

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



DÉMANTÈLEMENT DU RÉACTEUR ULYSSE – INB 18 CEA SACLAY



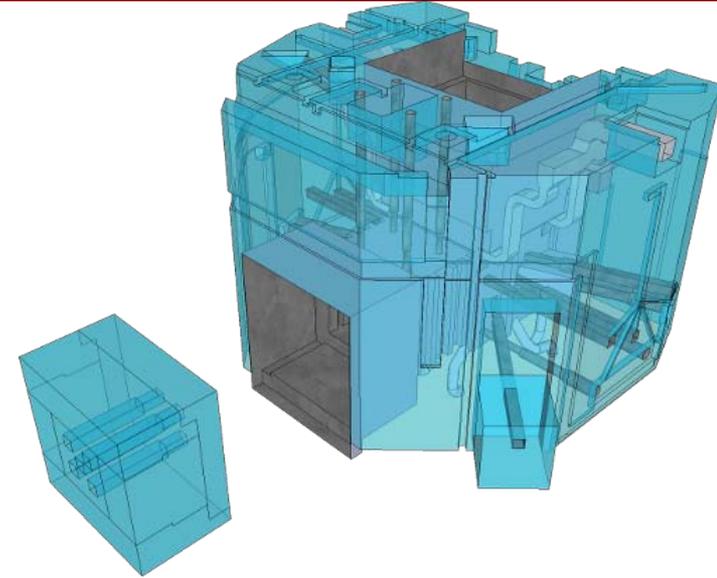
FRANÇOIS FOULON, BERNARD LESCOP,
MARC DUBOIS, GABRIEL BADEAU

Démantèlement en vue du déclassé des installations nucléaires / Bernard LESCOP

www.cea.fr



- 1 – Présentation de l'installation
- 2 – Objectif final du démantèlement
- 3 – Retour d'expérience de projets similaires
- 4 – Etat actuel de l'installation
- 5 – Description des opérations de démantèlement
- 6 – Impact du projet
- 7 – Déroulement du projet avant et après le décret
- 8 – Conclusion



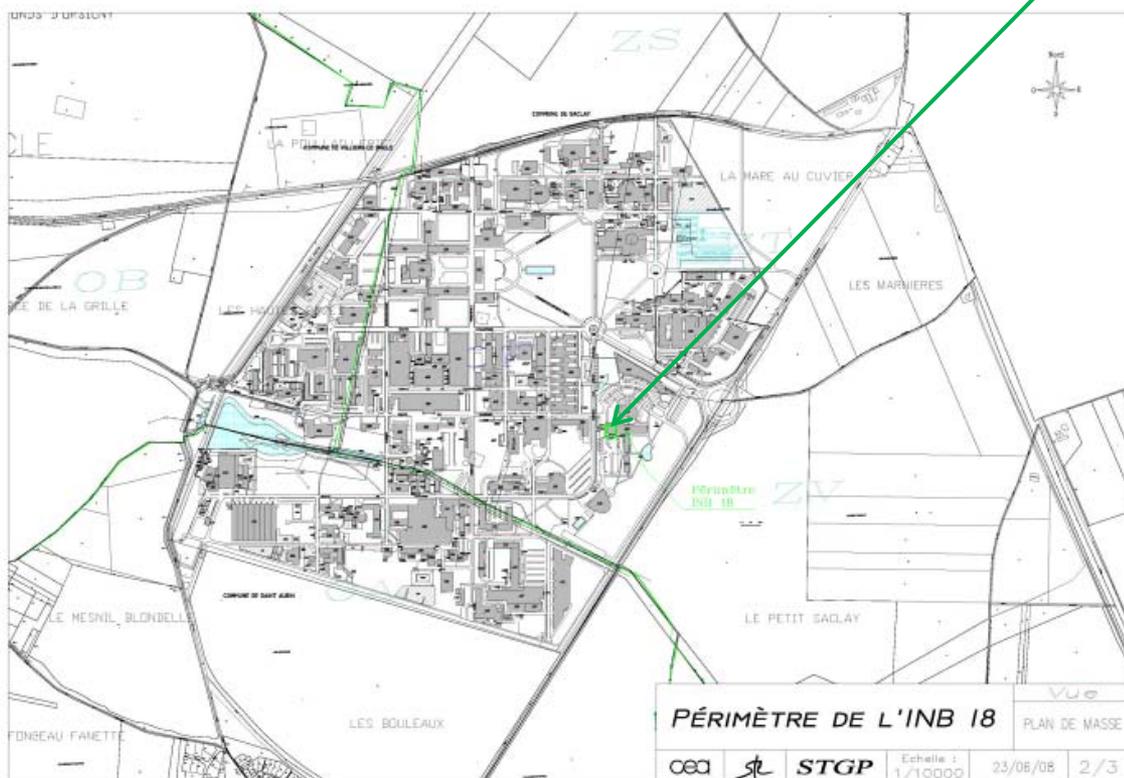
1 PRÉSENTATION DE L'INB 18



- Réacteur de recherche de faible puissance $100 \text{ kW}_{\text{thermique}}$
- Réacteur de la famille des Argonauts (*Argonne Nuclear Assembly for University Training, 1^{er} réacteur mis en service à l'Argonne National Laboratory - USA en 1957*).
- Mis en service en 1961 – Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires
- Utilisé pour l'enseignement et pour l'expérimentation
- Fonctionnement à puissance quasi-nulle (20 W) pour l'enseignement
- Energie totale produite faible : 115 MWh (puissance moyenne de 300 W)
- Arrêté le 7 février 2007 (activité transférée sur réacteur ISIS - OSIRIS)

1 PRÉSENTATION DE L'INB 18

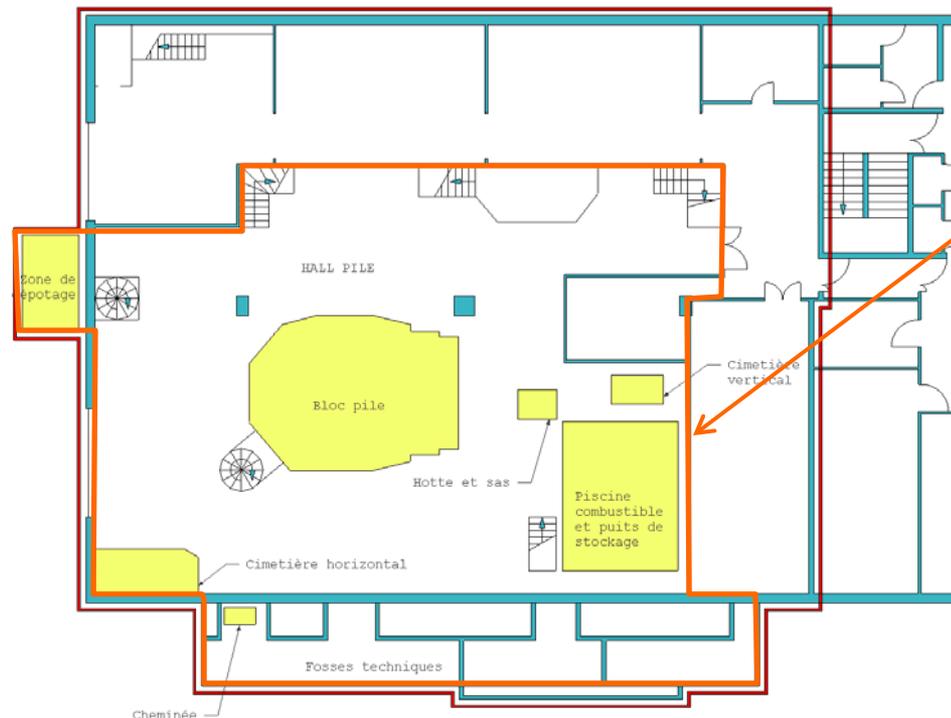
Réacteur situé dans l'aile Ouest du bâtiment 395 de l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires – partie Est du centre de Saclay



1 PRÉSENTATION DE L'INB 18

L'installation comprend :

- zone réacteur : hall réacteur et fosses techniques → zone démantelée
- zone périphérique : bureaux, atelier, local de stockage,...



