

DEEP DIVE IN NUCLEAR ENERGY

Part VI : Déconstruction des installations nucléaires

Dominique GRENECHE

Nuclear Consulting

PLAN

- *Qu'est que la déconstruction*
- Les grandes étapes
- Les technologies utilisées
- Le retour d'expérience et les programmes
- Les déchets générés
 - Généralités
 - La question des seuils
 - Le traitement, le conditionnement et l'évacuation
- Le cadre réglementaire
- Les coûts et le financement

Quelques définitions⁽¹⁾

- **La “déconstruction”** d'une installation nucléaire est l'ensemble des opérations administratives et techniques conduisant dans un délai donné, à **l'élimination totale** de cette installation, par une suite programmée de démantèlements.

- **Le “Démantèlement”** est un ensemble d'opérations techniques exécutées pour **démonter** et éventuellement mettre au rebut un **équipement ou une partie** d'une installation nucléaire.

- **Le “déclassement”** est l'ensemble des opérations administratives et réglementaires destinées soit à classer

(1) Dictionnaire des sciences et techniques nucléaires – 4ème édition – 2008

(2) Dans la réglementation française, le démantèlement est la phase de la déconstruction qui comprend toutes les opérations postérieures au décret de “Mise à l'arrêt définitif” (MAD). Cet arrêt est alors

à en supprimer le classement initial

déconstruction

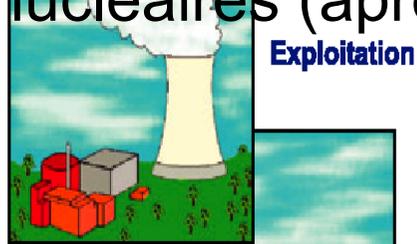
- Les pratiques de déclassement arrivent à **maturité** et peuvent être considérées désormais comme une **phase maîtrisée** du cycle de vie d'une installation nucléaire, et un véritable **secteur industriel**, parfois de haute technologie, ou interviennent de **nombreux acteurs**.
- Quelques chiffres permettent d'apprécier l'étendue des enjeux commerciaux :
 - Une centaine de **centrales nucléaires** de puissance ont déjà été mises hors service dans le monde, dont 9 en France (6 UNGG, SPX, EL-4, Chooz-A)
 - Des dizaines **d'usines connexes du cycle** du combustible (enrichissement, fabrication du combustible, retraitement du combustible irradié, ...) ont été fermées ou seront prochainement mise hors service. En France, FBFC (fab.), AT1 et UP2 (ret. RNR et UNGG), Elan-IIB (fab. Sources Cs), ATPu (Mox), bientôt GB-I (enrich.)
 - De multiples **installations de R&D** sur le nucléaire définitivement fermées. En France, essentiellement au
CEA : une bonne vingtaine (Sac., FAR, Cad., Gren.)
 - D'énormes installations de productions **militaires**, essentiellement aux USA et en ex-URSS. En France, UP-1 et G2 G3 à Marcoule et Usines d'enrichissement à Pierrelatte

PLAN

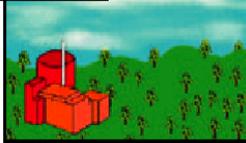
- Qu'est que la déconstruction
- **Les grandes étapes**
- Les technologies utilisées
- Le retour d'expérience et les programmes
- Les déchets générés
 - Généralités
 - La question des seuils
 - Le traitement, le conditionnement et l'évacuation
- Le cadre réglementaire
- Les coûts et le financement

déconstruction”

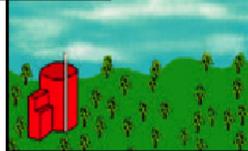
En général, tous les acteurs du secteur admettent la “classification” AIEA en **3 niveaux** pour les installations nucléaires (après la phase d’exploitation):



Niveau 1: Assainissement, avec éventuellement vidange et rinçages des circuits et évacuation des principales matières radioactives et des déchets



Niveau 2: Libération partielle et conditionnelle du site, avec réduction maximale des volumes confinés, et évacuation de tout ou partie des équipements “classiques”



Niveau 3: Libération totale et inconditionnelle de tout le site ou déclassement avec servitudes (sortie du « statut » d’INB)



Ces notions sont claires pour les réacteurs, mais un peu moins pour d’autres installations. En France, l’ASN préfère donc maintenant ne plus s’y référer officiellement dans son dispositif réglementaire et d’autorisations

techniques

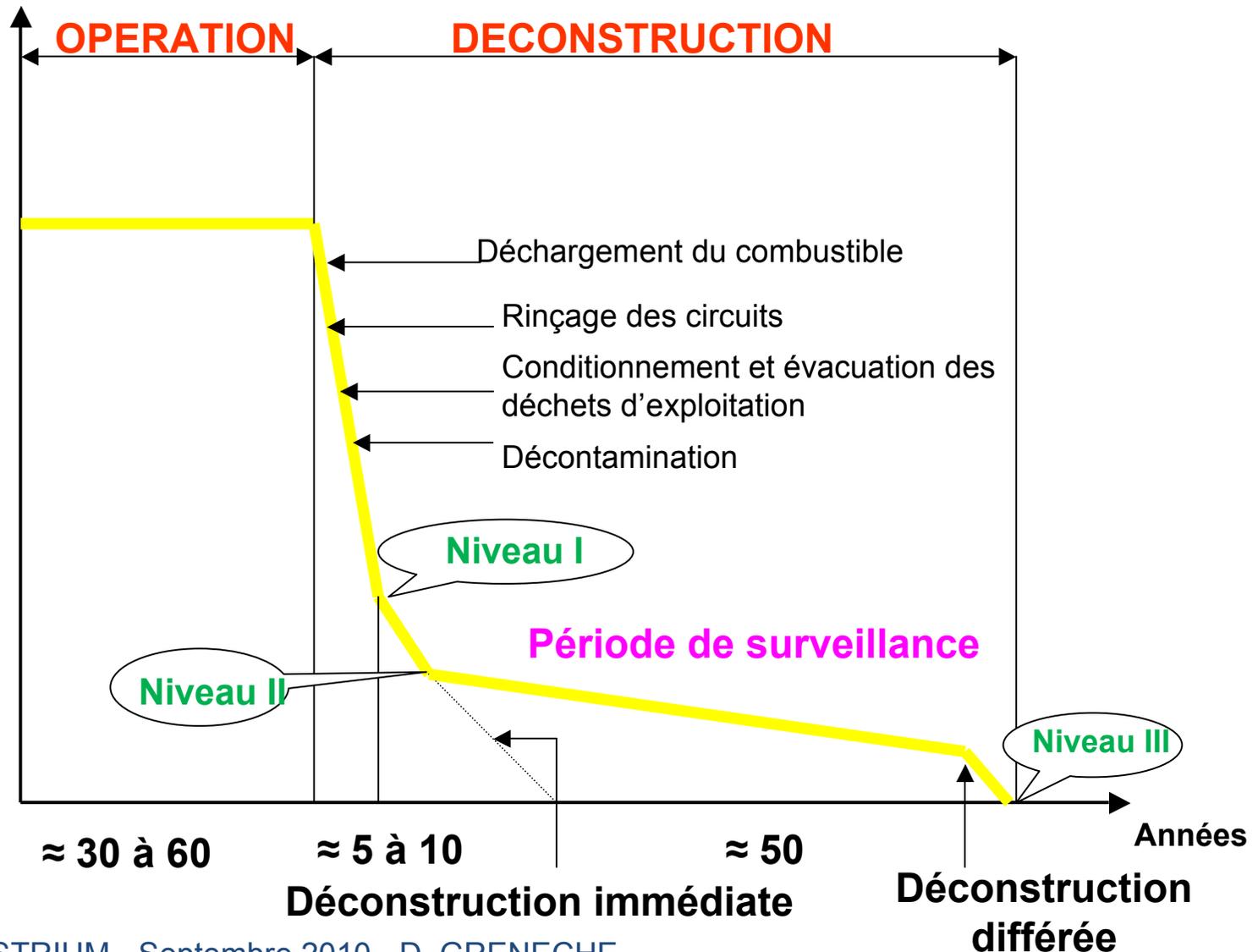
Après la « cessation définitive d'exploitation » puis la de “mise à l'arrêt définitif” marquée administrativement en France par un décret pour une INB, la déconstruction comprend essentiellement les étapes suivantes (qui peuvent être menées en parallèle):

