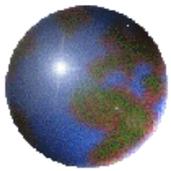


***METHODOLOGIE GENERALE
ET PREPARATION D'UNE
OPERATION TYPE :
LE CAS DE BUGEY 1 –***

Gérard LAURENT – EDF-CIDEN





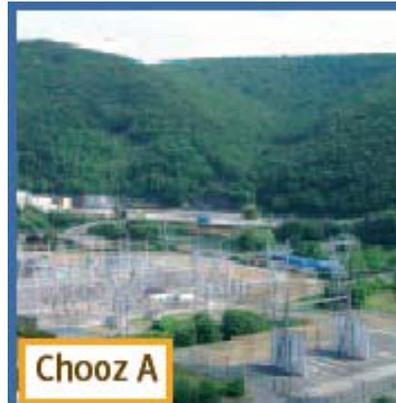
Les sites en déconstruction



Chinon A



Brennilis



Chooz A



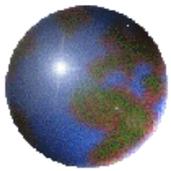
Bugey 1



Saint-Laurent A



Creys-Malville



Les sites en déconstruction

REP

Combustible :
oxyde d'uranium
ou oxyde mixte
(uranium-plutonium)
enrichi

Modérateur :
eau

Fluide caloporteur :
eau

UNGG

Combustible :
uranium naturel

Modérateur :
graphite

Fluide caloporteur :
gaz carbonique

RNR

Combustible :
oxyde d'uranium
appauvri et de
plutonium

Pas de modérateur
Fluide caloporteur :
sodium

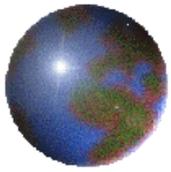
Eau lourde

Combustible :
oxyde d'uranium
naturel

Modérateur :
eau lourde

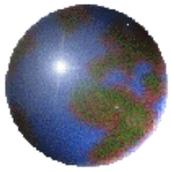
Fluide caloporteur :
gaz carbonique





Spécificités des chantiers de déconstruction

- Chantiers très dosants lorsque l'on atteint les équipements proches du cœur,
Peu de REX national, REX international (notamment USA),
- Une part importante des données d'entrées sont estimées et calculées,
- Problématique déchet très importante qui à l'exploitation n'existe pas à un tel niveau, nécessite de préserver les exutoires (notamment TFA),



Spécificités des chantiers de déconstruction

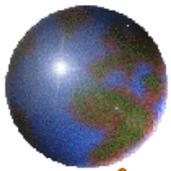
- Configuration des installations évolutive au cours du chantier, poste « sécurité travailleurs » important.
- Problèmes de contamination importants liés à la remise en suspension de matière radioactive suite à l'usage de méthodes de découpe agressives, en particulier en cas de découpe thermiques et/ou présences d'alphas.
- Problèmes de rejet en général faibles (cf. REX US) mais démarche impact nécessaire, notamment vis-à-vis des enquêtes publiques.
- Libération partielle/totale des sites.

Que faire des terres et des bétons TFA ?



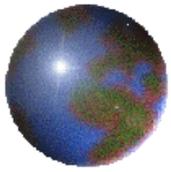
Élaboration des scénarii de démantèlement

- Le choix d'un scénario de référence se fait en plusieurs étapes (concours d'idées, Avant Projet, Avant Projet Détaillés) en tenant compte de l'ensemble des acteurs métier de la déconstruction
- Au final :
 - un Décret Unique d'Autorisation de Démantèlement
 - à l'appui, un Rapport de Sûreté et des études support
- Une équipe multimétier (génie civil, déchets, techniques de déconstruction, radioprotection, sûreté, sécurité, environnement ...) a en charge le développement du scénario



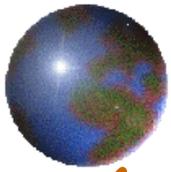
Élaboration des scénarii de démantèlement

- **ENV** : Le choix peut être orienté en fonction de certaines contraintes ENV, notamment filtration. En général, les contraintes sont homothétiques à celles issues de la RP (ex. découpe thermique des structures activées) mais beaucoup plus faibles.
- **DECHETS** : Le choix des types de découpe est important mais :
 - Nécessité impérieuse de limiter les coupes :
 - Moins de rejets,
 - Moins de doses,
 - Moins de déchets générés,
 - Moins de transports routier, ferroviaire,
 - Moins de coûts
 - *Nécessité de privilégier impérativement les évacuations monoblocs (cuve REP, GV, ...)*
 - N'envisager de coupes que si celles-ci sont obligatoires.



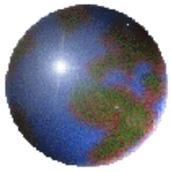
La Base Élaboration des scénarii de démantèlement

- RP : paramètre important qui oriente les choix techniques
- les études RP comprennent entre autre :
 - une analyse détaillée des conditions de travail sur les chantiers
 - une EDP détaillée qui « colle » au scénario et permet de juger en bout de cycle de la recevabilité de celui-ci sur l'aspect RP.



Élaboration des scénarii de démantèlement

- Nécessité d'un terme de bouclage entre
- Les choix des scénarios et les produits que sont :
 - Les EDP pour la RP
 - Les études d'impact pour l'Env.,
 - Les études déchets
- Si un de ces produits s'avère non acceptable, un bouclage sur les scénarios est nécessaire



« *Le Produit* » *ENV : Etude d'impact*

Enchaînement de 2 étapes :

- Terme source relâché dans l'environnement,
- Impact eau, air.

Ce dernier terme est similaire aux analyses d'impact élaborés pour les INB en exploitation et ne sera pas développé ici (même méthodologie, mêmes outils, mêmes référentiels)

En général, pour les INB EDF, l'impact est faible.

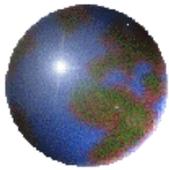
Cas des sites « mixtes » impact INB/DMT < impact INB exploitée



Terme source relâché dans l'environnement

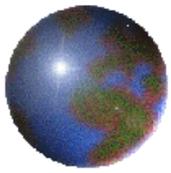
Il est fonction :

- De la prévision d'enchaînement des opérations de démantèlement,
- De l'inventaire radiologique :
 - Issu de l'activation par le flux neutrons
 - Issu de contaminations
- Le relâchement dans les vecteurs eau et air « intra muros » est calculé par une arborescence de facteurs de relâchement correlatifs aux choix des types de découpe (MDM, AWJ, mécanique, plasma...)
- Les rejets dans l'environnement sont fonction des types de filtration mis en œuvre et dont ils conditionnent le choix.



