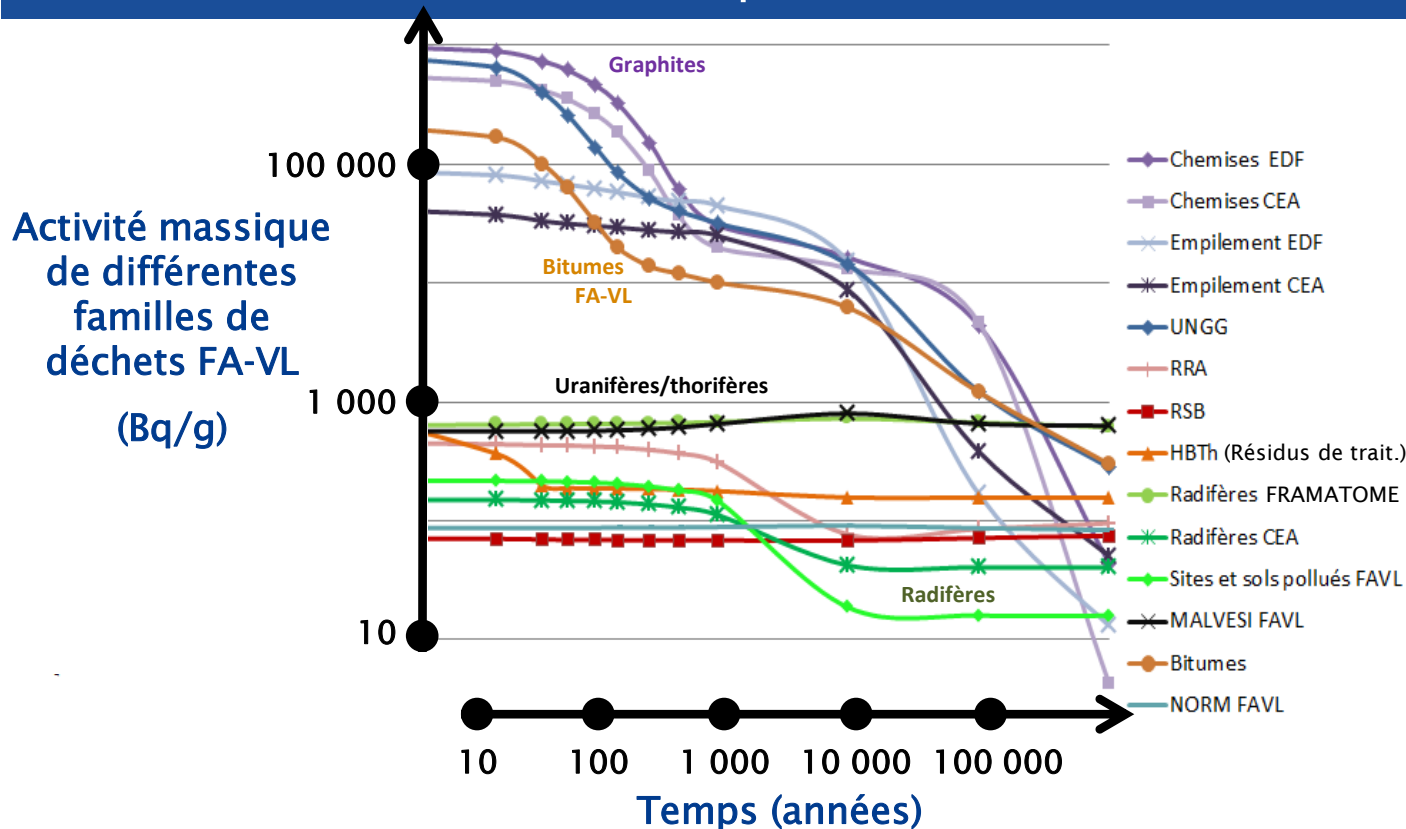
Empilements graphites 66 100 m<sup>3</sup>

Chemises graphites 9 500 m<sup>3</sup>

EDF et le CEA recalent leurs besoins en stockage des déchets de graphite à l'horizon 2070.

Total FA-VL ~ 250 000 m<sup>3</sup>

# Une dangerosité faible, Des évolutions temporelles diverses



➤ Des caractéristiques à rapprocher d'autres substances considérées par ailleurs (matières...)

➤ Requestionner l'idée de départ d'un concept de stockage commun (incluant types de site et d'ouvrages) ?

# Développements récents de l'Andra

- 1- Formalisation des enjeux de sûreté liés au stockage à faible profondeur, en contribution aux travaux en cours de révision des orientations de sûreté pilotés par l'ASN ;
- 2- Poursuite des travaux de reconnaissance sur la CC de Vendeuvre-Soulaines ;
- 3- Analyse des techniques de réalisation associées à la faible profondeur :
  - Dépasser le débat historique SCR / SCI,
  - Retour d'expérience de travaux de génie civil comparables,
  - Identification des meilleures technologies disponibles pour la faible profondeur,
    - Expertise externe.
- 4- Etude d'une logique de développement incrémental du stockage.

## L'association « déchets « FA-VL » - « faible profondeur » traduit l'exigence de proportionnalité du PNGMDR.

Une définition par défaut des déchets FAVL :

- a priori ne justifient pas un stockage en formation géologique profonde,
- mais n'ont pas d'exutoire à l'heure actuelle.