- **L'assainissement**, incluant :
 - La décontamination des surfaces
 - Le « rinçage » de certains circuits
- **Le démantèlement**, incluant :
 - Le démantèlement ou le démontage d'équipements (tuyauteries, enceintes, cuves, cellules, ...)
 - La démolition de structures et de bâtiments (béton, ...)
- **La gestion des déchets** générés, incluant :
 - La collecte, le tri et la séparation de certains matériaux (radioactifs, non-radioactifs)
 - Leur pré-conditionnement ou conditionnement ou même RE-conditionnement
 - Leur évacuation (déchets « radioactifs » ou déchets « classique »)
- **La réhabilitation** des sites, incluant :
 - L'élimination de sols éventuellement contaminés

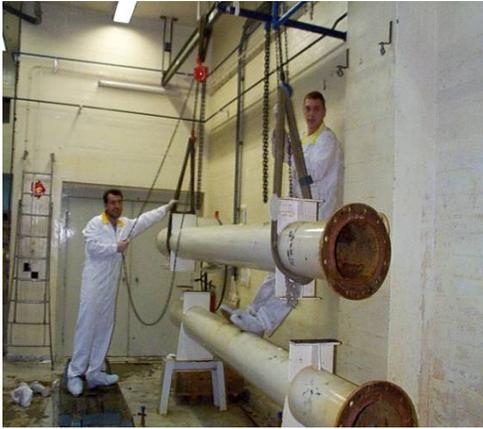
L'ensemble s'accompagne d'un suivi réglementaire et d'étapes diverses d'autorisation

Cycle de vie d'une INB

Risques
Radioactif



déconstruction



Démontage



Découpage



Décontamination – Assainissement



 RADIOACTIEF MATERIAAL / MATERIEES RADIOACTIEF Identification van de afkomst en de samenstelling van de afkomst en de samenstelling van de afkomst en de samenstelling	BR3- -	
	Type Classificatie van het materiaal Gewicht	Datum Locatie Operator
1. Beschrijving 2. Samenstelling 3. Identificatie 4. Toelichting	(Empty table for data entry)	

Identificati
on

Gestion des déchets



Tri



Caractérisatio



Traitement



Entreposage

La gestion d'un projet de déconstruction

- **Planification** détaillée et complète de toutes les opérations et actions élémentaires jusqu'à l'étape finale visée (en particulier gestion des déchets)
- Analyse de la **sûreté** de l'ensemble des opérations
- **Interactions** avec l'Autorité de Sûreté
- Dialogue avec le "**client**" (maître d'ouvrage ou donneur d'ordre)
- Mise au point **d'outils spécifiques** (si nécessaire)
- Choix et contrôle des **sous traitants** spécialisés
- **Organisation** de chantier
- Maitrise des coûts et des délais

Déconstruire : Quand ? (1/3)

- **Le plus tôt possible**

- Permet de bénéficier au mieux de la “mémoire” de conception et d’exploitation (démantèlement par l’exploitant)
- Evite les surprises liées au risques de détérioration des installations , au vieillissement ou à la corrosion des structures, aux éventuelles transformation progressive de l’état des matières , ...
- Permet de récupérer des sites nucléaires (parfois précieux !)
- Evite de faire porter le poids de ces opérations sur les génération futures
- Evite les dépenses liées à une surveillance prolongée des installations (« SENEX = Surveillance, ENTretien EXploitation)
- Dans certains cas, minimiser les doses (Pu241 → Am241)

- **Le plus tard possible (> 50 ou même 100 ans)**

- Décroissance radioactive de certains radionuclides (ex : Co60, T=5 ans) → minimisation des doses
- Coût différés
- Préparation des filières d’évacuation des déchets
- Profiter de technologies plus performantes

- **Les deux !**

- Décontamination maximale et évacuation rapide des principaux déchets (Niveau 1 + rapidement)
- Démolition des bâtiments et réhabilitation des sites différée (niveau 2 puis 3)

Déconstruire : Quand ? (2/3)

- La “stratégie” de déconstruction selon les pays dépend de **nombreux facteurs** tels que :
 - Réglementations nationales
 - Facteurs sociaux-économiques
 - Capacités de financement des opérations
 - Disponibilité des filières d'élimination des déchets
 - Techniques de démantèlement
 - Disponibilité de personnels qualifiés
- Une étude AEN de 2003 pour les réacteurs (auprès d'une quarantaine d'exploitants et d'une vingtaine de pays) à montré que les **avis sont très partagés** (50 – 50 !) et les dispositions réglementaires très disparates !
- Il n'y a donc **pas de doctrine internationale bien établie** sur ce sujet dans , mais en **France** l'ASN s'est clairement prononcée pour que les exploitants nucléaires s'engagent dans une **déconstruction immédiate** (mais elle ne fixe pas de délais)

Déconstruire : Quand ? (3/3)

Quelques exemples dans certains pays :

- En **Grande-Bretagne** les exploitants industriels envisagent un délai de 100 ans avant le démantèlement final.
- En **Allemagne** l'exploitant doit obtenir l'autorisation de démanteler dans les 5 ans qui suivent l'arrêt.
- Aux **États-Unis** l'exploitant doit obtenir l'autorisation dans les 5 ans suivant l'arrêt et doit avoir terminé au plus tard 60 ans après.
- Au **Japon** le démantèlement doit être effectué dans les 30 ans qui suivent son début.
- En **Italie** les activités de démantèlement doivent être achevées avant 2020.

Par ailleurs, il n'existe pas de licence spécifique dans des pays comme la Suède, la Finlande le Japon et le

Royaume Uni.

PLAN

- Qu'est que la déconstruction
- Les grandes étapes
- **Les technologies utilisées**
- Le retour d'expérience et les programmes
- Les déchets générés
 - Généralités
 - La question des seuils
 - Le traitement, le conditionnement et l'évacuation
- Le cadre réglementaire
- Les coûts et le financement

démantèlement

- **Décontamination** : généralement procédés chimiques, mécaniques ou thermiques, ou à une combinaison de ceux-ci. Pour décontaminer des surfaces de béton ou de métal, on utilise par exemple la projection de granulés de glace carbonique à très haute vitesse et l'utilisation de gels chimiques ou de mousses décontaminantes. Pour certains effluents liquides, techniques de séparation membranaires.
- **Démantèlement** : techniques de découpe des structures en métal ou en béton en utilisant par exemple des procédés mécaniques tels que le sciage ou découpe par jet d'eau à haute pression ou encore par procédé thermique (torche à plasma).
- **Mesure radiologique** : de nombreuses mesures radiologiques sont réalisées à toutes les étapes pour dresser l'inventaire des stocks radioactifs dans l'installation, trier les matériaux et les déchets en fonction de leur catégorie, caractériser ces déchets, prendre les dispositions nécessaires pour protéger les travailleurs.
- **Protection des intervenants** : blindages amovibles, sas et cellules temporaires, systèmes de ventilation et de filtration mobiles, vêtements spéciaux, scaphandres ventilés, masques...

NOTE : une illustration de la maîtrise de ces techniques est donnée par le remplacement

● **Moyen de manutention de levage à distance** :
télémanipulateurs, outillage semi-automatiques

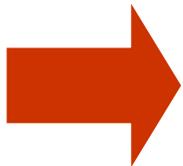
démantèlement

- Appel aux technologies de l'industrie classique (découpe, démontage, démolition de bâtiments)
- Appareils de mesure de la radioactivité
- Télé-opération pour les zones irradiantes
- Intervention au contact avec tenues de travail et aménagements spécialisés pour installations à risque de contamination (émetteurs α)
- Mise en œuvre de techniques de décontamination
 - ❑ Chimique: acides, bases,
 - ❑ Mécanique: sablage, jets haute pression,
 - ❑ Physique: carboglace, produits fixateurs pelables,

A ce jour: les projets de démantèlement ont abouti sans difficulté technique notable mais il faut adapter les outils aux spécificités nucléaires et si nécessaire innover pour accroître les performances des opérations.

