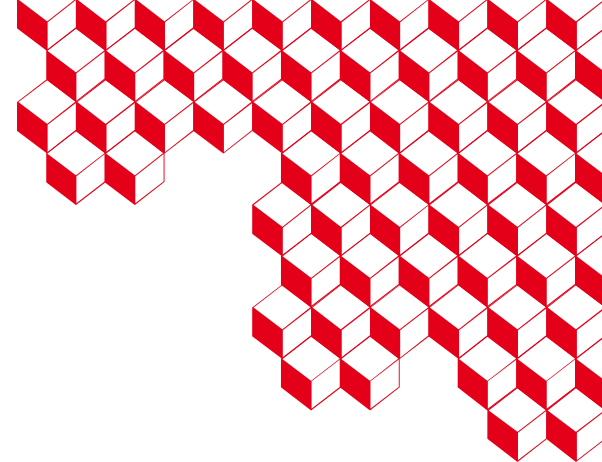
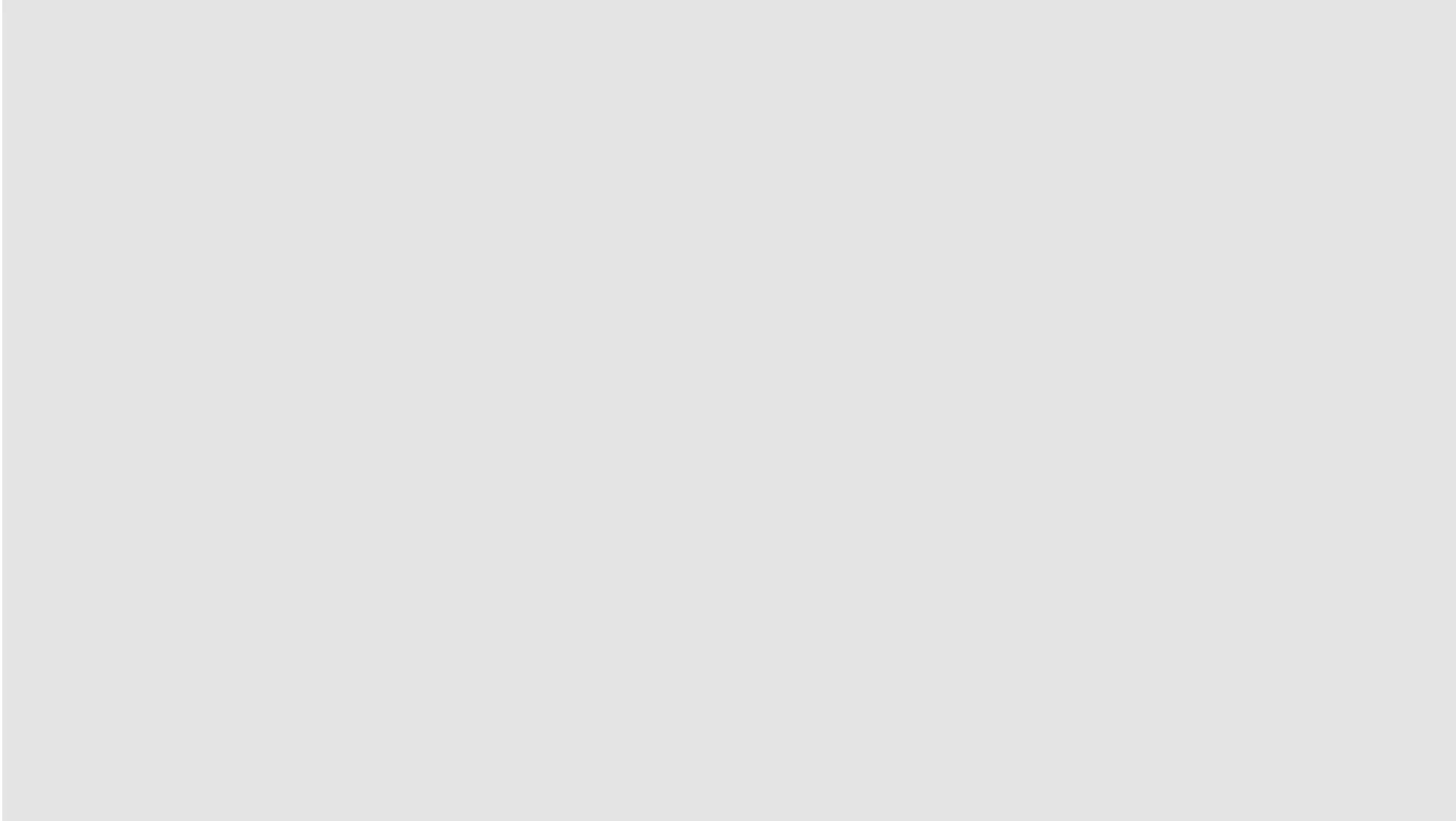




Démantèlement des installations nucléaires

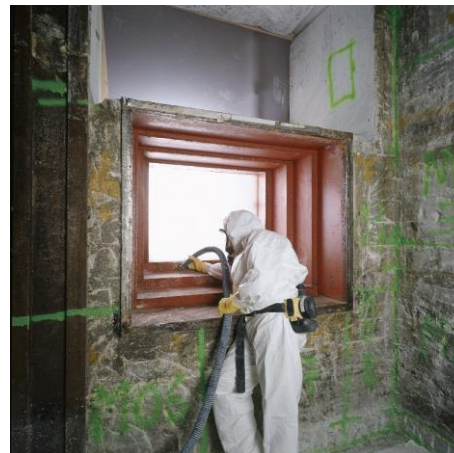
Christophe BERETTI, Directeur adjoint de la Direction des projets de démantèlement, de service nucléaire et de la gestion des déchets – Direction des Energies (CEA/DES/DDSD)

Introduction : Qu'est-ce que l'assainissement-démantèlement ? (vidéo)



Définition AIEA

- « Le démantèlement couvre toutes les étapes qui mènent à la libération d'une installation de son contrôle réglementaire »



- 'Nuclear decommissioning covers *all steps leading to the release of a nuclear facility from regulatory control.*'

Quelques définitions

- **Démantèlement** : de façon générale, couvre l'ensemble des activités – techniques ou administratives – réalisées après l'arrêt d'une installation, afin d'atteindre un état final prédéfini
- **Assainissement** : opérations de réduction ou d'élimination de la radioactivité restante ou de toute autre substance dangereuse restante aussi bien dans les structures que dans les sols
- **Déclassement** : opération administrative consistant à supprimer l'installation de la liste des INB
- **Exploitation** : période comprenant le fonctionnement et le démantèlement de l'installation



■ Situation en France

Historique en France

01

DÉBUT DES ANNÉES 1960

Premières opérations d'assainissement et de démantèlement d'installations nucléaires

02

ANNÉES 1960-1970

Démantèlement de quelques laboratoires de recherche, réacteurs expérimentaux et installations du cycle du combustible

03

MILIEU DES ANNÉES 1980

Plusieurs réacteurs de puissance sont partiellement démantelés ou ont entamé des travaux de démantèlement complet

04

ANNÉES 1980-1990

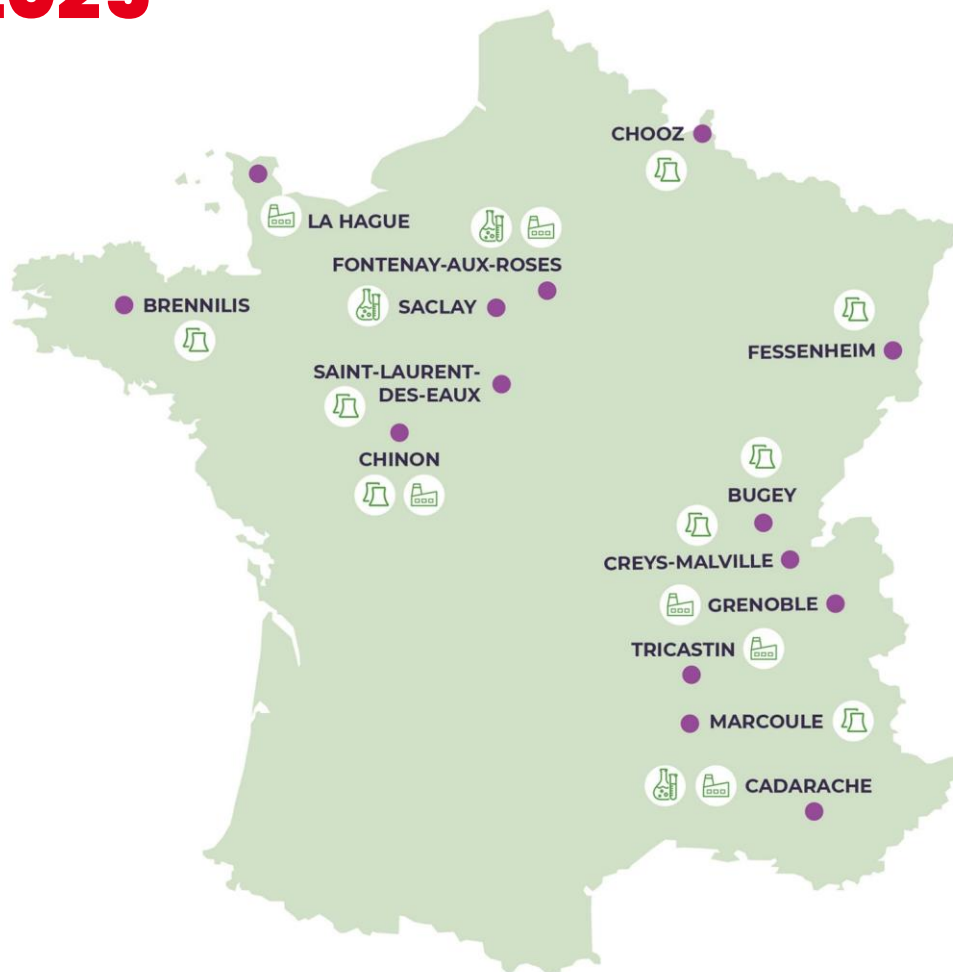
Démantèlement ponctuel de certaines installations (principalement de recherche)

05

FIN DES ANNÉES 1990

Les opérations de démantèlement entrent dans une phase industrielle, employant des technologies et des méthodologies éprouvées sur de plus grandes échelles

Installations à l'arrêt ou en démantèlement en France 2025



LÉGENDE



Réacteur



Usine



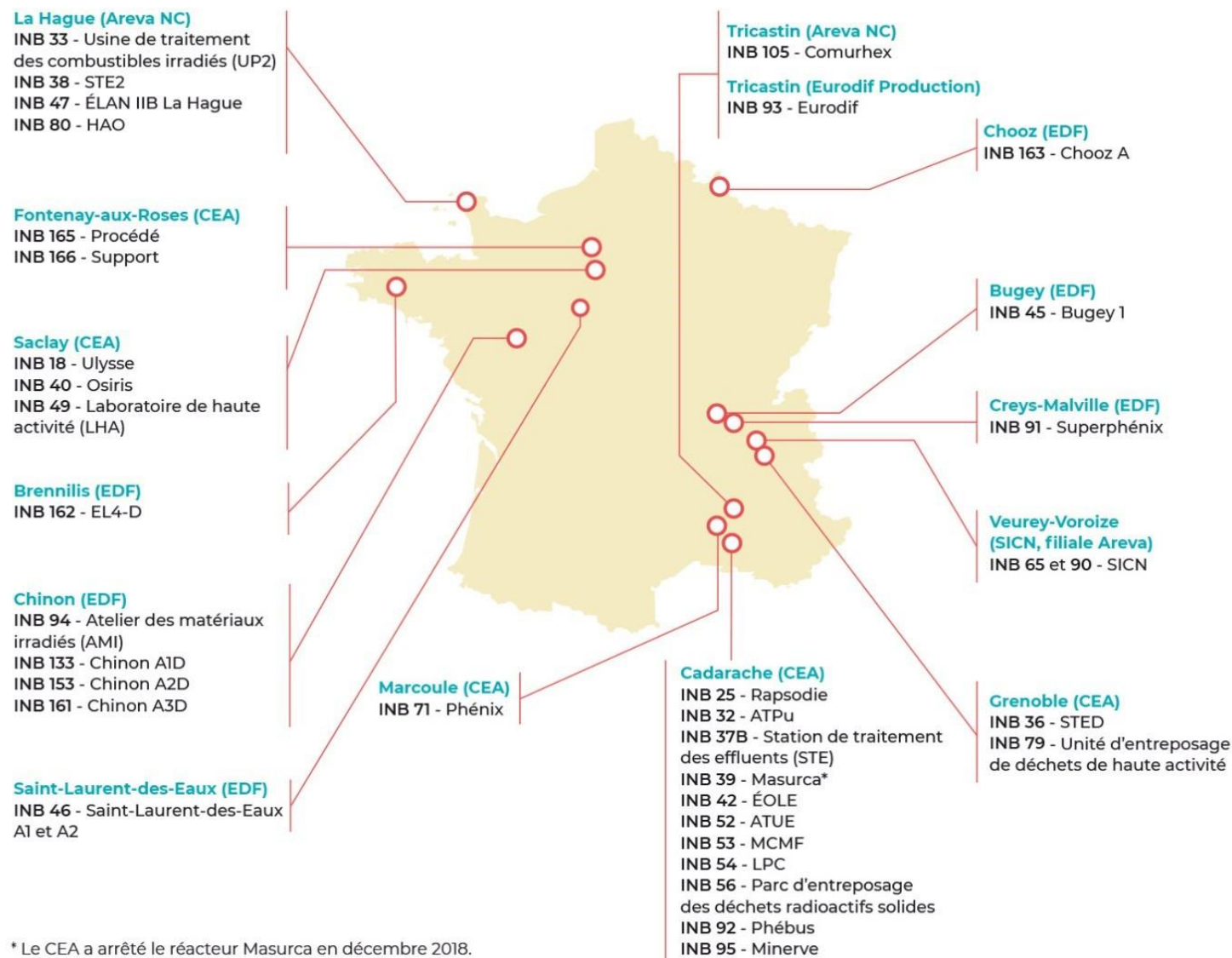
Laboratoire et réacteur de recherche

Les **opérations de démantèlement** sont le plus souvent des **opérations longues**, constituant des **défis pour les exploitants en termes de gestion de projets, de maintien des compétences et de coordination** des différents travaux qui font souvent intervenir de nombreuses entreprises spécialisées.