Comment définir la faible profondeur ?

- procure une protection adaptée,
- autorise une mise en œuvre significativement plus simple et moins coûteuse qu'un stockage en formation géologique profonde.

**PNGMDR 2016-2018**

	Déchets dits à vie très courte contenant des radioéléments de période < 100 jours	Déchets dits à vie courte dont la radioactivité provient principalement de radionucléides de période ≤ 31 ans	Déchets dits à vie longue qui contiennent une quantité importante de radionucléides de période > 31 ans <sup>10</sup>
~Centaines ~Millions ~Milliards (Bq/g)	Très faible activité (TFA)	Gestion par décroissance radioactive	Recyclage ou stockage dédié en surface
	<b>Faible activité (FA)</b>		Stockage en faible profondeur Filière en projet dans le cadre de l'article 4 de la loi du 28 juin 2006
	Moyenne activité (MA)		Stockage de surface sauf certains déchets traités et certaines sources scellées Stockage en couche géologique profonde
	Haute activité (HA)	Non applicable <sup>11</sup>	Filière en projet dans le cadre de l'article 3 de la loi du 28 juin 2006

*Principes de classification des déchets radioactifs*

# Rappel des fonctions de sûreté après-fermeture (rapport d'étape 2015)

- ✓ Empêcher leur mise en solution (faible taux de relâchement)
- ✓ Favoriser leur précipitation (rétention dans les matériaux cimentaires)
- ✓ Favoriser des formes chimiques peu mobiles (insolubilisation)

- ✓ Epaisseur, perméabilité au gaz et taux de saturation de la couverture
- ✓ Maîtrise du dégazage par les déchets

- Confiner les radionucléides et toxiques chimiques susceptibles de migrer sous forme de solutés

- Limiter la circulation de l'eau
- Limiter le relâchement plus près des déchets
- Retarder et atténuer la migration des solutés relâchés hors des alvéoles de stockage

- ✓ Faible perméabilité
- ✓ Faible gradient hydraulique

- ✓ Rétention chimique dans l'argile
- ✓ Environnement chimique favorable
- ✓ Epaisseur des gardes

- Limiter l'exhalaison de gaz radioactif à la surface du sol

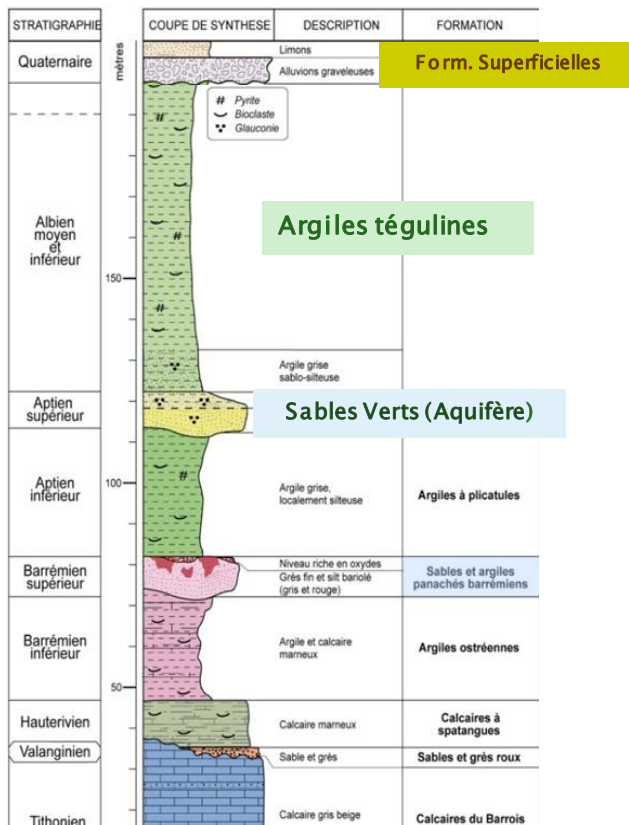
- Isoler les déchets de l'homme et de la biosphère au regard des phénomènes d'érosion et d'activités humaines banales

- ✓ Profondeur d'implantation
- ✓ Choix d'implantation



## Comment traiter les enjeux spécifiques des déchets FA-VL dans l'approche de sûreté ?

- Quel équilibre entre l'isolement et le confinement ?
    - Dans la définition de la profondeur : sensibilité différente selon les déchets à l'intrusion ou à la mobilité des radionucléides
    - Articuler le confinement et la maîtrise de l'exutoire ?
  - Quel rôle faire jouer aux scénarios d'intrusion ? Comment les définir ?
  - Quelles exigences sur la préservation des ressources naturelles ?
- => Remettre le débat sur les objectifs avant le débat sur les moyens,
- Définir les modalités d'une approche de sûreté graduée.