Hall réacteur

21 m x 14 m
Hauteur : 9 m

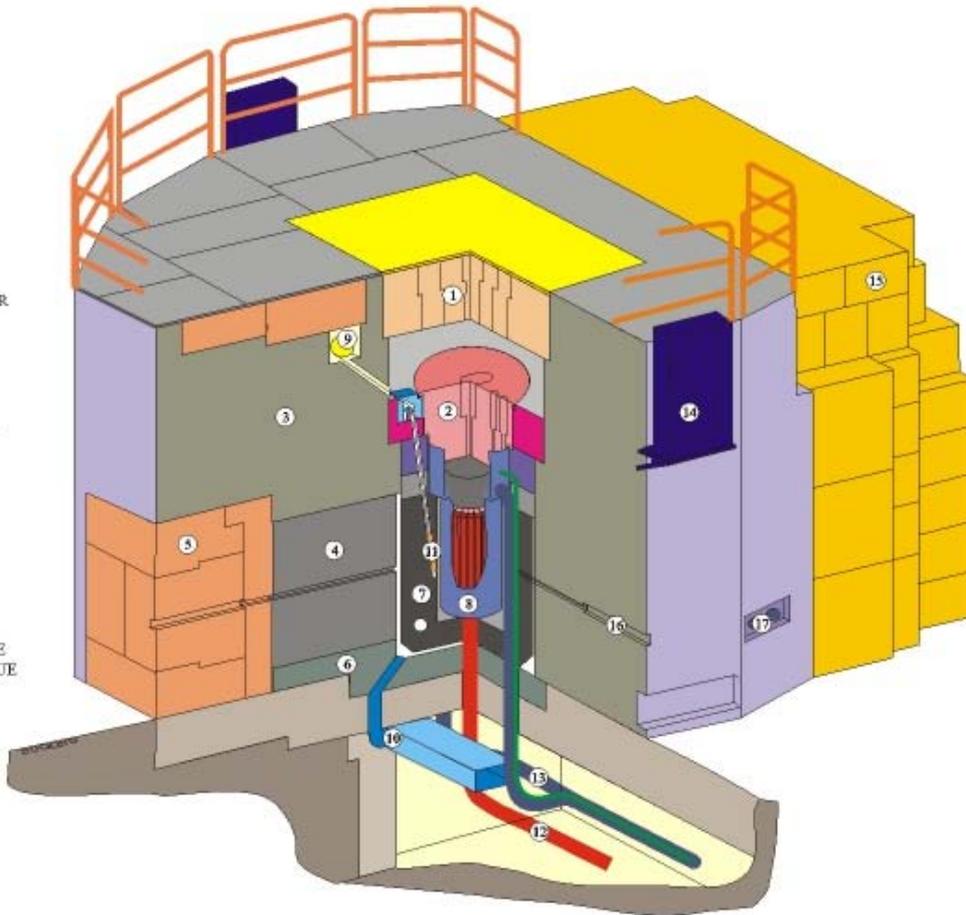
Bloc pile

7,40 m x 6 m
Hauteur : 4 m

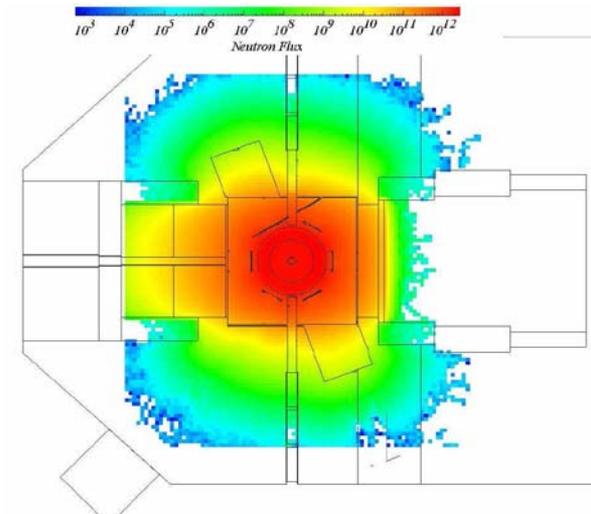
1 PRÉSENTATION DE L'INB 18

La zone à déchets nucléaires est la partie centrale du bloc réacteur
(processus d'activation neutronique, pas d'incident de contamination)

- ① PROTECTION BIOLOGIQUE SUPERIEURE
- ② BOUCHON TOURNANT
- ③ MASSIF BETON
- ④ COLONNE THERMIQUE
- ⑤ PROTECTIONS BIOLOGIQUES AMOVIBLES
- ⑥ RADIER
- ⑦ REFLECTEUR EXTERIEUR
- ⑧ CUVE
- ⑨ TREUIL DE COMMANDE DE BARRE
- ⑩ GAINÉ DE VENTILATION
- ⑪ BARRE DE CONTROLE
- ⑫ CIRCUIT PRIMAIRE ENTREE COEUR
- ⑬ CIRCUIT PRIMAIRE SORTIE COEUR
- ⑭ ENTREE D'AIR
- ⑮ CAVITE EXPERIMENTALE PROTECTION BIOLOGIQUE
- ⑯ CANAL EXPERIMENTAL
- ⑰ CANAUX DETECTEURS CONTROLE COMMANDE



Cœur du réacteur

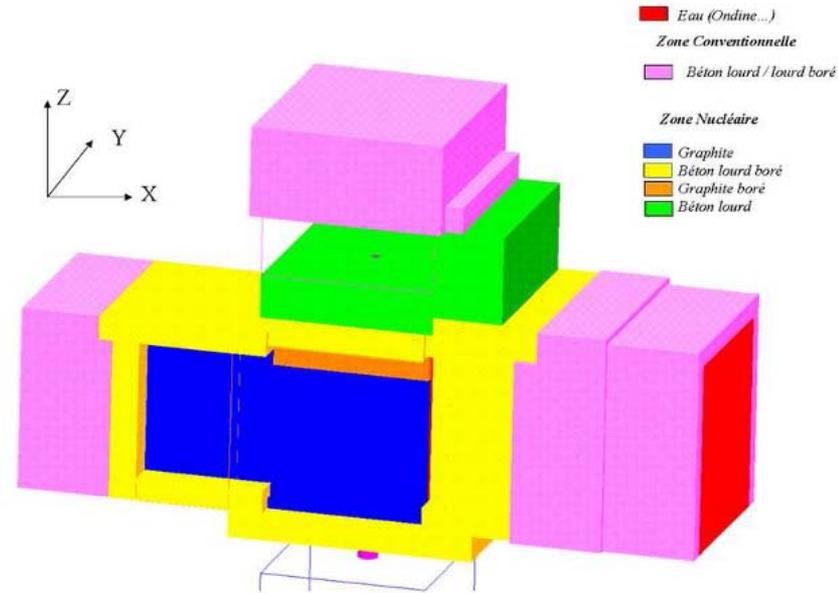
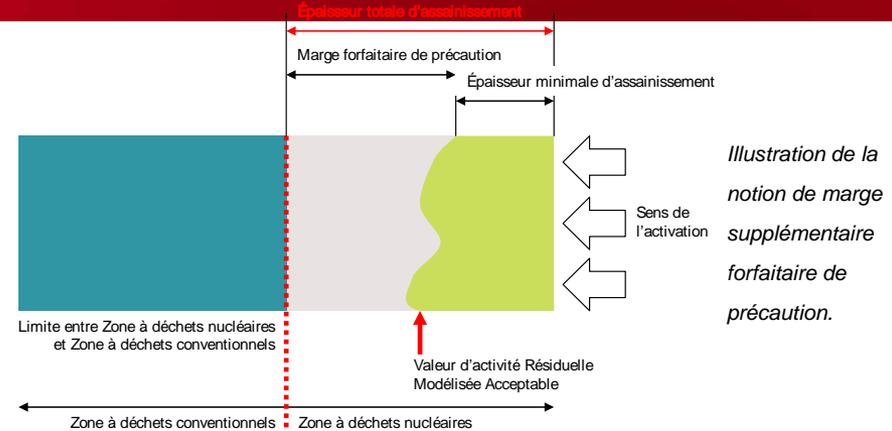