Les **risques liés à la sûreté nucléaire et à la radioprotection** doivent être considérés, de même que les risques classiques liés à tout chantier de **déconstruction** ainsi que **les risques liés à la perte de mémoire de conception et d'exploitation du fait de la durée importante de cette phase** (souvent plus d'une décennie).

L'importance du **parc nucléaire français actuel**, qui **devra être démantelé à l'issue de son fonctionnement**, et les débats en cours relatifs à la **transition énergétique font du démantèlement un enjeu majeur pour l'avenir**, auquel l'ensemble des parties prenantes devront consacrer des moyens suffisants.

Installations à l'arrêt ou en démantèlement en France 2025





■ Situation au CEA

Périmètre de l'A&D et du service nucléaire à la Direction des Energies

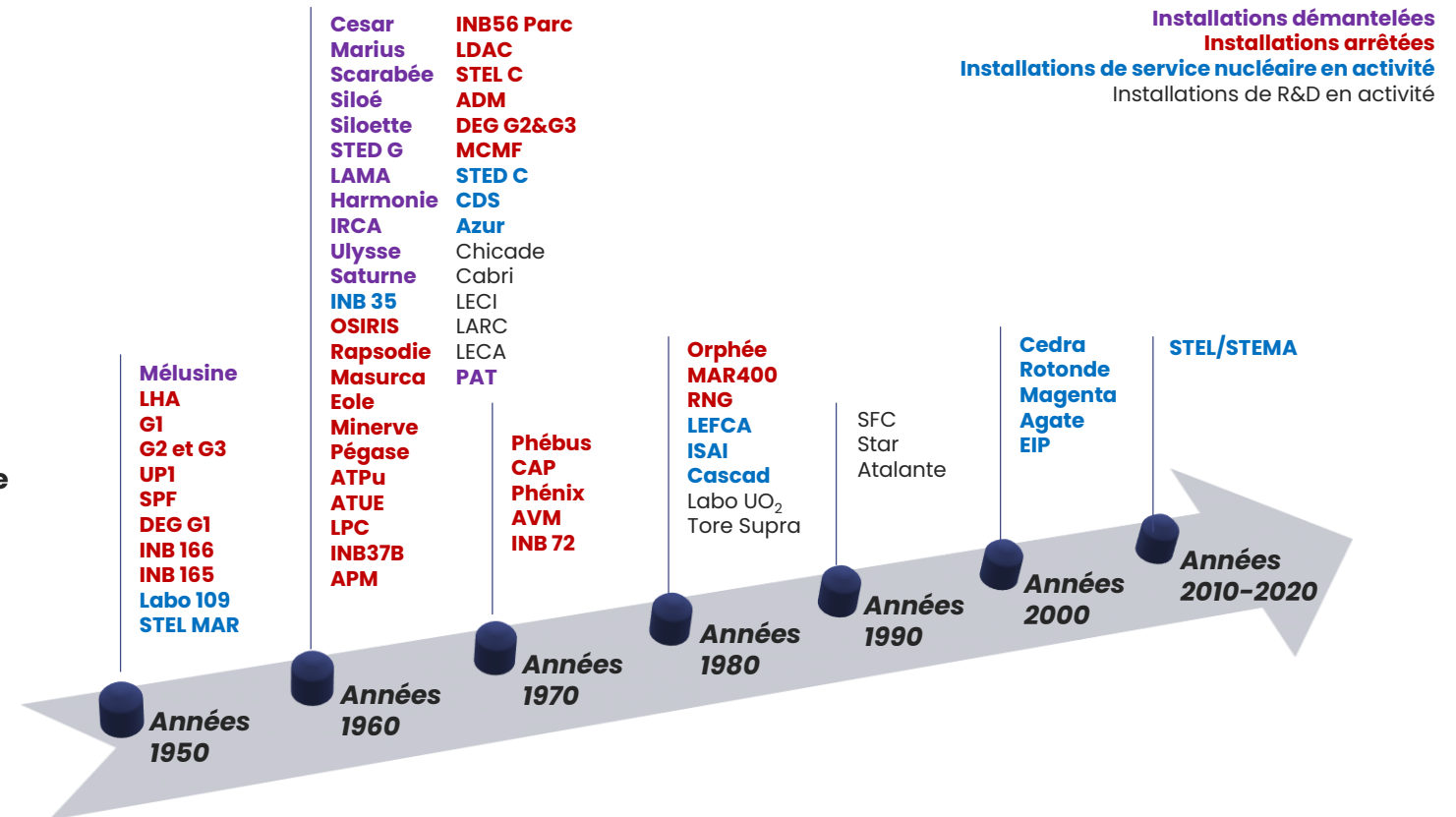


Paris-Saclay **7 installations**

Marcoule **22 installations**

Cadarache **19 installations**

MISE EN SERVICE DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES DU CEA (*Liste non exhaustive*)

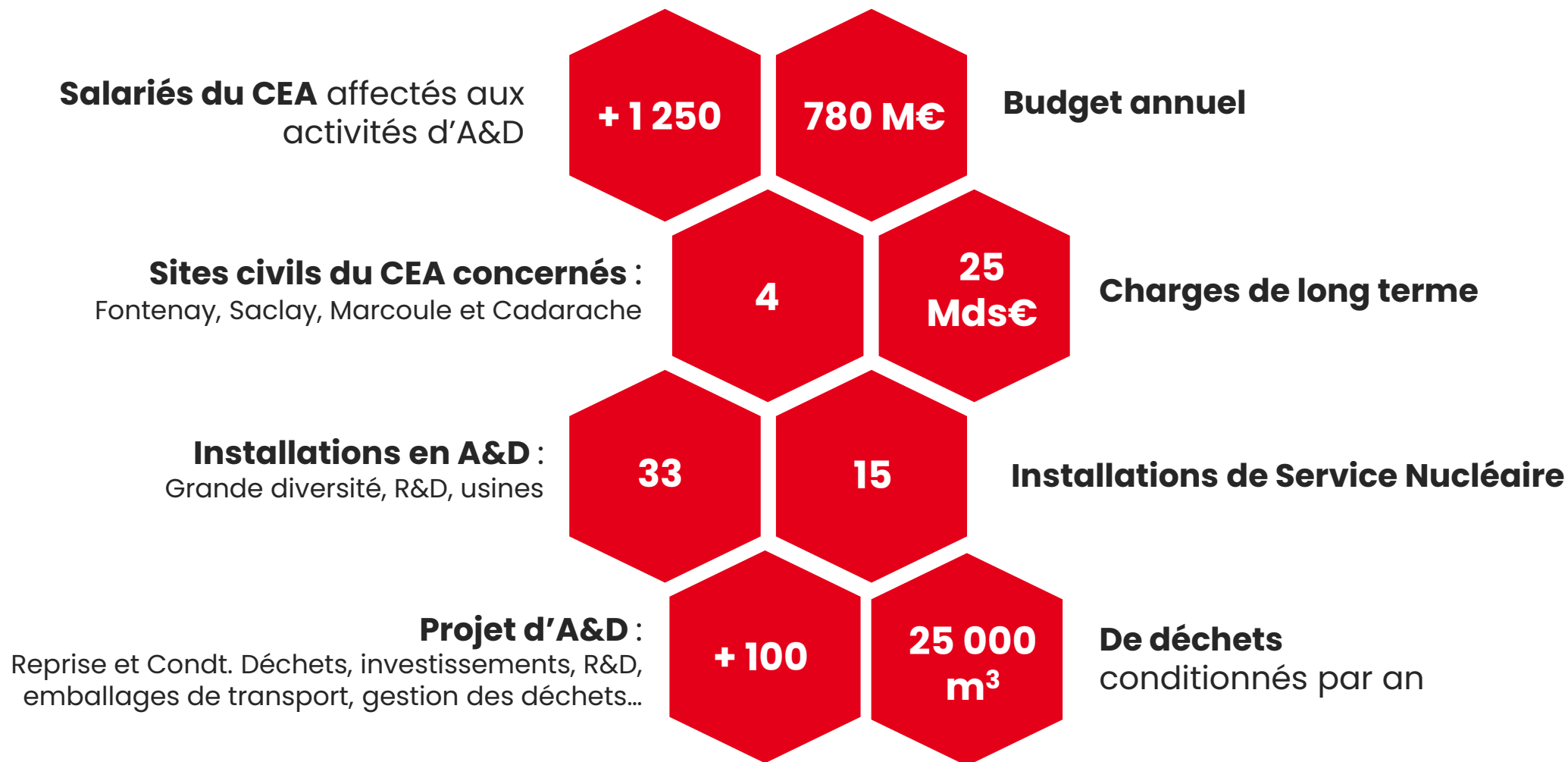


Spécificité de l'assainissement-démantèlement au CEA

- **Grande diversité de types de chantiers**
 - Réacteurs : piscine, neutrons rapides, etc.
 - Laboratoires, ateliers et usine
 - Reprise et conditionnement de déchets
 - **Tailles diverses d'installations**
 - **Sites nucléaires historiques**
 - **Anciennes installations de R&D**
 - ❖ Traçabilité des modifications limitée, historique souvent mal connu
 - ❖ Déchets très divers dont les solutions de gestion d'hier ne sont plus acceptables
 - **Anciennes installations de traitement chimique combustibles irradiés**
 - Niveau de contamination (et d'irradiation) pouvant être important
- **Absence d'effet de série**



