



Gestion des déchets radioactifs en France

Où en est-on ?

Congrès SFRP – 8 juin 2017

Les déchets radioactifs

Production annuelle et origine

□ ~30 000 m³ de déchets radioactifs sont produits en France chaque année



Industrie
non électronucléaire



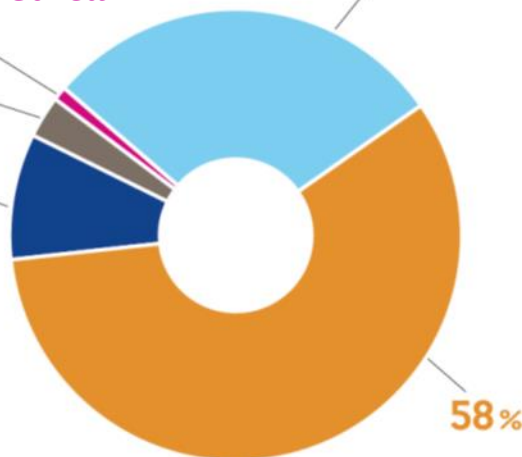
Médical

1%

3%

Défense

9%



Recherche
(yc CEA)



Electronucléaire



Pour mémoire :
Déchets d'activités économiques :
315 millions de tonnes par an
Déchets ménagers :
30 millions de tonnes par an



Principes de la gestion des déchets radioactifs

Matières ou déchets ?

- ◆ utilisation ultérieure prévue ou envisagée ⇒ **matières**
- ◆ aucune utilisation prévue ni envisagée ⇒ **déchets**

Les déchets radioactifs :

- ◆ ressemblent, pour la majorité d'entre eux, à des déchets classiques : outils, vêtements, ferrailles, plastiques...
- ◆ émettent des rayonnements pouvant présenter des risques pour l'homme et son environnement,
- ◆ doivent donc faire l'objet d'une gestion spécifique.

La gestion des déchets radioactifs doit :

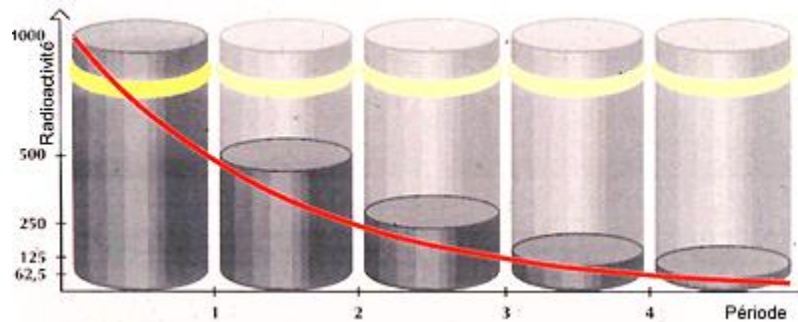
- ◆ chercher à réduire la quantité et la nocivité des déchets, notamment au travers de traitements,
- ◆ être assurée dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement,
- ◆ viser à prévenir ou limiter les charges qui seront supportées par les générations futures.



La gestion à long terme des déchets radioactifs

La solution de référence : le stockage

- En raison de la décroissance naturelle de la radioactivité, les déchets radioactifs ont la particularité de voir leur **dangerosité diminuer progressivement dans le temps**. En fonction des déchets, cette décroissance peut prendre de quelques jours à plusieurs centaines de milliers d'années.



- La solution pour protéger l'homme et l'environnement du danger que les déchets représentent est de les **isoler le temps nécessaire à cette décroissance radioactive**.
- C'est pourquoi en complément de l'entreposage, solution provisoire, la France, comme de nombreux autres pays, a fait le choix du **stockage** comme solution de gestion à long terme.

Le principe du stockage

Une combinaison de trois éléments adaptée au type de déchets

Le stockage permet d'isoler, durablement, les déchets de l'environnement et de l'homme, en retardant la migration des substances radioactives qu'ils contiennent.

1^{er} élément : le colis

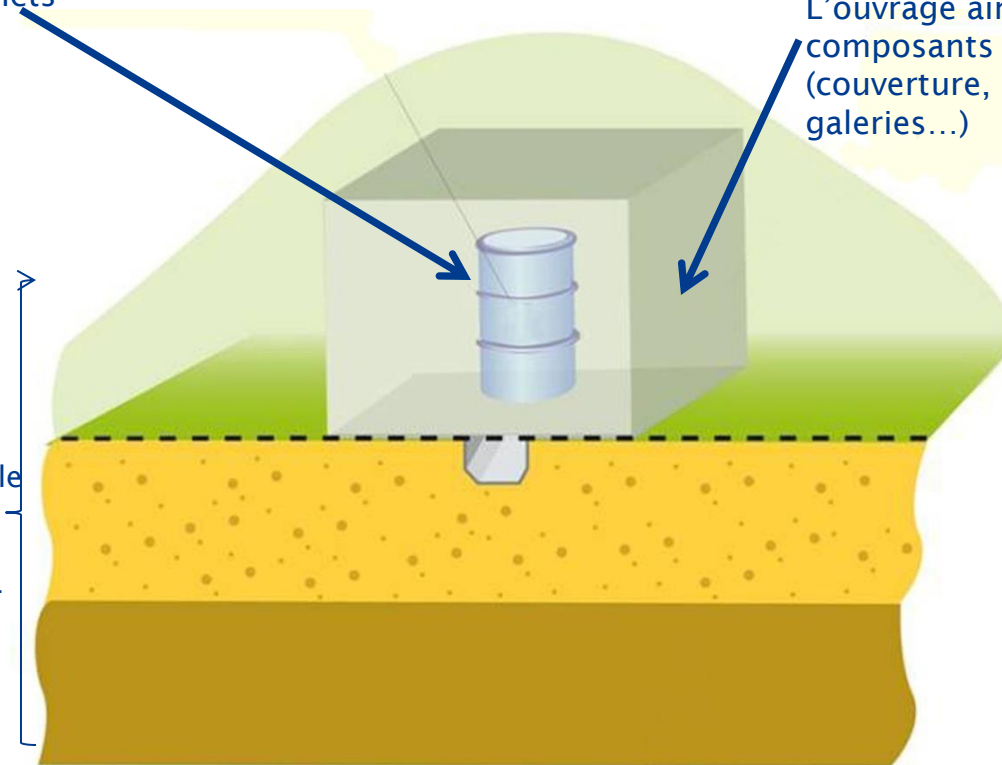
A l'intérieur duquel un matériau de confinement enrobe les déchets

2^{ème} élément : l'ouvrage de stockage

L'ouvrage ainsi que les composants annexes ouvrages (couverture, scellement de galeries...)

3^e élément : l'environnement géologique

Une couche d'argile imperméable est une barrière naturelle. Selon les besoins, elle est combinée à un système de drainage ou non. Pour les stockages souterrains, elle entoure complètement les ouvrages





Organisation de la gestion des déchets radioactifs

Un cadre réglementaire dédié, centré autour de la loi du 28 juin 2006, définit la politique d'ensemble :

- ◆ **vision stratégique : le plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) qui :**
 - énonce les principes et objectifs de la gestion des MDR et en assure la logique,
 - expose le bilan des filières de gestion existantes et en développement,
 - présente les actions à mettre en œuvre pour poursuivre dans la voie de l'amélioration de la gestion des matières et déchets radioactifs.

» Le PNGMDR est une démarche dont le bien-fondé a été souligné dans le cadre de la mise en œuvre de la directive européenne sur la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs
- ◆ **transparence et démocratie : Inventaire national, Haut Comité à la Transparence et à l'Information sur la Sécurité Nucléaire (HCTISN), PNGMDR, débat public,**
- ◆ **sécurisation du financement des charges nucléaires,**
- ◆ **un établissement public garant des opérations de gestion à long terme des déchets radioactifs, indépendant des producteurs de déchets, l'Andra.**

Trouver, mettre en œuvre et garantir des solutions de gestion sûres pour l'ensemble des déchets radioactifs français afin de **protéger les générations présentes et futures** du risque que ces déchets peuvent présenter.



- ◆ Concevoir, implanter, réaliser, exploiter et surveiller les centres de stockage de déchets radioactifs
- ◆ Collecter les déchets des « petits producteurs non électronucléaires » et les objets radioactifs détenus par les particuliers
- ◆ Assainir d'anciens sites pollués par la radioactivité
- ◆ Etablir et publier l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs
- ◆ Informer tous les publics sur les déchets radioactifs et leur gestion
- ◆ Diffuser son savoir-faire à l'étranger



- ◆ EPIC créé par la loi du 30 décembre 1991
- ◆ Placée sous la tutelle des ministères en charge de l'énergie, de la recherche et de l'environnement
- ◆ Indépendante des producteurs de déchets radioactifs





Classification et filières de gestion des déchets radioactifs

Les différentes catégories de déchets

Les modes de gestion à long terme associés

La classification des déchets repose sur deux paramètres : le niveau de radioactivité et la durée de vie

		Déchets dits à vie très courte contenant des radioéléments de période < 100 jours	Déchets dits à vie courte dont la radioactivité provient principalement des radioéléments de période ≤ 31 ans	Déchets dits à vie longue contenant majoritairement des radioéléments de période > 31 ans
Centaines Bq/g	Très faible activité (TFA)	Gestion par décroissance radioactive sur le site de production puis élimination dans les filières de stockage dédiées aux déchets conventionnels	Recyclage ou stockage dédié en surface (installation de stockage du centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage de l'Aube)	
Millions Bq/g	Faible activité (FA)		Stockage de surface (centre de stockage des déchets de l'Aube)	Stockage à faible profondeur (à l'étude dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)
	Moyenne activité (MA)			
Milliards Bq/g	Haute activité (HA)	Non applicable ¹	Stockage en couche géologique profonde (en projet dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)	

- ❑ Pour protéger l'homme et l'environnement du danger que les déchets représentent il faut les isoler le temps nécessaire à leur décroissance radioactive.
- ❑ Pour limiter la charge aux générations futures, la France comme de nombreux pays, a décidé de les placer dans des stockages spécifiquement conçus et adaptés à leurs caractéristiques (radioactivité, durée de vie).
- ❑ 90 % du volume des déchets radioactifs produits chaque année bénéficient déjà d'une solution de stockage définitif en surface.
- ❑ Le niveau de radioactivité et la durée de vie des déchets HA et MA-VL ne permettent pas de les stocker de manière sûre à long terme, ni en surface ni à faible profondeur.