Idées maîtresses:

- o optimiser la radioprotection
- o limiter la production d'effluents et de déchets



**Etudes préalables poussées des travaux de démantèlement
(choix des scénarii et des techniques)**

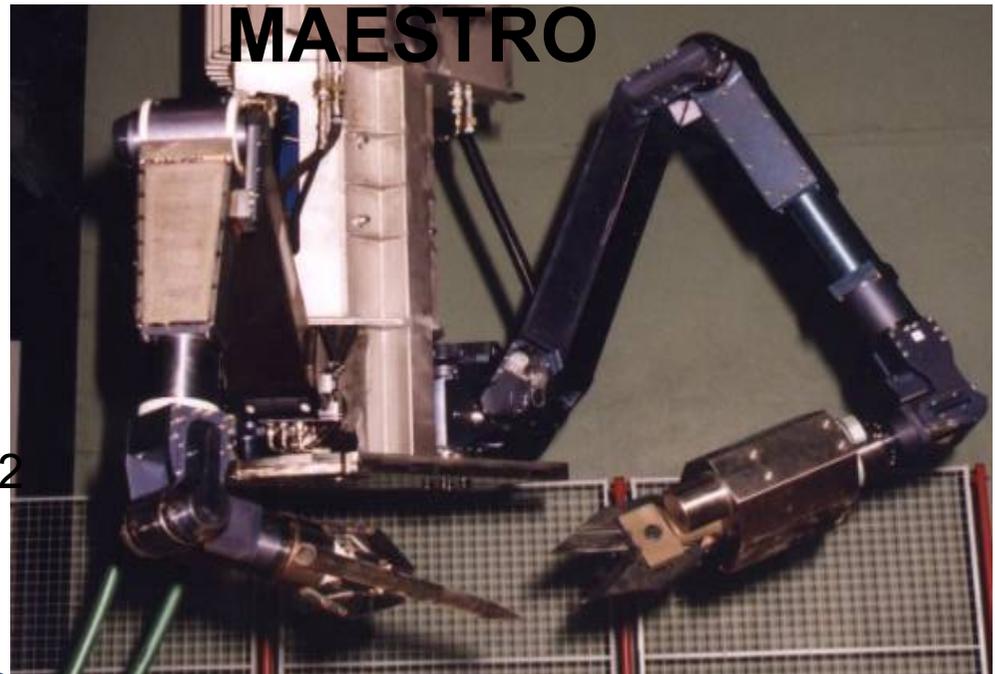
Les outils de téléopération



Découpage téléopéré

Bras "Maitre" à retour d'effort
Bras "Esclave" de capacité 80 Kg à 2
m 30

Systeme MAESTRO



Les mesures nucléaires

Gamma-caméra



Aladin 2

Ø: 120 mm

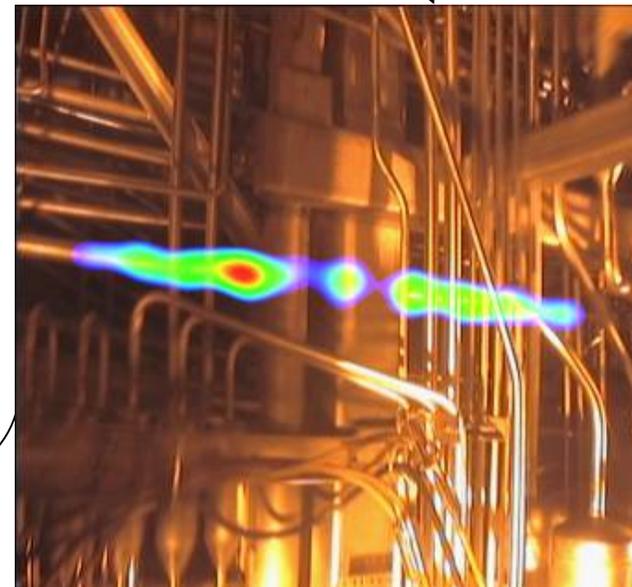
L: 445 mm

Masse: 39 kg

**10 μ Gy/h en
5 s**



Image caméra visible



Cellule 414 - APM
Image gamma superposée d'un tuyau irradiant

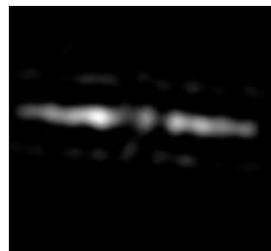


Image gamma déconvoluée

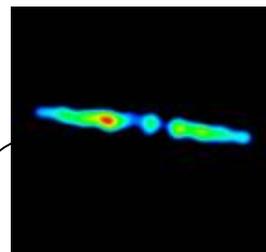
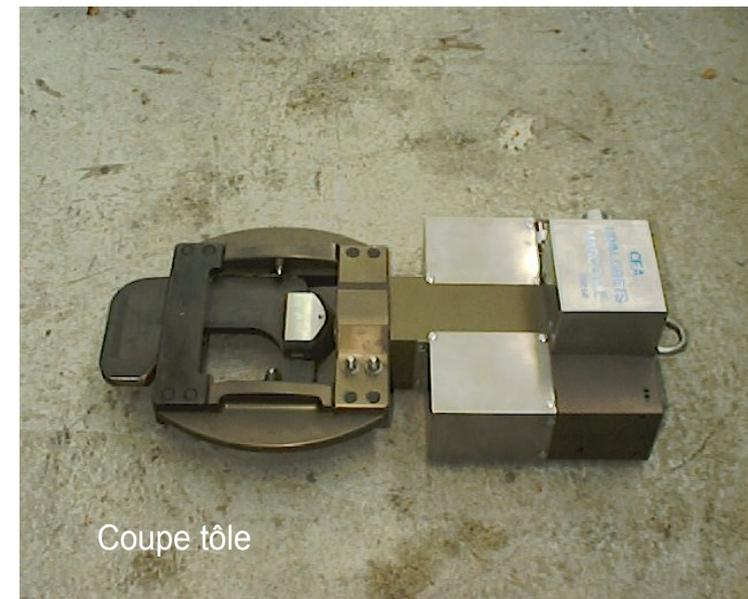


Image gamma colorisée

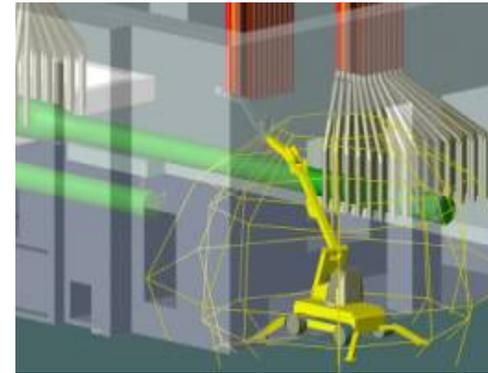
Outillages divers

- Développement d'outillages autonomes
 - Découpe mécanique à froid
 - Techno hydraulique 700 Bars, ombilic électrique
 - Cisaille : tube D.55 mm, 5 mm d'épais
 - Coupe tôle 8 mm d'épais x 80 mm
 - Ecarteur : peau inox collée au béton



Modélisation 3 D

- Développement sur PC sous 3D studio
 - Développement de script robotique
 - identification de cinématique
 - contrôle des butées
 - cinématique inverse
 - Transfert vers des maquettes autonomes
- Recalibration de modèle par couplage avec logiciel de photogrammétrie
- Etude de scénarios de démantèlement
 - débattement
 - accessibilité
 - ordre des opérations
 - évacuations des déchets
- Réalisation de vidéo de démonstration (animation, rapport final)