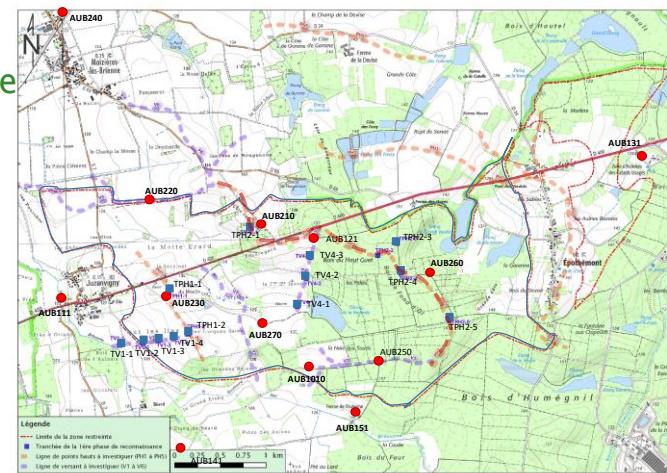


# Poursuite des travaux de reconnaissance sur la CC de Vendœuvre-Soulaines

# Investigations géologiques

2016 - 2018 : focalisation sur une zone de 10 km<sup>2</sup> au nord du secteur

- Campagne de forages (7 forages carottés à des profondeurs < 100 m)
  - Confirmer de la géométrie des formations géologiques
  - Consolider les propriétés (physico-chimiques et hydromécaniques)
- Campagne géophysique de surface
  - Confirmer l'absence d'hétérogénéité structurale
- Investigations en surface
  - Pédologie (carte des sols)
  - Campagne de tranchées
    - Nature des formations superficielles
    - Recherche des processus d'évolution géomorphologiques (érosion, dépôts, mouvement de terrain...)
    - Recherche des nappes perchées
    - Caractérisation de l'altération de surface



# Résultats des investigations géologiques : structure et distribution spatiale

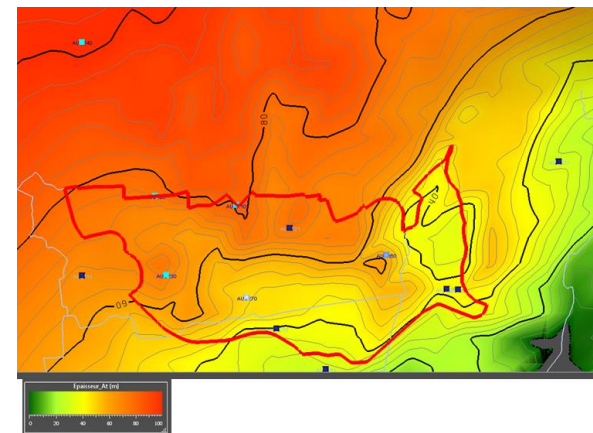
Très bonne identification des limites de formations en forage et corrélation des nouveaux forages

## ○ Argiles tégulines

- Pente de 1 à 2° vers le NO
- Epaisseur comprise entre 20 et 80m (formations superficielles incluses)
- Absence d'hétérogénéité de faciès
- Formations superficielles indifférenciées (épaisseur de 1 à 10 m)
- Pas d'éléments structuraux majeurs (aucune faille majeure)

## ○ Sables verts

- Epaisseur entre 6 à 10 m
- Pas de tendance d'évolution sur le secteur d'étude
- Absence probable de connectivité des faciès sableux aquifère vers le centre du Bassin Parisien



# Résultats des investigations géologiques : géomorphologie du site

## Une topographie et un relief peu contrastés

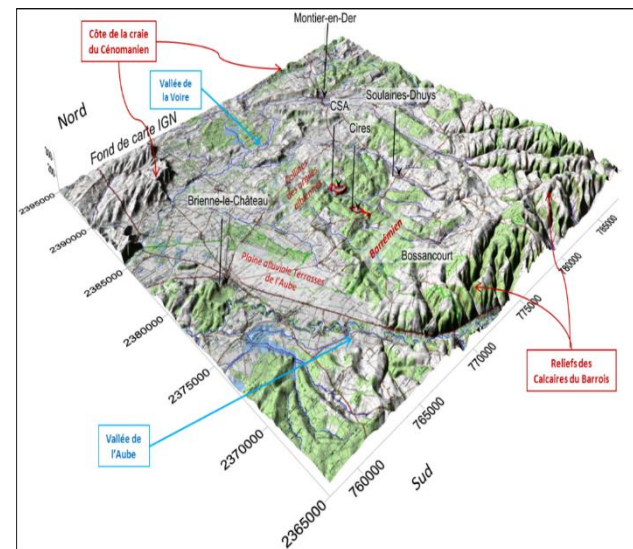
- Altitude moyenne entre 120 et 170 m d'altitude, dénivelés < 30 m
- Morphologie contrôlée par les marnes, argiles et sables du Crétacé inférieur formant une vaste dépression
- Relief de collines basses et de vallées évasées par les cours d'eaux
- Drainage par 5 cours d'eau

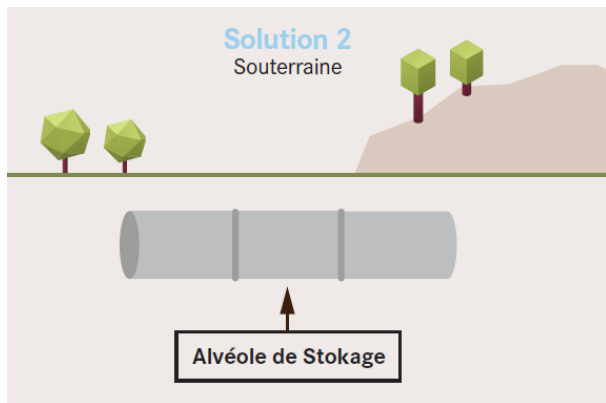
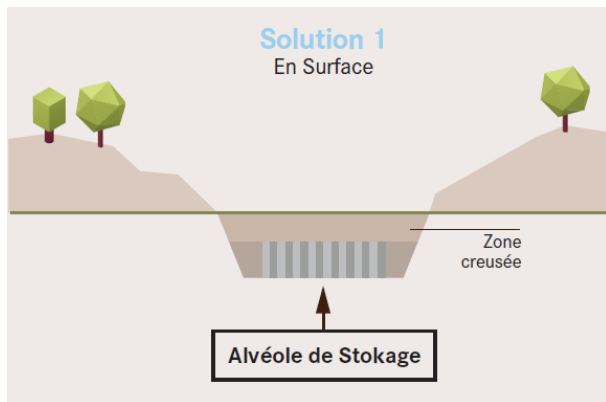
Des contrastes topographique et morphologique marqués avec les bordures (plateaux et plaines d'épandages alluviaux)