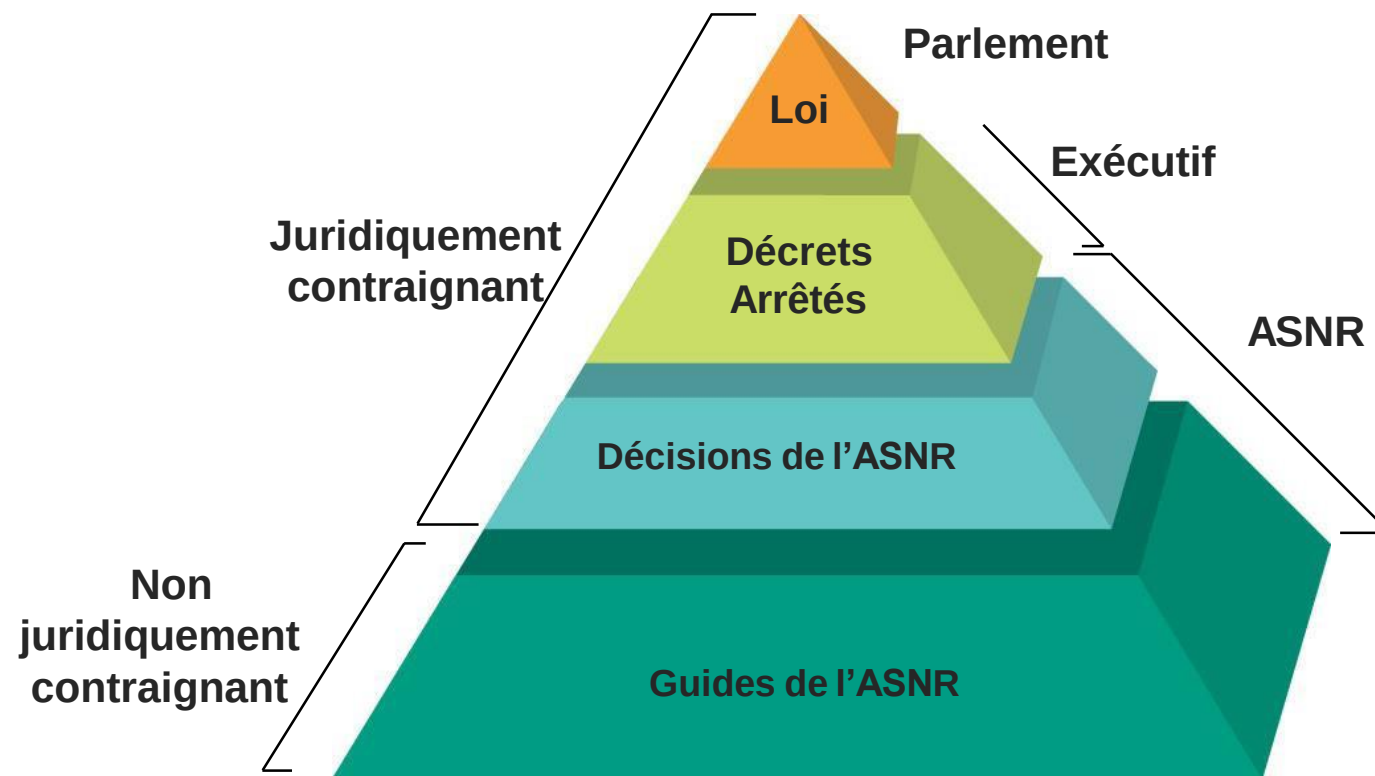
Chiffres clés du démantèlement pour les centres civils



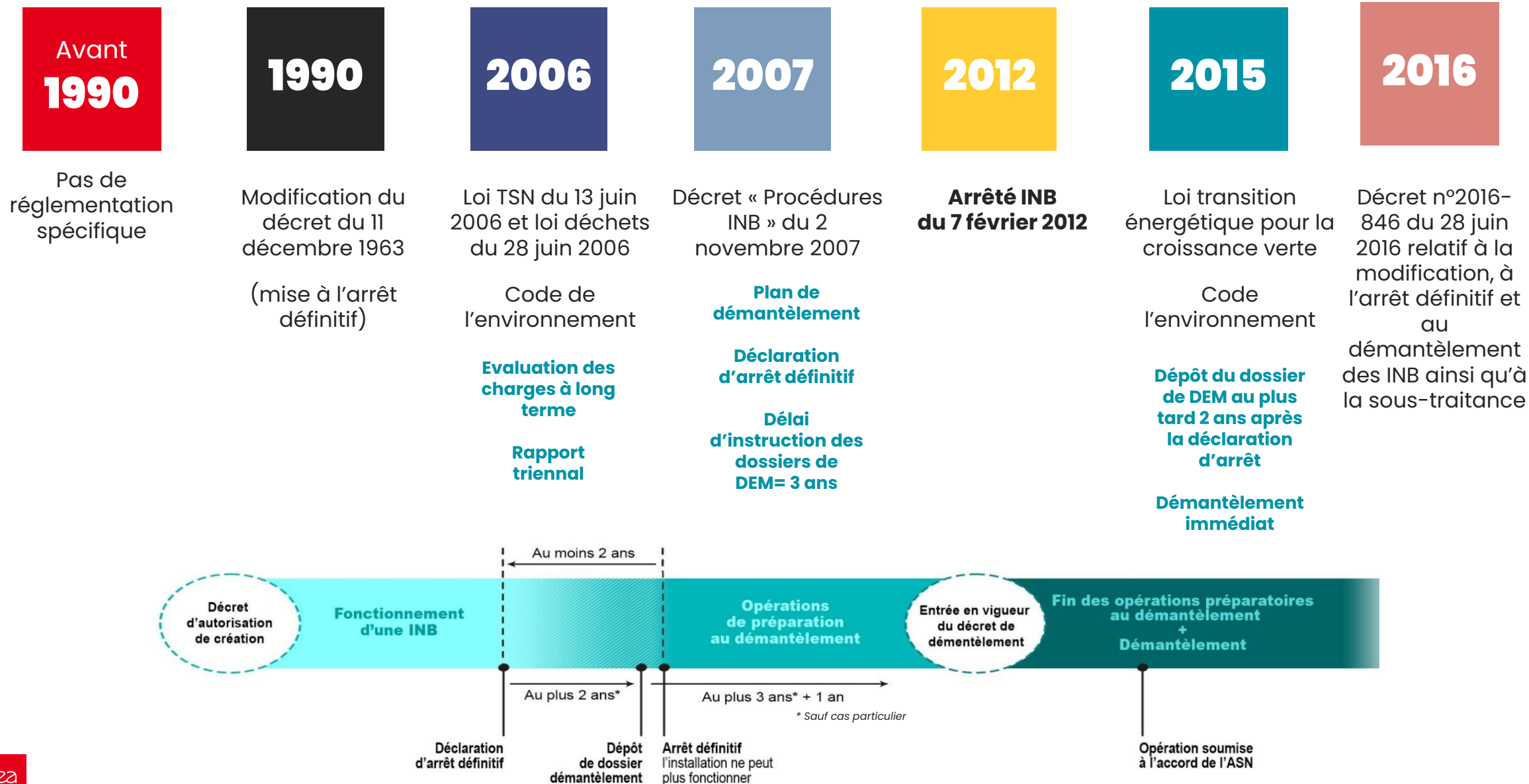


■ **Règlementation**

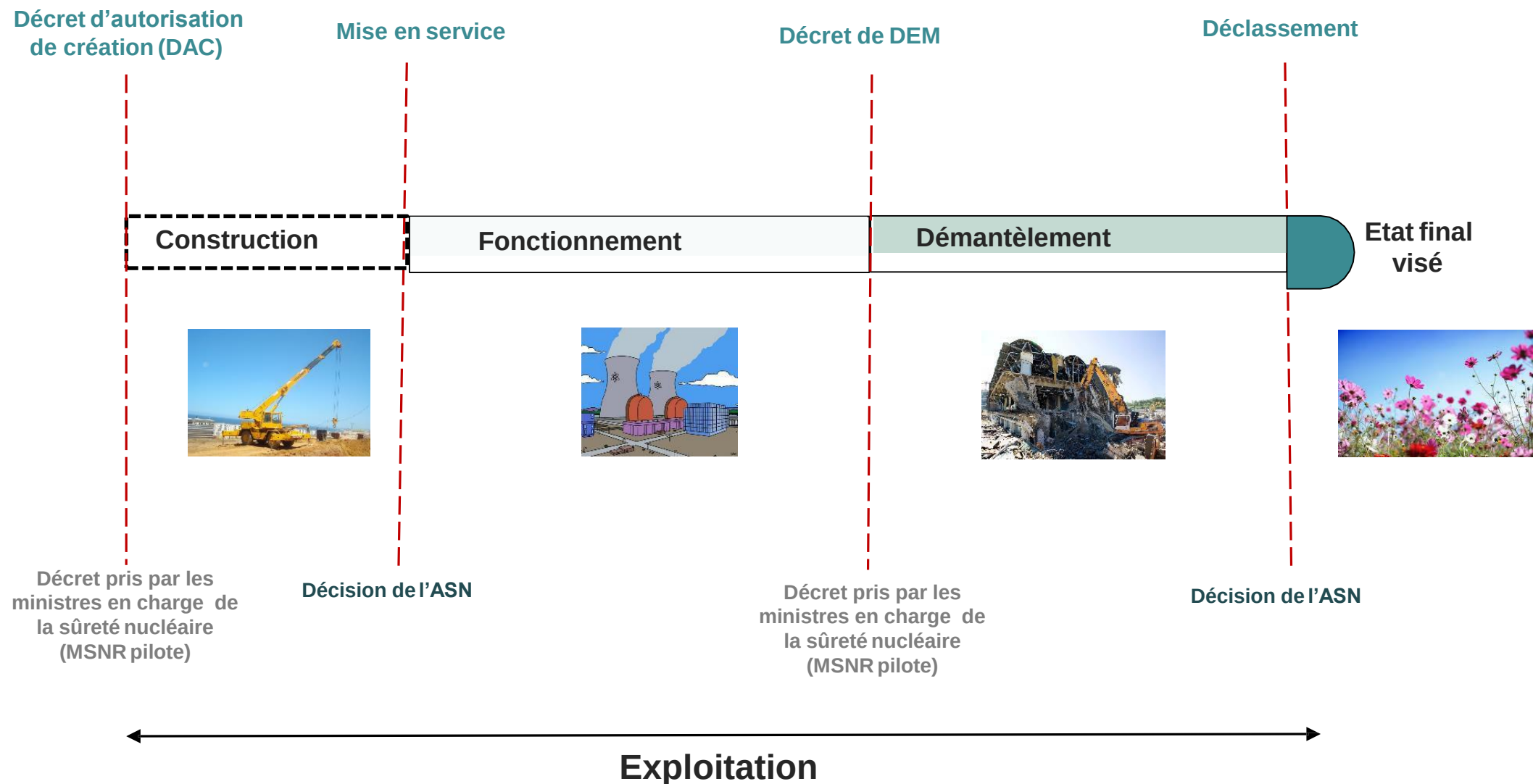
RAPPEL DE LA PYRAMIDE REGLEMENTAIRE



Evolution des textes réglementaires



DEFINITIONS



Exemples de déclassement

Réacteur SILOE
(Grenoble)



Centrale de Kahl (DE)



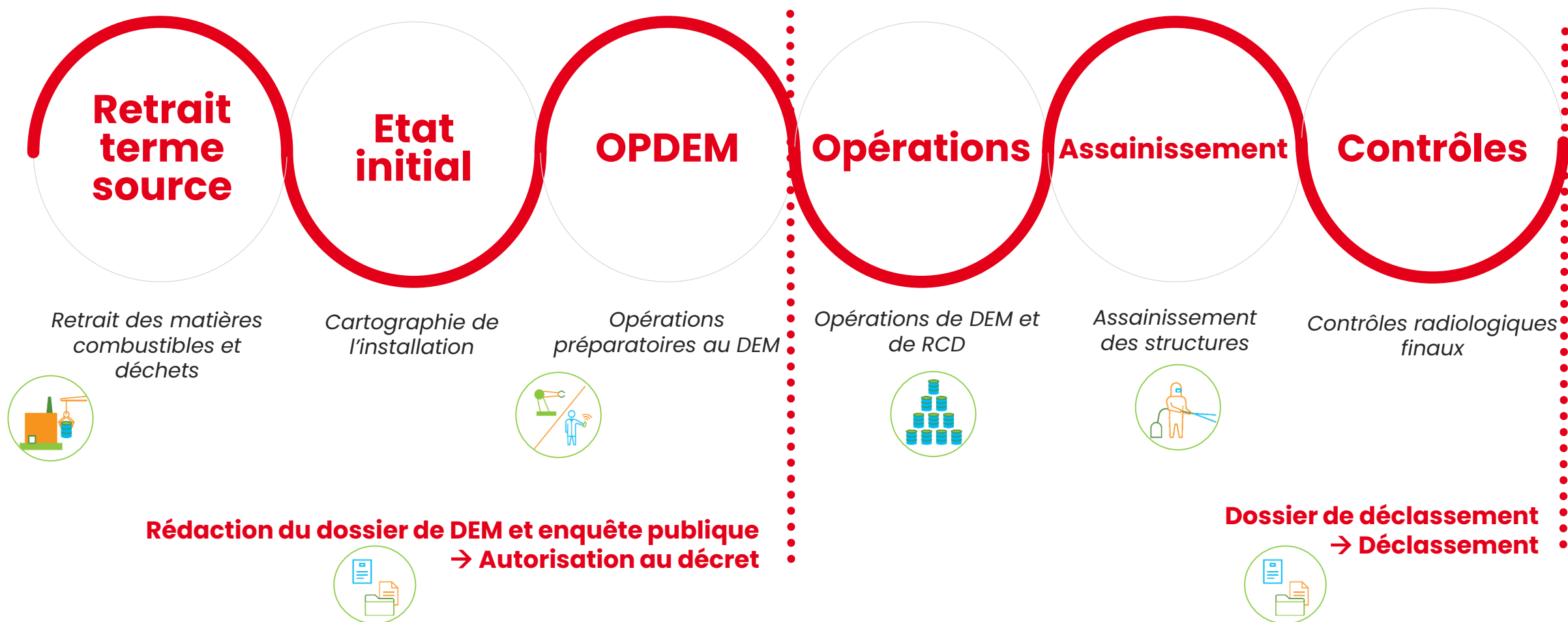
Guides de l'ASN : complète la réglementation