**EL4
Brennilis**



**Chaîne
Petrus
FAR**



**Elan IIB
La Hague**

La démolition des structures et bâtiments

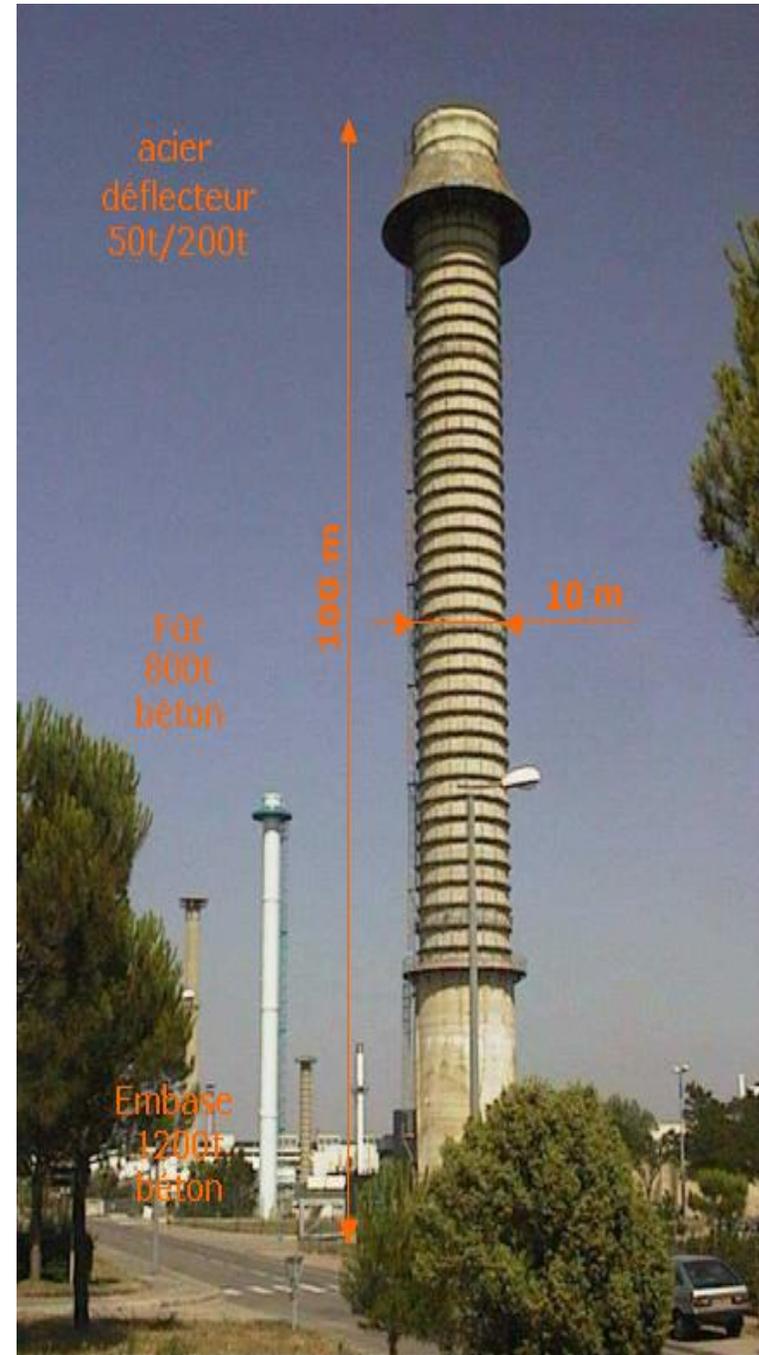
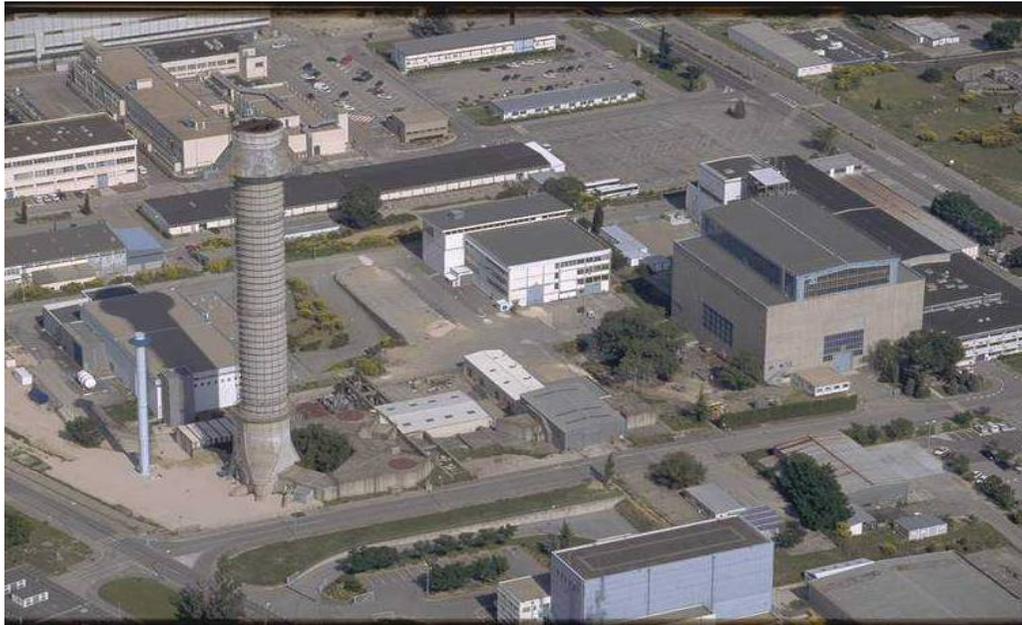


**Démolition d'un puits de cuve
(Niederaichbach)**

**← Découpe de l'enceint
extérieure en béton armé d'un
réacteur**



Les démolitions



**La
cheminée
de "G1" à
Marcoule**

Début de construction
(1951)



Samedi 19 juillet 2003, 7 h : La chute



Formation EADS ASTRIUM - Septembre 2010 - D.
GRENECHE

Une déconstruction d'accélérateur de particules

Saturne (Sacaly) : assaini avec servitudes

(« Rayé de la liste des INB en 2006 »)



PLAN

- Qu'est que la déconstruction
- Les grandes étapes
- Les technologies utilisées
- **Le retour d'expérience et les programmes**
- Les déchets générés
 - Généralités
 - La question des seuils
 - Le traitement, le conditionnement et l'évacuation
- Le cadre réglementaire
- Les coûts et le financement

« démantèlement ».....



Formation EADS ASTRIUM - Septembre 2010 - D.
GRENECHE

Exemples de réacteurs déconstruits

PAYS	Nom	Type	Mwe nets	Dates de	Durée (années)	Niveau de déconst.
USA	Fort St. Vrain	HTR	330	76 - 89	13	3
	San Onofre	PWR	436	67 - 92	25	2
	Yankee Rowe	PWR	167	60 - 91	31	3
	Main Yankee	PWR	860	72 - 97	25	3
	Trojan	PWR	1095	75 - 92	17	3
	Rancho Seco	PWR	873	74 - 89	15	2
	Shippingport	PWR	60	57 - 82	25	3
Espagne	Vandellos	UNGG	480	72 - 90	18	3
Allemagne	Niederaichback	HWR	100	73 - 74	1	3
	Greifswald	VVER	408	73 - 90	17	3
Japon	Tokai (JPDR)	BWR	13	63 - 76	13	3
Royaume-Uni	Windscale	AGR	32	63 - 81	18	3
Belgique	Mol (BR3)	PWR	11	62 - 87	25	3
Italie	Carigliano	BWR	150	64 - 82	18	2
	Trino	PWR	260	64 - 90	26	2
	Latina	GCR	153	63 - 87	24	2
France	Chinon A1	UNGG	70	63 - 73	10	2 (musée)
	Chinon A2	UNGG	210	65 - 85	20	2
	Brennelis (EL4)	HWR	70	67 - 85	18	3 (en cours)

Usine d'enrichissement de Capenhurst (GB)

L'installation avant le démantèlement



Pendant



Après



- Quelques caractéristiques de l'usine : dans les années 50, le plus grand bâtiment d'Europe (1200 x 150 x 30 m) – 4800 étages de diffusion – 1800 Km de tuyauteries allant jusqu'à un diamètre de 55 cm (UF6).
- Une décontamination intensive a permis de réutiliser les 160 000 tonnes de tonnes de métaux et de béton (99% recyclés et libérés de toute contrainte radioactive)
- Il ne reste aujourd'hui que... la pelouse !