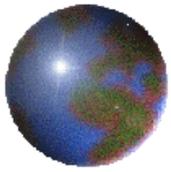
«Le Produit» RP – Elaboration des E.D.P/RP

- Préviation de l'enchaînement des opérations de démantèlement
 - Données issues des planning propres aux scénarii de déconstruction (nombre d'intervenants, VTE, complexité des travaux ... etc)
- Connaissance du terme source et des ddd (conditions de travail)
 - Terme source : caractérisation par prélèvement, mesure, grâce au recueil de l'historique de l'installation, par simulation (calculs d'activation avec les codes TRIPOLI, DARWIN et PEPIN – études CEA)
 - Iterations calculs mesures nécessaires pour la prise en compte des impûretés génératrices d'activité importante lorsqu'elles ne sont pas connues lors des approvisionnements.
 - Débits de dose : ddd et zonage définis à partir des cartographies réalisées in situ et par simulation grâce aux données d'activation des structures



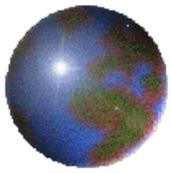
« *Le Produit* » RP – *Élaboration des E.D.P/RP*

- Contamination et exposition internes
 - Toutes les mesures sont prises pour que l'exposition interne soit considérée comme négligeable à EDF
⇒ facteur maîtrisé ⇒ dose associée non prise en compte dans les EDP
 - niveaux de contamination mesurés sur site, estimés sur les futurs chantiers à partir des coefficients de remises en suspension spécifiques aux types de travaux réalisés.



Usage des modèles type PANTHERE

- Estimer les ddd prévisionnels dans le cadre des études de scénario avec des configurations de l'installation variables qui ne correspondent plus à son état initial
 - ⇒ pour orienter les choix techniques et définir un scénario de référence
 - ⇒ pour l'élaboration des EDP
- Réaliser un zonage prévisionnel des locaux affectés aux chantiers de démantèlement



Exemple de l'INB n°45 : Bugey-1

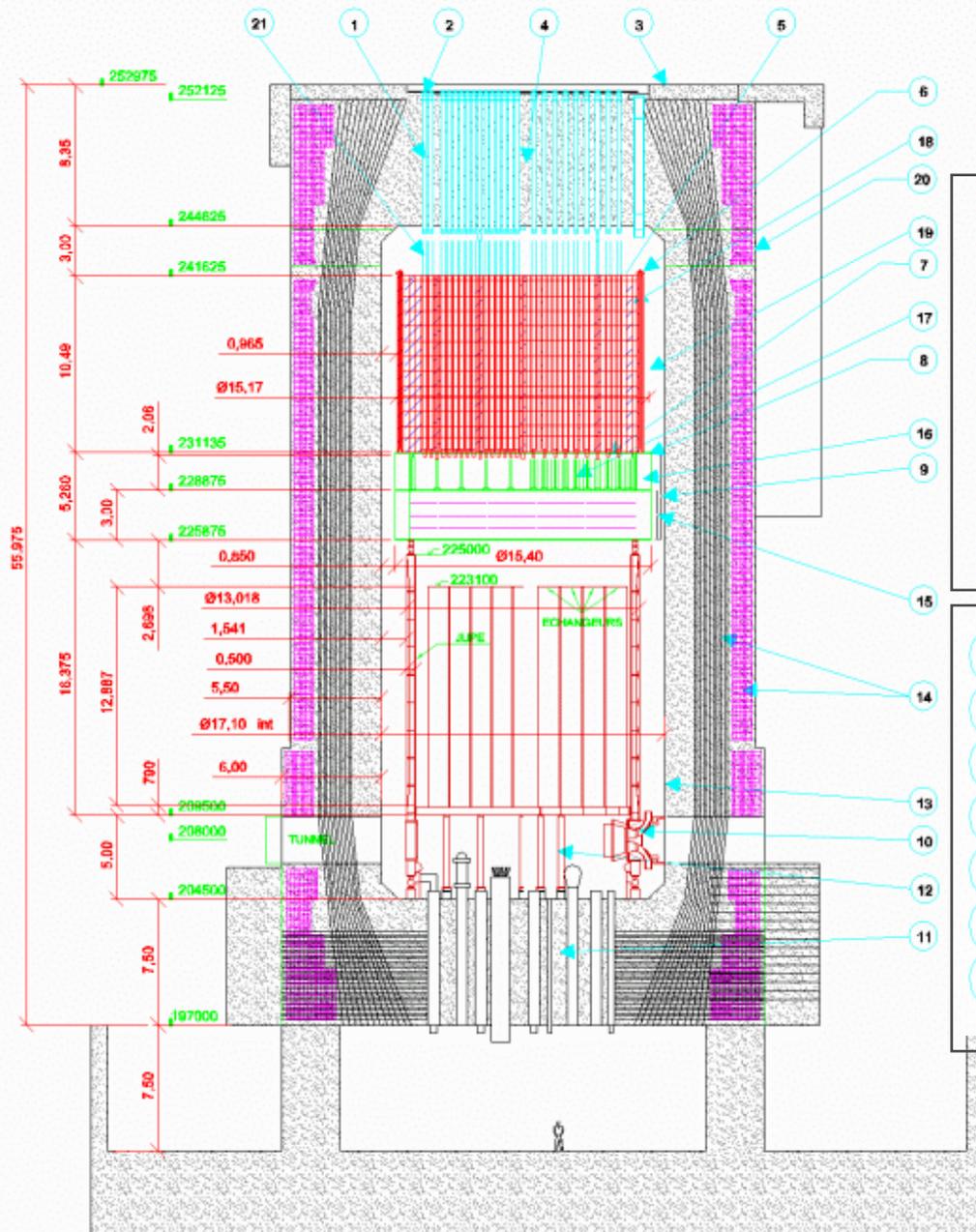


■ Caractéristiques de la centrale 1 :

- Réacteur UNGG type « INCA » :
circuit primaire en caisson,
élément combustible annulaire
- Puissance thermique : 1950 MW
- Puissance électrique : 545 MWe
- Combustible :
320 t d'Uranium naturel
légèrement enrichi en ^{235}U
- Modérateur :
empilement graphite (2080 t) de
hauteur 9 m, de diamètre 12.20 m
- Caloporteur : CO_2 gazeux sous
41.5 bars de pression