- N°1 **Stockage définitif des déchets radioactifs** en formation géologique profonde
- ...
- N°3 *Recommandations pour la rédaction des rapports annuels d'information du public relatifs aux installations nucléaires de base*
- ...
- N°6 **Mise à l'arrêt définitif, démantèlement et déclasséement des installations nucléaires de base en France**
- N°7 *Transport à usage civil de colis ou de substances radioactives sur la voie publique (3 tomes : expéditions, colis soumis et non soumis à agrément)*
- ...
- N°9 Déterminer les périmètres d'une installation nucléaire (INB)
- ...
- N°14 **Méthodologies d'assainissement complet acceptables dans les installations nucléaires de base en France**
- N°15 *Politique de Management de la sûreté dans les INB*
- ...
- N°23 **Plan de zonage déchets dans les INB**
- N°24 **Gestion des sols pollués par des activités d'une INB**
-

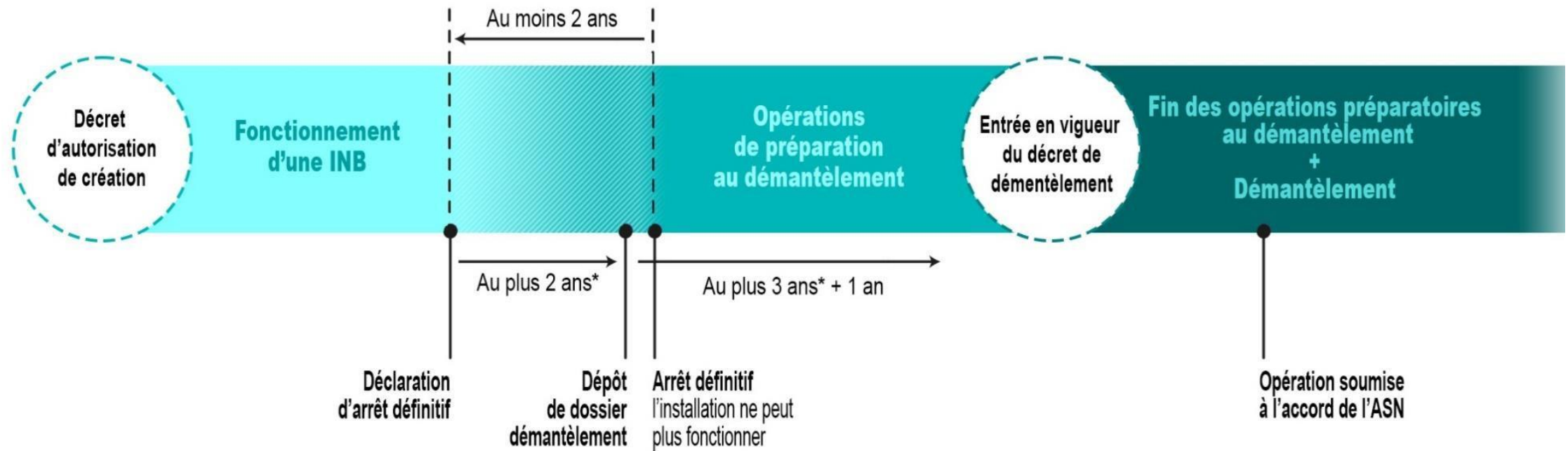


■ Les étapes du démantèlement

Processus d'assainissement et de démantèlement



Phase de la vie d'une INB



* sauf cas particuliers

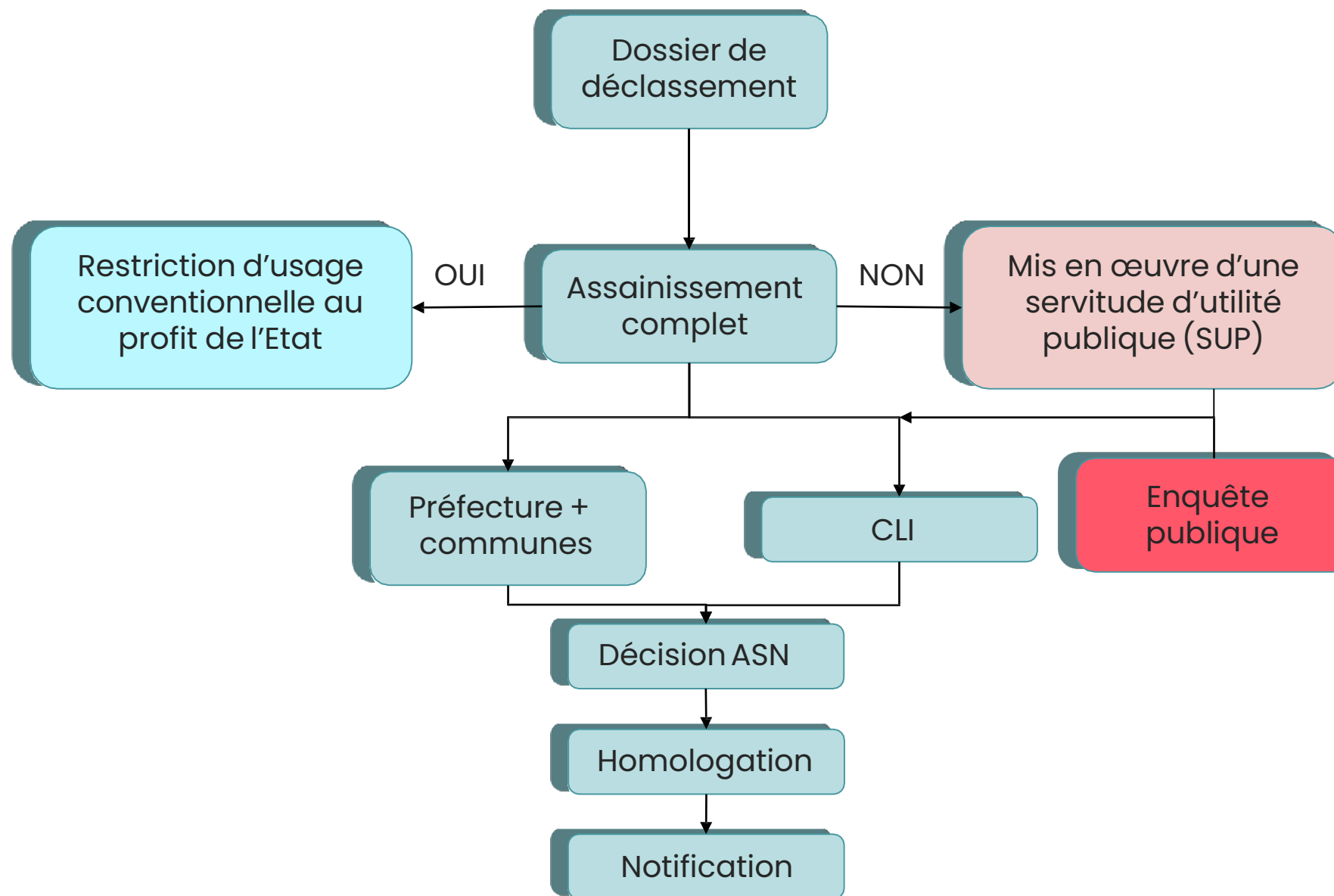


Cadre réglementaire

Art R. 593-67 (ex 37-1) : Composition du dossier de démantèlement

1. Noms, prénoms et qualité de l'exploitant
2. Description de l'installation avant les opérations de démantèlement
3. **Le plan de démantèlement**
4. Carte au 1/25 000
5. Plan de situation au 1/10 000 indiquant le périmètre de l'installation
6. Indication du changement du périmètre INB, le cas échéant
7. **Une étude d'impact**
8. **Le rapport préliminaire de sûreté**
9. L'étude de maîtrise des risques
10. La demande d'institution de servitudes éventuelles
11. Les sources d'émission des gaz à effet de serre éventuelles
12. Une notice comprenant
 - ✓ Capacités techniques et financières
 - ✓ Conformité des opérations envisagées avec les prescriptions législatives et réglementaires relatives à l'hygiène et à la sécurité du personnel

Le déclassement



Ce qu'il faut retenir des étapes du démantèlement

1. La déclaration d'arrêt définitif du fonctionnement de l'installation, la définition de l'état final visé, du planning envisagé
2. L'arrêt de fonctionnement de l'installation
3. La préparation au démantèlement : opérations visant à l'évacuation du terme source (règles d'exploitation normales)
4. Le démantèlement
 - différentes phases d'assainissement, de démantèlement et d'élimination de tout ou partie des équipements
 - atteinte de l'état final visé : état de long terme (étude de risques, surveillance éventuelle)
5. Le déclassement (fin du statut INB) : idéalement, libération inconditionnelle du site. Mise en place de servitudes



Sûreté en ■ démantèlement

CARACTERISTIQUES D'UNE INB EN DEMANTELEMENT

En démantèlement certains risques inhérents aux installations nucléaires sont réduits car :

- Le combustible est déchargé,
- Une partie des matières et déchets radioactifs est évacuée,
- Quelques équipements sont décontaminés.

⇒ Les fonctions de sûreté relatives à la maîtrise de la réactivité et à l'évacuation de la puissance résiduelle ne sont en général plus à assurer.

=> Le terme source radiologique est réduit :

- au modérateur ou au caloporteur s'ils n'ont pas été évacués,
- aux structures internes activées,
- aux équipements ou structures contaminés,
- aux déchets nucléaires stockés de manière transitoire.

CARACTERISTIQUES D'UNE INB EN DEMANTELEMENT

D'autres risques apparaissent car :

- Le démantèlement consiste à aller aux contact des termes sources pour les éliminer.
⇒ Le risque de dissémination de matière radioactive peut-être accru.
- Des procédés différents de ceux mis en œuvre en exploitation sont utilisés.
⇒ Ces nouveaux procédés peuvent induire de nouveaux risques.
- Du fait des simplifications “permanentes” de l'installation, son état évolue rapidement .
⇒ Difficulté à gérer la configuration (documentation à jour,...)
- Des opérations de démantèlement peuvent être menées en parallèle.
⇒ Risque d'interaction entre ces opérations
- Les opérateurs expérimentés peuvent avoir été redéployés sur d'autres installations.
⇒ Perte de compétences clés
- Pendant le démantèlement, les rejets et l'exposition des personnels peuvent être transitoirement supérieurs à la phase d'exploitation
=> Accroissement des dispositions de radioprotection des travailleurs
=> Acceptabilité par le public

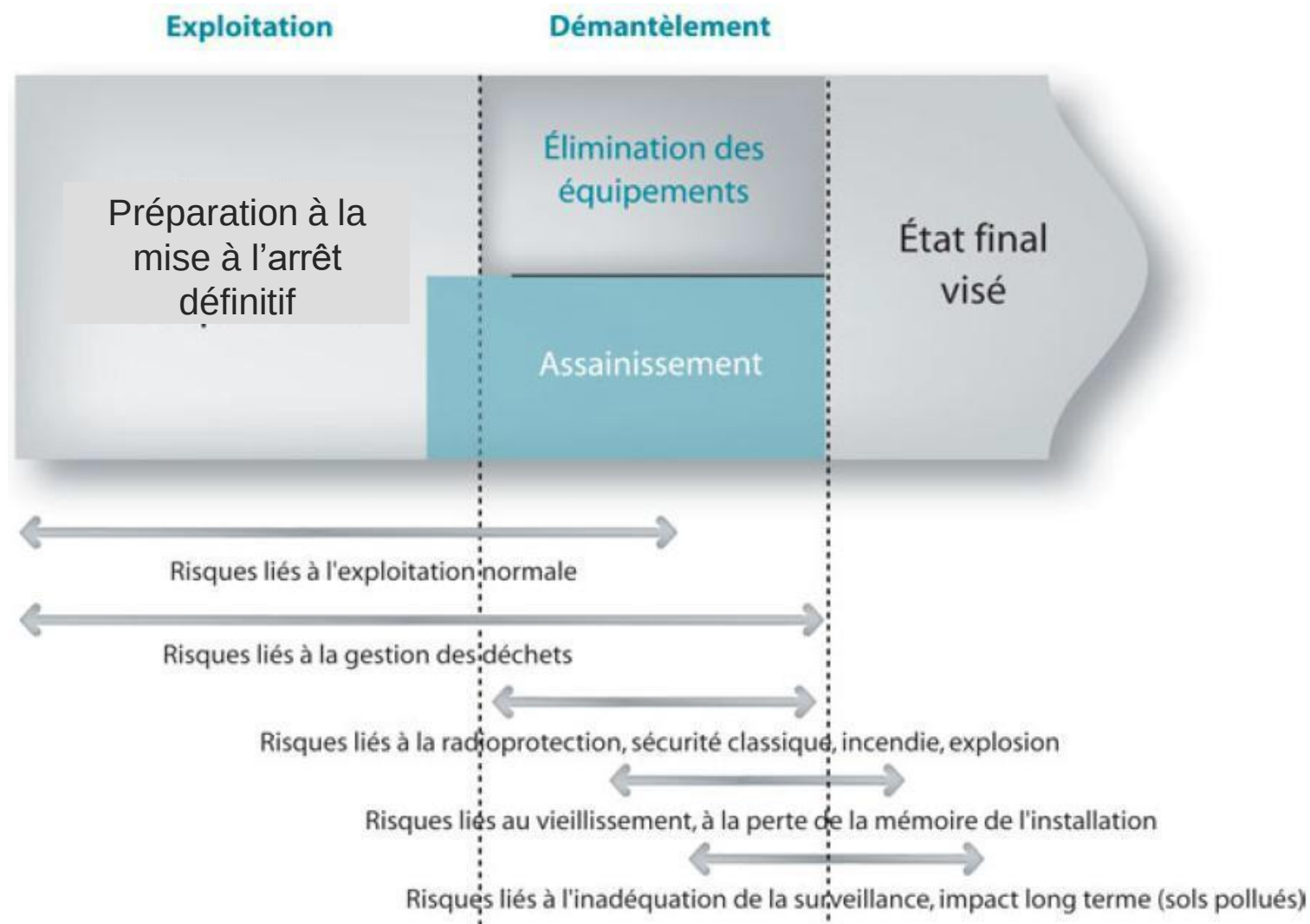
CARACTERISTIQUES D'UNE INB EN DEMANTELEMENT