Usine de fabrication de combustible d'Hanau (Allemagne)

L'installation avant le démantèlement



- Ensemble de 4 installations
- Le site doit être réutilisé pour des usages industriels « classiques »
- Les déchets contaminés en Uranium et Plutonium restent entreposés sur le site en attente d'un stockage définitif

Décontamination des surfaces



Entreposage des déchets après démantèlement

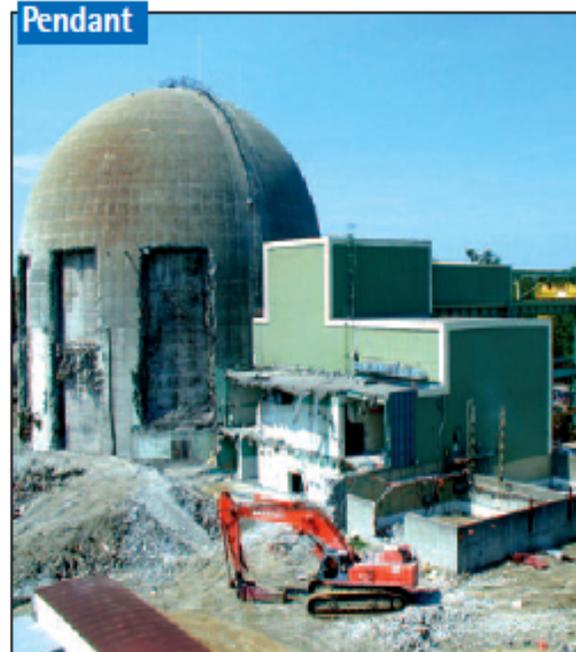
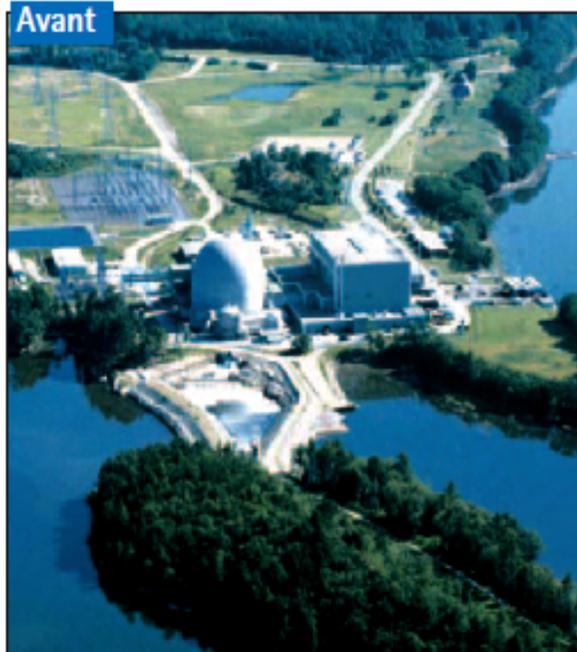


Réacteur BWR de Tokai (JPDR)



La déconstruction complète de ce réacteur a été achevée en 1996

Main Yankee (USA) – PWR 900 MWe



La déconstruction complète de ce réacteur a été achevée en 2005

Fabrication combustible au plutonium Winfrith (GB)

L'installation pendant son opération



Démolition des bandages métalliques après décontamination



Après le démantèlement



- Cette usine fabriquait des combustibles au plutonium pour RNR (boîtes à gants, fours, machoires de broyage,...)
- Son démantèlement complet a été réalisé entre 1996 et 1999 et le site a été restauré dans son état initial

Réacteur GCR de Windscale (GB)

Vue extérieure de l'installation



Déchets de démantèlement entreposés après conditionnement



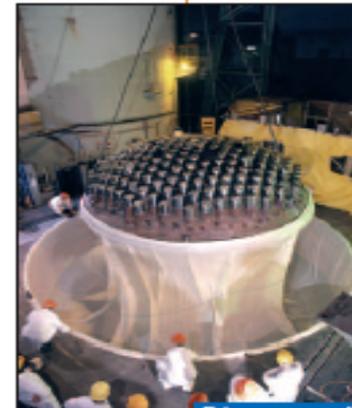
Extraction par le toit
des 4 échangeurs
de 100 t chacun (voir
aussi page de couverture)



Découpe de la protection
biologique supérieure



Démantèlement
des assemblages
des tubes guides



Découpe et dépose
du couvercle
supérieur du réacteur
après confinement

Etat des lieux des déconstructions en France (début 2010)

- De **nombreux programmes** et projets de déconstruction des installations appartenant aux grands opérateurs (essentiellement **CEA, AREVA, EDF**) ont été réalisés ou sont aujourd'hui engagés à une échelle industrielle
- Début 2010, on dénombre **27 installations nucléaires** qui ont été "**rayées**" de la liste des **INB** : réacteurs (11), fabrication de combustible (2), traitement de minerai et déchets (4), laboratoires (4), ionisateurs et divers (6)
- **Quelques dizaines** de chantiers de déconstruction sont aujourd'hui **en cours** : réacteurs de puissance EDF (6 UNGG, EL4, Chooz-A, SPX), labos et réacteurs de recherche du CEA (une dizaine), les usines AREVA (SICN, La Hague, Pierrelatte), les grands chantiers de Marcoule (UP1, reprise de déchets anciens, des INBS, etc.

L'expérience de démantèlement du CEA

- Des opérations d'assainissement et de démantèlement ont été réalisées au CEA dès le début des années 60.
- Aujourd'hui, les déconstructions complètes (avec ou sans démolition des bâtiments) ont été réalisées pour :
 - 6 réacteurs expérimentaux de faible puissance ou "maquettes critique"
 - 11 autres installations : laboratoires, ateliers de fabrication, "cellules chaudes", usines pilotes, installation de traitement de minerai (Le Bouchet).

Bilan de cinq opérations (CEA)

Installations	RM 2	PIVER	AT 1	RAPSODIE	ORIS ELAN IIA
Lieu	Fontenay aux Roses	Marcoule	La Hague	Cadarache	Saclay
Niveau de déclassement	2	3	3	2	3
Période de fonctionnement	1967-1983	1969-1981	1969-1979	1967-1983	1966-1972
Période de démantèlement	1990-1996	1984-1991	1982-2001	1986-1994- 2003	1990-1994
Coût démantèlement (CE 90)	140	62	440	132	50
Coût investissement (CE 90)	112	55	272	1080	nd
Heures de travail	175 000	100 000	420 000	260 000	77 000
Volume déchets radioactifs	750 m³	230 m³	4 290 m³	230 m³	590 m³
Bilan dosimétrique :					
- prévu	0,72 h.Sv	0,80 h.Sv	0,8 h.Sv	0,70 h.Sv	0,2 h.Sv
- réalisé	0,3 h.Sv	0,41 h.Sv	0,8 h.Sv	0,35 h.Sv	1,5 h.sv

L'expérience de démantèlement au CEA : quelques enseignements

- Le démantèlement des installations de fabrication de combustible (cellules, labo Pu) est moins long que celui des installations impliquant des procédés chimiques (traitement de minerai, retraitement) et contaminées par des produits de fission
- Le volume des déchets générés peut être géré, mais il reste encore à définir le stockage des déchets de très forte activité (B et C) et des filières d'évacuation appropriées pour les déchets particuliers
- Application du principe ALARA et exposition des travailleurs maîtrisées.