Simulation numérique de type Monte-Carlo du flux de neutrons à l'intérieur du bloc réacteur

1 PRÉSENTATION DE L'INB 18

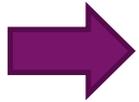
Le zonage déchets d'exploitation

	Zone	Justification
ZSRA	Locaux annexes	Classés en Zone sans radioactivité ajoutée pendant le fonctionnement, ces locaux conserveront ce classement pendant les travaux de démantèlement.
ZNC	Hall réacteur Piscine d'entreposage Fosses techniques Local de stockage	Ces zones étaient, pendant le fonctionnement, classées en Zones non contaminantes , ce qui a toujours été vérifié lors des contrôles effectués. Elles garderont ce classement pendant les travaux de démantèlement
ZNC	Cimetières	Les cimetières étaient utilisés, en exploitation, pour entreposer des dispositifs activés. Ils étaient classés en zone contaminante afin d'orienter en déchets nucléaires tout dispositif mis au rebut. Vidés lors des opérations de préparation à la mise à l'arrêt définitif, ils seront classés en Zone non contaminante pendant les travaux de démantèlement.
ZNC	Cuve à effluents	La cuve à effluents est composée d'un double cuvelage en « Armodur® » (PVC) dans une fosse béton. La cuve n'ayant jamais reçu d'effluents radioactifs, elle sera classée en Zone non contaminante .
ZNC + ZC	Circuit primaire Ventilation Cheminée	Classées en Zones non contaminantes pendant les phases d'arrêt du réacteur, ces zones garderont ce caractère conventionnel pendant les travaux de démantèlement. Cependant, et à titre conservatoire, les équipements particuliers que constituent les résines échangeuses d'ions et le filtre THE sont classés en Zone contaminante comme points à risque.
ZNC + ZC	Cuve Ondine	La cuve Ondine est classée en Zone non contaminante (effluents conventionnels), à l'exception de sa face ouest, activée d'après la simulation numérique, et qui est considérée comme point à risque et est donc classée en Zone contaminante .
ZNC / ZC	Bloc réacteur	Les calculs d'activation ont permis de définir une frontière entre zones à déchets nucléaires et conventionnels, et d'étendre ainsi le zonage déchets à l'intérieur des structures fixes et amovibles du bloc réacteur.



Exemple de zonage des éléments amovibles contenus dans le bloc réacteur.

2 OBJECTIF FINAL DU DÉMANTÈLEMENT



- Totalité des substances dangereuses et déchets générés évacués
- Absence de contraintes radiologiques : zone non réglementée et zone à déchets conventionnels (sans servitude)
- Radiation de l'installation de la liste des Installations Nucléaires de Base

- Date prévisionnelle de déclassement : 2017 – 2020 ?
- Réaménagement des locaux pour leur utilisation par l'INSTN : de salle de cours et de travaux pratiques

3 RETOUR D'EXPÉRIENCE DE PROJETS SIMILAIRES

Démantèlements de réacteurs Argonauts à l'étranger (8) (exemples : Réacteur Jason, Greenwich, 1998 à 1999; Réacteur UCLA R, Los Angeles, 1992)

Démantèlement du Réacteur Universitaire de Strasbourg (RUS – INB 44)

- Réacteur construit en 1966 sur le modèle du réacteur ULYSSE
- Démantelé d'août 2006 à décembre 2008 (assistance CEA)



Réacteur Universitaire de Strasbourg



Bilan :

- Pas de difficulté technique
- Scénarios de démantèlement similaires
- Opérations réalisées au contact ou par intervention à distance
- Production de déchets : de conventionnels à faible activité
- Durée du démantèlement : 2 à 3 ans
- Risque radiologique limité

Effluents de sciage chargés en boue (Réacteur universitaire de Strasbourg).

Après décantation, ces effluents sont filtrés mécaniquement à l'aide d'un filtre-presse, puis recyclés.

Les boues, sous forme de galettes de siccité élevée, sont conditionnées après séchage en déchet TFA ou FA-VC selon l'activité.



3 RETOUR D'EXPÉRIENCE DE PROJETS SIMILAIRES

Démantèlement du Réacteur Universitaire de Strasbourg (RUS – INB 44)



Galette de boue obtenue à l'aide d'un filtre-presse (chantier du réacteur universitaire de Strasbourg).



Déchets



Déchets TFA conditionnés en caisson tôle (Réacteur universitaire de Strasbourg).

Les déchets sont marqués à la peinture, triés et éventuellement emballés dans du vinyle



Déchets graphite de faible activité conditionnés en caisson métallique 7C de 5m³ (Réacteur universitaire de Strasbourg).

Ce type de caisson est confiné par injection de mortier ou de béton dans l'atelier de conditionnement des déchets du CSFMA.

3 RETOUR D'EXPÉRIENCE DE PROJETS SIMILAIRES

Démantèlement du Réacteur Universitaire de Strasbourg (RUS – INB 44)

- Bilan dosimétrique RUS : 21 homme.mSv, pour un effectif moyen d'environ dix personnes sur trente mois => 0,84 mSv/an
- Fonctionnement du RUS : puissance moyenne 25 fois plus élevée que le réacteur ULYSSE : bilan dosimétrique ULYSSE plus faible => 0,034 mSv/an



Retrait de la cuve



Retrait des briques de graphite



Découpe du massif en béton

Démantèlement du Réacteur Universitaire de Strasbourg (RUS – INB 44)

Vue du bloc réacteur :



Phase exploitation



Après démantèlement - Assainissement

Etat réglementaire

- En phase de Cessation Définitive d'Exploitation depuis le 7 février 2007
- Dossier de démantèlement envoyé le 26 juin 2009
- Mise à jour suite aux demandes MSNR, ASN et AE : envoi d'un nouveau dossier en septembre 2011 avec nouvelle organisation CEA
- Enquête publique (20/02 au 31/03/2012) : avis favorable
- Attente du décret de démantèlement