Les quantités existantes et prévisionnelles des déchets radioactifs

Sur la base des déclarations des producteurs, recensées annuellement par l'Andra :

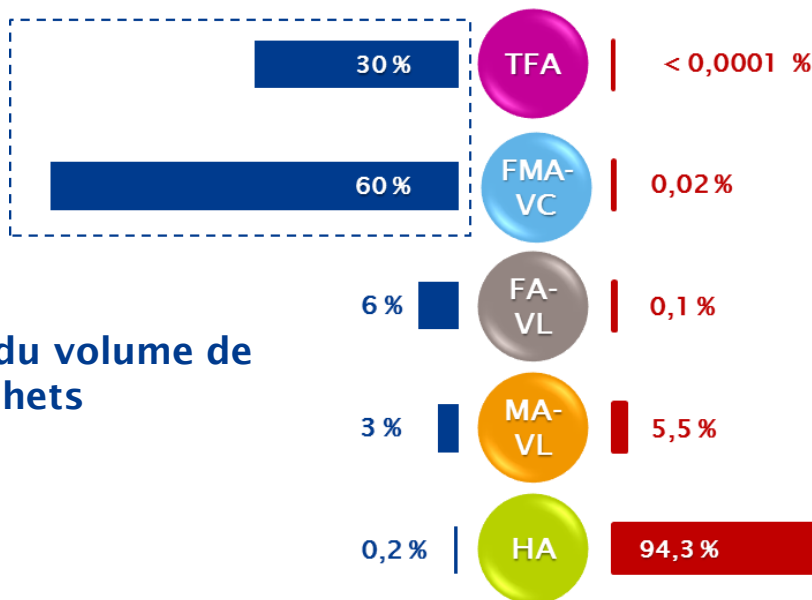
Au total, 1 500 000 m³ de déchets radioactifs existants au 31/12/2015

~75 % sont déjà stockés dans les centres de stockage de l'Andra (Manche et Aube)

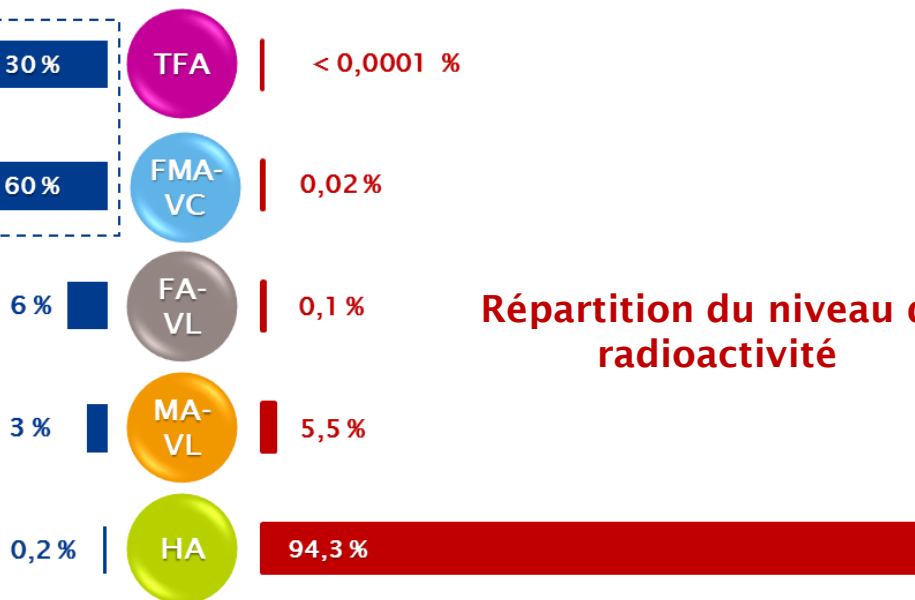
Catégorie	Volume* à fin 2015
HA	3 500
MA-VL	46 000
FA-VL	87 000
FMA-VC	905 000
TFA	465 000
Total général	~1 500 000

* : en m³ équivalent conditionné

Répartition du volume de déchets



Répartition du niveau de radioactivité



PRÉVISION DES VOLUMES (m³) DE DÉCHETS RADIOACTIFS À FIN 2020, À FIN 2030 ET À TERMINAISON SELON LES SCÉNARIOS DES INDUSTRIELS :

CATÉGORIE	STOCKS À FIN 2013	PRÉVISIONS À FIN 2020	PRÉVISIONS À FIN 2030	PRÉVISIONS À TERMINAISON
HA	3 200	4 100	5 500	10 000
MA-VL	44 000	48 000	53 000	72 000
FA-VL	91 000	92 000	120 000	180 000
FMA-VC	880 000	1 000 000	1 200 000	1 900 000
TFA	440 000	650 000	1 100 000	2 200 000
TOTAL	~ 1 460 000	~ 1 800 000	~ 2 500 000	~ 4 300 000

Edition 2015 de l'Inventaire national

Hypothèses structurantes fondant ces estimations faites en 2013 :

- ◆ Durée de fonctionnement moyenne de 50 ans de l'ensemble des réacteurs,
- ◆ Début de démantèlement des réacteurs UNGG à l'horizon 2025,
- ◆ Retraitement de la totalité des combustibles usés supposant la réutilisation des matières en résultant dans le parc actuel ou dans un futur parc.



Les centres de stockage en exploitation

Le Centre de stockage de la Manche ouvert en 1969, fermé en 1994, en phase de fermeture

527 000 m³ (1.470.000 colis) de déchets de faible et moyenne activité y sont stockés.



Pendant plusieurs centaines d'années, le centre et son environnement feront l'objet d'une surveillance continue et de contrôles permanents. Des études sont menées en parallèle sur la pérennisation de sa couverture.



Le stockage actuel des déchets FMA-VC

Le centre de stockage de l'Aube (CSA)

Les déchets FMA-VC :

- sont essentiellement liés à la **maintenance** (vêtements, outils, gants...) et au **fonctionnement** (traitements d'effluents liquides et gazeux) d'installations nucléaires,
- sont conditionnés dans un **conteneur en métal ou en béton** puis enrobés dans du béton,
- sont stockés en surface dans des ouvrages en béton armé au **Centre de stockage de l'Aube** de Soulaire, dans l'Aube.



Le centre de stockage de l'Aube :

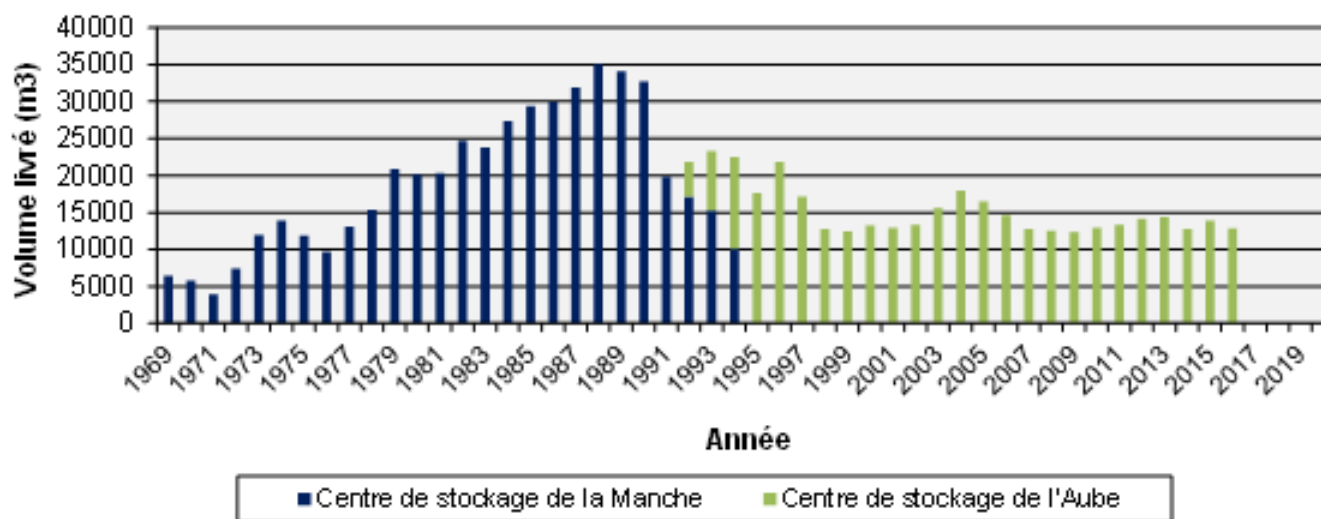
- Mise en service : 13 janvier 1992,
- Superficie : 95 ha dont 30 ha de zone de stockage,
- Capacité de stockage : 1 000 000 m³ de déchets FMA-VC,
- Durée d'exploitation envisagée à la conception : environ 30 ans
- Volume stocké à fin 2016 : 316 000 m³



Le CSA : une installation industrielle prévue pour une exploitation sur une trentaine d'années

- ◆ Capacité de 1 million de mètres cubes
- ◆ Flux de dimensionnement: 30 000 m³ par an

Bilan des livraisons CSM et CSA



Le REX : une réduction significative de la production de déchets :

- ◆ Réduction à la source chez les producteurs de déchets
- ◆ Mise en œuvre de nouvelles technologies (compactage, incinération)

➔ Une durée d'exploitation prévisible bien supérieure à celle prévue à la conception, sous réserve de la gestion des capacités radiologiques.