température entrée échangeur : 402°C
température sortie échangeur : 217°C

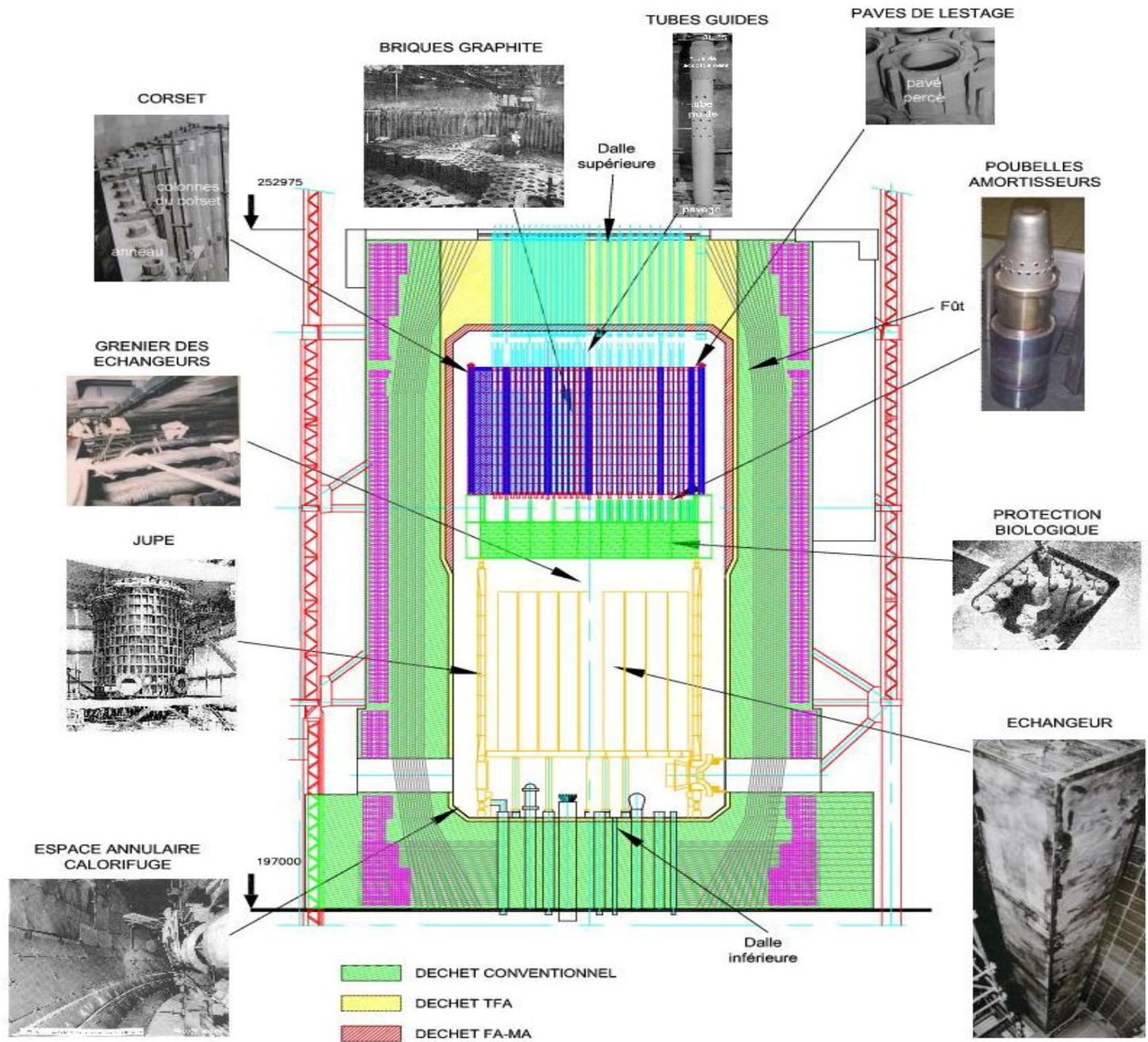
COUPE VERTICALE DU CAISSON

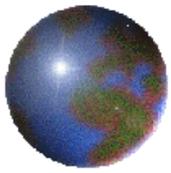


Dimensions caractéristiques :

Hauteur extérieure	: 55.98 m
Diamètre extérieur	: 28.10 m
Épaisseur courante parois béton	: 5.50 m
Hauteur cavité intérieure	: 40.12 m
Diamètre intérieur	: 17.10 m

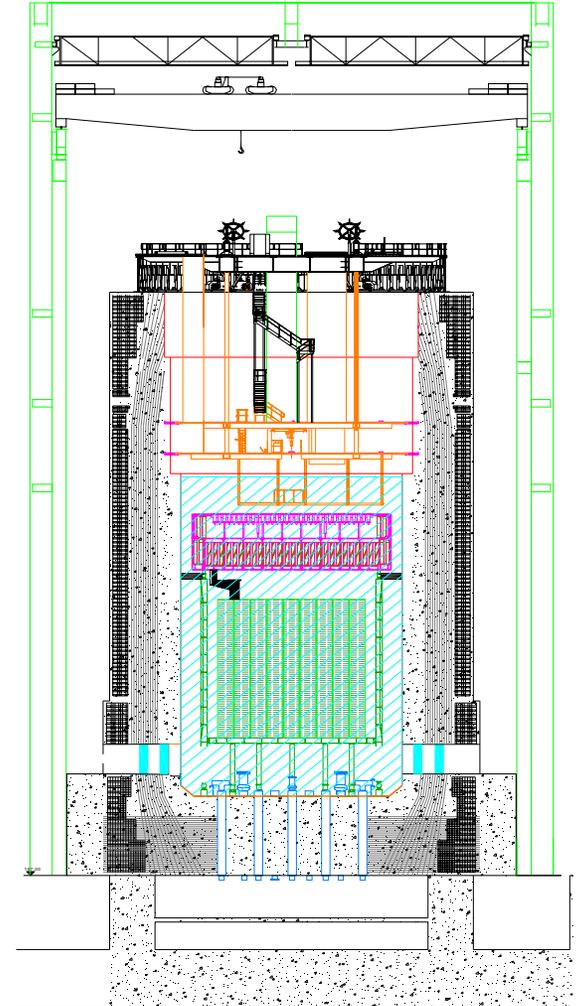
- | | | |
|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 - PUIIS | 8 - SUPPORTAGE PLATELAGE | 15 - SOLE (protection biologique) |
| 2 - TETE DE PUIIS | 9 - AIRE SUPPORT | 16 - COLONNE SUPERIEURE |
| 3 - DALLE SUPERIEURE | 10 - VOLUTE DE TURBO SOUFFLANTE | 17 - PLATELAGE |
| 4 - BTS | 11 - BTI | 18 - EMPILEMENT GRAPHITE |
| 5 - PAVES DE LESTAGE | 12 - APPUIS DE JUPE | 19 - CORSET |
| 6 - ANNEAU | 13 - PEAU D'ETANCHEITE + CALORIFUGE | 20 - SAS D'ACCES |
| 7 - POUBELLES AMORTISSEURS | 14 - CABLES DE PRECONTRAITE | 21 - TUBES GUIDES |