Des progrès dans la connaissance de l'évolution géomorphologique (érosion), mais des incertitudes croissantes à partir de la dizaine de milliers d'années

- une approche qualitative fondée sur un modèle conceptuel simple et les données d'érosion/ablation de la littérature, mais pas de modèle numérique « absolu »

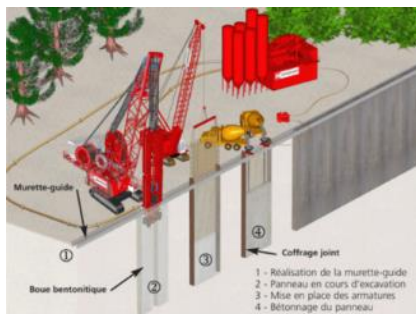
⇒ Vision qualitative de la répartition spatiale de l'aléa érosif à un instant t





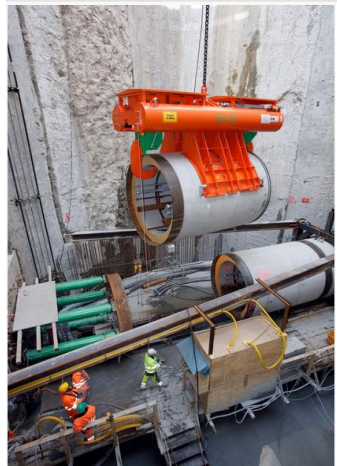
# Analyse des techniques constructives

# Analyse des techniques constructives

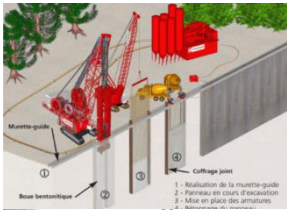


L'Andra a fait appel à des experts en terrassement et travaux souterrains pour :

- Réaliser un retour d'expérience sur des ouvrages réalisés à faible profondeur dans des formations argileuses,
- Identifier les meilleures techniques disponibles (MTD) et les gammes de profondeur associées,
  - Limitant les perturbations du milieu géologique,
  - Compatibles avec une stabilité hydromécanique d'ensemble,
  - Satisfaisant les conditions de sécurité.



# Retour d'expérience de terrassements à ciel ouvert et de couvertures en argiles remaniées



- Comblement de carrières en fin d'exploitation
- Ouvrages en terre des infrastructures linéaires
- Noyaux de barrages en terre
- Barrières passives des centres de stockages de déchets managers et industriels
- Couverture de la tranche 2 du Cires
- Construction de réservoir de stockage d'eaux pluviales en paroi moulée



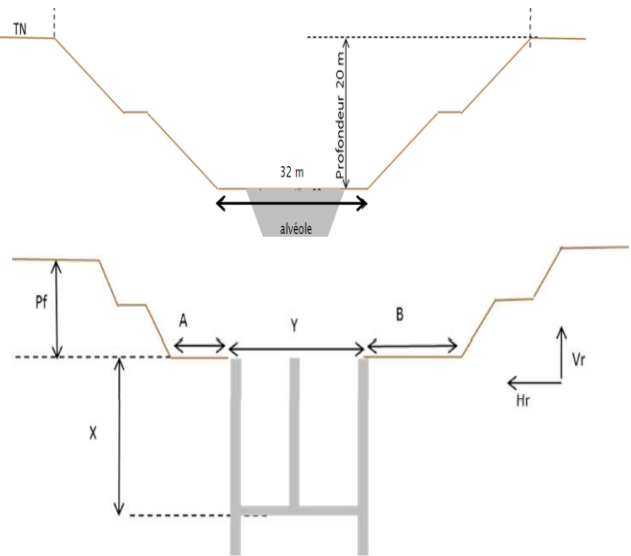
# Ouvrages de stockage à ciel ouvert

Il n'existe pas de limite technique à la réalisation d'une couverture remaniée de forte épaisseur

- Le respect d'une procédure rigoureuse de mise en œuvre permet de garantir une perméabilité en grand faible

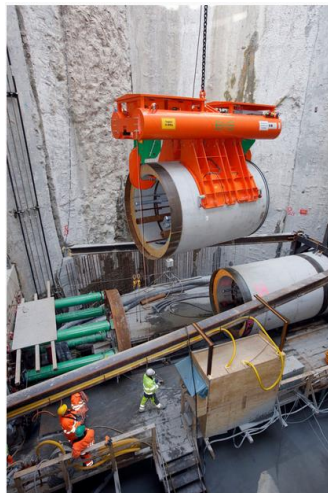
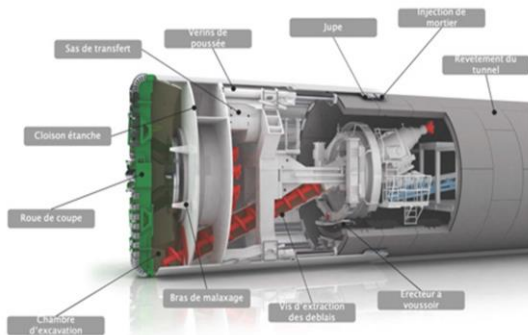
Mais...