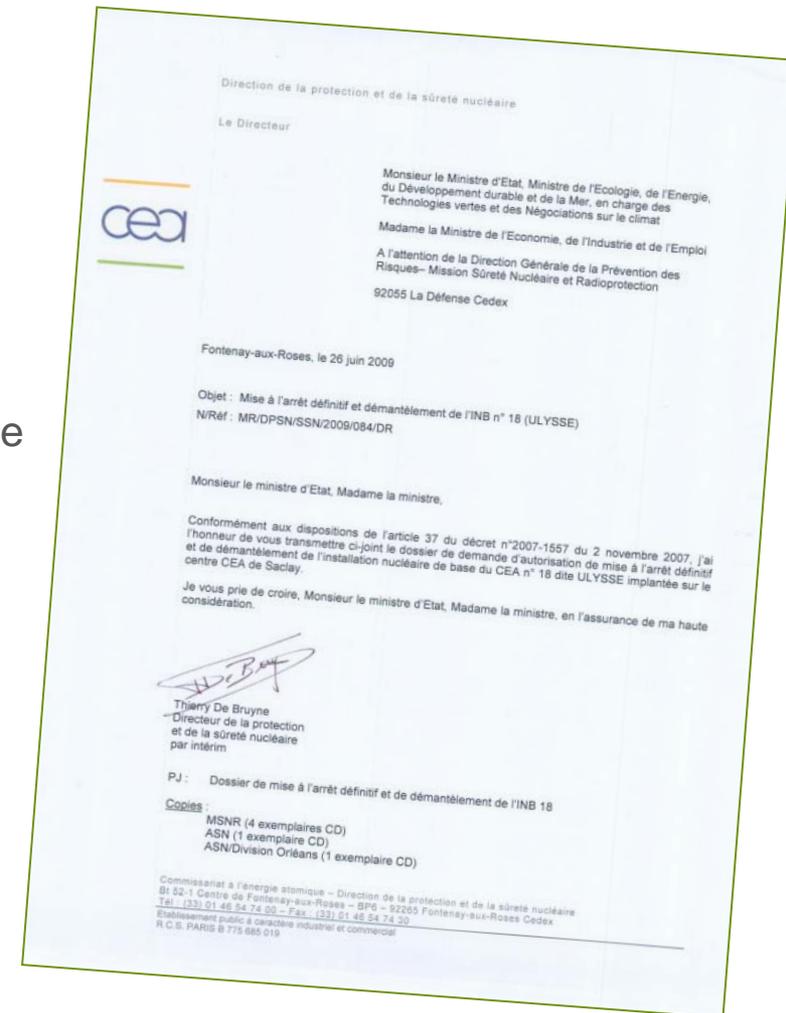
Composition du dossier soumis à l'enquête

La composition du dossier de demande de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement de l'installation, soumis à l'enquête publique est la suivante :

- Introduction : présentation de la demande
- Pièce 1 : identification du pétitionnaire et lettre de demande.
- Pièce 2 : description de l'installation avant sa mise à l'arrêt et son démantèlement.
- Pièce 3 : plan de démantèlement.
- Pièce 4 : carte au 1/25 000.
- Pièce 5 : plan de situation au 1/10 000.
- Pièce 6 : modification du périmètre – sans objet dans le présent dossier.
- Pièce 7 : étude d'impact.
- Pièce 8 : version préliminaire du rapport de sûreté (consultable selon les modalités de l'arrêté préfectoral organisant l'enquête).
- Pièce 9 : étude de maîtrise des risques.
- Pièce 10 : règles générales de surveillance et d'entretien.
- Pièce 11 : servitudes d'utilité publique éventuelles.

Le dossier comprend également un guide dans lequel se trouve :

- Une présentation du projet.
- Une introduction à la radioactivité, aux rayonnements ionisants et aux réacteurs nucléaires.
- Un dictionnaire des sigles.
- Un glossaire qui explicite les termes techniques.



4 ETAT ACTUEL DE L'INSTALLATION

Etat physique

- Ventilation, téléalarme, surveillance radiologique en fonctionnement,
- Eléments combustibles et sources radioactives évacués,
- Opérations préparatoires au démantèlement finalisées (évacuation déchets, aménagements...)
- Terme source (matériaux activés) : 66 GBq, dont 65 % de tritium, soit un rapport $Q = 2,5 \cdot 10^4$

($Q > 10^4$: ICPE autorisée ; $Q > 10^9$: INB)

Mission accomplie pour ULYSSE

12 juin 2008 à 10h00, mission accomplie pour l'équipe d'exploitation du réacteur ULYSSE : la totalité du combustible a été évacuée. C'était une étape majeure de la phase de cessation définitive d'exploitation après l'arrêt du réacteur intervenu le 9 février 2007. La préparation de cette phase, sous ses divers aspects techniques, réglementaires et contractuels, a débuté dès 2005. Elle a nécessité une forte implication et une synergie entre l'équipe d'exploitation d'ULYSSE, la Direction Patrimoine et Assainissement de la DEN, les Services Commerciaux et Juridiques, la Direction Déléguée aux Activités Nucléaires de Saclay, ainsi que la Direction du CEA. Le point culminant de cette phase a été l'évacuation du combustible usé vers AREVA La Hague, le 28 janvier 2008. Cette opération, qui s'est déroulée sur 3 semaines, a mobilisé jusqu'à 30 personnes et a nécessité des moyens externes de manutention d'équipements de plus de 20 tonnes. En comparaison, les évacuations de combustible neuf vers la CERCA, réalisées les 10 et 12 juin, n'étaient qu'un jeu d'enfants pour ULYSSE. L'ULYSSE aura contribué, pendant 47 années, à former des milliers de personnes aux principes et à l'exploitation des réacteurs. Dans le cadre d'activités de R&D, il aura permis jusqu'à son dernier souffle de développer et qualifier les chaînes de mesures neutroniques qui équiperont les réacteurs RES et Jules Horowitz en construction à Cadarache.



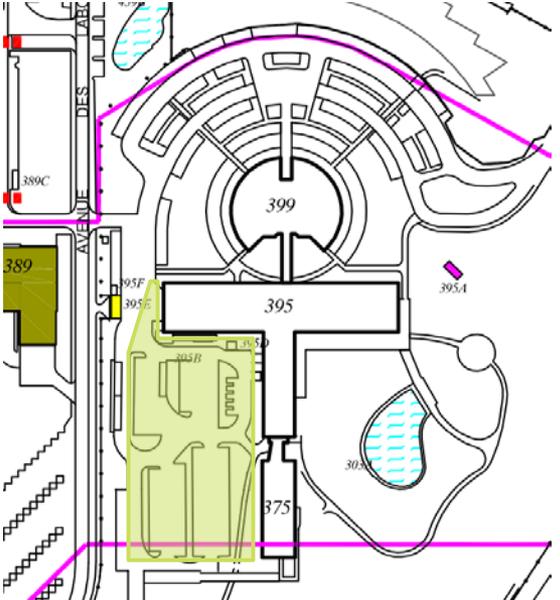
5 DESCRIPTION DES OPÉRATIONS DE DÉMANTÈLEMENT

- Prévisions :**
- Durée du chantier : 2 à 3 ans (hors aléas et études) (4 ans max)
 - Dosimétrie collective totale : ~ 3 H.mSv (10 opérateurs)
 - Déchets : 420 tonnes conventionnels (> 70 %)
 - 170 tonnes nucléaires TFA et FA-VC
 - pas de déchets sans filières
- Débit de dose béton :
< 0,2 mSv.h⁻¹

Lot	Phase	Actions	Durée prévisionnelle
A Chantiers Conventionnels ~ 8 mois	A-0	Aménagements de chantier	1 mois
	A-1	Démontage des équipements des fosses techniques et de la cheminée	2 mois
	A-2	Déconstruction du cimetière horizontal	1 mois
	A-3	Déconstruction de la piscine	2 mois
	A-4	Déconstruction des cimetières verticaux	1 mois
	A-5	Aménagement de la zone d'entreposage de déchets de faible activité	1 mois
B Chantiers nucléaires ~ 11 mois	B-1	Démontage de la cuve Ondine et de l'assemblage en blocs amovibles	2 mois
	B-2	Démontage des équipements de la cavité cœur	1 mois
	B-3	Démontage du bouchon roulant et du graphite	2 mois
	B-4	Découpe du bloc pile (<i>Zone conventionnelle</i>)	4 mois
		Découpe du bloc pile et démolition de la sole (<i>Zone nucléaire</i>)	2 mois
C Assainissement final ~ 4 mois	C-1	Assainissement final du hall et de la cavité sous-cœur	1 mois
	C-2	Repli de chantier	1 mois
	C-3	Contrôles finaux	2 mois