Le stockage des déchets TFA

Le centre de stockage de Morvilliers

Les déchets TFA :

- proviennent essentiellement du **démantèlement** d'installations nucléaires ou d'industries classiques utilisant des matériaux radioactifs : ferrailles, plastiques, gravats, terres...
- sont conditionnés dans des **fûts métalliques** ou des **big-bags**, essentiellement afin de faciliter leur manutention,
- sont stockés en surface dans des alvéoles creusées dans l'argile au **Centre de stockage des déchets de très faible activité** de Morvilliers, dans l'Aube.



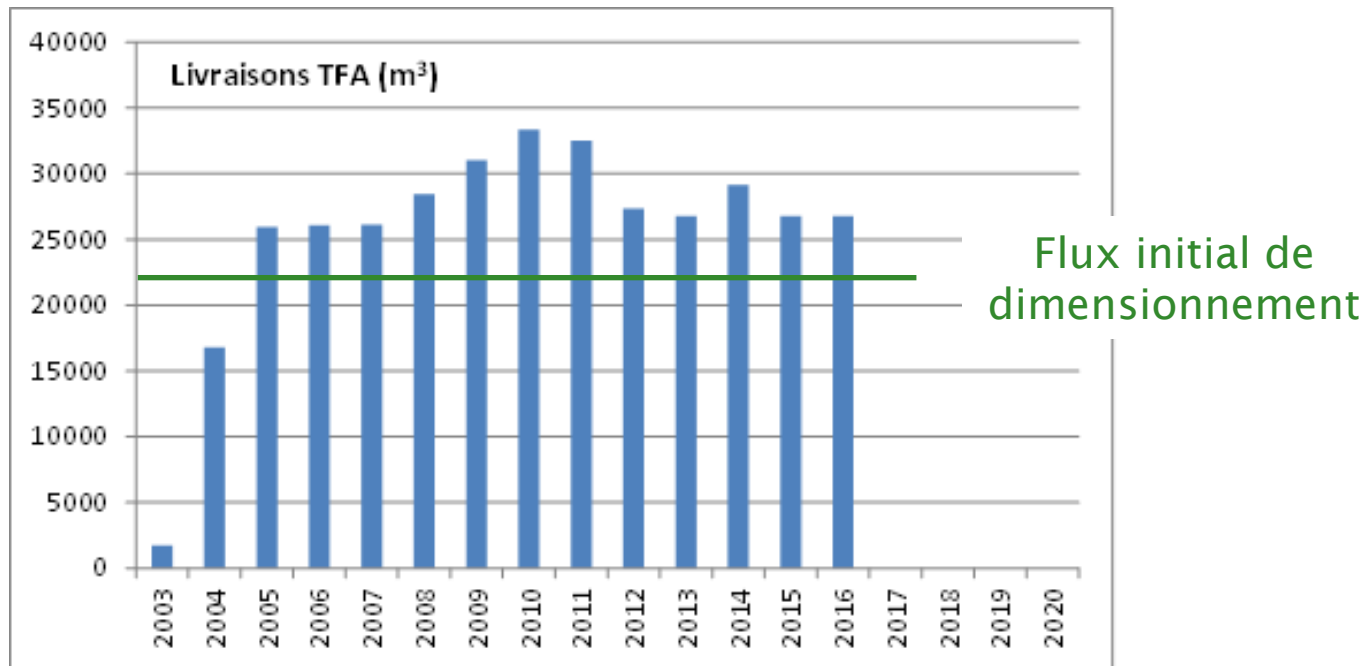
Le centre de stockage des déchets TFA :

- Mise en service : 14 août 2003,
- Superficie : 43 ha dont 28,5 ha de zone de stockage,
- Capacité de stockage : 650 000 m³ de déchets TFA,
- Durée d'exploitation envisagée à la conception : environ 30 ans
- Volume stocké à fin 2016 : 328 000 m³



Le Cires : une installation industrielle prévue pour une exploitation sur une trentaine d'années

- ◆ Dimensionnement : prise en charge de 650 000 m³ de déchets sur 30 ans
- ◆ A la conception : capacité annuelle moyenne de stockage : 22 000 m³



Le REX : une forte augmentation du flux volumique annuel depuis 2008/2009 :

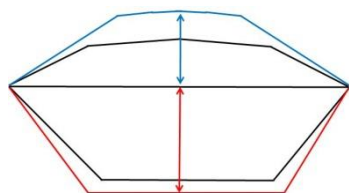
- ◆ Augmentation de la production à la source (chantiers de démantèlement)
- ◆ Stagnation de la densité des colis (prise à 1,45 à la conception)

➔ Une durée d'exploitation prévisible inférieure à celle prévue à la conception

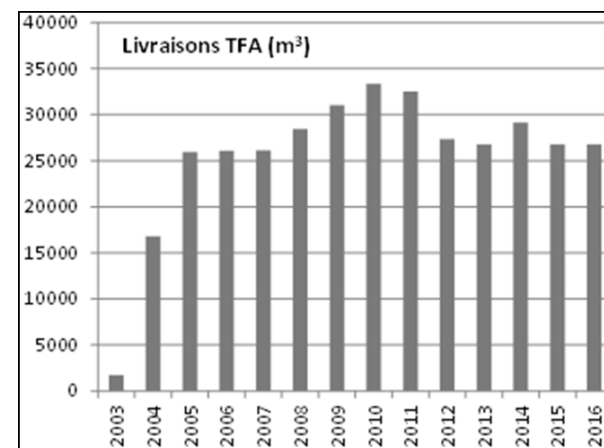
Une technique de stockage TFA qui a évolué pour prendre en compte les besoins croissants

Prise en charge de déchets hors-normes

Alvéoles spécifiques à partir de 2016



Une géométrie optimisée pour réduire les coûts, augmenter les capacités et faire face aux futurs démantèlements :
volume possible supérieur de 40 % à la capacité réglementaire



Nécessité de mieux cerner les quantités et flux à venir



Le projet de stockage pour les déchets FA-VL

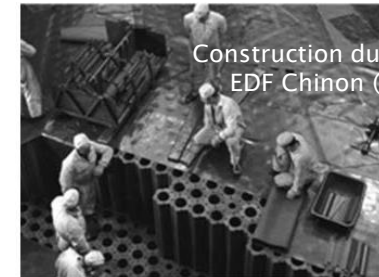
Le projet de stockage pour les déchets FA-VL

Les déchets concernés

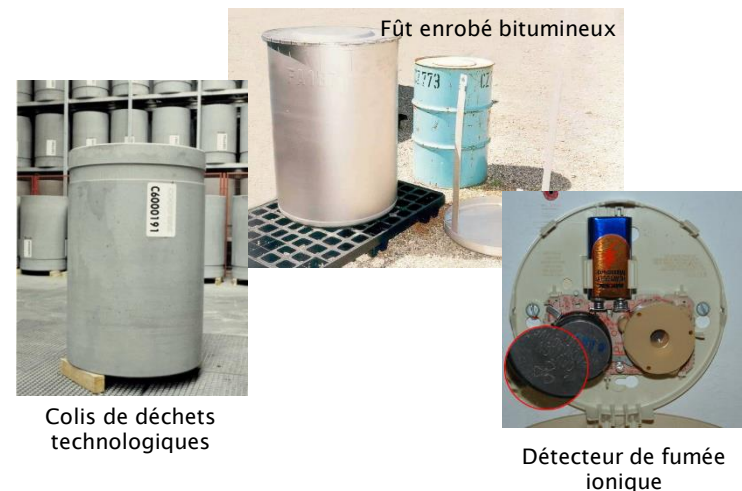
- ◆ Les **déchets radifères** proviennent essentiellement de l'exploitation de minerais (extraction de terres rares, de zirconium ou d'uranium) et de l'assainissement d'anciens sites industriels ayant utilisé du radium ou du thorium dans les années 1900 à 1960.



- ◆ Les **déchets de graphite** proviennent de la première génération de réacteurs d'EDF et du CEA (Bugey, Saint-Laurent, Chinon, Marcoule), aujourd'hui en cours de démantèlement.



- ◆ D'autres **déchets FA-VL** sont également étudiés, tels que certains déchets bitumés de faible activité de Marcoule, certains déchets technologiques de La Hague, des sources scellées usagées, des objets collectés chez des particuliers contenant du radium ainsi que certains déchets à radioactivité naturelle renforcée.



Le projet de stockage pour les déchets FA-VL

La situation actuelle

La plupart des déchets FA-VL sont déjà produits et sont entreposés en surface, le plus souvent sur leurs sites de production ou même au sein des installations (empilements graphite par exemple)



Déchets radifères conditionnés en fûts

En complément, pour les déchets qu'elle collecte (médecine, laboratoires de recherche), l'Andra a mis en service en 2012 un entreposage sur le site du Cires dans l'Aube



Les investigations géologiques réalisées sur la Codecom de Soulaines :

- ◆ ont montré la compatibilité du site étudié avec un stockage à faible profondeur,
- ◆ ont permis de définir une zone favorable pour la poursuite des études.

L'étude de différentes options de conception, fondées sur des techniques de creusement éprouvées industriellement pour la réalisation d'ouvrages à faible profondeur, a permis de définir de premières représentations :

- ◆ des architectures,
- ◆ des emprises des zones de stockage.



Les évaluations préliminaires de sûreté :

- ◆ montrent que les caractéristiques des déchets considérés ne sont pas rédhibitoires à la poursuite de l'étude de leur stockage à faible profondeur dans les Argiles téglines sur le site investigué,
- ◆ ont permis d'identifier les paramètres à enjeux pour le stockage des différentes typologies de déchets étudiés.