- Sensibilité aux effets de bord : interfaces argile naturelle en place - argile remaniée
- Les conditions de gestion des eaux peuvent limiter fortement la profondeur
  - La profondeur et la surface de la fouille dépendront du contexte géologique, géotechnique et hydrogéologique, et le risque inondation pour la plateforme hôte des alvéoles de stockage de déchets.
  - Les conditions d'exploitation peuvent inciter à protéger des intempéries au niveau de chaque alvéole ou au niveau de la fouille grande masse



DISEF/DIR/19-0017 B

# Retour d'expérience de réalisation d'ouvrages souterrains



- Métro de Lille et galerie hydraulique de Dunkerque (Argile de Flandre)
- Crossrail (Argile de Londres)
- Grand Paris Express (Argile Plastique)
- Collecteurs d'assainissement
- Tunnel à Clichy



# Ouvrages de stockage en souterrain

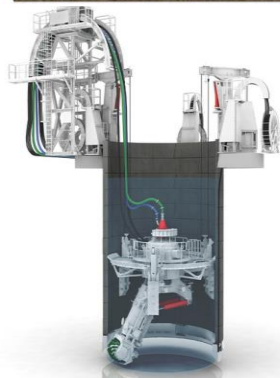
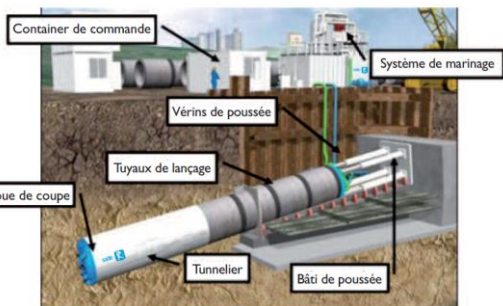
## Méthode conventionnelle (machine à attaque ponctuelle - MAP)

- Non adaptée à faible profondeur car présente un risque d'instabilité locale du front et de déconfinement de la couverture d'argile

## Méthode mécanisée

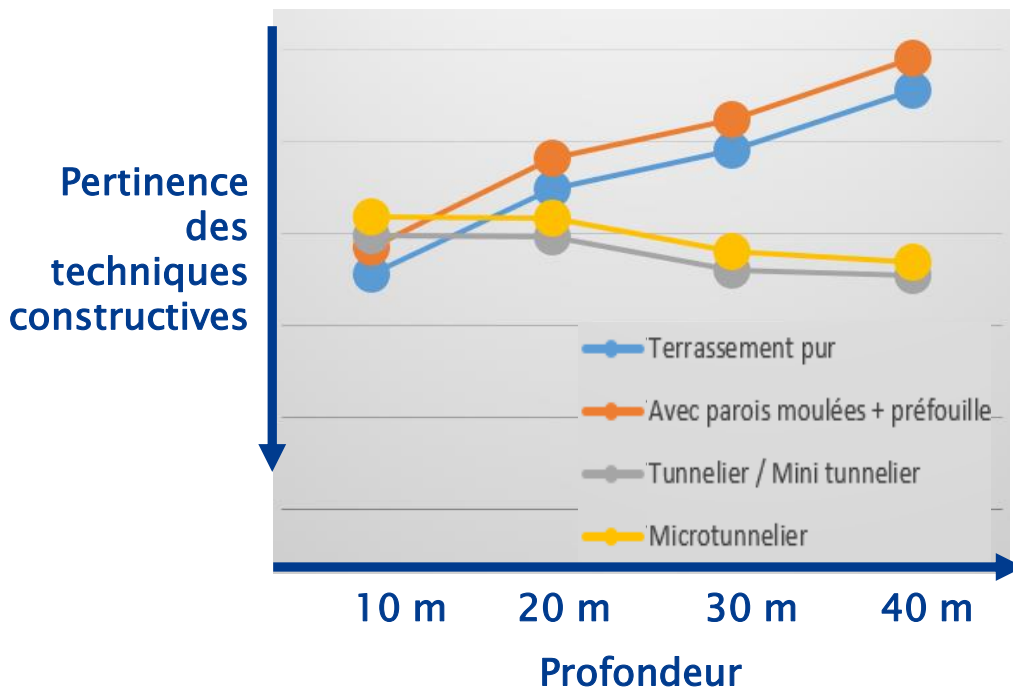
- Tunnelier à confinement à pression de terre plutôt adapté (très faibles tassements en surface, très peu d'évolution à long terme des ouvrages réalisés depuis plusieurs décennies)
- Techniques de fonçage horizontal (micro-tunnelier) prometteuses
- Eviter les galeries d'accès, carrures, descenderies