Au final

- Les risques nucléaires pour les populations et l'environnement sont réduits mais l'impact du fonctionnement normal peut être accru de manière transitoire
- Les risques d'exposition des personnels peuvent être accrus transitoirement
- La sécurité des nombreux chantiers est un enjeu majeur
- Le maintien d'une compétence élevée dans l'installation est nécessaire
- L'évolution « permanente » de l'état de l'installation doit faire l'objet d'une gestion rigoureuse

=> **En démantèlement les risques évoluent mais la sûreté et la sécurité doivent être assurées avec un niveau d'exigence aussi élevé qu'en exploitation**

Les risques prédominants lors du démantèlement



Démarche de sûreté en démantèlement



- ▶ Trois niveaux de défense en profondeur sont considérés en exploitation nucléaire :
 - ◆ Prévention (des événements anormaux) : des dispositions sont prises pour maintenir l'installation dans son domaine de fonctionnement normal,
 - ◆ Détection et limitation des conséquences des situations dégradées : il est supposé que des situations dégradées peuvent se produire. Des dispositions sont prises pour détecter ces situations et ramener l'installation dans un état sûr,
 - ◆ Limitation des conséquences des accidents : En complément, il est postulé que des accidents conduisant à une perte de confinement ou une exposition du public peuvent se produire. Des dispositions sont prises afin de limiter les conséquences de ces situations à un niveau "tolérable" * pour le public et l'environnement

** : en pratique on vise à l'absence de contre mesure sanitaire pour le public*

Démarche de sûreté en démantèlement



► Prévention

- ◆ Pour les équipements existants, définition de procédures (démantèlement après décontamination, utilisation d'outils non disséminant) et mise en œuvre de confinements adaptés (statique, dynamique, statique + dynamique) et de rétentions,
- ◆ Pour les équipements nouveaux, spécifiques au démantèlement et importants pour la sûreté, définition du procédé, des critères de dimensionnement et des procédures d'exploitation adaptées

► Détection

- ◆ suivi des paramètres de sûreté des opérations et procédures de repli en cas de franchissement de seuils,

► Limitation des conséquences

- ◆ Basée sur un ou plusieurs systèmes de confinement adaptés aux risques radiologiques (voire chimiques) présents dans l'équipement.

Le caractère suffisant du ou des systèmes de confinement mis en œuvre est justifié par l'étude des accidents et de leurs conséquences



■ Opérations en démantèlement

Evacuer le terme source

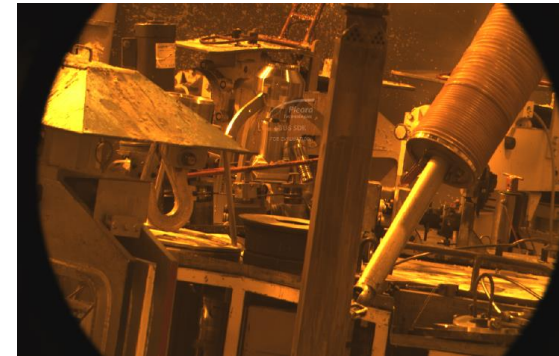
- ❑ Evacuer les combustibles
- ❑ Nettoyer les équipements
- ❑ Evacuer les déchets des procédés – vider les cuves
- ❑ Gérer les déchets historiques en fosse, en tranchées



Assainissement à l'eau sous pression et aspiration des effluents



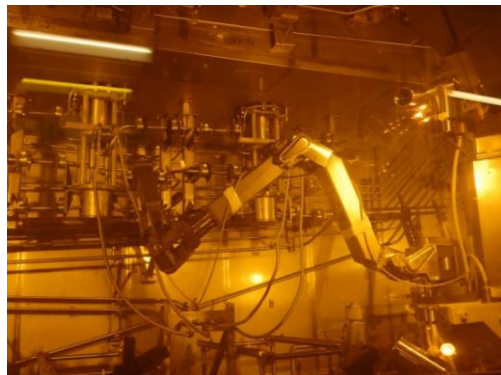
Plongeur aspirant des boues en fond de piscine



?

Démanteler les procédés

➤ Démantèlement téléopéré



Porteur BROKK et bras équipé pour une découpe à la disqueuse

➤ Démantèlement au contact



➤ Démantèlement d'une chaîne blindée



Exemples d'opérations



Sas d'intervention



Sortie de l'élément filtrant du sas d'intervention

Exemples d'opérations

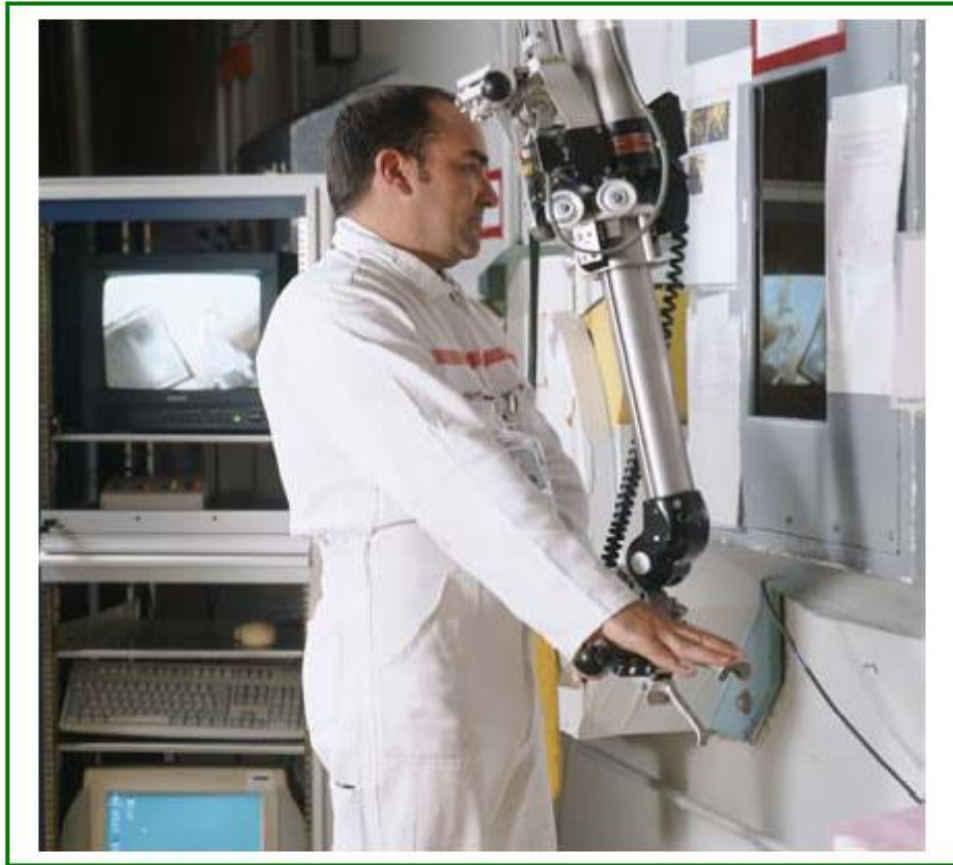


*Découpe à la scie alternative
dans une boîte à gants*



*Découpe à l'eau sous haute pression
(1 000 à 4 000 bars) avec abrasif*

Exemples d'opérations



Opérateur s'entraînant à l'utilisation d'un télémanipulateur. Grâce à ce système, l'opérateur peut manipuler la matière radioactive en restant protégé des rayonnements ionisants : le bras dit maître, situé à l'extérieur de la cellule blindée, guide un bras 'esclave' situé à l'intérieur de la cellule. Une vitre en plomb permet la protection biologique de la personne. Le champ de vision de l'opérateur est accentué grâce à l'usage de caméras vidéos (angle mort, manque d'éclairage....).

Exemples d'opérations



Porteur BROKK et bras équipé pour une découpe à la disqueuse

Exemple d'un chantier d'A&D : LPC (Vidéo)



Parmi les opérations les plus impressionnantes

Démanteler les utilités générales



Assainir les structures

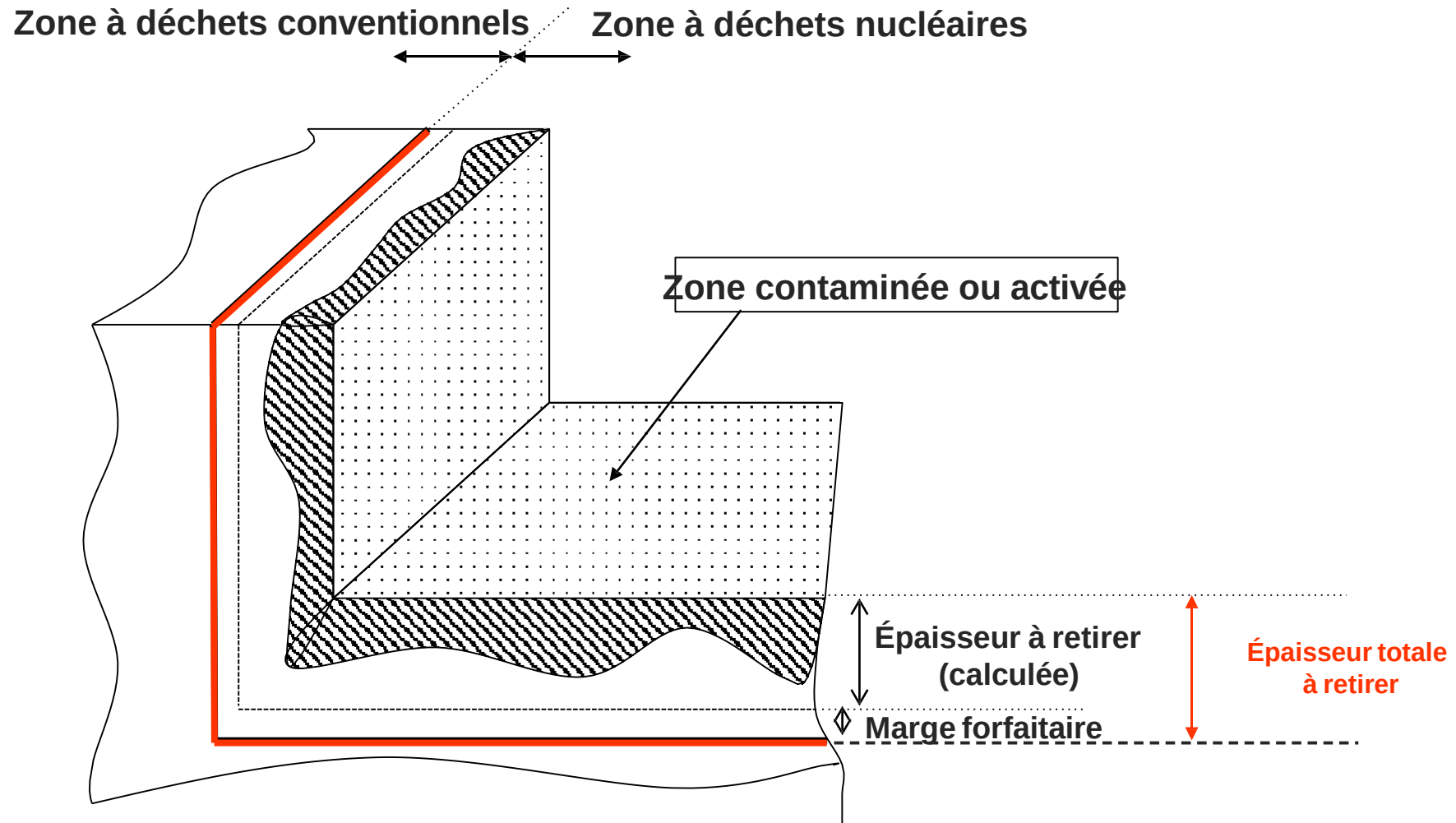


Assainissement d'une cellule au CEA Fontenay-aux-Roses



Cellule en cours d'assainissement final à l'INB 49 au CEA Saclay

Assainissement final



Exemples d'opérations



Opérations de découpe sur béton (à gauche) ou acier (à droite). Les opérateurs travaillent en tenue adaptée, ventilée ou avec masque. Les chantiers sont protégés par un sas de protection qui assure le confinement radioactif.