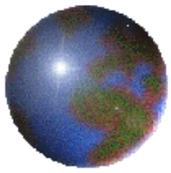




Scénario de démantèlement - principes

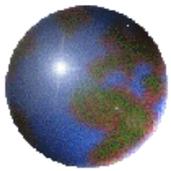
- Démantèlement des internes sous eau
- Ouverture de la dalle supérieure
- Démantèlement du haut vers le bas
 - Protection biologique des opérateurs par une hauteur d'eau
 - Téléopération rapprochée
 - Souplesse technique (gestion des aléas)
 - Faisabilité industrielle (Rex Fort St Vrain)
 - Utilisation d'outils thermiques et de plusieurs postes de travail





Scénario de démantèlement – étapes

1. Démantèlement et réaménagement de locaux hors caisson
2. Extraction des déchets d'exploitation
3. Démantèlement du caisson
 - Opérations préliminaires
 - Ouverture du BTS
 - Démantèlement des internes supérieurs
 - Découpe du génie civil activé du fût
 - Abaissement de la plate-forme
 - Démantèlement du platelage et de l'aire support
 - Vidange totale du caisson
 - Démantèlement des internes inférieurs
 - Traitement de la partie basse du fût
4. Assainissement
5. Réhabilitation du site



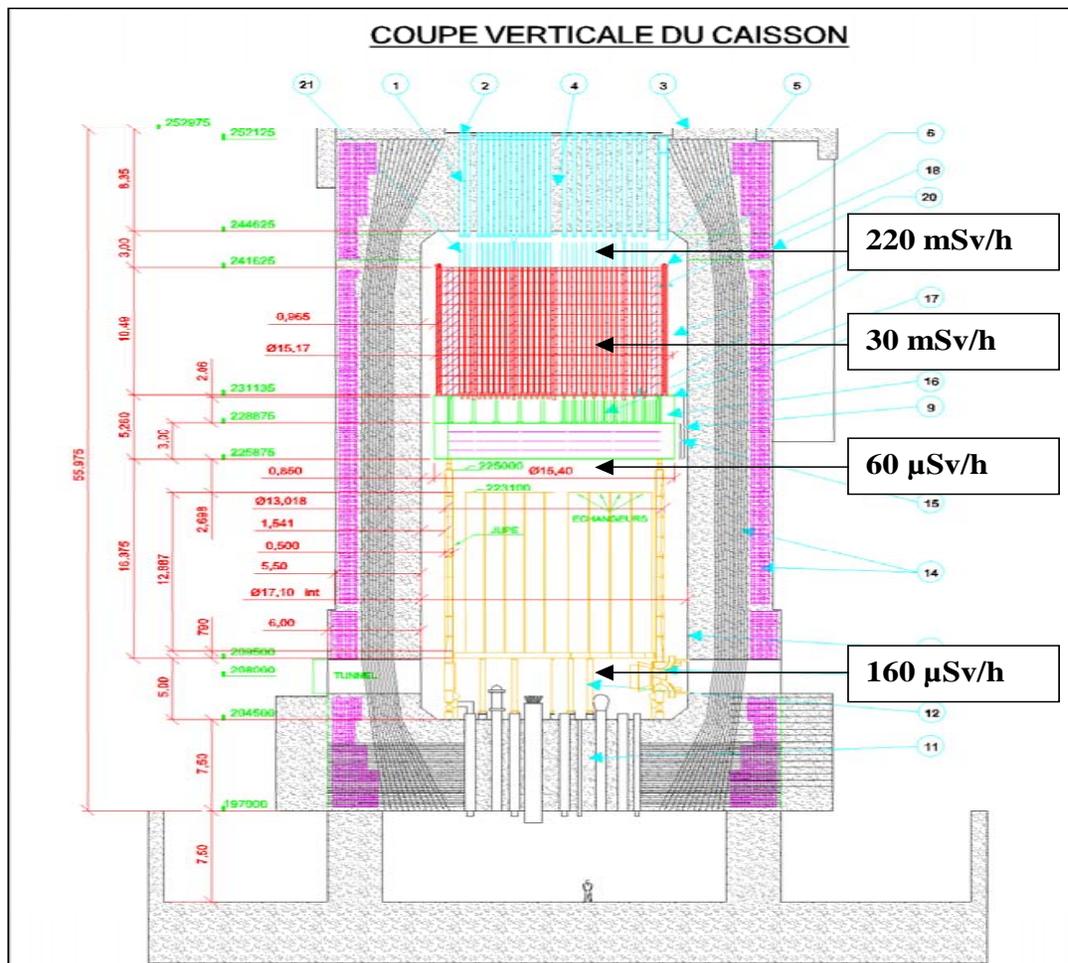
Calculs RP - données d'entrées – terme source

- Principales caractéristiques des sources :
 - Combustible Uranium déjà évacué.
 - Régions les plus activées : structures en acier Inox situées proches du cœur
 - Principal radioélément : ^{60}Co issu de l'activation neutronique par filiation du ^{59}Co et ^{58}Fe présent dans les structures acier
 - Seules les structures activées sont modélisées – la contamination n'est pas prise en compte (répartition trop hétérogène)
- Sources déclarées pour les calculs :
 - Répartition spatiale complexe et détaillée des sources
 - La majeure partie du terme source est issue de calculs CEA/SERMA :
 - Cartographie des flux dans le réacteur à l'aide du code TRIPOLI.3 (futur TRIPOLI.4)
 - Calcul des activations à l'aide du système de code DARWIN/PEPIN.2
 - Certaines sources ont été recalculées analytiquement à partir des équations de base de l'activation neutronique : $dN_B = [\Phi \cdot \sigma_A \cdot N_A - \lambda_B \cdot N_B] \cdot dt$ afin d'ajuster les taux d'impuretés aux valeurs ré-estimées.



État radiologique du caisson en 2010

Valeurs calculées (PANTHERE) en partie haute du caisson, mesurées en partie basse

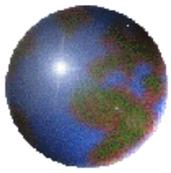


Contamination surfacique :