Lot A

Aménagement de chantier

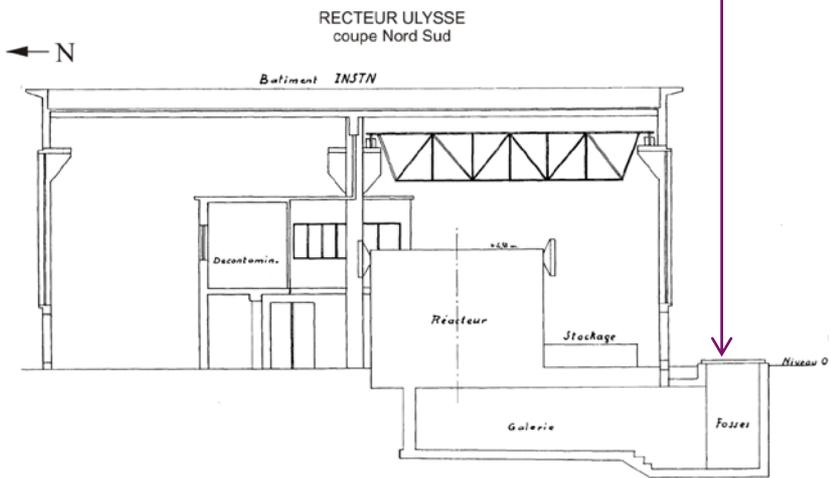


Proposition de délimitation de la zone chantier Ulysse par rapport aux bâtiments INSTN

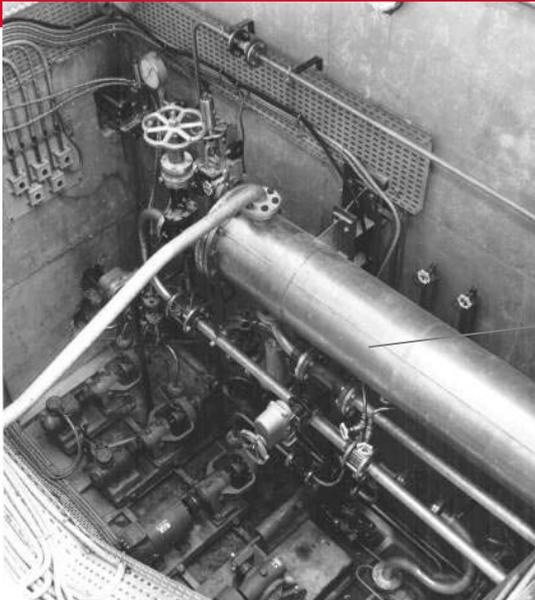


Les fosses, à l'extérieur du bâtiment, lors de la construction.

Balisage d'une zone extérieure avec proximité restaurant, INSTN, I2EN, SIEGE DU CEA
 + Sortie camions + manque de place



5 DESCRIPTION DES OPÉRATIONS DE DÉMANTÈLEMENT

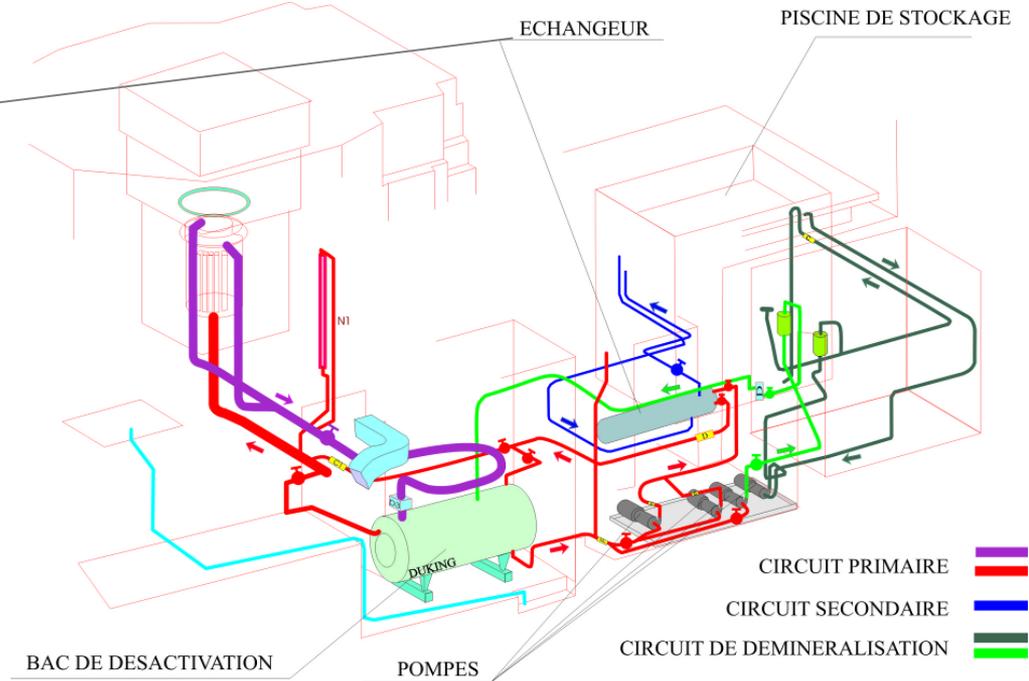


Lot A

fosse centrale : échangeur.



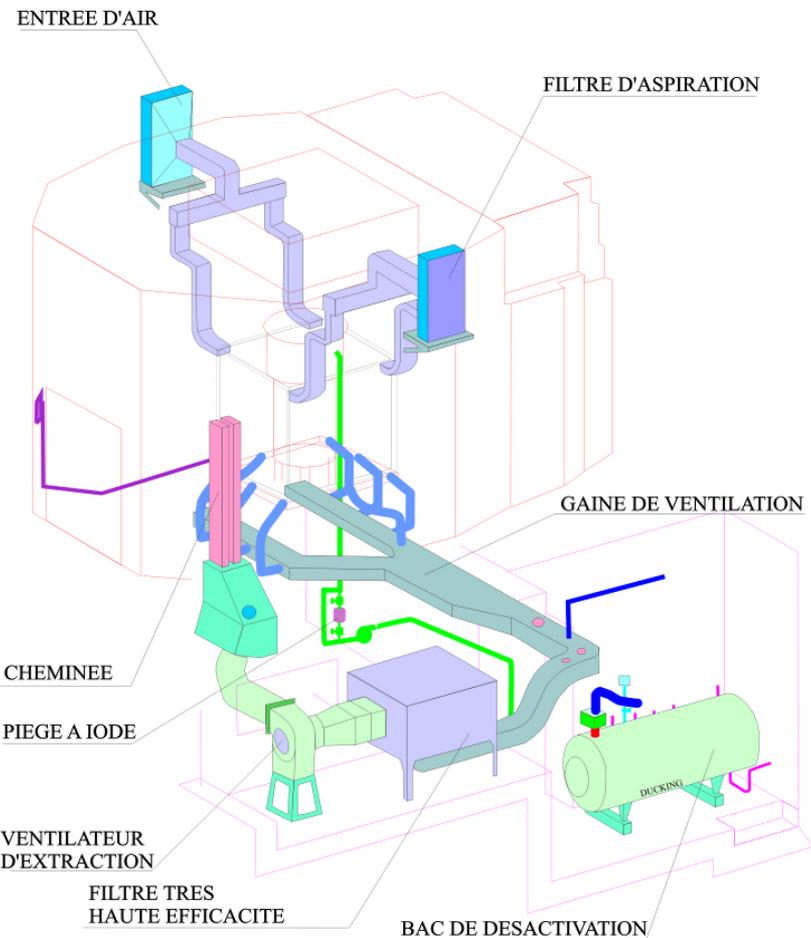
Fosse ouest : bac de désactivation



5 DESCRIPTION DES OPÉRATIONS DE DÉMANTÈLEMENT



Lot A



gaine de ventilation provenant du bloc réacteur et entrant dans le filtre très haute efficacité.