◆ EDF et CEA doivent poursuivre les études pour :

- fiabiliser l'inventaire radiologique des déchets de graphite (^{36}Cl notamment)
- progresser dans la connaissance du comportement du ^{14}C en condition de stockage,

◆ L'Andra doit s'assurer que :

- les caractéristiques de la partie inférieure de la couche d'argiles téglines garantiront la limitation du relâchement de radioéléments vers l'aquifère des Sables verts,
- des marges peuvent être prises sur l'épaisseur de la garde supérieure pour tenir compte de son altération, de l'érosion et des risques d'intrusion

◆ Les gypses de Malvézi doivent être intégrés dans la filière FA-VL,

L'ASN estime qu'il sera difficile de démontrer la faisabilité, dans la zone investiguée, d'une installation de stockage de l'intégralité des déchets de type FA-VL.

⇒ Recommandations dans le PNGMDR 2016-2018

◆ Définition d'une feuille de route permettant de disposer d'une stratégie de gestion :

- pour la totalité des déchets FA-VL, y compris ceux de Malvési,
- adaptée à l'hétérogénéité et à la dangerosité de ces déchets,
- proportionnée aux enjeux de sûreté, techniques et économiques,
- envisagée selon un calendrier réaliste,
- se fondant sur un schéma industriel combinant différents axes.

◆ À cette fin :

- l'Andra poursuit ses investigations sur le site de la Communauté de communes de Soulaines ;
- l'Andra et les producteurs de déchets élaborent avant fin 2019 un schéma industriel global.

◆ En parallèle, mise à jour par l'ASN de son guide de sûreté relatif au stockage à faible profondeur des déchets FA-VL.

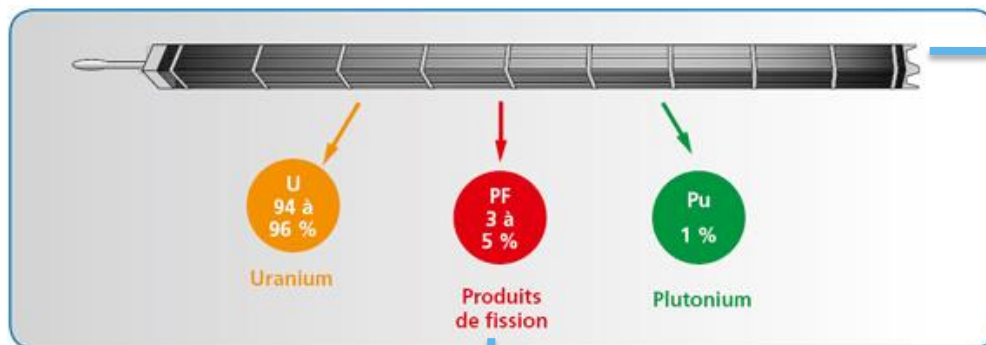


Le projet Cigéo

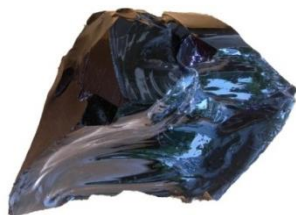
Le projet Cigéo

Les déchets concernés : nature et inventaire

1- Déchets issus du traitement des combustibles usés



Coques et embouts
(MA-VL)



Produits de fission et actinides
mineurs vitrifiés (HA)



2- Déchets produits par l'exploitation des réacteurs et des autres installations (MA-VL)



Volume de déchets prévus : environ 73 500 m³ de déchets MA-VL et 10 000 m³ de déchets HA

Scénario des industriels, fin de vie du parc électronucléaire actuel, durée de fonctionnement moyenne de 50 ans

Le projet Cigéo

Les déchets concernés : situation actuelle

L'inventaire retenu pour la conception du projet Cigéo prend en compte les installations nucléaires passées et actuelles

Cigéo est conçu pour être flexible afin de pouvoir s'adapter à d'éventuels changements de la politique énergétique

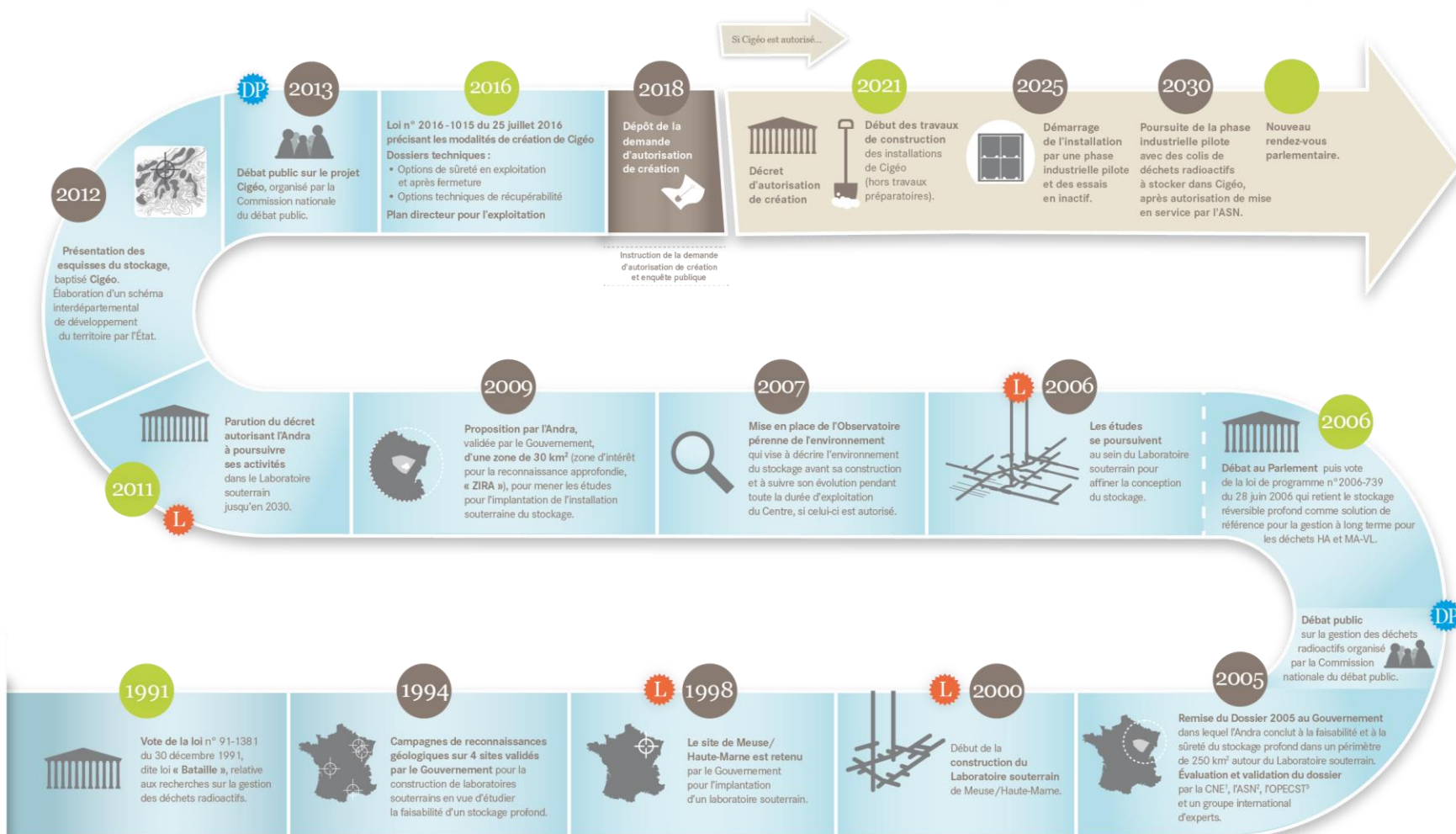
60 % des déchets MA-VL et 30 % des déchets HA destinés à Cigéo sont déjà produits et entreposés provisoirement



Le projet Cigéo

De la loi de 1991 au projet industriel

LOI ou DÉCRET L LABORATOIRE SOUTERRAIN DP DÉBAT PUBLIC



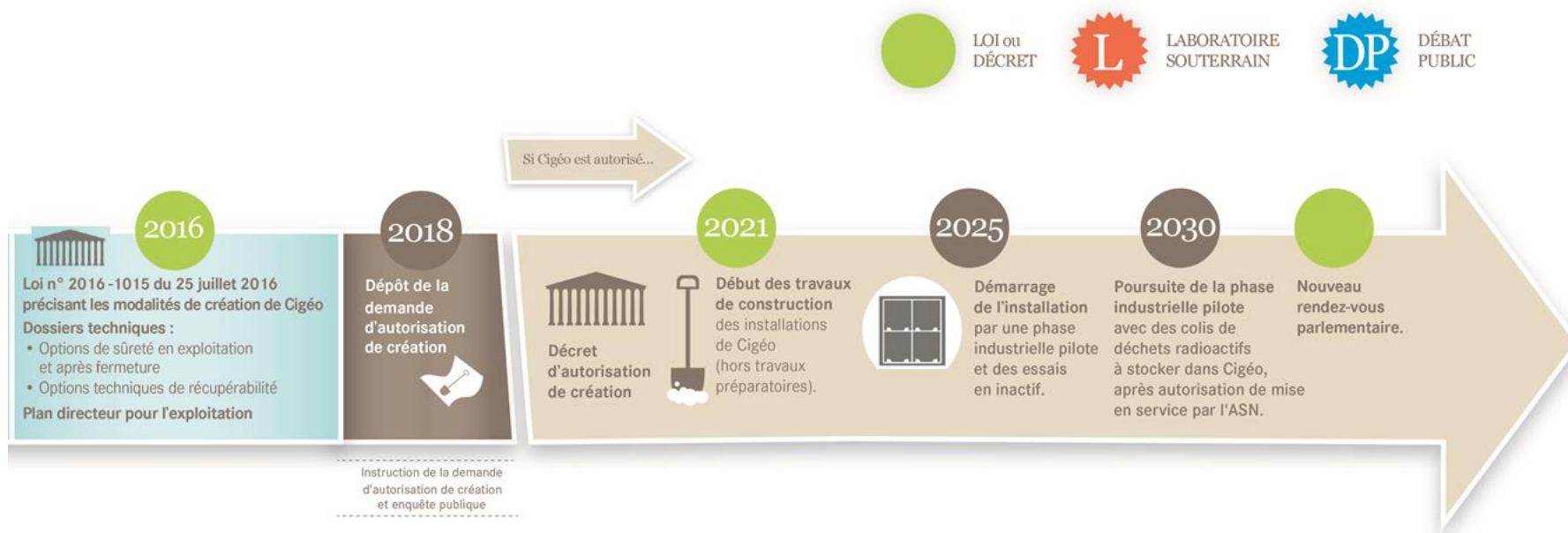
¹ Commission nationale d'évaluation
² Autorité de sûreté nucléaire
³ Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