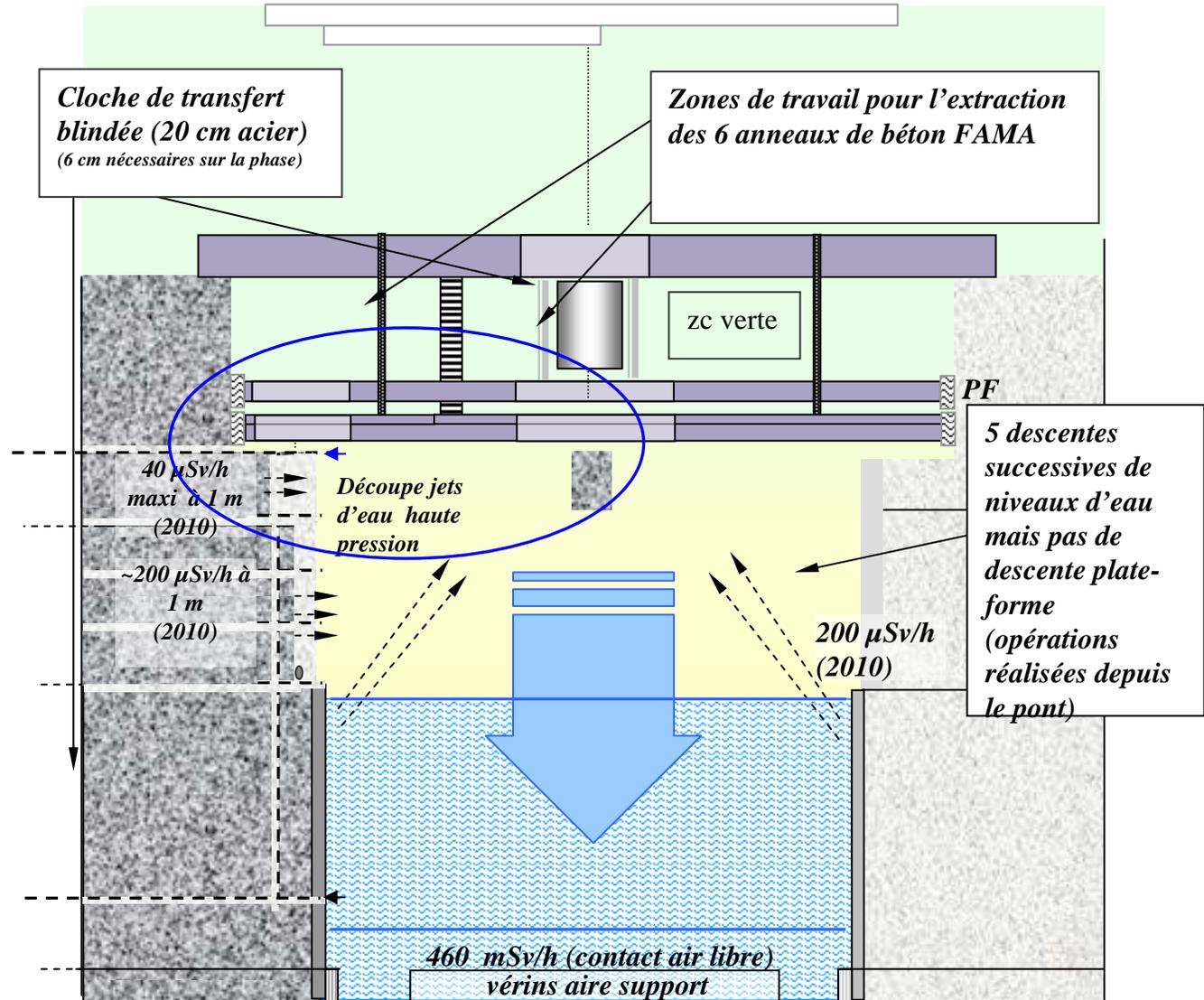
β : 3020 Bq/cm²

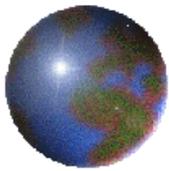
α : 0,18 Bq/cm²

(Rapport β/α = 16500)

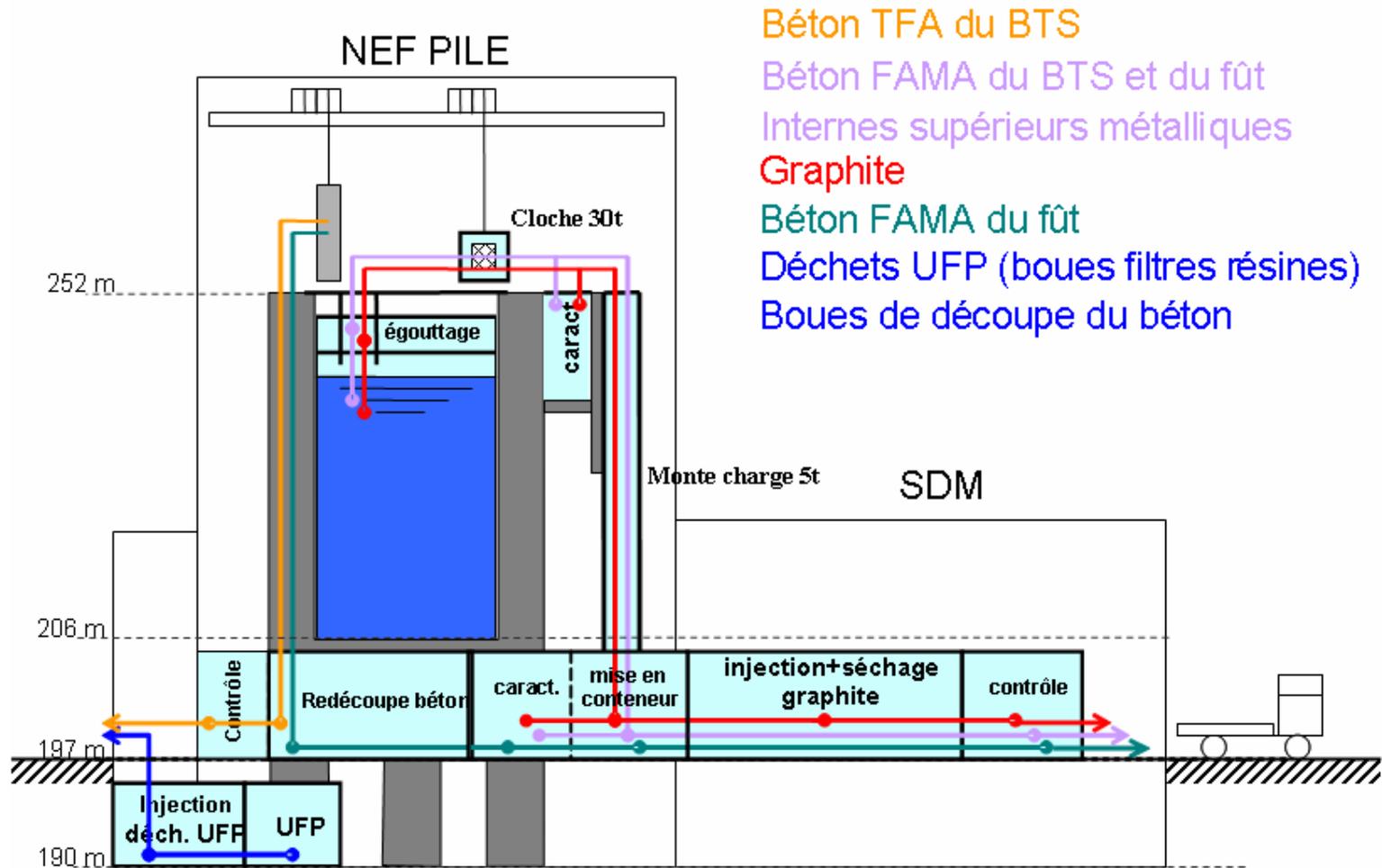


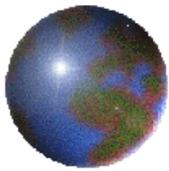
Évacuation et découpe du Génie Civil activé du fût du caisson