Gaine de ventilation et le ventilateur en aval du filtre très haute efficacité.

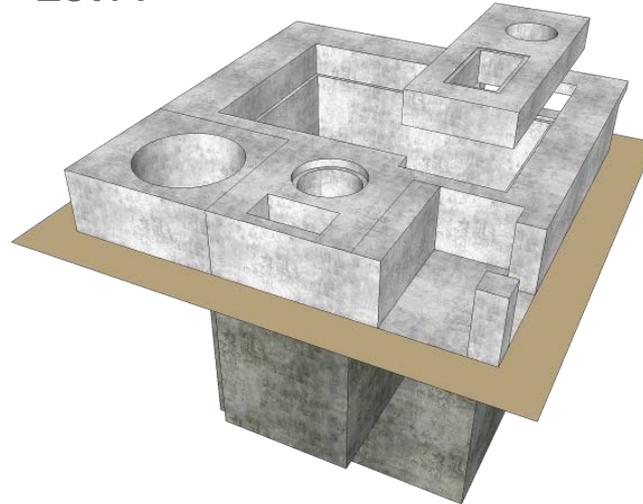
5 DESCRIPTION DES OPÉRATIONS DE DÉMANTÈLEMENT



Bloc piscine pendant les opérations de préparation à la mise à l'arrêt définitif.

La hotte de manutention du combustible et son support auront été retirés avant le début du démantèlement.

Lot A



Modèle 3D du massif béton de la piscine.

Au premier plan, on distingue les cavités de stockage du bouchon tournant et du réflecteur central, ainsi que les buses verticales.

Au fond, la piscine proprement dite (qui accueille une cuve en acier non représentée), couverte partiellement par une dalle amovible.



Le cimetière horizontal, utilisé pour entreposer les accessoires des canaux horizontaux du réacteur, ainsi que des dispositifs et échantillons activés par irradiation neutronique dans les canaux du réacteur



pelle de 2,5 tonnes équipée d'une pince à béton et d'un BRH (chantier conventionnel).

Lot B



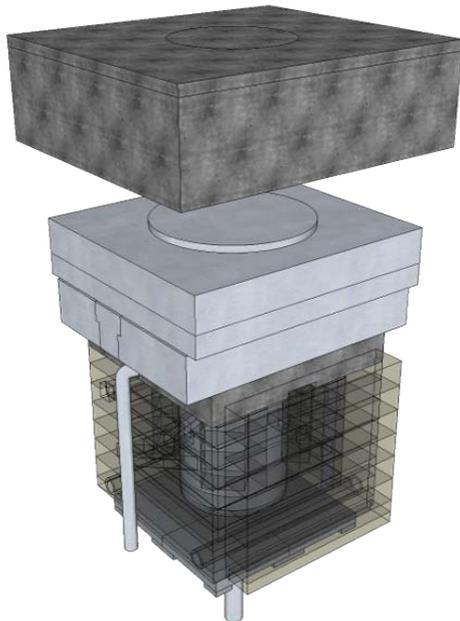
État actuel de la cuve Ondine, reculée d'environ 50 centimètres.

Les hublots et le mur de plomb sont peints en blanc.

À droite, les deux capacités grises font partie du circuit d'épuration d'Ondine et contiennent les résines échangeuses d'ions.

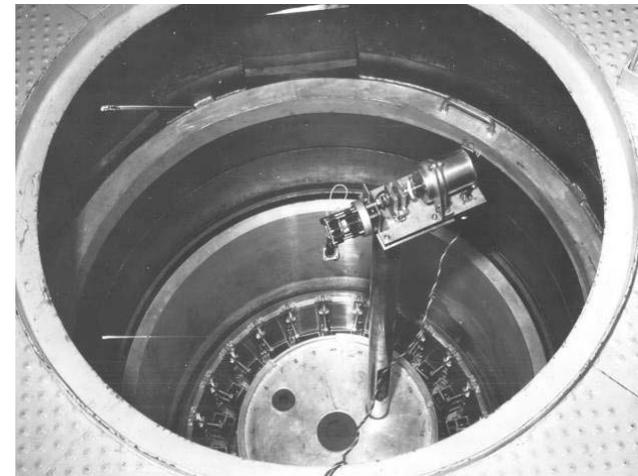


Retrait du bouchon tournant



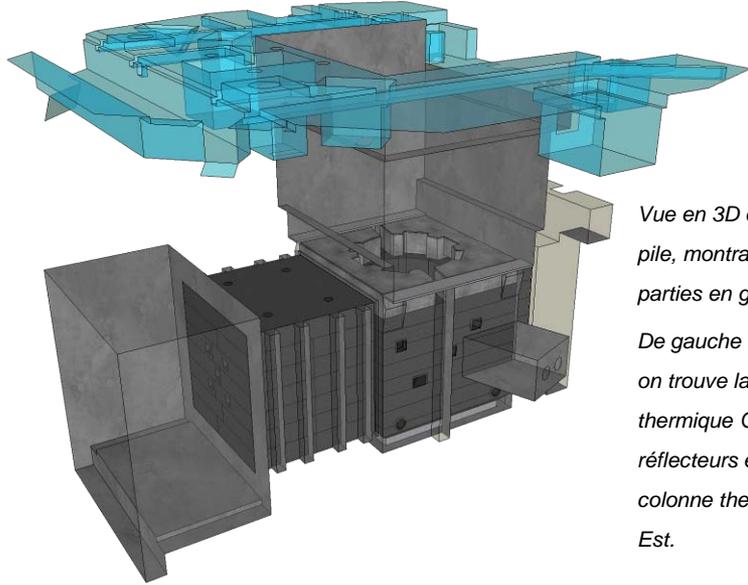
Vue en 3D des dalles (de haut en bas : protection biologique, supérieure, intermédiaire et inférieure – traversées par le bouchon tournant – et graphite boré).

En dessous, le graphite est représenté en transparence, et on distingue la cuve et les tuyaux du circuit primaire.

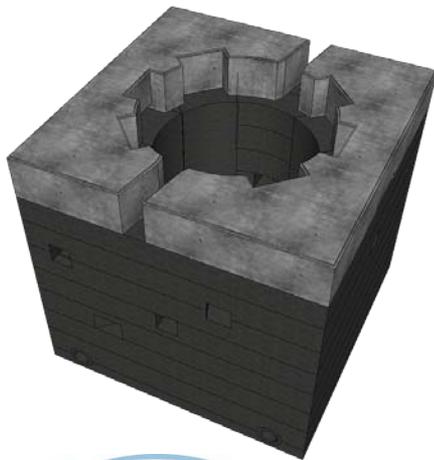


Vue de la cuve, bouchon tournant retiré, faisant apparaître l'empilement des dalles de protection biologique.

Au centre de la cuve, la couronne qui recevait les éléments de combustible.



Vue en 3D du bloc pile, montrant les parties en graphite. De gauche à droite, on trouve la colonne thermique Ouest, les réflecteurs et la colonne thermique Est.



Le bloc de graphite entourant la cuve, surmontée de la dalle en graphite boré.

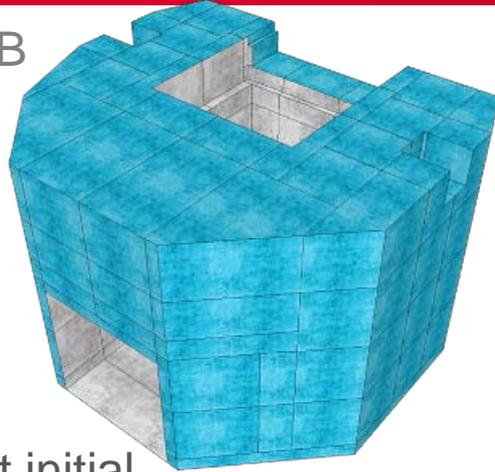
Les briques composant ce massif sont usinées très précisément, et assemblées à l'aide de clavettes.