Le projet Cigéo

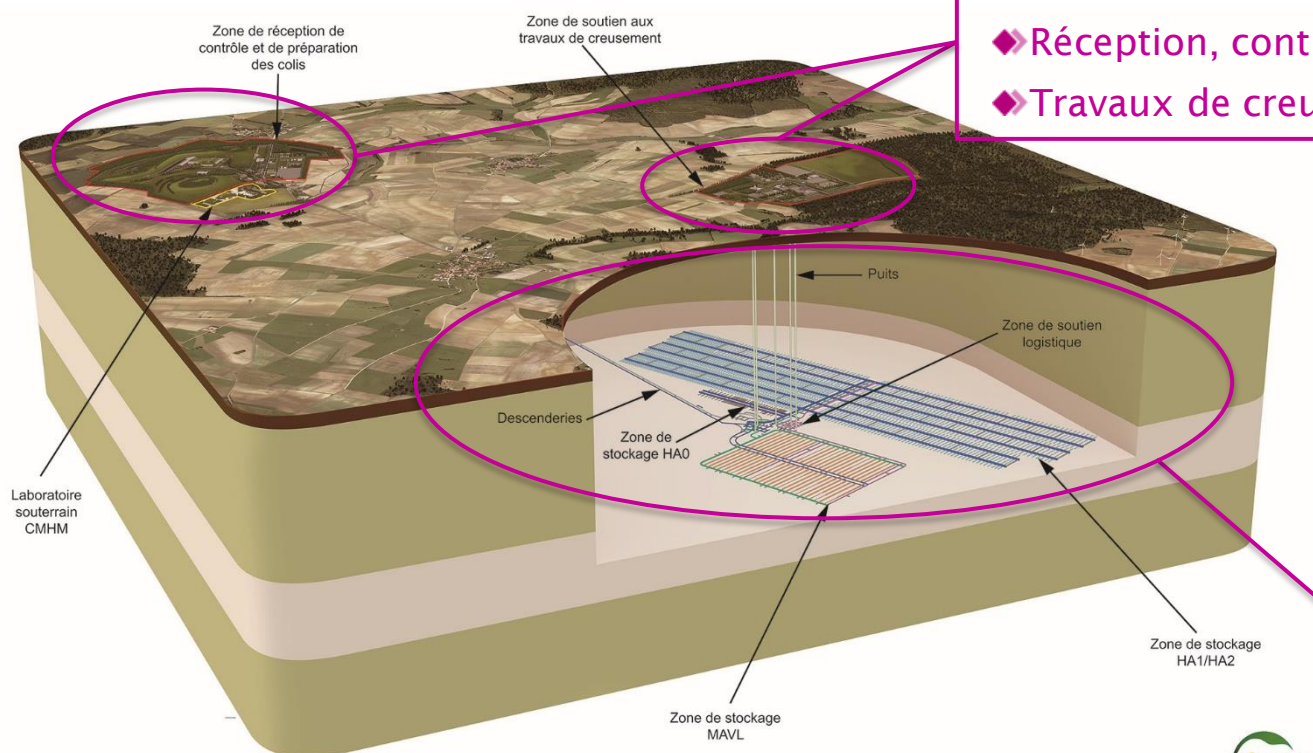
Où en est-on aujourd'hui ?

◆ Dernière phase de conception initiale et préparation du dossier de demande de l'autorisation de création (DAC) :

- Présentation à l'ASN, début 2016, des options de sûreté en exploitation et après fermeture du stockage,
- Évaluation par des experts internationaux au second semestre 2016,
- Instruction en cours, avis de l'ASN attendu au second semestre 2017.



S'il est autorisé, Cigéo sera implanté à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne, répondant à une demande forte des acteurs locaux pour une implantation en surface partagée.



2 installations de surface :

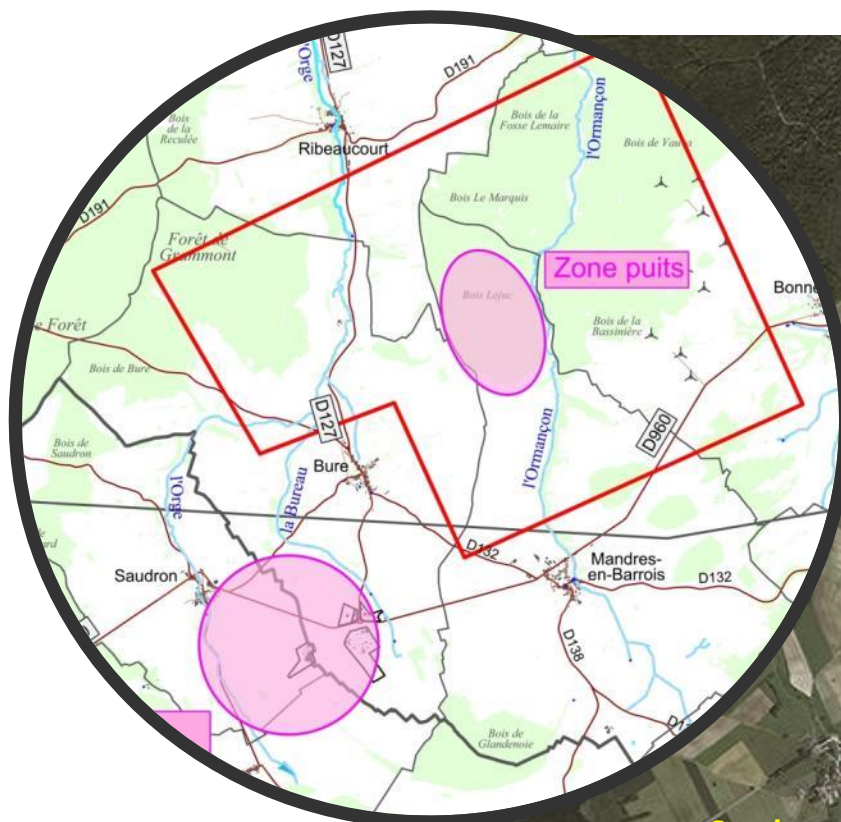
- ◆ Réception, contrôle et préparation des colis
- ◆ Travaux de creusement et de construction

Installation souterraine à 500 m de profondeur

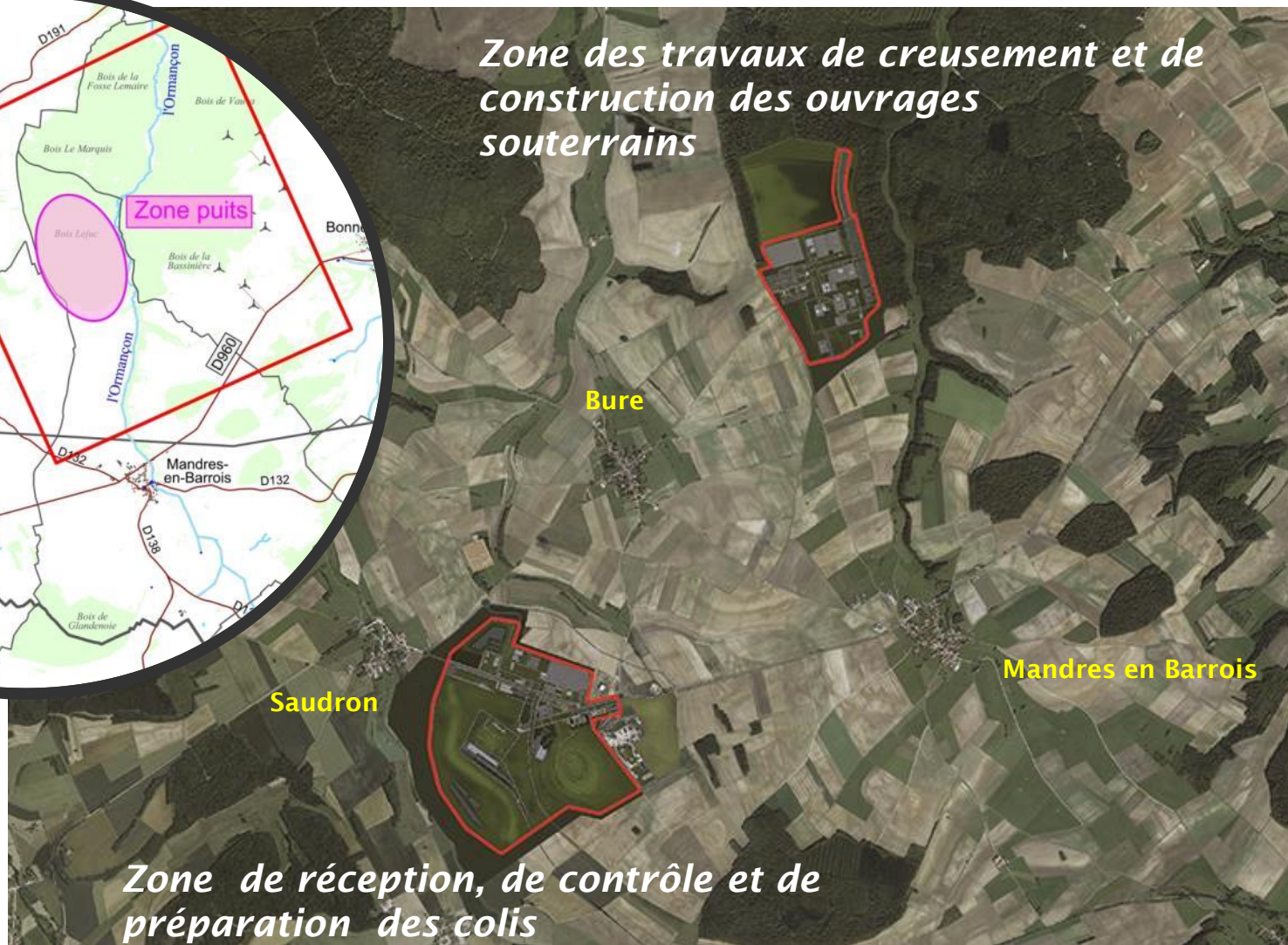
- Une exploitation séculaire
- Une construction progressive