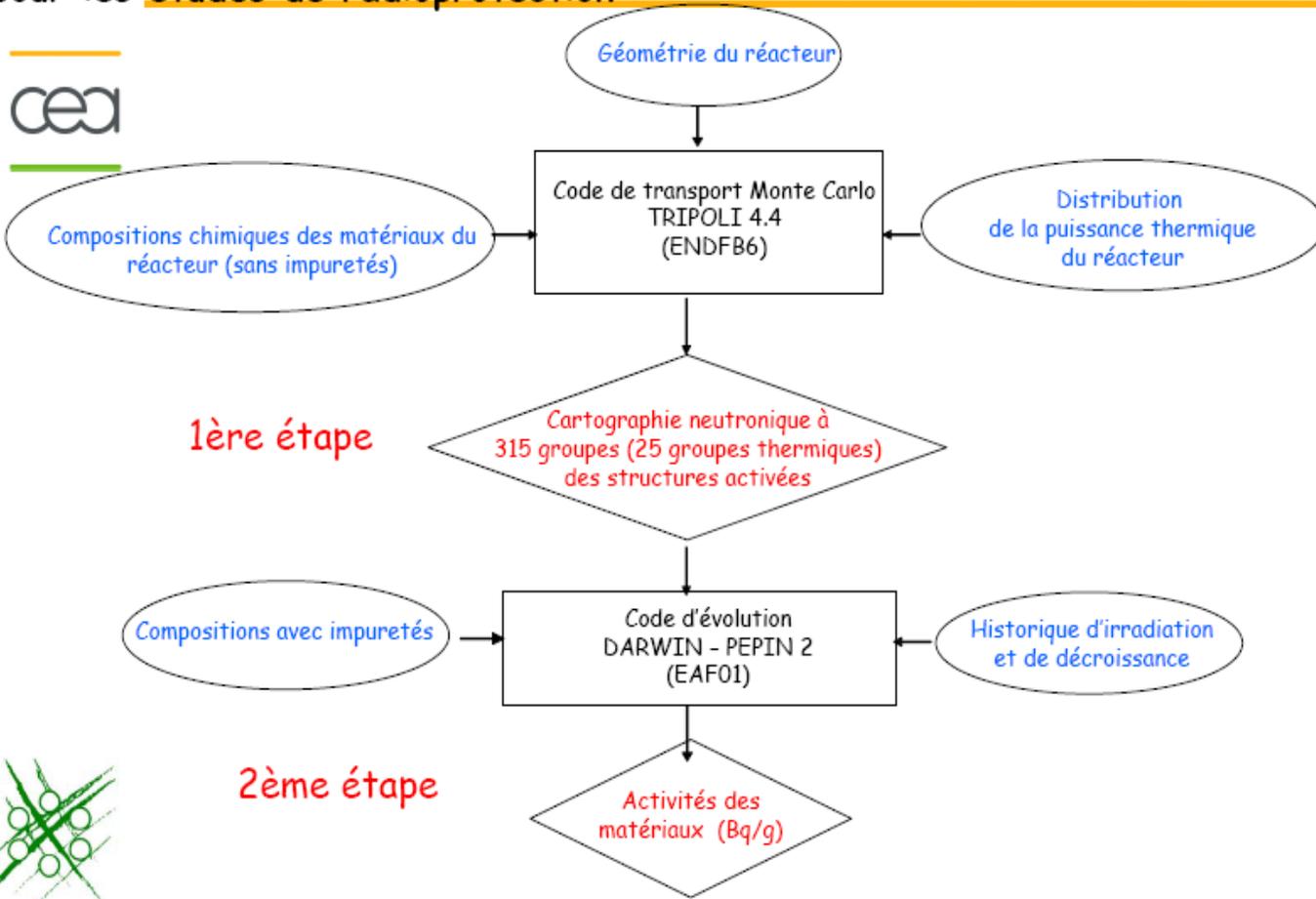


Scénario de démantèlement – Chaîne d'évacuation et de conditionnement des déchets



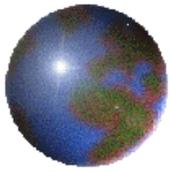


Chantiers de démantèlement - Méthodologie de calcul du terme source pour les études de radioprotection



cea





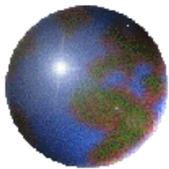
LES RESULTATS :