Le plan à 30 ans du CEA (50 INB + 8 divers)

A REPRENDRE VERSION 2000

PLANIFICATION PREVISIONNELLE DES OPERATIONS D'ASSAINISSEMENT ET DE DEMANTELEMENTS DES INSTALLATIONS CIVILES DU CEA
EN SUPPOSANT LE NIVEAU 3 EL4 IMMEDIAT

N°	Centre	Nom	Type	DO	1993--->1998 Convention EDF/COGEMA/CEA										Schéma référence														
					1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
33	HAG	AT 1	U	DCC																									
25	CAD	RAPSODIE et LDAC	R	DRN																									
59	FAR	RM 2	L	DCC																									
47	HAG	ELAN IIB	L	DCC																									
	VRH	G 1 (cheminée / niveau 3)	R	DCC																									
	VRH	BAT. 211	U	DCC																									
	VRH	BAT. 214/TOR	U	DCC																									
	VRH	BAT. 213	AI	DCC																									
29	SAC	ORIS (cel 22, 23, 24)	L	ORIS																									
28	BRE	EL4 - niveau 2 / niveau 3	R	DCC																									
60	GRE	LCAC	L	DTA																									
19	GRE	MELUSINE	R	DRN																									
	VRH	INST. ENRICHISSEMENT	AI	DCC																									
	SAC	PETITS EQUIPEMENTS	AI	DCC																									
57	FAR	BAT. 18	L	DCC																									
34	FAR	STE	AI	FAR																									
	FAR	Assainist sous-sols	AI	FAR																									
50	SAC	CELINE niveau 2	L	DRN																									
52	CAD	ATUE	AI	DCC																									
54	CAD	Cryotraitement (LPC)	L	CAD																									
18	SAC	ULYSSE	R	INSTN																									
20	GRE	SILOE	R	DRN																									
21	GRE	SILOETTE	R	DRN																									
22	CAD	PEGASE	AI	DRN																									
22	CAD	CASCAD	AI	DRN																									
24	CAD	CABRI/SCARABEE	R	IPSN																									
35	SAC	STE	AI	SAC																									
36	GRE	STED	AI	DRN																									
37	CAD	STED	AI	CAD																									
39	CAD	MASURCA	R	DRN																									
40	SAC	OSIRIS/ISIS	R	DRN																									
41	CAD	HARMONIE	R	DRN																									
42	CAD	EOLE	R	DRN																									
43	SAC	ALS	AI	DSM																									
48	SAC	SATURNE	AI	DSM																									
49	SAC	LHA	L	SAC																									
50	SAC	LECI	L	DRN																									
53	CAD	MCMF	AI	CAD																									
55	CAD	STAR	L	DRN																									
55	CAD	LECA	L	DRN																									
56	CAD	Stockage Déchets	AI	CAD																									
61	GRE	LAMA	L	DRN																									
71	VRH	PHENIX	R	DRN																									
72	SAC	Stockage Déchets	AI	SAC																									
73	FAR	Stockage Déchets	AI	FAR																									
77	SAC	CAPRI	AI	ORIS																									
79	GRE	Stockage Déchets	AI	DRN																									
92	CAD	PHEBUS	R	IPSN																									
95	CAD	MINERVE	R	DRN																									
101	SAC	ORPHEE	R	DRN																									
121	CAD	IRCA	AI	DRN																									
123	CAD	LEFCA	L	DRN																									
148	VRH	ATALANTE	L	DCC																									
156	CAD	CHICADE	L	DCC																									
113	CAEN	GANIL	AI	CEA/CNRS																									
67	GRE	ILL/RHF	R	ILL																									
32	CAD	CFCA	AI	Cogema/CEA																									
	VRH	ISAI	U	DCC																									

Assainissement (CDE et MAD): R: Réacteur

Démantèlement: AI: Autre Installation

Surveillance: L: Laboratoire

Démolition du génie civil: U: Usine

Provisionnement des charges future:

DMT_p: démantèlement partiel

DMT_t: démantèlement total

passé et dont certaines subsistent

...

- **Manque de stratégie** globale de l'exploitant sur le devenir de l'installation arrêtée
- **Difficultés de préparation** des opérations par suite de la perte d'informations
- **Etat dégradé** d'équipements qui ont été trop sollicités (ex : ponts de manutention)
- **La conviction**, par certains exploitants, que les installations à l'arrêt ne présentent **plus de risque** important et prise en compte insuffisante des risques classiques
- Réduction des **moyens humains et financiers** après l'arrêt de production, limitation de la surveillance, appel à la sous-traitance
- **Départ des personnels** connaissant l'installation et aptes à faire des analyses de sûreté (départ en retraite ou recherche de postes plus valorisants)
- **Lenteur des travaux** compte tenu des contraintes budgétaires

PLAN

- Qu'est que la déconstruction
- Les grandes étapes
- Les technologies utilisées
- Le retour d'expérience et les programmes
- **Les déchets générés**
 - **Généralités**
 - La question des seuils
 - Le traitement, le conditionnement et l'évacuation
- Le cadre réglementaire
- Les coûts et le financement

Généralités sur les déchets de démantèlement (1/2)

- Le démantèlement des installations nucléaires est à l'origine de **quantités importantes** de déchets (mais pas exorbitante!), principalement de faible ou très faible activité (FA ou TFA)
- La **gestion** et l'évacuation efficaces des **déchets radioactifs** est une **condition essentielle** de la réussite du démantèlement des installations nucléaires
- D'où le soin apporté dans la réduction des quantités de ceux qui sont classés comme « **radioactifs** » ce qui conduit à une « **étude déchets** » et surtout un « **zonage déchets** » de l'installation définissant très précisément la **frontière** entre zones à déchets conventionnels et zones à déchets **radioactifs**.

(2/2)

→ Dès lors que ces déchets sont bien caractérisés, 3 « exutoires » sont possibles, selon les normes en vigueur :

Le stockage définitif dans des centres spécialisés (après conditionnement adéquat)

Le recyclage dans des activités nucléaires ou autres filiales d'élimination dédiées (après étude d'impact)

La « libération » de tout contrôle réglementaire, pour les déchets qualifiés de « conventionnels »

→ Les déchets sont généralement triés et conditionnés en fonction des critères suivants :

- Activité spécifique
- Période radioactive
- Génération de chaleur
- Origine
- Composition
- Etat physique
- Radio-toxicité et ou toxicité chimique éventuelle (déchets "mixtes")

déchets

Installation

ZONAGE

Zone à déchets conventionnels

Zone à déchets nucléaires

Catégories de déchets

Déchets conventionnels

Déchets radioactifs

Banals
D.I.B.

Spéciaux
D.I.S.

TFA

FA
MA

HA

Traçabilité

Autorisation

AS

Public

Exutoires matériaux et déchets

Valorisation
Recyclage
Traitement
Stockage

Filières

CSTFA

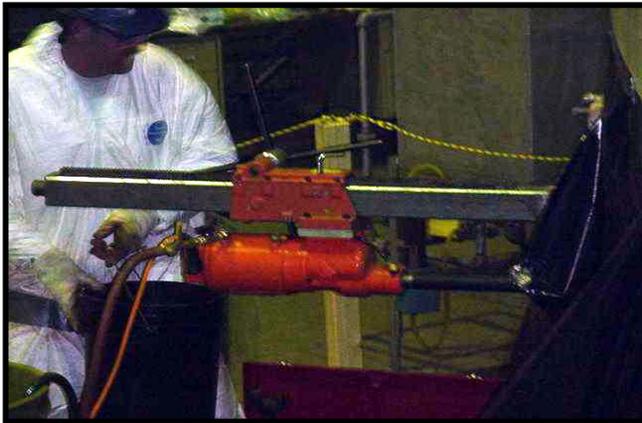
CSA

LOI
Juin
2006

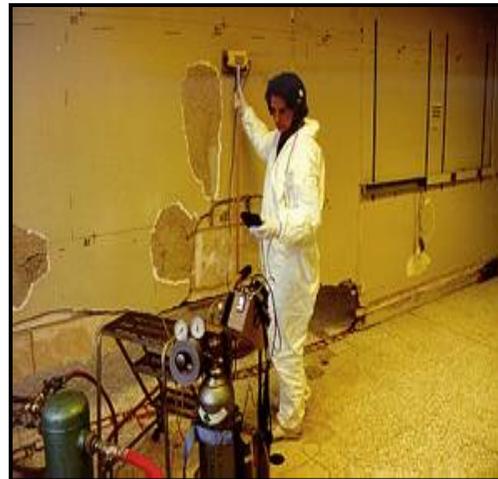
Gestion conventionnelle des déchets

Gestion spécifique des déchets

Caractérisation - Zonage



Echantillonnage



Les matériaux issus du démantèlement

- **Large éventail** ...)

matériaux spécifiques (sodium, graphite, solvents,,

métaux ferreux,

bétons, calorifuges (amiante), ...

huiles, graisses, peintures, plastics, ...

déchets technologiques : tenues vinyle, outillages,

Equipements divers : pompes, vannes, moteurs, cables,...