Le projet Cigéo

Implantation des installations



Zone des travaux de creusement et de construction des ouvrages souterrains



Zone de réception, de contrôle et de préparation des colis

Principe de déploiement souterrain de Cigéo

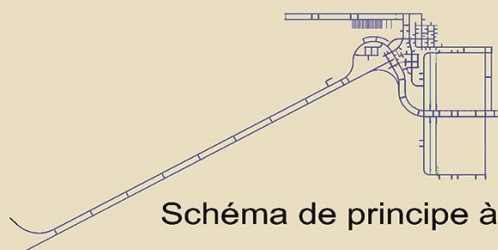


Schéma de principe à l'horizon 2030

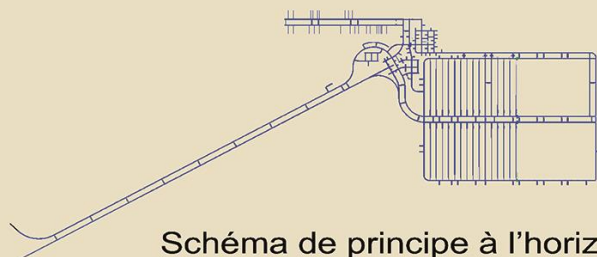


Schéma de principe à l'horizon 2050

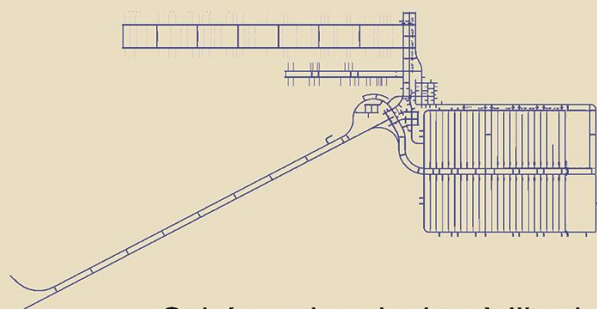


Schéma de principe à l'horizon 2080

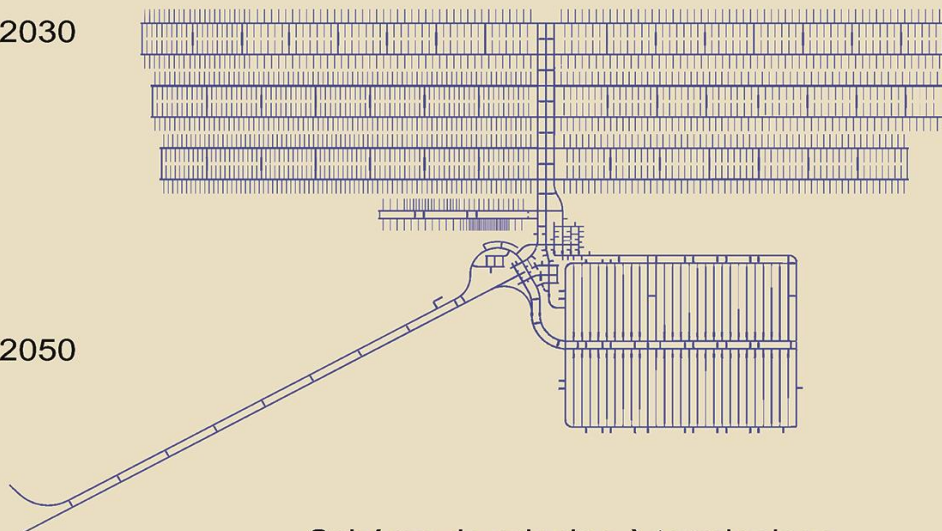
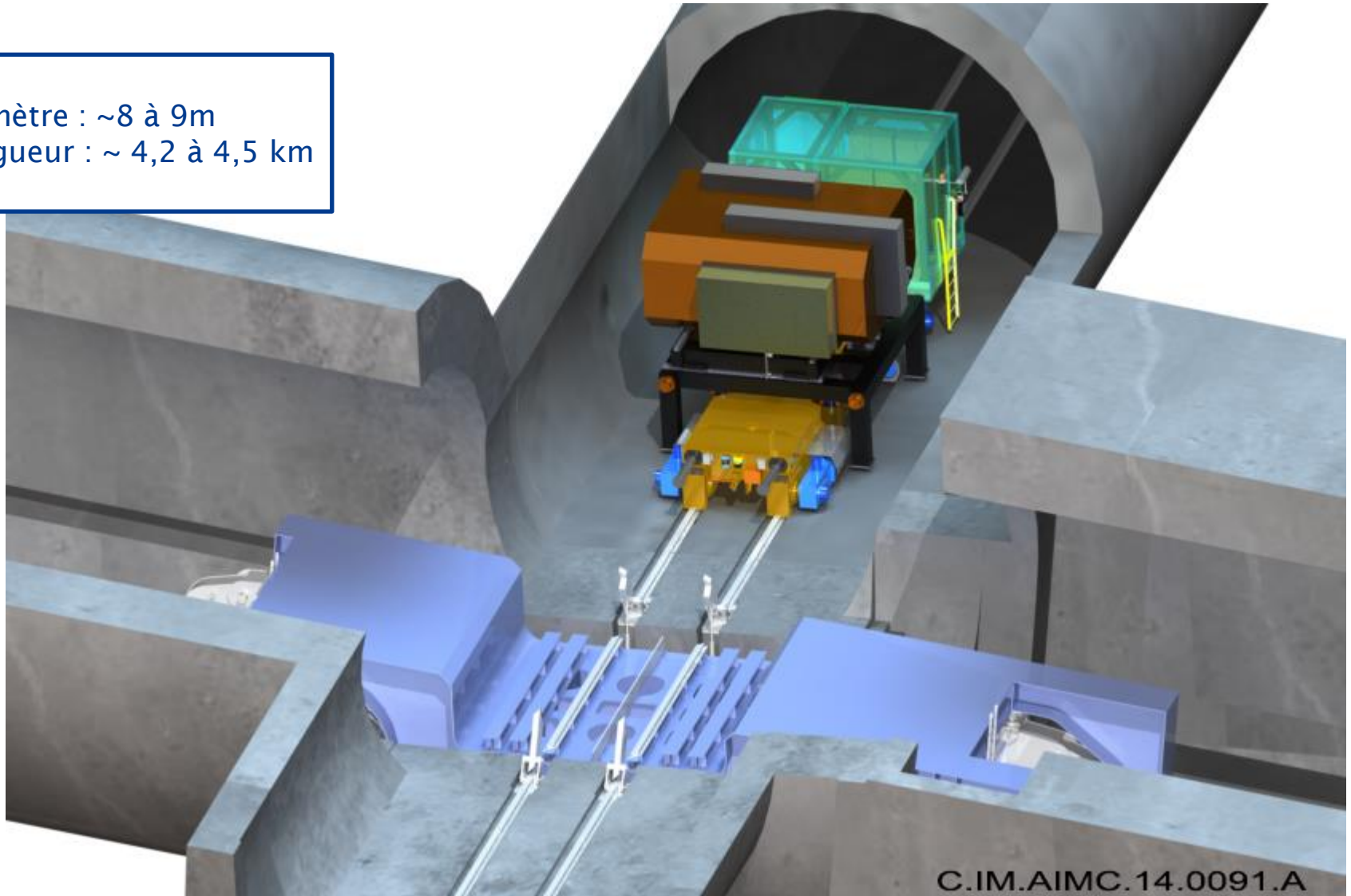