Déconstruire les bâtiments et assainir le site





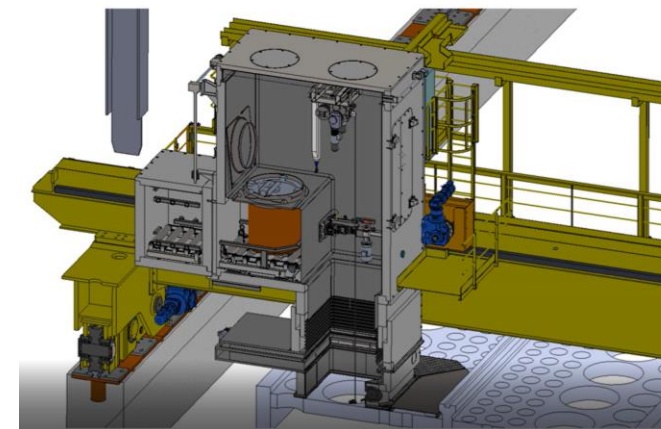
■ Appuis au démantèlement

Construire pour démanteler

Investir et construire afin de pouvoir reprendre, traiter, conditionner et entreposer les déchets repris lors des opérations

- **Rôle des Installations de Service Nucléaire**
 - **Traiter les déchets solides et liquides**
 - **Expédier les déchets vers les exutoires opérationnels (CSA et CIREs)**
 - **Entreposer les déchets Vie Longue dans l'attente mise en service exutoires**
 - **Entreposer les déchets Irradiants Vie Courte pour décatégorisation avant envoi au CEA**
 - **Entreposer les combustibles usés et les matières**
 - **Conteneuriser et/ou conditionner les combustibles**
 - **Traiter les combustibles usés**

Objectif : disposer des installations adaptées aux besoins, notamment des programmes d'A&D, et répondant aux contraintes budgétaires et aux exigences réglementaires



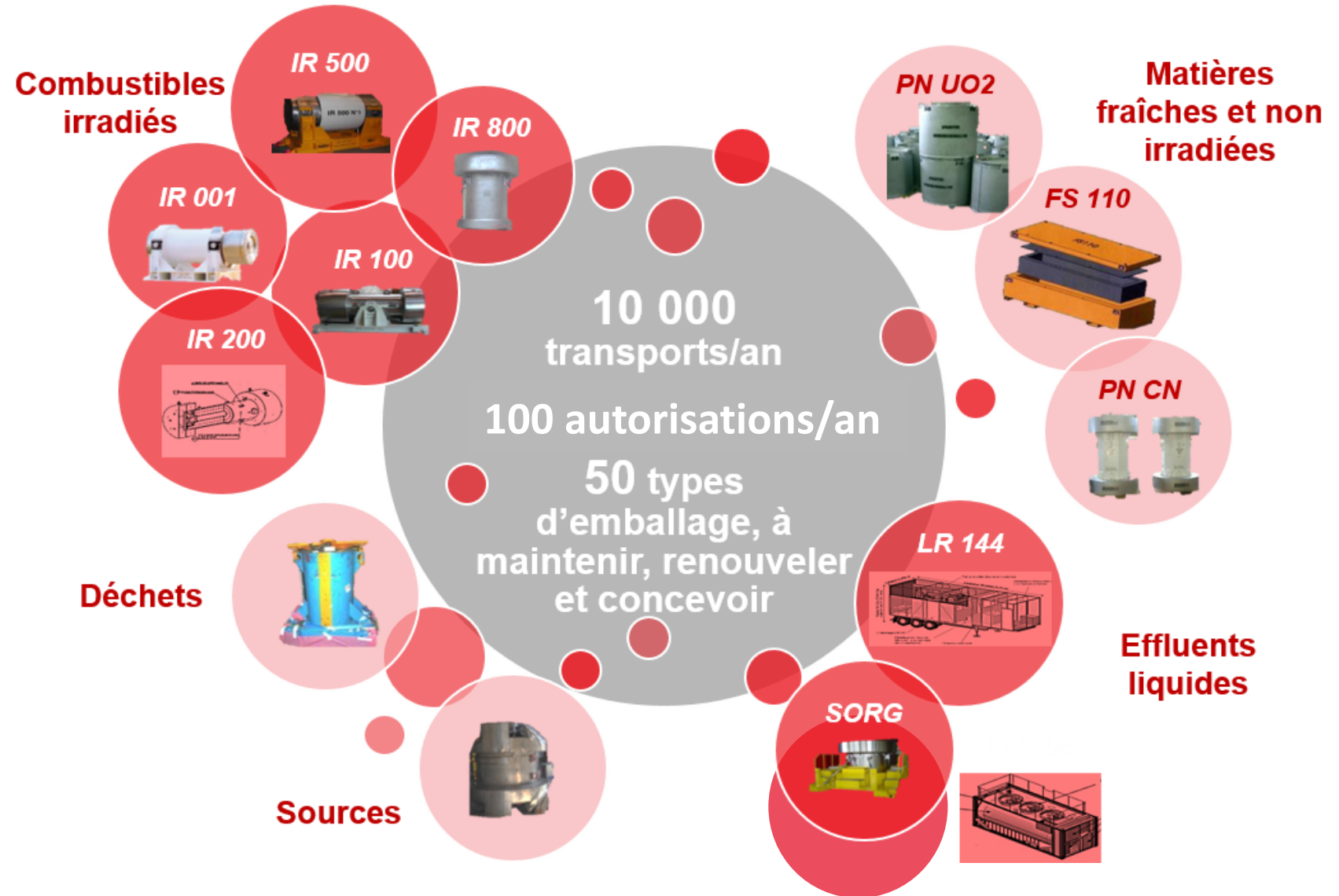
Projet VRAC-MI au CEA Cadarache – reprise de déchets en vrac d'une installation d'entreposage vers une installation moderne sur le même site



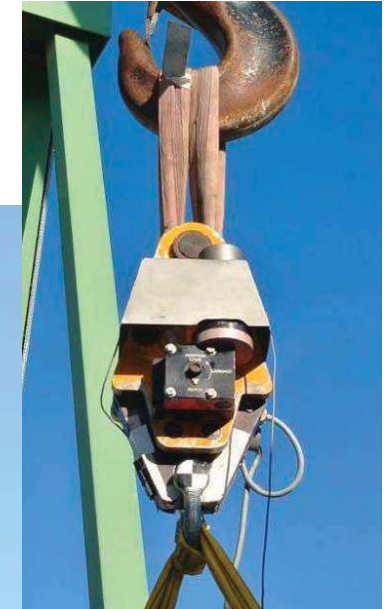
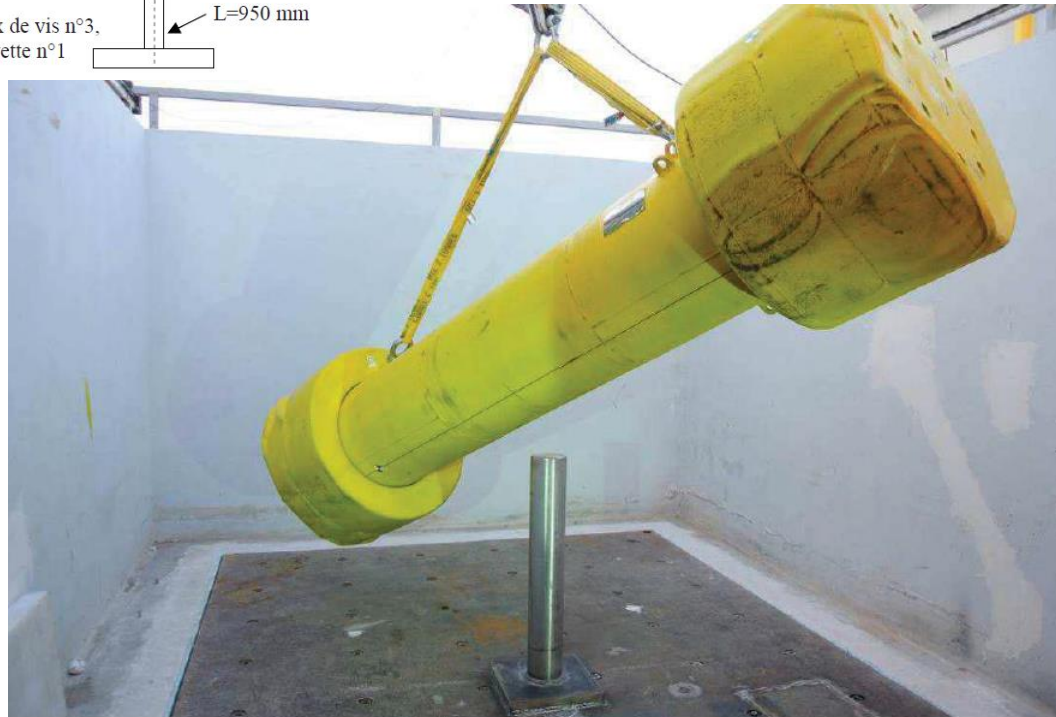
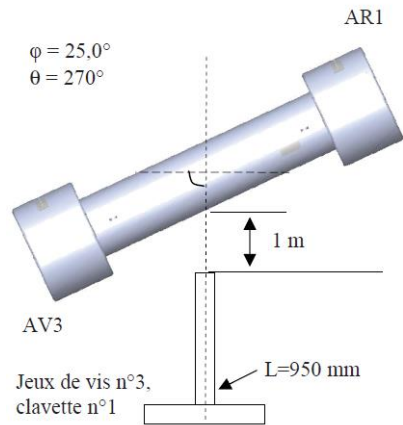
Installation DIADEM – Installation neuve pour entreposer les déchets de moyenne activité hautement irradiants issus du démantèlement des installations du CEA **48**

Transports et emballages

- Conception
- Fabrication, duplication d'emballages
- Maintien en conditions opérationnelles du parc d'emballages
- Transport
- Démantèlement des emballages



Qualification d'un emballage de transport





R&D pour A&D

Plusieurs enjeux :

- Résoudre les problèmes techniques d'opérations sur de nombreux chantiers complexes, en cours et à venir
- Contribuer à la minimisation des délais, coûts & déchets et améliorer la sûreté des projets en trouvant des solutions de gestion pour les déchets

Objectifs :

- Apporter des solutions techniques performantes en matière de productivité, de qualité, de délais et de coûts
- Développer des standards et guides en A&D fondés sur les REX opérationnels des chantiers
- Valoriser la R&D et l'expérience du CEA auprès des industriels (en France et à l'international).