Lot B

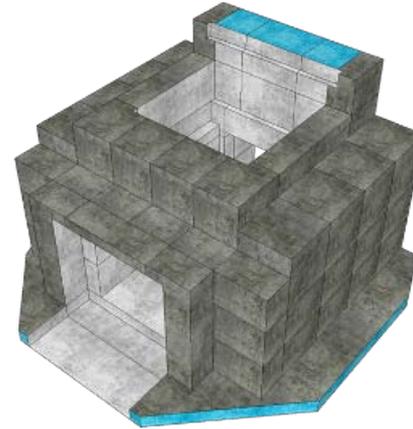


Assemblage du réflecteur interne. On distingue les fentes dans lesquelles passaient les plaques de contrôle.

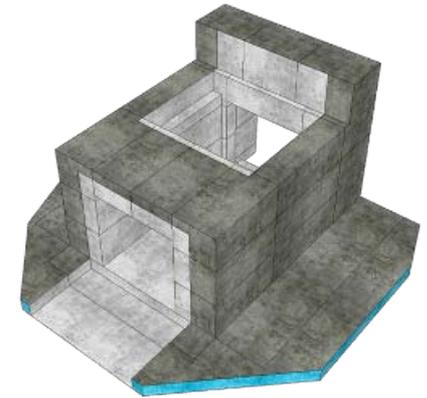
Lot B

découpe
du bloc
pile

1. Etat initial,
165 tonnes soit 80 blocs de conventionnel

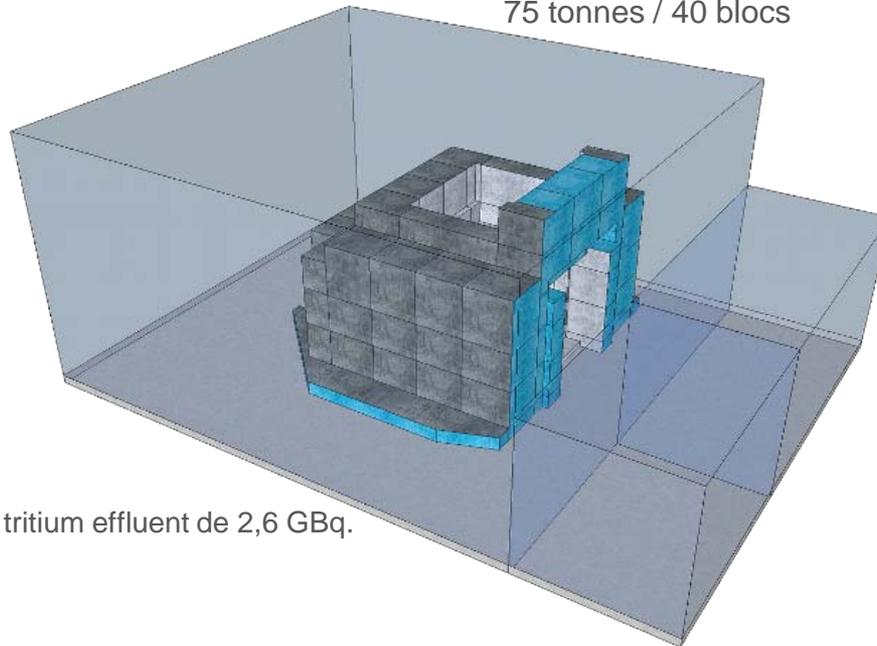


2. Partie TFA,
75 tonnes / 40 blocs



3. Partie FA-VC.
50 tonnes / 25 blocs

découpe
conv : 150 m²
Nuc : 100 m²
Densité : 3,5
Activité:
TFA: 100 Bq.g⁻¹
TFA: 3000 Bq.g⁻¹
Tritium 65 %
Si sciage sous eau, activité tritium effluent de 2,6 GBq.



*Schéma de principe des confinements
utilisés pour les découpes nucléaires.*

*Trois zones sont définies : le confinement de
sciage, un sas d'évacuation des déchets, et
un confinement dédié à la gestion des
effluents liquides.*

*Les sas d'entrée et de sortie du personnel
ne sont pas représentés.*

Lot C

Assainissement final du hall et de la cavité sous-cœur

rabotage du sol sous le confinement (déjà protégé par une rétention étanche), et un ponçage des parois de la cavité sous cœur, qui était protégée par une peinture décontaminable

Repli de chantier

cartographie radiologique des locaux

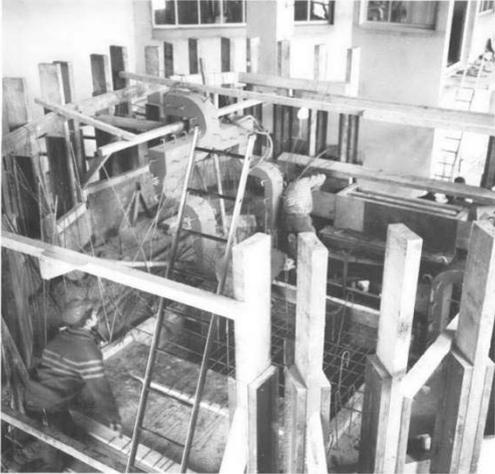
Contrôles finaux

mesures d'activité massique par spectrométrie gamma



Exemple de chaîne de spectrométrie gamma portable, équipée d'un collimateur permettant des mesures de 4 m² de surface.

Exemple de chantier 'RUS'



Construction du réacteur Ulysse en 1961 : coffrage du bloc réacteur.



La cavité cœur du Réacteur universitaire de Strasbourg après retrait du graphite.



Bâti de sciage au câble diamanté, avec ses poulies de renvoi. Le câble est ici au ras du sol, et disparaît dans un carottage (découpe conventionnelle du bloc du Réacteur universitaire de Strasbourg).



Extraction d'une partie de la sole du réacteur après découpe au câble.



Démolition béton à l'aide d'un brise-roche hydraulique sur porteur Brokk 400.



Brise-roche hydraulique sur porteur Brokk utilisé pour achever la démolition de la dalle.

Conditions normales :

- Flux et interactions liés au projet comparables à la situation actuelle
- Projet sans impact sur le milieu naturel environnant
- Projet sans effet significatif sur la population environnante
- Exposition radiologique du personnel intervenant inférieure à 3 mSv :
valeur globale, intégrée sur la durée du chantier et une dizaine d'agents
(exposition naturelle 1 mSv/an, réglementation travailleur < 20 mSv/an)

⇒ **Projet de démantèlement sans impact significatif**

6 IMPACT DU PROJET

Conditions accidentelles :