RP

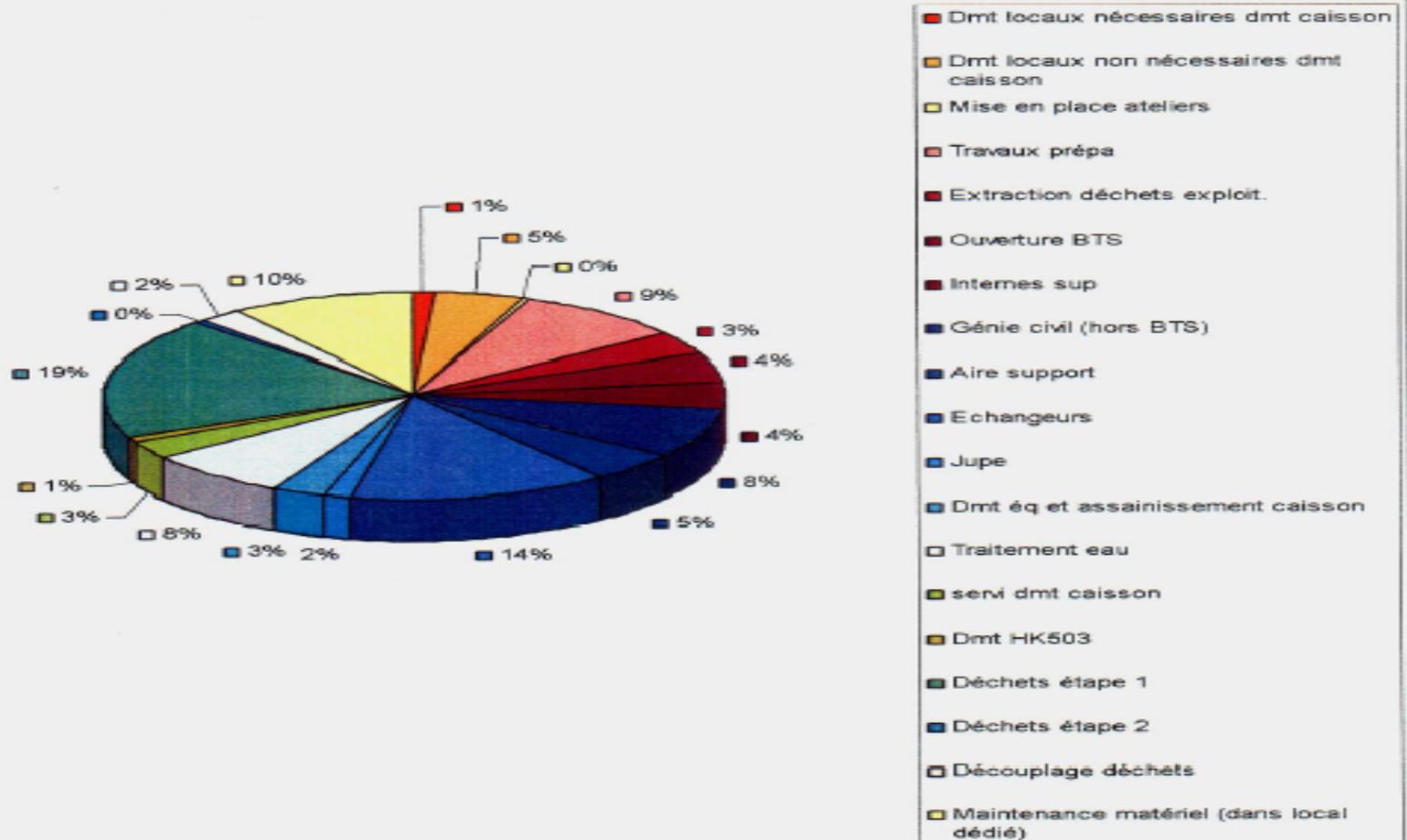


Rappel : 1 RGV : 0,6 hSv

Dose collective exploitation pour 1 tranche : 0,7 hSv



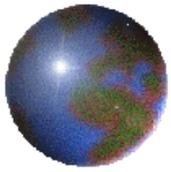
Répartition de la dosimétrie collective suivant activités de démantèlement TOTAL : 2,2 H.Sv



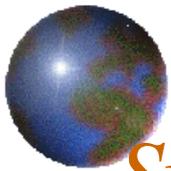


LES REJETS :

Radionucléides	Activité rejetée à l'atmosphère (Bq/an)															
	Période 1				Période 2											
	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5	N+6	N+7	N+8	N+9	N+10	N+11	N+12	N+13	N+14	N+15
H 3	2.50E+10	1.00E+11	8.55E+09	-	7.14E+07	2.00E+12	1.54E+12	7.29E+10	7.16E+10	6.81E+10	6.92E+10	1.54E+10	3.68E+09	5.29E+09	3.79E+07	2.16E+07
C 14	-	-	-	-	2.16E+08	2.16E+11	3.63E+11	4.00E+11	3.99E+11	3.99E+11	3.99E+11	8.00E+10	5.58E+08	7.88E+08	-	-
Co 60	3.60E+05	1.97E+06	1.25E+06	1.10E+03	3.28E+04	2.45E+04	6.78E+04	-	1.05E+06	3.39E+05	-	-	5.25E+03	6.06E+03	2.51E+01	1.43E+01
Fe 55	7.01E+05	3.52E+06	1.75E+06	2.61E+03	7.13E+04	4.57E+04	1.77E+05	1.58E+05	1.30E+06	4.51E+05	-	-	3.68E+03	5.09E+03	1.71E+01	9.76E+00
Cl 36	-	-	-	-	-	-	1.99E+08	4.00E+08	3.96E+08	3.96E+08	3.96E+08	7.91E+07	-	6.73E+01	-	-
Ni 63	5.58E+05	3.20E+06	2.25E+06	1.31E+03	4.33E+04	7.44E+04	1.48E+05	4.17E+04	5.15E+05	1.39E+05	4.06E+04	-	6.29E+04	3.73E+04	1.07E+02	6.12E+01
Ar 39	-	-	-	-	8.29E+04	6.52E+04	2.30E+09	4.45E+08	3.23E+08	-	1.04E+08	1.59E+08	2.97E+08	4.14E+08	-	-
Eu 152	-	-	-	-	-	4.30E+03	-	-	-	-	-	-	2.70E+04	4.05E+04	-	-
Eu 154	-	-	-	-	-	2.41E+02	-	-	-	-	-	-	1.33E+03	1.99E+03	-	-
Ni 59	-	-	-	-	-	3.25E+02	-	-	-	-	-	-	6.19E+02	3.13E+02	-	-
K40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.93E+01	1.35E+02	-	-
Ca 41	-	-	-	-	-	5.08E+02	-	-	-	-	-	-	4.61E+03	6.89E+03	-	-
Sr 90	1.92E+07	7.68E+07	6.60E+06	-	4.56E+02	4.14E+02	1.47E+04	-	-	-	-	-	7.83E+00	9.04E+03	2.10E+04	1.20E+04
Cs 137	3.63E+06	1.46E+07	1.25E+06	-	3.18E+01	2.89E+01	-	-	-	-	-	-	-	1.73E+03	4.02E+03	2.29E+03
Sm151	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.25E+02	1.08E+03	-	-
Eu155	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.32E+01	1.98E+01	-	-
Total H3	2.50E+10	1.00E+11	8.55E+09	-	7.14E+07	2.00E+12	1.54E+12	7.29E+10	7.16E+10	6.81E+10	6.92E+10	1.54E+10	3.68E+09	5.29E+09	3.79E+07	2.16E+07
Total C14	-	-	-	-	2.16E+08	2.16E+11	3.63E+11	4.00E+11	3.99E+11	3.99E+11	3.99E+11	8.00E+10	5.58E+08	7.88E+08	-	-
Gaz rares	-	-	-	-	8.29E+04	6.52E+04	2.30E+09	4.45E+08	3.23E+08	-	1.04E+08	1.59E+08	2.97E+08	4.14E+08	-	-
Total βγ	2.44E+07	1.00E+08	1.31E+07	5.03E+03	1.48E+05	1.50E+05	1.99E+08	4.00E+08	3.99E+08	3.97E+08	3.96E+08	7.91E+07	1.06E+05	1.10E+05	2.52E+04	1.44E+04



LES REJETS :



Synthèse des valeurs limites de rejet demandées – Rejets radioactifs

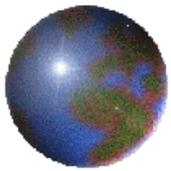
Période 1		
Radionucléides	Rejets radioactifs gazeux Activités annuelles (GBq/an)	Rejets radioactifs liquides Activités annuelles (GBq/an)
Tritium	100	1
Carbone 14	/	/
Autres produits de fission et d'activation émetteurs β/γ	0,1	0,1