Programme R&D pour A&D : enjeux & stratégie

- **6 thématiques techniques** pour couvrir l'ensemble des besoins des chantiers d'A&D et de RCD



Evaluation

De l'état radiologique initial et final des installations et des sols



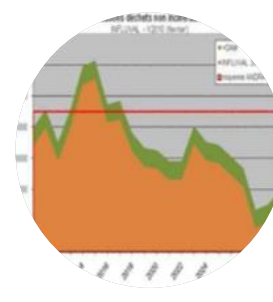
Caractérisation

Des déchets et des effluents



Décontamination

Des structures, des sols et des déchets



Méthodes et outils

Qualification des solutions technologiques



Traitement et conditionnement

Des effluents et déchets



Opérations

En milieu hostile

- **Une déclinaison en 3 volets en fonction de la temporalité des besoins**

Court terme (3-5 ans)
Soutien technique opérationnel



Moyen-long terme (> 5 ans)

R&D PROSPECTIVE

Contribuer à la réalisation des **10 projets d'A&D et RCD prioritaires : des optimisations techniques et économiques**, à sureté équivalente

Porter les études générales & transverses DDSD (et partenaires industriels)



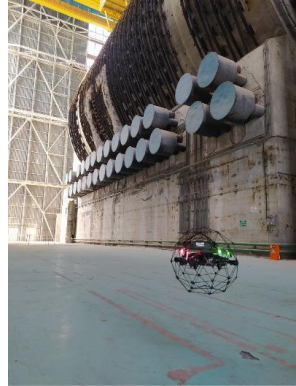
Long terme (> 10 ans)

R&D académique

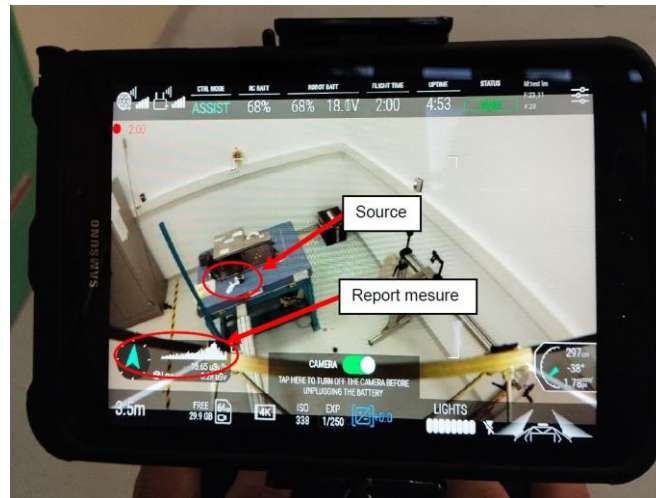
Identifier/anticiper de nouvelles pistes de recherche pour les sujets des années à venir

Tisser un réseau actif entre les chercheurs et les projets dans le domaine de l'A&D

Exemples d'opérations de R&D



Vérification de la structure du Réacteur G2 avec un drone



Qualification d'un drone avec une sonde radiologique en environnement réel

Conditionnement de déchets de chimie complexe



Vue d'ensemble du procédé de vitrification Dem&Melt

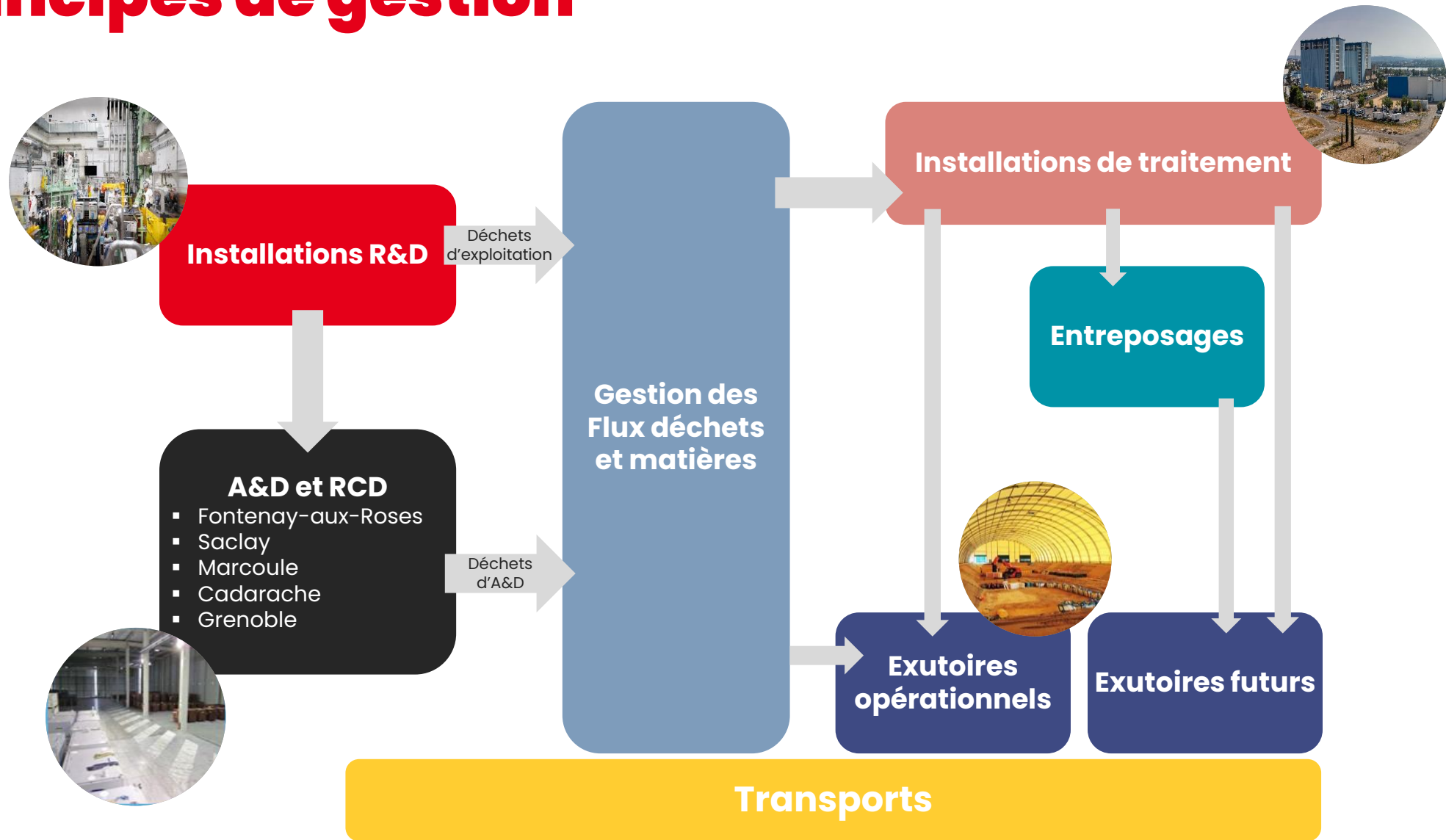


Conteneur In Can à l'intérieur du four de vitrification et découpe du Can



■ **Gérer les déchets**

Principes de gestion



Le cadre législatif pour les déchets



❑ La loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs et dispositions nationales

❑ Codifiée au chapitre II du titre IV du livre V du code de l'environnement et fixe les 3 principes majeurs

Assurer la gestion dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de de l'environnement

La recherche et la mise en œuvre de solutions pour leur gestion ne doit pas être différée, afin de prévenir et de limiter les charges qui seront supportées par les générations futures

La responsabilité de la gestion des déchets radioactifs et du combustible usé incombe en premier lieu à leurs producteurs.

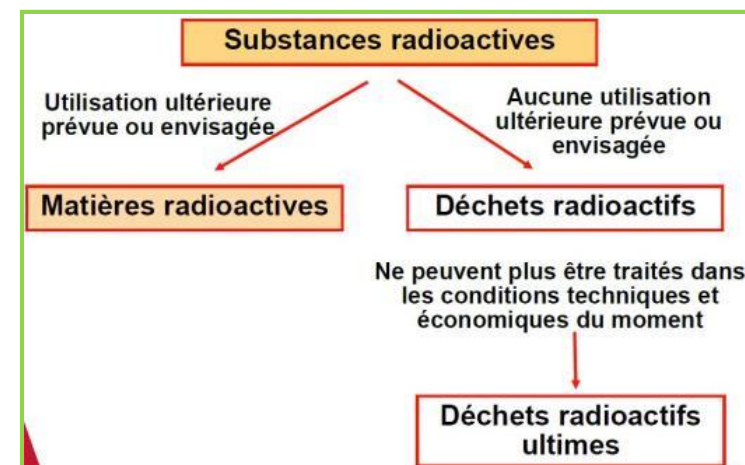
❑ Fixe le cadre de la gestion de l'ensemble des déchets radioactifs :

- La réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs, notamment par le traitement des combustibles usés et le conditionnement des déchets radioactifs ;
- L'entreposage dans des installations spécialement aménagées des matières radioactives en attente de traitement et des déchets radioactifs ultimes en attente d'un stockage ;
- Après l'entreposage, le stockage en couche géologique profonde comme solution pérenne pour les déchets radioactifs ultimes ne pouvant être stockés en surface ou en faible profondeur, pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection.
- Interdiction de stockage en France des déchets radioactifs produits à l'étranger, seul le passage pour une durée limitée est autorisé (traitement, transfert entre états étrangers ou R&D)
- Adoption tous les 5 ans d'un plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) :
 - Dresse le bilan de la gestion en France
 - Définit les objectifs à atteindre pour les déchets ne disposant pas de gestion définitive

❑ Met en place un dispositif de sécurisation du financement des charges à long terme y compris celles liées au démantèlement des installations nucléaires : pollueur payeur

Définitions

- **Substance radioactive (L542-1-1)** : Une substance radioactive est une substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection
- **Matière radioactive (L542-1-1)** : Une matière radioactive est une substance radioactive pour laquelle une utilisation ultérieure est prévue ou envisagée, le cas échéant après traitement
- **Déchets radioactifs** : Les déchets radioactifs sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée
- **Déchets radioactifs ultimes** : Les déchets radioactifs ultimes sont des déchets radioactifs qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux



La 1^{ère} brique : le zonage déchets

- ❑ Définit les zones dans lesquelles les déchets nucléaires sont produits : optimise la gestion des déchets

« Déchets nucléaires »

Les déchets issus de zone à déchets « nucléaires » ou « zones à production possibles de déchets nucléaires » sont dits « déchets nucléaires ». Ils sont contaminés, ou activés ou susceptibles de l'être.

Déchets conventionnels

Les déchets issus des zones à déchets conventionnels (ZSRA et ZNC au CEA)

- ❑ Évolue au court de la vie de l'installation
- ❑ Assure la traçabilité indispensable à l'état initial du démantèlement
- ❑ Est spécifique pour l'assainissement final des structures (guide 14)

Le zonage déchets – Signalétique

Des balisages spécifiques sont placés sur les portes d'accès et dans les locaux zonés



Vous entrez en

ZONE DECHETS

NUCLEAIRES

Il est INTERDIT de rentrer

Tout matériel ou produit qui ne pourrait pas être évacué en DECHET NUCLEAIRE

Vous devez :

Limiter l'entrée de matériels et de produits au STRICT NECESSAIRE

Mettre en œuvre les solutions qui produisent LE MOINS DE DECHETS

VERIFIER PREALABLEMENT que les conteneurs en place permettront le conditionnement de vos déchets

SIGNALER tout EVENEMENT radiologique au SPR

En cas de doute, n'improvisez pas

Vous adresser au bureau des autorisations de travail ou Consulter le correspondant déchets

M.

Tél.

Vous sortez de

ZONE DECHETS

NUCLEAIRES

pour entrer en

ZONE DECHETS

CONVENTIONNELS

ATTENTION !

N'ABANDONNEZ PAS vos déchets
Aucun déchet ne doit sortir de cette zone sans l'accord du correspondant déchets

VOUS DEVEZ :

- Signaler tout événement radiologique au SPR
- Effectuer un contrôle radiologique corporel et vestimentaire
- Faire effectuer par le SPR un contrôle de votre matériel

Chef de quart SPR Tél.

En cas de problème avec vos déchets, vous adresser au Correspondant déchets

M.

Tél.



Classification des déchets radioactifs

Période radioactive* Activité**	Vie très courte (VTC) (période < 100 jours)	Principalement vie courte (VC) (période ≤ 31 ans)	Principalement vie longue (VL) (période > 31 ans)
Très faible activité (TFA) < 100 Bq/g	 Gestion par décroissance radioactive		Stockage de surface (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage)
Faible activité (FA) entre quelques centaines de Bq/g et un million de Bq/g		 Stockage de surface (centres de stockage de l'Aube et de la Manche)	 Stockage à faible profondeur à l'étude
Moyenne activité (MA) de l'ordre d'un million à un milliard de Bq/g			 Stockage géologique profond en projet (projet Cigéo)
Haute activité (HA) de l'ordre de plusieurs milliards de Bq/g	Non applicable		Stockage géologique profond en projet (projet Cigéo)

* Période radioactive des éléments radioactifs (radionucléides) contenus dans les déchets.

** Niveau d'activité des déchets radioactifs.

Un déchet peut parfois être classé dans une catégorie définie mais être géré dans une autre filière de gestion du fait d'autres caractéristiques (par exemple sa composition chimique ou ses propriétés physiques).

CIRES

Une filière récente

Premières livraisons : Oct. 2003

CSA

En exploitation depuis 1992

Les stockages en France

TFA



CIRES

FMA-VC



CSA

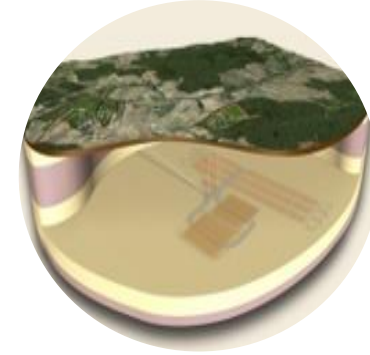
FA-VL



?