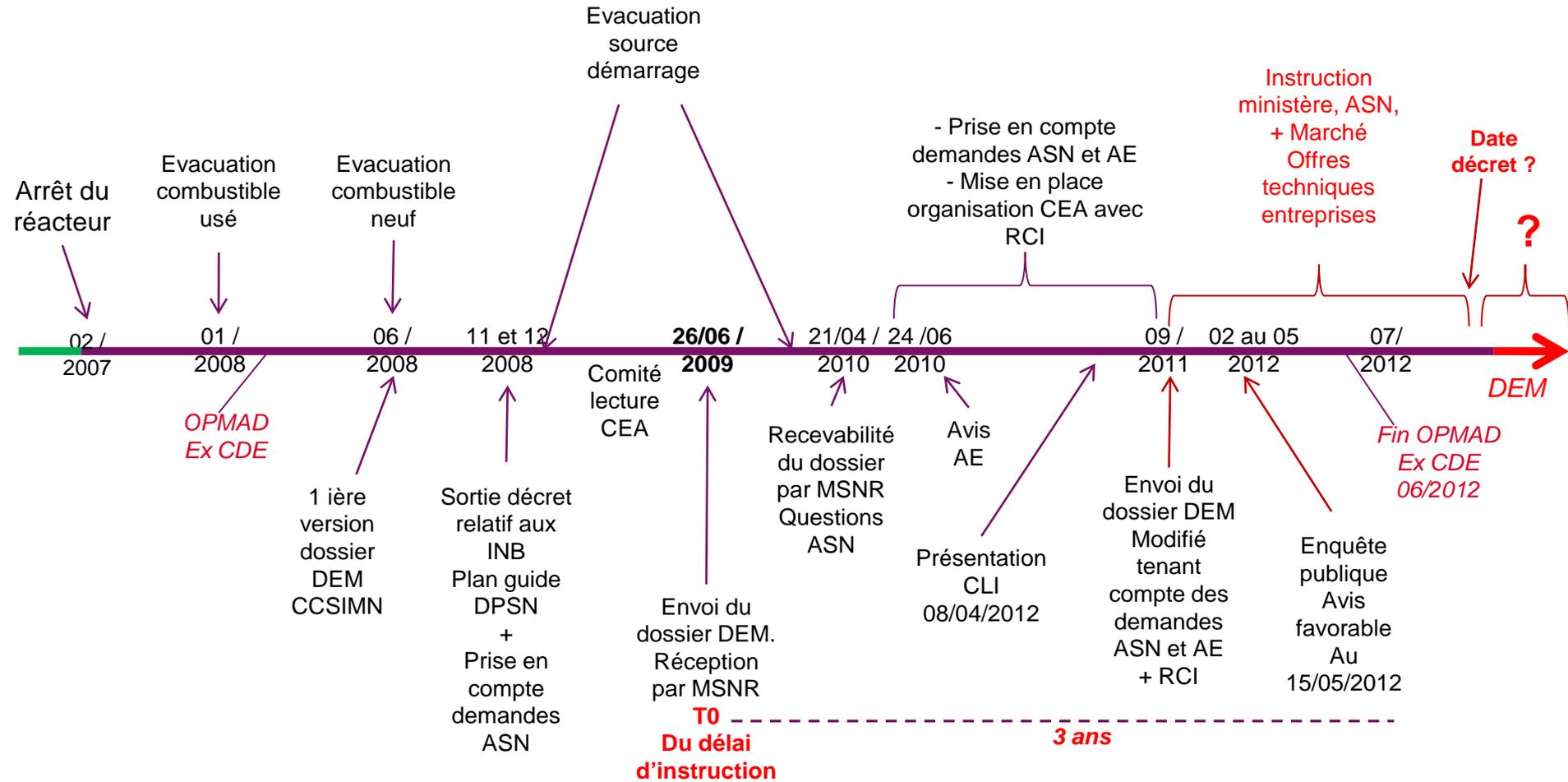
Accident de référence avec impact majorant :

- Incendie avec combustion de la totalité du graphite activé (13 T)
- Renouvellement d'air dans le hall, 3600 m³/h
- Rejet dans l'environnement en absence totale de filtration
- Diffusion unidirectionnelle des rejets, vent faible à 2m/s

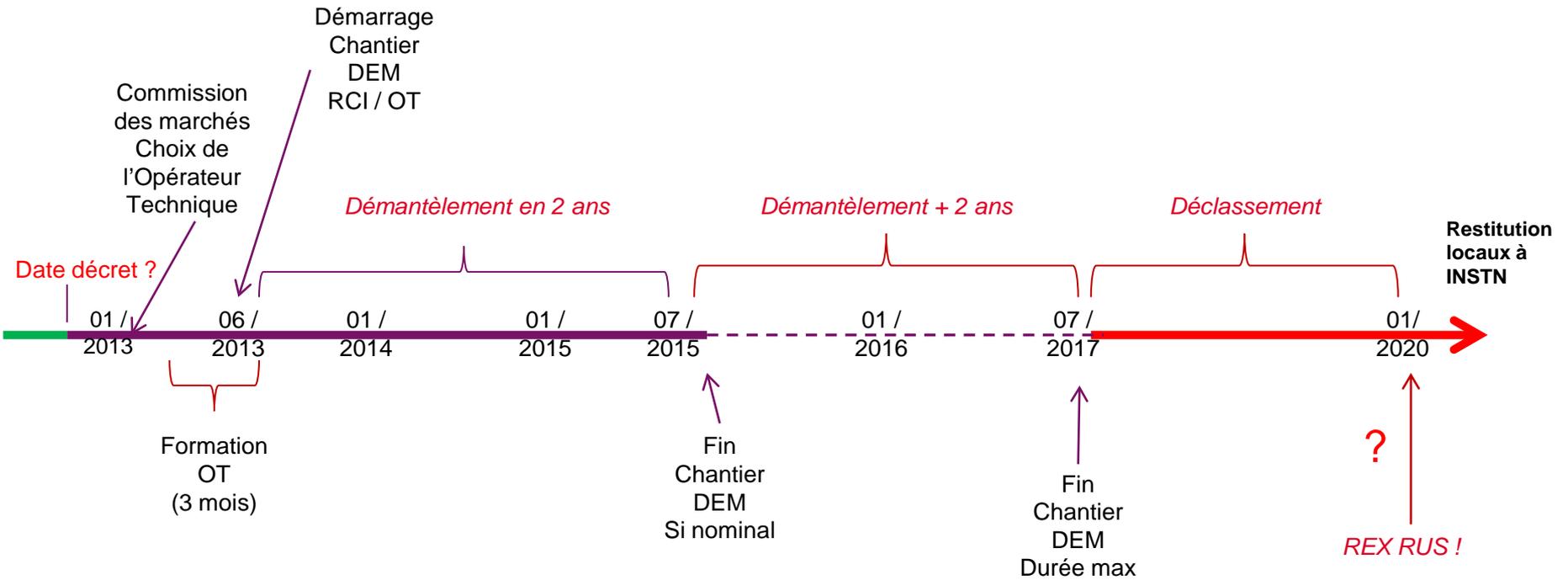
Conséquences : - dose efficace personnel (présence 5 mn) : $\leq 14 \mu\text{Sv}$
- public à 500 m : $< 0,03 \mu\text{Sv}$ (24h)
- public à 5 km : $< 0,001 \mu\text{Sv}$ (24h)
(exposition naturelle environ 6,5 μSv par jour)

⇒ Accident majorant sans impact significatif

7 DÉROULEMENT DU PROJET AVANT LE DÉCRET



7 DÉROULEMENT DU PROJET APRÈS LE DÉCRET



8 CONCLUSION

Combustible totalement évacué en 2008

Démantèlement conduisant à une installation sans contrainte radiologique (radioprotection et déchets)

Durée des travaux de démantèlement 2 à 4 ans ; déclassement 2017- 2020

Pas de difficulté technique ; filières déchets opérationnelles

Utilisation du retour d'expérience du réacteur universitaire de Strasbourg

Dosimétrie collective totale : ~ 3 H.mSv (pour 10 opérateurs, sur 2 ans)

Prévisionnel déchets : - 420 tonnes conventionnels (> 70 %)
- 170 tonnes nucléaires TFA et FA-VC

Pas d'impact significatif des travaux sur l'environnement et le public

Accident majorant sans impact significatif sur l'environnement et le public

Ne pas sous estimer la part de travail réglementaire par rapport au travail technique (loi TSN 2007)



Contrôles finaux Strasbourg