Synthèse des activités annuelles demandées pour les rejets radioactifs gazeux et liquides pendant la période 1

Période 2		
Radionucléides	Rejets radioactifs gazeux Activités annuelles (GBq/an)	Rejets radioactifs liquides Activités annuelles (GBq/an)
Tritium	2000	4500
Carbone 14	400	120
Autres produits de fission et d'activation émetteurs β/γ	0,4	15

Synthèse des activités annuelles demandées pour les rejets radioactifs gazeux et liquides pendant la période 2

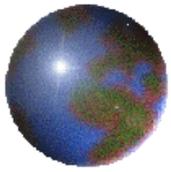
Nota : « Année extrême »



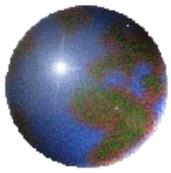
LES REJETS :

Rappel

Exploitation tranche 900	Réglementaire Gazeux	Réels Gazeux	Réglementaire liquide	Réels liquides
Tritium	2 600 TBq (yc gaz rares)	0,23 TBq	185 TBq	11 TBq
C14	}111 GBq/an	0,15 TBq/an	} 2 TBq/an	11 GBq/an
PA/PF		0,003 GBq/an		0,3 GBq/an



Quelques axes de réflexion pour le futur



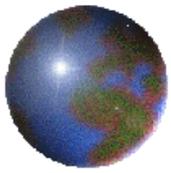
Inventaire radiologique => « Clef de route » du démantèlement

Nécessité de travailler sur 2 axes

1. Calculs

Notamment :

- Flux neutrons grande distance (méthode biaisage coopération CEA)
- Quantification incertitudes
- Quantification source de rayonnement par calcul.
- Mise au point d'un logiciel « REMCO » quantifiant les transferts sur les substrats acier et béton (partenariat Ecole des Mines et CNRS)



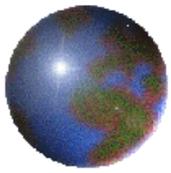
Inventaire radiologique => « Clef de route » du démantèlement

2. Mesures de consolidation des calculs :

- Travail en liaison étroite avec le calculateur
- Définition d'un panel d'appareillage

Du plus classique :

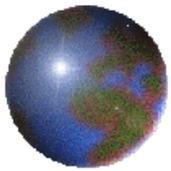
- Gamma caméra
- Muro vidéo
- Spectro CZT
- Isocs (sols, GC)
- Carrotages traditionnels



Inventaire radiologique => « Clef de route » du démantèlement

Aux plus récents :

- Carrotages US « TRUPRO », (REX USA)
- Mesures surfaciques substitutives aux carotages (CEA, Kourtchatov, EDF/R&D)
- Mesures tritium dans le sol par injection vapeur (USA)

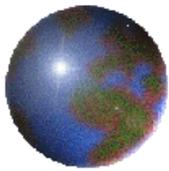


Axes de réflexion pour le futur

3. Approfondissement REX USA (7 sites, 7 réacteurs commerciaux étudiés)

Principales leçons :

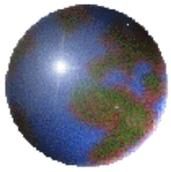
- **Intérêt de l'évacuation monobloc (à instruire AS et ANDRA)**
- **Choix des techniques de découpe (intérêt choix mécanique et AWJ, MDM)**
- **Intérêt des tests sur maquette (non pas tests d'outils)**
- **Traitement de l'eau**
- **Management sols et nappes (4 sites libérés « green field » ou en voie de l'être)**



Comparison of Plant Statistics

Comparison of Plant Statistics

Plant	RPV Activity (Bq)	Cutting Length	Radiation Exposure	Waste Volume	Filtration Flowrate
Yankee Rowe	3.4 E(16)	Segment all internals	1 Sv	Not comparable, all of internals shipped as waste	284 liters per minute (lpm)
Conn Yankee	3.0 E(16)	550 m	2.05 Sv	35.4 m ³	Approx 950 lpm
Maine Yankee	7.3 E(16)	Cut into large pieces	0.5 Sv	Not Available	Not Available
Songs Unit 1	1.4 E(16)	248 m	0.23 Sv	7.2 m ³	5,700 lpm
Rancho Saco	2.7 E(15)	Cut into large pieces	0.2 Sv	Approx. 32 m ³	Not Available

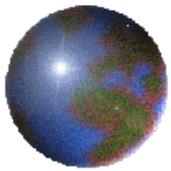


Axe de réflexion pour le futur

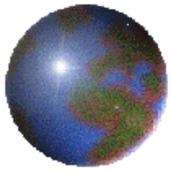
Management sols et nappes :

Cible excavation mais intérêt enfouissement bétons TFA si la propriété du site est conservée → préservation des exutoires ANDRA (Rappel : MORVILLIERS : 650 000m³ – Masse à 30 ans CEA/AREVA/EDF (sans densification) : 840 000 m³).

Si on laisse des structures TFA dans le sous-sol (afin de préserver les exutoires TFA, dans le cadre du développement durable), si la propriété du site est conservée → Intérêt très fort de travailler sur les facteurs d'exposition selon l'usage futur du site (cf. REX US).



Radionuclide	Soil DCGLs using Resident Farmer Scenario (CY - RESRAD) (Bq/g)	Soil DCGLs using Industrial Worker Scenario (Rancho Seco - RESRAD) (Bq/g)	Increase in DCGL using Realistic Scenario
C-14	2.1 E-01	3.1 E+05	1.5 Million Times
Co-60	1.4 E-01	4.7 E-01	3.4 Times
Ni-63	2.7 E-01	5.6 E+05	2.1 Million Times
Sr-90	5.7 E-02	2.4 E+02	4,200 Times
Cs-134	1.7 E-01	8.3 E-01	4.9 Times
Cs-137	2.9 E-01	2.0 E+00	6.9 Times



Axes de réflexion pour le futur

4. Quelques compléments

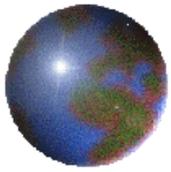
Risque inhalation :

Intérêt démarche optimisée exposition/inhalation ?

Définition d'études détaillées de postes « type » alphas :

Ex. à Saint-Laurent en s'inspirant de ce qui a été fait pour le parc avec EDF/R&D :

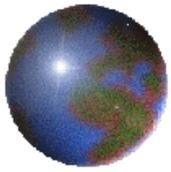
- Facteurs de remise en suspension
- Taille des aérosols
- Solubilité...



Axes de réflexion pour le futur

Assainissement bétons :

- Alternatives techniques et allègement contraintes RP (travail moins éprouvant)
- Utilisation capteurs d'air



Axes de réflexion pour le futur

Même si les chantiers nous « poussent » :

➔ Nécessité de préserver un axe fort :

Anticipation sur R&D et Ingénierie