MA-VL

HA

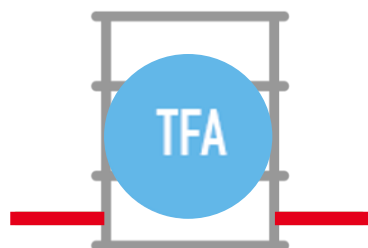


Cigéo (>2035)

STOCKAGE FMA/VC (ANDRA)



Coût des déchets



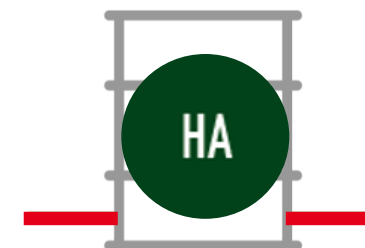
1k€/m³



5k€/m³



80 k€/m³



1250 k€/m³

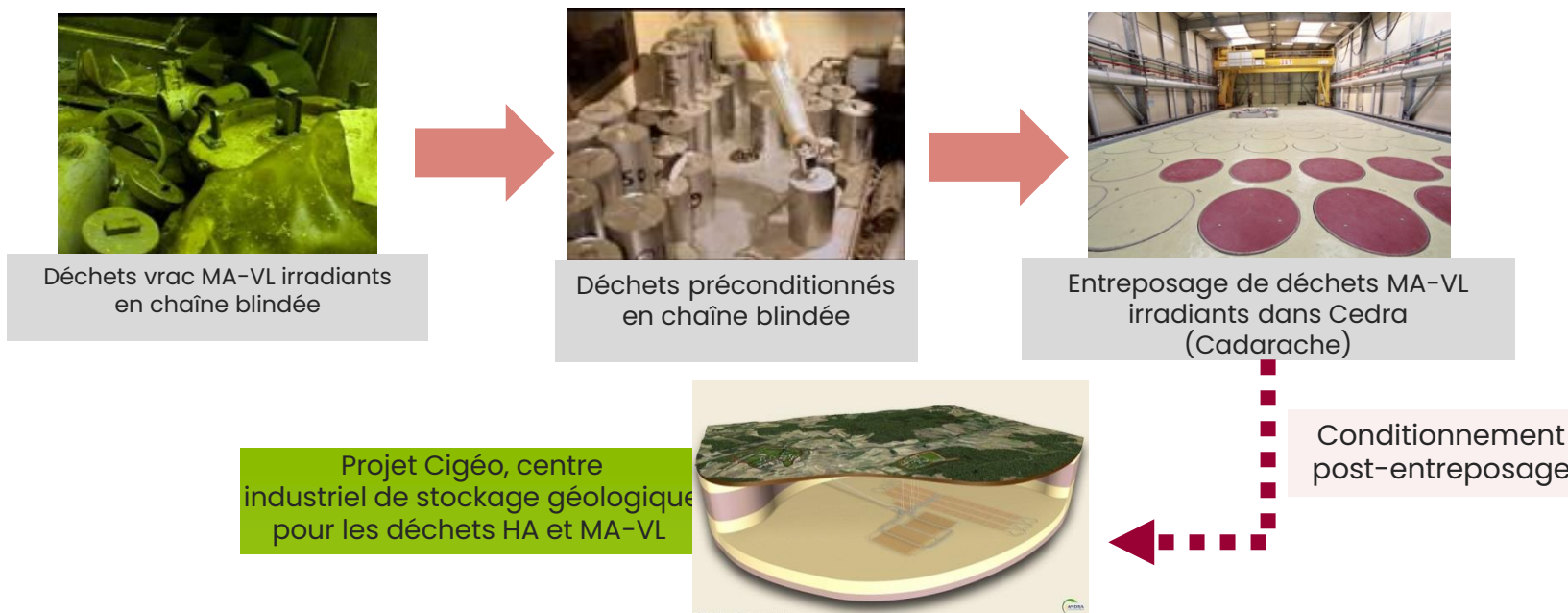
**Facteur de risque sur les coûts
des projets d'assainissement**

**Importance de
la caractérisation**

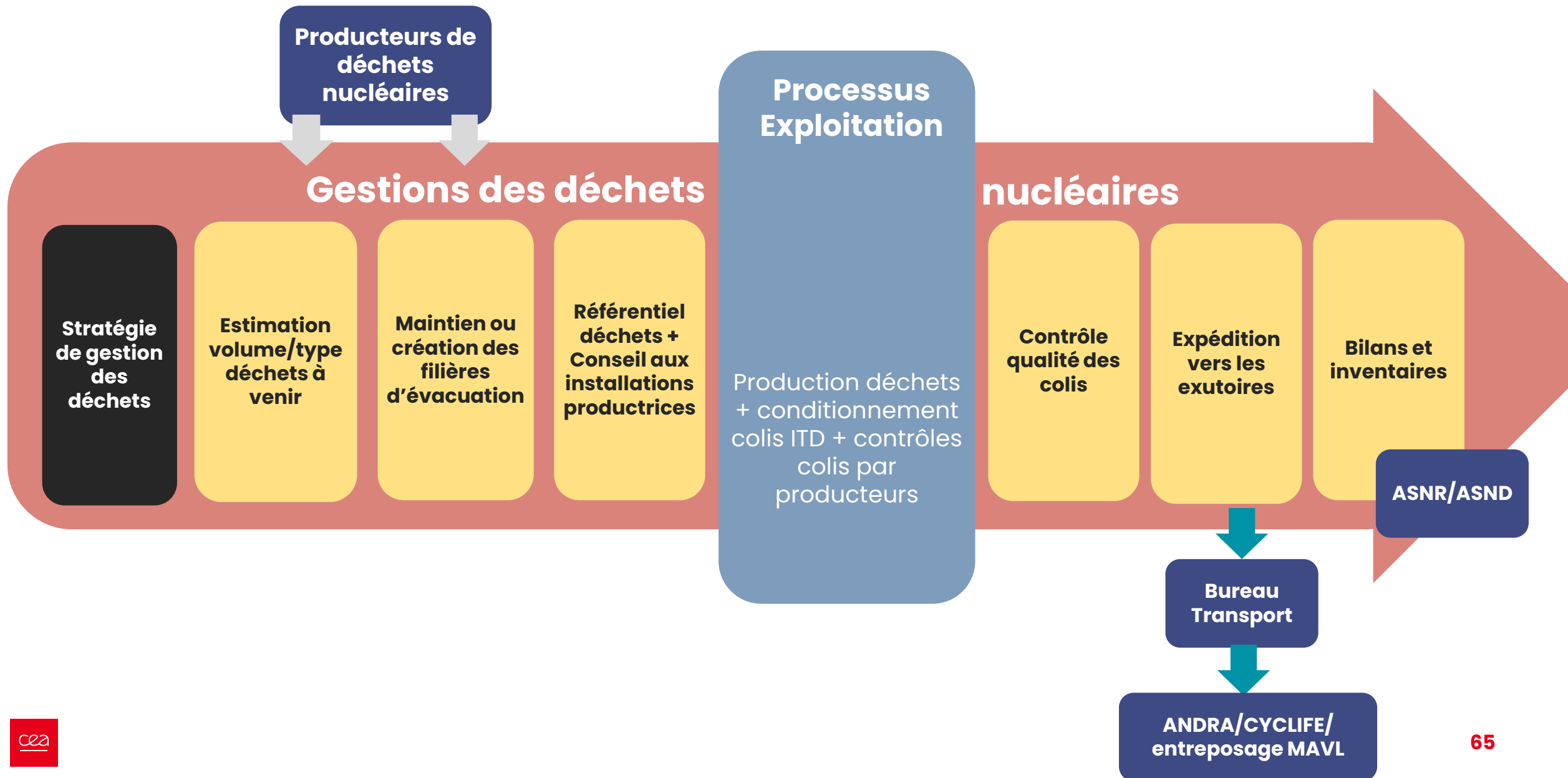
Politique CEA de gestion des déchets

- La politique de gestion des déchets radioactifs du CEA s'appuie sur:
- Le garantie de la traçabilité des déchets issus des installations nucléaires (zonage déchets, caractérisation, contrôle),
 - un envoi en ligne des déchets vers les exutoires lorsque ces derniers existent,
 - la minimisation du volume des déchets produits,
 - L'optimisation de leur catégorisation

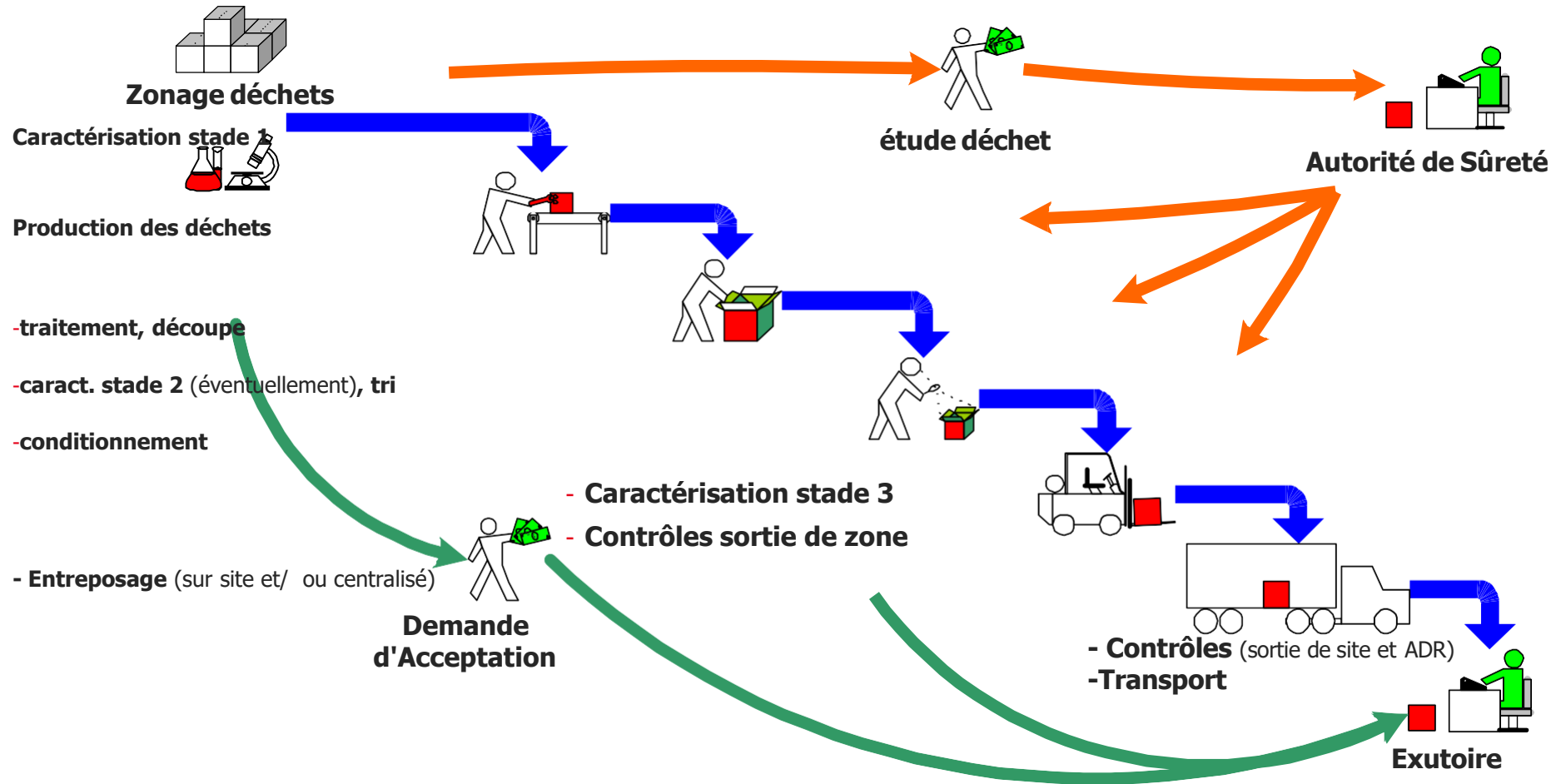
Les déchets ne disposant pas d'exutoire (en attente des sites de stockage FAVL et HA-MAVL) sont repris en fonction des priorités de sûreté pour être entreposés dans des installations dédiées



Le processus de gestion des déchets



ORGANISATION GENERALE DES CONTRÔLES





■ CONCLUSION

Pour résumer l'A&D au CEA (vidéo)



Gérer la **FIN DE VIE**
des installations & des déchets

...pour **MINIMISER**
notre impact sur
l'environnement !

...assurer la **SÉCURITÉ**
des personnes & la **SÛRETÉ**
des installations !

PROGRAMME ASSAINISSEMENT & DÉMANTÈLEMENT