- **Multiplés sortes de radionucléides** (produits d'activation et de fission, actinides) **et activité présente** (qq Bq/g à qq GBq/g)

- **Volumes très importants**

- **Problèmes**

gestion des déchets α

déchets de très faible activité (centre de stockage dédié)

assurer la traçabilité du devenir des déchets

Voie actuelle: limitation des volumes de déchets par différents moyens tels que, fusion des métaux, compactage, incinération, traitement poussé des effluents liquides,

Volumes de déchets : estimations

- Selon une estimation de l'ANDRA de mai 2000 pour la déconstruction jusqu'au niveau 2 de **l'ensemble des réacteurs du parc REP français** avec celle les **installations du cycle et de R&D** associées (donc pour 80 ans de nucléaire):
 - Déchets "A" : 350 000 m³
 - Déchets "B" : 4000 m³
 - Déchets "C" : négligeables
 - Déchets TFA : 1 à 2 millions de m³
- En termes de masse, une évaluation EDF donne **30000 tonnes** de déchets pour un site de **4 REP** jusqu'au niveau 2 (dont en gros 2/3 de TFA et 1/3 de déchets « A », avec seulement 500 tonnes de déchets « B »). Cette estimation est cohérente avec une estimation AEN qui donne 36000 tonnes jusqu'au niveau 3.

PLAN

- Qu'est que la déconstruction
- Les grandes étapes
- Les technologies utilisées
- Le retour d'expérience et les programmes
- Les déchets générés
 - Généralités
 - **La question des seuils**
 - Le traitement, le conditionnement et l'évacuation
- Le cadre réglementaire
- Les coûts et le financement

La question fondamentale

- Quelle LIMITE ? pour distinguer :
 - Un déchet qui sera considéré réglementairement comme “radioactif”, qui sera géré comme tel ?
 - Un déchet “banal”, qui ne sera soumis à aucun contrôle sur le plan radiologique et pourra donc être “banalisé” et éventuellement recyclé ?

→ Question corrélatrice : quel critère retenir pour une éventuelle classification ?



internationaux

- La structure réglementaire pour “l’exemption⁽¹⁾” ou la “libération⁽²⁾” de contrôles radiologiques pour des substances radioactives est généralement basée sur le principe de trivialité des doses individuelles et/ou collectives du public éventuellement exposés
- A ce titre, la CIPR a retenu des critères de “quelques dizaines de microsievert” et l’AIEA une valeur maximale individuelle de 10 microsievert et collective de 1 h.Sv (Safety series N° 89), mais à une époque où la question des déchets dit TENORM⁽³⁾ n’était pas considérée.
- La **limite** en activité est généralement 10 fois plus grande pour “l’exemption” que pour la “libération”. Ceci s’explique par les quantités mises en jeu, qui se chiffrent en quelques tonnes (typiquement 1 à 10 t) pour “l’exemption” alors qu’elles peuvent atteindre ou même dépasser largement plusieurs milliers de tonnes pour la “libération”

(1) - matières pouvant “sortir” du système de contrôle radiologique (généralement produites par des installations nucléaires)
(2) - matières qui restent dans le système de contrôle réglementaire des déchets radioactifs
(3) - Technically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Materials

Quelle “doctrine” en France ?

- De multiples controverses et débats ont eu lieu sur ce sujet (et se poursuivent!)
- Dans le passé, certains pensaient que la totalité des installations nucléaires allaient devenir des déchets radioactifs et qu'on croulerait ainsi sur des montagnes de ces déchets.
- Ces positions excessives s'appuyaient sur les lacunes liées à la définition de ce qu'est un « déchet radioactif »
- Aujourd'hui, les règles administratives Françaises donnent des limites pour orienter les déchets selon différents exutoires

MAIS ...

Suite à des événements variés (comme Tchernobyl), aux actions opiniâtres des anti-nucléaires (relayés par des médias complaisants), à la faiblesse de certaines autorités sanitaires, au flou interrogations sur les faibles doses, il a été décidé qu'il n'y aurait **pas de seuil de libération⁽¹⁾**. Il y a

donc seulement **des filières d'évacuation** examinées au cas par cas (traçabilité complète), ou il faut démontrer que les zones d'installation n'ont pas reçu de radioactivité ajoutée : d'où un **ZONAGE DECHETS** des

(1) : c'est une position très singulière à la France, qui est en porte à faux par rapport à tous les pays d'Europe.

PLAN

- Qu'est que la déconstruction
- Les grandes étapes
- Les technologies utilisées
- Le retour d'expérience et les programmes
- Les déchets générés
 - Généralités
 - La question des seuils
 - **Le traitement, le conditionnement et l'évacuation**
- Le cadre réglementaire
- Les coûts et le financement

III, TRAITEMENT, CONDITIONNEMENT DES déchets

OBJECTIFS :

- Réduire les volumes
- Convertir les liquides et gaz en déchets solides
- “trier” la radioactivité
- Les conditionner sous une forme physico-chimique adaptée au stockage définitif (selon des spécifications requises)



Différents types de traitement

- **DECHETS SOLIDES :** **DECHETS**
SECONDAIRES GENERES
 - Réduction de volume, compaction Galettes compactées
 - Incinération Cendres
 - Fusion Lingots
 - Traitements chimiques ou électrochimiques..... Solutions, filtres
 - Broyage, déchiquettage Gaz, poussières, résidus

- **DECHETS LIQUIDES :**
 - Précipitation chimique, insolubilisation..... Boues, précipités
 - Evaporation..... Concentrats
 - Echange ionique..... Résines usées
 - Techniques membranaires Concentrats, déchets
procédé
 - Extraction par solvants..... Solvants usés
 - Incinération de liquides organiques..... Cendres

- **DECHETS GAZEUX :**
 - Filtrage (HEPA : High Efficiency Particulate Air)..... Filtres
 - Adsorption ou sorption chimique..... Adsorbants saturés
 - Lavage, épuration..... Solutions de lavage
 - Retention cryogénique..... Liquides concentrés sous

Différents types de conditionnement

OBJECTIF : mettre les déchets sous une forme solide, stable, monolithique (si possible) et confinante, afin de satisfaire aux exigences et normes de **manutention, transports, entreposage intermédiaire, stockage définitif**

MOYENS : Immobilisation totale par **ENROBAGE** dans une matrice ou simple immobilisation mécanique (“blocage”) puis mise en conteneur ou simple emballage

ROLE DU CONTENEUR : préhension et manutention des “colis”, protection contre d'éventuelle agressions externes avant stockage (intempéries, écrasement, choc, feux, immersion accidentelle), barrière de confinement éventuelle lors du stockage définitif (rare)

MATRICES UTILISEES :

- Ciment
- Verres
- Bitumes ou Polymère

Les critères de choix sont la compatibilité physico-chimique avec le déchet, l'homogénéité, la faible solubilité dans l'eau, l'imperméabilité, la résistance mécanique, la résistance à la température et aux

rayonnements, la stabilité à long terme et le coût !