Schéma de principe à terminaison

0 500m 1km

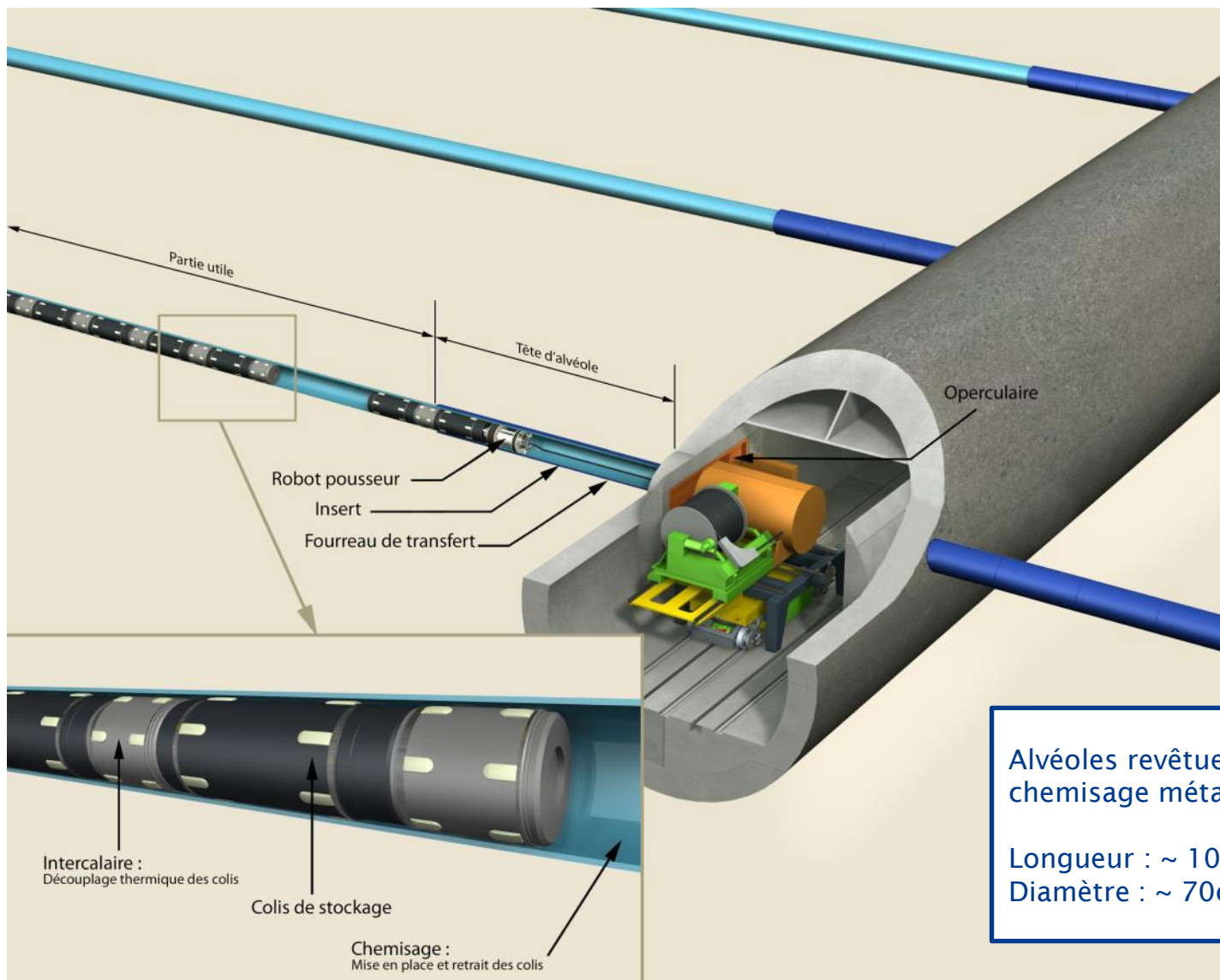
C.IM.AMSI.16.0054.A

Diamètre : ~8 à 9m
Longueur : ~ 4,2 à 4,5 km



Le projet Cigéo

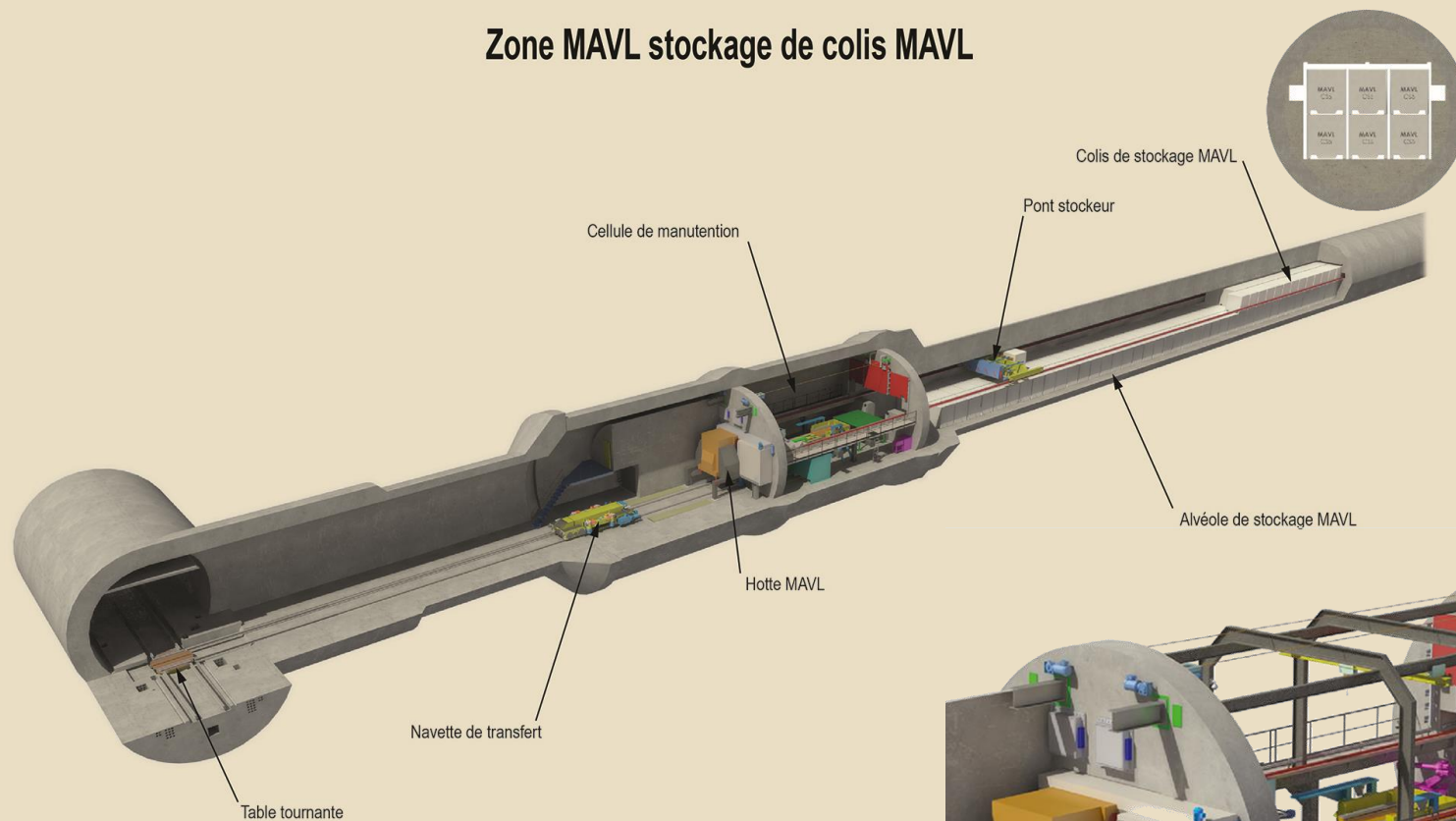
Les alvéoles HA



Alvéoles revêtues d'un
chemisage métallique

Longueur : ~ 100m
Diamètre : ~ 70cm

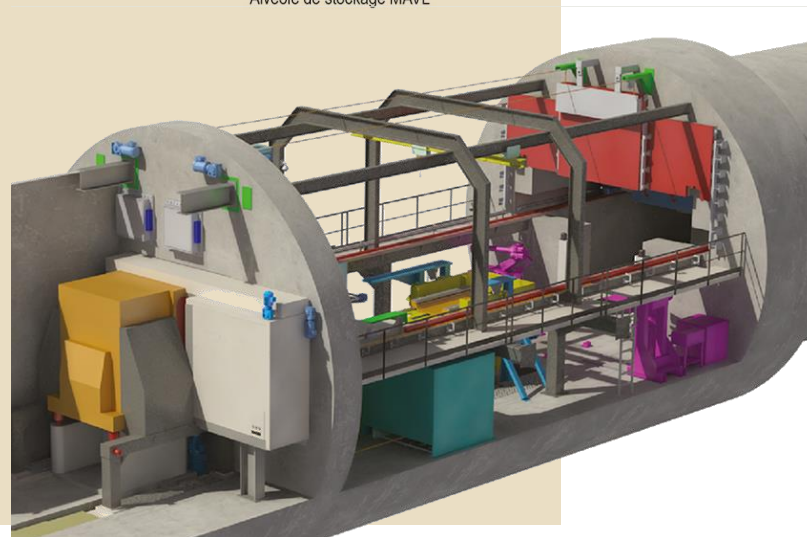
Zone MAVL stockage de colis MAVL



Longueur : quelques centaines de mètres

Diamètre : une dizaine de mètres

C.IM.0EKS.15.0083.A

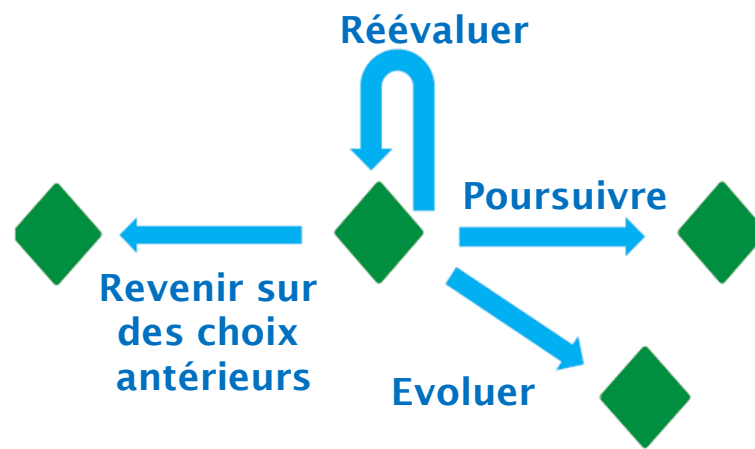


Début 2016 : diffusion par l'Andra d'une contribution sur la réversibilité du stockage

25 juillet 2016 : publication au Journal Officiel de la loi sur la réversibilité

Principe : ne pas enfermer les générations futures dans les choix que nous ferions à la conception

La réversibilité du stockage est la capacité à offrir à la génération suivante des choix sur la gestion à long terme des déchets radioactifs, y compris le choix de revenir sur les décisions prises par la génération antérieure.