➤ Privilégier un accès aux alvéoles de stockage directement à partir d'ouvrages à ciel ouvert : puits, tranchées, talus...et lancer les tunneliers/micro-tunneliers directement depuis ces ouvrages



Tunnelier vertical pour creusement de puits d'accès

# Une analyse multicritère entre techniques constructives a été effectuée



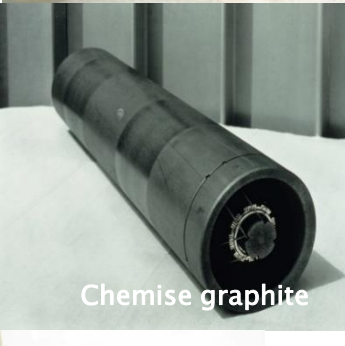
Une cinquantaine de critères pris en compte, liés à :

- Implantation
- Adaptabilité aux caractéristiques du site
- Performances des installations
- Développement durable
- Robustesse par rapport aux risques et aux aléas
- Coût

- Les techniques à ciel ouvert peuvent présenter globalement un intérêt pour une profondeur de 10 à 15 m, jusqu'à 20 m.
- Les techniques souterraines sont disponibles à partir de -10 m et s'avèrent de plus en plus pertinentes avec la profondeur (typiquement jusqu'à 50 m - 80 m en fonction des conditions géotechniques)

# Un optimum à rechercher entre technique constructive, caractéristiques des déchets et contraintes liées au site

- Epaisseurs de garde inférieure et supérieure
  - Confinement des radionucléides solubles
  - Limitation de l'exhalaison de radionucléides gazeux
- Environnement chimique du stockage
- Sensibilité aux évolutions géodynamiques externes et notamment à l'érosion
- Isolement vis-à-vis des activités humaines banales



DISEF/DIR/19-0017 B

# Logique de développement incrémental

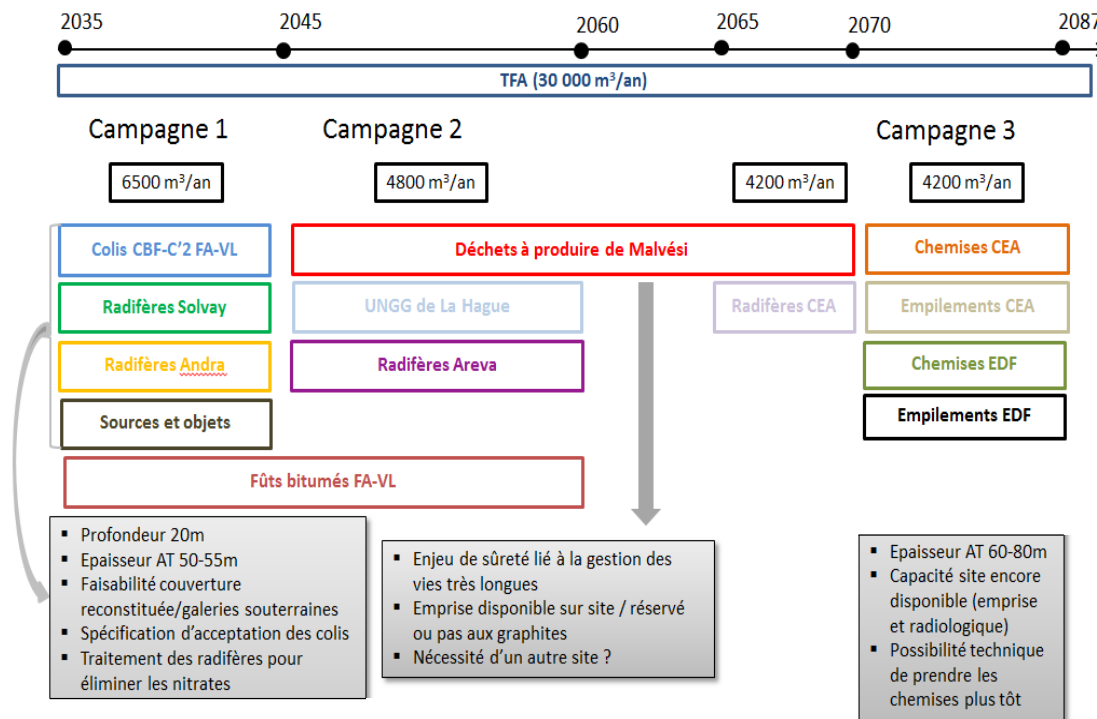
Ce document est la propriété de l'Andra.  
Il ne peut être reproduit ou communiqué sans son autorisation expresse et préalable.

## Le principe d'un développement incrémental à faible profondeur

- Organiser les décisions de stockage progressivement au fur et à mesure des besoins, éclairées par l'avancée des connaissances
- Articuler les possibilités technologiques, la configuration du site et la temporalité de façon à ce que l'agencement des ouvrages de stockage exploite au mieux le potentiel du site et optimise le confinement des déchets.
  - Certains déchets ne nécessitent a priori pas une forte épaisseur d'argile et présentent moins de risque technique vis-à-vis de la démonstration de sûreté à long terme
    - Déchets radifères, certains déchets de graphite...
  - D'autres peuvent nécessiter une plus grande épaisseur et davantage d'efforts pour la démonstration de sûreté
    - Déchets uranifères, autres déchets de graphite, déchets bitumés...