Colis de déchets : quelques



es



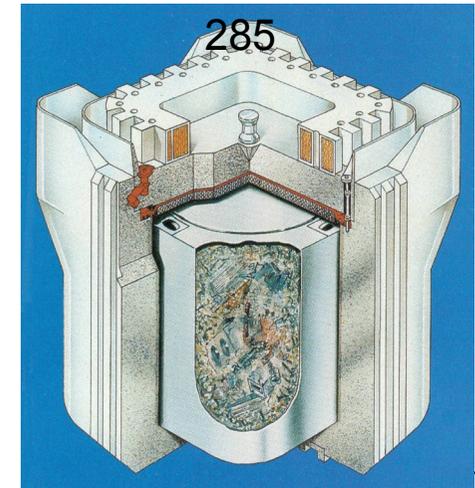
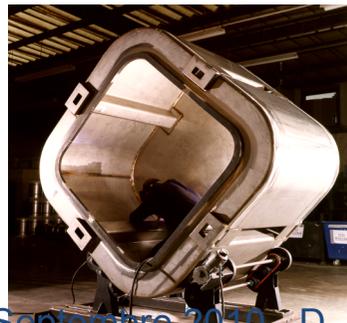
← Fût de 200 litres



box inside RSTC-



Conteneur de 3 m³



PLAN

- Qu'est que la déconstruction
- Les grandes étapes
- Les technologies utilisées
- Le retour d'expérience et les programmes
- Les déchets générés
 - Généralités
 - La question des seuils
 - Le traitement, le conditionnement et l'évacuation
- **Le cadre réglementaire**
- Les coûts et le financement

Le processus général

- Une fois décidée par l'exploitant la l'arrêt Définitif d'une installation nucléaire, celui-ci peut réaliser des **travaux préparatoires** tels que réaménagement de locaux, cartographie radiologique, collecte d'éléments pertinents (historique d'exploitation, ...), évacuation de tout ou partie d'éléments radioactifs (combustible par exemple) : c'est la « **Cessation Définitive d'Exploitation** » (CDE).
- Le début de la phase de déconstruction est ensuite **marqué** officiellement par **UN DECRET** (autorisation de « mise à l'arrêt définitif » et de déconstruction, MAD) qui fixe le cadre et les règles générales de ces opérations (le référentiel de sûreté n'est alors plus celui qui avait été fixé lors du fonctionnement de l'installation : DAC, RGE, PUI, etc).
L'installation devient une **Nouvelle INB (NINB)**
- D'une façon générale, **les réglementations** en matière de **sûreté nucléaire** et de radioprotection **continuent de s'appliquer** durant ces **phases**

Les textes applicables (1/3)

- Jusqu'en 1990, il n'y avait pas de réglementation spécifique pour encadrer les opérations d'assainissement et de démantèlement, autre que la réglementation générale s'appliquant aux INB (décret de 63)
- En 1990, le décret de 63 a été modifié pour prendre en compte l'arrêt définitif et le démantèlement des INB
- Mais la mise en œuvre de ce dispositif réglementaire a conduit à des difficultés techniques et administratives, notamment du fait que les opérations d'assainissement et de démantèlement étaient traitées comme des modifications de l'INB initialement autorisée, ce qui engendrait une certaine complexité des procédures administratives (d'où des retards conséquents dans certaines opérations)

Les textes applicables (2/3)

- Un travail important de **clarification réglementaire**, basé sur le retour d'expérience et un dialogue avec les exploitants, a été réalisé pour aboutir en **2003** à la publication d'un "**guide**" (circulaire SD3-DEM-01) permettant notamment :
 - De **préciser la notion administrative** de déconstruction et les critères associés à chaque grande étape
 - De **distinguer** très clairement **cette phase de celle de l'exploitation** par la mise en place d'un DECRET spécifique, qui permet entre autres de rééquilibrer l'importance de la phase de déconstruction tant du point de vue administratif que technique (sûreté)
- Ce **guide** a été **réaménagé en 2009** pour tenir compte de certaines dispositions de la nouvelle loi « **TSN** » du 13/6/**2006** et de celle sur la gestion durable des matières nucléaires et déchets radioactifs du 28/6/2006 :
 - Détail des procédures réglementaires
 - Contenu des dossiers (notamment PLAN DE DEMANTELEMENT)
 - Aspects techniques et réglementaires des différentes phases, jusqu'au déclassement

Les textes applicables (3/3)

- En parallèle à ce guide, d'autres textes réglementaires peuvent aussi s'appliquer, comme :
 - la **loi sur l'élimination des déchets** du 15 juillet 1975,
 - l'**arrêté** du 31/12/99 sur les « **études déchets** » et **zonage** des installations,
 - Une note ASN de 2005 sur les **méthodologies acceptables d'assainissement** complet, etc.

Le points important du guide

- Définit les **modalités d'information du public**, notamment pour ce qui est de la nécessité ou non d'une « enquête publique »
- Précise les **conditions de déclassement** et les servitudes de précaution ou de surveillance associées
- Permet la mise en place de **systèmes d'autorisations internes** afin de permettre à l'exploitant d'avoir la flexibilité industrielle nécessaire au cours du démantèlement, tout en garantissant le niveau de sûreté
- Impose que les documents de sûreté reflètent à tout moment **l'état de l'installation**
- Expose les **procédures réglementaires** à appliquer
- Décrit le **contenu type des dossiers** à soumettre à l'AS (en particulier la structure d'un « **plan de démantèlement** » et du **rapport de sûreté**)

• Impose à l'exploitant la nécessité de définir **l'état final** visé par l'exploitant

par l'exploitant (à l'appui de sa demande)

- L'ensemble des travaux envisagés jusqu'à l'atteinte du niveau final visé
- La nature et l'ampleur des risques présentés par les opérations : ils sont différents en nature et en importance relative que ceux liés à l'exploitation, notamment pour ce qui concerne la manutention, l'exposition des personnels, la criticité (usines), les réactions chimiques, l'incendie, l'explosions, etc.
- Les moyens mis en oeuvre pour maîtriser ces risques
- Un **PLAN DECHETS**, qui doit préciser en particulier :

• La nature et les quantités des déchets qui seront générés
(1) : Rappel : la doctrine Française rend impossible la réutilisation ou la valorisation hors du secteur nucléaire des matières contaminées ou susceptibles de l'avoir été
• Les filières d'élimination de chaque catégorie de déchet⁽¹⁾
dans les installations nucléaires

PLAN

- Qu'est que la déconstruction
- Les grandes étapes
- Les technologies utilisées
- Le retour d'expérience et les programmes
- Les déchets générés
 - Généralités
 - La question des seuils
 - Le traitement, le conditionnement et l'évacuation
- Le cadre réglementaire
- **Les coûts et le financement**

QUELQUES POINTS DE REPÈRE SUR LES COÛTS

(1/2)

- Gestion des déchets : exemple pour 4 REP-900 Mwe en M€⁽¹⁾

Type de déchets	Coût de conditionnement	Coût de stockage	TOTAL
TFA	5.4	5.4	10.8
“A”	24	120	144
“B”	22.5	6	28.5
TOTAL	51.9	131.4	183

Ceci conduit à un coût unitaire de

50 € / Kwe installé
A comparer à environ **1800 € / Kwe installé** pour l'investissement

(1) : Article de R. Lallement dans RGN N° 5 de Nov. 2004

(2/2)

(étude OCDE de 2003 IBSN 92-64-10432-1)

Coût global de déconstruction pour différents types de réacteurs (€/Kwe installé)

Type type	Moyenne	Ecart
REP	320	195
VVER	330	110
REB	420	100
PHWR	360	70
GCR	2500	NC

Décomposition des coût (part en %)

Type de poste	Mini
maxi	
Démantèlement	25
55	
Déchets	17
43	
Sécurité –Surveillance	8
13	
Réaménagement site	5
13	
Ingenierie, gestion projet	5
24	

Glogalement, on peut retenir comme ordre de grandeur 300 à 400 €/Kwe installé, soit à peu près 15 % à 20 % du coût d'investissement initial

DISPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES DE financement

- La loi du 28/6/2006 avec le décret du 23/2/2007 et l'arrêté du 21/3/2007 prévoient un dispositif relatif à la **sécurisation** des charges nucléaires liées à la déconstruction (y compris pour la gestion des déchets)
- Son application est réalisée sous le **contrôle direct de l'état** (AS et DGEC)
- Ces charges sont divisées en **5 catégories** :
 - Démantèlement (hors gestion des déchets)
 - Gestion des combustibles usés
 - Reprise et conditionnement de déchets anciens
 - Gestion à long terme des colis de déchets
 - Surveillance après fermeture des stockages
- Les évaluations doivent notamment expliciter la répartition des charges fixes dans le temps et un **échancier des dépenses** fixes et variables