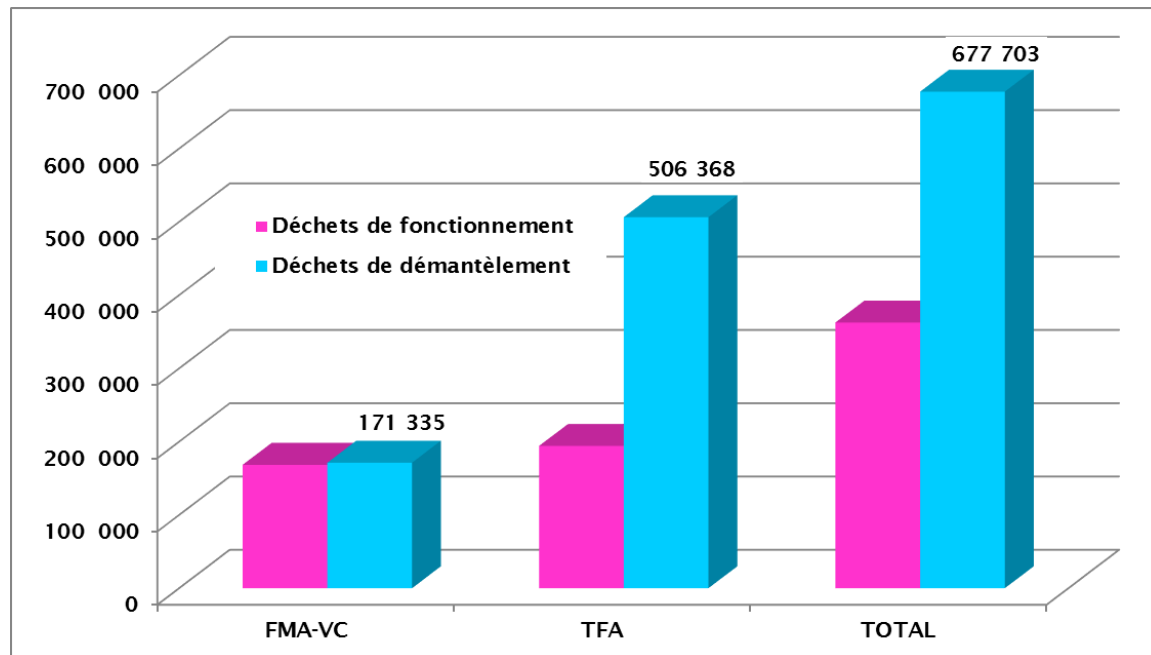


L'optimisation de la gestion des déchets radioactifs

❑ Plus de 60 % des déchets à produire entre 2014 et 2030 (toutes catégories confondues) sont des déchets de démantèlement

❑ Plus de 70 % des déchets de démantèlement à produire entre 2014 et 2030 sont des déchets TFA : ~ 510 000 m³

à comparer à la capacité autorisée du Cires (650 000 m³)



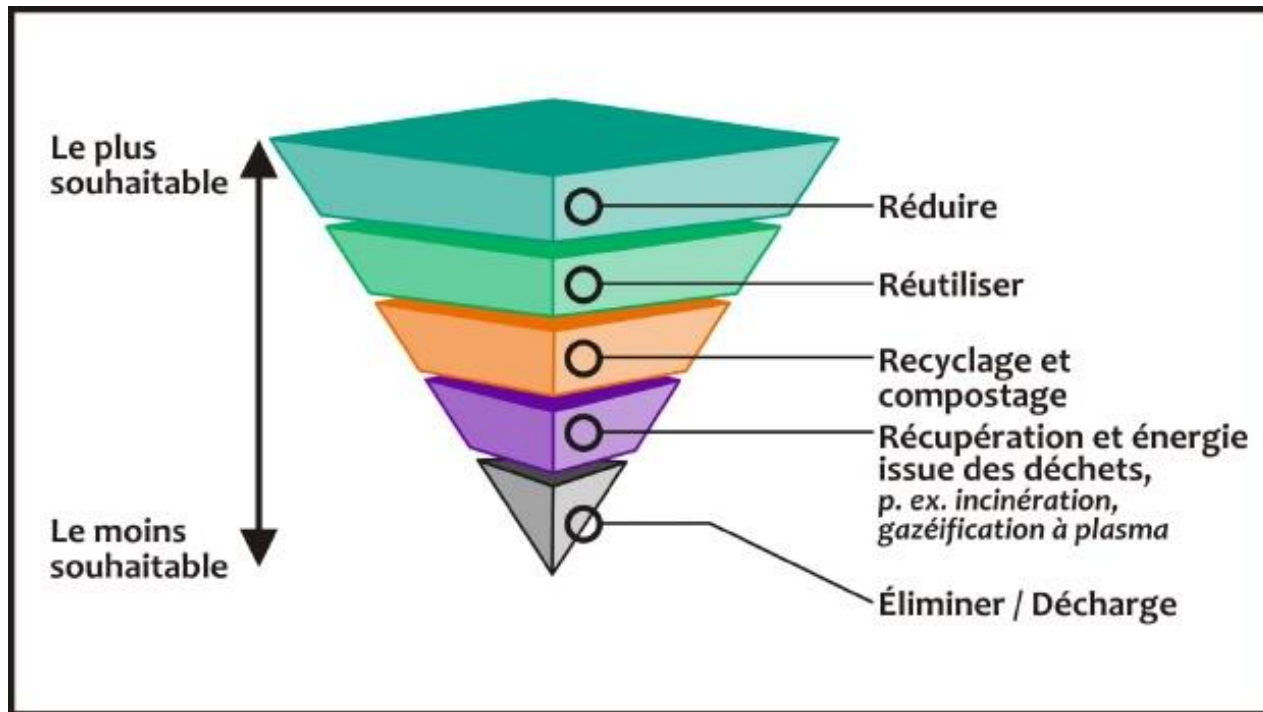
Nécessaire d'explorer des options de gestion des déchets alternatives au stockage et d'en apprécier la pertinence technique, environnementale, économique et sociétale.

Des développements qui doivent être anticipés suffisamment longtemps à l'avance, parallèlement à la préparation des futurs chantiers de démantèlement.

Un pilotage et un suivi dans le cadre du PNGMDR.

L'optimisation de la gestion des déchets

La hiérarchie des modes de gestion



Directive 2008/98 du 19 novembre 2008 relative aux déchets

Une hiérarchisation de la gestion des déchets souvent mise en avant pour orienter les stratégies de gestion des déchets à l'étranger (Allemagne, Grande Bretagne...)

Réduire :

- ◆ par le traitement des déchets, compactage, fusion, incinération



Réutiliser :

- ◆ Remplacer la grave utilisée pour combler les vides entre les colis du Cires ? (2 à 5000 m³ par an)



Recycler :

- ◆ Valoriser les déchets métalliques (lots homogènes) :
 - Gisement significatif par rapport aux déchets TFA mais limité par rapport aux métaux recyclés annuellement en France
 - Modalités de réutilisation à explorer (limitées à l'industrie nucléaire ou pas ?)
 - Pertinence économique et acceptabilité (sociétale, image pour l'industriel) à étudier



Evaluer l'intérêt de stockages simplifiés par rapport au Cires pour les déchets TFA les moins radioactifs

◆ Objectifs :

- préserver le Cires et sa capacité de confinement
- garantir la traçabilité des déchets
- offrir une solution sûre et proportionnée aux risques présentés par les déchets

◆ Solutions envisageables :

- Stockages simplifiés selon la nature des déchets (ISDI, ISDND)
- Sur ou à proximité des sites en démantèlement

◆ Enjeu de pertinence économique :

- Volumétrie de déchets suffisante (a priori cas où les volumes dépasseraient significativement les prévisions actuelles)
- Conception et mode d'exploitation
- Processus de tri des déchets et d'acceptation des prévisions



Installation de Stockage de Déchets Inertes (ISDI)



Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND)

Un appel à projets très ouvert, mené en collaboration par l'Andra et l'ANR



BUDGET : 45 M€

financés par le programme d'Investissements d'Avenir

- Pas de fléchage par thématique
- 5M€ dédié à la recherche fondamentale



THÉMATIQUES & MATURITÉ DES PROJETS

- De la caractérisation jusqu'au stockage
- De la recherche fondamentale au développement expérimental



PORTEURS DE PROJET

- Organismes de recherche & entreprises
- Nucléaire et hors nucléaire



DIMENSION DES PROJETS

- Financement sur 2 à 4 ans
- Plafonds de financement conséquents (600 k€ pour la recherche fondamentale, 4 M€ pour la recherche appliquée)

Près de 90 projets soumis, 29 projets lauréats

Des résultats très positifs et équilibrés

◆ Bon équilibre : entre thématiques, entre catégories de R&D et entre acteurs mobilisés :

- Implication croissante des acteurs hors nucléaire
- Taux de participation des PME (recherche appliquée) : 80 %

Quelques thématiques structurantes répondant aux besoins identifiés pour le démantèlement

- Fusion décontaminante des métaux TFA (PROFUSION)
- Recyclage des gravats pour refaire du béton (CYBER)
- Tri/recyclage des câbles contaminés (ORCADE)
- Extraction et valorisation du tritium issu des déchets métalliques tritiés de l'installation ITER (VALOFUSION)

Recyclage et valorisation des déchets, en particulier TFA



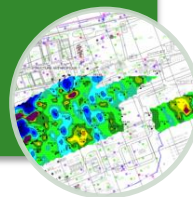
- Désodage des déchets RNR (CARBONARA)
- Boues et résidus HA de fonds de cuve (DEM'N'MELT)
- Conditionnement du tritium (MACH3)
- Conditionnement des métaux réactifs (DECIMAL)
- Minéralisation des liquides organiques (MILOR, CADET)
- Conditionnement des déchets alpha FMA (MATRICE)

Traitement / conditionnement des déchets difficiles à prendre en charge



- Tomographe in-situ (TOMIS)
- Autoradiographie (MAUD)
- Amélioration de la précision des mesures gamma (TEMPORAL, COMPTON-CAM)
- CND de la fissuration des bétons (DCND)

Optimisation des mesures et des contrôles colis



Merci de votre attention