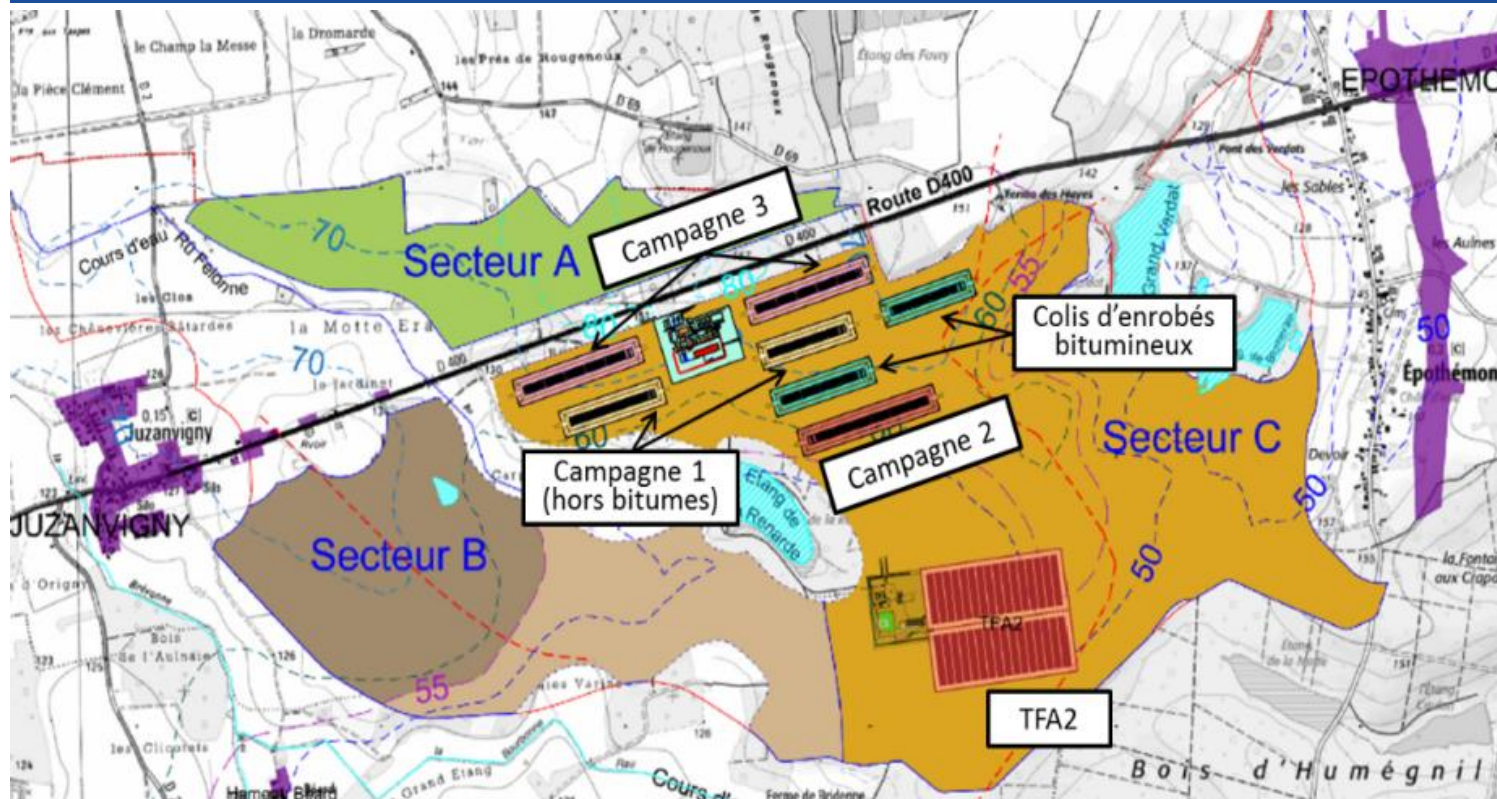
- Conception du centre de stockage en modules indépendants
- Mise en œuvre par campagnes

# Exemple illustratif de campagnes successives de stockage

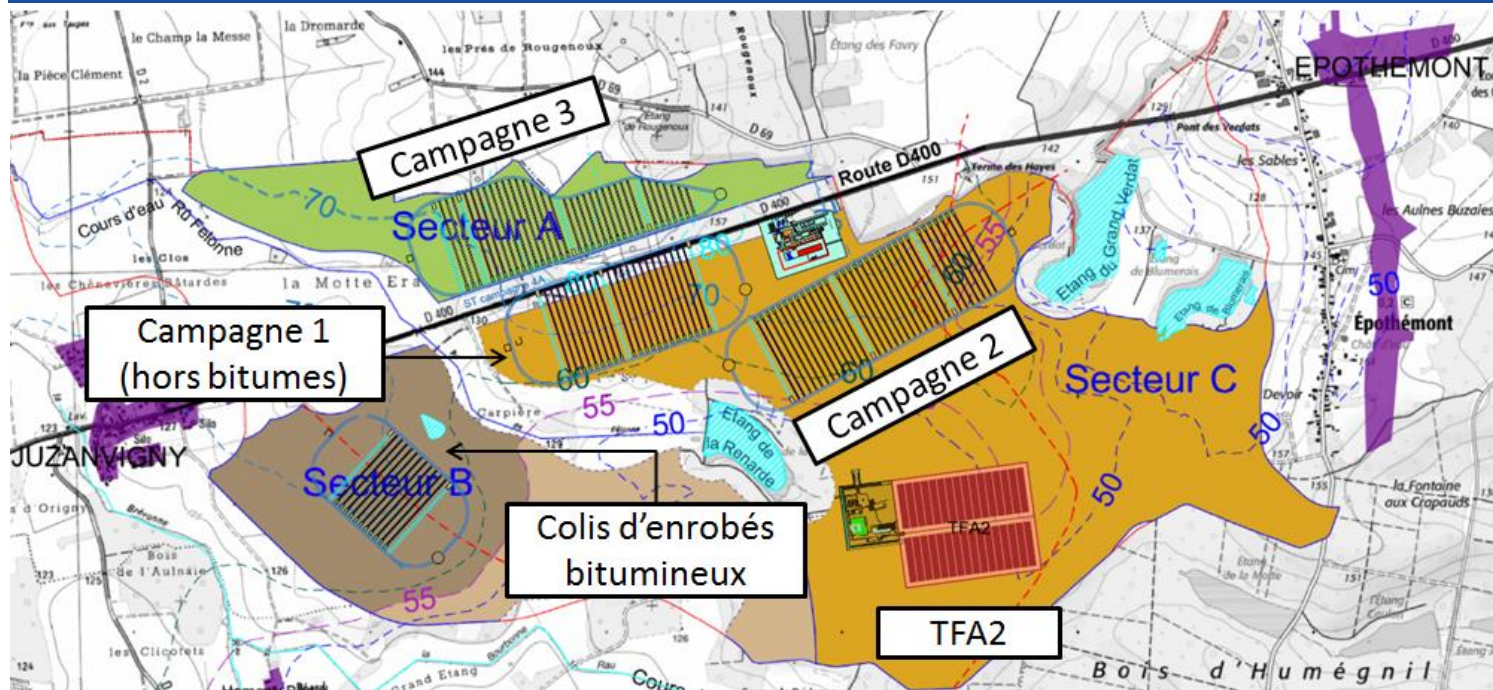




# Exemple d'implantation avec réalisation des ouvrages à ciel ouvert sur le site investigué



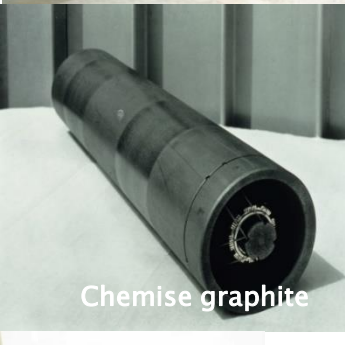
# Exemple d'implantation avec réalisation des ouvrages en souterrain sur le site investigué



L'indépendance des modules permet une combinatoire des techniques constructives.



Déchets d'assainissement  
entreposés au Cires



Chemise graphite



Déchets entreposés à Jarric  
(Framatome)



Brique de graphite  
(empilement)



Fûts d'enrobés bitumineux  
(CEA Marcoule)

DISEF/DIR/19-0017 B

## Prochaines étapes

Ce document est la propriété de l'Andra.  
Il ne peut être reproduit ou communiqué sans son autorisation expresse et préalable.

## Remettre en perspective les études récentes dans un panel de scénarios de gestion cohérent

Le site investigué et le concept associé pourront s'inscrire dans le dispositif global de gestion des déchets FA-VL et substances apparentées.

En effet, le site investigué dans l'Aube présente des forces :

- qualité de la formation géologique,
- capacité technique à y construire des ouvrages à faible profondeur, ...

et des limites :

- Certaines limites sont propres au site : volume d'argile disponible.
- D'autres limites sont inhérentes au concept : robustesse du confinement aux grandes échelles de temps.

Il serait vain de relancer une recherche d'un nouveau site qui répondrait aux mêmes types de critères et dont on attendrait des avantages marquants par rapport au site investigué.

## Remettre en perspective les études récentes dans un panel de scénarios de gestion cohérent

- Reprendre un travail d'analyse de scénarios de gestion

Déterminer les concepts qui devraient venir en complément pour gérer au final l'ensemble des déchets FA-VL et substances apparentées.

A des concepts de stockage complémentaires pourront alors correspondre des types de sites complémentaires.

- Le travail à venir permettra d'éclairer la pertinence et les modalités d'une recherche de site complémentaire.

Ces modalités devront prendre en compte aussi bien des questions techniques que des enjeux d'insertion territoriale.

# Stabiliser les critères et méthodologies d'évaluation des scénarios et outils de gestion

- Progresser sur les attendus en matière de sûreté (Cf. travaux en cours de l'ASN)
  - Préférence donnée aux générations actuelles vs futures ?
  - Gestion des incertitudes croissantes sur le long terme,
  - ...
  
- Elargir le spectre des critères environnementaux en support à la décision :
  - Usages de l'espace,
  - Bien commun,
  - Services écosystémiques,
  - ...

# Les attendus du PNGMDR

## Rapport sur les exigences de sûreté d'un stockage à faible profondeur

- Formaliser les enjeux de sûreté
- Analyser comment des techniques de réalisation peuvent y répondre

## Schéma industriel de gestion des déchets FA-VL :

- Construire un panel de scénarios
- Evaluer ces scénarios au plan environnemental

2017

2018

2019